



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

ΛΑΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Λαζαρίδης Μ. (Επιβλέπων Καθηγητής)

Καλογεράκης Ν.

Καρατζάς Γ.

Χανιά, Σεπτέμβριος 2005

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών « Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή, Επ.κ. καθηγητή Λαζαρίδη Μιχάλη, αρχικά για την ανάθεση της εργασίας, αλλά και για τη στήριξη σε επιστημονικό και φιλικό επίπεδο, σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Στη συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω τη Διδάκτορα Σπυριδάκη Αθηνά. Η εμπειρία και οι γνώσεις της αποτέλεσαν πολύ σημαντική βοήθεια στη διεκπαιρέωση αυτής της μελέτης. Επίσης την ευχαριστώ για τη φιλική της στήριξη.

Ευχαριστώ επίσης, την υποψήφια διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, Αλεξανδροπούλου Βικτωρία για την πολύτιμη βοήθειά της στην δημιουργία των χαρτών στην παρούσα μελέτη και για τη συνεργασία μας, καθώς και τα μέλη του εργαστηρίου «Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων», Γλυτσό Θεόδωρο και Κοπανάκη Ηλία για το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας.

Ευχαριστώ τον ερευνητή κ. Flatøy F. από το πανεπιστήμιο του Bergen για την παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων τα οποία ενσωματώθηκαν στη παρούσα μελέτη, καθώς και τη Διεύθυνση Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για τη διάθεση των στοιχείων που αφορούσαν στις δασικές πυρκαγιές. Ιδιαίτερα τον κύριο Μπαλατσό Π. για τη βοήθεια του στη κατανόηση των παρεχόμενων δεδομένων

Ευχαριστώ θερμά την Κική Χατζηευαγγέλου, για τη πολύτιμη στήριξή και την ενθάρρυνσή της καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών καθώς επίσης και για την προσεκτική διόρθωση του κειμένου.

Κυρίως όμως ευχαριστώ τους γονείς και τον αδερφό μου, για την αγάπη, την κατανόηση και την υλική συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η τριμελής επιτροπή αποτελείται από τους:

1. Λαζαρίδης Μ., Επ. Καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος (Πολυτεχνείο Κρήτης) (επιβλέπων καθηγητής)
2. Καλογεράκης Ν., Καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος (Πολυτεχνείο Κρήτης)
3. Καρατζάς Γ., Αναπλ. Καθηγητής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος (Πολυτεχνείο Κρήτης)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να καθοριστεί η επίδραση των δασικών πυρκαγιών στη συγκέντρωση αερίων και σωματιδιακών ρύπων στην περιοχή της Ελλάδας. Για το σκοπό αυτό, διαμορφώθηκε, αρχικά, μια βάση δεδομένων για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας δεδομένα από την Διεύθυνση Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Αναπτύχθηκε, επίσης, μια μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές βάσει συντελεστών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και έχει ελεγχθεί η αξιοπιστία τους. Βάσει της βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε και της μεθοδολογίας αυτής καθορίστηκαν οι εκπομπές διαφόρων αερίων και σωματιδιακών ρύπων από δασικές πυρκαγιές για τα έτη 1997-2003. Για τον Ιούλιο του 2000 έγινε μια λεπτομερής ανάλυση της συνεισφοράς των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια των ημερών με τις μέγιστες εκπομπές. Τέλος, έγινε αρχικοποίηση του μοντέλου UAM-AERO ούτως ώστε να μπορεί να γίνει εφαρμογή του στην περιοχή της Ελλάδας με σκοπό να εκτιμηθεί η συνεισφορά των δασικών πυρκαγιών στην συγκέντρωση αερίων και σωματιδιακών ρύπων στην περιοχή της Ελλάδας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	4
2.1	Εισαγωγή	4
2.2	Δασική καύσιμη βιομάζα	7
2.2.1	Τύποι δασικής καύσιμης βιομάζας	7
2.2.1.1	Επιφανειακή καύσιμη βιομάζα	7
2.2.1.2	Ανυψωμένη καύσιμη βιομάζα	8
2.2.2	Χημικές ιδιότητες της δασικής καύσιμης βιομάζας	10
2.2.2.1	Στοιχειακή σύνθεση	10
2.2.2.2	Χημικές ενώσεις στην δασική βιομάζα	10
2.3	Δασικές πυρκαγιές	11
2.4	Η διαδικασία της καύσης	12
2.5	Εκπομπές από δασικές πυρκαγιές	15
2.5.1	Αέριοι ρύποι	16
2.5.2	Σωματιδιακοί ρύποι	19
2.6	Δασικές πυρκαγιές και επιπτώσεις στην υγεία	21
2.6.1	Εισαγωγή	21
2.6.2	Επιπτώσεις των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην υγεία	21
3	ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	25
3.1	Εισαγωγή	25
3.2	Εκτίμηση της ποσότητας της καιγόμενης βιομάζας	27
3.3	Εκτίμηση των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων	29
3.3.1	Ενώσεις του άνθρακα	29
3.3.2	Ενώσεις του αζώτου	30
3.3.3	Ενώσεις του θείου	31
3.4	Εκτίμηση των εκπεμπόμενων αιωρούμενων σωματιδίων	32
3.5	Εφαρμογή της μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα	35
3.5.1	Ποσοτικοποίηση εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα	35
3.5.2	Εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές	40
3.6	Παρατηρήσεις	48
4	ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	50
4.1	Εισαγωγή	50
4.2	Περιγραφή διαθέσιμων δεδομένων	52
4.3	Περιγραφή ετήσιων δεδομένων δασικών πυρκαγιών	55
4.3.1	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1997	55
4.3.2	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1998	56
4.3.3	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1999	57
4.3.4	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2000	59
4.3.5	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2001	60
4.3.6	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2002	62
4.3.7	Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2003	63
4.4	Εκπομπές από δασικές πυρκαγιές (1997-2003)	65

4.5	Συνοπτικά αποτελέσματα 1997-2003	66
5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ UAM-AERO	70
5.1	Εισαγωγή	70
5.2	Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας του UAM-AERO	73
5.2.1	Εισαγωγή	73
5.2.2	Μεταφορά ρύπων	75
5.2.3	Τυρβώδης διάχυση	75
5.2.4	Ατμοσφαιρική χημεία	76
5.2.5	Θερμοδυναμική των αεροζόλ	84
5.2.6	Προσομοίωση της κατανομής μεγέθους των αεροζόλ	86
5.2.7	Επίδραση της ομίχλης	88
5.2.8	Ξηρή εναπόθεση	90
5.2.8.1	Ξηρή εναπόθεση σωματιδίων	90
5.2.8.2	Ξηρή εναπόθεση αερίων ρύπων	93
6	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ UAM-AERO	95
6.1	Εισαγωγή	95
6.2	Εφαρμογή του μοντέλου UAM-AERO στην Ελλάδα	97
6.2.1	Γενικά	97
6.2.2	Πλέγμα UAM-AERO	97
6.3	Σειρά δημιουργίας αρχείων εισόδου	100
6.4	Αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων	101
6.4.1	Αρχείο ύψους ανάμιξης (DIFFBREAK)	101
6.4.2	Αρχείο ανεμολογικών δεδομένων (WIND)	103
6.4.3	Αρχείο θερμοκρασιακών δεδομένων (TEMPERATURE)	104
6.4.4	Αρχείο ομίχλης (FOG)	104
6.4.5	Αρχείο ορισμού ανώτατου ορίου πλέγματος (REGIONTOP)	104
6.4.6	Αρχείο δεδομένων συγκεντρώσεων υδρατμών (WATER)	105
6.4.7	Αρχείο καθορισμού μετεωρολογικών παραμέτρων (METSCALARS)	107
6.5	Αρχεία αρχικών και οριακών συνθηκών	109
6.5.1	Αρχείο αρχικών συγκεντρώσεων (AIRQUALITY)	109
6.5.2	Αρχείο συγκεντρώσεων πλευρικών ορίων πλέγματος (BOUNDARY)	109
6.5.3	Αρχείο συγκεντρώσεων άνω ορίου πλέγματος (TOPCONC)	109
6.6	Αρχεία εκπομπών	110
6.6.1	Αρχείο εκπομπών σημειακών πηγών (PTSOURCE)	110
6.6.2	Αρχείο εκπομπών (EMISSIONS)	110
6.7	Λοιπά αρχεία	112
6.7.1	Αρχείο χρήσεων γης (LANDUSE)	112
6.7.2	Αρχείο πληροφοριών για το έδαφος της περιοχής (TERRAIN)	115
6.7.3	Αρχείο ελέγχου των παραμέτρων ροής του προγράμματος (SIMCONTROL)	116
6.7.4	Αρχείο χημικών παραμέτρων (CHEMPARAM)	118
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	120
7.1	Συμπεράσματα	120

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	123
Βιβλιογραφία	124

Παράρτημα Ι - Περιγραφή δεδομένων δελτίων δασικών πυρκαγιών	
Παράρτημα ΙΙ - Αρχείο εισόδου CHEMPARAM	

