



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Θεοφράστειο : Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική»



Μεταπτυχιακή Διατριβή

“Επίδραση των θαλάσσιων αερολυμάτων αλατιού στη συγκέντρωση αερολυμάτων παράκτιων περιοχών της Ευρωπαϊκής Ηπείρου”

Ραυτόπουλος Αθ. Αντώνιος

Επιβλέπων καθηγητής
Πηλίνης Χριστόδουλος

Μυτιλήνη, Νοέμβριος 2010

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	σελ. 1
Κεφάλαιο 2	Τα αιωρούμενα σωματίδια	σελ. 4
2.1	Η ατμόσφαιρα	σελ. 4
2.2	Τα αερολύματα	σελ. 4
2.2.1	Σχηματισμός Αιωρούμενων Σωματιδίων	σελ. 5
2.2.2	Επιπτώσεις Αερολυμάτων	σελ. 5
2.3	Κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων	σελ. 8
2.4	Κατηγορίες αερολυμάτων	σελ. 12
2.5	Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων	σελ. 14
Κεφάλαιο 3	Τα θαλάσσια αερολύματα	σελ. 16
3.1	Εισαγωγή	σελ. 16
3.1.1	Ο ρόλος των θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 16
3.2	Σχηματισμός θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 17
3.2.1	Film drops	σελ. 19
3.2.2	Jet drops	σελ. 21
3.2.3	Sprume drops	σελ. 24
3.2.4	Παραγωγή SSAs κατά την βροχόπτωση	σελ. 25
3.2.5	Δευτερογενής παραγωγή αερολυμάτων	σελ. 25
3.3	Κατανομή αερολυμάτων	σελ. 26
3.3.1	Κατανομή μάζας θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 26
3.3.2	Αριθμητική συγκέντρωση σωματιδίων	σελ. 27
3.3.3	Κατανομή μεγέθους θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 29
3.3.4	Ροή σωματιδίων	σελ. 32
3.4	Απομάκρυνση θαλάσσιων αιωρούμενων σωματιδίων	σελ. 32
Κεφάλαιο 4	Περιγραφή του μοντέλου	σελ. 33
4.1	Το μοντέλο PMCAMx	σελ. 33
4.1.1	Προσομοιώσεις μοντέλου	σελ. 34
4.2	Εσωτερικά μοντέλα και διεργασίες του PMCAMx	σελ. 36
4.2.1	Χημεία αέριας φάσης	σελ. 36
4.2.2	Φωτοχημικές αντιδράσεις	σελ. 37
4.2.3	Χημεία υγρής φάσης	σελ. 37
4.2.4	Σχηματισμός αερολυμάτων	σελ. 37
4.3	Δεδομένα εισόδου στο PMCAMx	σελ. 38
4.3.1	Δεδομένα του τύπου επιφανείας της περιοχής μελέτης	σελ. 39
4.3.2	Μετεωρολογικά δεδομένα	σελ. 39
4.3.3	Βιογενείς εκπομπές, MEGAN	σελ. 40
4.3.4	Ανθρωπογενείς εκπομπές, GEMS	σελ. 40
4.3.5	Δεδομένα εκπομπών από πυρκαγιές	σελ. 41
4.3.6	Εκπομπές αερολυμάτων EC/OC (ανθρακούχων)	σελ. 41
4.3.7	Εκπομπές θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 42
4.3.7.1	Η εξίσωση Geever	σελ. 42
4.3.7.2	Η εξίσωση Monahan	σελ. 43
4.3.7.3	Το μοντέλο Smith-Harrison	σελ. 44
4.3.7.4	Εξίσωση παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων	σελ. 44
4.4	Η εφαρμογή του μοντέλου για τα σενάρια του Μαΐου 2008	σελ. 46

Κεφάλαιο 5	Ανάλυση	σελ. 50
5.1	Εισαγωγή	σελ. 50
5.2	Τα θαλάσσια αερολύματα κατά την περίοδο που εξετάζουμε (5 έως 29 Μαΐου 2008)	σελ. 51
5.3	Τα μοντέλα παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων και η εφαρμογή του	σελ. 53
5.4	Ανάλυση αιωρούμενης μάζας για τα SSA και NoSSA	σελ. 57
5.5	Διαφορές ανάμεσα στο σενάριο SSA και στο NoSSA	σελ. 68
5.6	Μεταβολή της συγκέντρωσης νατρίου πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη	σελ. 80
Κεφάλαιο 6	Συμπεράσματα - Συζήτηση	σελ. 90
Βιβλιογραφία		σελ. 92
Ευχαριστίες		σελ. 100

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1	Συστατικά θαλάσσιου άλατος.	σελ. 17
Πίνακας 2	Χαρακτηριστικά ξηρής εναπόθεσης.	σελ. 32
Πίνακας 3	Πηγές ρύπων για το πρόγραμμα GEMS.	σελ. 41
Πίνακας 4α	Σύνολο μάζας εκπομπών για τον Μάιο 2008.	σελ. 45
Πίνακας 4β	Μάζα εκπομπών για τον Μάιο 2008 χωρίς τα θαλάσσια αερολύματα.	σελ. 45
Πίνακας 5	Αρχικό και τελικό υψόμετρο των στρωμάτων του μοντέλου.	σελ. 46
Πίνακας 6	Κατανομή των σωματιδίων σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους.	σελ. 47
Πίνακας 7α	Τα είδη των αερίων που επεξεργάζεται το μοντέλο.	σελ. 48
Πίνακας 7β	Τα είδη των αερολυμάτων που επεξεργάζεται το μοντέλο.	σελ. 49
Πίνακας 8	Η συνολική μέση ημερήσια μάζα PM_{10} για τον Μάιο 2008, στο κατώτερο στρώμα, για το σενάριο SSA.	σελ. 51
Πίνακας 9	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_1 για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 57
Πίνακας 10	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_1 για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 59
Πίνακας 11	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων $PM_{1-2.5}$ για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 60
Πίνακας 12	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων $PM_{1-2.5}$ για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 61
Πίνακας 13	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων $PM_{2.5-10}$ για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 62
Πίνακας 14	Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων $PM_{2.5-10}$ για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.	σελ. 63
Πίνακας 15	Ποσοστιαίες διαφορές των τιμών των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων PM_1 .	σελ. 64
Πίνακας 16	Ποσοστιαίες διαφορές των τιμών των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων $PM_{1-2.5}$.	σελ. 65
Πίνακας 17	Ποσοστιαίες διαφορές των τιμών των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων $PM_{2.5-10}$.	σελ. 66
Πίνακας 18	Περιγραφή των διαδρομών που ακολουθήθηκαν για να μελετηθεί η διεύθυνση των θαλάσσιων αερολυμάτων.	σελ. 80

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1	Η επίδραση διάφορων αερίων και αερολυμάτων στο κλίμα του πλανήτη.	σελ. 7
Σχήμα 2	Κατανομή σωματιδίων ως προς τον αριθμό, την επιφάνεια και τον όγκο που αυτά καταλαμβάνουν, ανάλογα με τη διάμετρό τους.	σελ. 9
Σχήμα 3	Αριθμητική κατανομή και κατανομή όγκου σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους.	σελ. 11
Σχήμα 4	Σωματίδιο θαλάσσιου άλατος από την περιοχή της Ρόδου.	σελ. 13
Σχήμα 5	Δορυφορική εικόνα σκόνης από την έρημο που βρίσκεται πάνω από τα σύνορα Αιγύπτου και Λιβύης.	σελ. 13
Σχήμα 6	Σχηματισμός σωματιδίων film drops και jet drops.	σελ. 18
Σχήμα 7	Κατανομή αριθμού σωματιδίων film drops σε σχέση με την διάμετρό τους.	σελ. 20
Σχήμα 8	Κατανομή αριθμού σωματιδίων film drops σε σχέση με την διάμετρο της φυσαλίδας από την οποία προέρχονται.	σελ. 21
Σχήμα 9	Αριθμός σωματιδίων jet drops σε σχέση με την διάμετρο των φυσαλίδων από τις οποίες προέρχονται.	σελ. 22
Σχήμα 10	Σχέση μεγέθους σωματιδίων jet drops με το μέγεθος των φυσαλίδων από τις οποίες προέρχονται.	σελ. 23
Σχήμα 11	Αριθμητική κατανομή σωματιδίων σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα για διάφορες διαμέτρους.	σελ. 24
Σχήμα 12	Κατανομή ξηρής μάζας σωματιδίων σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα.	σελ. 26
Σχήμα 13	Αριθμητική κατανομή σωματιδίων ανάλογα με την διάμετρό τους.	σελ. 13
Σχήμα 14	Αριθμητική κατανομή σωματιδίων σε διάφορες ταχύτητες ανέμου σε αναλογία με την ακτίνα τους.	σελ. 30-31
Σχήμα 15	Σχηματική απεικόνιση του διαχωρισμού που κάνει το μοντέλο στο χώρο που εξετάζεται.	σελ. 33
Σχήμα 16	Σχηματική λειτουργία του μοντέλου.	σελ. 39
Σχήμα 17	Σχεδιάγραμμα υπολογισμού της ροής μάζας των οργανικών χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Geever et al.	σελ. 43
Σχήμα 18	Η ευρύτερη περιοχή της Ευρωπαϊκής ηπείρου σε Polar Stereographic.	σελ. 47
Σχήμα 19	Οι συγκεντρώσεις νατρίου PM_{10} κατά την 20 ^η Μαΐου 2008 και 6 ^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA.	σελ. 52
Σχήμα 20	Συγκεντρώσεις σωματιδίων νατρίου PM_1 και PM_{1-10} , για την 20 ^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA.	σελ. 54
Σχήμα 21	Συγκεντρώσεις σωματιδίων χλωρίου PM_1 και PM_{1-10} , για την 20 ^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA.	σελ. 55
Σχήμα 22	Συγκεντρώσεις οργανικών σωματιδίων PM_1 και PM_{1-10} , για την 20 ^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA.	σελ. 56
Σχήμα 23	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 και PM_{1-10} για την 6 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 69
Σχήμα 24	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 και PM_{1-10} για την 19 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 70
Σχήμα 25	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων νερού PM_1 και PM_{1-10} για την 6 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 71

Σχήμα 26	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων νερού PM_1 και PM_{1-10} για την 19 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 72
Σχήμα 27	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων CRST PM_1 και PM_{1-10} για την 6 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 73
Σχήμα 28	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων CRST PM_1 και PM_{1-10} για την 19 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 74
Σχήμα 29	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων SO_4 PM_1 και PM_{1-10} για την 6 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 75
Σχήμα 30	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων SO_4 PM_1 και PM_{1-10} για την 19 ^η Μαΐου 2008, και οι ποσοστιαίες διαφορές τους.	σελ. 76
Σχήμα 31	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων NO_3 PM_1 και PM_{1-10} και για τα δύο σενάρια, για την 6 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 77
Σχήμα 32	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων NO_3 PM_1 και PM_{1-10} και για τα δύο σενάρια, για την 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 78
Σχήμα 33	Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων οργανικών ενώσεων PM_1 και για τα δύο σενάρια, για την 6 ^η και 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 79
Σχήμα 34	Απεικόνιση των διαδρομών κατά τις οποίες εξετάζεται η διεισδυτικότητα των θαλάσσιων αερολυμάτων.	σελ. 80
Σχήμα 35	Οι κατανομές σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την 6 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 81
Σχήμα 36	Οι κατανομές σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 82
Σχήμα 37	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Α, κατά την 6 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 83
Σχήμα 38	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Α, κατά την 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 84
Σχήμα 39	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Β, κατά την 6 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 85
Σχήμα 40	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Β, κατά την 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 86
Σχήμα 41	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Γ, κατά την 6 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 87
Σχήμα 42	Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 και PM_{10} για την διαδρομή Γ, κατά την 19 ^η Μαΐου 2008.	σελ. 88

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Θεοφράσειο: Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική».

Το θέμα που πραγματεύεται είναι τα θαλάσσια αερολύματα. Συγκεκριμένα εξετάζει το πώς αυτά επηρεάζουν τις ποσότητες των υπολοίπων αερολυμάτων.

Η ατμόσφαιρα κατά κύριο λόγο αποτελείται από άζωτο, οξυγόνο καθώς και σε πολύ μικρά ποσοστά από άλλα αέρια. Πέρα από την μάζα των αερίων περιλαμβάνονται και ποσότητες σωματιδίων διαφόρων μεγεθών και σύστασης. Η παρουσία των αερολυμάτων είναι σημαντική. Τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα καθώς μπορούν να μειώσουν ή να αυξήσουν την θερμοκρασία ανακλώντας ή απορροφώντας ηλιακή ακτινοβολία [IPCC, 1995]. Επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία ανάλογα με την χημική τους σύσταση. Αερολύματα που περιέχουν οργανικές ενώσεις ευθύνονται για διάφορες καρδιαγγειακές παθήσεις ή παθήσεις του αναπνευστικού [World Health Organization, 2006]. Επίσης η ορατότητα επηρεάζεται από την παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων λόγω της σκέδασης ή της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας [Jacobson et al., 2000] και τέλος είναι ο λόγος που σχηματίζονται βροχοπτώσεις καθώς συμπυκνώνουν στην μάζα τους ποσότητες νερού [Seinfeld and Pandis, 2006].

Ο πληθυσμός τους ανά μονάδα όγκου και η χημική τους σύσταση παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με τις πηγές τους, το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους και την γεωγραφική περιοχή. Ειδικότερα η σύστασή τους διαφέρει και εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο αυτά δημιουργήθηκαν ή/και εκπέμφθηκαν στην ατμόσφαιρα [Σωτηροπούλου, 2006]. Χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε λεπτόκοκκα ή χονδροκόκκα. Ανάλογα με το αν προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή μη χωρίζονται στα ανθρωπογενή και στα βιογενή αντίστοιχα, ενώ ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους χωρίζονται σε πρωτογενή ή δευτερογενή. Η γεωγραφική θέση εκπομπής τους παίζει ρόλο στον διαχωρισμό τους καθώς σωματίδια από διαφορετικές περιοχές έχουν συνήθως διαφορετικά χαρακτηριστικά. Τέλος από τη χημική τους σύσταση μπορούν να διαχωριστούν σε σωματίδια που περιέχουν στη μάζα τους θειικά, αμμωνιακά, νιτρικά, οργανικό ή στοιχειακό άνθρακα κλπ [Seinfeld and Pandis, 2006].

Τα θαλάσσια αερολύματα είναι τα αερολύματα τα οποία δημιουργούνται από μηχανικές διεργασίες, λόγω της επίδρασης του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας. Η δημιουργία κυματισμού οδηγεί στην εκπομπή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Καθώς το νερό καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη τα θαλάσσια αερολύματα είναι αυτά που εκπέμπονται σε μεγαλύτερες ποσότητες στην ατμόσφαιρα σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα αιωρούμενα σωματίδια [Lewis and Schwartz, 2004]. Ο ρόλος των θαλάσσιων αερολυμάτων είναι σημαντικός καθώς συμμετέχουν μαζί με τα υπόλοιπα αερολύματα στην απορρόφηση και σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας, μεταφέρουν διάφορες ποσότητες χημικών ενώσεων στη μάζα τους από τη θάλασσα στη στεριά, επιδρούν διαβρωτικά σε παράκτιες περιοχές, είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό

νεφών πάνω από την ατμόσφαιρα της θάλασσας και είναι σημαντικά για τον καθορισμό του αερολυματικού υπόβαθρου μίας περιοχής.

Για την μελέτη της αλληλεπίδρασης των θαλάσσιων αερολυμάτων χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο ατμοσφαιρικό μοντέλο PMCAMx [Tsimpidi et al., 2010], το οποίο είναι η ειδική έκδοση του προγράμματος CAMx της εταιρείας Environ (Environcorp.com) [Environ, 2010]. Το μοντέλο επιλύει εξισώσεις διασποράς, μεταφοράς (οριζόντιας και κατακόρυφης), απόθεσης και προσομοιώνει φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στην ατμόσφαιρα τόσο για τα αιωρούμενα σωματίδια όσο και στα αέρια. Στο μοντέλο εισήχθησαν μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα επιφανείας εδάφους, εκπομπές αερολυμάτων και αέριων ρύπων τα οποία προετοιμάστηκαν κατάλληλα για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το μοντέλο. Τα δεδομένα των εκπομπών αποτελούν παραδοτέα πακέτα εργασίας στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος για το περιβάλλον EUCAARI (European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions) στο οποίο συμμετείχε και το Πανεπιστήμιο Αιγαίου [Kulmala et al., 2007] και είναι αποτελέσματα συνεργασίας διαφόρων ερευνητικών ομάδων που εργάστηκαν για το πρόγραμμα. Οι εκπομπές των θαλάσσιων αερολυμάτων προσομοιώνονται από τον συνδυασμό τριών διαφορετικών μοντέλων για διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων.

Η εφαρμογή του PMCAMx έγινε για δύο σενάρια έκπομπών. Στο πρώτο περιλαμβάνονται οι εκπομπές θαλάσσιων αερολυμάτων και άλλων ανθρωπογενών και βιογενών εκπομπών, ενώ στο δεύτερο σενάριο περιλαμβάνονται όλες οι εκπομπές εκτός από τα θαλάσσια αερολύματα. Η περιοχή που επιλέχθηκε να μελετηθεί είναι η ευρύτερη περιοχή της Ευρωπαϊκής ηπείρου.

Από το πρόγραμμα εξήχθη ένας πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων (περίπου 700GB για τα δύο σενάρια). Αυτά περιλαμβάνουν τις συγκεντρώσεις των μαζών όλων αερολυμάτων και αέριων ρύπων για όλες τις ημέρες του μήνα που εξετάζεται, ανά ώρα και ανά υψομετρική στρώση για κάθε κελί που το μοντέλο διαχωρίζει την επιφάνεια. Για την πιο εύκολη επεξεργασία των δεδομένων, επιλέχθηκε να αναλυθούν οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των αερολυμάτων, για να έχουμε έτσι μία γενικότερη και πιο κατανοητή εικόνα των διαφορών που παρουσιάζουν τα δύο σενάρια. Η ανάλυση έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Mathematica [Stephen Mangano, 2010] με εργαλεία τα οποία έχουν αναπτυχθεί από το τμήμα περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για να αναλύουν τα δεδομένα τα οποία εξάγει το μοντέλο.

Καταρχάς έγινε μία ανάλυση των PM_{10} για όλες τις ημέρες του Μαΐου 2008 και για τα δύο σενάρια, ώστε να διακρίνουμε ποιες ημέρες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες και μικρότερες ποσότητες αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα. Ο έλεγχος των μαζών των σωματιδίων, μας επέτρεψε να καθορίσουμε ποιες είναι οι μέρες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Για αυτές τις ημέρες έγινε μία ουσιαστικότερη μελέτη των συγκεντρώσεων των σωματιδιακών μαζών. Στην παρούσα εργασία γίνεται μία περεταίρω ανάλυση, επικεντρωμένη στις χωρικές κατανομές των αερολυμάτων για τα δύο προαναφερθέντα σενάρια. Τέλος, για τις μέρες ενδιαφέροντος, έγινε έλεγχος της διεισδυτικότητας των θαλάσσιων αερολυμάτων. Επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές διαδρομές, κατά μήκος των οποίων μελετάται η συγκέντρωση PM_{10} και PM_1 . Ο έλεγχος αυτός έγινε για σωματίδια νατρίου, μιας και παραμένουν σε

σωματιδιακή μορφή συνέχεια, σε αντίθεση με τα σωματίδια γλωρίου, τα οποία μέσω χημικών αντιδράσεων μετατρέπονται σε αέρια [Manders et al., 2010].

Κεφάλαιο 2

Τα αιωρούμενα σωματίδια

2.1 Η ατμόσφαιρα

Κατά κύριο λόγο η ατμόσφαιρα αποτελείται από άζωστο (N_2 , 78%), οξυγόνο (O_2 , 21%) και αργό (Ar, 1%). Τα υπόλοιπα ίχνη αερίων (trace gases) αντιπροσωπεύουν λιγότερο από 1% της σύνθεσής της. Αυτά τα ίχνη αερίων έχουν βασικό ρόλο στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας της Γης καθώς και στις χημικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας. Η ποσότητά τους έχει αλλάξει απότομα και σε αξιοσημείωτο βαθμό τους τελευταίους δύο αιώνες [Le Treut et al., 1998; IPCC, 2001; Seinfeld and Pandis, 2006]. Ουσιαστικά κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα μπορεί να βρεθεί στην ατμόσφαιρα. Η κατηγοριοποίησή τους γίνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- 1) Ενώσεις που περιέχουν θείο,
- 2) Ενώσεις που περιέχουν άζωτο,
- 3) Ενώσεις που περιέχουν άνθρακα,
- 4) Ενώσεις αλογόνων.

2.2 Τα αερολύματα

Πέρα από τα αέρια και τα ίχνη αερίων, η ατμόσφαιρα περιέχει και αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM) σε ποικίλα μεγέθη που μπορεί να είναι από λίγα νανόμετρα (nm) έως μερικές δεκάδες μικρόμετρα (μm) και με διαφορετική σύσταση. Προέρχονται από διάφορες πηγές και σχηματίζονται μηχανικά (πρωτογενή αερολύματα) με διεργασίες όπως η διάβρωση του εδάφους, ο κυματισμός της θάλασσας (sea salt aerosols), η γύρη των φυτών, η ηφαιστειακή δραστηριότητα καθώς και διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου. Τα δευτερογενή αερολύματα δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την διαδικασία μετατροπής αερίων σε σωματίδια. Τα τροποσφαιρικά αερολύματα περιέχουν θείο, αμμωνία, άζωτο, νάτριο, χλώριο, ιχνοστοιχεία μετάλλων, άνθρακα, στοιχεία από την επιφάνεια του εδάφους (crustal) καθώς και νερό [Seinfeld and Pandis, 2006]. Οι εκπομπές αερολυμάτων έχουν αυξηθεί κατά τον τελευταίο αιώνα και έχουν συνδεθεί με προβλήματα υγείας [Dockery et al. 1993].

Τα αιωρούμενα σωματίδια, σύμφωνα με τον τρόπο παραγωγής τους, διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Τα πρωτογενή, είναι αυτά τα οποία εκπέμπονται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα σαν σωματίδια (όπως για παράδειγμα τα αερολύματα από τα θαλάσσια άλατα). Εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αριθμητικές συγκεντρώσεις τους μεταξύ του 0.1 και $1\mu m$. Συγκριτικά όμως με τα δευτερογενή έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις και μεγάλο μέγεθος. Γι' αυτό το λόγο δεν συσσωματώνονται αλλά αναμειγνύονται με άλλα χημικά είδη της αέριας φάσης μέσω ανταλλαγής μάζας [Raes et al., 2000].
- Τα δευτερογενή, είναι αυτά τα οποία δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την μετατροπή αερίων σε σωματίδια μέσω χημικών διεργασιών

(πυρηνοποίηση) ή μέσω της διάλυσης αερίων στη μάζα σωματιδίων που προϋπάρχουν (dilution) [Mather et al., 2003, Seinfeld and Pandis, 2006].

2.2.1 Σχηματισμός Αιωρούμενων Σωματιδίων

Οι διαδικασίες σχηματισμού των αερολυμάτων είναι τρεις:

1. Πυρηνοποίηση (nucleation)

Η πυρηνοποίηση περιγράφει την διαδικασία όπου από την αέρια κατάσταση θα σχηματιστούν πυρήνες και με την σειρά τους αυτοί θα εξελιχθούν σε σωματίδια [Seinfeld and Pandis, 2006]. Ορίζεται ως η μεταβολή φάσεως από την αέρια στην υγρή ή στην στερεή. Η μεταβολή από την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω της δημιουργίας συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων (clusters) [Δασκάλου, 2008].

Η πυρηνοποίηση διακρίνεται σε ομογενή, όταν γίνεται απουσία ξένων σωμάτων, ενώ ετερογενής ονομάζεται η πυρηνοποίηση που γίνεται πάνω στην επιφάνεια ξένου σώματος. Επίσης, ομομοριακή πυρηνοποίηση είναι αυτή που περιλαμβάνει μόνο ένα είδος, ενώ η ετερομοριακή περιλαμβάνει δύο ή περισσότερα [Seinfeld and Pandis, 2006].

2. Συμπύκνωση – Εξάτμιση (condensation – evaporation)

Όταν έχει προηγηθεί πυρηνοποίηση, τότε μόρια αερίων μπορούν να συμπυκνωθούν σε ήδη προϋπάρχοντα αιωρούμενα σωματίδια [Σωτηροπούλου, 2005]. Όσο έχουμε αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων, η συμπύκνωση γίνεται η κυρίαρχη διαδικασία σχηματισμού σωματιδίων από την αέρια φάση [Seinfeld and Pandis, 2006].

3. Συσσωμάτωση (coagulation)

Η συσσωμάτωση προϋποθέτει την ύπαρξη σωματιδίων. Αυτά λόγω της κίνησής τους θα συγκρουστούν το ένα με το άλλο και θα παραμείνουν ενωμένα σχηματίζοντας ένα νέο μεγαλύτερο αιωρούμενο σωματίδιο. Η κίνηση των σωματιδίων μπορεί να οφείλεται σε κίνηση Brown (για σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μm), λόγω τυρβώδους ροής (σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 1 και 10 μm) και λόγω της κατακρήμνισης (σωματίδια μεγαλύτερα των 10 μm). Ο ρυθμός της συσσωμάτωσης εξαρτάται από τις δυνάμεις που καθορίζουν τις σχετικές κινήσεις των σωματιδίων, όσο και από την υδροδυναμική, τις δυνάμεις van der Waals και τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων [Σωτηροπούλου, 2005]. Με την συσσωμάτωση ο αριθμός των σωματιδίων μειώνεται ενώ αυξάνεται το μέγεθός τους.

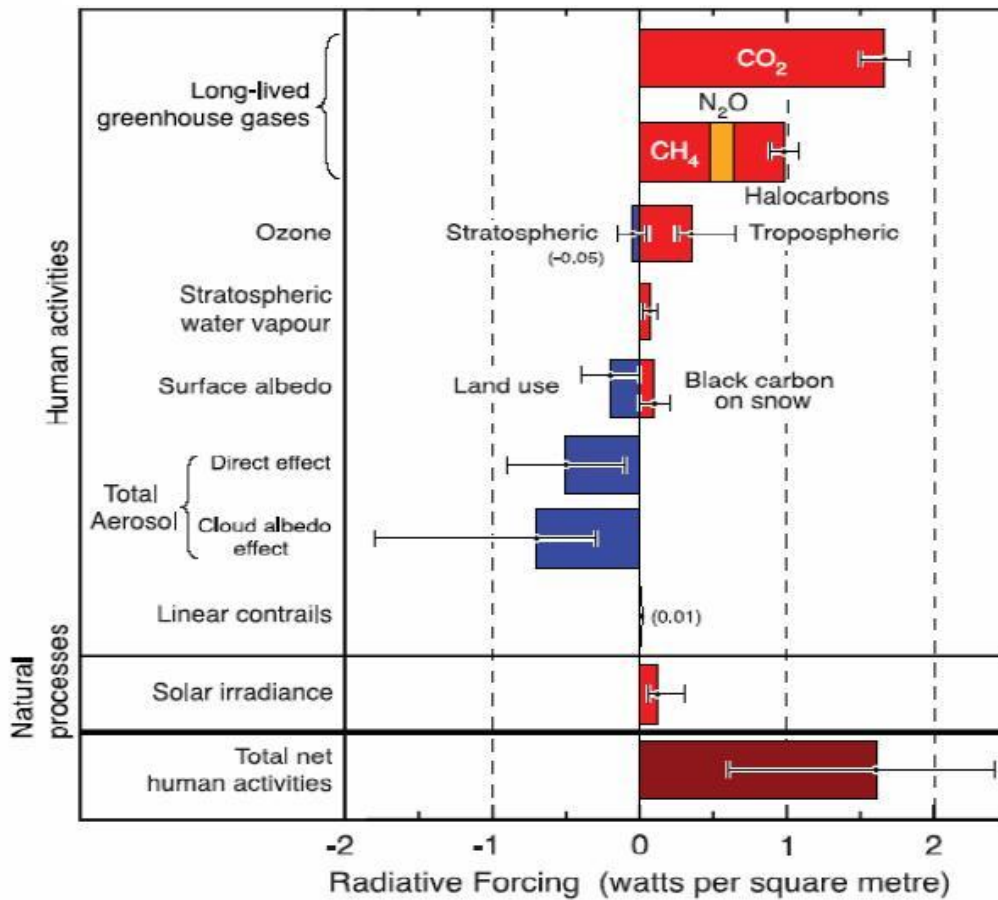
2.2.2 Επιπτώσεις Αερολυμάτων

Αερολύματα που περιέχουν οργανικές ενώσεις μεγάλης τοξικότητας στη μάζα τους έχουν ανιχνευθεί στο περιβάλλον και έχει διαπιστωθεί ότι μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις [Patton et al. 1991]. Ειδικότερα έχει διαπιστωθεί μεταφορά πολυχλωριομένων διφαινυλίων (polychlorinated biphenyls, PCBs) και

οργανογλωριωμένων ενώσεων στην Αρκτική [Tanabe et al, 1984; Tanabe and Tatsukawa, 1986; Hinckley et al, 1991]. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι σε περιοχές με σωματιδιακή ρύπανση υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία [Pearce and Crowards, 1996]. Οι κυριότερες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου έχουν να κάνουν με το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα, όπου μπορούν να επιφέρουν ακόμα και τον θάνατο [Hoffmann, 2000; Van Bree and Chasse, 2000; Environmental Protection Agency, 1999; Pearce and Crowards, 1996; Spurny, 1996; Mather et al., 2003; World Health Organization, 2006]. Κατά την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency) το μέγεθος των σωματιδίων παίζει σημαντικό ρόλο κατά διείσδυσή τους στους πνεύμονες με τα πιο λεπτόκοκκα να έχουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα στο πνευμονικό σύστημα [EEA, 2007].

Τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα. Έχει αναφερθεί ότι η ύπαρξη αυξημένων ποσοτήτων σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της θερμοκρασίας λόγω της ανάκλασης (albedo) ή της αύξησης της θερμοκρασίας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του πλανήτη [IPCC, 1995; Andreae, 2001; Satheesh and Ramanathan, 2000; Tett et al., 1999; Baker, 1997; Σωτηροπούλου, 2006; Jacobson et al, 2000] (Σχήμα 1). Γενικά όμως υπάρχει μία αβεβαιότητα για τον ακριβή τρόπο που τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα. Μία μικρή μεταβολή στην συγκέντρωσή τους ή στις υγροσκοπικές τους ικανότητες (hygroscopic properties) έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάζει τις φυσικές και ανακλαστικές ιδιότητες των νεφών [Twomey, 1977; Albrecht, 1989].

Ισχύς της ακτινοβολίας στο κλίμα από το 1750 έως το 2005



Σχήμα 1: Η επίδραση διάφορων αερίων και αερολυμάτων στο κλίμα του πλανήτη [IPCC, 2007].

Ακόμα μία επίδραση των σωματιδίων είναι ότι αυτά έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν την ορατότητα [Jacobson et al., 2000]. Τα αιωρούμενα σωματίδια σκεδάζουν και απορροφούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επίδρασή τους στην διάδοση της ακτινοβολίας εξαρτάται από τη κατανομή του μεγέθους τους καθώς και από τις χημικές τους ιδιότητες [Pilinis and Li, 1998; Molnar and Meszaros, 2001; Mather et al., 2003]. Επιπλέον, η παρουσία τους μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ουράνιου χρώματος [Haralampidis and Pilinis, 2008].

Τα αερολύματα αποτελούν βασικό παράγοντα για τον σχηματισμό των νεφών. Αν η ατμόσφαιρα δεν περιείχε καθόλου σωματίδια τότε θα ήταν αδύνατος ο σχηματισμός των σύννεφων. Αποτελούν πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (Cloud Condensation Nuclei, CCN), όπου η υγρασία συμπυκνώνεται στα σωματίδια και πέρα από ένα συγκεκριμένο όριο τα σωματίδια γίνονται ασταθή με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν σε τέτοιο μέγεθος που να σχηματίζουν σταγονίδια [Seinfeld and Pandis, 2006].

2.3 Κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων

Η ατμόσφαιρα μπορεί να περιέχει ένα αρκετά μεγάλο αριθμό σωματιδίων που μπορεί να φτάσουν σε 10^7 με 10^8 σωματίδια ανά cm^3 , με την διάμετρο αυτών να ποικίλει κατά μερικές τάξεις μεγέθους από μερικά nm έως περίπου $100\mu\text{m}$ [Seinfeld and Pandis, 2006; Mather et al., 2003].

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων από περιοχή σε περιοχή εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και από τις εκπομπές αυτών και των πρόδρομων τους. Όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή τους, τόσο και οι συγκεντρώσεις τους μειώνονται.

Τα αερολύματα διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την ισοδύναμη διάμετρό τους. Η ισοδύναμη διάμετρος ορίζεται ως η διάμετρος που έχει ένα σφαιρικό σωματίδιο που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα με το σωματίδιο που εξετάζεται [Λαζαρίδης, 2005]. Αυτά με διάμετρο από 1nm έως $2.5\mu\text{m}$ ονομάζονται λεπτόκοκκα (fine) ενώ αυτά με διάμετρο μεγαλύτερη από $2.5\mu\text{m}$ ονομάζονται χονδρόκοκκα (coarse). Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $0.1\mu\text{m}$ ονομάζονται ultrafine [Seinfeld and Pandis, 2006]. Μερικές φορές χαρακτηρίζονται σαν χονδρόκοκκα τα σωματίδια με διάμετρο από $1\mu\text{m}$ και άνω. [Σωτηροπούλου, 2005; Raes et al., 2000].

Συχνά χρησιμοποιούνται οι έννοιες PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{10} . Είναι έννοιες που περιγράφουν την συγκέντρωση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. PM_x (Particulate Matter) αναφέρεται σε σωματίδια που έχουν διάμετρο έως και $x \mu\text{m}$. Έτσι $\text{PM}_{2.5}$ αναφέρεται στο σύνολο της μάζας των σωματιδίων με διάμετρο έως $2.5\mu\text{m}$ και PM_{10} στο σύνολο της μάζας των σωματιδίων με διάμετρο έως $10\mu\text{m}$.

Η σημαντικότητα της κατανομής των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθός τους έγκειται όπως αναφέρθηκε, στο ότι το μέγεθός τους είναι αυτό που τους προσδίδει τις διάφορες φυσικοχημικές τους ικανότητες καθώς και είναι σημαντικό για τον χρόνο παραμονής αυτών στην ατμόσφαιρα. Η κατανομή των σωματιδίων γίνεται πάντα με βάση το μέγεθός τους (διάμετρος) (Σχήμα 2). Επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να διαχωριστούν τα σωματίδια με βάση το μέγεθος του καθενός ξεχωριστά, αυτά χωρίζονται σε ομάδες μεγεθών (size ranges).

Ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται σε ένα size range ΔD_p είναι:

$$N_i = n_i \Delta D_p \quad (2.1),$$

όπου i είναι ένα διάστημα μεγέθους και n_i είναι η τιμή της κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων. Αν θεωρήσουμε ότι $\Delta D_p \rightarrow 0$ με αποτέλεσμα να ισούται με dD_p τότε $n_N(D_p) dD_p$ είναι ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται σε ένα cm^3 αέρα και έχουν μέγεθος από D_p έως $D_p + dD_p$, με μονάδες του $n_N(D_p) \mu\text{m}^{-1}\text{cm}^{-3}$. Ο συνολικός αριθμός των σωματιδίων N_t είναι:

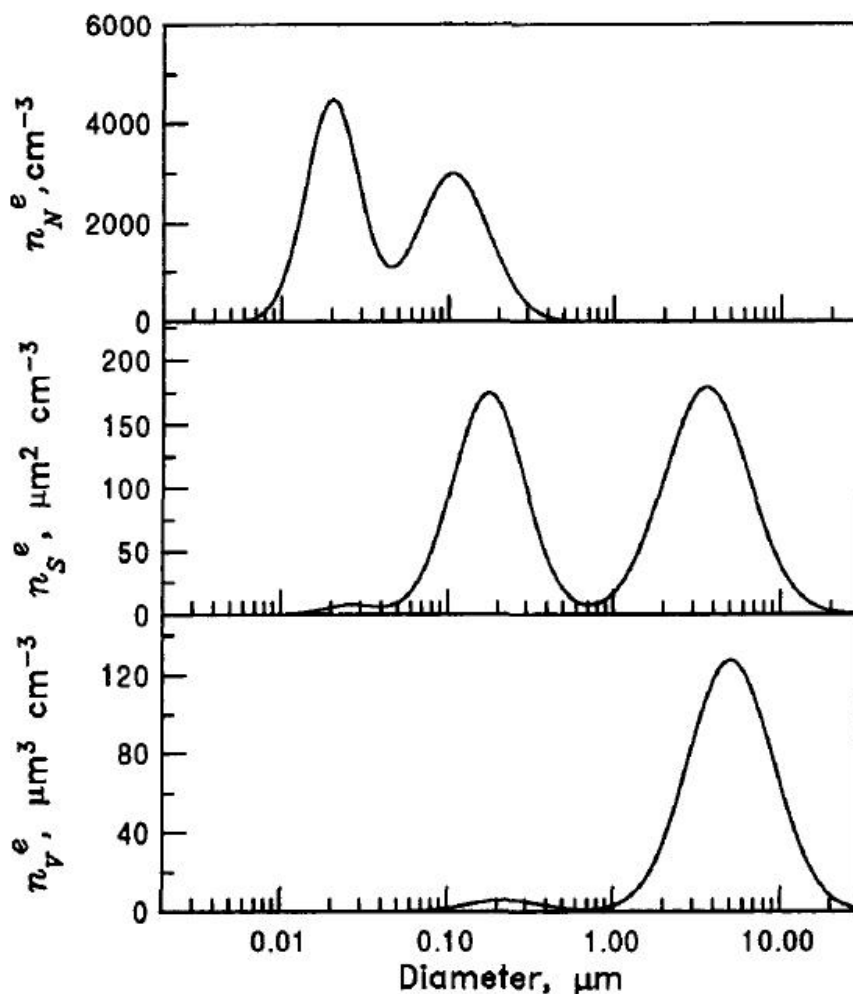
$$N_t = \int_0^{\infty} n_N(D_p) dD_p \quad (2.2)$$

Για μεγέθη από 0μm έως D_p είναι:

$$N(D_p) = \int_0^{D_p} n_N(D_p) dD_p \quad (2.3)$$

ή

$$n_N(D_p) = \frac{dN}{dD_p} \quad (2.4).$$



Σχήμα 2: Κατανομή σωματιδίων ως προς τον αριθμό, την επιφάνεια και τον όγκο που αυτά καταλαμβάνουν, ανάλογα με τη διάμετρό τους [Seinfeld and Pandis, 2006]

Γνωρίζοντας την αριθμητική κατανομή των σωματιδίων μπορούμε να γνωρίζουμε και την κατανομή της επιφάνειάς τους $n_s(D_p)$. $n_s(D_p)dD_p$ είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα σωματίδια μεγέθους από D_p έως $D_p + dD_p$ σε ένα cm^3 αέρα, θεωρώντας πως τα σωματίδια που εξετάζονται έχουν σφαιρικό σχήμα. Επίσης όλα τα σωματίδια στο πολύ μικρό διάστημα dD_p θεωρούμε πως έχουν την ίδια διάμετρο D_p . Οπότε το καθένα καταλαμβάνει επιφάνεια ίση με πD_p^2 .

Στο size range που εξετάζουμε υπάρχουν $n_N(D_p)dD_p$ σωματίδια, οπότε και η επιφάνεια τους είναι:

$$n_s(D_p) = \pi D_p^2 n_N(D_p) \text{ (}\mu\text{m cm}^{-3}\text{)} \quad (2.5).$$

Η συνολική τους επιφάνεια είναι:

$$S_t = \pi \int_0^\infty D_p^2 n_N(D_p)dD_p = \int_0^\infty n_s(D_p)dD_p \text{ (}\mu\text{m}^2 \text{cm}^{-3}\text{)} \quad (2.6).$$

Ομοίως και η κατανομή του όγκου των σωματιδίων είναι:

$$n_v(D_p) = \frac{\pi}{6} D_p^3 n_N(D_p) \text{ (}\mu\text{m}^3 \text{cm}^{-3}\text{)} \quad (2.7),$$

οπότε ο συνολικός όγκος τους είναι:

$$V_t = \frac{\pi}{6} \int_0^\infty D_p^3 n_N(D_p)dD_p = \int_0^\infty n_v(D_p)dD_p \text{ (}\mu\text{m}^3 \text{cm}^{-3}\text{)} \quad (2.8).$$

Αν τα σωματίδια έχουν όλα την ίδια πυκνότητα ρ τότε (gr cm^{-3}) τότε η κατανομή της μάζας τους $n_M(D_p)$ είναι:

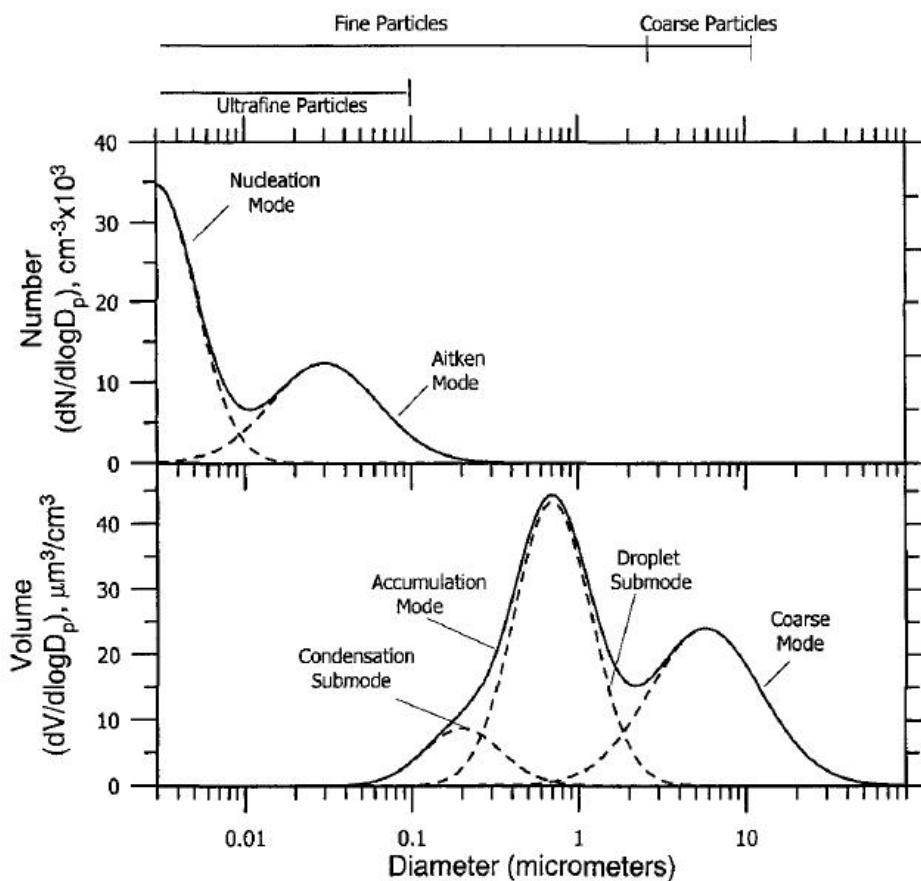
$$n_M(D_p) = \left(\frac{\rho}{10^6}\right) n_v(D_p) = \left(\frac{\rho}{10^6}\right) \left(\frac{\pi}{6}\right) D_p^3 n_N(D_p) \text{ (}\mu\text{g } \mu\text{m}^{-1} \text{cm}^{-3}\text{)} \quad (2.9).$$

Το μέγεθος των σωματιδίων και η πυκνότητά τους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις φυσικές και χημικές ιδιότητες τις οποίες αυτά θα έχουν καθώς και στον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Ο Junge [1963] αναφέρει πως σωματίδια από φερτές ύλες με διάμετρο της τάξης του $1\mu\text{m}$, πυκνότητα ίση με 2000kg/m^3 και σε ύψος 5km θα παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για περίπου 220 μέρες, σε αντίθεση με σωματίδια διαμέτρου $20\mu\text{m}$, τα οποία θα παραμείνουν μόνο για 4 μέρες.

Τα λεπτόκοκκα (fine) σωματίδια χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες: στη πυρηνική (nuclei mode) και στη συσσωρευτική (accumulation mode). Η πυρηνική (nuclei) περιλαμβάνει σωματίδια με διάμετρο από $0,001$ έως $0,1 \mu\text{m}$ και χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: τους πολύ μικρούς πυρήνες (ultrafine nuclei) με διάμετρο που κυμαίνεται από $0,001$ έως $0,01 \mu\text{m}$ και τους πυρήνες Aitken (Aitken nuclei) που κυμαίνονται από $0,01$ έως $0,1 \mu\text{m}$ [Σωτηροπούλου, 2005]. Τα σωματίδια της κατηγορίας πυρήνων Aitken κάνουν την εμφάνισή τους στην ατμόσφαιρα σαν πρωτογενή αερολύματα, όπου δευτερογενή υλικά συμπυκνώνονται πάνω τους, όπως αυτά μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα. Αν και η κατηγορία των πυρήνων είναι αριθμητικά πολύ μεγαλύτερη από την συσσωρευτική κατηγορία, λόγω του πολύ μικρού μεγέθους των σωματιδίων η συνολική τους μάζα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με αυτά της συσσωρευτικής.

Τα σωματίδια της συσσωρευτικής κατηγορίας είναι αποτέλεσμα πρωτογενών εκπομπών, συμπύκνωσης θεικών, νιτρικών και οργανικών αλάτων στην αέρια φάση και συσσωμάτωσης (coagulation) μικρότερων σωματιδίων με αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους τους. Η κατηγορία της συσσώρευσης περιλαμβάνει τις υποκατηγορίες της συμπύκνωσης (condensation submode) και των σταγονιδίων (droplet submode). Οι κυριότεροι μηχανισμοί μεταφοράς των πυρήνων στη συσσωρευτική κατηγορία είναι η συσσωμάτωση και η αύξηση του μεγέθους με συμπύκνωση (condensation) των πτητικών που έχουν σχηματιστεί μέσω χημικών αντιδράσεων πάνω σε προϋπάρχοντα σωματίδια. Η συσσωμάτωση είναι μία πολύ αργή διαδικασία η οποία δεν μεταφέρει σωματίδια από την λεπτόκοκκη στην χονδρόκοκκη μορφή [Seinfeld and Pandis, 2006] (Σχήμα 3).

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse mode) παράγονται από μηχανικές διεργασίες όπως ο αέρας και η αποσάθρωση. Τα σωματίδια αυτής της κατηγορίας είναι κυρίως πρωτογενή αλλά μπορούν να υπάρξουν και δευτερογενή από θειικά και νιτρικά άλατα.



Σχήμα 3: Αριθμητική κατανομή και κατανομή όγκου σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους. Στο ανώτερο σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται ο αριθμός των σωματιδίων στην λεπτόκοκκη μορφή και πως αυτός μειώνεται καθώς αυξάνει το μέγεθός τους. Στο κατώτερο σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται η κατανομή του όγκου των σωματιδίων, σε όλες τις κατηγορίες, από την συσσωρευτική έως την χονδρόκοκκη [Seinfeld and Pandis, 2006].

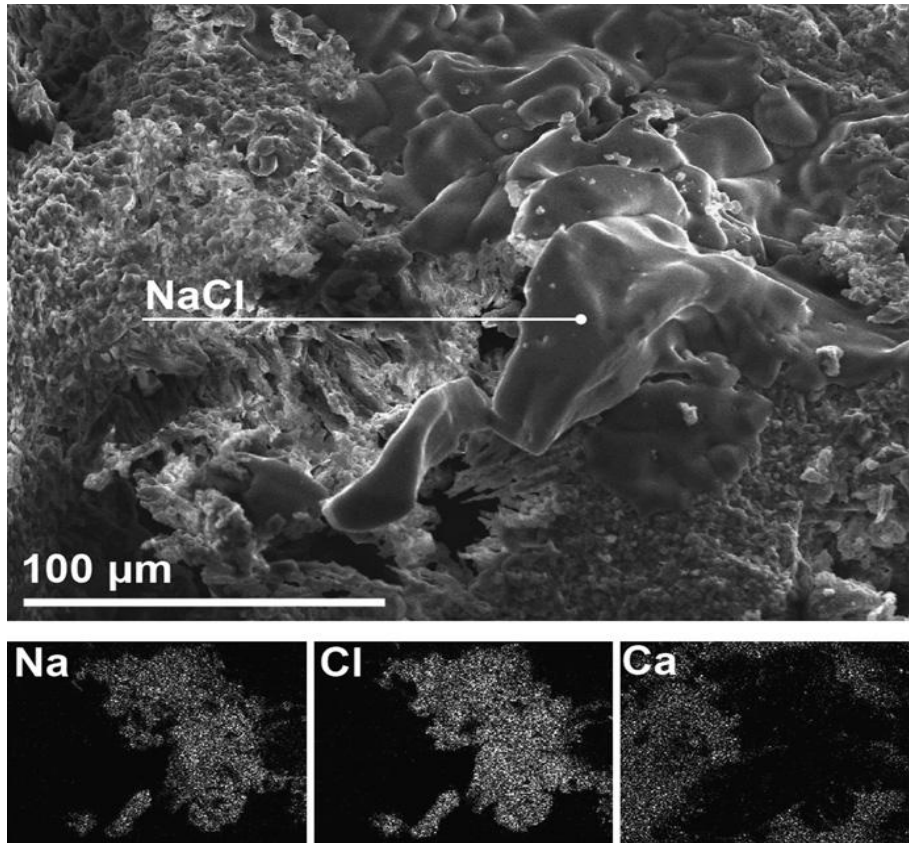
2.4 Κατηγορίες αερολυμάτων

Κυριότερος διαχωρισμός των αερολυμάτων είναι αυτός που τα διαχωρίζει είτε σε ανθρωπογενή είτε σε βιογενή.

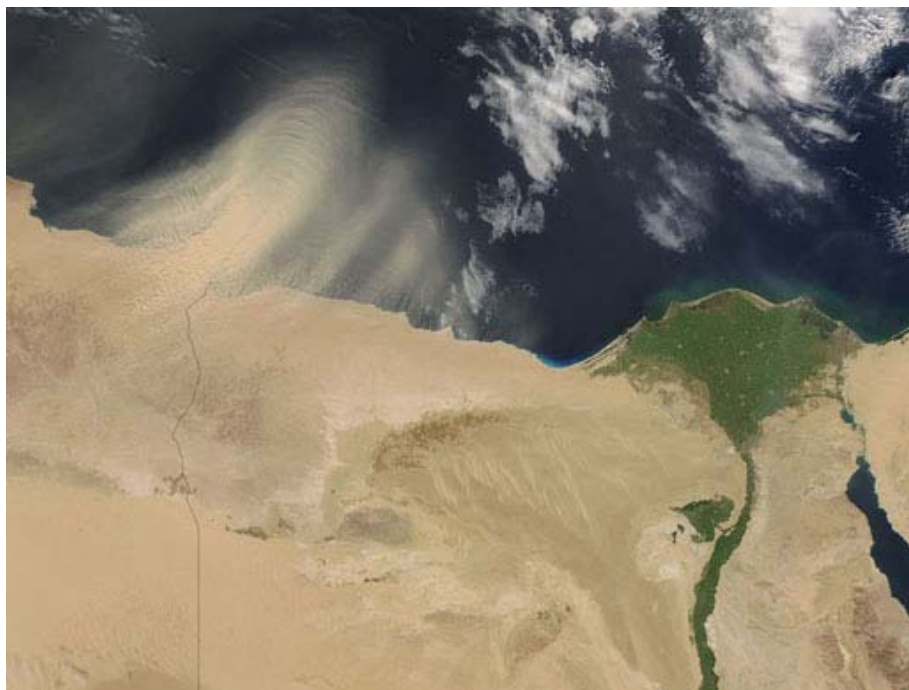
- Τα ανθρωπογενή αερολύματα προέρχονται αποκλειστικά από ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτές μπορεί να είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, η καύσεις και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Βιογενή αερολύματα είναι τα αερολύματα που προέρχονται από πηγές που δεν έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτά μπορεί να προέρχονται από πυρκαγιές σε δάση, από φυτά (γύρη που μεταφέρεται με τον άνεμο), θαλάσσιο σπρέι, την πανίδα και άλλες πηγές.

Ανάλογα με το σημείο εκπομπής τους τα αερολύματα διαχωρίζονται σε περαιτέρω κατηγορίες:

- τα θαλάσσια αερολύματα (sea salt aerosols) που παράγονται από μηχανισμούς που έχουν να κάνουν με την κίνηση του ανέμου και τη δημιουργία κυματισμού και αφρισμού (Σχήμα 4),
- τα αερολύματα αγροτικών περιοχών (rural aerosols) που δημιουργούνται από δραστηριότητες που έχουν να κάνουν κυρίως με την γεωργία,
- αερολύματα απομακρυσμένων περιοχών (remote areas aerosols) που είναι είτε βιογενούς προέλευσης, είτε μηχανικής,
- αστικών περιοχών (urban aerosols) που δημιουργούνται κυρίως από δραστηριότητες του ανθρώπου και προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις καύσεις,
- πολικά αερολύματα (polar aerosols) που έχουν κυρίως στη μάζα τους θειικά άλατα, θαλάσσια άλατα καθώς και σωματίδια που παράγονται σε μικρότερα γεωγραφικά ύψη και μεταφέρονται στους πόλους,
- ηφαιστειογενή αερολύματα που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα κατά την ηφαιστειακή δραστηριότητα,
- σωματίδια που εκπέμπονται από ερήμους (desert aerosols). Αυτά είναι κυρίως μεγάλου μεγέθους σωματίδια και δημιουργούνται από την κίνηση του ανέμου και τον παρασυρμό από την επιφάνεια. Από τα σωματίδια που εκπέμπονται από τις ερήμους, μόνο όσα είναι μικρότερα από 10μm έχουν την δυνατότητα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις (Σχήμα 5).



Σχήμα 4: Σωματίδιο θαλάσσιου άλατος από την περιοχή της Ρόδου [Stefanis et al., 2009].



Σχήμα 5: Δορυφορική εικόνα σκόνης από την έρημο που βρίσκεται πάνω από τα σύνορα Αιγύπτου και Λιβύης
Πηγή: Nasa.gov

Τέλος στην ατμόσφαιρα συναντάμε και τα ελεύθερα τροποσφαιρικά αερολύματα στα μεσαία και μεγάλα υψόμετρα, πάνω από τα νέφη. Οι χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε εκείνα τα υψόμετρα και η μικρή επιφάνεια των αερολυμάτων κάνουν τα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας κατάλληλα για τον σχηματισμό νέων σωματιδίων.

Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την χημική τους σύσταση. Αυτά μπορεί να είναι:

- Αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν θαλάσσιο αλάτι (NaCl), και δημιουργούνται από την επίδραση του αέρα στην θάλασσα.
- Σωματίδια που περιέχουν θείο (θειικά αερολύματα) με κύρια πηγή τους την εκπομπή SO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων καθώς και από φυσικές πηγές όπως τα ηφαίστεια ή το φυτοπλαγκτόν. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα θεωρείται η πιο σημαντική πηγή δραστηριότητα παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων διότι αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο ακτινοβολίας του πλανήτη.
- Σωματίδια που περιέχουν άνθρακα σε οργανική μορφή και «μαύρο άνθρακα» (black carbon) που είναι πρωτογενές αερόλυμα που εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα από διαδικασίες ατελούς καύσης. Η κύρια πηγή ανθρακικών αερολυμάτων είναι η καύση βιομάζας και ορυκτών καυσίμων και η ατμοσφαιρική οξείδωση βιογενών και ανθρωπογενών πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds, VOCs). Γενικά τα οργανικά αερολύματα συνεισφέρουν περίπου στο 20 με 50% της συνολικής μάζας των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων στα μεσαία υψόμετρα των ηπειρωτικών περιοχών [Tsimpidi et al., 2010].
- Αερολύματα που περιέχουν άζωτο (νιτρικά αερολύματα) και σχηματίζονται όταν τα θειικά αεροζόλ έχουν ουδετεροποιηθεί πλήρως και υπάρχει περίσσεια αμμωνίας στην ατμόσφαιρα.
- Αιωρούμενα σωματίδια από εδαφική σκόνη. Προέρχονται από διάφορες δραστηριότητες όπως οι γεωργικές, η παραγωγή τσιμέντου και οι μεταφορές, καθώς και από ανασήκωση της σκόνης λόγω του αέρα (συνήθως σε χονδρόκοκκα μεγέθη). Κυριότερες θέσης παραγωγής εδαφικής σκόνης είναι οι έρημοι [Δασκάλου, 2008].

2.5 Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα είναι δύο: η ξηρή και η υγρή εναπόθεση.

Η ξηρή εναπόθεση είναι η μεταφορά των σωματιδίων στο έδαφος χωρίς να υπάρχει κατακρήμνιση. Εξαρτάται από την τυρβώδη ροή της ατμόσφαιρας, τις χημικές ιδιότητες των σωματιδίων καθώς και το είδος της επιφάνειας όπου αυτά θα εναποτεθούν [Seinfeld and Pandis, 2006]. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον δείκτη της εναπόθεσης είναι το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων, η πυκνότητά τους, το μέγεθός τους και η υγροσκοπικότητά τους. Ρόλο επίσης παίζουν η σχετική υγρασία και η επιφάνεια στην οποία θα εναποτεθούν τα σωματίδια.

Σωματίδια όπου το μέγεθός τους ξεπερνά το 1 μ m εναποτίθενται υπό την επίδραση της βαρύτητας. Όσο το μέγεθος των σωματιδίων μικραίνει τόσο και η βαρύτητα επιδρά λιγότερο στην εναπόθεσή τους [Raes et al., 2000]. Όταν τα σωματίδια φτάσουν το έδαφος τότε το μέγεθός τους, το σχήμα τους, η πυκνότητά τους και το είδος του εδάφους παίζουν ρόλο στην συγκράτησή τους [Seinfeld and Pandis, 2006].

Σωματίδια με διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 0.1 και 1 μ m, όταν έχουν τις απαραίτητες ιδιότητες να συγκεντρώνουν νερό στη μάζα τους (υγροσκοπικές ιδιότητες) σχηματίζουν νέφη (πυρήνες συμπύκνωσης) [Raes et al., 2000; Pierce and Adams, 2006]. Όταν συγκεντρωθεί νερό σε τέτοιο βαθμό που τα σωματίδια στο νέφος είναι ασταθή, τότε επέρχεται η κατακρήμνισή τους. Η ικανότητα των ίδιων των σωματιδίων να δημιουργούν νέφη εξαρτάται από την κρίσιμη τιμή του υπερκορεσμού τους σε υγρασία καθώς και από το μέγεθος των σωματιδίων [Gong et al., 1997]. Η υγρή εναπόθεση είναι η μετακίνηση των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα προς την επιφάνεια είτε μέσω της αφαίρεσής τους κάτω από το νέφος (λόγω βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης), είτε μέσω του ίδιου του σχηματισμού νεφών (below-cloud, in-cloud scavenging). Με αυτήν, τα αερολύματα μεταφέρονται στην επιφάνεια του εδάφους μέσω της βροχής, του χιονιού ή των σταγόνων της ομίχλης (hydrometeors). Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, την κατανομή των σταγόνων, το περιεχόμενο νερό, την ένταση της βροχόπτωσης, την θερμοκρασία καθώς και τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των αερλυμάτων. Η απομάκρυνση των σωματιδίων μέσω του σχηματισμού νεφών είναι σημαντική διαδικασία για την αφαίρεση σωματιδίων με μικρό μέγεθος, ενώ η κατακρήμνιση λόγω βροχόπτωσης είναι μία διαδικασία που αφαιρεί σωματίδια μεγάλων διαμέτρων [Lewis and Schwartz, 2004].

Κεφάλαιο 3

Τα θαλάσσια αερολύματα

3.1 Εισαγωγή

Τα θαλάσσια αερολύματα (marine aerosols, sea salt aerosols, SSAs) δημιουργούνται κυρίως μέσω μηχανικών διεργασιών, λόγω της επαφής του ανέμου με την επιφάνεια της θάλασσας. Ο άνεμος προσκρούει πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας όπου και σχηματίζει κυματισμούς. Μέρος των κυματισμών, διαχωρίζεται από την επιφάνεια με τη μορφή σταγονιδίων (θαλάσσιο spray) και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, οι φυσαλίδες που σχηματίζονται, λόγω της άνωσης, ανέρχονται στην επιφάνεια, δημιουργούν αφρισμό (whitecap) και στην συνέχεια σπάνε, με αποτέλεσμα να διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα θαλασσινό νερό.

Τα θαλάσσια αερολύματα αποτελούνται από διάφορα στοιχεία, οργανικά και ανόργανα όπως νερό από τη θάλασσα, θαλάσσιο άλας, σκόνη και σωματίδια από ηφαίστεια, γύρη και άλλα σωματίδια βιολογικής προέλευσης, θειικά άλατα, νιτρικά άλατα καθώς και συνδυασμούς από οργανικά στοιχεία όπως αιθάλη (black carbon) και άλλα ανθρακογενούς προελεύσεως [Lewis and Schwartz, 2004].

Μία εκτίμηση της μάζας θαλάσσιων αερολυμάτων όπου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα σε ετήσια βάση είναι περίπου 0.3 έως 30 Tg [Lewis and Schwartz, 2004]. Αν και οι συγκεντρώσεις τους είναι μικρές σε σχέση με αυτές των αερολυμάτων που παράγονται σε ηπειρωτικές περιοχές, ωστόσο ο ρόλος τους είναι σημαντικός, μιας και περίπου το 70% της Γης είναι καλυμμένο από τις θάλασσες.

3.1.1 Ο ρόλος των θαλάσσιων αερολυμάτων

Οι ωκεανοί παράγουν το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως [Putaud et al., 2004]. Η δράση τους στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος, η συγκέντρωσή τους, ο χρόνος παραμονής τους καθώς και η έκταση της κατακόρυφης ανάμιξής τους.

Τα θαλάσσια αερολύματα απορροφούν και σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία [Charlson et al., 1992; Gong et al., 1997] με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και την ανακλαστικότητα (albedo) του πλανήτη [Twomey, 1974]. Μπορούν να μεταφέρουν στην μάζα τους διάφορες ενώσεις και γι' αυτό το λόγο παίζουν σημαντικό ρόλο στους κύκλους σημαντικών χημικών στοιχείων όπως το Cl, Br και S [Gong, et al., 1997]. Τα αλογόνα Br, Cl παίζουν με τη σειρά τους ρόλο στην μείωση του όζοντος και στην καταστροφή υδρογονανθράκων με μικρό μοριακό βάρος [Jobson et al., 1994; Finlayson-Pitts, 2003; Knipping and Dabdub, 2003]. Λόγω των θαλάσσιων αερολυμάτων οφείλει τον σχηματισμό του ένα μεγάλο μέρος των θεικών αλάτων, διότι είναι σημαντικά μέσα αποθήκευσης του SO₂ [Gurciullo et al., 1999].

Μπορούν να εμπλουτιστούν με τοξίνες, ρυπαντικές ουσίες, βακτήρια και ιούς, και μπορούν να τα μεταφέρουν σε κοντινές αποστάσεις. Σημαντική θεωρείται και η συνεισφορά τους στην μεταφορά και απόθεση οξέων σε ευάλωτα οικοσυστήματα [Van Loon et al., 2005]. Η σύσταση των θαλάσσιων αερολυμάτων δίνει μία εικόνα

της σύστασης του θαλάσσιου νερού στην επιφάνεια [Seinfeld and Pandis, 2006] (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Συστατικά θαλάσσιου άλατος [Seinfeld and Pandis, 2006].

Είδη	Ποσοστό επί του βάρους (%)
Cl	55.04
Na	30.61
SO ₄ ²⁻	7.68
Mg	3.69
Ca	1.16
K	1.1
Br	0.19
C	$3.5 \times 10^{-3} - 8.7 \times 10^{-3}$
Al	$4.6 \times 10^{-3} - 5.5 \times 10^{-3}$
Ba	1.4×10^{-4}
I	1.4×10^{-4}
Si	$1.4 \times 10^{-4} - 9.4 \times 10^{-3}$
NO ₃ ⁻	$3 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-3}$
Fe	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$
Zn	$1.4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$
Pb	$1.2 \times 10^{-5} - 1.4 \times 10^{-5}$
NH ₄ ⁺	$1.4 \times 10^{-6} - 1.4 \times 10^{-5}$
Mn	$2.5 \times 10^{-6} - 2.5 \times 10^{-5}$
V	9×10^{-7}

Επιπλέον, σημαντική είναι η διάβρωση που επιφέρουν τα θαλάσσια αερολύματα σε παράκτιες περιοχές [Muster and Cole, 2005]. Στα θαλάσσια αερολύματα οφείλονται και φθορές σε κτίσματα παράκτιων περιοχών [Hossain et al, 2009; Stefanis et al. 2009].

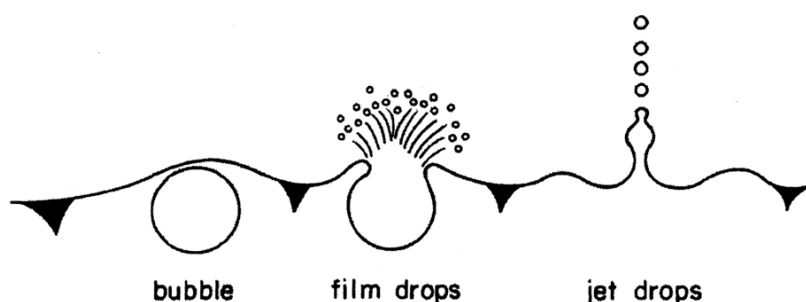
Τέλος, τα θαλάσσια αιωρούμενα σωματίδια είναι σημαντικός παράγοντας για τον σχηματισμό των νεφών στην ατμόσφαιρα πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές. Ρόλο στον σχηματισμό των νεφών παίζει το μέγεθος των σωματιδίων, οι τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες καθώς και η παρουσία και άλλων αιωρούμενων σωματιδίων πέρα των θαλάσσιων. Η μείωση της θερμοκρασίας αυξάνει τη σχετική υγρασία (Relative Humidity, RH). Σταγονίδια νερού που έχουν εξατμιστεί, συμπυκνώνονται πάνω στα σωματίδια με συνέπεια να μεγαλώσει το μέγεθός τους. Όταν τα σωματίδια ξεπεράσουν μία κρίσιμη τιμή της διαμέτρου τους, τότε «ενεργοποιούνται», δηλαδή σχηματίζουν κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι). Οι τιμές του RH που οδηγούν στον σχηματισμό κατακρημνισμάτων είναι περίπου 0.1% έως 0.5% πάνω από το μέγιστο (100%) [Lewis and Schwartz, 2004].

3.2 Σχηματισμός θαλάσσιων αερολυμάτων

Ο βασικός μηχανισμός παραγωγής των θαλάσσιων αερολυμάτων είναι η πρόσκρουση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας. Όταν η ταχύτητα του ανέμου

είναι περίπου 5m/sec, μετρούμενη σε ύψος περίπου 10 μέτρων από την επιφάνεια, η ισχύς του δημιουργεί κίνηση με μεγαλύτερη ταχύτητα στο υπερκείμενο στρώμα νερού της επιφανείας, απ' ότι στο υποκείμενο. Έτσι έχουμε τον σχηματισμό κύματος, το οποίο στη συνέχεια διαχωρίζεται λόγω της βαρύτητας. Αυτό προκαλεί αφρισμό και τον σχηματισμό φυσαλίδων, οι οποίες λόγω της άνωσης θα ανέλθουν προς την επιφάνεια του νερού, όπου και θα διαρρηχθούν [Lewis and Schwartz, 2004].

Αυτός ο τρόπος σχηματισμού ονομάζεται whitecap formation [Gong et al., 1997]. Η διάρρηξη των φυσαλίδων θα οδηγήσει στην διοχέτευση στην ατμόσφαιρα θαλάσσιων αερολυμάτων. Σε δεύτερη φάση, με το που θα διαρρηχθεί η φυσαλίδα, δημιουργείται κοιλότητα, όπου και ποσότητα νερού θα την καλύψει. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται εκ νέου σταγονίδια που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Ο Blanchard [1963] ονόμασε τα σωματίδια που προέρχονται από τον πρώτο τρόπο σχηματισμού σαν σωματίδια film drop και από τον δεύτερο σαν σωματίδια jet drop. Αν και τα σωματίδια film drops είναι μικρότερα σε μέγεθος απ' ότι τα jet drops, αριθμητικά είναι πολύ περισσότερα [Lewis and Schwartz, 2004] (Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Σχηματισμός film drops και jet drops.
Πηγή: imformaworld.com

Αναλυτικότερα, όταν μία φυσαλίδα φθάσει στην επιφάνεια αρχικά ξεπερνά την θέση ισορροπίας της για μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου. Έπειτα η φυσαλίδα σταθεροποιείται στην θέση ισορροπίας, όπου ένα μέρος της κοιλότητάς της είναι σε χαμηλότερη θέση από αυτή και παραμένει από μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου έως και μερικά δευτερόλεπτα. Με το πέρασμα του χρόνου, το άνω μέρος της φυσαλίδας γίνεται λεπτότερο και τελικά διαρρηγνύεται, σχηματίζοντας σταγονίδια που θα εκτοξευθούν προς διάφορες γωνίες. Η διάρρηξη διαρκεί μερικές δεκάδες μικρά του δευτερολέπτου και τα film drops εκτοξεύονται με ταχύτητες που μπορούν να φθάσουν και τα 10m/sec [Lewis and Schwartz, 2004].

Μέγεθος φυσαλίδας: Πριν τον σχηματισμό σταγονιδίων σχηματίζονται οι φυσαλίδες, όπου θα διαρρηχθούν για να σχηματιστούν τα jet και film drops. Το μέγεθος της φυσαλίδας αναφέρεται σαν R_{bub} (mm) και είναι η διάμετρό της. Ο αριθμός των jet drops που σχηματίζονται αναφέρεται σαν N_{jet} και των film drops σαν N_{film} .

Η βασικότερη παράμετρος για τον σχηματισμό film και jet drops είναι το μέγεθος των φυσαλίδων. Φυσαλίδες με διάμετρο μικρότερη από 0.5mm πιστεύεται ότι σχηματίζουν μόνο jet drops, ενώ φυσαλίδες με διάμετρο μεγαλύτερη των 3mm σχηματίζουν μόνο film drops. Για ενδιάμεσες διαμέτρους έχουμε και τους δύο σχηματισμούς. Άλλοι παράμετροι που παίζουν ρόλο είναι η επιφανειακή τάση, το ιξώδες και η πυκνότητα του υγρού [Lewis and Schwartz, 2004].

Σε μερικά δέκατα του δευτερολέπτου το κενό που άφησε η φυσαλίδα, αναπληρώνεται από νερό λόγω της επιφανειακής τάσης. Αυτό και σε συνδυασμό με την επιτάχυνση που έχει το νερό κατά την κίνησή του για να αναπληρώσει το κενό, λόγω της βαρύτητας, δημιουργεί μία στήλη νερού που υψώνεται κατακόρυφα με πάχος 5-10% της διαμέτρου της φυσαλίδας. Η στήλη του νερού απομακρύνεται περίπου όσο ήταν η διάμετρος της φυσαλίδας και αν το μήκος της μεγαλώσει παραπάνω, τότε γίνεται ασταθής, με αποτέλεσμα ένα ή περισσότερα σταγονίδια να εκτοξευθούν κατακόρυφα. Τα jet drops κατά την δημιουργία τους έχουν ταχύτητες μερικών δεκάδων μέτρων το δευτερόλεπτο και πολύ γρήγορα φθάνουν στο μέγιστο ύψος τους, το οποίο εξαρτάται από την διάμετρό τους, την ταχύτητα με την οποία εκτοξεύονται και την ταχύτητα του ανέμου. Σταγονίδια που φθάνουν σε ύψος μεγαλύτερο από αυτό του οριακού στρώματος (viscous boundary layer) μπορεί να παρασυρθούν στην ατμόσφαιρα από στροβιλώδεις δίνες (εξαρτάται πάντα από το μέγεθός τους και την ταχύτητα του ανέμου), αν και σταγονίδια μεγαλύτερα των 25μm (σε σχετική υγρασία 80%) είναι δύσκολο να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα πάνω από ένα δευτερόλεπτο (εκτός αν μεταφερθούν σε ανώτερο ύψος λόγω παρασυρμού από δίνες).

Σχετική υγρασία 80% θεωρείται ότι είναι η τυπική υγρασία πάνω από την επιφάνεια των ωκεανών [Lewis and Schwartz, 2004].

Ακτίνα σωματιδίου r: Ανάλογα με την ποσότητα του νερού που είναι διαλυμένο στην μάζα του σωματιδίου αυξάνει και το μέγεθός του. Ακτίνα σωματιδίου r_{80} είναι η ακτίνα που έχει ένα σωματίδιο σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα, σε σχετική υγρασία ατμόσφαιρας 80%. Τα θαλάσσια αερολύματα θεωρούνται ότι είναι υγροσκοπικά, δηλαδή ότι ανταλλάζουν υγρασία με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, με αποτέλεσμα να αλλάζουν την ποσότητα νερού που περιέχουν και σαν συνέπεια και την διάμετρό τους. Γενικά ισχύει ότι:

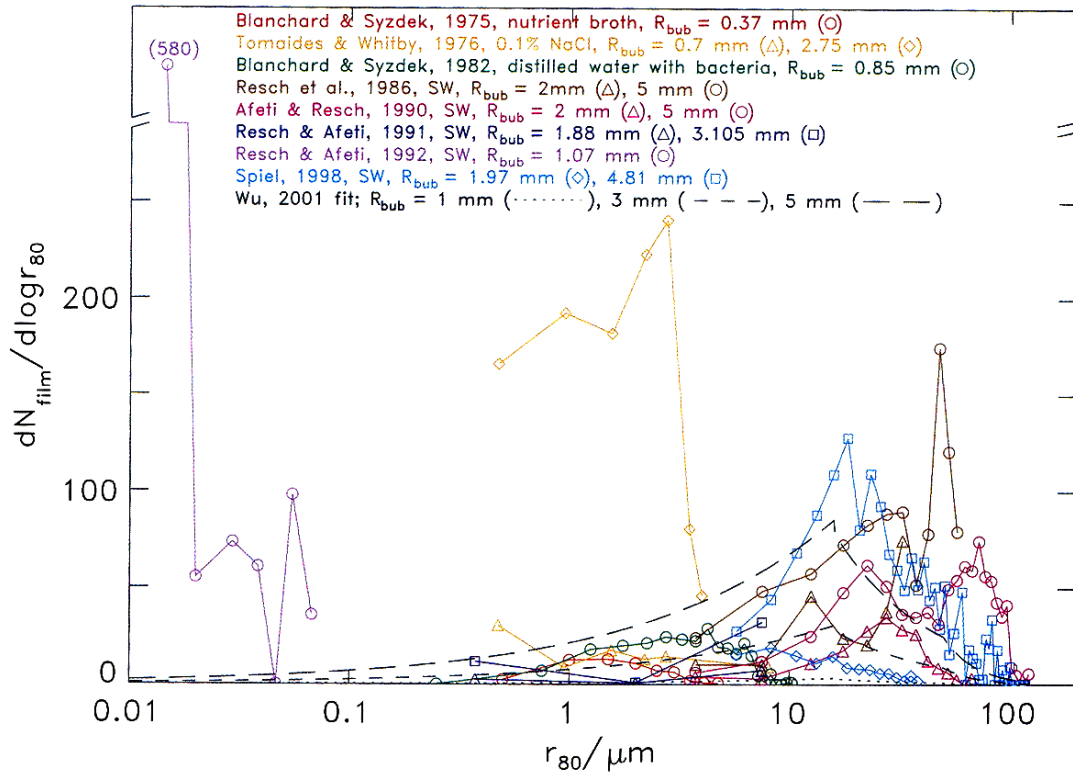
$$r_{80} \approx 2 r_{dry} \quad (3.1),$$

όπου r_{dry} είναι η ακτίνα του σωματιδίου σε RH 0%.

3.2.1 Film drops

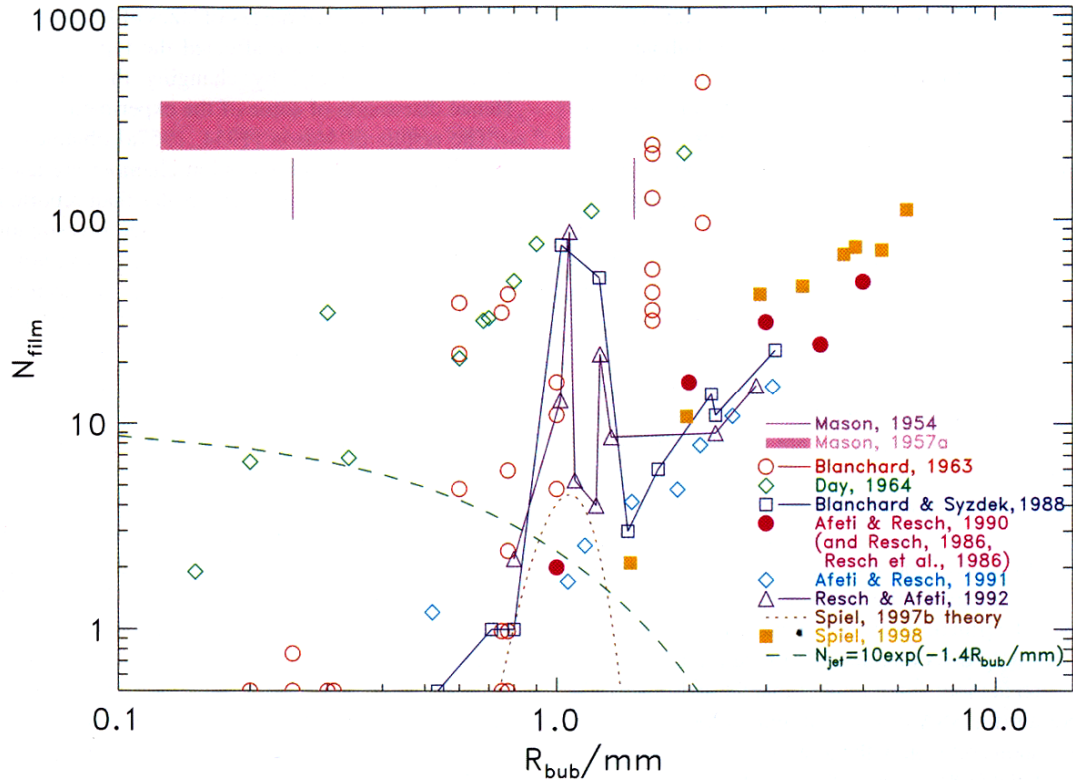
Το μέγεθος των σωματιδίων film drops ποικίλει και μπορεί να έχει εύρος έως και τέσσερεις τάξεις. Μπορούν να σχηματιστούν σταγονίδια με διάμετρο $r_{80}=0.01\mu\text{m}$, και πιθανότατα και μικρότερο, έως και σταγονίδια με διάμετρο ίση με $125\mu\text{m}$ (ενώ έχουν διαπιστωθεί και σταγονίδια από φυσαλίδες απεσταγμένου νερού με διάμετρο μεγαλύτερη από $170\mu\text{m}$).

Γενικά, τα δεδομένα που υπάρχουν για την πλήρη κατανομή μεγέθους των film drops είναι αρκετά περιορισμένα και ειδικότερα στην περιοχή για σταγονίδια με διάμετρο από 0.1 έως $0.5\mu\text{m}$, που είναι και το εύρος του μεγέθους των περισσότερων θαλάσσιων αερολυμάτων (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Κατανομή αριθμού film drops σε σχέση με την διάμετρό τους, όπως έχει διαπιστωθεί πειραματικά από διάφορους ερευνητές. Για ακτίνες μικρότερες του 0.1μm δεν υπάρχουν πολλά πειραματικά δεδομένα, καθώς υπάρχει και μεγάλη αβεβαιότητα [Lewis and Schwartz, 2004].

Πειραματικά, έχει βρεθεί ο αριθμός των σωματιδίων film drops που παράγονται από κάθε φυσαλίδα σε σχέση με την διάμετρο αυτής, αν και υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του (Σχήμα 8). Ο Blanchard [1963] για παράδειγμα, διαπίστωσε πως ο αριθμός των σταγονιδίων που εκτοξεύονται από την διάρρηξη δύο φυσαλίδων, διαφέρει και μπορεί να αλλάξει χωρίς καμία προφανή αιτία, και για την ίδια διάμετρο φυσαλίδων. Γενικά όμως τα δεδομένα συμφωνούν στο ότι όσο μικραίνει το μέγεθος της φυσαλίδας, τόσο μικραίνει και ο αριθμός των σταγονιδίων που θα παραχθούν (αν και για το ίδιο R_{bub} μπορεί ο N_{film} να διαφέρει κατά δύο τάξεις μεγέθους).



Σχήμα 8: Συσχέτιση αριθμού σωματιδίων film drops και διαμέτρου της φυσαλίδας από την οποία προέρχονται όπως έχει διαπιστωθεί από διάφορες έρευνες. Παρατηρείται ασυμφωνία σε πολλά δεδομένα πράγμα που οφείλεται στον τρόπο που έγιναν οι μετρήσεις καθώς και στην επιλογή των δεδομένων των πειραμάτων [Lewis and Schwartz, 2004].

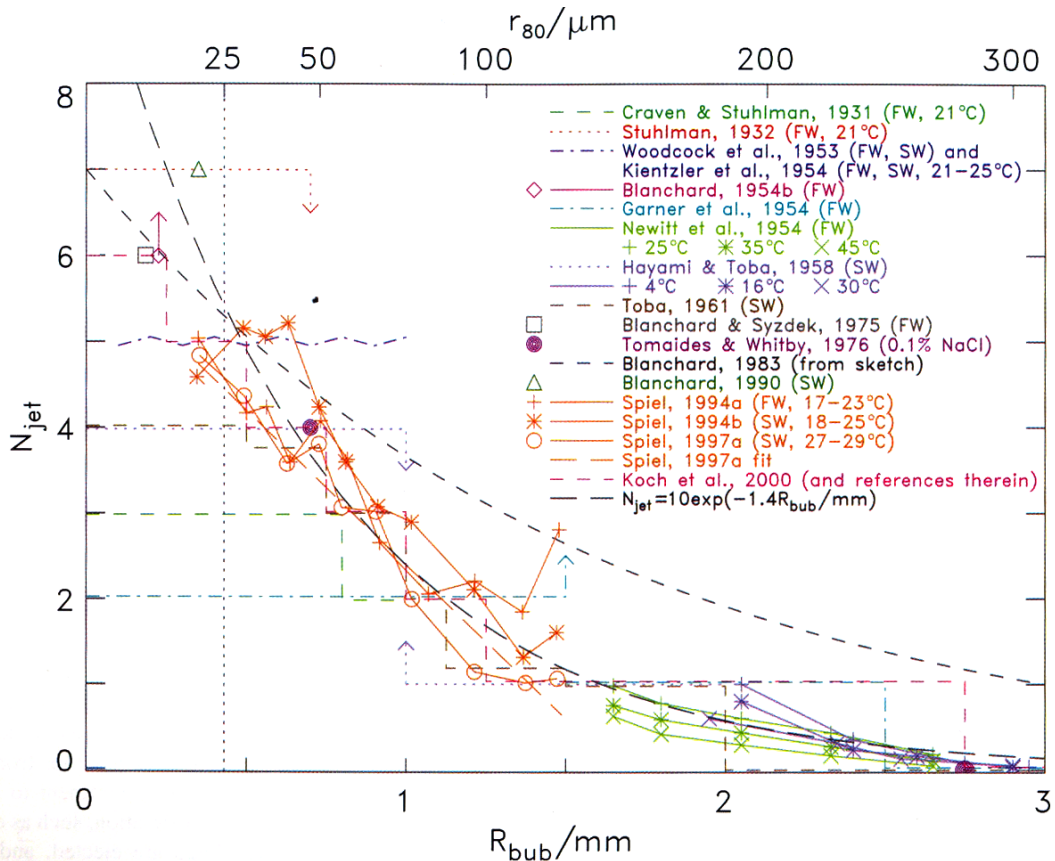
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό των film drops είναι η θερμοκρασία, τα στοιχεία που υπάρχουν στην επιφάνεια του νερού, το μέσο στο οποίο σχηματίζονται οι φυσαλίδες (πχ η περιεκτικότητα σε NaCl ή αν το νερό είναι αποσταγμένο), ο χρόνος που κάνει μία φυσαλίδα να ανέλθει στην επιφάνεια, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας καθώς και ο χρόνος παραμονής των φυσαλίδων στην επιφάνεια [Lewis and Schwartz, 2004].

3.2.2 Jet drops

Ο αριθμός των σωματιδίων jet drops (N_{jet}) που θα παραχθούν έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των φυσαλίδων (R_{bub}) από τις οποίες παράγονται. Παρατηρείται ότι ο αριθμός τους αυξάνει όσο μειώνεται το μέγεθος της φυσαλίδας (Σχήμα 9). Διάφορες σχέσεις έχουν προταθεί για τον συσχετισμό αυτών των δύο μεγεθών. Για παράδειγμα ο Blanchard [1983] πρότεινε ότι:

$$N_{jet} = 7 e^{(-0.65R_{bub})} \quad (3.2)$$

όπου το R_{bub} μετράται σε mm. Σύμφωνα με τη σχέση ο αριθμός των σωματιδίων jet drops μειώνεται εκθετικά όσο αυξάνει το μέγεθος της φυσαλίδας από την οποία προέρχονται.

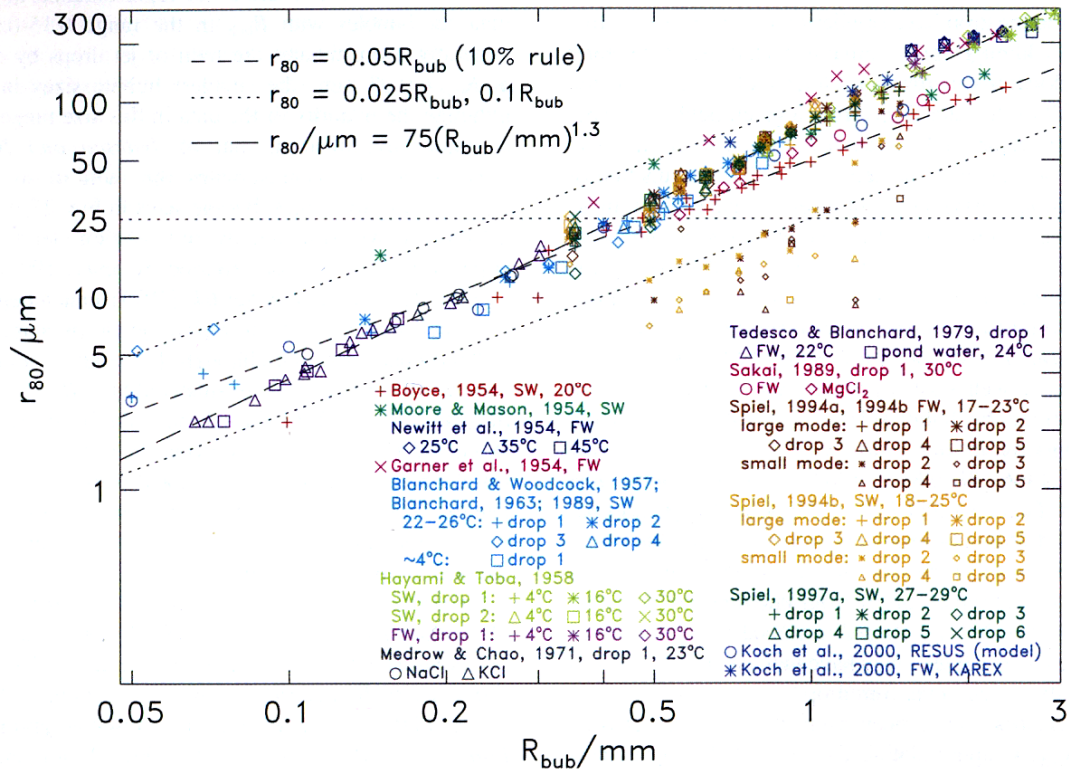


Σχήμα 9: Αριθμός σωματιδίων jet drops σε σχέση με την διάμετρο των φυσαλίδων από τις οποίες προέρχονται όπως έχει διαπιστωθεί από διάφορους ερευνητές. [Lewis and Schwartz, 2004].