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Τρίγωνο Πυρκαγιάς	12
Σχήμα 3.1: Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης εκπομπών από δασικές πυρκαγιές	27
Σχήμα 3.2: Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές	34
Σχήμα 3.3: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές	34
Σχήμα 3.4: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα τον Ιούλιο του 2000	35
Σχήμα 3.5: Συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών διαφόρων χρονικών διαρκειών.	37
Σχήμα 3.6: Καμένη έκταση ανά πυρκαγιά	37
Σχήμα 3.7: Καμένες εκτάσεις ανά ημέρα τον Ιούλιο του 2000 στην Ελλάδα	41
Σχήμα 3.8: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής αερίων ρύπων από δασικές πυρκαγιές προς τις λοιπές ανθρωπογενείς εκπομπές ανά ημέρα.	43
Σχήμα 3.9: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής σωματιδιακών ρύπων οργανικού άνθρακα από δασικές πυρκαγιές, προς τις λοιπές εκπομπές OC ανά ημέρα	45
Σχήμα 3.10: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής σωματιδιακών ρύπων στοιχειακού άνθρακα από δασικές πυρκαγιές, προς τις λοιπές εκπομπές EC ανά ημέρα	46
Σχήμα 3.11: Συνεισφορά εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων ρύπων (12-16 Ιουλίου 2000)	47
Σχήμα 3.12: Συνεισφορά εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ανθρωπογενείς εκπομπές σωματιδίων οργανικού και στοιχειακού άνθρακα (12-16 Ιουλίου 2000)	47
Σχήμα 4.1: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1997)	55
Σχήμα 4.2: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1997)	56
Σχήμα 4.3: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1998)	56
Σχήμα 4.4: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1998)	57
Σχήμα 4.5: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1999)	58
Σχήμα 4.6: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1999)	58
Σχήμα 4.7: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2000)	59
Σχήμα 4.8: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2000)	60

Σχήμα 4.9: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2001)	61
Σχήμα 4.10: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2001)	61
Σχήμα 4.11: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2002)	62
Σχήμα 4.12: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2002)	63
Σχήμα 4.13: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2003)	64
Σχήμα 4.14: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2003)	64
Σχήμα 4.15: Οι μεγαλύτερες πυρκαγιές της περιόδου 1997-2003	67
Σχήμα 4.16: Καμένη έκταση ανά έτος	68
Σχήμα 4.17: Αίτια πρόκλησης δασικών πυρκαγιών	69
Σχήμα 6.1: Δομή του προγράμματος UAM-AERO	96
Σχήμα 6.2: Ζώνες της Γης στο σύστημα συντεταγμένων UTM.	98
Σχήμα 6.3: Το πλέγμα UTM για την περιοχή μελέτης	99
Σχήμα 6.4: Τυπικές καμπύλες ύψους ανάμιξης	102
Σχήμα 6.5: Χρήσεις γης στην Ελλάδα	114
Σχήμα 6.6: Τμήμα του αρχείου εισόδου LANDUSE	115
Σχήμα 6.7: Αρχείο εισόδου SIMCONTROL για την 25η Ιουλίου 2000	117

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Βασικές εκπομπές από δασικές πυρκαγιές	26
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά βιομάζας για την εκτίμηση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές	29
Πίνακας 3.3: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των εκπομπών ενώσεων του άνθρακα	30
Πίνακας 3.4 : Συντελεστές εκπομπής ενώσεων του αζώτου	31
Πίνακας 3.5: Κατηγορίες μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν	32
Πίνακας 3.6: Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων	33
Πίνακας 3.7: Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων ως προς τη σύσταση και το μέγεθός τους	34
Πίνακας 3.8: Τύποι βλάστησης και αντιστοίχηση τους στην κατηγοριοποίηση του UAM-AERO	38
Πίνακας 3.9: Καύσιμη βιομάζα ανάλογα με το είδος οικοσυστήματος	39
Πίνακας 3.10: Εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (Ιούλιος '00)	40
Πίνακας 4.1: Μορφές εδαφοπονίας του ελληνικού χώρου	50

Πίνακας 4.2 : Κατανομή των ελληνικών δασών σε δασοπονικά είδη	51
Πίνακας 4.3: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1960-1996)	52
Πίνακας 4.4: Διαθέσιμα δεδομένα για κάθε πυρκαγιά	53
Πίνακας 4.5: Εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές (1997-2003)	65
Πίνακας 4.6: Εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από πυρκαγιές (2000)	66
Πίνακας 4.7: Καμένη έκταση ανά έτος	67
Πίνακας 4.8: Συνοπτικά στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα	68
Πίνακας 5.1: Δεδομένα εκπομπών ρύπων	71
Πίνακας 5.2: Χημικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται στον CBM-IV	77
Πίνακας 5.3: Χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στον CBM-IV	82
Πίνακας 5.4: Ενώσεις που χρησιμοποιούνται στο SEQUILIB	84
Πίνακας 5.5: Αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται από το SEQUILIB	85
Πίνακας 5.6: Κατηγορίες μεγέθους των σωματιδίων	86
Πίνακας 5.7: Επίδραση της ομίχλης	89
Πίνακας 6.1: Αρχεία εισόδου για το μοντέλο UAM-AERO	95
Πίνακας 6.2: Σειρά προετοιμασίας αρχείων εισόδου	100
Πίνακας 6.3: Κλάση ευστάθειας σε συνάρτηση με τη νεφοκάλυψη και την ηλιακή ζενίθεια γωνία	108
Πίνακας 6.4: Κατάλογος των υπό μελέτη αερίων ρύπων	111
Πίνακας 6.5: Κατάλογος των υπό μελέτη σωματιδιακών ρύπων	111
Πίνακας 6.6: Κατηγορίες χρήσης γης του UAM-AERO	112
Πίνακας 6.7: Αντιστοίχιση κατηγοριών χρήσης γης	113
Πίνακας 6.8: Επιφανειακή τραχύτητα και συντελεστές εναπόθεσης συναρτήσει των χρήσεων γης (Πρόγραμμα CRETER)	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης της συνεισφοράς των δασικών πυρκαγιών στις συγκεντρώσεις αερίων και σωματιδιακών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Η περιοχή της Ελλάδας χαρακτηρίζεται συχνά από έντονα επεισόδια σωματιδιακής ρύπανσης, η οποία προέρχεται είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, είτε από φυσικές πηγές. Κατά τη θερινή περίοδο, ένας σημαντικός και αστάθμητος παράγοντας επιβάρυνσης της περιοχής με σωματιδιακούς ρύπους είναι οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες κατά την περίοδο αυτή είναι δυνατό να συντελέσουν σημαντικά στην αύξηση των τοπικών επιπέδων ρύπανσης.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία μιας μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης των ρύπων που εκπέμπονται από δασικές πυρκαγιές και η μελέτη της συνεισφοράς τους στις συγκεντρώσεις των ρύπων στην περιοχή της Ελλάδας.

Η μελέτη των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές είναι αρκετά πολύπλοκη και συχνά παραλείπεται στις μελέτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Λόγω της ακανόνιστης- απρογραμμάτιστης εκπομπής ρύπων από πυρκαγιές είναι δύσκολη η εκτίμηση των ολικών εκπομπών σε μια περιοχή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Απαιτούνται δεδομένα για τον τύπο του οικοσυστήματος που κάηκε, τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν, τον ακριβή χρόνο έκρηξης και κατάσβεσης, τον τύπο της πυρκαγιάς κ.α.. Τα δεδομένα αυτά, στην παρούσα μελέτη, παραχωρήθηκαν από την Διεύθυνση Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Μια ακόμα δυσκολία που υπεισέρχεται στην μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Ελλάδας είναι το πολύπλοκο τοπογραφικό ανάγλυφο της και οι συχνές διαφοροποιήσεις της χρήσης γης ανάμεσα σε θάλασσα και στεριά.

Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι που εκπέμπονται από τις δασικές πυρκαγιές είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί, το μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του

αζώτου και του θείου, μεθάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες. Οι σωματιδιακοί ρύποι που εκπέμπονται είναι κατά ένα μεγάλο μέρος τους διαμέτρων μικρότερων από 10 μm και διαφέρουν ανάλογα με την φάση της πυρκαγιάς.

Για την μελέτη της διασποράς των ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές και της συνεισφοράς τους στις συγκεντρώσεις των αέριων και σωματιδιακών ρύπων στην περιοχή της Ελλάδας προετοιμάστηκαν τα αρχεία εισόδου του τρισδιάστατου ατμοσφαιρικού μεσοσκοπικού μοντέλου UAM-AERO. Το μοντέλο UAM-AERO αποτελεί μια επέκταση του ευρέως χρησιμοποιούμενου φωτοχημικού μοντέλου, Urban Airshed Model (UAM), Version IV (SAI, 1990a,b,c,d,e). Το μοντέλο UAM-IV έχει βελτιωθεί έτσι ώστε να μπορεί να «χειρίζεται», εκτός από τους αέριους ρύπους μόνο, και τα αιωρούμενα σωματίδια και τις διεργασίες που τα διέπουν.

Το μοντέλο UAM-AERO έχει χρησιμοποιηθεί για την περιοχή της Ελλάδας στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SUB-AERO (Σπυριδάκη, 2005). Οι προσομοιώσεις που προέκυψαν με την εφαρμογή του μοντέλου συγκρίθηκαν με μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων που έγιναν στο πλαίσιο του ίδιου ερευνητικού προγράμματος. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν στη θέση Φοινοκαλιά (35,32N, 25,67E), στη βόρεια πλευρά της ανατολικής Κρήτης. Ο σταθμός αυτός ανήκει στο Χημικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Κρήτης (υπεύθυνος καθηγητής: Μιχαλόπουλος Ν.). Οι μετρήσεις συμπεριλαμβάνουν δεδομένα για τον Ιούλιο του 2000. Ο μήνας αυτός χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη αρκετών και μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα σε κάποιες μέρες, γεγονός που είναι πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη των πυρκαγιών. Επίσης, κατά την σύγκριση των μετρούμενων συγκεντρώσεων με αυτές που προέκυπταν από τις προσομοιώσεις με το UAM-AERO παρατηρήθηκε υποεκτίμηση των συγκεντρώσεων κάποιων ρύπων. Η διαφορά αυτή ανάμεσα στις παρατηρούμενες τιμές και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων εκτιμάται ότι μπορεί να οφείλεται στις εκπομπές από δασικές πυρκαγιές οι οποίες δεν είχαν συμπεριληφθεί στην εκτίμηση των εκπομπών.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να διευκρινιστεί κατά πόσο μπορούν οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές να επηρεάσουν τις ολικές εκπομπές αερίων και σωματιδιακών ρύπων. Επίσης έγινε η προετοιμασία των αρχείων εισόδου του μοντέλου UAM-AERO για μελλοντική εφαρμογή του για

τη μελέτη της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών στον ελληνικό χώρο στα επίπεδα ρύπανσης.