Το μέγεθος των jet drops που θα παραχθούν έχει επίσης άμεση σχέση με το μέγεθος των φυσαλίδων. Έχουν διαπιστωθεί διάφορα μεγέθη διαμέτρων για αυτά τα σταγονίδια, που μπορεί να φτάσουν από 0.5μm εώς και μεγαλύτερα από 200μm. Εργαστηριακά πειράματα δείχνουν ότι όσο μεγαλώνει το μέγεθος των φυσαλίδων, τόσο μεγαλώνει και το μέγεθος των σωματιδίων jet drops που παράγονται (Σχήμα 10). Διάφορες σχέσεις έχουν προταθεί για να συσχετίσουν και αυτά τα δύο μεγέθη. Μία σχέση που χρησιμοποιείται συχνά προτάθηκε από τους Kientzler et al. [1954] και είναι:

$$r_{80} = 0.05 R_{bub} \quad (3.3)$$

όπου r_{80} είναι η διάμετρος (μm) του jet drop σε σχετική υγρασία $RH=80\%$ και η R_{bub} η διάμετρος της φυσαλίδας (mm). Ο τύπος αν και σχετικά απλός δίνει αρκετά καλές εκτιμήσεις για τις διαμέτρους των παραγόμενων σταγονιδίων, όμως για φυσαλίδες με R_{bub} περίπου 0.05mm το μέγεθος των σωματιδίων που εκπέμπονται υπερεκτιμάται κατά 50%. Οι Blanchard και Syzdek (1975) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο κανόνας ισχύει μόνο για τα δύο πρώτα σταγονίδια.



Σχήμα 10: Σχεδιάγραμμα που δείχνει την σχέση ανάμεσα στο μέγεθος των σωματιδίων jet drops και το μέγεθος της φυσαλίδας από την οποία αυτά προέρχονται σε σχετική υγρασία 80%. Τα περισσότερα ερευνητικά δεδομένα συμφωνούν μεταξύ τους. Επίσης παρατηρείται αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων που παράγονται, με την αύξηση του μεγέθους των φυσαλίδων [Lewis and Schwartz, 2004].

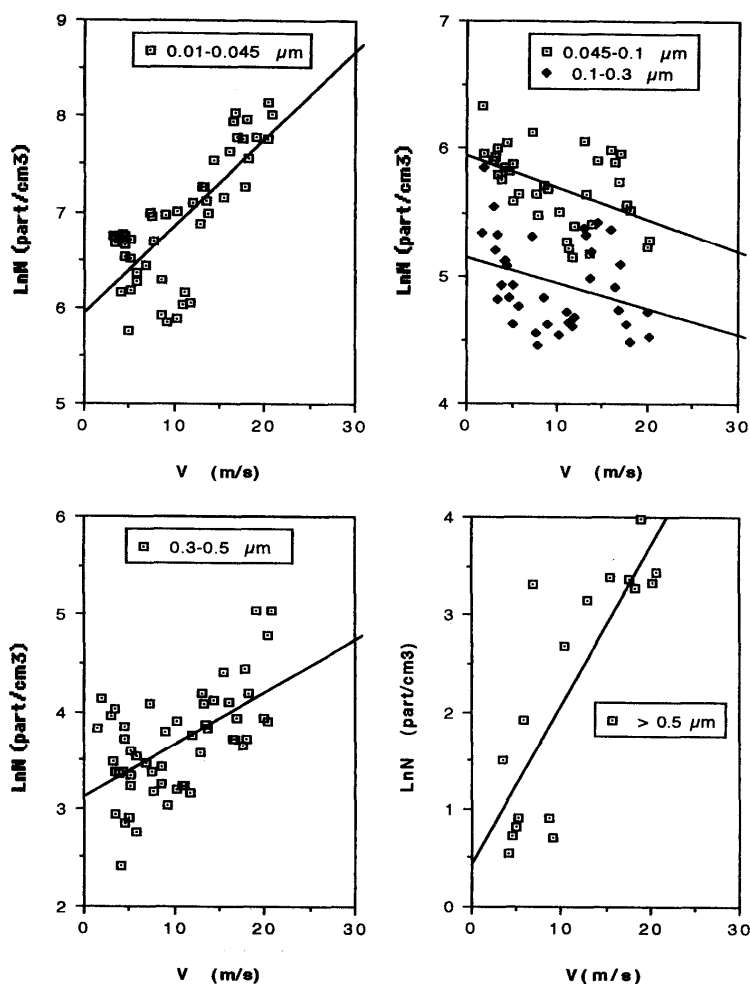
Το ύψος στο οποίο μπορούν να φτάσουν τα jet drops μπορεί να είναι έως και 20cm πάνω από την επιφάνεια του νερού (σε πειράματα που έχουν γίνει σε ήρεμο νερό, θαλασσινό ή μη και χωρίς κίνηση του υπερκείμενου αέρα). Σε μεγαλύτερο ύψος φθάνουν τα πρώτα σταγονίδια των jet drops που δημιουργούνται από φυσαλίδες με μέγεθος περίπου 0.7 έως 1mm και έχουν διαμέτρους από 50 έως 80μm. Καθώς το μέγεθος των φυσαλίδων μεγαλώνει, το ύψος που φτάνουν τα σταγονίδια μειώνεται μέχρι που προσεγγίζει το μηδέν, για φυσαλίδες που δεν παράγουν σχεδόν καθόλου jet drops.

Επίσης, πέρα από το μέγεθος της φυσαλίδας από την οποία δημιουργούνται τα jet drops, μεγάλο ρόλο παίζει και η ταχύτητα την οποία αυτά αναπτύσσονται, ώστε να επιτύχουν το μεγαλύτερο ύψος στο οποίο θα φθάσουν. Ο Spiel [1992,1995,1997a] παρατήρησε ότι οι ταχύτητες του δεύτερου και τρίτου σταγονιδίου είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτή του πρώτου, ενώ για τα επόμενα σταγονίδια, οι ταχύτητες είναι ελαττωμένες κατά μία τάξη μεγέθους ή και περισσότερο. Ο Stuhlman [1932] διαπίστωσε ότι το ύψος των σταγονιδίων που ακολουθούν είναι το 65% των προηγούμενων. Εκτός από την ταχύτητα, μεγάλο ρόλο για το ύψος το οποίο θα φθάσει ένα σταγονίδιο, παίζουν και η βαρρύτητα καθώς και οι οπισθέλκουσες δυνάμεις.

3.2.3 Spume drops

Όταν η ταχύτητα του ανέμου μεγαλώσει αρκετά (πάνω από 10m/sec) τότε λόγω των διατμητικών τάσεων που ασκεί ο άνεμος στην επιφάνεια του νερού, ένα μέρος του κύματος αποσπάται και παρασύρεται με τον άνεμο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων σχετικά μεγάλων μεγεθών [O'Dowd et al., 1997]. Αυτά τα αιωρούμενα σωματίδια ονομάζονται spume drops [Gong et al., 1997].

Με την αύξηση του ανέμου παρατηρείται μία αύξηση στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων [Lewis and Schwartz, 2004]. Οι Piazzola και Despiaud [1997] στις μετρήσεις τους που έκαναν στο νησί Porquerolles (Μεσόγειος θάλασσα), διαπίστωσαν ότι το μέγεθος των σωματιδίων που παράγεται διαφέρει ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, με τα σωματίδια διαμέτρων από 0.045 έως 0.3 μm να μειώνονται όσο η ταχύτητα αυξάνει ενώ αντίθετα τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 0.5 μm να έχουν απότομη αύξηση για ταχύτητες μεγαλύτερες των 15m/sec (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Αριθμητική κατανομή σωματιδίων σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα για διάφορες διαμέτρους. LnN είναι ο λογάριθμος του αριθμού των σωματιδίων ανά cm^3 και v είναι η ταχύτητα του αέρα (m sec^{-1}) [Piazzola and Despiaud, 1997].

Για μικρότερες τιμές ταχύτητας ανέμου, και συγκεκριμένα για ανέμους με ταχύτητες μικρότερες από 3-5m/sec, δεν παρατηρούνται φαινόμενα αφρισμού (whitecap) [Lewis and Schwartz, 2004]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχουν φυσαλίδες που θα δημιουργήσουν film ή jet drops. Οι Piazzola και Despiau [1997] παρατήρησαν ότι για ανέμους με ταχύτητα μικρότερη ή ίση από 5m/sec, η παραγωγή θαλάσσιων αιωρούμενων σωματιδίων ήταν μηδαμινή.

3.2.4 Παραγωγή SSAs κατά την βροχόπτωση

Ένας ακόμη μηχανισμός σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων είναι και η βροχόπτωση. Βέβαια δεν είναι τόσο σημαντικός διότι η έκταση της βροχόπτωσης που εκδηλώνεται σε κάποιο σημείο της θάλασσας είναι αρκετά περιορισμένη και ελάχιστη σε σχέση με το μέγεθος ολόκληρης της επιφάνειας της θάλασσας για να μπορέσει να επηρεάσει την παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα.

Οι σταγόνες της βροχής μπορούν να παράγουν άμεσα σωματίδια κατά την πτώση τους που θα έχουν στην επιφάνεια του νερού, αναστηλώνοντας σταγόνες του νερού, ή έμμεσα δημιουργώντας φυσαλίδες. Για μία σταγόνα με διάμετρο 2.5mm διαπιστώθηκε ότι μπορούν να παραχθούν περίπου 900 σταγονίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 2.5μm [Blanchard and Woodcock, 1957].

Ο Marks [1990] αναφέρει πως σε μετρήσεις που έκανε, και συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε βροχερό και αίθριο καιρό, διαπίστωσε πως με ταχύτητα ανέμου στα 4.5m ίση με 15m/sec, κατά την βροχόπτωση τα σωματίδια ήταν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι σε αίθριες συνθήκες πράγμα που τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η βροχόπτωση δημιουργεί περισσότερα σωματίδια από ότι απομακρύνει σε εκείνο το σημείο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας.

3.2.5 Δευτερογενής παραγωγή αερολυμάτων

Τα θαλάσσια δευτερογενή αερολύματα, παράγονται από την οξείδωση του ισοπρενίου και του μονοτερπενίου, καθώς και από την οξείδωση του διμεθυλοθειού (dimethylsulphide, DMS, C_2H_6S). Σε παγκόσμια κλίμακα, τα θαλάσσια δευτερογενή αερολύματα προέρχονται σε ποσοστό 77% από την οξείδωση του DMS [Myriokefalitakis et al., 2010].

Η παραγωγή των δευτερογενών ρύπων γίνεται με δύο τρόπους: i) νέα σωματίδια σχηματίζονται από την πυρηνοποίηση σταθερών συμπλεγμάτων σωματιδίων (clusters) μεγέθους από 0.5 έως 1nm, και αφού δημιουργηθούν μπορούν να μεγαλώσουν σε μέγεθος μέσω της συμπύκνωσης και ii) μπορούν να μεγεθυνθούν μέσα σε μεγαλύτερα σωματίδια μέσω ετερογενών αντιδράσεων και μέσω της οξείδωσης των αερίων που βρίσκονται διαλυμένα σε υγρό, σε ήδη υπάρχοντα σωματίδια. [O'Dowd and de Leeuw, 2010]

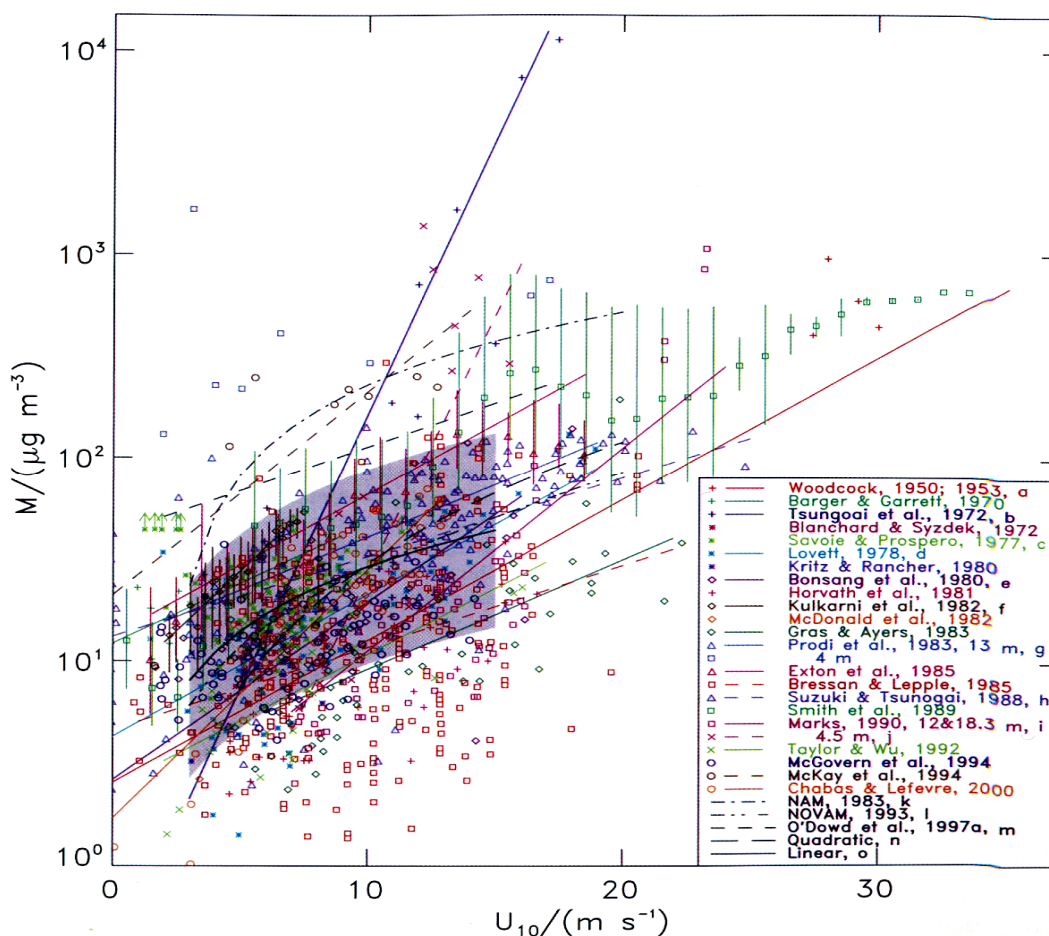
Το DMS είναι η κυριότερη οργανική ένωση που εκπέμπεται από τους ωκεανούς και παράγεται από το φυτοπλαγκτόν. Κατά την χειμερινή περίοδο,

μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ανιχνεύονται στο νότιο ημισφαίριο ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο. Η μέση συγκέντρωσή του είναι περίπου 100ng S/l. Η αναλογία του DMS στην ατμόσφαιρα μικραίνει καθώς αυξάνεται το ύψος και στην ελεύθερη τροπόσφαιρα ανιχνεύονται μερικά ppt. Η οξείδωση του DMS είναι η αποκλειστική πηγή του methane sulphonic acid (MSA) στην ατμόσφαιρα και κύρια πηγή SO₂ στην ατμόσφαιρα των θαλασσών [Seinfeld and Pandis, 2006].

3.3 Κατανομή αερολυμάτων

3.3.1 Κατανομή μάζας θαλάσσιων αερολυμάτων

Η ξηρή μάζα (dry mass) των αερολυμάτων ανά μονάδα όγκου (συγκέντρωση της μάζας), είναι μία διαδεδομένη έννοια για να προσδιοριστεί η αφθονία τους στην ατμόσφαιρα. Από την εισροή των SSAs στην ατμόσφαιρα, σωματίδια με μεγέθη ακτίνων από 0.5 έως 8μm συνεισφέρουν στην μάζα κατά 96%, με το υπόλοιπο 4% να προέρχεται από την περιοχή με διαμέτρους από 0.03 έως 0.5μm [Gong et al, 1997].



Σχήμα 12: Κατανομή ξηρής μάζας σωματιδίων σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα, μετρούμενη στα 10m από την επιφάνεια, και για σχετική υγρασία 80%, όπως έχει προκύψει από διάφορους ερευνητές. Οι κάθετες γραμμές δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις. Η σκιαγραμμισμένη επιφάνεια είναι η περιοχή όπου οι διάφορες ερευνητικές εργασίες συγκλίνουν [Lewis and Schwartz, 2004].

Οι περισσότερες μετρήσεις γίνονται στην κατώτερη θαλάσσια ατμόσφαιρα, περίπου 10m από την επιφάνεια της θάλασσας, και δίνονται σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου σε αυτό το ύψος U_{10} καθώς και για σχετική υγρασία 80% (Σχήμα 12). Γενικότερα τα περισσότερα δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι για αύξηση του ανέμου U_{10} υπάρχει και αύξηση της μάζας των σωματιδίων για δεδομένο όγκο. Οι περισσότερες έρευνες συνδέουν την μάζα των αερολυμάτων με την ταχύτητα του ανέμου με την σχέση:

$$\ln M = a_m * U_{10} + \ln M_0 \quad (3.4)$$

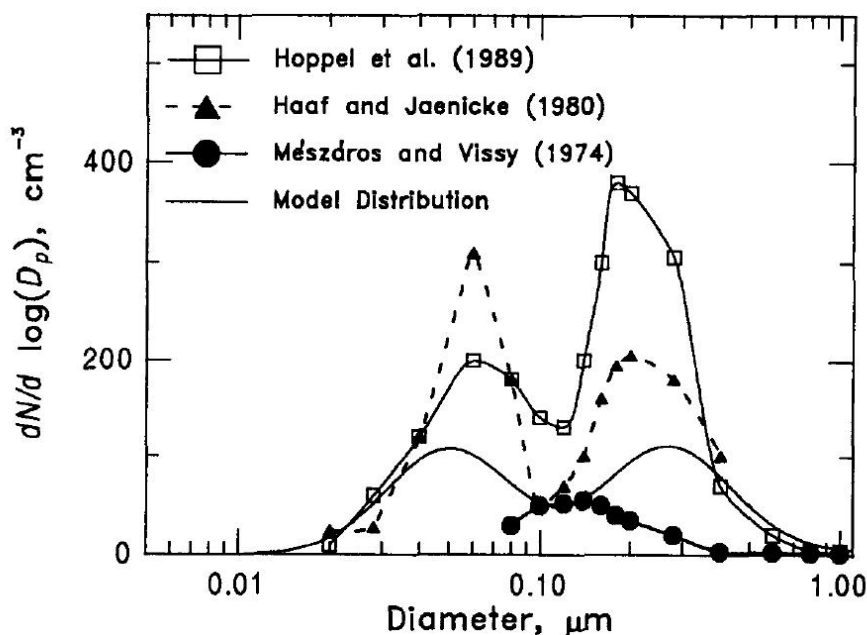
με M και M_0 σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και U_{10} σε m/sec . M είναι η συγκέντρωση της μάζας των σωματιδίων σε ταχύτητα ανέμου U_{10} σε υψόμετρο 10m από την επιφάνεια της θάλασσας και M_0 είναι η συγκέντρωση της μάζας των SSAs που θα είχαν σε μηδενική ταχύτητα ανέμου. Το συμπέρασμα όμως που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι υπάρχει ένδειξη αύξησης της συγκέντρωσης M με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, αλλά δεν είναι ο μόνος παράγοντας που επηρεάζει την αύξηση της μάζας των σωματιδίων που μετρούνται. Η υπόθεση μίας σχέσης μόνο ανάμεσα στην συγκέντρωση της μάζας των θαλάσσιων αερολυμάτων και στην ταχύτητα του ανέμου δεν θεωρείται αξιόπιστη [Erickson et al., 1988].

Για την κατανομή της μάζας σε σχέση με το ύψος δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα αν δεν είναι γνωστό το ανώτατο όριο του μεγέθους των σωματιδίων που έχουν συλλεχθεί. Οι Woodcock και Spencer [1957] ανέφεραν πως σε μετρήσεις τους έως και άνω των 2000m από την επιφάνεια της θάλασσας, διαπίστωσαν μία γενική μείωση της συγκέντρωσης με την αύξηση του ύψους. Ουσιαστικά για ύψος άνω των 2500m από την επιφάνεια της θάλασσας δεν ανιχνεύτηκε κανένα θαλάσσιο σωματίδιο, για καμία ταχύτητα ανέμου. Οι Woodcock et al., [1971] αναφέρουν πως ο λόγος της μάζας στα 50 μέτρα και στα 550 μέτρα ήταν κοντά στη μονάδα, όταν η βάση του νέφους ήταν στα 650 μέτρα (δηλαδή η μέτρηση έγινε κάτω από το νέφος).

3.3.2 Αριθμητική συγκέντρωση σωματιδίων

Στην πλειονότητά τους τα θαλάσσια αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρού μεγέθους με διάμετρο μικρότερη από 1 μm . Αν και τα χονδρόκοκκα σωματίδια συγκεντρώνουν την μεγαλύτερη ποσότητα μάζας (95%), αριθμητικά είναι μόνο το 5-10% του συνολικού αριθμού των SSAs [Seinfeld and Pandis, 2006]. Επειδή τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερης του 1 μm παραμένουν για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα στην ατμόσφαιρα, η συσχέτισή τους με τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες είναι μικρότερη από αυτή που έχει να κάνει με τη μάζα και τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν [Lewis and Schwartz, 2004].

Η αριθμητική συγκέντρωση σωματιδίων διαφέρει ανάμεσα σε μετρήσεις και μπορεί να διαπιστωθούν λιγότερο από 1 σωματίδιο ανά cm^3 έως και περισσότερα από 200/ cm^3 (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Αριθμητική κατανομή σωματιδίων ανάλογα με την διάμετρό τους [Seinfeld and Pandis, 2006].

Σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, η αριθμητική συγκέντρωση, όπως και η μάζα των σωματιδίων, έχει εκφραστεί με εξίσωση:

$$\ln N = a_N * U_{10} + \ln N_0 \quad (3.5)$$

όπου η N_0 είναι η αριθμητική συγκέντρωση με ταχύτητα ανέμου ίση με μηδέν, U_{10} είναι η ταχύτητα του ανέμου μετρούμενη σε ύψος 10m από την επιφάνεια της θάλασσας και N είναι η αριθμητική συγκέντρωση των σωματιδίων.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αριθμητική συγκέντρωση των θαλάσσιων αερολυμάτων σε μία περιοχή. Οι Piazzola και Despiau (1997) αναφέρουν πως σημαντική παράμετρος είναι και η διάρκεια των μετεωρολογικών φαινομένων που παρουσιάζονται, όπως σημαντικά είναι η κατεύθυνση του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία. Αν και η σχετική υγρασία γενικά δεν φαίνεται να επηρεάζει την αριθμητική κατανομή των αερολυμάτων [Lewis and Schwartz, 2004], έχει διαπιστωθεί ότι επηρεάζονται κάποια τμήματα της κατανομής αυτής, κυρίως μικρά σωματίδια που μεγεθύνονται με την αύξηση της RH [Exton et al., 1985, 1986]. Επίσης το υψόμετρο παίζει ρόλο στον αριθμό των σωματιδίων, όπου παρατηρείται ταχύτερη μείωση των συγκεντρώσεων όσο αυτό αυξάνεται. Η μεγαλύτερη μείωση συμβαίνει στα 20 με 30 μέτρα και οφείλεται στους μικρούς χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα, των μεγάλων σωματιδίων [Blanchard et al., 1984].

3.3.3 Κατανομή μεγέθους θαλάσσιων αερολυμάτων

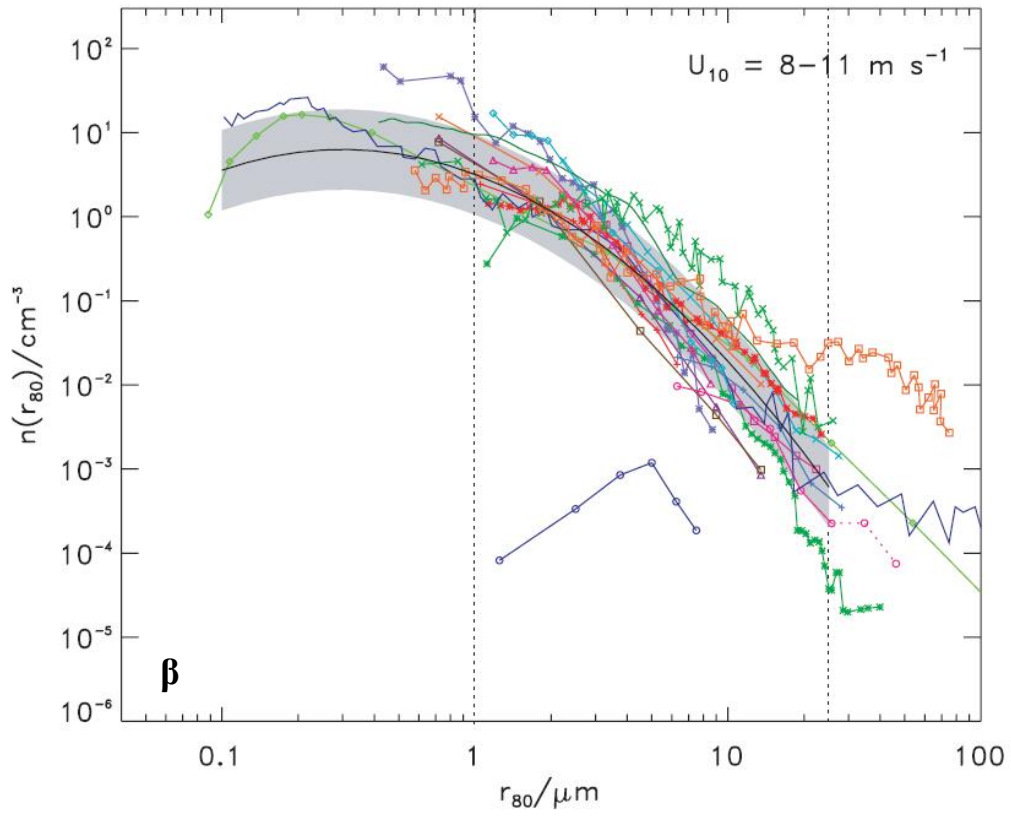
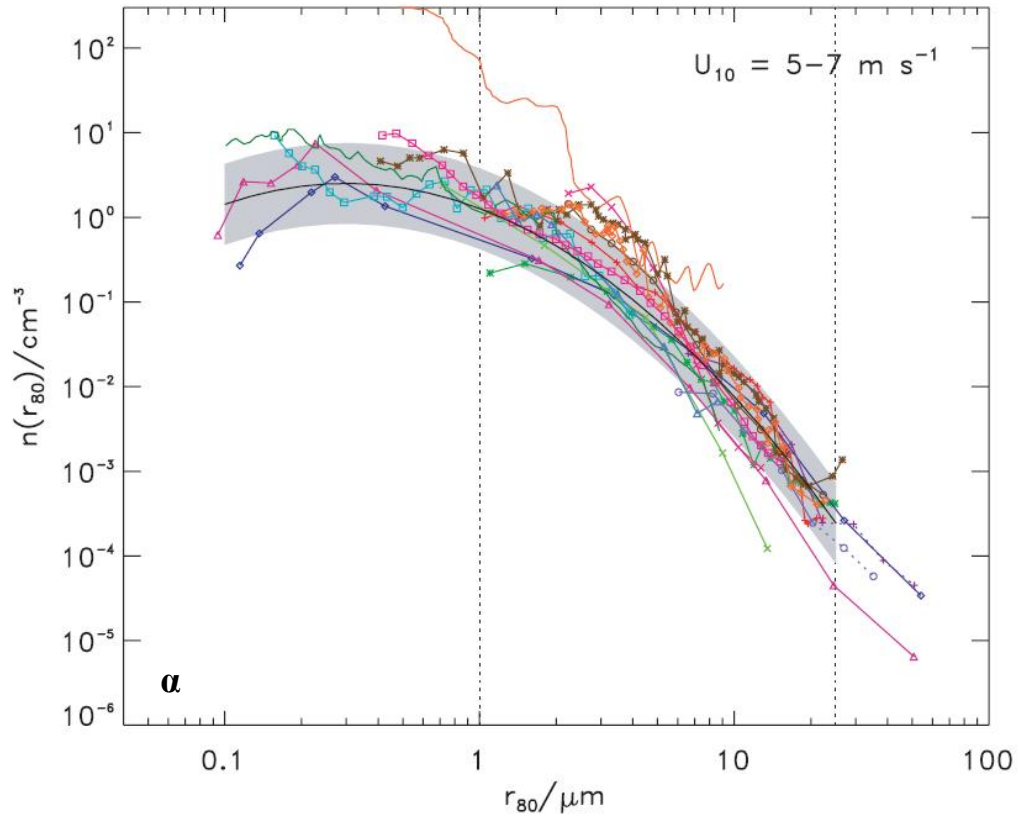
Κατά μέγεθος, τα θαλάσσια αερολύματα κατανέμονται σε τρεις κατηγορίες. Πρώτη αυτή των μικρών σωματιδίων που η διάμετρός τους είναι $r_{80} \leq 1 \mu\text{m}$, έπειτα αυτά του μεσαίου μεγέθους που είναι $1 \mu\text{m} \leq r_{80} \leq 25 \mu\text{m}$ και τέλος τα μεγάλα σωματίδια που είναι $r_{80} \geq 25 \mu\text{m}$. Τα μικρά σωματίδια ($r_{80} \leq 1 \mu\text{m}$) αριθμητικά είναι πολύ περισσότερα από τα υπόλοιπα μεγέθη σωματιδίων. Για αυτά τα σωματίδια η βαρύτητα δεν παίζει σημαντικό ρόλο μιας και για να κατέλθουν 10m σε μη κινούμενο αέρα, χρειάζονται περίπου μία ημέρα [Lewis and Schwartz, 2004].

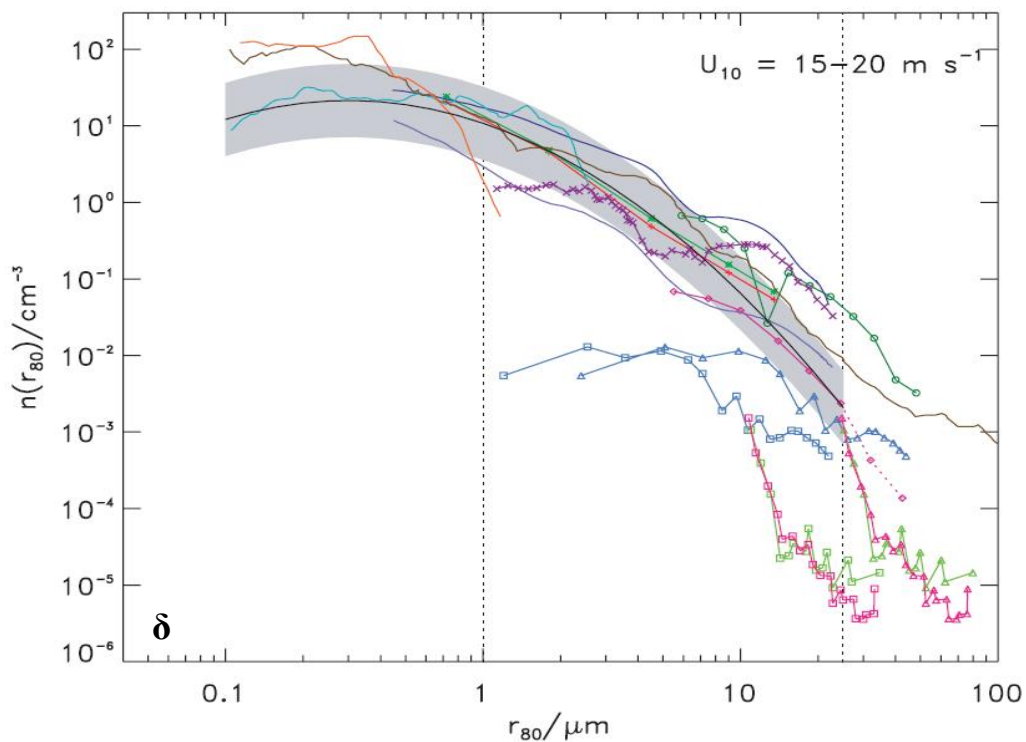
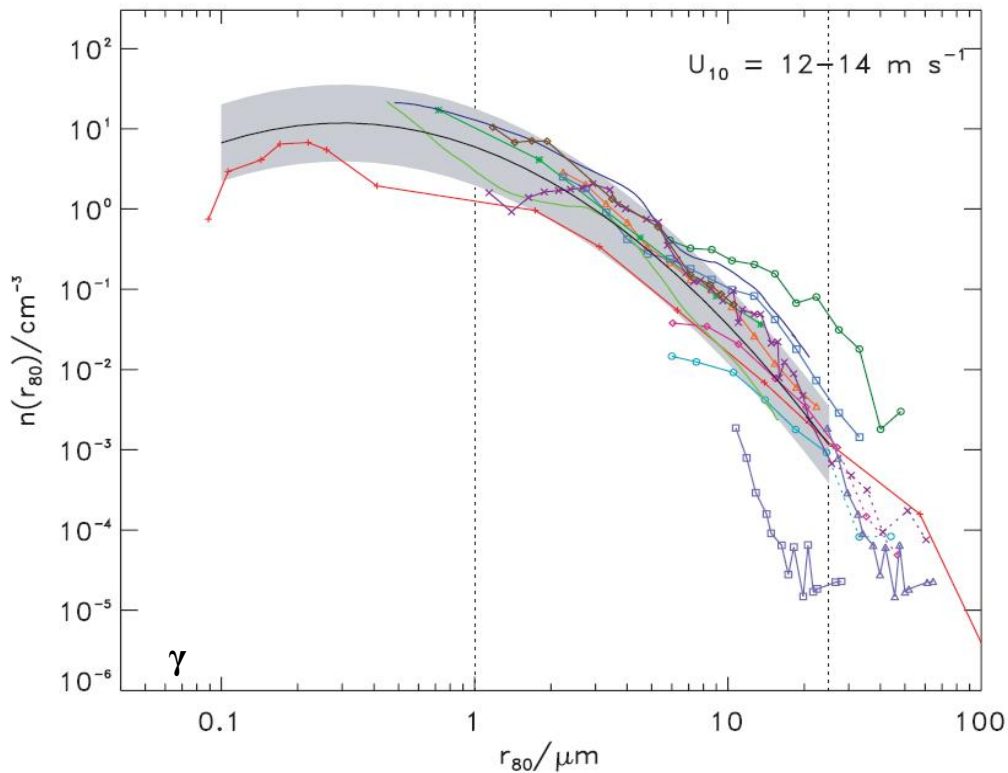
Τα σωματίδια μεσαίου μεγέθους ($1 \mu\text{m} \leq r_{80} \leq 25 \mu\text{m}$) αν και αριθμητικά δεν είναι σε μεγάλες συγκεντρώσεις εν τούτοις έχουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατ' όγκο και επιφάνεια, με αποτέλεσμα να παίζουν σημαντικό ρόλο σε φυσικές διεργασίες, όπως η σκέδαση του φωτός [Lewis and Schwartz, 2004].

Όσο αυξάνεται η διάμετρος των σωματιδίων, τόσο η βαρύτητα έχει μεγαλύτερη επίδραση στην κίνησή τους και στον χρόνο που αυτά θα παραμείνουν στην ατμόσφαιρα. Στα μεγάλα σωματίδια ($r_{80} \geq 25 \mu\text{m}$) οφείλεται κυρίως η ροή της υγρασίας ανάμεσα στην θάλασσα και στην ατμόσφαιρα, όπως και της λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας. Η βαρύτητα είναι σημαντικός παράγοντας για την κίνηση αυτών των σωματιδίων. Σαν αποτέλεσμα είναι να έχουν μικρές κατακόρυφες συγκεντρώσεις όπως και μικρούς χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα [Lewis and Schwartz, 2004].

Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων γίνεται με το να καταμετρηθεί ο αριθμός τους σε γνωστό όγκο αέρα και έπειτα αυτά να κατηγοριοποιηθούν σε μία σειρά από φάσματα μεγεθών (size bins). Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων γίνεται συνήθως σε συσχέτιση με την ταχύτητα του ανέμου, αλλά πάντα υπάρχει μια ουσιαστική μεταβλητότητα ως προς τα αποτελέσματα, διότι η κατανομή εξαρτάται και από άλλους παράγοντες (Εικόνες 14_{a-d}). Μικρές διαφορές υπάρχουν και στα μεγέθη που μετρούνται σε διάφορα ύψη κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Για παράδειγμα δεν υπάρχουν διαφορές σημαντικές στις κατανομές σωματιδίων που μετρήθηκαν στα 10m και σε αυτές που μετρήθηκαν στα 6m από την επιφάνεια.

Για σωματίδια αρκετά μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτή των 25 μm δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα που να συμφωνούν μεταξύ τους ως προς την κατανομή τους. Γενικά ο αριθμός αυτών των σωματιδίων είναι αρκετά μικρός, με αποτέλεσμα να υπάρχουν τέτοιες διαφορές. Μερικοί ερευνητές αναφέρουν πως σε μετρήσεις τους, παρατηρήθηκαν δυσανάλογες αυξήσεις σε σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 μm για ταχύτητες ανέμων μεγαλύτερες των 15m/sec, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις τους σε μικρότερης ταχύτητας ανέμους [Smith et al., 1993]. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί είτε ότι ήταν λόγω της δημιουργίας spume drops, είτε γιατί με αυτές τις ταχύτητες σωματίδια μεγαλύτερα έφθασαν στο ύψος μετρήσεων με τη βοήθεια του ανέμου.





Εικόνες 14_{α-δ}: Αριθμητική κατανομή σωματιδίων για διάφορες ταχύτητες ανέμου U_{10} σε υψόμετρο 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, U_{10} : α) 5-7m s^{-1} , β) 8-11 m s^{-1} , γ) 12-14 m s^{-1} , δ) 15-20 m s^{-1} και σε σχετική υγρασία 80%. Τα σημεία και οι συνεχόμενες γραμμές δείχνουν τα αποτελέσματα μετρήσεων από διάφορες πειραματικές διαδικασίες ενώ οι σκιαγραμμισμένες επιφάνειες δείχνουν τις περιοχές όπου τα περισσότερα αποτελέσματα των ερευνών συγκλίνουν. Παρατηρείται αύξηση των σωματιδίων με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου [Lewis and Schwartz, 2004].

3.3.4 Ροή σωματιδίων

Η έκφραση που χρησιμοποιείται για την ένδειξη της ποσότητας των σωματιδίων που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από την θάλασσα είναι η ροή τους, F , (flux). Η ροή των σωματιδίων ορίζεται από τον αριθμό αυτών που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, ανά μονάδα επιφάνειας, ανά μονάδα χρόνου σε συνδυασμό με την διάμετρο των σωματιδίων, $F(D_p)$, (είτε συμπεριλαμβανομένου του νερού, είτε ξηρού σωματιδίου). Επίσης, η έννοια της ροής μπορεί να αναφέρεται και σε επιφάνεια σωματιδίων, σε όγκο, καθώς και σε ροή μάζας (mass flux).

Η ροή των παραγόμενων σωματιδίων εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα του ανέμου. Η μετρούμενη μάζα του θαλάσσιου άλατος σε ταχύτητες ανέμων 15-20m/sec μπορεί να έχει συγκεντρώσεις ακόμα και $1000\mu\text{g}/\text{cm}^3$ [Lewis and Schwartz, 2004]. Περίπου το 32% της παγκόσμιας ροής σωματιδίων συναντάται στο βόρειο ημισφαίριο και το 92% της ροής της μάζας των σωματιδίων είναι κατανεμημένο σε σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των $0.5\mu\text{m}$. Διάφορα μοντέλα έχουν προταθεί για την προσέγγιση της ροής σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις. Στη συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός των μοντέλων των Monahan et al. [1986], Smith and Harrison [1998] και των Geever et. al. [2005] για τις ροές των σωματιδίων που παράγονται. Τα μοντέλα αυτά θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

3.4 Απομάκρυνση θαλάσσιων αιωρούμενων σωματιδίων

Στην θάλασσα οι κυριότερες αιτίες που έχουμε ξηρή εναπόθεση είναι η βαρύτητα, η ακανόνιστη μετακίνηση των σωματιδίων (turbulence transfer), η διάχυση λόγω της κίνησης Brown (Brownian diffusion) και ο παρασυρμός των σωματιδίων από τον κυματισμό.

Ο μέσος χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται κατά πολύ μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των σωματιδίων και την ταχύτητα του ανέμου. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά της ξηρής εναπόθεσης για σωματίδια διαμέτρου από $1\mu\text{m}$ έως $25\mu\text{m}$, για σχετική υγρασία 80% και ταχύτητα ανέμου στα 10m ίση με 10m/sec:

Πίνακς 2: Χαρακτηριστικά ξηρής εναπόθεσης [Lewis and Schwartz, 2004].

Διάμετρος r (μm)	1	2	5	10	15	20	25
Ταχύτητα ξηρής εναπόθεσης (cm/sec)	0.05	0.25	1.5	3	5	7	10
Ύψος ανάμιξης (m)	500	500	500	500	230	60	30
Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα (sec)	10^6	$2 \cdot 10^5$	$3.3 \cdot 10^4$	$1.7 \cdot 10^4$	5000	850	300
Απόσταση μεταφοράς (km)	10^4	2000	330	170	50	8.5	3

RH 80% και $U_{10}=10\text{m}/\text{sec}$

Κεφάλαιο 4

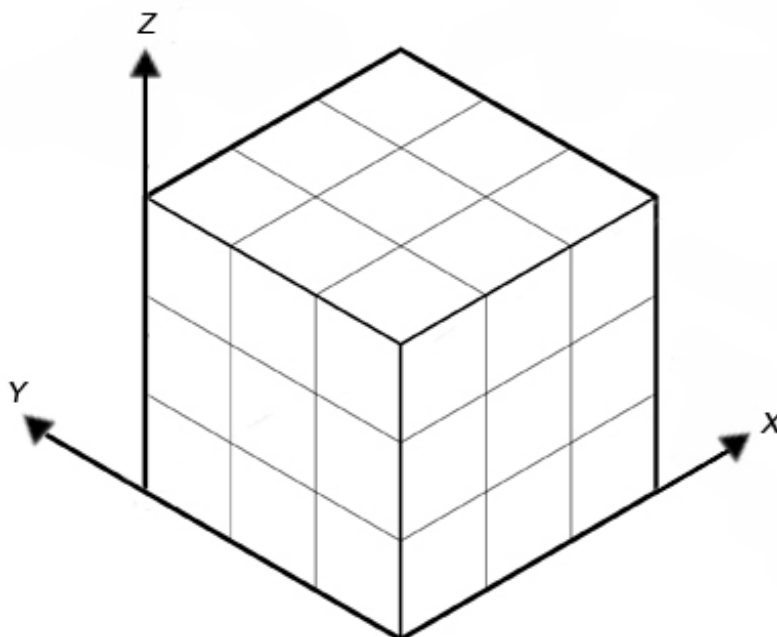
Περιγραφή του μοντέλου

4.1 Το μοντέλο PMCAMx

Στην ατμόσφαιρα ένας μεγάλος αριθμός διεργασιών συμβαίνουν ταυτόχρονα. Ο τρόπος μελέτης της δυναμικής της ατμόσφαιρας και της διασποράς των αερίων ρύπων γίνεται με τη βοήθεια των ατμοσφαιρικών μοντέλων, όπου και περιγράφονται οι φυσικοχημικές διεργασίες και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων διεργασιών [Λαζαρίδης, 2005].

Στη παρούσα εργασία το τρισδιάστατο χημικό μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι το Particulate Matter Comprehensive Air quality Model with Extensions (PMCAMx). Πρόκειται για την ερευνητική έκδοση του Comprehensive Air quality Model with extensions (CAMx) της εταιρείας Environ (<http://www.environcorp.com/>). Είναι ένα τρισδιάστατο φωτοχημικό μοντέλο διασποράς, για την αξιολόγηση της αέριας και της σωματιδιακής ρύπανσης της ατμόσφαιρας [Environ, 2010].

Το μοντέλο προσομοιώνει τις εκπομπές, τη διασπορά, τις χημικές αντιδράσεις και την απομάκρυνση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, με την επίλυση εξισώσεων για κάθε χημικό είδος σε κάρναβο τριών διαστάσεων (Σχήμα 15). Το μοντέλο μας δίνει τις συγκεντρώσεις των ρύπων στο κέντρο του κάθε κελιού του κάρναβου, αναπαριστώντας έτσι την μέση τιμή της συγκέντρωσης ολόκληρου του κελιού [Environ, 2010].



Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση του διαχωρισμού που κάνει το μοντέλο στο χώρο που εξετάζει.

Η γενική εξίσωση [Environ, 2010] που περιγράφει την αλλαγή της συγκέντρωσης για ένα είδος c_i (αέριο ή στερεό/υγρό σε σωματιδιακή μορφή) ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$ για τα αέρια, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα αερολύματα) ανάλογα με το χρόνο είναι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_i}{\partial t} = & \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Advection}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Dispersion}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Gas-Phase Chemistry}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Emissions}} \\ & - \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Wet/Dry Deposition}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Aerosol}} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Aqueous-Phase Chemistry}} \end{aligned} \quad (4.1).$$

4.1.1 Προσομοιώσεις μοντέλου

1) Εκπομπές

Η εξίσωση των εκπομπών είναι η εξής:

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Emission}} = m^2 \frac{E_i}{\partial x \partial y \partial z} \quad (4.2).$$

Όπου το c_i είναι το είδος που εξετάζεται και E_i είναι ο ρυθμός εκπομπής του ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$ ή $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι πηγές μπορεί να είναι είτε σημειακές, δηλαδή σημεία σε χαμηλά υψόμετρα είτε υπερυψωμένα σημεία, κινητές πηγές, πηγές επιφάνειας, βιογενείς κλπ.

2) Οριζόντια μεταφορά

Οι εξισώσεις μεταφοράς επιλύονται χρησιμοποιώντας την Piecewise Parabolic Method (PPM) των Colella και Woodward [1984] εφαρμοσμένη από τους Odman και Ingram [1996].

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Xadvection}} = - \frac{m^2}{A_{yz}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u A_{yz} c_i}{m} \right) \quad (4.3)$$

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{\text{Yadvection}} = - \frac{m^2}{A_{xz}} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v A_{xz} c_i}{m} \right) \quad (4.4).$$

Οι συντελεστές u και v περιγράφουν τις ταχύτητες του ανέμου για διευθύνσεις από ανατολικά προς δυτικά (X) και από βόρεια προς νότια (Y) αντίστοιχα. A_{yz} και A_{xz} είναι η επιφάνεια των διατομών των κελιών (cell cross-sectional) των αξόνων $y-z$ και $x-z$ αντίστοιχα (σε m^2). Το m είναι ο λόγος της απόστασης μεταφοράς στο προβολικό σύστημα χαρτών που έχει χρησιμοποιηθεί, προς την πραγματική απόσταση.

3) Κατακόρυφη μεταφορά

Η εξίσωση της κατακόρυφης μεταφοράς ορίζεται από τη σχέση:

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Zadv} = \frac{\partial(c_i w)}{\partial z} \quad (4.5).$$

Όπου w είναι η ταχύτητα στον κάθετο άξονα z (m sec^{-1}).

4) Οριζόντια διασπορά

Η οριζόντια διασπορά ορίζεται από την εξίσωση:

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{XYadv} = m \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[m p K_x \frac{\partial(c_i / p)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[m p K_y \frac{\partial(c_i / p)}{\partial y} \right] \right\} \quad (4.6).$$

Όπου K_x και K_y είναι η σταθερά της οριζόντιας διασποράς, που παρέχονται από τα μετεωρολογικά δεδομένα και p είναι η ατμοσφαιρική πυκνότητα.

5) Κατακόρυφη διασπορά

Η κατακόρυφη διασπορά ορίζεται από την σχέση:

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Zdiff} = \frac{\partial}{\partial z} \left[p K_v \frac{\partial(c_i / p)}{\partial z} \right] \quad (4.7).$$

Όπου K_v είναι η σταθερά της κατακόρυφης διασποράς και παρέχεται από τα μετεωρολογικά δεδομένα, ενώ p είναι η ατμοσφαιρική πυκνότητα.

6) Ξηρή απόθεση

Για την ξηρή εναπόθεση χρησιμοποιείται το μοντέλο του Wesely [1989]. Για τα αέρια, η ταχύτητα εναπόθεσης u_d (m sec^{-1}), υπολογίζεται σε σχέση με τρεις αντιστάσεις που παρουσιάζονται και είναι:

1. Αεροδυναμική αντίσταση r_a (s m^{-1}), είναι η αντίσταση που εμφανίζει το αέριο στην μετακίνησή του προς τα κατώτερα στρώματα του μοντέλου λόγω τυρβώδους διάχυσης και λειτουργεί όμοια για όλα τα αέρια και μικρά σωματίδια.
2. Αντίσταση επιφάνειας r_b (s m^{-1}) (boundary resistance), είναι η μοριακή διάχυση μέσω της λεπτής στρώσης αέρα η οποία βρίσκεται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια στην οποία γίνεται η εναπόθεση.
3. Επιφανειακή αντίσταση r_s (s m^{-1}), είναι η αντίσταση που εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας.

Η σχέση της ταχύτητας εναπόθεσης των αερίων είναι:

$$u_d = \frac{1}{(r_a + r_b + r_s)} \quad (4.8).$$

Για τα αιωρούμενα σωματίδια χρησιμοποιείται η προσέγγιση των Slinn και Slinn [1980]. Η ταχύτητα είναι:

$$u_d = u_{sed} + \frac{1}{r_a + r_b + r_a r_b u_{sed}} \quad (4.9).$$

Όπου u_{sed} είναι η ταχύτητα που αναπτύσσουν τα σωματίδια λόγω της βαρύτητας.

7) Υγρή απόθεση

Η αλλαγή της συγκέντρωσης μέσα στο νέφος ή κάτω από αυτό λόγω κατακρήμνισης βρίσκεται σε σχέση με τη σταθερά εναπόθεσης Λ και είναι:

$$\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{WetScavenging} = -\Lambda_i c_i \quad (4.10).$$

Η σταθερά εναπόθεσης Λ (s^{-1}) υπολογίζεται ξεχωριστά για τα αέρια και ξεχωριστά για τα σωματίδια και βασίζεται στις σχέσεις των Seinfeld και Pandis [2006]. Η μάζα που μεταφέρεται κάτω από τα νέφη εξαρτάται από την διάμετρο των σταγόνων και την ταχύτητα πτώσης τους (Scott, 1978). Για τα αιωρούμενα σωματίδια, το σύνολο των αερολυμάτων θεωρείται ότι είναι διαλυμένο μέσα στο νερό του νέφους. Κάτω από τα νέφη, ο βαθμός της απομάκρυνσής τους εξαρτάται από την διάμετρο των σωματιδίων d_p [Seinfeld and Pandis, 2006].

4.2 Εσωτερικά μοντέλα και διεργασίες του PMCAMx

Το μοντέλο στην εσωτερική του δομή, κάνει χρήση περαιτέρω μοντέλων και προσομοιώσεων ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

4.2.1 Χημεία αέριας φάσης

Στο μοντέλο PMCAMx μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε ανάμεσα σε τρία μοντέλα που προσομοιώνουν την χημεία των αερίων. Αυτά είναι το Carbon Bond IV (CB4, Gery et al., 1989), το Carbon Bond 05 (CB05, όπου είναι μία ανανεωμένη εκδοχή του μοντέλου CB4, Yarwood et al., 2005b) και το SAPRC99 (Statewide Air Pollution Research Center, Carter, 2000). Οι αντιδράσεις της αέριας φάσης υπολογίζονται από τον μηχανισμό επίλυσης του Chemical Mechanism Compiler (CMC).

Για την χημεία της αέριας φάσης επιλέχθηκε το SAPRC99. Αυτό γιατί έχει την δυνατότητα να προσομοιώσει 217 αντιδράσεις από 114 είδη αερολυμάτων. Σε

αντίθεση το CB4 προσομοιώνει 96 αντιδράσεις από 36 είδη, ενώ το CB05 προσομοιώνει 113 αντιδράσεις από 76 είδη [Environ, 2010].

Επιπλέον, το SAPRC99 προβλέπει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις O_3 απ' ό τι τα άλλα δύο μοντέλα [Luecken et al., 2008]. Αυτό συμβαίνει διότι το μοντέλο είναι πιο ευαίσθητο στη χημεία του NO_x [Faraji et al.]. Επίσης, άλλες συγκρίσεις έδειξαν ότι το SAPRC99 ανταποκρίνεται περισσότερο στους ελέγχους απ' ό τι το CB4 [Arnold and Dennis, 2006].

4.2.2 Φωτοχημικές αντιδράσεις

Η τροποσφαιρική υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ευθύνεται για τις φωτοχημικές αντιδράσεις στην τροπόσφαιρα. Φωτόνια στο μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν την 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://crfm.acd.ucar.edu/Models/TUV>] όπου πρέπει να είναι γνωστές οι παράμετροι όπως ύψος από το έδαφος, αυξομειώσεις στο σημείο ζενίθ του ηλίου, την υπεριώδη αντανάκλαση του εδάφους (albedo) και την συγκέντρωση του όζοντος [Environ, 2010].

4.2.3 Χημεία υγρής φάσης

Για την μοντελοποίηση της χημείας της υγρής φάσης χρησιμοποιείται το μοντέλο ISORROPIA [Nenes et al., 1998].

4.2.4 Σχηματισμός αερολυμάτων

α) Πυρηνοποίηση

Ο ρυθμός πυρηνοποίησης υπολογίζεται προσεγγιστικά καθώς περιορίζεται από την επιλογή των μεγεθών που έχουμε. Χρησιμοποιείται το μοντέλο των Naraqi et al. (2002) για τα τρία είδη $NH_3-H_2SO_4-H_2O$. Η παραμετροποίηση $J(T, RH, c, \xi)$ χρησιμοποιεί το λόγο ανάμιξης του NH_3 (ξ , ppt), την συγκέντρωση του H_2SO_4 στην αέρια μορφή (c, cm^{-3}), τη θερμοκρασία ($T, ^\circ K$) και την σχετική υγρασία ($RH, \%$) σαν δεδομένα, παρέχοντας τον ρυθμό της πυρηνοποίησης σαν αποτέλεσμα. Το νερό υποτίθεται ότι είναι σε ισορροπία με την αέρια φάση του, λόγω της σχετικά μεγάλης συγκέντρωσης υδρατμών. Το ποσό του νερού στην σωματιδιακή μορφή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISORROPIA [Nenes et al., 1998].

β) Συσσωμάτωση (coagulation)

Ο συντελεστής συσσωμάτωσης για δύο σωματίδια διαμέτρου dp_1 και dp_2 , για την πρόσκρουση των σωματιδίων ορίζεται σαν:

$$K_{1,2} = 2\pi(dp_1 + dp_2)(D_1 + D_2)\beta \quad (4.11)$$

όπου β είναι ο συντελεστής διόρθωσης Fuchs, $D_{1,2}$ οι συντελεστές της αέριας διάχυσης των σωματιδίων.

γ) Σχηματισμός μη οργανικών αερολυμάτων

Το PMCAMx επιτρέπει να επιλεγεί μία 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 [Pilinis et al., 2000].

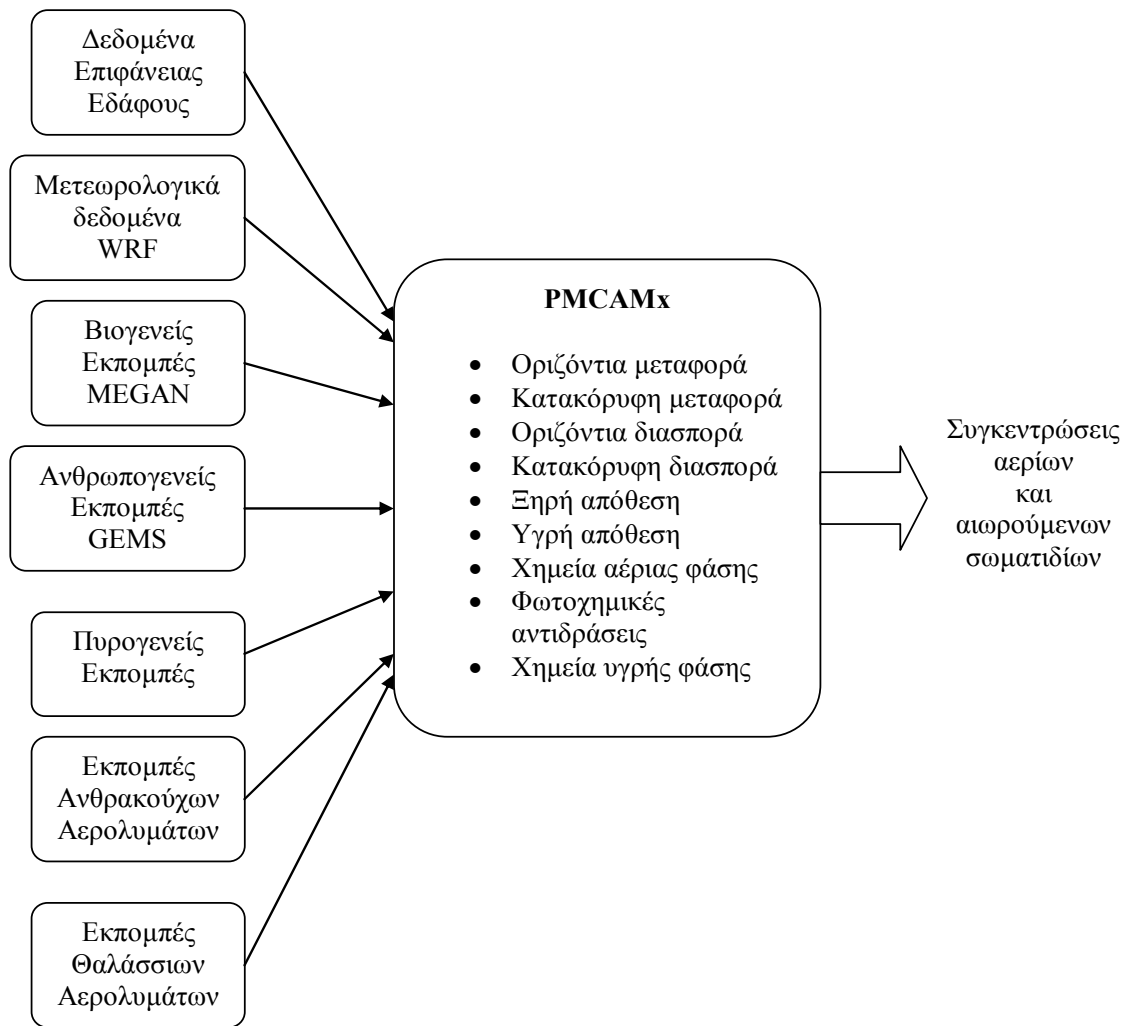
δ) Οργανικά αερολύματα

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

4.3 Δεδομένα εισόδου στο PMCAMx

Για να λειτουργήσει το μοντέλο πρέπει να εισαχθούν δεδομένα (Σχήμα 16) που θα περιγράφουν τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που εξετάζεται, τις εκπομπές αερίων και αερολυμάτων και τον τύπο της επιφάνειας που εξετάζεται.

Τα δεδομένα των εκπομπών αποτελούν πακέτα εργασίας στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος για το περιβάλλον EUCAARI (European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions, <http://www.atm.helsinki.fi/eucaari>) και είναι αποτελέσματα συνεργασίας διαφόρων ερευνητικών ομάδων που εργάστηκαν για το πρόγραμμα. Προετοιμάστηκαν και οργανώθηκαν κατάλληλα για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το PMCAMx, στο τμήμα Περιβάλλοντος (Dr. Χαραλαμπίδης Παν., προσωπική επικοινωνία).



Σχήμα 16: Σχηματική λειτουργία του μοντέλου PMCAMx όπου φαίνονται τα δεδομένα εισόδου, οι διεργασίες του μοντέλου και τα δεδομένα εξόδου αυτού.

4.3.1 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 (Non-forested wetlands), συνδυασμός αγροτικών εκτάσεων και τέλος βραχώδεις εκτάσεις με μικρή θαμνώδη βλάστηση.

4.3.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα μας παρέχουν πληροφορίες για την πίεση του αέρα, για την ταχύτητά του, την θερμοκρασία, την ποσότητα υγρασίας που υπάρχει

και για την νεφοκάλυψη και την βροχόπτωση. Υπολογίζονται με το μοντέλο Weather Research and Forecasting (WRF). Το μοντέλο αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται από διάφορους οργανισμούς όπως το National Center for Atmospheric Research (NCAR), το National Oceanic and Atmospheric Administration, το the National Centers for Environmental Prediction (NCEP), το Forecast Systems Laboratory (FSL), το Air Force Weather Agency (AFWA), το the Naval Research Laboratory, το University of Oklahoma και το Federal Aviation Administration (FAA) (www.wrf-model.org).

Τα μετεωρολογικά δεδομένα παρέχονται στο μοντέλο έτσι ώστε να γίνει μία ποσοτικοποίηση της κατάστασης της ατμόσφαιρας σε κάθε κελί για τον σκοπό του υπολογισμού της μεταφοράς των ρύπων και των αερολυμάτων καθώς και για την χημεία τους [Environ, 2010].

4.3.3 MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), βιογενείς εκπομπές

Το μοντέλο MEGAN (<http://acd.ucar.edu>) χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι εκπομπές αερίων και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από οικοσυστήματα (βιογενείς εκπομπές). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί το μοντέλο συμπεριλαμβάνουν δεδομένα κάλυψης του εδάφους, ατμοσφαιρικά δεδομένα καθώς και δεδομένα της χημικής σύστασης της ατμόσφαιρας. Εξετάζει 134 χημικά είδη που ανήκουν στις κατηγορίες των:

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

4.3.4 GEMS (Global and regional Earth-system Monitoring using Satellite and in-situ data), ανθρωπογενείς εκπομπές

Το GEMS (<http://www.tno.nl>) είναι ένα πρόγραμμα επιδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση το οποίο έχει σκοπό να δημιουργήσει βάσεις δεδομένων για τις εκπομπές αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα δεδομένα εκπομπών του μοντέλου παραχωρήθηκαν από τον Dr. Hugo Denier Van der Gon. Η τελική βάση δεδομένων που έχει αναπτυχθεί, χωρίζει την περιοχή που εξετάζεται σε μικρότερα τμήματα και επίσης παρέχει δεδομένα εκπομπών για κάθε χώρα ξεχωριστά. Τα δεδομένα προέρχονται από πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις δορυφόρων και από μετρήσεις που έγιναν στο πεδίο, στην ευρύτερη περιοχή της Ευρωπαϊκής ηπείρου (από την Ιρλανδία έως και το Καζακστάν).

Τα αέρια που εξετάζονται είναι: NO_x, SO₂, NMVOCs (Non Methane VOCs), NH₃, CH₄, ενώ τα σωματίδια που εξετάζονται είναι PM_{2,5} και PM₁₀.

Οι πηγές των δεδομένων κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Πίνακας 3: Πηγές ρύπων για το πρόγραμμα GEMS

Κατηγορία πηγής

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

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

4.3.5 Δεδομένα εκπομπών από πυρκαγιές

Τα δεδομένα πυρογενών εκπομπών έχουν παραχωρηθεί από τον Dr. Michail Sofiev (Michail.Sofiv@fmi.fi) του Finnish Meteorological Institute.

4.3.6 Εκπομπές αερολυμάτων EC/OC (ανθρακούχων)

Για τις εκπομπές EC (elemental carbon) και OC (organic carbon) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GAINS (<http://www.iiasa.ac.at/>). Το μοντέλο υπολογίζει τις εκπομπές διαφόρων πηγών παραγωγής μέσω μίας 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 από την 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 επιπλέον σε δύο κατηγορίες. Η μία με σωματίδια μικρότερα από 1μm και η άλλη με σωματίδια από 1μm έως 2.5μm. Τα δεδομένα εκπομπών του μοντέλου παραχωρήθηκαν από τον Dr. Hugo Denier Van der Gon.

4.3.7 Εκπομπές θαλάσσιων αερολυμάτων

Για τον προσδιορισμό των εκπομπών των θαλάσσιων αερολυμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός τριών μοντέλων παραγωγής SSAs. Χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα του 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 1μm καθώς και το μοντέλο των Geever et al. [2005] για τα σωματίδια που παράγονται στο μέγεθος που ορίζει η συσφρευτική κατηγορία (0.1-1μm).

4.3.7.1 Η εξίσωση Geever

Η εξίσωση Geever υπολογίζει τον αριθμό των σωματιδίων συνδυάζοντας την ταχύτητα του ανέμου στα 10m από την επιφάνεια της θάλασσας, την συγκέντρωση της χλωροφύλλης C_{Chlo} καθώς και την εξίσωση παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων για να παράγει την εκπομπή (σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων) τον πληθυσμό, τη μάζα και τον εμπλουτισμό των σωματιδίων σε υδροδιαλυτές οργανικές ενώσεις. Είναι:

$$F_{Geever} = 1.854 \cdot 10^3 U_{10}^{2.706} \quad (\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) \quad (4.12).$$

Όπου U_{10} είναι η ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο 10 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Εφαρμόζεται για διαμέτρους $0.1\mu\text{m} < D_p < 1\mu\text{m}$. Έχοντας υπολογίσει την αριθμητική ροή των σωματιδίων χρησιμοποιώντας την εξίσωση Geever, μπορεί να υπολογιστεί (Σχήμα 17) η ροή της μάζας για γνωστή διάμετρο D_p , η οποία εξαρτάται από την εποχή και την πυκνότητα ρ (kg/m^3):

$$\frac{dM}{dD_p} = \frac{\pi}{6} \rho D_p^3 \frac{dN}{dD_p} \quad (4.13),$$

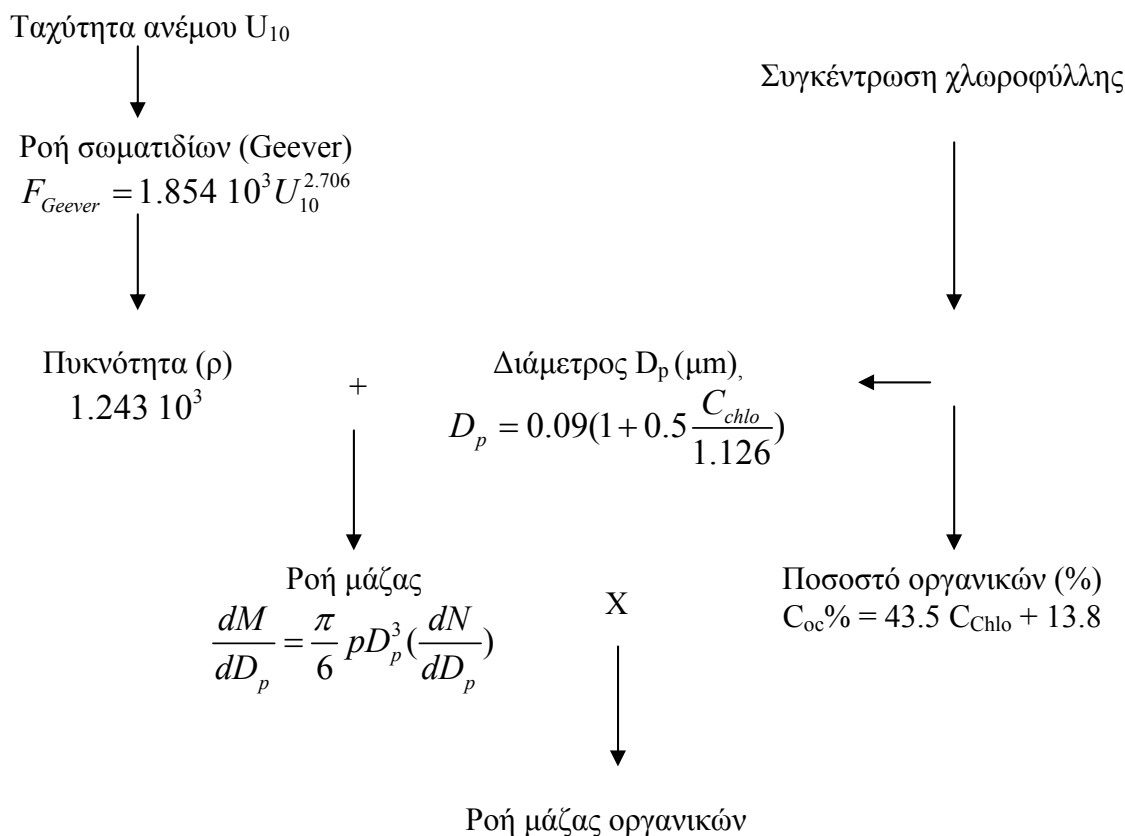
όπου dN/dD_p είναι η αριθμητική τιμή της ροής των σωματιδίων που υπολογίστηκε από την εξίσωση Geever (D_p σε m), και ρ είναι η πυκνότητα των σωματιδίων (kg/m^3). Επιπλέον, η διάμετρος είναι εξαρτώμενη από την συγκέντρωση C_{chlo} της χλωροφύλλης (chlorophyll-a) και βρίσκεται με την εξίσωση:

$$D_p = 0.09 \left(1 + 0.5 \frac{C_{chlo}}{1.126} \right) \quad (4.14).$$

Η ποσότητα επί τοις 100, των οργανικών που βρίσκονται στα αερολύματα, βρίσκεται από την σχέση:

$$C_{oc}\% = 43.5 C_{Chlo} + 13.8 \quad (4.15).$$

Όπου C_{oc} είναι η συγκέντρωση της οργανικής ύλης και C_{Chlo} είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης. Πολλαπλασιάζοντας την ροή της μάζας ($\frac{dM}{dD_p}$) με το ποσοστό των οργανικών που υπολογίζονται από την παραπάνω σχέση (4.12), μπορούμε να βρούμε την συγκέντρωση της μάζας των οργανικών [O'Dowd et al. 2008].



Σχήμα 17: Σχεδιάγραμμα υπολογισμού της ροής μάζας των οργανικών χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Geever et al. [2005].

4.3.7.2 Η εξίσωση Monahan

Η ροή των σωματιδίων για μεγέθη μεγαλύτερα από $1 \mu m$ δίνεται από τις σχέσεις των Monahan et al. και Smith and Harrison. Οι Guelle et al. [2001] αναφέρουν πως ο συνδυασμός των δύο μοντέλων δίνει αποτελέσματα πολύ κοντά στην πραγματικότητα.

Η εξίσωση Monahan ορίζεται ως εξής:

$$F_{Monahan} = \int_{D_{p1}}^{D_{p2}} 2 \cdot 1.373 U_{10}^{3.41} (2D_p)^{-3} (1 + 0.057(2D_p)^{1.05}) 10^{1.19e^{-B^2}} dD_p \quad (4.16)$$

Όπου D_p είναι διάμετρος των σωματιδίων (σε μm) που σχηματίζονται και

$$B = \frac{0.380 - \log D_p}{0.650} \quad (4.17)$$

4.3.7.3 Το μοντέλο Smith-Harrison

Η εξίσωση των Smith-Harrison ορίζεται ως εξής:

$$F_{Smith-Har} = \int_{D_{p1}}^{D_{p2}} \sum_{i=1}^2 A_i e^{\left(-f_i \left[\ln\left(\frac{D_p}{2r_{0i}}\right)\right]^2\right)} dD_p \quad (4.18).$$

A_i ορίζεται ως:

$$A_1 = 0.2U_{10}^{3.5}, \quad A_2 = 6.8 \cdot 10^{-3} U_{10}^3 \quad (4.19).$$

Η $r_{01}=3\mu\text{m}$ και η $r_{02}=30\mu\text{m}$, ενώ η $f_1=1.5$ και η $f_2=1$, που είναι διορθωτικές παράμετροι του μοντέλου.

Σύμφωνα με τους Guelle et al. [2001], η εξίσωση Monahan χρησιμοποιείται για σωματίδια έως $4\mu\text{m}$ ενώ αυτή των Smith and Harrison [1998] δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για σωματίδια με διάμετρο από $4\mu\text{m}$ και μεγαλύτερα. Για την παραγωγή των θαλάσσιων αερολυμάτων στο δικό μας μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Monahan για σωματίδια από $1\mu\text{m}$ έως $4\mu\text{m}$ και η εξίσωση Smith-Harrison από $4\mu\text{m}$ έως $10\mu\text{m}$. Πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι διαμέτροι στα μοντέλα αναφέρονται σε ξηρά σωματίδια.

4.3.7.4 Εξίσωση παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι ο συνδυασμός των παραπάνω εξισώσεων (Ο' Dowd, 2008) και βασίζεται σε κώδικα γραμμένο σε FORTRAN από τον Υποψ. Διδάκτορα Πολυμενέα Π. (Παν. Αιγαίου). Θεωρείται πως ο συνδυασμός των εξισώσεων Geever, Monahan και Smith-Harrison αποδίδουν αρκετά καλά την παραγωγή SSA (τηλ. επικοινων. με Ο' Dowd). Ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} F &= 1.854 \cdot 10^3 U_{10}^{2.706} \\ &+ \int_{D_{p1}}^{D_{p2}} 2 \cdot 1.373 U_{10}^{3.41} (2 D_p)^{-3} (1+0.057 (2D_p)^{1.05}) 10^{1.19e^{-B^2}} dD_p \\ &+ \int_{D_{p1}}^{D_{p2}} \sum_{i=1}^2 A_i e^{\left(-f_i \left[\ln\left(\frac{D_p}{2r_{0i}}\right)\right]^2\right)} dD_p \end{aligned} \quad (4.20).$$

F σε (m⁻² sec⁻¹). Το μοντέλο μας δίνει την ροή των σωματιδίων που παράγονται. Ο διαχωρισμός των σωματιδίων σε Cl, Na, θειικά άλατα και υλικά του φλοιού (crustal material) [Athanasopoulou et al., 2008] γίνεται σύμφωνα γίνεται ως εξής:

55% Cl⁻, 30.6% Na⁺, 8% sea-salt sulfate (ss-SO₄⁻), Crustal Material: 6.4%.

Για τα σενάρια που εξετάζονται τροφοδοτούμε το σύστημα με εκπομπές:

1. που υπολογίζονται τα θαλάσσια αερολύματα (Πίνακας 4α)
2. χωρίς να υπολογίζονται τα θαλάσσια αερολύματα (Πίνακας 4β).

Πίνακας 4α: Σύνολο Μάζας Εκπομπών για τον Μάιο 2008, (Kilotones)

<i>Είδη</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>NH₃</i>	<i>NMVOC</i>	<i>PNO₃</i>
Anthropogenic Gas	3681.76	1461.24	1674.58	500.79	1290.84	—
Anthropogenic EC/OC	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Megan)	438.77	23.87	—	—	2878.90	—
Biogenic (Sea Salt Aerosol)	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Fires)	768.28	21.81	3.27	11.44	10.63	7.33
Total mass	4888.81	1506.92	1677.85	512.23	4180.37	7.33

<i>Είδη</i>	<i>PSO₄</i>	<i>PNH₄</i>	<i>PEC</i>	<i>POC</i>	<i>PNa</i>	<i>PCL</i>
Anthropogenic Gas	—	—	—	—	—	—
Anthropogenic EC/OC	—	—	58.46	82.06	—	—
Biogenic (Megan)	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Sea Salt Aerosol)	1294.44	—	—	43.47	4951.23	8899.28
Biogenic (Fires)	15.31	1.10	15.89	50.05	—	—
Total mass	1309.75	1.10	74.35	175.59	4951.23	8899.28

Τα είδη που αναφέρονται είναι: CO: Μονοξείδιο του άνθρακα, NO_x: Νιτρικά, SO_x: Θειικά, NH₃: Αμμωνία, NMVOC: Non Methane VOCs, PNO₃: Νιτρικά αερολύματα, Θειικά αερολύματα, PNH₄: Αμμωνιακά αερολύματα, PEC: Πρωτογενής στοιχειακός άνθρακας, POC: Σωματιδιακός οργανικός άνθρακας.

Πίνακας 4β: Μάζα Εκπομπών για τον Μάιο 2008 χωρίς τα θαλάσσια αερολύματα, (Kilotones)

<i>Είδη</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>NH₃</i>	<i>NMVOC</i>	<i>PNO₃</i>
Anthropogenic Gas	3681.76	1461.24	1674.58	500.79	1290.84	—
Anthropogenic EC/OC	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Megan)	438.77	23.87	—	—	2878.90	—
Biogenic (Sea Salt Aerosol)	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Fires)	768.28	21.81	3.27	11.44	10.63	7.33
Total mass	4888.81	1506.92	1677.85	512.23	4180.37	7.33

<i>Είδη</i>	<i>PSO₄</i>	<i>PNH₄</i>	<i>PEC</i>	<i>POC</i>	<i>PNa</i>	<i>PCL</i>
Anthropogenic Gas	—	—	—	—	—	—
Anthropogenic EC/OC	—	—	58.46	82.06	—	—
Biogenic (Megan)	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Sea Salt Aerosol)	—	—	—	—	—	—
Biogenic (Fires)	15.31	1.10	15.89	50.05	—	—
Total mass	15.31	1.10	74.35	132.12	—	—

Τα είδη που αναφέρονται είναι: CO: Μονοξείδιο του άνθρακα, NO_x: Νιτρικά, SO_x: Θειικά, NH₃: Αμμωνία, NMVOC: Non Methane VOCs, PNO₃: Νιτρικά αερολύματα, Θειικά αερολύματα, PNH₄: Αμμωνιακά αερολύματα, PEC: Πρωτογενής στοιχειακός άνθρακας, POC: Σωματιδιακός οργανικός άνθρακας.

4.4 Η εφαρμογή του μοντέλου για τα σενάρια του Μάιο 2008

Για τα σενάρια που εξετάζονται παραμετροποιήθηκε το PMCAMx για να μπορεί να εξάγει αποτελέσματα που ανταποκρίνονται πιο πιστά στην πραγματικότητα. Εφαρμόστηκε για τον μήνα Μάιο του 2008, για δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο είχαμε όλες τις πηγές αερολυμάτων και αερίων ρύπων μαζί με τα θαλάσσια αερολύματα, ενώ στο δεύτερο σενάριο δεν είχαμε θαλάσσια αερολύματα.

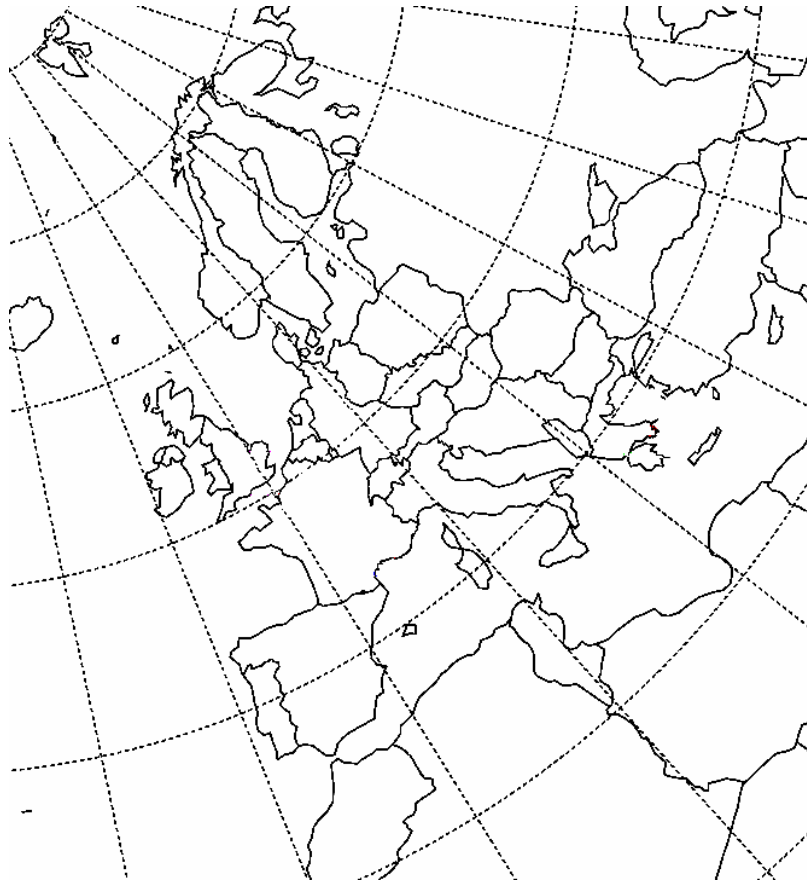
Η περιοχή που εξετάζεται είναι η ευρύτερη περιοχή της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το Polar Stereographic με τα εξής στοιχεία:

- True Latitude 60° και Standard Longitude -32° και οι μονάδες που εκφράζονται οι προβολές είναι σε χιλιόμετρα (km).
- Το πλέγμα (grid) που χωρίστηκε η περιοχή που εξετάζεται περιέχει 150 κελιά στον άξονα X και 162 κελιά στον άξονα Y με κάθε κελί να είναι 36kmX36km.
- Το νοτιοδυτικό άκρο του grid βρίσκεται στις συντεταγμένες $-27,52838^{\circ}$ (longitude) και $34,245880^{\circ}$ (latitude).

Το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα να χωριστεί το πλέγμα σε μικρότερα ενσωματωμένα πλέγματα (nested grid), προτιμήθηκε όμως να παραμείνει ο διαχωρισμός στο βασικό πλέγμα των 36X36 km (coarse grid). Ο κατακόρυφος άξονας χωρίζεται σε 14 τμήματα με διαφορετικά υψόμετρα η κάθε στρώση. Αυτά είναι:

Πίνακας 5: Αρχικό και τελικό υψόμετρο των στρωμάτων του μοντέλου.

Αριθμός στρώσης (layer)	Αρχικό Υψόμετρο (m)	Τελικό Υψόμετρο (m)
1	0	36
2	36	72
3	72	109
4	109	146
5	146	294
6	294	521
7	521	753
8	753	1071
9	1071	1400
10	1400	1828
11	1828	2461
12	2461	3941
13	3941	4552
14	4552	6500



Σχήμα 18: Η ευρύτερη περιοχή της Ευρωπαϊκής ηπείρου σε Polar Stereographic.

Τα σωματίδια που εξετάζονται, ανάλογα με το μέγεθός τους, διαχωρίζονται σε 10 κατηγορίες (size bins). Τα μικρότερα σωματίδια που εξετάζονται είναι μεγέθους ίσο με $0.039063\mu\text{m}$ ενώ τα μεγαλύτερα είναι μεγέθους $40\mu\text{m}$. Αναλυτικότερα τα size bins είναι:

Πίνακας 6: Κατανομή των σωματιδίων σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους.

Size bin	Μέγεθος σωματιδίων (διάμετρος σε μm)	
1	0.039063	- 0.078125
2	0.078125	- 0.15625
3	0.15625	- 0.3125
4	0.3125	- 0.625
5	0.625	- 1.25
6	1.25	- 2.5
7	2.5	- 5.
8	5.	- 10.
9	10.	- 20.
10	20.	- 40.

Τα είδη των αερίων και των σωματιδίων που εξετάζει το μοντέλο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7α: Τα είδη των αερολυμάτων που επεξεργάζεται το μοντέλο.

Είδος	Περιγραφή
NO	Nitric oxide
NO ₂	Nitrogen dioxide
O ₃	Ozone
PAN- _{1→2}	Peroxy acetyl nitrate
MPAN	PAN compound from Methacrolein
PBZN	Peroxybenzoyl nitrate
NPHE	Nitrophenol
RNO ₃	Organic nitrate
CRES	Cresol
DCB- _{1→3}	Aromatic ring opening dicarbonyl product
HNO ₄	Peroxynitric acid
HONO	Nitrous acid
XN	Other nitrogen containing product (πλην όσων αναφέρονται)
HCHO	Formaldehyde
CCHO	Acetaldehyde
RCHO	Higher aldehyde (based on propionaldehyde)
BACL	Biacetyl
PROD	Organic product
BALD	Aromatic aldehydes
PHEN	Phenol
ISOP	Isoprene
ISPD	Isoprene product
MVK	Methyl vinyl ketone
METH	Methacrolein
MGLY	Methylglyoxal
GLY	Glyoxal
TERP	Terpene
BPIN	Beta-pinene
LIMO	Limonene
MONO	Monomethylether
SESQ	Sesquiterpene
HNO ₃	Nitric acid
HO ₂ H	Hydrogen peroxide
HC ₂ H	Formic acid
CO ₂ H	Acetic acid
CO ₃ H	Peroxyacetic acid
RC ₂ H	Higher carboxylic acid
RC ₃ H	Higher percarboxylic acid
ACET	Acetone
MEK	Methylethyl ketone
MEOH	Methanol
COOH	Methyl hydroperoxide
ROOH	Organic hydroperoxide
CO	Carbon monoxide
ETHE	Ethene
ALK- _{1→5}	Lumped alkane
ARO- _{1→2}	Lumped aromatic

ΑΕΡΙΑ

OLE- _{1→2}	Lumped olefin
NXOY	NO _x mass accounting species
SO ₂	Sulfur dioxide
SULF	Sulfuric acid
NH ₃	Ammonia

Στα αέρια δεν υπάρχουν volatility και size bins. Οι δείκτες σε διάφορες αέρια ενώσεις πχ. ALK-_{1→5}, αναφέρονται σε 5 διαφορετικές ενώσεις των αλκενίων.

Πίνακας 7β: Τα είδη των αερολυμάτων που επεξεργάζεται το μοντέλο.

Είδος	Volatility Bin		Size Bin		Περιγραφή
	Από	Εώς	Από	Εώς	
APO	1	10	1	10	Primary organic aerosols
AOO	1	10	1	10	Oxygenated primary organic aerosol
ABS	1	4	1	10	Biogenic secondary organic aerosol
AAS	1	4	1	10	Anthropogenic secondary organic aerosol
POC			1	10	Particulate organic carbon
PEC			1	10	Primary elemental carbon
CRST			1	10	Crust material
PH ₂ O			1	10	Aerosol water content
PCL			1	10	Particulate chloride
NA			1	10	Sodium
PNH ₄			1	10	Particulate ammonium
PNO ₃			1	10	Particulate Nitrate
PSO ₄			1	10	Sulfate

Ο δείκτης των volatility bins χωρίζει τα είδη που εξετάζονται ανάλογα με την πτητικότητα τους σε 10 κατηγορίες. Ομοίως και για τα size bins ο διαχωρισμός γίνεται σε 10 κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος

Κεφάλαιο 5

Ανάλυση

5.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των δεδομένων που παράχθηκαν από το μοντέλο γίνεται με την βοήθεια του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Mathematica [Stephen Mangano, 2010]. Αυτό επιτρέπει την ύπαρξη γρήγορης και αυτοματοποιημένης πρόσβασης στον όγκο των δεδομένων που έχουν παραχθεί.

Τα δεδομένα που παράγει στην έξοδό του το PMCAMx είναι η συγκέντρωση των αερίων σε $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ για τα αέρια και για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις μέσες συγκεντρώσεις που υπάρχουν σε κάθε κελί του καννάβου στο οποίο έχει διαχωριστεί η περιοχή η οποία εξετάζεται.

Τα δεδομένα της εξόδου του μοντέλου αναφέρονται σε μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις ανά κελί, ανά στρώση και είναι συγκεντρώσεις για κάθε ημέρα που εξετάζουμε και για τα δύο τα σενάρια. Λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων, τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις. Εξετάζεται το πρώτο από τα 14 στρώματα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Από τα αποτελέσματα δεν συμπεριλαμβάνονται οι τέσσερις πρώτες μέρες του Μαΐου για να μειωθεί η επίδραση των αρχικών συνθηκών (transient). Κατά την ανάλυση των δεδομένων μετρίεται η συνολική μάζα αερολυμάτων που εξάγονται από το μοντέλο από τις 5 έως τις 29 Μαΐου 2008.

Η αερολυματική μάζα που παράγεται από το μοντέλο χωρίζονται στις εξής κατηγορίες. Τα POC είναι η μάζα των σωματιδιακών οργανικών ενώσεων, τα PEC είναι η μάζα του σωματιδιακού στοιχειακού άνθρακα (αιθάλη, black carbon), PNH_4 είναι η μάζα της σωματιδιακής αμμωνίας, PNO_3 είναι η μάζα των σωματιδιακών νιτρικών, CRST είναι η μάζα των σωματιδίων τα οποία θεωρούνται από το μοντέλο ανενεργά και δεν αντιδρούν χημικά με τα υπόλοιπα αέρια και σωματίδια, τα PSO_4 είναι η μάζα των σωματιδιακών θεικών, Na η μάζα των σωματιδίων νατρίου και τα PCI είναι η μάζα του σωματιδιακού χλωρίου.

Έγιναν δύο εφαρμογές του μοντέλου ώστε να συγκρίνουμε τις κατανομές των σωματιδιακών ρύπων στην περιοχή της Ευρώπης. Η πρώτη έγινε με εκπομπές θαλάσσιων αερολυμάτων και η δεύτερη χωρίς να περιλαμβάνει τα σωματίδια από τη θάλασσα. Από εδώ και πέρα το σενάριο που περιλαμβάνει τα θαλάσσια αερολύματα θα ονομάζεται σενάριο SSA και αυτό που δεν τα περιλαμβάνει θα ονομάζεται σενάριο NoSSA.