Για την εφαρμογή του μοντέλου UAM-AERO απαιτούνται 15 αρχεία εισόδου που περιέχουν στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εξέταση των φυσικών και χημικών διεργασιών που καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων στην υπό μελέτη περιοχή. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν στοιχεία που αφορούν στην μετεωρολογία (θερμοκρασιακά δεδομένα, πεδίο ταχυτήτων ανέμου, δεδομένα ύψους αναμίξεως, υδρατμών κ.α.), τις εκπομπές, τις χρήσεις γης κ.α.. Για την δημιουργία των αρχείων αυτών αναπτύχθηκαν προεπεξεργαστές ώστε να φέρουν τα απαραίτητα δεδομένα σε μορφή που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το μοντέλο. Συγκεκριμένα για τα αρχεία προσδιορισμού των εκπομπών έγινε χωρική και χρονική ανάλυση των δασικών πυρκαγιών και των εκπομπών τους ώστε να προσαρμοστούν στο πλέγμα που χρησιμοποιεί το UAM-AERO και να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη των συγκεντρώσεων των ρύπων που εκπέμπονται από αυτές.

Η περιοχή προσομοίωσης αποτελείται από ένα πλέγμα 118x155 κελιών εμβαδού 5x5 km² ώστε να περιλαμβάνει όλη την έκταση της Ελλάδας. Η επιλογή της χωρικής ανάλυσης έγινε ούτως ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν υψηλότερη χωρική διακριτότητα συνυπολογίζοντας όμως και την υπολογιστική ισχύ που απαιτείται σε κάθε περίπτωση. Με τη χρήση του πλέγματος αυτού επίσης είναι δυνατό να γίνουν συγκρίσεις ανάμεσα στα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την παρούσα εφαρμογή με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από άλλες μελέτες στον ελληνικό χώρο με χρήση του ίδιου μοντέλου (Σπυριδάκη, 2005, Lazaridis et al., 2005). Χρησιμοποιήθηκαν 5 κατακόρυφα στρώματα με το ανώτερο να φτάνει στα 4000 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στην περιοχή αυτή λαμβάνουν χώρα όλα σχεδόν τα φαινόμενα που επηρεάζουν την τροποσφαιρική χημεία. Το πάχος του κάθε στρώματος θεωρήθηκε ότι μεταβάλλεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά ώστε να βρίσκονται πάντα 3 στρώματα κάτω από το ύψος ανάμιξης και 2 στρώματα πάνω από αυτό.

Παράλληλα, έγινε μια προσπάθεια να δημιουργηθεί μια βάση δεδομένων για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας στοιχεία από την Διεύθυνση Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Τα έτη για τα οποία έγινε η απαραίτητη επεξεργασία είναι τα έτη 1997-2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναγνωρίσει ότι η καύση βιομάζας είναι μια σημαντική παράμετρος που δεν θα πρέπει να παραληφθεί κατά την μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), 1990). Συγκεκριμένα, οι κύριες επιδράσεις των εκπομπών από την καύση της βιομάζας είναι οι εξής:

- Οι ρύποι που εκπέμπονται από την καύση βιομάζας διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία και τις κλιματικές αλλαγές (MacCracken et al., 1986; UCAR, 1986; Penner et al., 1991) καθώς κάποια από τα εκπεμπόμενα αέρια όπως το CO₂ και το CH₄ συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σημαντική είναι όμως και η επίδρασή τους και στα επίπεδα τοπικής και περιφερειακής ρύπανσης (Sandberg et al., 1978).
- Επίσης, οι εκπομπές από την καύση της βιομάζας είναι μια ιδιαίτερα σημαντική πηγή σωματιδιακών και αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα οι οποίοι μπορούν να μεταβάλουν τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας λόγω της απορρόφησης και ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα σωματίδια (Holben et al., 1991; Andreae, 1991). Η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται από σωματίδια με διαμέτρους της τάξης μεγέθους του μήκους κύματος του ορατού φωτός. Οι Andreae et al. (1996) έχουν υπολογίσει ότι η καύση βιομάζας είναι υπεύθυνη για το 45% των εκπομπών στοιχειακού άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε παγκόσμια κλίμακα. Ο στοιχειακός άνθρακας απορροφά έντονα την ηλιακή ακτινοβολία (Martins et al., 1998).
- Άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται από την καύση της βιομάζας είναι ότι μπορούν να δράσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (cloud condensation nuclei, CCN). Έτσι, γίνεται εφικτή η δημιουργία νεφών σε πολύ χαμηλές τιμές τάσης κόρου. Η παρουσία CCN στην ατμόσφαιρα οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεφοσταγονιδίων με μικρότερο μέγεθος. Έτσι, η

αύξηση του μεγέθους των νεφροσταγονιδίων μέχρι το μέγεθος μιας σταγόνας βροχής καθίσταται δυσκολότερη με αποτέλεσμα την αύξηση της νεφοκάλυψης με παράλληλη μείωση της συχνότητας υετού και την διατάραξη του υδρολογικού κύκλου. Η ύπαρξη μεγαλύτερου αριθμού νεφροσταγονιδίων προκαλεί αύξηση της ανακλαστικότητας του πλανήτη. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι ένας έμμεσος τρόπος μεταβολής του ισοζυγίου ακτινοβολίας της γης. Επίσης, τα νεφροσταγονίδια που δημιουργούνται από τους CCN, δρουν ως καταλυτικές επιφάνειες για την πραγματοποίηση αντιδράσεων (για παράδειγμα του SO_2 σε H_2SO_4), ενισχύουν τις τοξικές επιδράσεις αερίων ρύπων, όπως τα SO_2 και NO_x και επηρεάζουν τα επίπεδα του τροποσφαιρικού όζοντος.

- Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις των εκπομπών από πυρκαγιές στη δημόσια υγεία. Οι ρύποι που εκπέμπονται μπορούν, ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση της πυρκαγιάς, να επηρεάσουν μια σχετικά μεγάλη περιοχή και να προκαλέσουν αναπνευστικά, κυκλοφορικά και άλλα προβλήματα.
- Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές επηρεάζουν έντονα την τροποσφαιρική χημεία σε τοπικό επίπεδο. Σύμφωνα με το CORINAIR-1990 inventory, οι δασικές πυρκαγιές συνεισφέρουν κατά 0.2% στις εκπομπές NO_x , 0.5% στις εκπομπές NMVOC, 0.2% στις εκπομπές CH_4 , 1.9% στις εκπομπές CO, 1.2% στις εκπομπές N_2O , και 0.1% στις εκπομπές NH_3 . Όπως φαίνεται, συνολικά, οι δασικές πυρκαγιές δεν συνεισφέρουν σημαντικά στις εκπομπές ρύπων αλλά σε τοπικό επίπεδο μπορούν να είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς συνήθως είναι εστιασμένες χωρικά και χρονικά.

Οι πυρκαγιές μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με τις συνθήκες υπό τις οποίες ξεκίνησαν και εξελίχθηκαν. Οι κύριες κατηγορίες πυρκαγιών είναι οι εξής (Dennis et al., 2002):

1. Δασικές πυρκαγιές (wildfires): Ανεπιθύμητες και απρογραμματίστες φωτιές που οφείλονται είτε σε φυσικά αίτια είτε στην ανθρώπινη παρέμβαση. Η ανθρώπινη παρέμβαση για την έναρξη της πυρκαγιάς μπορεί να είναι είτε εσκεμμένη είτε να οφείλεται σε ατύχημα.
2. Προγραμματισμένες φωτιές (prescribed burning): Ελεγχόμενη και προγραμματισμένη καύση για την διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων με σκοπό τη διευκόλυνση της επίτευξης διαχειριστικών και δασονομικών σκοπών.
3. Φωτιές για καθαρισμό περιοχής (slash burning): Σχεδιασμένη εφαρμογή της φωτιάς σε φυσικά καύσιμα, περιλαμβανομένων υπολειμμάτων υλοτομίας, λιβαδιών κ.α. με σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς μελλοντικής πυρκαγιάς στην περιοχή αυτή.
4. Αγροτικές φωτιές (Agricultural field burning): Προγραμματισμένες φωτιές για αγροτικούς λόγους.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τις δασικές πυρκαγιές (wildfires). Το μέγεθος και η ένταση, ακόμα και η ύπαρξη, μιας δασικής πυρκαγιάς εξαρτάται άμεσα από παραμέτρους όπως είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, η βλάστηση της περιοχής και το υδατικό περιεχόμενό της και η ποσότητα της βιομάζας ανά μονάδα επιφάνειας (πυκνότητα βλάστησης). Η πλήρης καύση μιας δασικής έκτασης απαιτεί ροή θερμότητας, άφθονη παροχή οξυγόνου και επαρκή χρόνο καύσης.