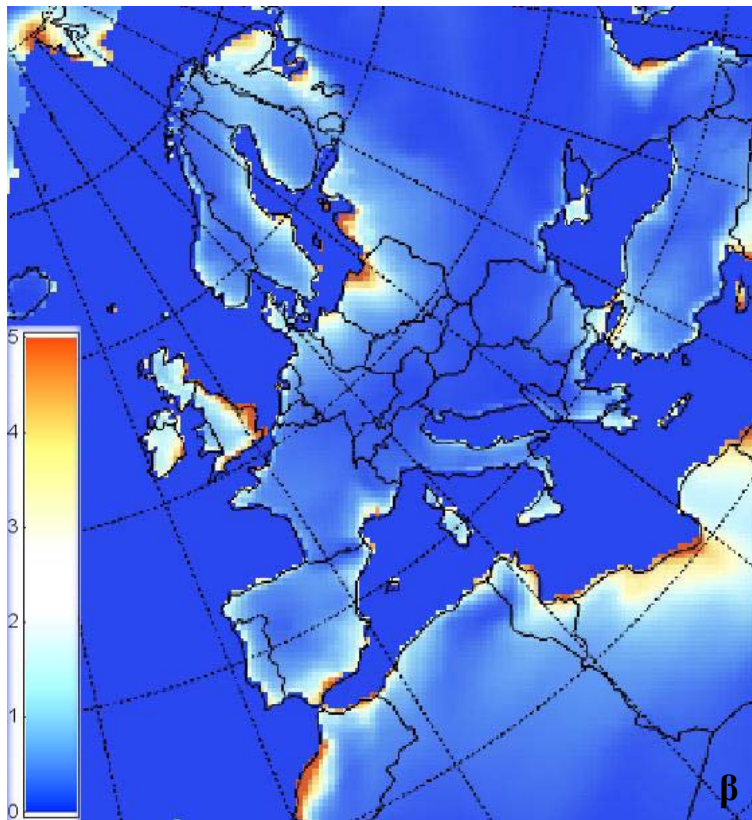
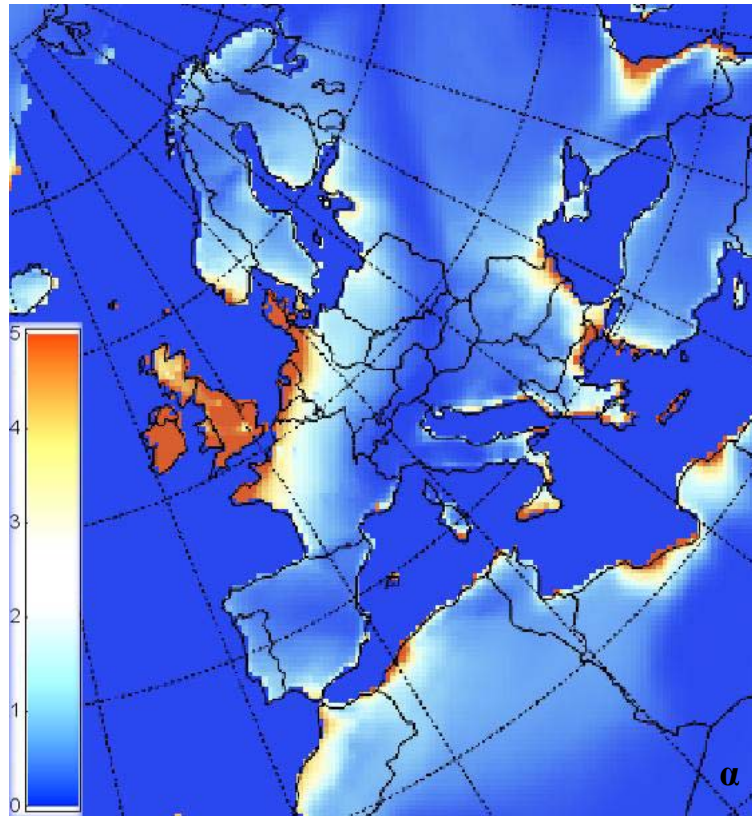
5.2 Τα θαλάσσια αερολύματα κατά την περίοδο που εξετάζουμε

Τα PM₁₀ μας δείχνουν την γενική συμπεριφορά των αερολυμάτων στην περιοχή που εξετάζουμε. Μία εικόνα του ποσοστού που συμμετέχουν τα θαλάσσια αερολύματα στο σύνολο της μάζας των αερολυμάτων φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα. Παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές μάζας PM₁₀ των αερολυμάτων για τις ημερομηνίες των σεναρίων, οι μάζες του σωματιδιακού νατρίου και χλωρίου καθώς και το ποσοστό με το οποίο συμμετέχουν στην συνολική μάζα των αερολυμάτων. Επιλέγουμε να μελετήσουμε τις μάζες σωματιδίων χλωρίου και νατρίου καθώς αυτές παράγονται μόνο από το μοντέλο θαλάσσιων αερολυμάτων και από καμία άλλη πηγή εκπομπής ρύπων. Στον πίνακα (Πίνακας 8) φαίνονται οι μέρες κατά τις οποίες έχουμε πολύ μεγάλα ποσοστά θαλάσσιων αερολυμάτων στο σύνολο της μάζας, καθώς και τις μέρες που τα PM₁₀ έχουν τις μέγιστες και τις μικρότερες τιμές μάζας. Οι τιμές υπολογίστηκαν από τις συγκεντρώσεις των αερολυμάτων, πολλαπλασιασμένες με τον όγκο του κάθε κελιού στο κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 8: Η συνολική μέση ημερήσια μάζα PM₁₀ για τον Μάιο 2008, στο κατώτερο στρώμα, για το σενάριο SSA.

Ημερομηνία	PM ₁₀ σενάριο SSA (τόνοι)	Na PM ₁₀ (τόνοι)	PCI PM ₁₀ (τόνοι)	Ποσοστό της μάζας PCI και Na στο σύνολο των PM ₁₀ (%)
5	4241.40	414.66	439.53	20.14
6	4078.69	386.79	406.34	19.45
7	4142.50	416.98	446.76	20.85
8	4236.62	416.23	441.20	20.24
9	4104.41	432.14	468.73	21.95
10	4475.03	481.35	519.77	22.37
11	4566.34	496.06	518.55	22.22
12	4451.75	443.16	453.45	20.14
13	4221.34	480.85	503.06	23.31
14	3945.57	499.78	510.56	25.61
15	3713.59	439.24	428.08	23.36
16	3747.57	437.30	446.32	23.58
17	3660.28	441.43	464.85	24.76
18	3667.97	469.43	507.35	26.63
19	3814.24	496.03	540.79	27.18
20	3712.20	489.24	525.43	27.33
21	3903.76	442.84	471.49	23.42
22	4026.74	413.50	432.34	21.01
23	3935.73	386.18	406.05	20.13
24	3884.46	424.70	471.04	23.06
25	3974.30	487.12	549.52	26.08
26	3770.56	456.02	506.63	25.53
27	3849.22	439.55	477.33	23.82
28	4019.68	514.85	548.51	26.45
29	3627.10	471.45	474.06	26.07

Na: σωματιδιακό νάτριο, PCI: σωματιδιακό χλώριο. Οι τιμές αναφέρονται στις μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων που υπάρχουν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, σε περιοχές πάνω από έδαφος χωρίς να συμπεριλαμβάνονται αυτές πάνω από θάλασσα.



Σχήματα 19_{α-β}: Οι συγκεντρώσεις νατρίου PM₁₀ κατά την 20^η Μαΐου 2008 (σχ. α) και 6^η Μαΐου 2008 (σχ. β), για το σενάριο που περιλαμβάνει την θαλάσσια δραστηριότητα. Οι περιοχές με κόκκινο χρώμα έχουν συγκεντρώσεις πάνω από 5µg/m³.

Τα θαλάσσια αερολύματα συμμετέχουν στο σύνολο της μάζας των αερολυμάτων σε ποσοστό 23.4% κατά μέσο όρο για όλες τις ημερομηνίες του σεναρίου. Παρατηρείται πως κατά τις ημερομηνίες 6 και 23 Μαΐου 2008 εμφανίζονται οι μικρότερες ποσοστιαίες τιμές των σωματιδίων νατρίου και χλωρίου στο σύνολο των αερολυμάτων (19.45% και 20.13% αντίστοιχα), ενώ κατά τις ημερομηνίες 19 και 20 Μαΐου έχουμε τα μέγιστα ποσοστά (27.18% και 27.33% αντίστοιχα). Κατά την 20^η Μαΐου οι μέγιστες συγκεντρώσεις θαλάσσιων αερολυμάτων φαίνεται πως εμφανίζονται στις παραθαλάσσιες περιοχές και όσο προχωράμε προς την ενδοχώρα αυτές μειώνονται (Σχήματα 19_{α-β}). Οι συγκεντρώσεις νατρίου PM₁₀ είναι αρκετά μειωμένες την 6^η Μαΐου όπου έχουμε τη μικρότερη μάζα θαλάσσιων αερολυμάτων πάνω από την στεριά. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται σε παραθαλάσσιες περιοχές και ειδικότερα στην περιοχή της Αγγλίας και στα Βόρεια παράλια της Ευρώπης. Σχεδόν καμία περιοχή του δεν εμφανίζει μηδενικές συγκεντρώσεις θαλάσσιων αερολυμάτων.

5.3 Τα μοντέλα παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων και η εφαρμογή του

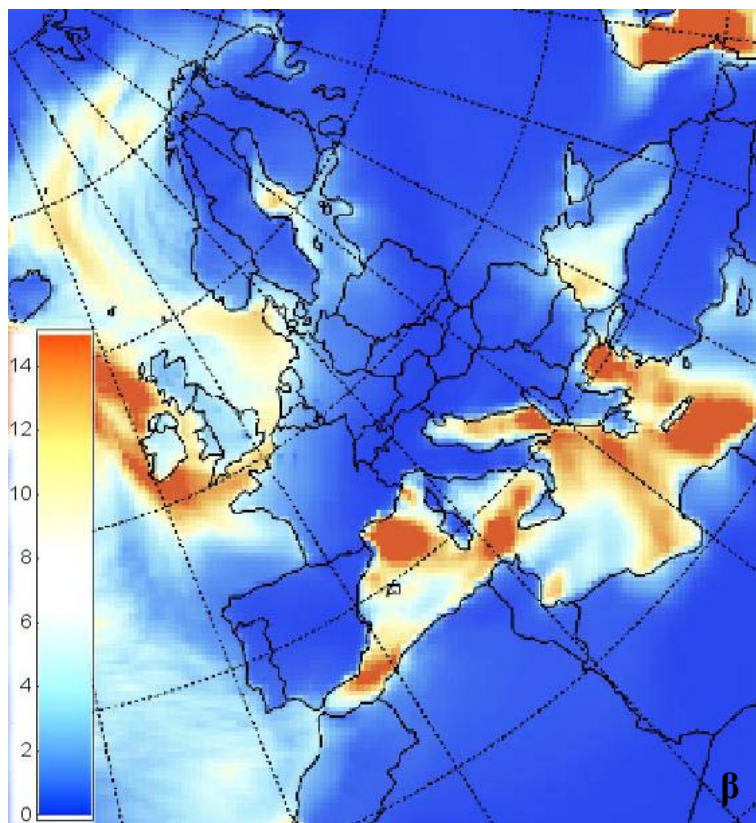
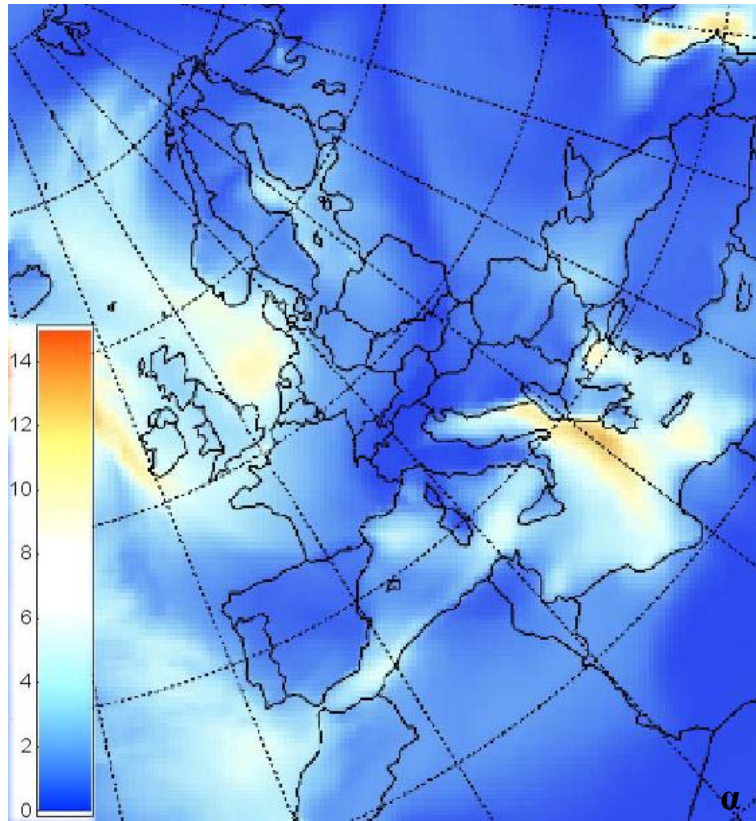
Σύμφωνα με όσα έχουμε προαναφέρει (Κεφ.4, παρ.4.3.7) τα μοντέλα παραγωγής αερολυμάτων που χρησιμοποιούνται είναι αυτά των Smith και Harrison και του Monahan τα οποία παράγουν θαλάσσια αερολύματα σε μεγέθη πάνω από 1μm, ενώ το μοντέλο του Geever χρησιμοποιείται για παραγωγή αερολυμάτων αεροδυναμικής διαμέτρου από 0.1μm έως 1μm.

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα οι συγκεντρώσεις των θαλάσσιων αερολυμάτων για την 20^η Μαΐου 2008. Οι χωρικές κατανομές παρουσιάζονται στις περιοχές PM₁ και για σωματίδια με μεγέθη από 1μm έως 10μm σύμφωνα με τα επιμέρους υπομοντέλα που συνθέτουν που συνθέτουν το συνολικό μοντέλο παραγωγής των θαλάσσιων αερολυμάτων. Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει πληρέστερη ανάλυση των επιμέρους συστατικών και μόνο επάνω από την ηπειρωτική περιοχή της Ευρώπης.

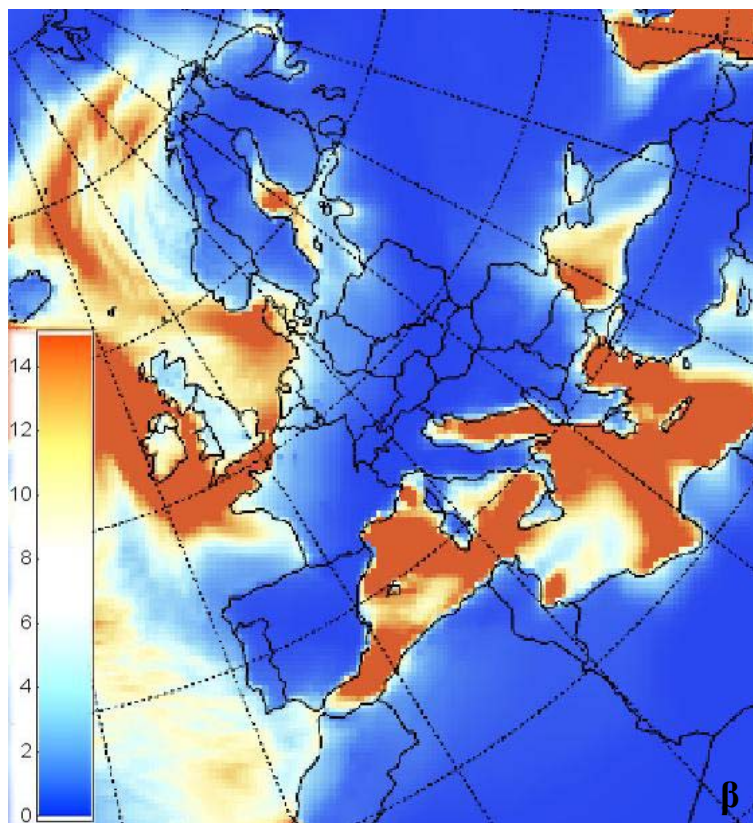
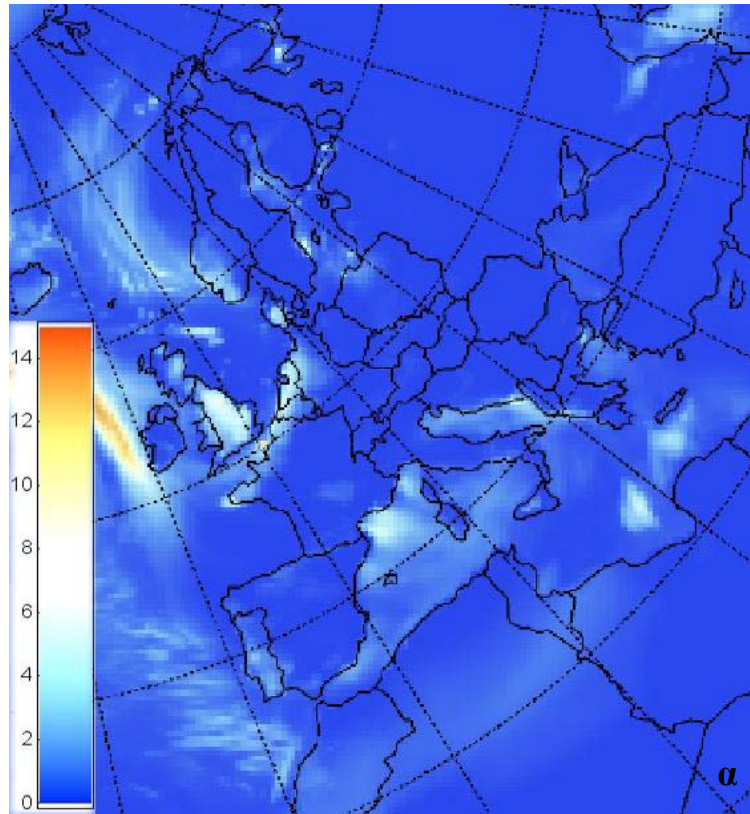
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήματα 20_{α-β}) παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις σωματιδίων νατρίου PM₁ και PM₁₋₁₀. Παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες σε σωματίδια διαμέτρων μεγαλύτερων του 1μm. Αντίθετα τα μικρότερα σωματίδια νατρίου δεν βρίσκονται σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις. Αυτό οφείλεται στο μοντέλο που εφαρμόστηκε για τις εκπομπές θαλάσσιων αερολυμάτων, το οποίο συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας σε σωματίδια διαμέτρου πάνω από 1μm.

Οι συγκεντρώσεις χλωρίου PM₁ και σωματιδίων PM₁₋₁₀ παρουσιάζονται στα σχήματα 21_{α-β}. Όπως και στα σωματίδια νατρίου, έτσι και σε αυτά του χλωρίου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα σωματίδια με διαμέτρους μεγαλύτερες από 1μm. Οι διαφορές που προκύπτουν στις συγκεντρώσεις ανάμεσα σε αυτές του νατρίου και του χλωρίου οφείλονται στο μοντέλο που παράγει τα SSAs και στον διαχωρισμό που κάνει στην ποσότητα των μαζών τους.

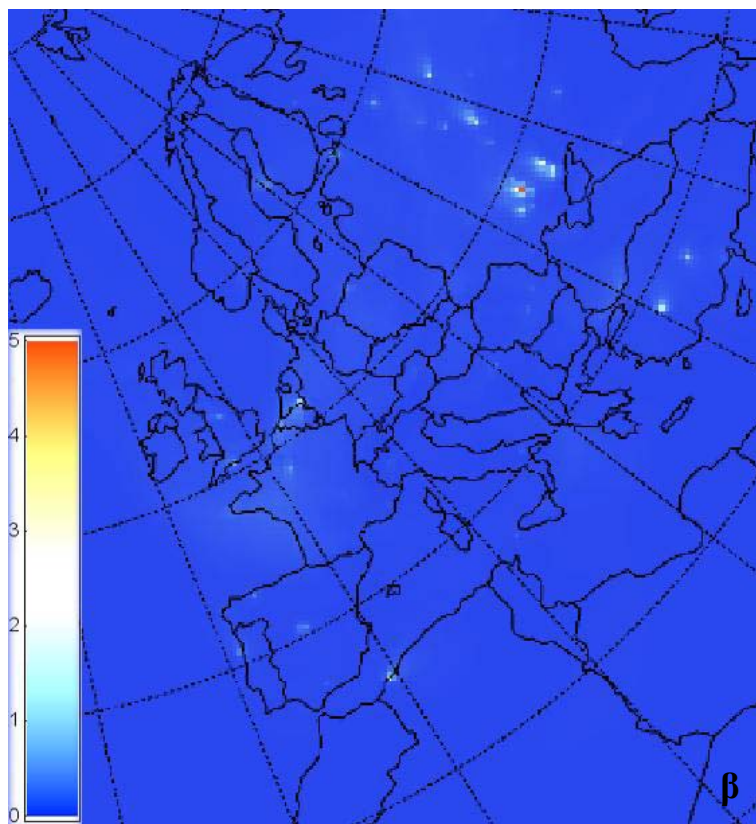
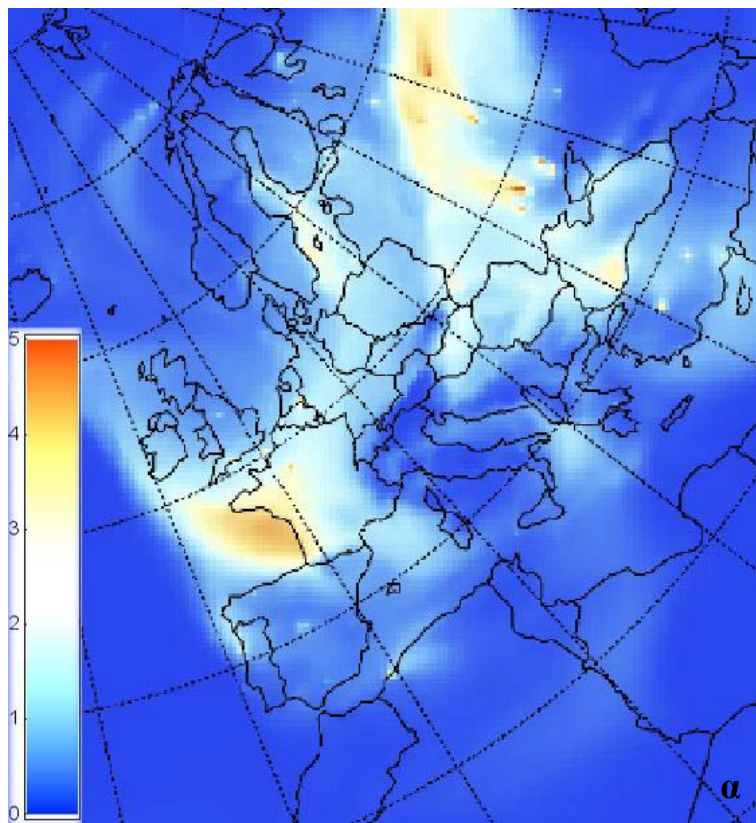
Στα σχήματα 22_{α-β} φαίνονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών αερολυμάτων για την 20^η Μαΐου 2008, για το σενάριο SSA, σωματιδίων έως 1μm. Οι διαφορές που παρατηρούμε οφείλονται στην συνεισφορά του μοντέλου θαλάσσιων αερολυμάτων σε οργανικά αερολύματα.. Όπως έχει προαναφερθεί, μόνο το μοντέλο Geever παράγει οργανικά αερολύματα στην περιοχή διαμέτρων μέχρι 1μm. Βέβαια υπάρχουν και εκπομπές οργανικών αερολυμάτων και πρόδρομων αυτών πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές, όμως η συνεισφορά των θαλάσσιων αερολυμάτων σε οργανικά σωματίδια είναι φανερή για τις περιοχές πάνω από τη θάλασσα.



Σχήματα 20_{α-β}: Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων νατρίου PM_1 (σχ. α) και PM_{1-10} (σχ. β), για την 20^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA. Οι περιοχές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήματα 21_{α-β}: Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις σωματιδίων χλωρίου PM_1 (σχ. α) και PM_{1-10} (σχ. β), για την 20^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA. Οι περιοχές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήματα 22_{α-β}: Οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις οργανικών σωματιδίων PM_1 (σχ. α) και PM_{1-10} (σχ. β), για την 20^η Μαΐου 2008 για το σενάριο SSA. Οι περιοχές με κόκκινο χρώμα αναφέρονται σε συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα $5\mu g/m^3$.

5.4 Ανάλυση αιωρούμενης μάζας για τα SSA και NoSSA

Παρακάτω φαίνονται οι μέσες ημερήσιες μάζες των αερολυμάτων που εξετάζονται από το μοντέλο, για σωματίδια PM_1 για το σενάριο SSA (Πίνακας 9) και για το σενάριο NoSSA (Πίνακας 10). Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες μάζας των σωματιδίων $PM_{1-2.5}$ για το σενάριο SSA παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 και για το σενάριο NoSSA στον Πίνακα 12. Οι τιμές για $PM_{2.5-10}$ φαίνονται στους Πίνακες 13-14 για τα δύο σενάρια αντίστοιχα. Οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια για σωματίδια PM_1 , $PM_{1-2.5}$, και $PM_{2.5-10}$, παρουσιάζονται στους Πίνακες 15 έως 17. Οι τιμές υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας την συγκέντρωση των αερολυμάτων με τον όγκο που καταλαμβάνει το κάθε κελί του καννάβου.

Πίνακας 9: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_1 για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	NA (τόνοι)	PCI (τόνοι)	PSO_4 (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH_4 (τόνοι)
5	79.42	6.16	878.83	494.77	384.47
6	75.59	4.47	785.97	679.63	354.58
7	78.70	4.77	781.08	693.03	355.95
8	79.40	3.45	825.32	770.70	363.56
9	79.36	4.99	793.97	760.94	335.46
10	99.79	14.58	840.06	850.00	358.50
11	109.17	13.62	887.20	895.46	371.35
12	103.82	10.69	912.18	928.77	374.31
13	109.38	13.01	811.53	815.51	339.12
14	111.40	8.24	723.47	699.11	295.15
15	103.29	6.44	738.11	563.33	292.94
16	95.34	7.69	755.57	467.84	300.80
17	90.21	7.60	793.48	445.65	308.53
18	89.01	9.78	838.88	414.27	309.50
19	91.35	13.05	811.05	398.50	340.11
20	92.11	7.43	757.44	377.17	329.28
21	85.72	5.13	688.99	693.32	313.67
22	79.84	4.91	711.01	760.41	318.94
23	74.89	4.95	736.48	779.70	324.17
24	76.78	6.01	751.63	724.88	316.69
25	84.20	8.29	743.48	725.49	298.37
26	83.20	8.66	707.63	744.77	269.17
27	85.62	10.00	744.68	814.07	274.73
28	101.49	11.75	789.23	686.46	300.58
29	105.09	9.51	766.94	541.49	278.11

Πίνακας 9: (συνέχεια)

Ημερομηνία	PM ₁₀ (τόνοι)	EC (τόνοι)	PM _{2.5} (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο PM ₁₀ (τόνοι)
5	208.31	138.06	1576.12	168.82	2725.17
6	218.96	133.25	1546.10	167.47	2717.67
7	233.28	101.88	1235.01	146.26	2716.72
8	222.04	96.84	1451.95	139.98	2805.80
9	181.45	97.66	1314.28	142.42	2649.11
10	209.23	95.46	1018.29	137.90	2877.25
11	212.14	104.44	1808.70	143.31	2985.49
12	181.94	104.46	1219.41	140.13	3003.96
13	201.67	106.69	1264.54	145.09	2748.63
14	187.53	92.11	1140.75	134.23	2459.59
15	173.36	80.81	794.12	121.83	2342.11
16	168.93	86.34	1111.15	126.06	2268.08
17	154.68	90.79	2137.28	133.13	2238.70
18	110.65	84.37	1541.80	125.62	2195.70
19	181.55	77.37	1285.54	120.31	2261.54
20	204.34	78.38	1682.09	124.55	2219.97
21	208.50	81.75	1053.97	126.77	2471.52
22	210.63	85.27	1043.23	128.80	2579.14
23	170.63	93.01	1798.69	136.07	2577.22
24	119.56	89.61	1507.01	126.75	2444.87
25	102.45	77.71	1430.89	108.23	2401.51
26	91.64	77.34	1355.08	107.38	2337.57
27	92.00	79.11	812.17	109.62	2451.98
28	140.72	80.51	1129.12	116.32	2464.35
29	132.44	83.13	1236.13	121.95	2267.38

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Όλες οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στάμα.

Πίνακας 10: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM₁ για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH ₄ (τόνοι)	PNO ₃ (τόνοι)
5	859.37	831.45	377.25	185.36
6	788.87	647.39	350.92	203.48
7	783.36	638.66	352.94	211.24
8	828.20	722.17	365.09	201.98
9	795.26	726.53	343.88	166.66
10	838.87	817.35	371.54	184.75
11	885.41	864.23	382.71	183.37
12	909.07	896.63	385.57	156.84
13	806.14	763.69	347.85	149.74
14	720.34	635.11	298.50	103.08
15	730.29	612.90	299.83	102.22
16	742.37	629.02	308.34	125.73
17	777.86	675.32	315.20	116.52
18	817.74	710.04	309.26	60.43
19	789.63	697.01	331.02	107.13
20	734.26	666.23	321.99	131.00
21	684.04	651.86	308.62	154.83
22	706.95	719.46	317.16	168.49
23	734.55	735.70	323.65	145.08
24	751.32	673.88	315.12	94.65
25	739.40	670.47	294.34	59.78
26	700.77	708.65	271.74	49.29
27	737.94	786.18	278.67	49.08
28	771.32	846.34	294.80	50.82
29	746.48	906.20	283.15	53.27

Πίνακας 10: (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (τόνοι)	PH ₂ O (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο PM ₁ (τόνοι)
5	133.45	1218.63	160.30	2919.53
6	102.18	1077.81	139.90	2582.90
7	97.12	1363.81	134.05	2550.28
8	97.95	1226.61	137.42	2653.96
9	95.92	931.94	133.93	2521.76
10	105.07	1615.30	137.87	2712.88
11	105.08	1091.28	133.18	2806.07
12	107.21	1131.83	137.36	2833.25
13	92.58	1037.16	124.62	2516.71
14	81.25	674.07	112.18	2182.40
15	86.73	924.92	117.55	2201.61
16	91.22	1739.06	124.89	2269.48
17	84.74	1290.59	117.38	2315.62
18	77.52	1033.61	111.28	2312.18
19	78.55	1354.13	115.42	2341.72
20	82.05	876.49	118.18	2297.29
21	85.75	886.09	121.22	2268.44
22	93.44	1609.98	128.70	2398.48
23	90.06	1359.98	119.72	2418.69
24	78.04	1263.31	100.26	2276.55
25	77.47	1166.55	98.04	2193.95
26	79.21	687.35	101.32	2154.64
27	80.63	909.74	108.33	2274.77
28	83.21	927.22	112.62	2387.95
29	82.57	730.12	107.00	2414.32

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 11: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_{1-2.5} για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	NA (τόνοι)	PCI (τόνοι)	PSO ₄ (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH ₄ (τόνοι)
5	107.24	74.82	179.41	20.04	19.72
6	102.09	71.12	154.74	17.90	11.77
7	109.71	77.39	162.24	17.26	11.98
8	114.03	83.32	160.90	19.11	9.89
9	114.64	85.34	151.10	19.68	9.26
10	132.84	105.94	174.62	22.94	18.57
11	147.07	120.69	159.56	24.00	9.62
12	133.22	109.84	152.54	25.18	7.87
13	141.72	119.16	153.17	21.35	8.80
14	150.77	124.01	154.73	18.01	4.91
15	134.62	105.92	161.82	15.40	6.20
16	127.29	98.18	206.16	12.66	26.46
17	134.12	110.50	162.72	11.29	10.41
18	134.75	106.25	152.89	9.90	10.54
19	135.54	103.17	174.04	9.60	16.11
20	136.62	105.43	148.46	10.06	6.44
21	128.24	101.11	159.94	16.47	8.13
22	117.32	83.77	199.54	18.66	27.06
23	109.85	80.84	174.02	18.01	19.07
24	118.89	96.36	160.33	15.91	12.79
25	135.48	108.82	166.30	16.25	16.77
26	135.45	112.96	143.81	17.15	10.12
27	136.80	115.29	155.65	18.11	14.57
28	165.72	139.45	165.58	15.88	12.13
29	152.81	124.13	136.53	13.07	6.14

Πίνακας 11: (συνέχεια)

Ημερομηνία	PNO ₃ (τόνοι)	EC (τόνοι)	PH ₂ O (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο σωματιδίων (τόνοι)
5	104.63	20.88	1680.17	108.95	640.74
6	104.17	14.74	974.36	96.64	578.17
7	90.46	13.79	862.41	93.98	581.75
8	112.56	14.80	1062.58	89.52	609.00
9	109.17	14.83	1012.78	80.99	589.48
10	113.93	16.61	1513.13	83.66	673.76
11	124.75	16.89	1220.68	86.58	693.85
12	131.38	17.57	1137.67	81.82	663.84
13	101.52	14.36	851.85	77.36	641.64
14	96.11	12.01	728.26	77.64	642.39
15	106.77	12.85	913.98	80.88	628.83
16	108.40	13.38	2056.12	80.39	676.91
17	100.12	12.70	1321.18	81.78	627.35
18	88.31	11.19	1135.74	83.09	600.55
19	91.92	11.21	1410.73	74.63	619.69
20	86.82	12.12	735.36	74.39	584.18
21	92.81	12.62	867.25	77.99	601.65
22	97.03	13.68	1561.51	79.59	641.07
23	116.35	12.65	1360.86	78.31	613.51
24	124.45	10.66	1375.68	78.00	621.54
25	91.09	10.54	1339.44	80.88	630.18
26	69.53	11.41	897.27	80.50	585.03
27	69.47	11.80	1216.92	78.82	604.63
28	80.35	12.62	1511.18	82.43	678.17
29	76.22	12.37	907.06	77.52	602.99

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 12: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_{1-2.5} για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH ₄ (τόνοι)	PNO ₃ (τόνοι)
5	127.56	25.56	32.22	68.45
6	105.11	16.04	21.41	74.50
7	110.12	14.72	19.86	55.89
8	103.15	16.33	17.28	73.79
9	97.27	16.88	15.42	69.67
10	118.80	19.75	23.55	71.58
11	96.42	20.58	13.73	84.48
12	92.11	21.92	11.32	98.28
13	92.16	17.92	12.27	72.73
14	79.83	14.30	9.22	66.93
15	82.42	14.13	12.28	72.99
16	130.64	13.83	35.30	72.82
17	94.50	13.35	16.20	67.13
18	94.90	12.98	14.66	64.52
19	112.15	12.66	20.80	64.63
20	87.57	13.25	11.07	51.29
21	93.23	13.69	14.51	53.40
22	138.18	15.86	33.69	58.74
23	114.90	15.04	25.86	77.61
24	98.24	13.01	18.64	91.75
25	108.73	13.62	21.94	66.77
26	93.98	14.98	14.49	49.31
27	104.21	15.86	19.26	51.08
28	96.41	15.89	16.51	58.29
29	75.90	16.65	9.26	50.55

Πίνακας 12: (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (τόνοι)	PH ₂ O (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο σωματιδίων (τόνοι)
5	20.89	910.70	95.51	95.51
6	14.67	477.26	82.78	82.78
7	13.75	408.24	78.15	78.15
8	14.74	459.95	72.32	72.32
9	14.58	447.44	62.63	62.63
10	16.24	887.61	61.98	61.98
11	16.51	552.27	62.40	62.40
12	17.28	448.09	60.38	60.38
13	14.13	436.49	54.75	54.75
14	11.77	307.41	53.71	53.71
15	12.65	432.63	60.25	60.25
16	13.24	1359.82	60.57	60.57
17	12.65	550.00	59.91	59.91
18	11.35	513.69	61.31	61.31
19	11.32	851.20	52.79	52.79
20	12.04	366.94	52.66	52.66
21	12.37	436.75	57.64	57.64
22	13.50	1112.66	61.62	61.62
23	12.47	836.17	61.91	61.91
24	10.60	623.38	59.83	59.83
25	10.62	725.06	59.04	59.04
26	11.49	366.69	58.42	58.42
27	11.86	522.80	56.60	56.60
28	12.73	595.92	54.62	54.62
29	12.47	360.82	53.40	53.40

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 13: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_{2.5-10} για το σενάριο SSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	NA (τόνοι)	PCI (τόνοι)	PSO ₄ (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH ₄ (τόνοι)
5	228.00	358.54	81.88	17.71	4.39
6	209.12	330.75	73.31	11.85	2.04
7	228.57	364.60	81.65	11.83	2.78
8	222.80	354.42	76.41	12.62	1.56
9	238.14	378.40	79.33	13.57	1.59
10	248.72	399.25	88.26	16.36	4.02
11	239.82	384.24	80.92	15.86	2.11
12	206.13	332.92	72.35	15.67	1.68
13	229.76	370.89	77.48	11.97	2.06
14	237.61	378.32	76.32	10.22	1.13
15	201.33	315.72	68.64	9.80	2.28
16	214.67	340.45	82.47	8.77	8.57
17	217.10	346.75	75.72	7.16	3.88
18	245.68	391.32	81.58	5.90	2.50
19	269.14	424.56	92.39	6.64	4.08
20	260.51	412.56	85.36	7.17	0.96
21	228.88	365.25	78.00	9.55	1.65
22	216.33	343.67	81.24	11.12	5.97
23	201.43	320.25	69.12	9.89	4.05
24	229.03	368.67	71.65	7.88	2.12
25	267.45	432.41	87.79	7.99	4.60
26	237.37	385.02	75.55	9.30	1.92
27	217.13	352.04	74.42	10.21	3.35
28	247.64	397.31	81.70	9.20	2.55
29	213.55	340.42	68.81	7.87	1.56

Πίνακας 13: (συνέχεια)

Ημερομηνία	PNO ₃ (τόνοι)	EC (τόνοι)	PH ₂ O (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο σωματιδίων (τόνοι)
5	27.09	18.58	2251.43	139.28	875.57
6	22.19	13.18	1469.21	120.33	782.86
7	18.97	12.92	1401.94	122.65	844.03
8	21.12	13.64	1408.71	119.18	821.82
9	21.16	14.64	1403.46	118.90	865.82
10	23.88	16.40	1750.00	127.06	924.02
11	24.06	16.08	1585.99	123.84	887.01
12	23.08	15.72	1373.98	116.32	783.95
13	17.85	12.62	1116.45	108.37	831.07
14	17.12	11.50	1121.27	111.30	843.60
15	18.82	12.87	1314.16	113.10	742.65
16	19.76	12.66	2095.12	115.16	802.58
17	15.78	11.22	1557.41	116.57	794.24
18	15.05	9.40	1160.55	120.24	871.73
19	18.94	10.59	1234.68	106.60	933.00
20	18.09	11.72	849.02	111.59	908.04
21	19.38	12.42	1020.79	115.39	830.60
22	19.91	13.06	1302.10	115.16	806.53
23	20.03	11.44	1518.91	108.70	744.99
24	18.87	9.03	1778.39	110.73	818.05
25	16.38	9.39	1338.64	116.53	942.61
26	13.13	9.95	1040.05	115.66	847.96
27	14.67	10.66	1261.34	110.07	792.61
28	16.41	11.22	1176.38	111.08	877.17
29	14.30	9.51	1016.85	100.65	756.73

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 14: Οι μέσες ημερήσιες ποσότητες αερολυμάτων PM_{2.5-10} για το σενάριο NoSSA για τον Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (τόνοι)	POC (τόνοι)	PNH ₄ (τόνοι)	PNO ₃ (τόνοι)
5	27.85	21.03	4.77	22.51
6	21.64	11.90	2.79	18.95
7	25.61	11.82	3.50	15.72
8	21.96	12.80	2.01	17.99
9	21.71	13.70	2.05	17.90
10	29.24	16.45	4.34	20.65
11	23.53	15.89	2.41	20.89
12	23.08	15.72	2.05	21.22
13	21.27	11.90	2.36	16.54
14	16.61	10.04	1.29	15.43
15	18.41	10.73	2.48	16.68
16	31.68	10.32	9.00	17.78
17	23.38	8.61	4.25	14.65
18	20.83	7.23	2.70	14.35
19	26.22	7.83	4.38	17.20
20	21.48	8.72	1.27	15.41
21	22.34	9.48	2.06	15.86
22	29.71	11.28	6.55	16.36
23	21.14	9.93	4.55	16.83
24	15.72	7.83	2.24	17.60
25	21.22	7.89	4.86	14.77
26	16.71	9.41	2.08	11.44
27	21.82	10.31	3.69	13.43
28	20.19	10.18	2.64	14.26
29	17.56	9.92	1.73	12.79

Πίνακας 14: (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (τόνοι)	PH ₂ O (τόνοι)	CRST (τόνοι)	Σύνολο σωματιδίων (τόνοι)
5	19.20	225.32	95.43	190.87
6	13.60	119.12	79.78	148.73
7	13.39	128.46	78.25	148.36
8	14.24	103.68	76.39	145.47
9	15.17	103.44	72.63	143.24
10	17.06	231.22	79.04	166.86
11	16.65	139.90	77.68	157.12
12	16.23	112.71	77.10	155.47
13	13.14	114.82	64.26	129.54
14	11.89	71.16	65.52	120.84
15	13.32	126.15	74.69	136.37
16	13.24	419.10	73.61	155.69
17	11.76	187.66	74.12	136.81
18	9.87	134.81	71.96	126.97
19	11.21	232.18	53.75	120.62
20	12.19	86.65	60.71	119.83
21	12.89	102.98	71.03	133.72
22	13.64	283.29	73.23	150.83
23	11.96	187.88	69.34	133.80
24	9.54	120.67	65.61	118.59
25	9.85	213.07	63.22	121.86
26	10.25	88.24	68.52	118.47
27	10.98	145.21	67.58	127.88
28	11.60	131.95	62.81	121.75
29	9.98	94.98	60.31	112.36

Ο πίνακας αναφέρεται στις μέσες ημερήσιες αιωρούμενες μάζες σωματιδίων. Το σύνολο των σωματιδίων είναι η συνολική μάζα των αερολυμάτων χωρίς να έχουν προσμετρηθεί τα σωματίδια του νερού. Οι ποσότητες αναφέρονται για την ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (χωρίς να συμπεριλαμβάνονται θαλάσσιες περιοχές) της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για το κατώτερο στρώμα.

Πίνακας 15: Ποσοστιαίες διαφορές των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων PM₁ για περιοχές πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη, για τον μήνα Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (%)	POC (%)	PNH ₄ (%)	PNO ₃ (%)
5	2.21	-68.05	1.88	11.02
6	-0.37	4.74	1.03	7.07
7	-0.29	7.85	0.84	9.45
8	-0.35	6.30	-0.42	9.03
9	-0.16	4.52	-2.51	8.15
10	0.14	3.84	-3.64	11.70
11	0.20	3.49	-3.06	13.56
12	0.34	3.46	-3.01	13.80
13	0.66	6.35	-2.58	25.75
14	0.43	9.15	-1.14	45.03
15	1.06	-8.80	-2.35	41.04
16	1.75	-34.45	-2.51	25.58
17	1.97	-51.53	-2.16	24.67
18	2.52	-71.40	0.08	45.39
19	2.64	-74.91	2.67	40.99
20	3.06	-76.64	2.22	35.89
21	0.72	5.98	1.61	25.74
22	0.57	5.38	0.56	20.01
23	0.26	5.64	0.16	14.98
24	0.04	7.04	0.49	20.84
25	0.55	7.58	1.35	41.65
26	0.97	4.85	-0.95	46.21
27	0.90	3.43	-1.44	46.65
28	2.27	-23.29	1.92	63.89
29	2.67	-67.35	-1.81	59.78

Πίνακας 15: (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (%)	PH ₂ O (%)	CRST (%)	Σύνολο PM ₁ (%)
5	-0.15	0.03	21.18	-7.13
6	-0.30	0.06	12.73	4.96
7	-0.28	0.06	6.07	6.13
8	-0.30	0.04	6.67	5.41
9	-0.49	0.00	8.48	4.81
10	-0.60	-0.04	10.69	5.71
11	-0.59	-0.05	10.51	6.01
12	-0.48	-0.04	10.49	5.68
13	-0.51	0.00	9.08	8.44
14	-0.55	0.05	15.12	11.27
15	-0.46	0.07	16.76	6.00
16	-0.47	0.02	18.63	-0.06
17	-0.44	-0.02	16.29	-3.44
18	-0.19	0.01	19.60	-5.30
19	-0.21	0.02	19.50	-3.55
20	-0.36	0.03	16.84	-3.48
21	-0.56	0.00	15.06	8.22
22	-0.47	0.02	10.49	7.01
23	-0.50	0.04	9.76	6.15
24	-0.42	0.04	11.71	6.88
25	-0.17	0.04	13.91	8.64
26	-0.12	0.04	15.37	7.83
27	-0.15	0.05	19.43	7.23
28	-0.10	0.09	24.99	3.10
29	-0.08	0.12	19.34	-6.48

Οι ποσοστιαίες διαφορές υπολογίστηκαν βάση της σχέσης μάζας (SSA-NoSSA)/SSA. Θετικές τιμές δείχνουν αύξηση της μάζας των σωματιδίων στο σενάριο SSA. Αρνητικοί αριθμοί δείχνουν μείωση.

Πίνακας 16: Ποσοστιαίες διαφορές των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων PM_{1-2.5} για περιοχές πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη, για τον μήνα Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (%)	POC (%)	PNH ₄ (%)	PNO ₃ (%)
5	28.90	-27.54	-63.37	34.58
6	32.07	10.38	-81.95	28.48
7	32.12	14.72	-65.82	38.22
8	35.89	14.58	-74.72	34.45
9	35.63	14.26	-66.56	36.18
10	31.97	13.94	-26.85	37.17
11	39.57	14.22	-42.76	32.28
12	39.62	12.96	-43.92	25.20
13	39.83	16.05	-39.41	28.35
14	48.41	20.59	-87.90	30.36
15	49.07	8.24	-97.99	31.64
16	36.63	-9.26	-33.42	32.83
17	41.93	-18.29	-55.61	32.95
18	37.93	-31.12	-39.03	26.94
19	35.56	-31.89	-29.13	29.69
20	41.02	-31.76	-71.86	40.92
21	41.71	16.91	-78.56	42.46
22	30.75	15.04	-24.51	39.46
23	33.97	16.47	-35.64	33.30
24	38.73	18.20	-45.70	26.27
25	34.62	16.18	-30.84	26.70
26	34.65	12.65	-43.22	29.08
27	33.04	12.43	-32.15	26.47
28	41.77	-0.06	-36.16	27.45
29	44.41	-27.32	-50.68	33.68

Πίνακας 16: (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (%)	PH ₂ O (%)	CRST (%)	Σύνολο PM ₁ (%)
5	-0.04	45.80	12.34	41.38
6	0.53	51.02	14.34	44.72
7	0.28	52.66	16.85	48.86
8	0.39	56.71	19.21	50.32
9	1.66	55.82	22.67	52.35
10	2.24	41.34	25.92	53.04
11	2.20	54.76	27.93	56.96
12	1.64	60.61	26.20	53.96
13	1.54	48.76	29.23	58.22
14	2.04	57.79	30.82	62.66
15	1.62	52.67	25.50	58.79
16	1.06	33.86	24.65	51.17
17	0.43	58.37	26.75	57.35
18	-1.45	54.77	26.21	56.12
19	-1.00	39.66	29.26	55.14
20	0.69	50.10	29.22	60.31
21	1.95	49.64	26.09	58.59
22	1.26	28.74	22.58	49.14
23	1.46	38.56	20.95	49.10
24	0.55	54.69	23.29	52.32
25	-0.78	45.87	27.00	54.80
26	-0.74	59.13	27.43	57.80
27	-0.52	57.04	28.19	56.49
28	-0.81	60.57	33.74	61.86
29	-0.78	60.22	31.11	63.06

Οι ποσοστιαίες διαφορές υπολογίστηκαν βάση της σχέσης μάζας (SSA-NoSSA)/SSA. Θετικές τιμές δείχνουν αύξηση της μάζας των σωματιδίων στο σενάριο SSA. Αρνητικοί αριθμοί δείχνουν μείωση.

Πίνακας 17: Ποσοστιαίες διαφορές των μέσων ημερήσιων μαζών των αερολυμάτων του σεναρίου NoSSA σε σχέση με το σενάριο SSA σωματιδίων PM_{2.5-10} για περιοχές πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη, για τον μήνα Μάιο 2008.

Ημερομηνία	PSO ₄ (%)	POC (%)	PNH ₄ (%)	PNO ₃ (%)
5	65.99	-18.74	-8.63	16.93
6	70.49	-0.44	-36.39	14.58
7	68.63	0.09	-26.21	17.11
8	71.26	-1.47	-29.23	14.83
9	72.64	-0.95	-28.73	15.41
10	66.87	-0.56	-7.97	13.52
11	70.92	-0.16	-14.37	13.21
12	68.10	-0.31	-21.95	8.08
13	72.55	0.60	-14.40	7.35
14	78.23	1.80	-14.63	9.88
15	73.18	-9.48	-8.89	11.37
16	61.59	-17.70	-5.02	10.04
17	69.12	-20.28	-9.64	7.19
18	74.47	-22.43	-7.86	4.61
19	71.62	-17.96	-7.32	9.18
20	74.84	-21.66	-32.96	14.85
21	71.35	0.79	-24.97	18.16
22	63.43	-1.50	-9.57	17.84
23	69.42	-0.37	-12.36	16.02
24	78.07	0.64	-5.98	6.75
25	75.83	1.31	-5.73	9.83
26	77.89	-1.15	-8.50	12.82
27	70.68	-1.06	-10.20	8.48
28	75.28	-10.67	-3.23	13.07
29	74.49	-26.14	-10.98	10.56

Πίνακας 17 (συνέχεια)

Ημερομηνία	EC (%)	PH ₂ O (%)	CRST (%)	Σύνολο PM ₁ (%)
5	-3.36	89.99	31.48	78.20
6	-3.20	91.89	33.70	81.00
7	-3.63	90.84	36.20	82.42
8	-4.41	92.64	35.90	82.30
9	-3.61	92.63	38.91	83.46
10	-4.00	86.79	37.79	81.94
11	-3.58	91.18	37.27	82.29
12	-3.27	91.80	33.72	80.17
13	-4.18	89.72	40.70	84.41
14	-3.46	93.65	41.14	85.68
15	-3.46	90.40	33.96	81.64
16	-4.55	80.00	36.08	80.60
17	-4.82	87.95	36.42	82.77
18	-4.96	88.38	40.15	85.43
19	-5.87	81.20	49.58	87.07
20	-3.98	89.79	45.59	86.80
21	-3.84	89.91	38.44	83.90
22	-4.49	78.24	36.41	81.30
23	-4.51	87.63	36.21	82.04
24	-5.72	93.21	40.74	85.50
25	-4.88	84.08	45.75	87.07
26	-3.07	91.52	40.76	86.03
27	-3.06	88.49	38.60	83.87
28	-3.40	88.78	43.46	86.12
29	-4.90	90.66	40.08	85.15

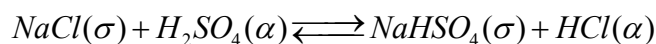
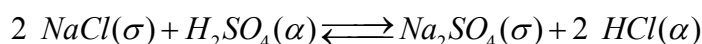
Οι ποσοστιαίες διαφορές υπολογίστηκαν βάση της σχέσης μάζας (SSA-NoSSA)/SSA. Θετικές τιμές δείχνουν αύξηση της μάζας των σωματιδίων στο σενάριο SSA. Αρνητικοί αριθμοί δείχνουν μείωση.

Παρατηρούνται διαφορές σχεδόν σε όλα τα είδη των σωματιδίων που εξετάζει το μοντέλο, ανάμεσα στα δύο σενάρια.

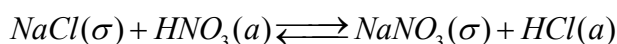
Το νερό σε σωματιδιακή μορφή, παρουσιάζεται αυξημένο στο σενάριο SSA σε σχέση με το NoSSA. Πιο συγκεκριμένα, στα σωματίδια με διάμετρο έως 1μm κατά μέσο όρο αυξάνεται 14.4%, για τα σωματίδια από 1μm έως 2.5μm αυξάνεται κατά 50.7% και για τα σωματίδια με διαμέτρους από 2.5μm έως 10μm η αύξηση είναι 89%. Η αύξηση οφείλεται στις υγροσκοπικές ιδιότητες των θαλάσσιων αερολυμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους τους [Tang et al., 1997].

Η κυριότερη πηγή στοιχειακού άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι οι καύσεις. Τα EC δεν παρουσιάζουν σχεδόν καμία απόκλιση στο σενάριο SSA σε σχέση με το σενάριο NoSSA. Σύμφωνα με το μοντέλο, τα σωματίδια αυτά εμφανίζονται να μην επηρεάζονται σημαντικά από τα σωματίδια θαλάσσιων αερολυμάτων και γι' αυτό το λόγω δεν υπάρχουν αξιολογες διαφορές.

Στο σενάριο SSA η μάζα των σωματιδίων SO₄ παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με το σενάριο NoSSA. Για τα σωματίδια PM1 η αύξηση αυτή είναι 1%. Όσο όμως μεγαλώνει το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνεται και το ποσοστό της διαφοράς που παρουσιάζουν οι μάζες τους ανάμεσα στα δύο μοντέλα. Για σωματίδια από 1μm έως και 2.5μm η μάζα τους είναι κατά μέσο όρο αυξημένη 38%, ενώ για τα μεγαλύτερα σωματίδια (από 2.5μm έως 10μm διάμετρο) η διαφορά είναι 71.5% στο σενάριο SSA. Η αύξηση είναι αναμενόμενη καθώς ένα μεγάλο μέρος των εκπομπών σωματιδιακού SO₄ οφείλει στην θαλάσσια δραστηριότητα (Πίνακες εκπομπών 4^{α-β}, κεφ. 4). Ένας άλλος πιθανός μηχανισμός που συμβάλει σε σωματίδια SO₄ στην ατμόσφαιρα είναι η παρουσία χλωρίου και νατρίου. Στο σενάριο NoSSA δεν υπάρχουν σωματίδια Na και Cl στην ατμόσφαιρα. Έτσι με την προσθήκη τους αναμένουμε αύξηση σωματιδιακού SO₄ σύμφωνα με την αντίδραση [Seinfeld and Pandis, 2006, σελ. 484]:



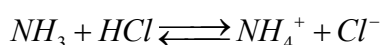
Τα NO₃ παρουσιάζουν και αυτά αύξηση στην μάζα τους στο σενάριο SSA σε σχέση με το σενάριο NoSSA. Εξαιτίας της παρουσίας Na και Cl στην ατμόσφαιρα, αναμένουμε αύξηση των νιτρικών σύμφωνα με την αντίδραση [Seinfeld and Pandis, 2006, σελ.469]:



(όπου (σ) είναι σωματίδια και (α) είναι αέρια). Οι Dasgupta et al. [2007] αναφέρουν πως πιθανότατα η παρουσία θαλάσσιων αερολυμάτων να ευνοεί τον σχηματισμό σωματιδίων NO₃.

Τα CRST αυξάνουν την μάζα τους με την παρουσία των θαλάσσιων αερολυμάτων σε σχέση με το σενάριο που δεν τα περιλαμβάνει. Όσο μεγαλώνουν οι διαμέτροι των σωματιδίων τόσο παρατηρείται και μεγαλύτερη αύξηση κατά μέσο όρο. Από το γεγονός πως αυτά τα σωματίδια δεν αντιδρούν με τα υπόλοιπα, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η αύξηση της που παρατηρείται οφείλεται στις θαλάσσιες εκπομπές σε CRST. Το μεγαλύτερο μέρος των θαλάσσιων σωματιδίων βρίσκεται σε μεγάλες διαμέτρους, γι' αυτό η μάζα των CRST αυξάνεται όσο αυξάνεται και το μέγεθος των σωματιδίων που εξετάζονται.

Τα αμμωνιακά εμφανίζουν κατά μέσο όρο μείωση στη μάζα τους στο σενάριο SSA. Σε ένα υδατικό διάλυμα ισχύει:



Με την παρουσία μεγαλύτερου αριθμού ιόντων χλωρίου η ισορροπία θα μετακινηθεί προς τα αριστερά και συνεπώς θα οδηγήσει σε μείωση των αμμωνιακών. Ο ακριβής μηχανισμός της μείωσης των αμμωνιακών χρίζει περαιτέρω διερεύνησης.

Ομοίως και τα οργανικά αερολύματα εμφανίζουν μείωση σε συγκεκριμένες ημερομηνίες που μπορεί να φτάσει και το 77% (20 Μαΐου 2008, σενάριο SSA) για τα αερολύματα μέχρι 1μm. Τα φαινόμενα αυτά είναι υπό διερεύνηση για να μπορέσουν να εξηγηθούν με λεπτομέρεια.

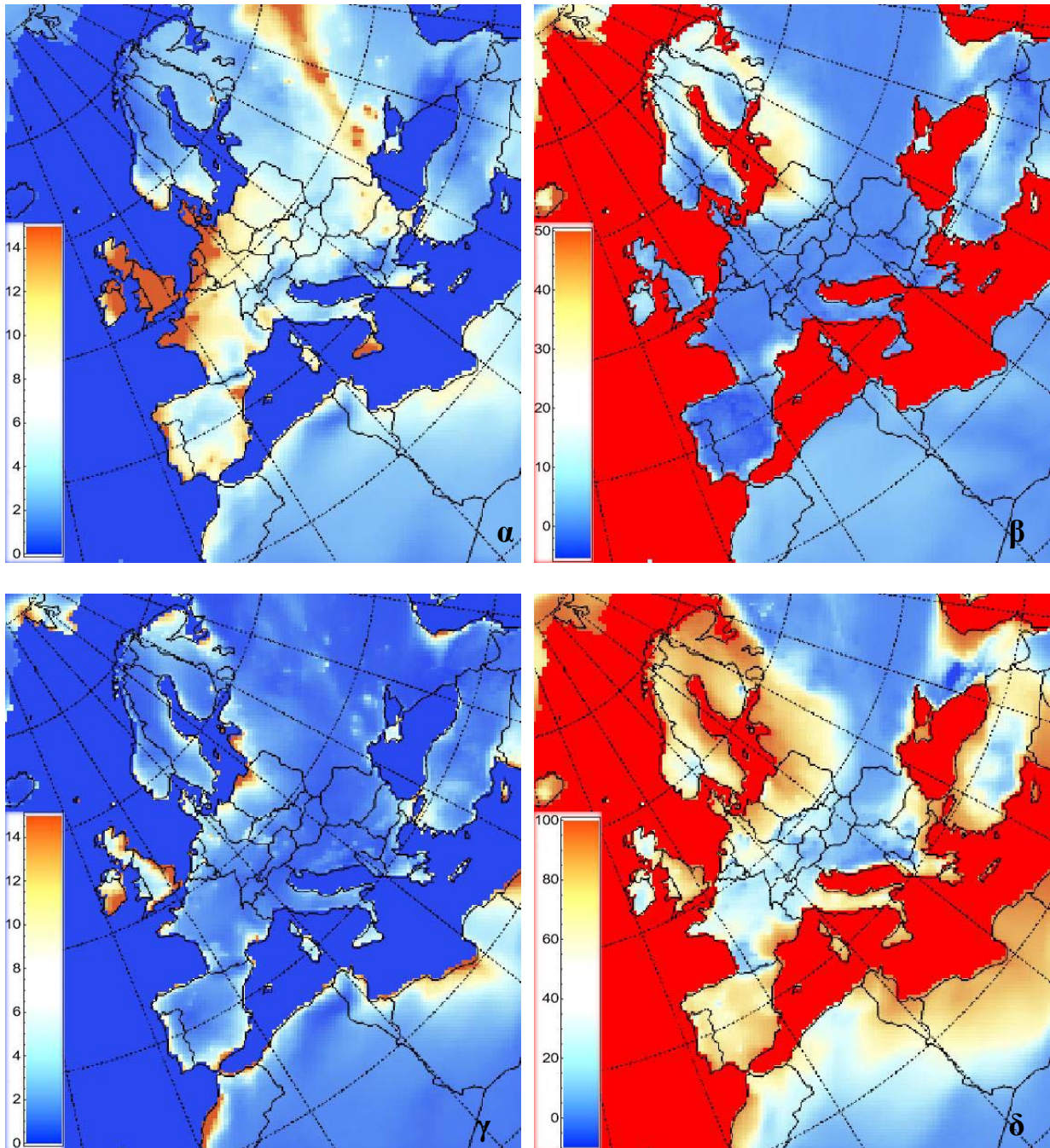
5.5 Διαφορές ανάμεσα στο σενάριο SSA και στο NoSSA

Παρακάτω εξετάζονται οι διαφορές στις συγκεντρώσεις ανάμεσα στα δύο σενάρια για τις ημερομηνίες 6 Μαΐου και 19 Μαΐου 2008. Την 6^η Μαΐου παρατηρούνται τα μικρότερα ποσοστά μάζας θαλάσσιων αερολυμάτων στην κατώτερη στρώση της ατμόσφαιρας της Ευρωπαϊκής ηπείρου, πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ τη 19^η Μαΐου τα θαλάσσια αερολύματα εμφανίζονται σε πολύ μεγάλα ποσοστά στο σύνολο της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων.

Παρουσιάζονται σχήματα συγκεντρώσεων αερολυμάτων με διαμέτρους έως 1μm και από 1μm έως 10μm για το σενάριο SSA, σύμφωνα με τα επιμέρους υπομοντέλα που συνθέτουν το συνολικό μοντέλο παραγωγής των θαλάσσιων αερολυμάτων. Επιπλέον παρουσιάζονται και οι ποσοστιαίες διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων. Οι υπερβολικά μεγάλες αρνητικές και θετικές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στα δύο σενάρια, που πολλές φορές ξεπερνούν και το 100%, εμφανίζονται συνήθως σε περιοχές όπου στο σενάριο SSA υπήρχαν πολύ μικρές μάζες. Αυτές οι διαφορές δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες καθώς είναι πολύ ευαίσθητες σε απειροελάχιστες μεταβολές μάζας..

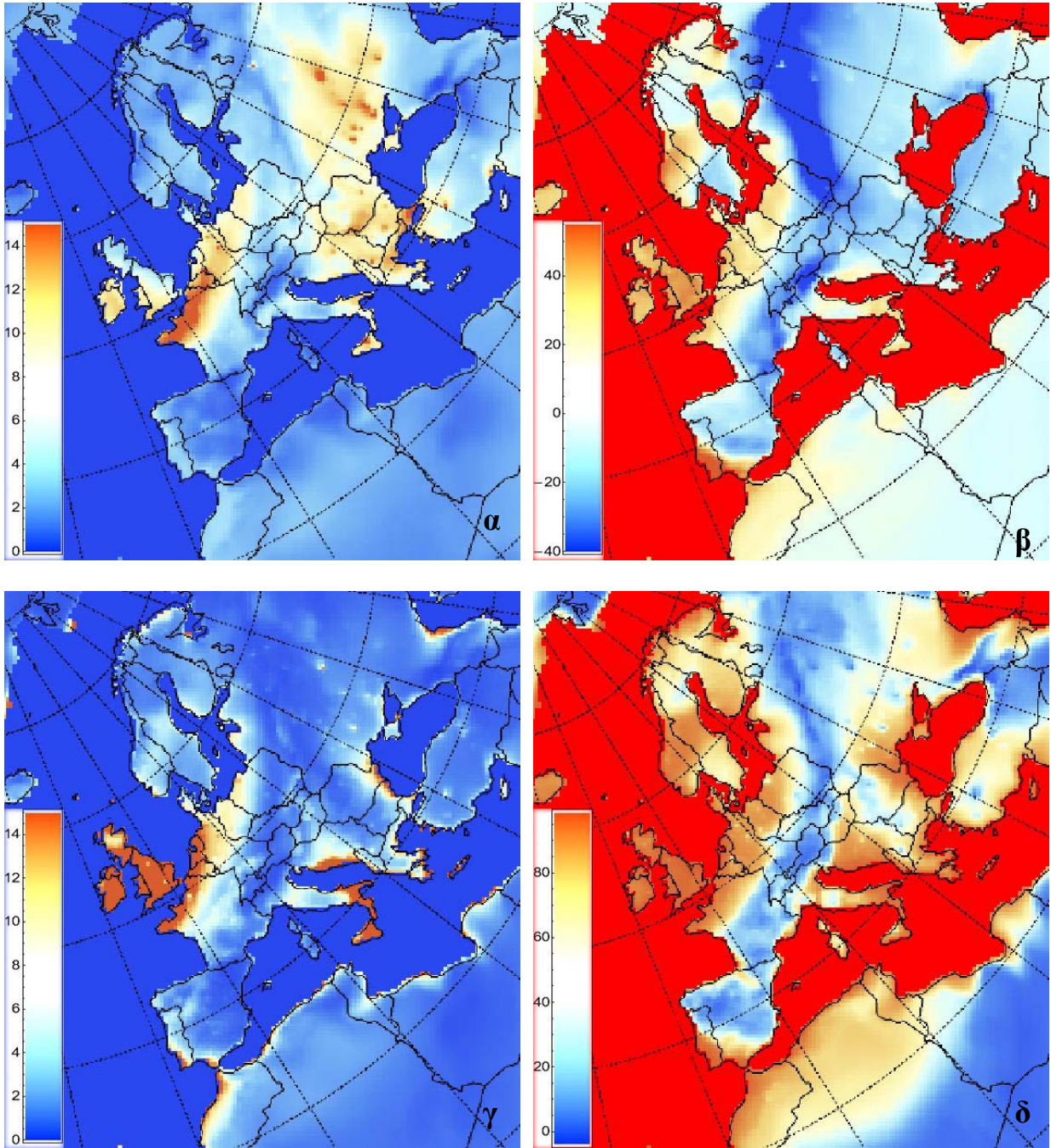
Η ποσοστιαία διαφορά ανάμεσα στα δύο σενάρια ορίζεται ως η διαφορά της σωματιδιακής μάζας στο σενάριο SSA αφαιρώντας την σωματιδιακή μάζα του σεναρίου NoSSA, προς την σωματιδιακή μάζα του σεναρίου SSA. Οι περιοχές των σχημάτων με κόκκινο χρώμα συμβολίζουν περιοχές του καννάβου όπου δεν ορίζεται η ποσοστιαία διαφορά.

Για το σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την 6^η Μαΐου 2008 και για το σενάριο SSA παρατηρούμε πως η χωρική έκταση των σωματιδίων PM₁ εμφανίζεται μεγαλύτερη καθώς αυτά παραμένουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα PM₁₋₁₀. Αυτό δεν σημαίνει πως οι τοπικές συγκεντρώσεις των PM₁ είναι μεγαλύτερες από τα PM₁₋₁₀ καθώς το μοντέλο δείχνει ότι οι μεγαλύτερες μάζες παράγονται στην περιοχή PM₁₋₁₀. Γενικά, παρατηρούμε μεγάλες διαφορές στις κατανομές μαζών, στις περιοχές όπου επηρεάζονται ισχυρότερα από τα θαλάσσια αερολύματα.



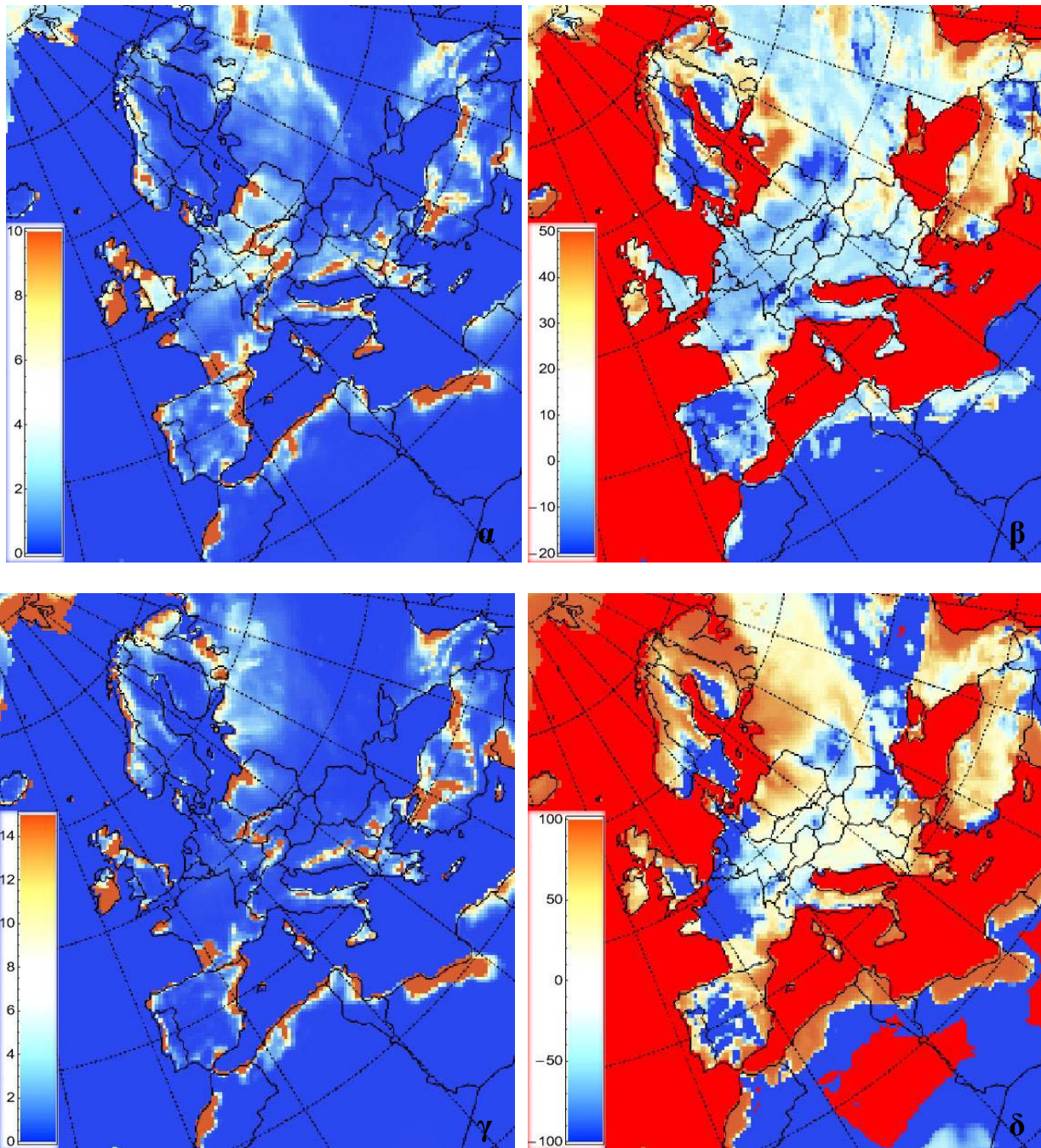
Σχήματα 23_{α-δ}: Συγκεντρώσεις όλων των αιωρούμενων σωματιδίων (δεν περιλαμβάνονται σωματίδια νερού) για την 6^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (µg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Για την 19^η Μαΐου το σύνολο των σωματιδίων παρουσιάζει αύξηση των συγκεντρώσεων της μάζας των σωματιδίων στο σενάριο SSA σε σχέση με το σενάριο NoSSA. Μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζονται στις μάζες των σωματιδίων PM₁₋₁₀. Οι περιοχές της βόρειας Ευρώπης είναι αυτές που εμφανίζουν περισσότερα PM₁ ενώ σωματίδια μεγαλύτερα από 1μm εμφανίζονται περισσότερα στις περισσότερες από τις παραθαλάσσιες περιοχές.



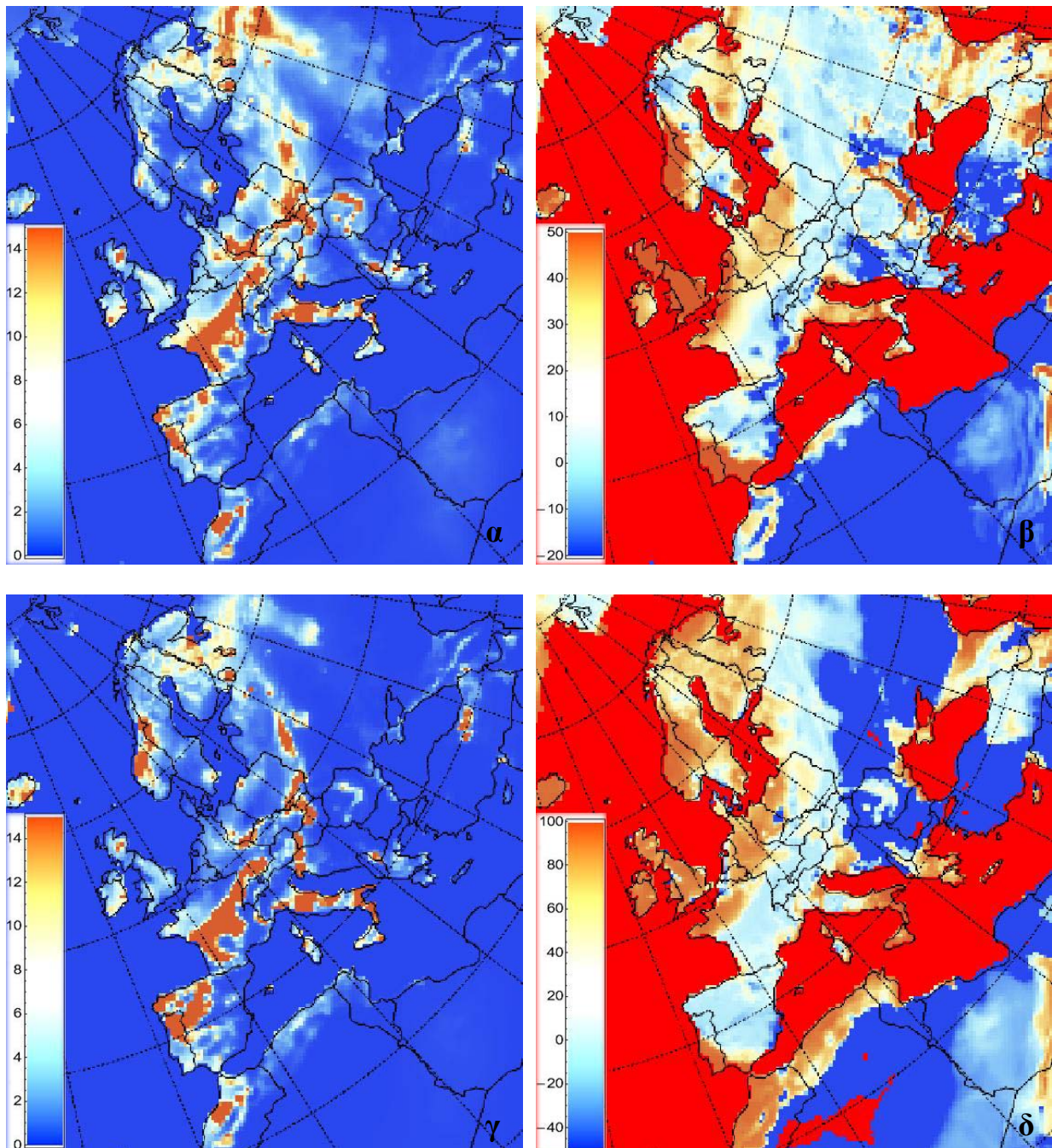
Σχήματα 24_{α-δ}: Συγκεντρώσεις όλων των αιωρούμενων σωματιδίων (δεν περιλαμβάνονται σωματίδια νερού) για την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (μg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Κατά την 6^η Μαΐου 2008 η σωματιδιακή μάζα νερού εμφανίζει μεγάλες συγκεντρώσεις στις παραθαλάσσιες περιοχές και σε όλα τα μεγέθη σωματιδίων. Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο μοντέλα εμφανίζονται περισσότερες για σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερα από 1μm και λαμβάνουν χώρα σε παραθαλάσσιες περιοχές. Πιθανότατα τα θαλάσσια αερολύματα να επηρεάζουν κατά ένα μεγάλο βαθμό τις ποσότητες της σωματιδιακής μάζας νερού που βρίσκονται στις παραθαλάσσιες περιοχές.



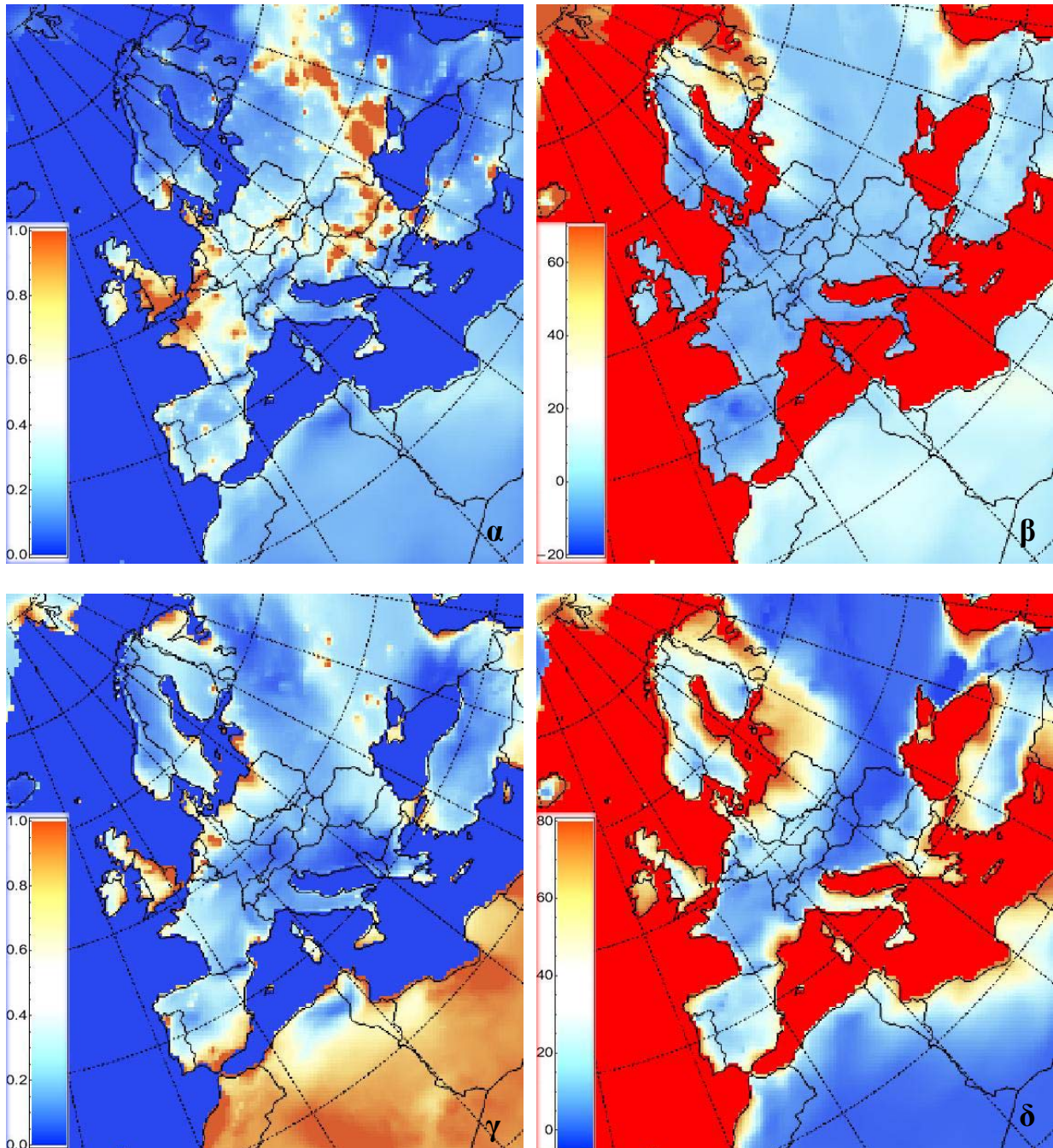
Σχήματα 25_{α-δ}: Συγκεντρώσεις της σωματιδιακής μάζας νερού για την 6^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (μg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Για την 19^η Μαΐου η σωματιδιακή μάζα νερού εμφανίζεται αυξημένη στα σωματίδια PM₁. Οι μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια εμφανίζονται κυρίως στην βόρεια Ευρώπη και ειδικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Αγγλίας με τη βόρεια Γαλλία και την Σκανδιναβία όπου και παρατηρούνται διαφορές που αγγίζουν 100% αύξηση για το σενάριο SSA. Παρατηρούμε πως την ημέρα όπου υπάρχει αύξηση της σωματιδιακής μάζας των θαλάσσιων αερολυμάτων (19^η ημέρα) εμφανίζεται και αύξηση της σωματιδιακής μάζας νερού. Φυσικά αυτή η αύξηση εξαρτάται από την σχετική υγρασία και την θερμοκρασία, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα στην είσοδο του μοντέλου.



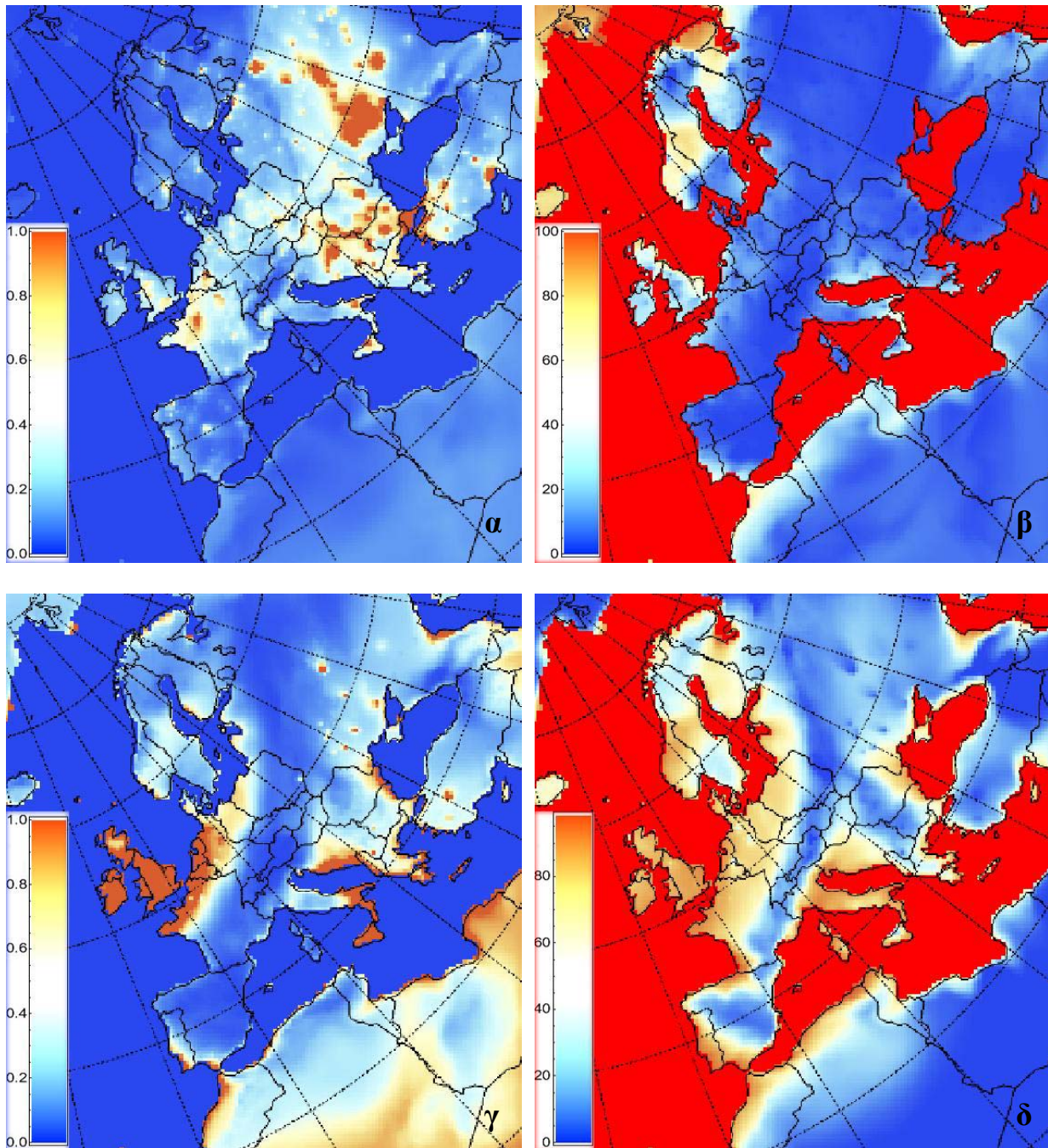
Σχήματα 26_{α-δ}: Συγκεντρώσεις της σωματιδιακής μάζας του νερού για την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (μg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Τα σωματίδια CRST για μεγέθη PM_{10} , την 6^η Μαΐου 2008, εμφανίζουν εστιασμένες μεγάλες συγκεντρώσεις στα μεγάλα αστικά κέντρα και στις περιοχές με πυρκαγιές. Αντίθετα, τα σωματίδια που έχουν διαμέτρους μεγαλύτερες από $1\mu m$ εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μάζας σε παραθαλάσσιες περιοχές. Οι διαφορές όμως και στα δύο μεγέθη σωματιδίων, ανάμεσα στα δύο σενάρια, εντοπίζονται σε περιοχές κοντά στις ακτές. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στα θαλάσσια αερολύματα και στο ποσοστό που συνεισφέρουν σε CRST, ενώ η διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στα διαφορετικού μεγέθους σωματίδια οφείλεται στις διαφορετικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων που παράγουν τα επιμέρους υπομοντέλα του μοντέλου παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων.



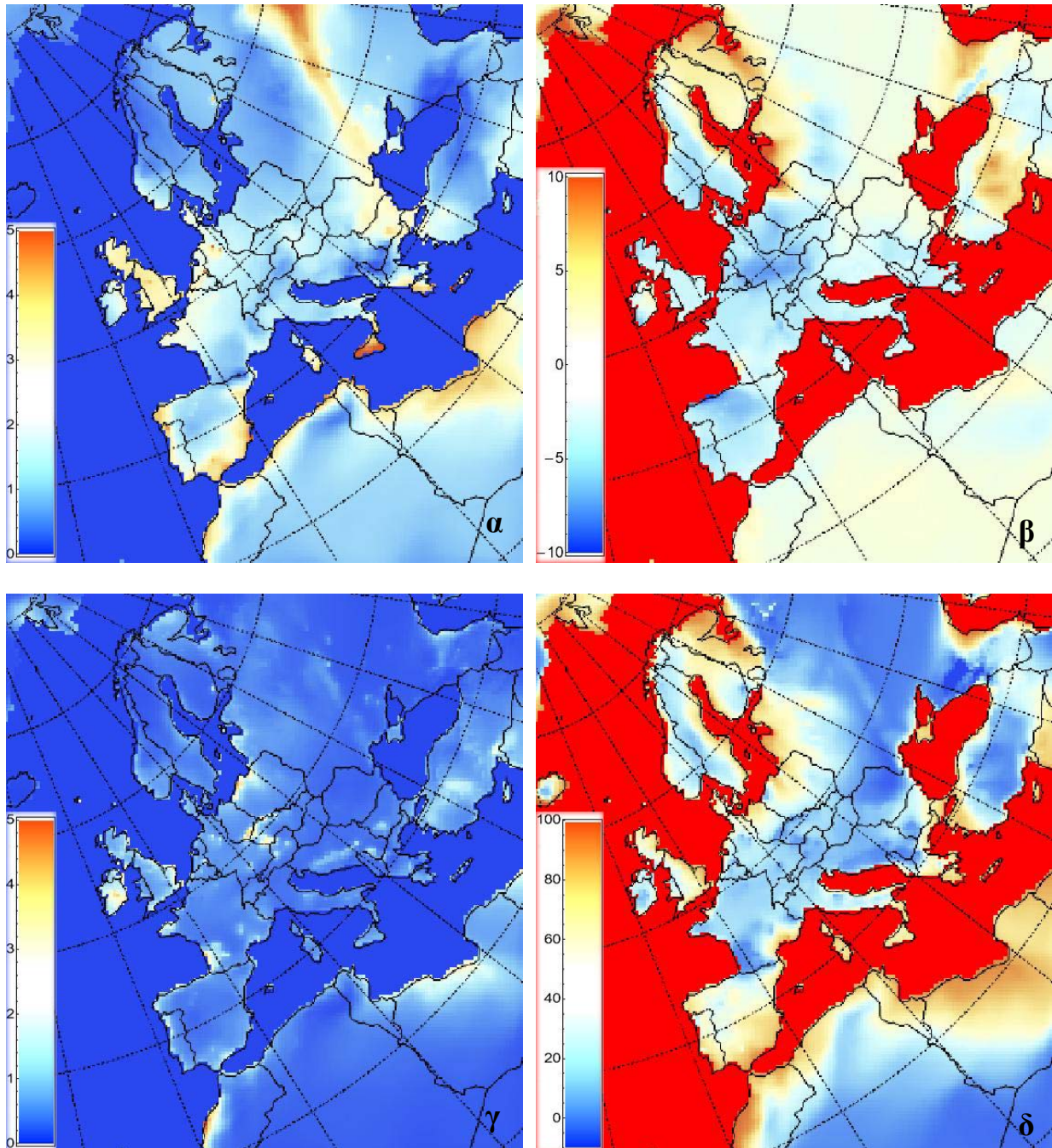
Σχήματα 27_{α-δ}: Συγκεντρώσεις CRST για την 6^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM_{10} . Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM_{1-10} . Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu g/m^3$) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και δ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Την 19^η Μαΐου 2008, αντίθετα με την 6^η Μαΐου, τα CRST εμφανίζουν διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια σε μεγαλύτερο βαθμό και σε μεγαλύτερη έκταση (ειδικότερα για τα σωματίδια PM₁₋₁₀). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα θαλάσσια αερολύματα κατά την ημέρα αυτή βρίσκονται σε μεγαλύτερα ποσοστά στην ατμόσφαιρα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές έτσι συνεισφέρουν περισσότερο σε σωματιδιακή μάζα CRST.