Οι δασικές πυρκαγιές είναι μια φυσική διεργασία που συντελείται σε δασικές εκτάσεις. Ωστόσο, ενώ οι «φυσικές» δασικές πυρκαγιές μπορούν να προκληθούν από κεραυνό πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι σε παγκόσμια κλίμακα σχεδόν όλες οι περιπτώσεις πυρκαγιών οφείλονται σε ανθρώπινη παρέμβαση η οποία αυξάνεται συνεχώς (Andreae, 1991). Η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να είναι είτε ατύχημα είτε εσκεμμένη πρόκληση της φωτιάς. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι από μια μελέτη που έγινε στη Ρωσία προκύπτει ότι κατά προσέγγιση, το 68% των πυρκαγιών λαμβάνουν χώρα σε απόσταση μικρότερη των 5km από το οδικό δίκτυο (Korovin, 1996).

2.2 ΔΑΣΙΚΗ ΚΑΥΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Όσον αφορά στις δασικές πυρκαγιές, με τον όρο δασική καύσιμη βιομάζα (forest fuels) εννοούμε την μάζα όλων των ζωντανών και νεκρών τύπων βλάστησης ανά μονάδα επιφάνειας (kg/m^2). Στον υπολογισμό της ποσότητας της δασικής καύσιμης βιομάζας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η βλάστηση που βρίσκεται πάνω και κάτω από το έδαφος καθώς ο διαχωρισμός τους είναι απαραίτητος για την ποσοτικοποίηση της καιόμενης βιομάζας.

Η καύσιμη βιομάζα στις δασικές πυρκαγιές αποτελούνται από φύλλα και μικρά κλαδιά που βρίσκονται στο έδαφος, τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους στην περιοχή καθώς και τα ζωντανά φυτά. Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει τα μεγάλα κλαδιά και τα κούτσουρα που απομένουν στο έδαφος μετά από το κόψιμο ξύλων από τον άνθρωπο. Οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες συνήθως είναι πιο έντονες από τις ελεγχόμενες φωτιές, μπορούν να οδηγήσουν σε καύση και των οργανικών υλικών που βρίσκονται στο έδαφος κάτω από τα δέντρα σε όλα τα στρώματα του εδάφους.

2.2.1 Τύποι δασικής καύσιμης βιομάζας

Η δασική καύσιμη βιομάζα διακρίνεται σε επιφανειακή και «ανυψωμένη» δασική βιομάζα.

2.2.1.1 Επιφανειακή καύσιμη βιομάζα

Η επιφανειακή βιομάζα περιλαμβάνει όλα τα καύσιμα υλικά που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος ή σε πολύ μικρή απόσταση από αυτό. Υπό ορισμένες συνθήκες καίγονται και οι ρίζες και τα οργανικά υλικά στο χώμα και θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και αυτά στην κατηγορία αυτή. Σε μερικές περιπτώσεις και ανάλογα με τη βλάστηση, η επιφανειακή καύσιμη βιομάζα συντελεί σημαντικά στην ολική ποσότητα της καύσιμης βιομάζας. Για παράδειγμα, σε δάσος πλατύφυλλων δένδρων, από τα φύλλα που πέφτουν, ενισχύεται το έδαφος με 250-450 kg ξερή οργανική ουσία σε κάθε στρέμμα ανά έτος. Η επιφανειακή καύσιμη βιομάζα αποτελείται κυρίως από την εδαφική καύσιμη βιομάζα, το στρώμα νεκρής οργανικής ύλης και τη χαμηλή βλάστηση (McMahon, 1983).

Εδαφική καύσιμη βιομάζα

Η εδαφική καύσιμη βιομάζα αποτελείται από ανακατεμένα στρώματα μερικώς αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης στο έδαφος. Συνήθως χωρίζεται στο στρώμα ζύμωσης (fermentation) και τον χούμο (humus). Ο χούμος αποτελείται από υπολείμματα οργανικής ύλης, φυτικής κυρίως προέλευσης, που έχουν υποστεί μερική αποσύνθεση στο ανώτερο τμήμα του εδάφους. Η εδαφική βιομάζα είναι συνήθως υγρή και πεπιεσμένη και έχει μικρή επιρροή στον ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς ενώ δημιουργεί μια αργή φωτιά που σιγοκαίει (smouldering). Υπό φυσιολογικές συνθήκες μόνο το ανώτερο στρώμα της εδαφικής βιομάζας καταναλώνεται από την φωτιά. Σε περιόδους ξηρασίας, όμως, μια μεγάλη πυρκαγιά μπορεί να καταναλώσει όλα τα στρώματα της δασικής βιομάζας, αφήνοντας το ανόργανο μέρος του εδάφους εκτεθειμένο σε διαβρωτικές δυνάμεις.

Νεκρή οργανική ύλη

Το στρώμα νεκρής οργανικής ύλης στο έδαφος μιας δασικής έκτασης συνήθως αποτελείται από πεσμένα φύλλα ή βελόνες, κλαδιά, φλοιούς και άλλα μέρη των φυτών που δεν έχουν αποσυντεθεί ακόμα. Τα στεγνά, νεκρά φύλλα και βελόνες αναφλέγονται εύκολα. Τα χαρακτηριστικά καύσης αυτών των υλικών εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες τους και την τοποθέτησή τους στο χώρο. Τα φύλλα και οι βελόνες που είναι πάνω σε πεσμένα κλαδιά αναφλέγονται πιο γρήγορα επειδή είναι εκτεθειμένα στον αέρα και στεγνώνουν και πιο εύκολα. Αντίθετα ένα στρώμα από βελόνες ή φύλλα συνήθως συμπιέζεται και δεν υπάρχει αρκετός αέρας ανάμεσά τους σχηματίζοντας έτσι ένα πυκνό υγρό στρώμα που δεν αναφλέγεται εύκολα. Τα φύλλα, οι βελόνες, τα κλαδιά, οι φλοιοί και άλλα παρόμοια υλικά επηρεάζουν έντονα τον ρυθμό εξάπλωσης και γενικότερα την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Τα μικρά στεγνά κλαδιά μπορούν να λειτουργήσουν ως προσάναμμα για μεγαλύτερα καύσιμα. Σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα τέτοιων υλικών μπορεί να αναπτυχθεί μια πολύ έντονη πυρκαγιά. Τέτοιες περιοχές είναι και οι περιοχές υλοτόμησης όπου συνήθως σε συνθήκες ξηρασίας αναπτύσσονται μεγάλες πυρκαγιές με μεγάλη έκλυση θερμότητας.

Τα «βαριά» μέρη της βιομάζας όπως οι κορμοί και τα μεγάλα κλαδιά απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα θερμών και ξηρών συνθηκών μέχρι να αναφλεχθούν και να καούν. Συνήθως τα υλικά αυτά καίγονται μερικώς σε

ταχέως μεταδιδόμενες πυρκαγιές. Στην περίπτωση ελεγχόμενης φωτιάς τα υλικά αυτά στοιβάζονται ώστε να επιτευχθεί ολική καύση τους μέσω της μετάδοσης θερμότητας από το ένα υλικό στο άλλο.

Χαμηλή βλάστηση

Ο τύπος αυτός της δασικής καύσιμης βιομάζας περιλαμβάνει χόρτα, μικρούς θάμνους, μικρά δενδρύλλια και άλλα ποώδη φυτά. Η τάση να αναφλεχθούν και να καούν διαφέρει ανάλογα με το είδος των φυτών, το περιεχόμενο τους σε υγρασία, τις καιρικές συνθήκες και την εποχή. Για παράδειγμα, κατά την άνοιξη το περιεχόμενο των φυτών σε νερό είναι μεγαλύτερο με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η διάδοση της φωτιάς. Όσο όμως τα φυτά μεγαλώνουν, ωριμάζουν και τελικά ξεραίνονται γίνονται πιο εύφλεκτα και συμβάλουν στην διάδοση της φωτιάς. Το γρασίδι και οι θάμνοι διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της καύσης λόγω της συνέχειάς τους στο έδαφος και λόγω της συνεχής τους έκθεσης στον ήλιο και τον άνεμο που ελαττώνουν την υγρασία που υπάρχει σε αυτά.

2.2.1.2 «Ανυψωμένη» καύσιμη βιομάζα

Η «ανυψωμένη» δασική καύσιμη βιομάζα περιλαμβάνει όλη την ζωντανή και μη οργανική ύλη που δεν βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Η πιθανότητα ανάφλεξης και ο ρυθμός καύσης για τα κλαδιά των δένδρων και το φύλλωμα τους εξαρτάται από τον τύπο τους, το περιεχόμενο σε υγρασία και την μορφή τους. Τα πτητικά έλαια και η ρητίνη στα πεύκα κάνουν τα κλαδιά και τις βελόνες των δένδρων αυτών πολύ εύφλεκτα στη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Τα χλωρά φύλλα των περισσότερων δένδρων δεν θα αναφλεχθούν εύκολα αλλά όταν η ένταση της φωτιάς είναι μεγάλη χάνουν το υδατικό τους περιεχόμενο και καίγονται και αυτά.

Τα ξερά κλαδιά και οι φλύδες στα δένδρα καθώς και τα ξερά δένδρα που δεν έχουν πέσει είναι πολύ εύφλεκτα και συμβάλουν πολύ έντονα στη διάδοση της φωτιάς από δένδρο σε δένδρο. Επίσης, πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα αναρριχητικά φυτά καθώς αντιδρούν πολύ γρήγορα στην αλλαγή της σχετικής υγρασίας και μεταδίδουν τη φωτιά από τα εδαφικά στα «ανυψωμένα» καύσιμα αλλά και από το ένα δένδρο στο άλλο.

2.2.2 Χημικές ιδιότητες της δασικής καύσιμης βιομάζας

2.2.2.1 Στοιχειακή σύνθεση

Τα φύλλα και τα ξύλα της δασικής βιομάζας αποτελούνται κατά 50-55% περίπου από άνθρακα, 6% από υδρογόνο και 40-44% από οξυγόνο. Το ποσοστό οξυγόνου στην δασική βιομάζα είναι πολύ υψηλό σε σχέση με το ποσοστό που βρίσκεται στα ορυκτά καύσιμα. Επομένως, η ικανότητα παραγωγής οξυγονωμένων υδρογονανθράκων ανάμεσα στα προϊόντα της καύσης είναι πολύ μεγάλη και δίνει έτσι στις εκπομπές των δασικών πυρκαγιών ένα από τα πιο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Στοιχεία όπως το άζωτο, θείο, φώσφορος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και σίδηρος καθώς και μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χαλκός και βόριο, σε μικρότερες συγκεντρώσεις, βρίσκονται κυρίως στον φλοιό και στο φύλλωμα. Τα ανόργανα συστατικά διαφέρουν έντονα ανάλογα με το είδος αλλά και ανάμεσα στα δένδρα του ίδιου είδους. Σε γενικές γραμμές, οι ποσότητες των ανόργανων στοιχείων είναι περίπου μια τάξη μεγαλύτερες στο φύλλωμα και τον φλοιό από ότι στα κλαδιά και τον κορμό. Το περιεχόμενο σε άζωτο, θείο και χλώριο είναι ιδιαίτερης σημασίας σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της εν δυνάμει συνεισφοράς τους στην εκπομπή δηλητηριωδών αερίων. Σε μια ανάλυση 31 ειδών φυλλωμάτων, κορμών και κλαδιών από μια ποικιλία γρασιδιών, θάμνων και δένδρων προέκυψε ότι η σύνθεση τους ήταν σε άζωτο 0,1-2%, θείο : 0,01-0,4%, χλώριο: 0,005-0,7%. Οι υψηλότερες τιμές ήταν πάντα στο φύλλωμα, και οι χαμηλότερες στον κορμό (McMahon, 1983).

2.2.2.2 Χημικές ενώσεις στην δασική βιομάζα

Τα στοιχεία που βρίσκονται στα φυτά συνδυάζονται με πολλούς τρόπους και δημιουργούν οργανικές ενώσεις (κυρίως κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη). Αυτές οι 3 ενώσεις αποτελούν πάνω από το 90% της ξηρής μάζας των περισσότερων τύπων δασικής βιομάζας (McMahon, 1983). Τα δευτερεύοντα συστατικά αποτελούνται από αρκετές εκατοντάδες χημικές ενώσεις που διαφέρουν έντονα ανάμεσα στα είδη των φυτών καθώς και ανάμεσα στα μέρη του ίδιου φυτού.

Κυτταρίνη: Το περιεχόμενο σε κυτταρίνη των περισσότερων τύπων δασικής βιομάζας ποικίλει ανάμεσα σε 41% και 53%. Η χημική σύσταση της κυτταρίνης είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το είδος ή το μέρος του φυτού. Αποτελείται από αρκετές εκατοντάδες μονάδες υδρογονανθράκων που συνδέονται με μια αλυσίδα πολυμερισμού.

Ημικυτταρίνη: Η ημικυτταρίνη δεν είναι μια συγκεκριμένη ένωση, αλλά είναι το όνομα που δίνεται σε όλους τους πολυσακχαρίτες εκτός από την κυτταρίνη καθώς και σε σχετικές ενώσεις. Το περιεχόμενο των φυτών σε ημικυτταρίνη κυμαίνεται από 15% μέχρι 25% ανάλογα με το είδος.

Λιγνίνη: Το μέρος σε λιγνίνη των φυτών είναι αρκετά διαφορετικό χημικά από την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη. Αποτελείται από πολυμερείς αρωματικές ενώσεις που χαρακτηρίζονται από την παρουσία φαινυλπροπανίου με υποκαταστάτες μεθοξυλικές, υδροξυ- φαινολικές και υδροξυ- τολουολίου ομάδες. Ο όρος λιγνίνη ουσιαστικά αναφέρεται σε ένα μίγμα χημικών ενώσεων που έχουν παρόμοια χημική σύσταση αλλά έχουν δομικές διαφορές. Το περιεχόμενο σε λιγνίνη συνήθως κυμαίνεται από 20% μέχρι 32% σε όλα τα είδη. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο σε αποσυντιθέμενο ξύλο στο οποίο οι πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων έχουν αφαιρεθεί μερικώς από την βιολογική αποσύνθεση.

2.3 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

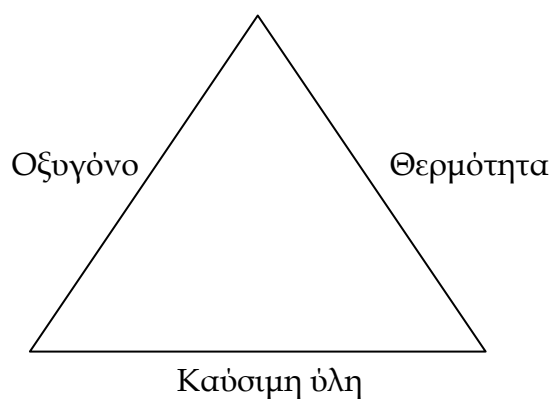
Μια τυπική δασική περιοχή αποτελείται από δασική βιομάζα διαφόρων μεγεθών και τύπων σε διάφορα επίπεδα υγρασίας. Επομένως, η διαδικασία της καύσης μπορεί να προχωρήσει με διαφορετικούς ρυθμούς μέσα από το σύμπλεγμα αυτό των καυσίμων υλικών. Μια ευρέως διαδεδομένη έκφραση για την ένταση της πυρκαγιάς σε διαδιδόμενες δασικές πυρκαγιές έχει περιγραφεί από τον Byram (1959). Αυτή καθορίζεται ως ο ρυθμός εκλυόμενης ενέργειας ή θερμότητας στη μονάδα του χρόνου και στη μονάδα μήκους του μετώπου της πυρκαγιάς και εκφράζεται σε kWm^{-1} . Έχει υπολογιστεί ότι η ένταση της πυρκαγιάς μπορεί να κυμαίνεται από 15 μέχρι 100000 kWm^{-1} (Alexander, 1982). Ωστόσο, σπάνια υπερβαίνει τις 50000 kWm^{-1} και συνήθως κυμαίνεται από 10000 - 30000 kWm^{-1} . Ο συντελεστής αυτός για τις ελεγχόμενες φωτιές δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500 kWm^{-1} για να ελαχιστοποιηθούν οι βλάβες στα δένδρα. Στην περίπτωση που η ελεγχόμενη φωτιά εφαρμόζεται

για τον καθαρισμό μιας περιοχής υλοτόμησης μπορεί και να γίνει υπέρβαση του ορίου αυτού μιας και δεν υπάρχουν δένδρα να επηρεαστούν.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι η καύση σε δασικές πυρκαγιές ακόμα και στις ιδανικότερες συνθήκες δεν μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια χημικά. Ο κύριος λόγος για το γεγονός αυτό είναι ότι η υγρασία που απελευθερώνεται από τα καύσιμα τείνει να απορροφήσει κάποια από την θερμική ενέργεια της φωτιάς περιορίζοντας έτσι τις θερμοκρασίες της καύσης. Επίσης, η κίνηση του αέρα μέσα και γύρω από την φωτιά δεν μπορεί να φέρει αρκετό οξυγόνο και να γίνει ανάμιξη με τα αέρια που εκλύονται. Η κίνηση του αέρα επίσης μεταφέρει μερικώς οξυγονωμένα αέρια μακριά από τις περιοχές όπου επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες απελευθερώνοντας προϊόντα ατελούς καύσης στην ατμόσφαιρα.

2.4 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Η πυρκαγιά απαιτεί καύσιμη ύλη, θερμοκρασία, οξυγόνο (οξειδωτικό παράγοντα). Η συνύπαρξη αυτή λέγεται τρίγωνο πυρκαγιάς (σχήμα 2.1). Αν δεν υφίσταται ένας από αυτούς τους παράγοντες, η καύση σταματά.



Σχήμα 2.1: Τρίγωνο πυρκαγιάς

Η καύσιμη ύλη στις δασικές πυρκαγιές είναι η στερεή βιομάζα που εκτίθεται στην φωτιά. Η καύση των στερεών θεωρείται ότι συντελείται σε 4 φάσεις:

1. Αποξήρανση
2. Απόσταξη
3. Καύση υδρογονανθράκων
4. Καύση εξανθρακώματος

Στους 100°C περίπου αρχίζει πρώτα η αποξήρανση της καύσιμης ύλης από την υγρασία και ακολουθεί η απόσταξη όπου το στερεό καύσιμο υλικό αποχωρίζεται όλα τα ελαφριά υλικά που έχουν χαμηλό σημείο βρασμού (πητητικά). Μετά αρχίζει η καύση των υδρογονανθράκων μεταξύ 400°C και 600°C όπου το εξανθράκωμα πυρακτώνεται και η καύση του τέλος συντελείται ακόμη και στους 1000°C.

Για να διευκολυνθεί η μελέτη της παραγωγής των διαφόρων ρύπων από μια φωτιά, η διαδικασία καύσης της δασικής βιομάζας χωρίζεται σε 4 φάσεις (McMahon, 1983):

1. Preignition Phase (Κυριαρχούν η απόσταξη και η πυρόλυση)

Στην φάση αυτή, η βιομάζα μπροστά από το μέτωπο της φωτιάς θερμαίνεται με αποτέλεσμα τα πτητικά συστατικά να μεταφέρονται προς την επιφάνεια του καυσίμου υλικού και να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Αρχικά, τα συστατικά αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες υδρατμών και κάποια μη εύφλεκτα οργανικά υλικά. Καθώς οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν η ημικυτταρίνη πρώτα και μετά η κυτταρίνη και η λιγνίνη αρχίζουν να αποσυντίθενται και δημιουργούν ατμούς αναφλέξιμων οργανικών υλικών. Λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας των αερίων αυτών, ανέρχονται και αναμιγνύονται με το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα δημιουργώντας εύφλεκτα μίγματα. Στη συνέχεια αναφλέγονται (συνήθως στους 300-600°C) οδηγώντας έτσι στη δεύτερη φάση. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 270°C η θερμική αποδόμηση δεν απαιτεί εξωτερική απόδοση θερμότητας καθώς η διαδικασία γίνεται εξώθερμη.