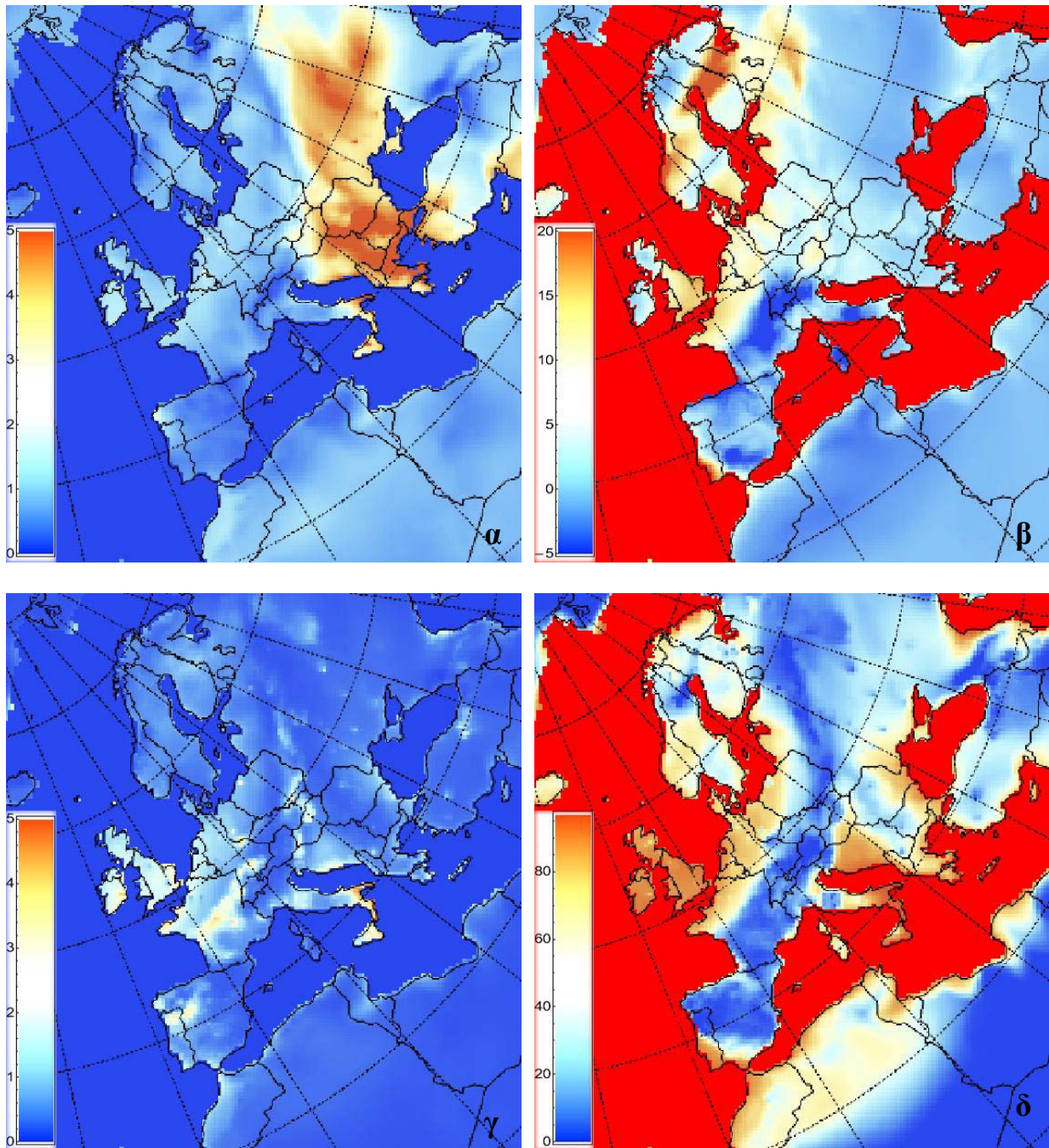
Σχήματα 28_{α-δ}: Συγκεντρώσεις CRST για την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (µg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Κατά την 6^η Μαΐου οι διαφορές που παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις της σωματιδιακής μάζας θεικών ανάμεσα στα δύο σενάρια υπάρχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό σε σωματίδια μεγάλου μεγέθους και σε παραθαλάσσιες περιοχές. Αντίθετα για τα μικρότερα σωματίδια αν και οι διαφορές παρατηρούνται επίσης σε παραθαλάσσιες περιοχές, είναι σε πολύ μικρότερο ποσοστό ενώ στις περισσότερες περιοχές δεν παρουσιάζονται ή είναι αμελητέες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παραγωγή θεικών σε μεγάλο βαθμό από τα θαλάσσια αερολύματα.



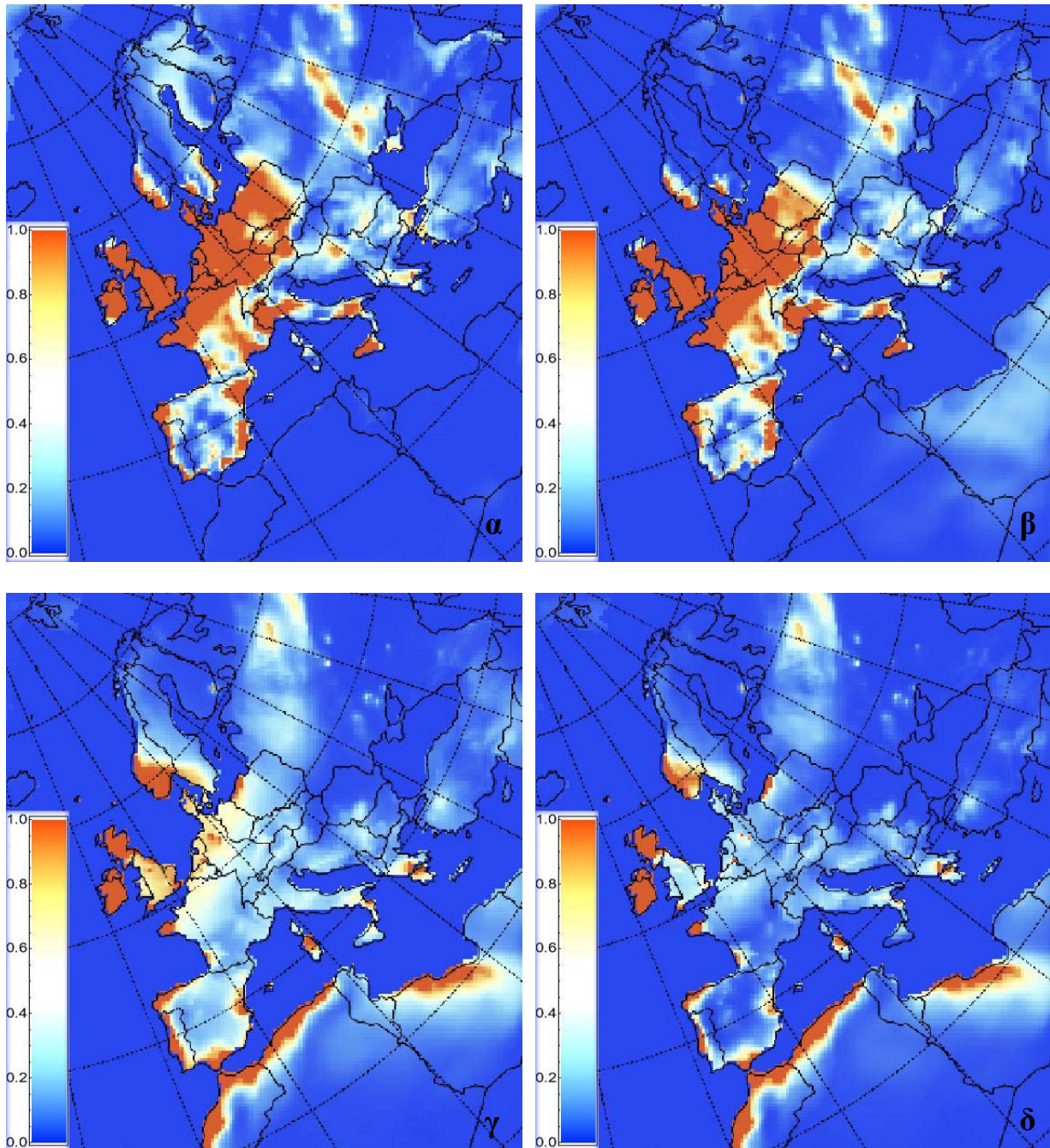
Σχήματα 29_{α-δ}: Συγκεντρώσεις σωματιδιακής μάζας SO₄ για την 6^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (µg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και δ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Την 19^η Μαΐου 2008, παρατηρούμε πως εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής θαλάσσιων αερολυμάτων και σύμφωνα με όσα έχουμε προαναφέρει για την 6^η Μαΐου, υπάρχουν μεγαλύτερες ποσότητες σωματιδιακής μάζας θεικών.



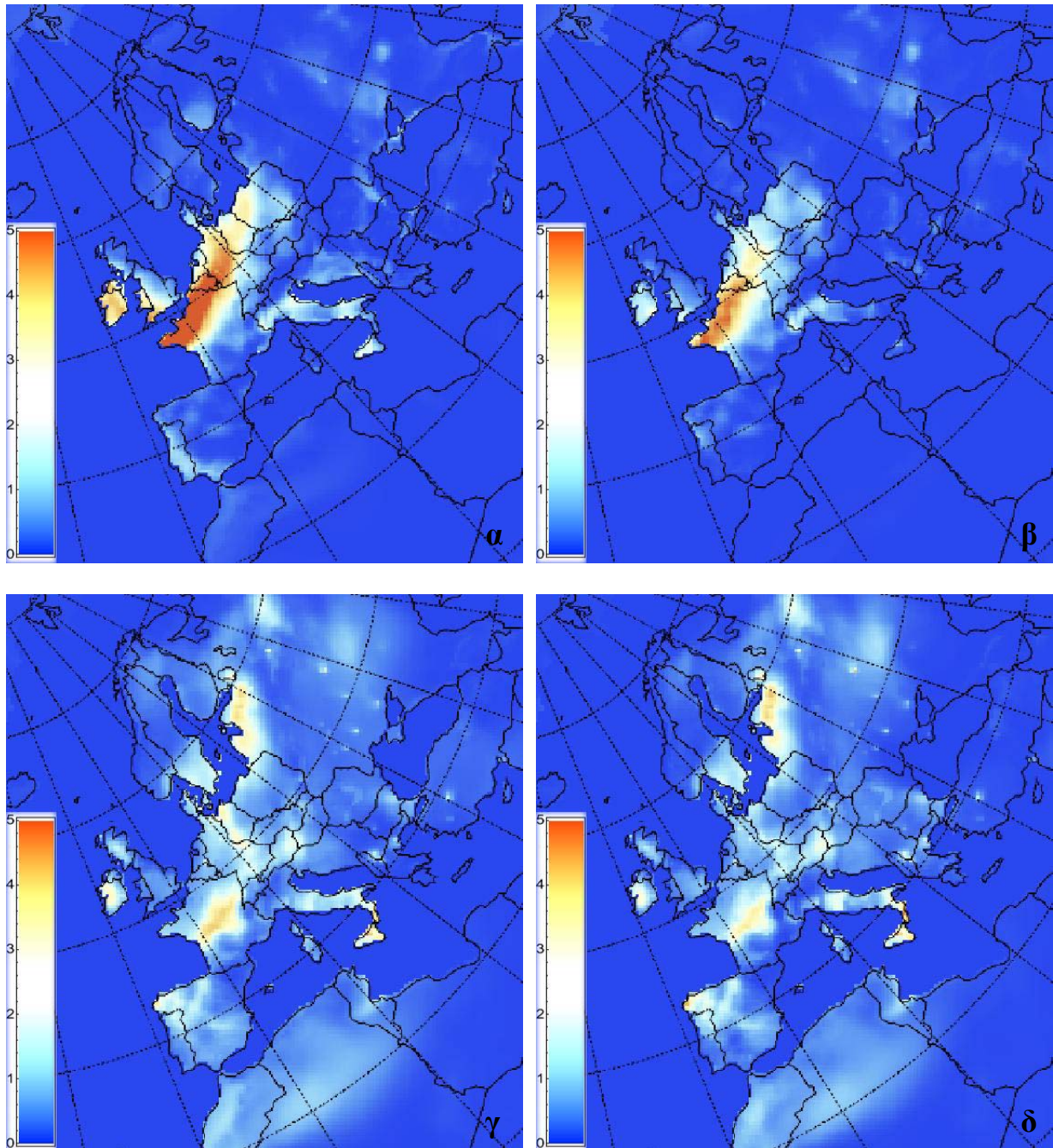
Σχήματα 30_{α-δ}: Συγκεντρώσεις σωματιδιακής μάζας SO₄ για την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και οι ποσοστιαίες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, αντίστοιχα, για σωματίδια PM₁. Τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM₁₋₁₀. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται για τα σχήματα α και γ στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις (μg/m³) που παρουσιάζονται, ενώ στα σχήματα β και γ αναφέρονται στις μέγιστες και στις μικρότερες ποσοστιαίες διαφορές (%) που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δύο σενάρια.

Την 6^η Μαΐου 2008, η σωματιδιακή μάζα νιτρικών παρουσιάζει αύξηση στο σενάριο SSA για σωματίδια PM_{1-10} ενώ για σωματίδια PM_1 δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια. Καθώς η κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών μπορεί να είναι παραπλανητική, επιλέγουμε να αντιπαραβάλλουμε εικόνες των συγκεντρώσεων από τα δύο σενάρια.



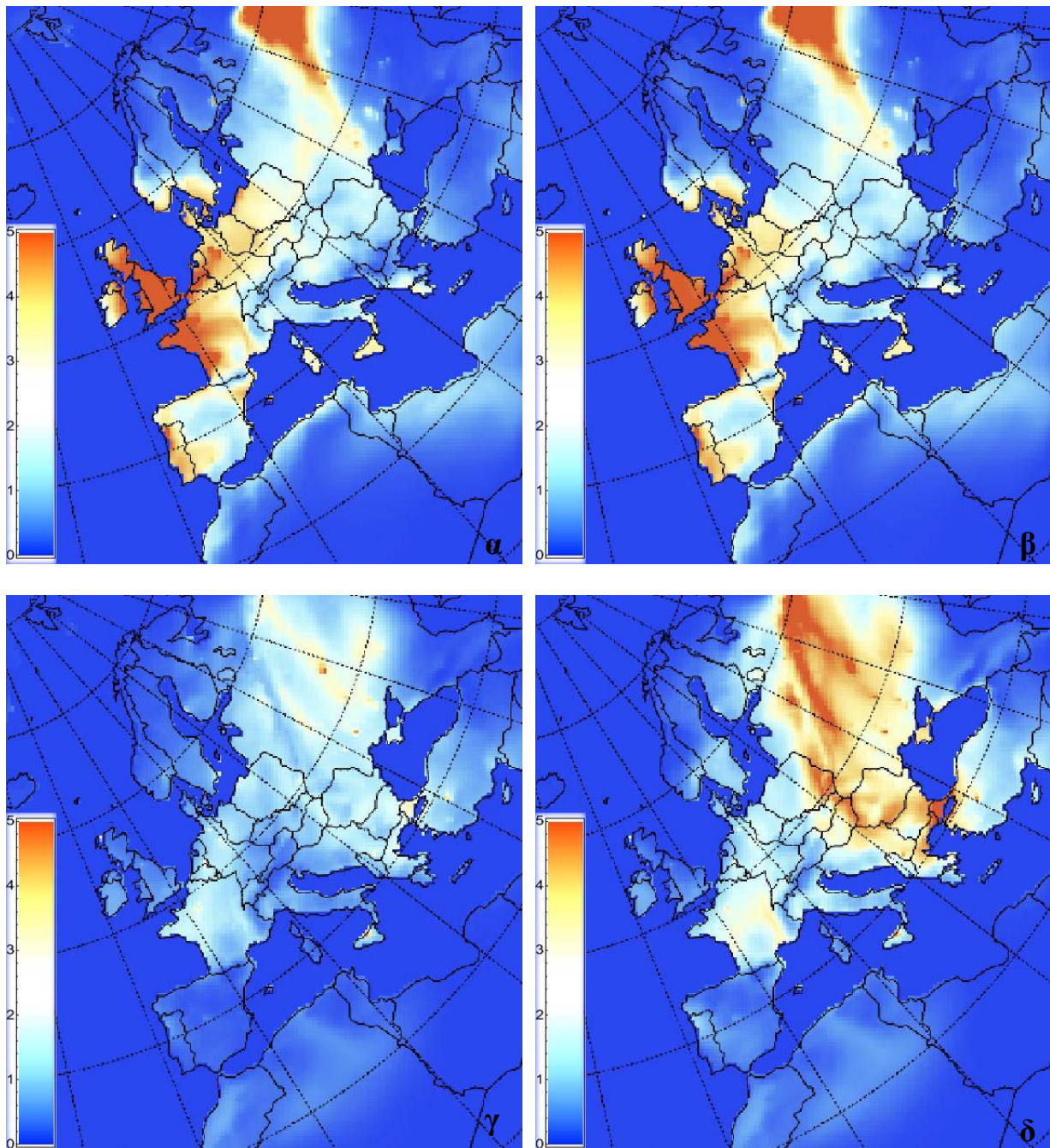
Σχήματα 31_{α-δ}: Συγκεντρώσεις σωματιδιακής μάζας νιτρικών για την 6^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και γ παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και στα σχήματα β και δ για το σενάριο NoSSA. Τα σχήματα α και β αναφέρονται σε σωματίδια PM_1 ενώ τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM_{1-10} . Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) που εμφανίζονται.

Την 19^η Μαΐου η μάζα των σωματιδιακών νιτρικών εμφανίζει μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια, στα σωματίδια PM_{10} . Αυτό φαίνεται από τα παρακάτω σχήματα όπου και οι διαφορές είναι σε μεγαλύτερα ποσοστά και σε μεγαλύτερη έκταση από ότι στα σωματίδια με διαμέτρους πάνω από $1\mu m$. Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται κυρίως σε παραθαλάσσιες περιοχές. Η συμπεριφορά της μάζας των σωματιδιακών νιτρικών πρέπει διερευνηθεί περαιτέρω, καθώς πρέπει να μελετηθούν περισσότερα σενάρια όπως και οι συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων για να εξαχθεί ένα ολοκληρωμένο συμπέρασμα.



Σχήματα 32_{α-δ}: Συγκεντρώσεις σωματιδιακής μάζας νιτρικών για την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και γ παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και στα σχήματα β και δ για το σενάριο NoSSA. Τα σχήματα α και β αναφέρονται σε σωματίδια PM_{10} ενώ τα σχήματα γ και δ αναφέρονται σε σωματίδια PM_{1-10} . Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu g/m^3$) που εμφανίζονται.

Από το μοντέλο ορίζεται πως τα θαλάσσια αερολύματα παράγουν σωματιδιακή μάζα οργανικών ενώσεων μόνο για τα PM_{10} . Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται σχήματα που αφορούν σωματίδια αυτό το μέγεθος. Παρόλα αυτά παρατηρούμε από τους πίνακες 15, 16 και 17, πως η εφαρμογή του μοντέλου επηρεάζει το οργανικό περιεχόμενο των διαλυμάτων και σε μεγαλύτερες διαμέτρους. Επειδή τα σχήματα των ποσοστιαίων διαφορών μπορεί να είναι παραπλανητικά επιλέγουμε και εδώ να αντιπαραβάλλουμε τις συγκεντρώσεις ανάμεσα στα δύο σενάρια. Την 6^η Μαΐου 2008, οι συγκεντρώσεις της σωματιδιακής μάζας οργανικών ενώσεων δεν παρουσιάζει αύξηση σε κάποιο σενάρια σε σχέση με το άλλο. Αντίθετα την 19^η Μαΐου, οι συγκεντρώσεις των οργανικών αερολυμάτων εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές στο σενάριο NoSSA. Ο μηχανισμός που οδηγεί την μείωση των οργανικών αερολυμάτων στο σενάριο SSA πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω.



Σχήματα 33_{a-δ}: Συγκεντρώσεις σωματιδιακής μάζας οργανικών ενώσεων για την 6^η και την 19^η Μαΐου 2008. Στα σχήματα α και β παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για το σενάριο SSA και NoSSA αντίστοιχα για την 6^η Μαΐου, για σωματίδια PM_{10} . Στα σχήματα γ και δ παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για τα δύο σενάρια για την 19^η Μαΐου για σωματίδια PM_{10} . Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu g/m^3$) που παρουσιάζονται.

5.6 Μεταβολή της συγκέντρωσης νατρίου πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη

Για να εξεταστεί η διεισδυτικότητα των θαλάσσιων αερολυμάτων επιλέχθηκαν τρεις (3) ενδεικτικές διαδρομές που απεικονίζουν την κατά μήκος τους μεταβολή της συγκέντρωσης του νατρίου. Οι διαδρομές που επιλέχθηκαν καταλήγουν στο Παρίσι περνώντας πάνω από ένα μεγάλο μέρος της Ευρωπαϊκής ηπείρου (Σχήμα 34). Οι μέρες που αναλύονται είναι η 6^η και η 19^η Μαΐου 2008. Τα χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18). Οι διαδρομές αυτές επιλέχθηκαν για να γίνει μία παρουσίαση της μεταβολής των συγκεντρώσεων νατρίου κατά μήκος αυτών, διότι το νάτριο παραμένει σε σωματιδιακή μορφή ενώ οι αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των σωματιδίων του χλωρίου και όξινων αερίων οδηγούν στην απομάκρυνση μέρους του χλωρίου σαν αέριο [Manders et al., 2010]. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των συγκεντρώσεων νατρίου πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη, μόνο για τις ημέρες ενδιαφέροντος (σχήματα 35, 36).

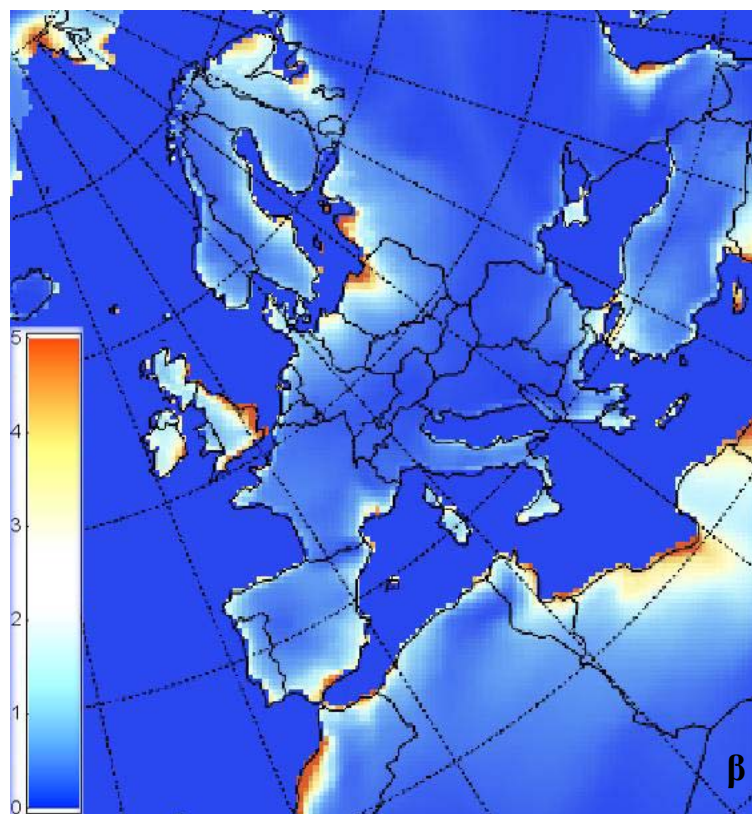
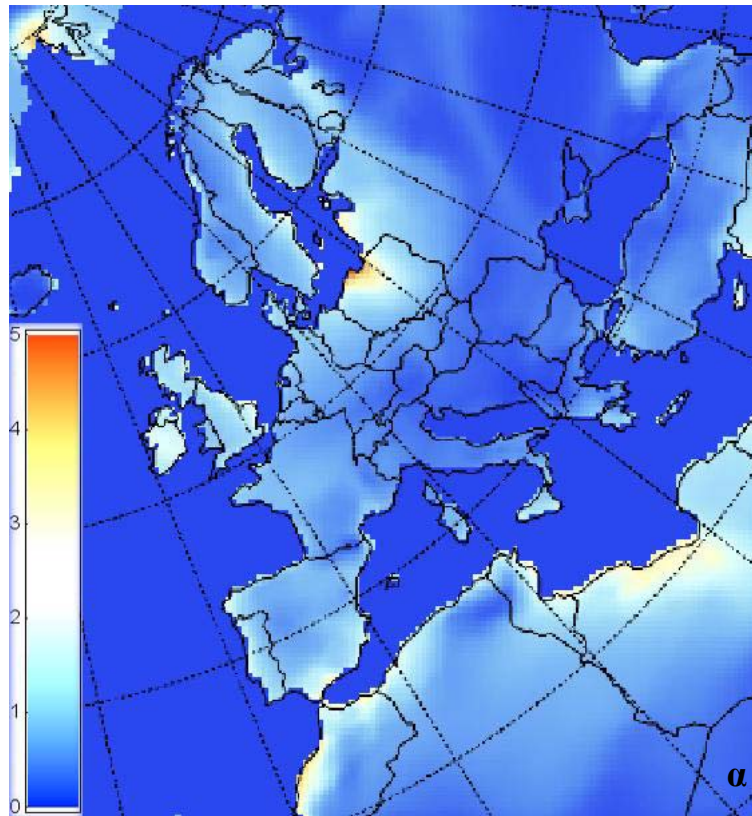


Σχήμα 34: Απεικόνιση των διαδρομών κατά τις οποίες εξετάζεται η διεισδυτικότητα των θαλάσσιων αερολυμάτων. Χάρτης από το πρόγραμμα Google Maps (Google Inc.).

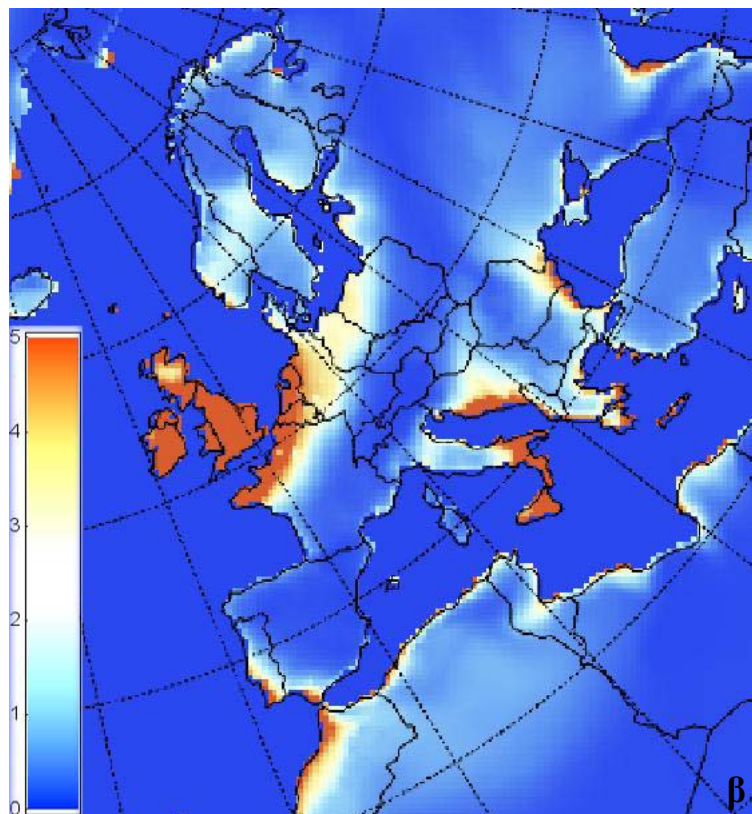
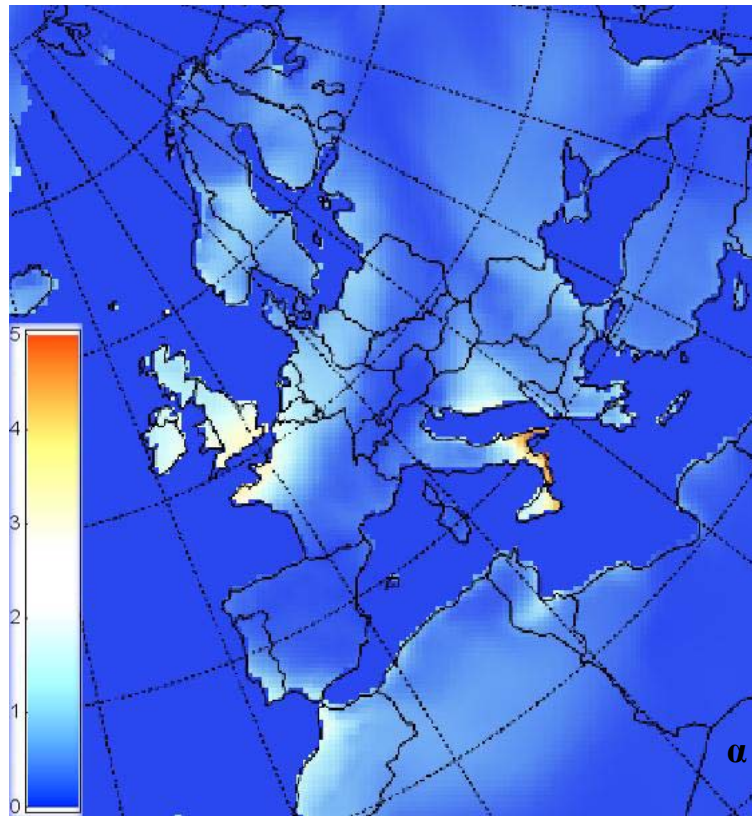
Πίνακας 18: Περιγραφή των διαδρομών που ακολουθήθηκαν για να μελετηθεί η διείσδυση των θαλάσσιων αερολυμάτων.

Περιγραφή	Lat	Lon	εώς	Lat	Lon	Μήκος διαδρομής (km)
A Δυτική ακτή της Γαλλίας, Παρίσι	46.995	-2.286		48.838	2.358	403
B Βόρεια ακτή Γαλλίας, Παρίσι	49.974	1.220		48.838	2.358	150
Γ Μασσαλία, Παρίσι	43.116	3.126		48.838	2.358	640

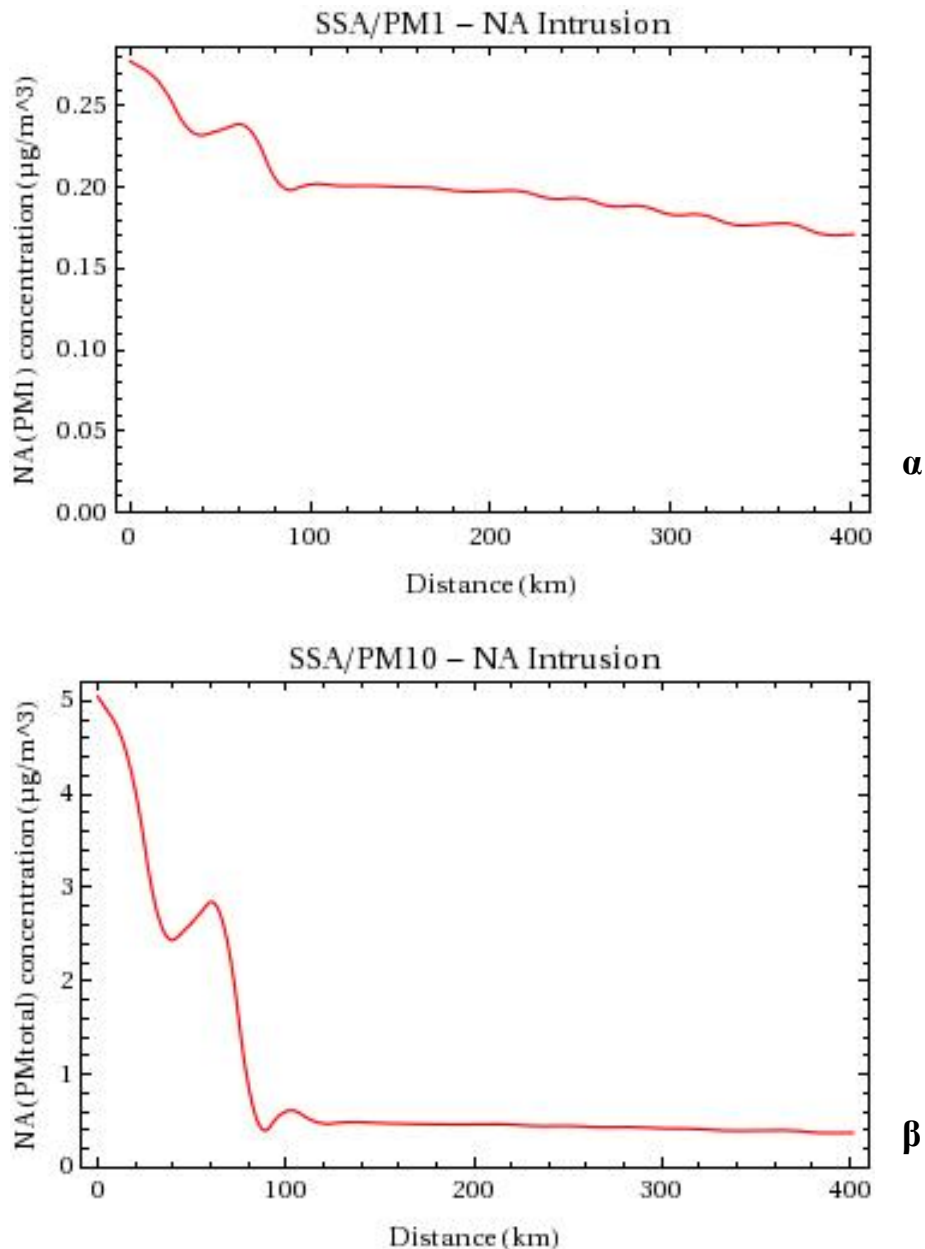
Lat αναφέρεται στο Latitude, δηλαδή στο γεωγραφικό πλάτος του κάθε σημείου. Αντίστοιχα Lon αναφέρεται στο Longitude του κάθε σημείου, δηλαδή στο γεωγραφικό μήκος του.



Σχήμα 35: Οι κατανομές σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την 6^η Μαΐου 2008. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) που παρουσιάζονται. Οι μέγιστες τιμές που απεικονίζονται είναι τα $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ τιμές μεγαλύτερες εμφανίζονται με το ίδιο χρώμα.



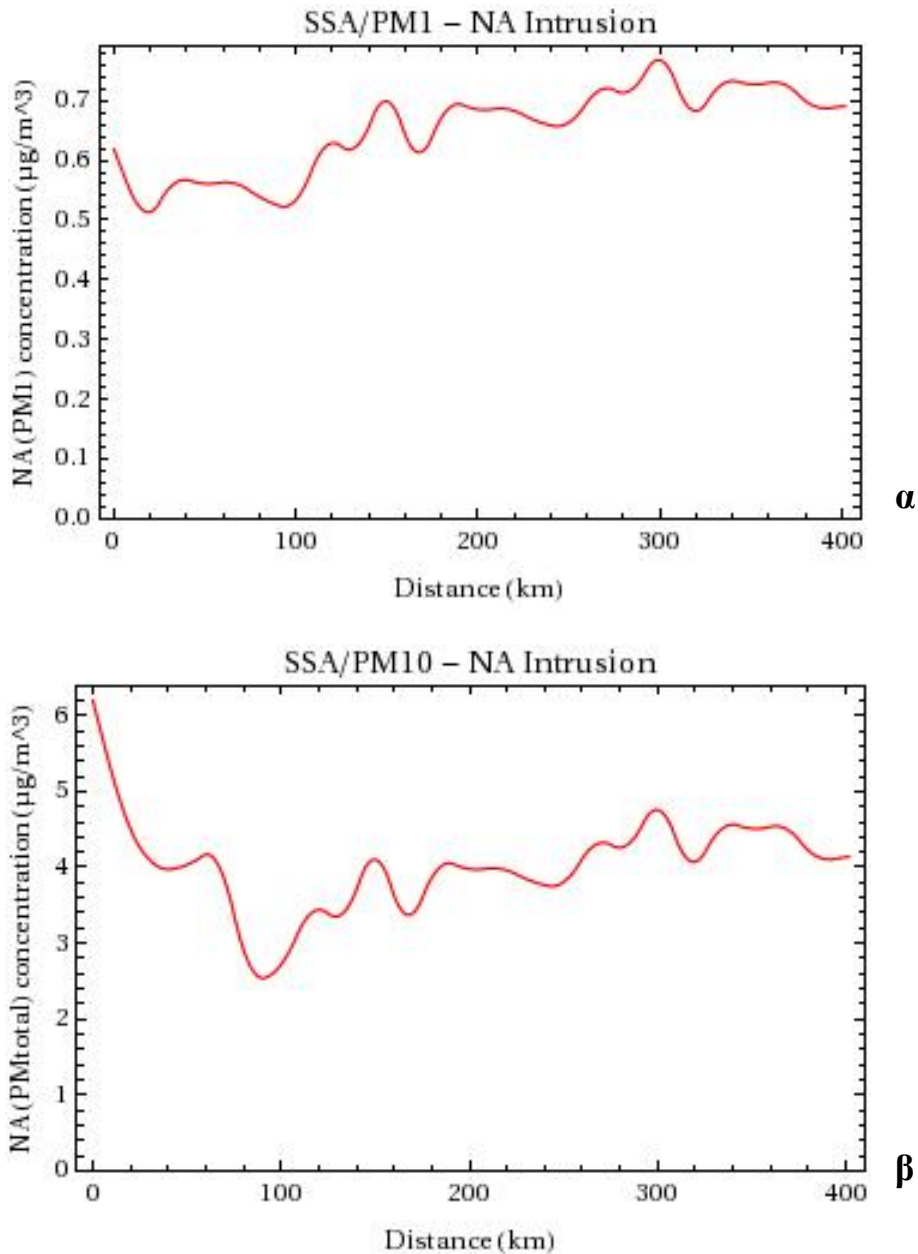
Σχήμα 36: Οι κατανομές σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την 19^η Μαΐου 2008. Οι χρωματισμένες διαβαθμίσεις αναφέρονται στις μέγιστες και στις ελάχιστες συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) που παρουσιάζονται. Οι μέγιστες τιμές που απεικονίζονται είναι τα $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ τιμές μεγαλύτερες εμφανίζονται με το ίδιο χρώμα.



Σχήμα 37: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_{10} (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή Α, κατά την 6^η Μαΐου 2008.

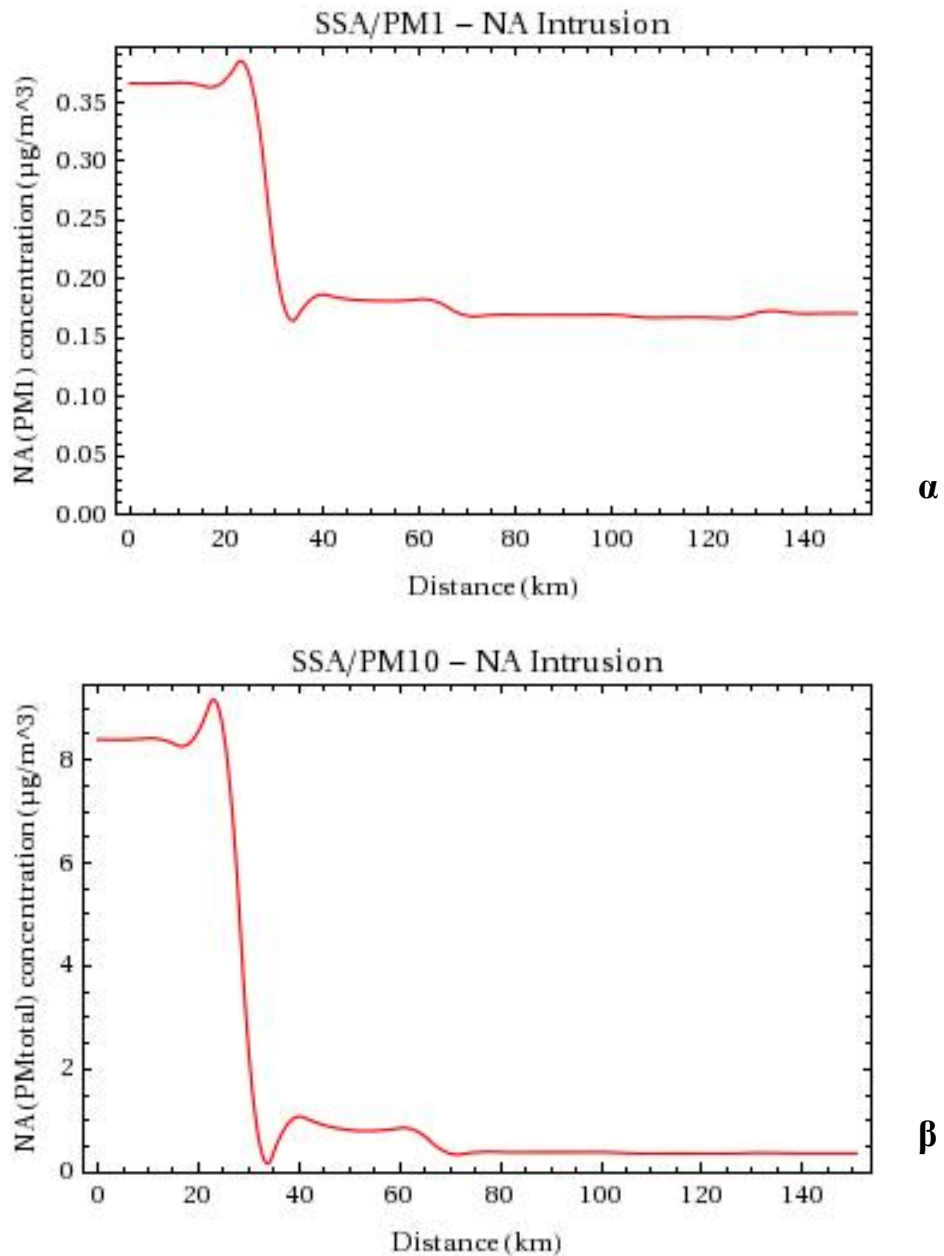
Η απόσταση στον άξονα Χ αναφέρεται σε πραγματικές αποστάσεις στο έδαφος. Τα σχήματα πρέπει να διαβάζονται σε συνάρτηση με τις χωρικές κατανομές των σχημάτων 35 και 36.