2. Flaming Phase (Κυριαρχεί η οξείδωση αερίων συστατικών)

Στην δεύτερη φάση η θερμοκρασία ανεβαίνει απότομα λόγω της θερμότητας που εκλύεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις. Η πυρόλυση συνεχίζεται αλλά τώρα συνοδεύεται από γρήγορες οξειδωτικές αντιδράσεις και ανάφλεξη των εύφλεκτων αερίων που υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα κύρια προϊόντα της καύσης αυτής είναι διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί. Η παραγωγή υδρατμών εδώ δεν είναι αποτέλεσμα εξαγωγής του υδατικού περιεχομένου από τα φυτά όπως στην πρώτη φάση αλλά προϊόν της καύσης. Οι θερμοκρασίες στη φάση αυτή κυμαίνονται από 300-1400°C. Μερικά από τα προϊόντα της πυρόλυσης ψύχονται και συμπυκνώνονται χωρίς να περάσουν από την περιοχή όπου υπάρχουν οι φλόγες και άλλα περνάνε αλλά καίγονται μερικώς. Έτσι, ανάλογα με την πορεία του κάθε ρύπου μπορούν να προκύψουν διάφορες χημικές ενώσεις. Αρκετές χημικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους δημιουργούνται ως αέρια και παραμένουν αέρια καθώς κινούνται προς το μέτωπο της φωτιάς. Άλλες ενώσεις με μεγαλύτερο μοριακό βάρος, ψύχονται και συμπυκνώνονται δημιουργώντας υδροσταγονίδια τα οποία ενώνονται με αιωρούμενα σωματίδια και απομακρύνονται από την ζώνη καύσης. Αυτά τα συμπυκνωμένα σωματίδια σε συνδυασμό με τους ψυχόμενους υδρατμούς που δημιουργούνται σε μεγάλες ποσότητες δημιουργούν τον καπνό που παρατηρείται σε όλες τις πυρκαγιές. Στην φάση αυτή, ένας μεγάλος αριθμός αιθαλωδών σωματιδίων αλλάζουν το χρώμα του καπνού από μαύρο σε γκρι.

Στη φάση αυτή επίσης λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της πυροσύνθεσης όπου υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους συμπυκνώνονται και απομακρύνονται από τις φλόγες δημιουργώντας, έτσι, σχετικά μεγάλα μόρια όπως τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

3. Smoldering Phase (Κυριαρχεί η αργή και χωρίς φλόγα καύση)

Στην φάση αυτή ο ρυθμός των αντιδράσεων καύσης και τα προϊόντα της πυρόλυσης έχουν ελαττωθεί σε ένα σημείο το οποίο η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των αναφλέξιμων αερίων και ατμών πάνω από την φωτιά δεν μπορούν να διατηρήσουν μια σταθερή φλόγα. Συνεπώς, οι ατμοί

συμπυκνώνονται και απελευθερώνονται από την φωτιά ως ορατός καπνός στην ατμόσφαιρα. Ο καπνός που έχει εκπεμφθεί βρίσκεται συνήθως πολύ ψηλά πάνω από όλη την καμένη περιοχή. Η θερμότητα που εκλύεται κατά την φάση αυτή δεν είναι αρκετή για να ανασηκώσει τον καπνό σε μια καλώς ορισμένη στήλη καπνού. Επομένως, ο καπνός μένει κοντά στο έδαφος σε μεγάλες συγκεντρώσεις, προκαλώντας συχνά προβλήματα ορατότητας σε κοντινές περιοχές. Ο καπνός που εκπέμπεται στη φάση αυτή αποτελείται από σταγονίδια (διαμέτρου μικρότερης του $1\mu\text{m}$) με πίσσα. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, αρχίζει και η τελευταία φάση της καύσης.

4. Glowing Phase (Κυριαρχεί η οξείδωση στερεών)

Στην τελική φάση της πυρκαγιάς όλα τα πτητικά συστατικά των καυσίμων έχουν απελευθερωθεί και το οξυγόνο μπορεί τώρα να μεταφερθεί στην επιφάνεια των καυσίμων προκαλώντας την πυρόλυση των στερεών καυσίμων δημιουργώντας έτσι την χαρακτηριστική κίτρινη λάμψη. Ορατός καπνός δεν υπάρχει σε αυτή τη φάση καθώς τα κύρια προϊόντα της είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Η φάση αυτή συνεχίζεται όσο η θερμοκρασία παραμένει αρκετά υψηλή μέχρι να μείνει μόνο γκρίζα στάχτη που αποτελείται από οργανικά που δεν καίγονται. Σε μερικές περιπτώσεις οι συνθήκες δεν επιτρέπουν να διατηρηθούν οι υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα η πυρκαγιά να καταλήγει σε μαύρα υπολείμματα αντί για γκρίζα στάχτη.

Σε μια δασική πυρκαγιά οι 4 φάσεις που περιγράφηκαν παραπάνω δεν είναι εύκολο να διακριθούν γιατί συμβαίνουν διαδοχικά αλλά και ταυτόχρονα.

2.5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Σε γενικές γραμμές οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες (Sandberg, 1983):

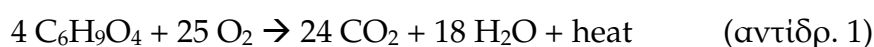
- **Κατάσταση δασικής καύσιμης ύλης:** Φάση αποσύνθεσης, περιεχόμενο σε υγρασία, φυσική διευθέτηση
- **Συνθήκες καύσης:** Τύπος πυρκαγιάς, ένταση πυρκαγιάς
- **Καιρικές συνθήκες:** Ταχύτητα ανέμου και σχετική υγρασία πριν και κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς.

Η ποσοτικοποίηση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία καθώς οι συνθήκες κατά τις οποίες λαμβάνει χώρα μια δασική πυρκαγιά δεν είναι ποτέ ελεγχόμενες. Για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών από πυρκαγιές έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο πειράματα πεδίου όσο και προσομοιώσεις στο εργαστήριο.

Στις δασικές πυρκαγιές τα δυο προϊόντα τέλει καύσης (CO₂ και H₂O) αποτελούν πάνω από το 90% της συνολικής μάζας των εκπεμπόμενων ρύπων. Στη συνέχεια θα γίνει μια ποιοτική περιγραφή των εκπομπών από μια δασική πυρκαγιά.

2.5.1 Αέριοι ρύποι

Διοξείδιο του άνθρακα: Το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι ένας ατμοσφαιρικός ρύπος με τη συνήθη έννοια. Αποτελεί θερμοκηπικό αέριο, έχει αξία όμως η παρακολούθηση των εκπομπών του και σε μελέτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς από αυτές μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα της βιομάζας που κάηκε και η αποτελεσματικότητα της καύσης. Έχει υπολογιστεί θεωρητικά ο μέγιστος συντελεστής εκπομπής του CO₂ και ισούται με 1820 g/kg καιγόμενης βιομάζας από την αντίδραση (McMahon, 1983):



Η συντελεστής εκπομπής CO₂ ελαττώνεται σημαντικά όταν η καύση είναι ατελής. Επομένως ο μέγιστος συντελεστής εκπομπής παρατηρείται στην flaming φάση.

Υδρατμοί: Οι υδρατμοί όπως και το διοξείδιο του άνθρακα δεν θεωρούνται ατμοσφαιρικοί ρύποι αλλά η σημαντικότητά τους έγκειται κυρίως στον περιορισμό της ορατότητας στην περιοχή γύρω από την πυρκαγιά αλλά και στον τρόπο που αλληλεπιδρά με τους άλλους ρύπους. Θεωρητικά μπορούν να παραχθούν 860 kg υδρατμών από ένα τόνο καιγόμενης βιομάζας με υδατικό περιεχόμενο 30%. Τα 300 kg θα προέρχονται από την απόσταξη του υδατικού περιεχομένου του καυσίμου και τα 560 kg από την αντίδραση 1(McMahon, 1983).

Μονοξείδιο του άνθρακα: Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο και άοσμο αέριο και παράγεται κατά την ατελή καύση της βιομάζας. Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται πολύ έντονα από την φάση της πυρκαγιάς καθώς είναι το προϊόν της ατελούς καύσης και επομένως ο μέγιστος ρυθμός εκπομπής παρατηρείται στην τρίτη φάση (smoldering).

Το μονοξείδιο του άνθρακα εκπέμπεται με πολύ μεγάλους ρυθμούς στα τελικά στάδια της φωτιάς. Κάτω από συνθήκες έντονης ξηρασίας η τρίτη φάση της πυρκαγιάς (smoldering) όπου κυριαρχεί η αργή, χωρίς φλόγα, καύση, μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα και να καούν τα εδαφικά καύσιμα σε μεγάλο βάθος και σε μερικές περιπτώσεις και το χώμα εκεί όπου το οργανικό περιεχόμενό του ξεπερνάει το 30%. Η εκπομπή αυτή μπορεί να διαρκέσει ακόμα και εβδομάδες (Ward, 1999). Σε αντίθεση με τις φωτιές σε αστικές περιοχές όπου λόγω του περιορισμένου χώρου πολλές φορές οι συγκεντρώσεις CO φτάνουν σε πολύ επικίνδυνες για τον άνθρωπο συγκεντρώσεις, στις δασικές πυρκαγιές οι συγκεντρώσεις του CO φθίνουν μόλις σε λίγα μέτρα από την περιοχή της καύσης. Παρόλα αυτά το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους δασοπροσβέστες που εκτίθενται σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις του.