Για την 6^η Μαΐου στην διαδρομή Α έχουμε τα μικρότερα αερολυματικά φορτία θαλάσσιων αερολυμάτων (πιν. 8), ενώ παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων της σωματιδιακής μάζας νατρίου όλων των μεγεθών. Οι συγκεντρώσεις των μεγαλύτερων σωματιδίων μειώνονται απότομα και σε μικρή απόσταση από την ακτή, όπου και έπειτα σταθεροποιούνται σε πολύ μικρές τιμές. Για τα PM_{10} οι τιμές μειώνονται καθ' όλη την διαδρομή με σταθερό ρυθμό, σε συνάρτηση με την απόσταση. Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται μπορούν να εξηγηθούν από τις χωρικές κατανομές (σχ. 35, 36) καθώς θαλάσσια αερολυματικά φορτία διεισδύουν εκατέρωθεν της διαδρομής. Παρατηρούμε την σημαντική διαφορά που υπάρχει στην διεισδυτικότητα των μικρών σωματιδίων σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Κάτι που είναι αναμενόμενο από τους φυσικούς μηχανισμούς που περιέχονται στο PMCAMx.



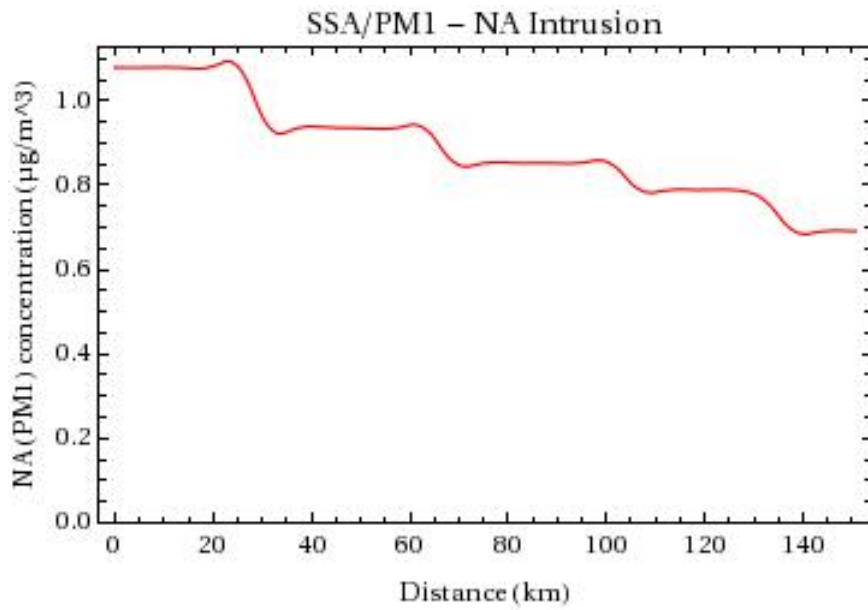
Σχήμα 38: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου PM_{10} (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή Α, κατά την 19^η Μαΐου 2008.

Κατά την 19^η Μαΐου τα σωματίδια νατρίου εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με την 6^η, το οποίο είναι και αναμενόμενο, αφού κατά την ημέρα αυτή παρουσιάζονται και σε μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο των αερολυμάτων πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές. Τα PM_{10} εμφανίζουν αύξηση στις συγκεντρώσεις τους όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή καθώς η διαδρομή επηρεάζεται ισχυρά από αερολυματικές μάζες που εισέρχονται από την βόρεια ακτή. Αντίθετα τα PM_{10} εμφανίζουν μία αρχική μείωση και έπειτα σταθεροποιούνται σε όλο το μήκος της διαδρομής. Οι διακυμάνσεις αυτές φαίνονται και στα αντίστοιχα σχήματα της κατανομής της σωματιδιακής μάζας νατρίου πάνω από την Ευρώπη όπου παρατηρείται σταθερή συγκέντρωση της σωματιδιακής μάζας κατά αυτήν τη διαδρομή.

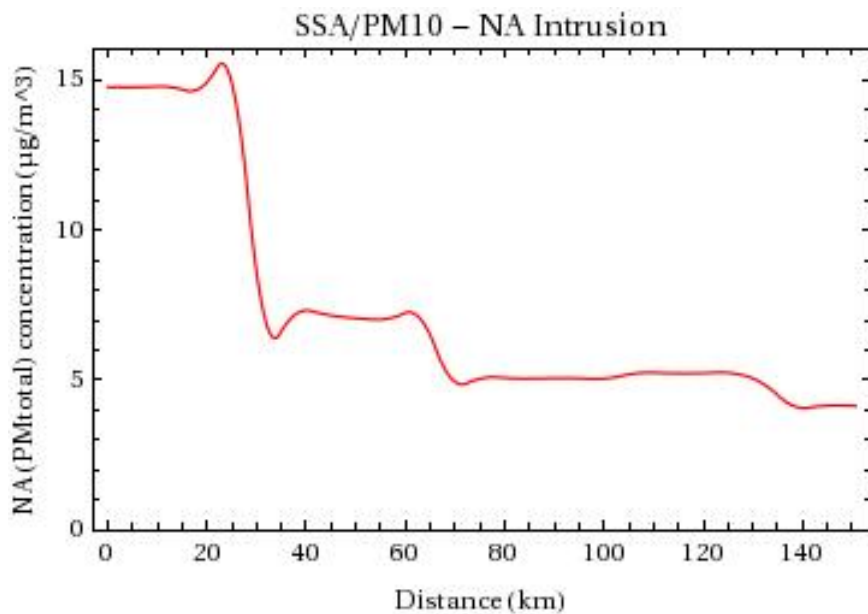


Σχήμα 39: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου νατρίου PM_{10} (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή Β, κατά την 6^η Μαΐου 2008.

Την 6^η Μαΐου 2008, στην διαδρομή Β, η σωματιδιακή μάζα παρουσιάζει μεγάλες και σταθερές τιμές για περιοχές κοντά στις ακτές, ενώ παρατηρείται μία απότομη πτώση. Έπειτα οι τιμές των συγκεντρώσεων της σωματιδιακής μάζας του νατρίου είναι μικρές και κυμαίνονται σταθερά. Αυτό φαίνεται και στα σχήματα 35_{α-β} όπου σε κοντινές αποστάσεις από τις ακτές παρατηρούνται μεγάλες τιμές συγκεντρώσεων ενώ όσο προχωράμε προς την ενδοχώρα οι τιμές αυτές είναι μικρότερες. Παρατηρούμε πως στο τέλος της διαδρομής, που βρίσκεται το Παρίσι, δεν φτάνει καμία μάζα νατρίου μεγάλων διαμέτρων.



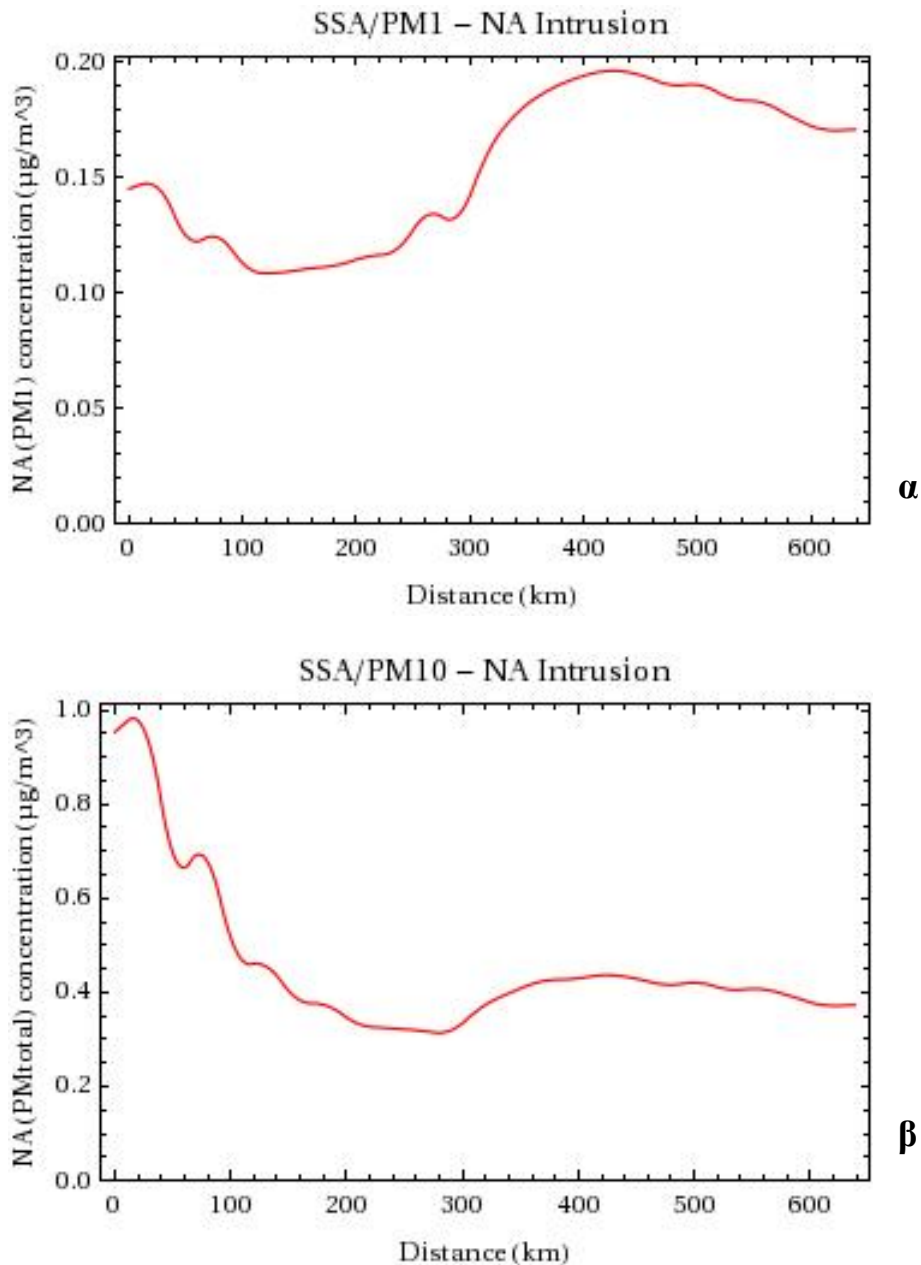
α



β

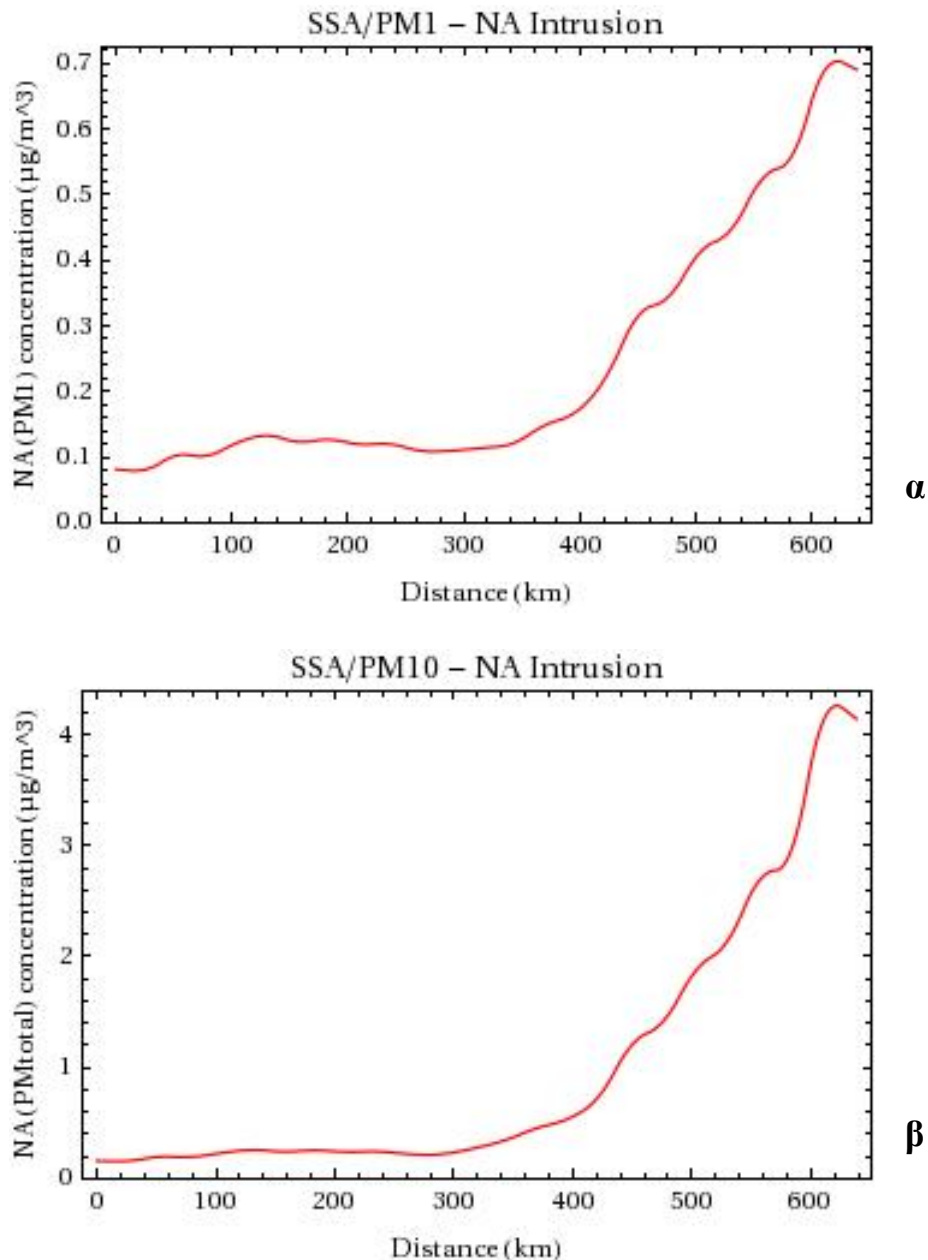
Σχήμα 40: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή B, κατά την 19^η Μαΐου 2008.

Την 19^η Μαΐου, το νάτριο βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι την 6^η Μαΐου, με τιμές σχεδόν διπλάσιες για τα PM_{10} . Για τα PM_1 οι τιμές εμφανίζονται περίπου τρεις φορές μεγαλύτερες. Αυτό φαίνεται και στα σχήματα 36_{α-β} όπου υπάρχουν μεγαλύτερες κατανομές του νατρίου και σωματίδια βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις αρκετά μακριά από τις ακτές. Όπως φαίνεται αυτή η διαδρομή είναι παράλληλη με τα ανεμολογικά πεδία και για ακόμη μία φορά είναι εμφανής η διαφορά διεισδυτικότητας ανάμεσα στα μεγάλα και στα μικρά σωματίδια.



Σχήμα 41: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου νατρίου PM_{10} (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή Γ, κατά την 6^η Μαΐου 2008.

Οι συγκεντρώσεις την 6^η Μαΐου στην διαδρομή Γ παρουσιάζουν πτώση όσο προχωράμε προς την ενδοχώρα. Από ένα σημείο και έπειτα όμως, παρατηρείται αύξηση στο σύνολο του μεγέθους των σωματιδίων, η οποία είναι πιο εμφανής για τα σωματίδια μεγέθους έως $1\mu\text{m}$. Οι συγκεντρώσεις επηρεάζονται από τα θαλάσσια αερολύματα της βόρειας ακτής. Καθώς δεν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες θαλάσσιων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, ο επηρεασμός αυτός δεν είναι σημαντικός.



Σχήμα 42: Οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) της σωματιδιακής μάζας νατρίου νατρίου PM_1 (σχ.α) και PM_{10} (σχ.β) για την διαδρομή Γ, κατά την 19^η Μαΐου 2008.

Την 19^η Μαΐου οι συγκεντρώσεις της μάζας του νατρίου είναι πολύ μικρότερες στην αρχή της διαδρομής, σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις της 6^{ης} Μαΐου. Παρατηρείται όμως μία απότομη αύξηση περίπου στα 350km και για τα σωματίδια μεγέθους έως 10 μm και για τα σωματίδια έως 1 μm . Αυτό φαίνεται και από τα σχήματα 36_{α-β} όπου παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις επηρεάζονται από θαλάσσια αερολύματα που μετακινούνται από την βόρεια ακτή προς τον νότο. Γίνεται φανερό ότι τα ανεμολογικά πεδία έχουν τέτοια φορά που δεν επιτρέπουν την διείσδυση του αλατιού πάνω από τη στεριά (για την ακτή εκκίνησης της διαδρομής Γ). Φαινόμενο το οποίο συμβαίνει κατά την 19^η Μαΐου και εξηγεί τη διαφορά της κατανομής των συγκεντρώσεων για την διαδρομή Γ ανάμεσα στις δύο ημέρες. Παρατηρούμε πως όσο πλησιάζουμε στο Παρίσι αυξάνεται το αερολυματικό φορτίο από την κίνηση των βορειών θαλάσσιων αερολυματικών μαζών και πως για μία ημέρα όπως η 19^η Μαΐου, επηρεάζονται μεγάλες περιοχές της Γαλλίας από τα θαλάσσια αερολύματα.

Βάση των παραπάνω, παρατηρούμε πως τα θαλάσσια αερολύματα εμφανίζουν μεγάλη διεισδυτικότητα (που εξαρτάται ισχυρά από τα μετεωρολογικά δεδομένα). Ειδικότερα τα μικρότερα σωματίδια μπορούν να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις, αντίθετα με τα μεγαλύτερα σωματίδια που οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της μάζας τους εμφανίζονται κοντά στις ακτές και όσο απομακρυνόμαστε και κινούμαστε προς την ενδοχώρα αυτές μειώνονται. Ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση, ισχυροί άνεμοι μπορούν να οδηγήσουν σε παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων σωματιδίων νατρίου μεγάλων διαμέτρων σε μεγάλες αποστάσεις μακριά από τις ακτές. Πέρα από τα μετεωρολογικά δεδομένα που παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόσταση την οποία τα θαλάσσια αερολύματα θα διανύσουν, ρόλο παίζει και η μορφολογία του εδάφους. Ένα ομαλό ανάγλυφο χωρίς μεγάλες αυξομειώσεις και μεγάλους ορεινούς όγκους επιτρέπει την μακρινή μεταφορά των σωματιδίων. Οι περιοχές της Ευρώπης που εξετάζονται, δεν διακρίνονται από μεγάλους ορεινούς όγκους ούτε από μεγάλες αυξομειώσεις. Έτσι παρατηρούμε πως τα μικρότερα σωματίδια μπορούν να παρασυρθούν από τον άνεμο και να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα – Συζήτηση

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε η αλληλεπίδραση που παρουσιάζουν τα θαλάσσια αερολύματα με τα υπόλοιπα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.

Τα θαλάσσια αερολύματα συνεισφέρουν σε ένα μεγάλο ποσοστό στην σωματιδιακή μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων. Ειδικότερα το νάτριο και το σωματιδιακό χλώριο εμφανίζονται να συμμετέχουν κατά μέσο όρο 23% (παρ. 5.2) ενώ κυρίως υπεύθυνα του ποσοστού εμφανίζονται να είναι τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 1 μm . Το ποσοστό αυτό είναι ενδεικτικό, καθώς σωματίδια κάτω από 1 μm διεισδύουν βαθύτερα στις ηπειρωτικές περιοχές από ότι τα μεγαλύτερα. Γενικά η μεγαλύτερη συγκέντρωση θαλάσσιας σωματιδιακής μάζας βρίσκεται κυρίως σε περιοχές κοντά στη θάλασσα, ενώ καθώς κινούμαστε προς την ενδοχώρα οι συγκεντρώσεις αυτές μειώνονται. Σύμφωνα με την ανάλυση της παραγράφου 5.4, οι συγκεντρώσεις των περισσότερων σωματιδίων επηρεάζονται ισχυρά από την παρουσία των θαλάσσιων αερολυμάτων και για εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές.

Η σωματιδιακή μάζα του νερού παρουσιάζει αύξηση κατά μέσο όρο 89% για σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερα από 2.5 μm ενώ στα μικρότερα σωματίδια η αύξηση αυτή είναι μικρότερη αλλά όχι αμελητέα. Φυσικά, ακόμη μία φορά εμφανίζεται εξάρτηση του νερού από την γεωγραφική περιοχή που μελετάμε. Τα σωματίδια διαμέτρων από 1 μm έως 2.5 μm αυξάνονται κατά 50% σε μάζα, ενώ κατά 14% αυξάνονται τα σωματίδια έως 1 μm . Οι μεγαλύτερες αυξήσεις εμφανίζονται στις παραθαλάσσιες περιοχές όπου και τα θαλάσσια αερολύματα συνεισφέρουν λόγω της υγροσκοπικότητάς τους, στην αύξηση και στη διασπορά της σωματιδιακής μάζας του νερού.

Η σωματιδιακή μάζα του στοιχειακού άνθρακα δεν επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία των θαλάσσιων αερολυμάτων (όπως δείχνει το μοντέλο). Ο ακριβής προσδιορισμός αυτών των αυξομειώσεων απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Αντίθετα τα σωματίδια θεικών παρουσιάζουν αύξηση η οποία είναι μεγαλύτερη για σωματίδια μεγέθους πάνω από 1 μm . Η αύξηση είναι αναμενόμενη και οφείλεται στην συνεισφορά της θάλασσας σε σωματιδιακή μάζα SO_4 καθώς και στις αλληλεπιδράσεις του NaCl με το H_2SO_4 με αποτέλεσμα να δημιουργείται επιπλέον σωματιδιακή μάζα. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια παρατηρούνται σε περιοχές κοντά στη θάλασσα (παρ. 5.4, 5.5)

Τα CRST παρατηρείται ότι αυξάνονται. Αυτό συμβαίνει καθώς οι γεννήτριες θαλάσσιων αερολυμάτων που χρησιμοποιούμε παράγουν CRST αυξάνοντας τις εκπομπές του συγκεκριμένου είδους που εισάγουμε στο μοντέλο. Συνεπώς είναι αναμενόμενο να υπάρχει αύξηση της μάζας τους σε σχέση με το σενάριο που δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη την θαλάσσια δραστηριότητα (παρ. 5.4).

Τα σωματίδια NO_3 εμφανίζουν μεταβολή στην σωματιδιακή τους μάζα, παρουσιάζοντας αύξηση στις συγκεντρώσεις σωματιδίων έως και 2.5 μm . Σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους παρουσιάζουν αύξηση στο σενάριο SSA σε σχέση με το

NoSSA, αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό. Η αύξηση της σωματιδιακής μάζας των νιτρικών δικαιολογείται από τις χημικές αντιδράσεις νατρίου προερχόμενου από θαλάσσιες εκπομπές (παρ. 5.4).

Τα αμμωνιακά και τα οργανικά σωματίδια εμφανίζουν μείωση στις συγκεντρώσεις τους στα σενάρια που υπάρχει σωματιδιακή μάζα NaCl. Τα φαινόμενα αυτά πρέπει να διερευνηθούν περισσότερο για να διαπιστωθούν οι ακριβείς μηχανισμοί. Ειδικότερα για τα οργανικά σωματίδια σημαντικό ρόλο εμφανίζεται να παίζει χημικός μηχανισμός οξείδωσης των MNVOC (non methane VOC) για τον σχηματισμό οργανικής σωματιδιακής μάζας. Η ακριβέστερη διερεύνηση του φαινομένου αποτελεί προτεραιότητα στην μετέπειτα προγραμματισμένη έρευνα (παρ. 5.4, 5.4).

Η διεισδυτικότητα των θαλάσσιων αερολυμάτων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Από τις συγκεντρώσεις της σωματιδιακής μάζας νατρίου κατά μήκος των διαδρομών που επιλέχθηκαν, διαπιστώνεται πως τα θαλάσσια αερολύματα έχουν την ικανότητα να διανύουν μεγάλες αποστάσεις. Ειδικότερα τα σωματίδια μικρού μεγέθους, (κάτω από 1μm), εμφανίζεται να διατηρούν σημαντικό ποσοστό των αρχικών συγκεντρώσεων, καθώς μετακινούνται πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές, σε μεγάλες αποστάσεις από τις ακτές. Αντίθετα, τα μεγάλου μεγέθους σωματίδια εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε περιοχές κοντά στη θάλασσα ενώ όσο προχωράμε προς την ενδοχώρα αυτές μειώνονται με μεγάλο ρυθμό. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, ισχυρά ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν μεγάλα θαλάσσια σωματίδια, βαθύτερα στην ενδοχώρα (παρ. 5.6). Η μεγαλύτερη διεισδυτικότητα εμφανίζεται κατά την ημέρα όπου η συνολική μάζα των θαλάσσιων αερολυμάτων είναι αυξημένη σε σχέση με την υπόλοιπη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων, πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές.

Όπως ήταν αναμενόμενο διαπιστώθηκε εξάρτηση της διεισδυτικότητας των θαλάσσιων αερολυμάτων από τα μετεωρολογικά δεδομένα. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι ο άνεμος παίζει διπλό ρόλο στα θαλάσσια αερολύματα. Η ύπαρξη υψηλών ανεμολογικών πεδίων αυξάνει την εκπεμπόμενη μάζα θαλάσσιων αερολυμάτων, ενώ στην περίπτωση που τα πεδία αυτά έχουν την κατάλληλη κατεύθυνση, οδηγεί σε αυξημένη διείσδυση αυτών στην Ευρωπαϊκή ήπειρο.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των μηχανισμών δημιουργίας των θαλάσσιων αερολυμάτων, πρέπει να εκτελεστούν σενάρια με ξεχωριστή εφαρμογή των επιμέρους μοντέλων που παράγουν διαφορετικού μεγέθους θαλάσσια αιωρούμενα σωματίδια. Επιπρόσθετα, χρήσιμη θα ήταν στο μέλλον η ταυτόχρονη ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο άνεμος, ώστε να διαπιστωθεί η άμεση και η έμμεση επιρροή που έχουν στην κατανομή των μαζών καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με διαθέσιμα (εφόσον αυτά υπάρχουν) πειραματικά δεδομένα.

Βιβλιογραφία

- Albrecht B., Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness, *Science*, 245, 1227-1230, 1989.
- Andreae M.O., The dark side of aerosols, *Nature*, 409, 671 – 672, 2001.
- Athanasopoulou E., Tombrou M., Pandis S. N., Russll A. G., The role of sea-salt emissions and heterogeneous chemistry in the air quality of polluted coastal areas, *Atmos. Chem. Sci.*, www.atmos-chem-phys.net/8/5755/2008, 2008.
- Arnold J. R., Dennis R. L., Testing CMAQ chemistry sensitivities in base case and emissions control runs at SEARCH and SOS99 surface sites in the southeastern US, *Atmos. Environ.* 40, 5027–5040, 2006.
- Baker M.B., Cloud microphysics and climate, *Science*, New Series, 276, 1072-1078, 1997.
- Blanchard D. C., The electrification of the atmosphere by particles from bubbles in the sea, in *Prog. Oceanogr.*, edited by M. Sears, 73-202, Pergamon Press, New York, 1963.
- Blanchard D. C., The production, distribution and bacterial enrichment of the sea salt aerosol, in *Air-Sea Exchange of Gases and Particles*, edited by P. S. Liss and W. G. N. Slinn, 407-454, D. Reidel Publishing company, Dordrecht, 1983.
- Blanchard D. C., Woodcock A. H., Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance, *Tellus* 9, 145-158, 1957.
- Blanchard D. C., Woodcock A. H., Cipriano R. J., The vertical distribution of concentration of sea salt in the marine atmosphere near Hawaii, *Tellus* 36B, 118-125, 1984.
- Blachard D. C. and Syzdek L. D., Electrostatic collection of jet and film drops, *Limno. Oceanogr.*, 20, 762-774, 1975.
- Capaldo K. P., Pilinis C., Pandis S. N., A computationally efficient hybrid approach for dynamic gas/aerosol transfer in air quality models, *Atmos. Environ.* 34, 3617-3627, 2002.
- Carter W. P. L., Programs and Files Implementing the SAPRC-99 Mechanism and its Associates Emissions Processing Procedures for Models-3 and Other Regional Models, 2000, <http://pah.cert.ucr.edu/~carter/SAPRC99.htm>.
- Charlson R. J., Schwartz S. E., Hales J. M., Cess R. D., Coakley J. A., Hansen J. E., Hofmann D. J., Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, 255, 433-430, 1992.
- Colella P., Woodward P. R., The Piecewise Parabolic Method (PPM) for Gasdynamical Simulations. *J. Comp. Phys.* 54, 174-201, 1984.

- Environ, Comprehensive Air Quality Model with Extensions, User's guide, Version 5.20, Environ International Corporation, March 2010.
- Dasgupta P. K., Campbell S. W., Al-Horr R. S., Ulla S. M. R., Li J., Amalfitano C., Poor N. D., Conversion of sea salt aerosol to NaNO₃ and the production of HCl: Analysis of temporal behavior of aerosol chloride/nitrate and gaseous HCl/HNO₃ concentrations with AIM, *Atmos. Env.*, vol. 41, pp. 4242-4257, 2007.
- Dockery D.W., Pope C.A.III, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr., Speizer F.E., An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, *N. Engl. J. Med.* 329, 1753-1759, 1993.
- EEA, Air pollution in Europe 1990-2004, Copenhagen, 2007.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), Air quality criteria for particulate matter, Office of Research and Development, EPA 600/P-99/002a, 1999.
- Erickson D. J, Merrill J. T., Duce R. A., Seasonal estimates of global atmospheric sea salt distributions, *J. Geophys. Res.* 91, 1067-1072, 1986.
- Exton H. J., Latham J., Park P. M., Perry S. J., Smith M. H., Allan R. R., The production and dispersal of marine aerosols, *Quar. J., Royal Meteorol., Soc.* 111, 817-837, 1985.
- Exton H. J., Latham J., Park P. M., Smith M. H., The production and dispersal of maritime aerosol, in *Oceanic Whitecaps and Their Role In Air-Sea Exchange Processes*, edited E. C. Monahan and G. MacNiocaill, pp. 175-193, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1986.
- Faraji M, Kimura Y., Allen D., Comparison of the Carbon Bond and SAPRC photochemical mechanisms under conditions relevant to southeast Texas.
- Finlayson-Pitts B.J., The tropospheric chemistry of sea salt: a molecular-level view of the chemistry of NaCl and NaBr. *Chem.Rev.* 103, 4801-4822, 2003.
- Geever M. C., O' Dowd D., van Ekeren S., Flanagan R., Nilsson E. D., de Leeuw G., Rannik U., Submicron sea spray fluxes, *Geophys. Res. Lett.* 32, 2005.
- Gery M. W., Whitten G. Z., Killus J. P., Dodge M. C., A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling. *J. Geophys. Res.* 94, 925-956, 1989.
- Gong S. L., Barrie L. A., Prospero J. M., Savoie D. L., Ayers G. P., Blanchet J. P., Spacek L., Modeling sea-salt aerosols in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, 3819-3830, 1997.

- Guelle W., Schulz M., Balkanski Y., Influence of the source formulation on modeling the atmospheric global distribution of sea salt aerosol, *J. of Geoph. Res.* 106, 27509-27524, 2001.
- Gurciullo C., Lerner B., Sievering H., Pandis S. N., Heterogeneous sulfate production in the remote marine boundary environment: Cloud processing and sea-salt particle contributions, *Journal of Geophysical Research*, 104, 21,719-21,731, 1999.
- Haralampidis P., Pilinis C., Skylight color shifts due to variations of urban-industrial aerosol properties: Observer color difference sensitivity compared to a digital camera, *Aerosol Science and Technology*, 42:658–673, 2008.
- Hinckley D. A., Bidleman T. F., Rice C. P., Atmospheric organochlorine pollutants and air-sea exchange of hexachlorocyclohexane in the Bering and Chukchi Seas, *J. Geophys. Res.*, 96(C4), 7201–7213, 1991.
- Hoffmann T.L., Environmental implications of acoustic aerosols agglomeration, *Ultrasonics*, 38, 353-357, 2000.
- Hossain K. M. A., Easa S. M., Lachemi M., Evaluation of the effect of marine salts on urban built infrastructure, *Building and Environment*, 44, 713-722, 2009.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2007 : Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing, In: *Climate Change 2007: The physical science basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate change, radiative forcing of climate*, Report to IPCC from the Scientific Assessment Group (WGI), Cambridge University Press, New York, 2001.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change*, Cambridge Univ. Press, New York, 1995.
- Jacobson M. C., Hansson H. C., Noone K. J., Charlson R. J., 2000. Organic atmospheric aerosols : review and state of the science, *Rev. Geophys.*, 38, 267- 294, 2000.
- Jobson B. T., Niki H., Yokouchi Y., Bottenheim J., Hopper F., Leitch R., Measurements of C₂-C₆ hydrocarbons during the polar sunrise 1992 Experiment: Evidence for Cl atom and Br atom chemistry, *J. Geophys. Res.*, 99, 355-368, 1994.
- Junge C., *Air chemistry and radioactivity*, Academic Press, New York, 1963
- Kientzler C. F., Arons A. B., Blanchard D. C., Woodcock A. H., Photographic investigation of the projection of droplets by bubbles bursting at a water surface, *Tellus* 6, 1-7, 1954.

- Knipping E.M., Dabdub D., Impact of chlorine emissions from sea-salt aerosol on coastal urban ozone. *Environ. Sci. Technol.* 37, 275-284, 2003.
- Kulmala M., Asmi A., Lappalainen H., Description of Work, EUCAARI, Sixth framework programme, EUCAARI Project, 2007.
- Le Treut H., Forichon M., Boucher O., Li Z-X., Sulfate aerosol indirect effect and CO₂ greenhouse forcing: Equilibrium response of the LMD GCM and associated cloud feedbacks, *J. Climate* 11, 1673–1684, 1998.
- Lewis R.E., Schwartz E.S., Sea Salt Aerosol Production: Mechanisms, Methods Measurements and Models, Geophysical Monograph series 152, 2004.
- Luecken D. J., Phillips S., Sarwar G., Jang C., Effects of using the CB05 vs. SAPRC99 vs. CB4 chemical mechanism on model predictions: Ozone and gas-phase photochemical precursor concentrations, *Atmos. Environ.* 42, 5805–5820, 2008.
- Manders A. M. M., Schaap M., Querol X., Albert M. F. M. A., Vercauteren J., Kuhlbusch T. A. J., Hoogerbrugge R., *Atmosph. Env.* 44, p. 1434-1442, 2010.
- Mangano Stephen, *The Mathematica Cookbook*, O'Reilly Media, 2010.
- Marks R., Preliminary investigation on the influence on the production, concentration and vertical distribution of sea salt aerosol, *J. Geophys. Res.* 95, 22,299-22,394, 1990.
- Mather T. A., Pyle D. M., Oppenheimer C. *Tropospheric Volcanic Aerosol, Volcanism and the Earth's atmosphere*, Geophysical Monograph 139, 2003
- Molnar A., Meszaros E., On the relation between the size and chemical composition of aerosol particles and their optical properties, *Atmos, Environ.* 35:5053–5058, 2001.
- Monahan E. C., Spiel D. E., Davidson K. L., 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., 1986.
- Muster T. H., Cole I. S., Attachment efficiencies of salt aerosols onto infra structure and implications for atmospheric corrosion, *J. Electrochem. Soc.* 152, B125–B131, 2005.
- Myriokefalitakis S., Vignati E., Tsigaridis K., Papadimas C., Sciare J., Mihalopoulos N., Facchini M. C., Rinaldi M., Dentener F. J., Ceburnis D., Hatzianastasiou N., O'Dowd D.C., van Weele M., Kanakidou M., Global modeling of the oceanic source of organic aerosols, revised *Advances in Meteorology*, 2010.

- Napari I., Noppel M., Vehkamäki H., Kulmala M., Parameterization of ternary nucleation rates for H₂SO₄-NH₃-H₂O vapors, *J. of Geophys. Res.* 107(D19), 4381, 2002.
- Nenes A, Pilinis C., Pandis. S. N., ISORROPIA: A New Thermodynamic Model for Multiphase Multicomponent Inorganic Aerosols. *Aquatic Geochemistry* 4, 123-152, 1998.
- O'Dowd D. C., Smith M. H., Consterdine I. E., Lowe J. A., Marine aerosol, sea salt and marine sulphur cycle: a short review, *Atmos. Environ.* 31, 73-80, 1997.
- O'Dowd C. D., Langmann B., Varghese S., Scannell C., Ceburnis D., Facchini M. C., A combined organic-inorganic sea-spray source function, *Geoph. Res. Let.*, Vol. 35, L01801, doi:10.1029/2007GL030331, 2008.
- O'Dowd D.C., de Leeuw G., Marine aerosol production: a review of the current knowledge, *Phil. Trans. R. Soc.* 365, 1753–1774, 2010.
- Odman, M. T., Ingram, C. L. Multiscale Air Quality Simulation Platform (MAQSIP): Source Code Documentation and Validation, Technical report, 83 pp., ENV-96TR002, MCNC–North Carolina Supercomputing Center, Research Triangle Park, North Carolina, 1996.
- Patton G. W., Walla M. D., Bidleman T. F., Barrie L. A., Polycyclic aromatic and organochlorine compounds in the atmosphere of northern Ellesmere Island, Canada, *J. Geophys. Res.*, 96(D6), 10, 867–10,877, 1991.
- Pearce D., Crowards T., Particulate matter and human health in the United Kingdom, *Energy Policy*, 24, 609-619, 1996.
- Piazzola J., Despiiau S., Contribution of marine aerosols in the particle size distribution observed in Mediterranean coastal zone, *Atmos. Environ.* 31, 2991-3009, 1997.
- Pierce J. R., Adams P. J., Global evaluation of CCN formation by direct emissions of sea salt and growth of ultrafine sea salt, *J. Geophys. Res.* 111, 2006.
- Pilinis C., Li X., Particle shape and internal inhomogeneity effects on the optical properties of tropospheric aerosols of relevance to climate forcing, *J. Geophys. Res.* 103:3789–3800, 1998.
- Pilinis C., Capaldo K. P., Nenes A., Pandis S. N., MADM – A new multicomponent aerosol dynamics model, *Aerosol Science and Technology* 32, 482-502, 2000.
- Putaud J., Raes F., VanDingenen R., Brüggemann E., Facchini M., Decesari S., Fuzzi S., Gehrig R., Hueglin C., Laj P., Lorbeer G., Maenhaut W., Mihalopoulos N., Mueller K., Querol X., Rodriguez S., Schneider J., Spindler G., Brink H., Torseth K., Wiedensohler A., A European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at Kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmos. Environ.* 38, 2579-2595, 2004.

- Raes F., Van Dingenen R., Vignati E., Wilson J., Putaud J.P., Seinfeld J.H., Adams P., Formation and cycling of aerosols in the global troposphere, *Atmospheric Environment*, 34, 4215-4240, 2000.
- Satheesh S. K., Ramanathan V., Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface, *Nature*, 405, 60 – 63, 2000.
- Scott, B.C., Parameterization of sulfate removal by precipitation, *J. Appl. Meteor.* 17, 1375-1389, 1978.
- Seinfeld H. John, Pandis N. Spyros, *Atmospheric chemistry and physics, From air pollution to climate change*, John Wiley & Sons, INC., second edition, 2006.
- Slinn S. A., Slinn W. G. N., Predictions for particle deposition on natural waters, *Atmos. Environ.* 24, 1013-1016, 1980.
- Smith M. H., Harrison N. M., The sea spray generation function, *J. Aerosol Sci.* 29, S189-S190, 1998.
- Smith M. J., Park P. M., Consterdine I. E., Marine aerosol concentrations and estimated fluxes over the sea, *Quar. J. Royal Meteorol. Soc.* 119, 809-824, 1993.
- Spiel D. E., Acoustic measurements of air bubbles bursting at a water surface: bursting bubbles as Helmholtz resonators, *J. Geophys. Res.* 97, 11443-11452, 1992.
- Spiel D. E., On the births of jet drops from bubbles bursting on water surfaces, *J. Geophys. Res.* 100, 4995-5006, 1995.
- Spiel D. E., More on the births of jet drops from bubbles bursting on seawater surfaces, *J. Geophys. Res.* 102, 5815-5821, 1997a.
- Spurny K.R., Chemical mixtures in atmospheric aerosols and their correlation to lung disease and cancer occurrence in the general population, *Toxicology Letters*, 88, 271-277, 1996.
- Stefanis N. A., Theokoulakis P., Pilinis C., Dry deposition effect of marine aerosol to the building stone of the medieval city of Rhodes, Greece, *Building and Environment* 44, 260– 270, 2009.
- Strader R., Lurmann F., Pandis S. N., Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter, *Atmos. Environ.* 33, 4849-4863, 1999.
- Tanabe S., Tanaka H., Tatsukawa R., Bioaccumulation of PCBs, DDT and HCH isomers in the North Pacific ecosystem, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 13, 731–738, 1984.

- Tanabe S., Tatsukawa R., Distribution, behavior, and load of PCBs in the oceans, PCBs and the Environment, vol. 1, edited by J. S. Waid, chap. 8, pp. 143–161, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1986.
- Tang I. N., Tridico A. C., Fung K. H., Thermodynamic and optical properties of sea salt aerosols, *J. of Geoph. Res.*, Vol. 102, p. 23269-23275, 1997.
- Tett S. F. B., Stott P. A., Allen M. R., Ingram W. J., Mitchell J.F.B., Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface, *Nature*, 399, 569 – 572, 1999.
- Tsimpidi A. P., Karydis V. A., Zavala M., Lei W., Molina L., Ulbrich I. M., Jimenez J. L., Pandis S. N., Evaluation of the volatility basis-set approach for the simulation of organic aerosol formation in the Mexico City metropolitan area, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 525–546, 2010
- Twomey S. A., Pollution and the planetary albedo, *Atmos. Env.* 8, 1251-1256, 1974.
- Twomey S. A., The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 34, 1149-1152, 1977.
- Van Bree, Cassee F.R., Toxicity of Ambient Air PM10: A critical review of potential causative PM properties and mechanisms associated with health effects, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), report number 650010015, 2000.
- Van Loon M., Vautard R., Schaap M., Bergström R., Bessagnet B., Brandt J., Builtjes P. J. H., Christensen, J. H., Cuvelier K., Graf A., Jonson J. E., Krol M., Langner J., Roberts P., Rouil L., Stern R., Tarrasón L., Thunis P., Vignati E., White L., Wind P., 2007. Evaluation of long term ozone simulations from seven regional air quality models and their ensemble average. *Atmos. Environ.* 41, 2083-2097, 2005.
- Wesely M.L., Parameterization of Surface Resistances to Gaseous Dry Deposition in Regional-Scale Numerical Models. *Atmos. Environ.* 23, 1293-1304, 1989.
- Woodcock A. H., Spencer A. T., An airborne flame photometer and its use in the scanning of marine atmospheres for sea salt particles, *J. Meteorol.* 14, 437-447, 1957.
- Woodcock A. H., Duce R. A., Moyers J. L., Salt particles and raindrops in Hawaii, *J. Atmos. Sci.* 28, 1252-1257, 1971.
- World Health Organization, Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution, 2006.
- Yarwood. G., S. Rao, M. Yocke, and G.Z. Whitten, Updates to the Carbon Bond chemical mechanism: CB05. Final Report prepared for US EPA, www.camx.com/publ/pdfs/CB05_Final_Report_120805.pdf, 2005b.

Δασκάλου Βασιλική, Μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των ερολυμάτων που μετρήθηκαν στο σταθμό της φινοκαλιάς Ηρακλείου Κρήτης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2008.

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

Σωτηροπούλου Π. Ραφαέλλα-Ελένη, Προσμείωση φυσικοχημικών διεργασιών βιογενών αεροζόλ: Η επίδρασή τους στην ποιότητα αέρα και στην κλιματική αλλαγή στην περιοχή της μεσογείου, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Διδακτορική διατριβή, 2005.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή κ. Χριστόδουλο Πηλίνη για την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χαραλαμπίδη Παναγιώτη για την παροχή των βάσεων δεδομένων εκπομπών εισόδου στο PMCAMx, την συνεργασία και την βοήθεια που προσέφερε πάνω στο αντικείμενο της έρευνας, όσο και στην συμβολή του στο προγραμματιστικό μέρος της ανάλυσης των δεδομένων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Πολυμενέα Παναγιώτη για τις διευκρινίσεις και την βοήθειά του πάνω στα μοντέλα παραγωγή των θαλάσσιων αερολυμάτων.

Ευχαριστώ τους κυρίους Σπ. Πανδή και Χρ. Φουντούκη του πανεπιστημίου Πατρών, για την έκδοση του μοντέλου PMCAMx που μας διέθεσαν καθώς και για τα δεδομένα του σεναρίου SSA.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που μου προσέφερε την δυνατότητα να ασχοληθώ απερίσπαστα με τις μεταπτυχιακές μου σπουδές καθώς και στον καθηγητή κ. Πεγλιβανίδη Γεώργιο που με παρότρυνε να συνεχίσω τις σπουδές μου.