Υδρογονάνθρακες: Οι υδρογονάνθρακες εκπέμπονται κυρίως στην αρχή της τρίτης φάσης (smoldering) της πυρκαγιάς. Αποτελούνται κατά 50% από

μεθάνιο, αιθυλένιο και ακετυλένιο. Επίσης έχουν βρεθεί και σε μικρότερες ποσότητες αιθάνιο, προπάνιο, προπένιο κ.α.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις: Εκτός από τους μικρού μοριακού βάρους αέριους υδρογονάνθρακες που αναφέρθηκαν, υπάρχουν και εκατοντάδες άλλες οργανικές ενώσεις στις εκπομπές από δασικές πυρκαγιές. Οι ενώσεις αυτές προκύπτουν από την ατελή καύση της κυτταρίνης, της λιγνίνης και άλλων οργανικών ενώσεων των καυσίμων. Στις πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνονται όλες σχεδόν οι ενώσεις που προκαλούν την χαρακτηριστική οσμή των φωτιών και τον ερεθισμό των ματιών.

Οξείδια του αζώτου: Στις δασικές πυρκαγιές το μονοξείδιο του αζώτου μπορεί να παραχθεί με 3 τρόπους (Chigier, 1976):

1. **Thermal NO:** Αντιδράσεις ατμοσφαιρικού αζώτου με οξυγόνο σε υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες από 1000°C).
2. **Prompt NO:** Αντιδράσεις ελεύθερων ριζών με ατμοσφαιρικό άζωτο
3. **Fuel NO:** Οξείδωση καυσίμων που περιέχουν άζωτο σε θερμοκρασίες μικρότερες των 1000°C.

Όζον: Το όζον παράγεται φωτοχημικά κοντά στην κορυφή του θυσάνου κάτω από έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Σε γενικές γραμμές, το όζον παράγεται σε συνθήκες όπου ο καπνός εγκλωβίζεται σε κοιλάδες ή σε συνθήκες αναστροφής στην ατμόσφαιρα. Οι δασοπυροσβέστες όταν αντιμετωπίζουν πυρκαγιές σε μεγάλο υψόμετρο μπορεί να εκτεθούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος (Ward, 1999).

Διοξείδιο του Θείου: Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου θεωρούνται πάντα μικρές λόγω του μικρού περιεχομένου της καύσιμης βιομάζας σε θείο. Για το λόγο αυτό η EPA (Environmental Protection Agency) θεωρεί αμελητέες τις εκπομπές SO₂ από δασικές πυρκαγιές. Ωστόσο, λόγω της έντονης παρουσίας υδροσταγονιδίων στην περιοχή της πυρκαγιάς ο ρύπος αυτός μελετάται

σήμερα για τον καθορισμό του θειικού οξέος και άλλων δευτερογενών ρύπων που μπορεί να προκύψουν.

2.5.2 Σωματιδιακοί ρύποι

Οι δασικές πυρκαγιές θεωρούνται ανθρωπογενείς πηγές αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία σε αντίθεση με τα αιωρούμενα σωματίδια από φυσικές πηγές (θαλάσσιο σπρέι, επαναιώρηση χώματος κ.α.) είναι, κατά κανόνα, μικρών διαμέτρων (European Commission, 1997). Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς είναι έντονα ορατά και οι εκπομπές τους σε μια μεγάλη πυρκαγιά μπορούν να υπερβαίνουν τους 0.6 τόνους ανά δευτερόλεπτο.

Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί εκπομπής TSP (Total Suspended Particulate matter) εμφανίζονται κατά την τρίτη φάση (smoldering) της πυρκαγιάς. Λόγω της σχετικά μικρής έκλυσης θερμότητας κατά την τρίτη φάση της πυρκαγιάς τα αιωρούμενα σωματίδια μένουν κοντά στο έδαφος. Για το λόγο αυτό τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν έντονα την ορατότητα στην περιοχή κοντά στην πυρκαγιά και έχουν σημαντικές βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία των δασοπροσβεστών και των κατοίκων της περιοχής.

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει όσον αφορά στις κατανομές μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων από πυρκαγιές και έχουν καταλήξει ότι το 90% περίπου των σωματιδίων έχουν διάμετρο μικρότερη του 1 μm (Ryan and McMahon, 1976). Το μεγαλύτερο μέρος δηλαδή των αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από δασικές πυρκαγιές είναι αναπνεύσιμα.

Η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ορατότητα δεν εξαρτάται μόνο από την συγκέντρωση των σωματιδίων αλλά και από τις οπτικές ιδιότητες τους καθώς επηρεάζουν την σκέδαση και την απορρόφηση του φωτός.

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται από δασικές πυρκαγιές όπως έχει αναφερθεί αποτελείται τουλάχιστον κατά 50% από οργανικό άνθρακα (Ward and Hardy, 1989). Στα αιωρούμενα σωματίδια επίσης υπάρχουν απορροφημένα και συμπυκνωμένα τοξικά αέρια καθώς και ελεύθερες ρίζες.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειοψηφία των ανθρωπογενών αιωρούμενων σωματιδίων οφείλεται στην συμπύκνωση των αέριων ρύπων. Η συμπύκνωση αυτή λαμβάνει χώρα είτε κατά τη διάρκεια των διαδικασιών της καύσης, οπότε αναφερόμαστε στα πρωτογενή σωματίδια, είτε μετά την απομάκρυνση των αέριων ρύπων από την φωτιά, οπότε αναφερόμαστε στα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια τα οποία προστίθενται στα πρωτογενή (EPA, 2003). Οι κύριες πρόδρομες ενώσεις των δευτερογενών σωματιδίων είναι το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, τα οποία δημιουργούν θειικά και νιτρικά σωματίδια αντίστοιχα. Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης και οι οργανικές ενώσεις στις διαδικασίες παραγωγής σωματιδιακών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Λόγω των σύνθετων διεργασιών σχηματισμού τους, τα αιωρούμενα σωματίδια δεν αποτελούν ένα χημικά ομογενές ρύπο αλλά εξαρτώνται κυρίως από την κατανομή μεγεθών τους και τα συστατικά τους.

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ίσως ο πιο καθοριστικός παράγοντας για τις ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων όπως ο μηχανισμός απομάκρυνσής τους από την ατμόσφαιρα, οι οπτικές ιδιότητές τους και οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων μέσω του τρόπου που αποτίθενται στο αναπνευστικό σύστημα.

Οι εκπομπές σωματιδιακών ρύπων αποτελούνται κυρίως από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα και χαρακτηρίζονται από το ιδιαίτερα μικρό μέγεθός τους (EPA, 2003). Ο οργανικός άνθρακας μπορεί να συνεισφέρει μέχρι και 90% στην σύσταση των σωματιδίων που εκπέμπονται από πυρκαγιές με μεγαλύτερα ποσοστά στα μικρότερα σωματίδια.

Κατά τη μεταφορά και την επακόλουθη διασπορά των ρύπων από την περιοχή της καύσης στην ατμόσφαιρα τα συστατικά του καπνού υπόκεινται σε αρκετές διεργασίες. Ενώ οι χημικά ενεργοί αέριοι ρύποι αντιδρούν πολύ γρήγορα, τα λεπτά σωματίδια λόγω του αυξημένου χρόνου παραμονής τους στην ατμόσφαιρα μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Επομένως η συνεισφορά τους στην περιφερειακή ρύπανση δεν πρέπει να θεωρείται αμελητέα. Σε γενικές γραμμές το κλάσμα των λεπτών σωματιδίων αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή τους καθώς τα χονδρά σωματίδια αποτίθενται στην επιφάνεια με μεγαλύτερη ταχύτητα. Ωστόσο, οι διεργασίες συσσώρευσης και συμπύκνωσης των λεπτών σωματιδίων

δημιουργούν σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους γεγονός το οποίο μπορεί και να διατηρεί την αναλογία λεπτών- χονδρών σωματιδίων σταθερή.

2.6 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

2.6.1 Εισαγωγή

Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται από πυρκαγιές συχνά ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας που έχουν καθοριστεί για τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από διάφορους οργανισμούς (EPA, EU, κ.α.). Για παράδειγμα, στην Ινδονησία το 1997 κάηκαν πάνω από 45000 km² σε μια μεγάλη πυρκαγιά με πολλές εστίες (η διάρκειά των επιμέρους πυρκαγιών ήταν συνολικά 5 μήνες). Ο καπνός από τις μεγάλες αυτές φωτιές έφτασε τα 3000 m σε ύψος στην ατμόσφαιρα και εξαπλώθηκε και στις γειτονικές χώρες. Για τον καθορισμό της επικινδυνότητας των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ινδονησία χρησιμοποιείται ο δείκτης PSI (Pollution Standard Index) ο οποίος αναπτύχθηκε από την US EPA. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ινδονησία έφτασε τιμές πάνω από 2000 σε PSI ενώ η τιμή του PSI=400 θεωρείται ήδη επικίνδυνη. Μόνο στην χώρα της Ινδονησίας λόγω του νέφους που δημιουργήθηκε πάνω από 20 εκατομμύρια άνθρωποι αντιμετώπισαν προβλήματα υγείας (Ministry of Health Indonesia, 1998) ενώ οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις από το νέφος παραμένουν άγνωστες.

2.6.2 Επιπτώσεις των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην υγεία

Κατά την εισπνοή τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται και κατακρατούνται στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα μεγαλύτερα σωματίδια αποτίθενται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα ενώ τα μικρότερα μπορούν να διεισδύσουν μέχρι και τις κυψελίδες των πνευμόνων όπου παραμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το μέρος των σωματιδίων που εισέρχεται στο αναπνευστικό σύστημα ποικίλει ανάλογα με τις ιδιότητες των σωματιδίων, τον τρόπο και ρυθμό αναπνοής και άλλους παράγοντες.

Τα **εισπνεύσιμα** σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm αποτίθενται στην μύτη, τον λαιμό και τον λάρυγγα. Ο χρόνος παραμονής των σωματιδίων

στις περιοχές αυτές είναι αρκετές ώρες. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM_{10}) μπορούν να διασχίσουν τον λάρυγγα, να εισχωρήσουν στην θωρακική περιοχή (**θωρακικά** σωματίδια) και να εναποτεθούν στην τραχειοβρογχική περιοχή. Ο χρόνος παραμονής τους στον οργανισμό είναι αρκετές ώρες, μέχρι και μια μέρα. Τα λεπτότερα σωματίδια εισχωρούν στην κυψελιδική περιοχή (**αναπνεύσιμα** σωματίδια) και παραμένουν εκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (μέχρι και αρκετά χρόνια). Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από πυρκαγιές είναι κυρίως αναπνεύσιμα και επομένως μπορούν να εισχωρήσουν στην κυψελιδική περιοχή.

Οι ακριβείς επιπτώσεις στην υγεία που προκαλείται από την επίδραση των αποτιθεμένων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα κυμαίνονται από οξεία αναπνευστικά προβλήματα και ασθένειες όπως βρογχίτιδα, άσθμα και πνευμονία μέχρι και αύξηση της θνησιμότητας (Ostermann and Brauer ,2001). Ο τοξικολογικός μηχανισμός με τον οποίο επιδρούν τα σωματίδια στην υγεία δεν είναι γνωστός όπως και η αλληλεπίδρασή τους με άλλους ρύπους μέσα στον οργανισμό. Τα οργανικά συστατικά έχει βρεθεί ότι μπορεί να προκαλέσουν φλεγμονές στο αναπνευστικό σύστημα και να μειώσουν την άμυνα του οργανισμού απέναντι στα βακτήρια. Αρκετά μέταλλα και πυριτικά συστατικά των σωματιδίων έχει βρεθεί ότι έχουν τοξική δράση στα κύτταρα των πνευμόνων (Costa et al., 1994). Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1 μm μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονές στις κυψελίδες και έτσι προκαλούνται αλλαγές στην πηκτικότητα του αίματος και ενεργοποιείται το ανοσοποιητικό σύστημα για να προληφθούν αναπνευστικές νόσοι. Οι αλλαγές στο αίμα οδηγούν σε μια αύξηση στην ευπάθεια του εκτιθέμενου πληθυσμού σε οξεία καρδιαγγειακά επεισόδια (European Commission, 1997).

Παρόλο που τα οξεία συμπτώματα σχετίζονται με την βιολογικά ενεργή δόση σωματιδίων, οι χρόνιες ή μακροπρόθεσμες επιδράσεις μπορούν να σχετίζονται με αθροιστικές δόσεις. Η κατακράτηση σωματιδίων εξαρτάται από την περιοχή στην οποία αποτέθηκε, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των σωματιδίων και τους μηχανισμούς απομάκρυνσής τους από τον οργανισμό. Το ποσοστό κατακράτησης σωματιδίων αυξάνεται σημαντικά σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων ($\text{TSP} > 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) λόγω της «υπερφόρτωσης» του αναπνευστικού συστήματος. Χαμηλότεροι ρυθμοί απομάκρυνσης σχετίζονται επίσης με την παρουσία ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου και η νικοτίνη οι

οποίοι μειώνουν την αποτελεσματικότητα κάποιων μηχανισμών απομάκρυνσης των σωματιδίων. Η συσσώρευση των σωματιδίων που κατακρατούνται αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης κάποιας αναπνευστικής ή καρδιαγγειακής πάθησης (EPA, 2003).

Το μονοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται στο αίμα μέσω των πνευμόνων και μειώνει την ποσότητα του οξυγόνου που μεταφέρεται στα όργανα του σώματος και τους ιστούς. Οι επιπτώσεις από την έκθεση σε CO είναι πιο σημαντικές σε άτομα που πάσχουν ήδη από καρδιαγγειακά νοσήματα. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το μονοξείδιο του άνθρακα προκαλεί πονοκεφάλους, ζαλάδες ενώ σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ακόμα και θάνατο.

Μερικά συστατικά του καπνού από τις δασικές πυρκαγιές όπως είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) είναι καρκινογενείς. Κάποιοι παρουσιάζουν αυξημένη τοξικότητα όταν συνδυαστούν με το μονοξείδιο του άνθρακα. Άλλες οργανικές ενώσεις όπως οι αλδεϋδες προκαλούν άμεσα συμπτώματα μόνο όπως ζάλη, δυσκολία αναπνοής και ερεθισμό των ματιών. Τα κύρια τοξικά αέρια που εκπέμπονται από δασικές πυρκαγιές είναι η φορμαλδεϋδη και το βενζόλιο. Η φορμαλδεϋδη μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό ενώ η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει καρκίνο στο ανώτερο αναπνευστικό. Το βενζόλιο προκαλεί πονοκεφάλους, ζάλη, δυσκολία στην αναπνοή και είναι ιδιαίτερα καρκινογόνο. Επίσης μπορεί να προκαλέσει αναιμία και παθήσεις στο ήπαρ.

Η ομάδα ανθρώπων με την μεγαλύτερη έκθεση στο νέφος που δημιουργείται κατά την καύση μιας δασικής έκτασης είναι οι δασοπροσβέστες λόγω του αυξημένου χρόνου παραμονής τους κοντά στην πηγή των ρύπων. Η έκθεση των δασοπροσβεστών είναι εποχιακή (4-5 μήνες ανά έτος) και εξαρτημένη από τον αριθμό των πυρκαγιών και την έντασή τους. Αναλυτική περιγραφή της έκθεσης αυτής έχει γίνει από τους Reinhardt και Ottmar (1997) και φαίνεται ότι εκτίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων ($500-7000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και σε συγκεντρώσεις CO που φτάνουν τα 40 ppm, συγκεντρώσεις οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά προβλήματα υγείας. Επιδημιολογικές μελέτες σε δασοπροσβέστες έχουν δείξει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην έκθεσή τους σε εκπομπές από δασικές πυρκαγιές και οξεία αναπνευστικά προβλήματα (Bethley et al., 1997). Με εξακριβωμένες τις

επιπτώσεις που έχουν οι εκπομπές των δασικών πυρκαγιών στους δασοπροσβέστες γίνεται σαφές ότι θα πρέπει να αναζητηθούν επιπτώσεις και στην υγεία του υπόλοιπου πληθυσμού ακόμα και αν εκτίθενται σε μικρότερες συγκεντρώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί μια μεθοδολογία για την εκτίμηση των εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων από δασικές πυρκαγιές. Για να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων ρύπων με συναφή τρόπο μελετήθηκαν πλήθος διαδικασιών που έχουν προταθεί. Από αυτές επιλέχθηκαν αυτές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία ως προς την ακρίβεια με την οποία υπολογίζουν τις εκπομπές αλλά και δεν απαιτούν δεδομένα που δεν είναι διαθέσιμα από την δασική υπηρεσία αλλά ούτε και υπολογίσιμα βάσει άλλων δεδομένων.

Η επιλογή των ρύπων που μελετήθηκαν έγινε βάσει των πληροφοριών όσον αφορά στις εκπομπές από δασικές πυρκαγιές και για ρύπους που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη μελέτη της τροποσφαιρικής χημείας. Τα κύρια παράγωγα από την καύση της βιομάζας είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα αιωρούμενα σωματίδια, διάφοροι υδρογονάνθρακες, ενώσεις του αζώτου (NO_x , NH_3 , N_2O) και οξείδια του θείου (πίνακας 3.1). Οι NMHCs θεωρείται ότι αποτελούνται από 35% C_3H_6 , 30% C_2H_2 , 14% C_3H_8 , 5% $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ (κατά βάρος) (Radke et al., 1991). Για τα αιωρούμενα σωματίδια έχει γίνει διαχωρισμός τους σε 8 κατηγορίες μεγεθών και σε 4 κατηγορίες ως προς την χημική τους σύσταση (πίνακας 3.1). Η κατηγορία “Other” αναφέρεται σε όλα τα σωματίδια που δεν περιλαμβάνονται στις τρεις πρώτες κατηγορίες και για τα σωματίδια αυτά στο UAM-AERO (βλ. κεφάλαιο 5) θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις.

Μερικές ενώσεις δεν εξετάζονται λόγω της περιορισμένης συνεισφοράς τους στην τροποσφαιρική χημεία αλλά δεν πρέπει να αμελούνται οι επιπτώσεις τους στην στρατόσφαιρα. Οι ρύποι αυτοί είναι οι H_2 , COS και σε μικρότερο βαθμό το CH_3Cl (Andreae, 1991). Μια δευτερεύουσα επίπτωση των δασικών πυρκαγιών στην ατμοσφαιρική σύσταση είναι ότι οι εκπομπές από το έδαφος σε μια περιοχή μετά από πυρκαγιά μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με την

κατάσταση πριν την πυρκαγιά (Corinair, 2001). Οι επιπτώσεις αυτές δεν θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία. Επίσης δεν έχουν ληφθεί υπόψη εκπομπές από την επαναιώρηση ρύπων που έχουν αποτεθεί στο έδαφος

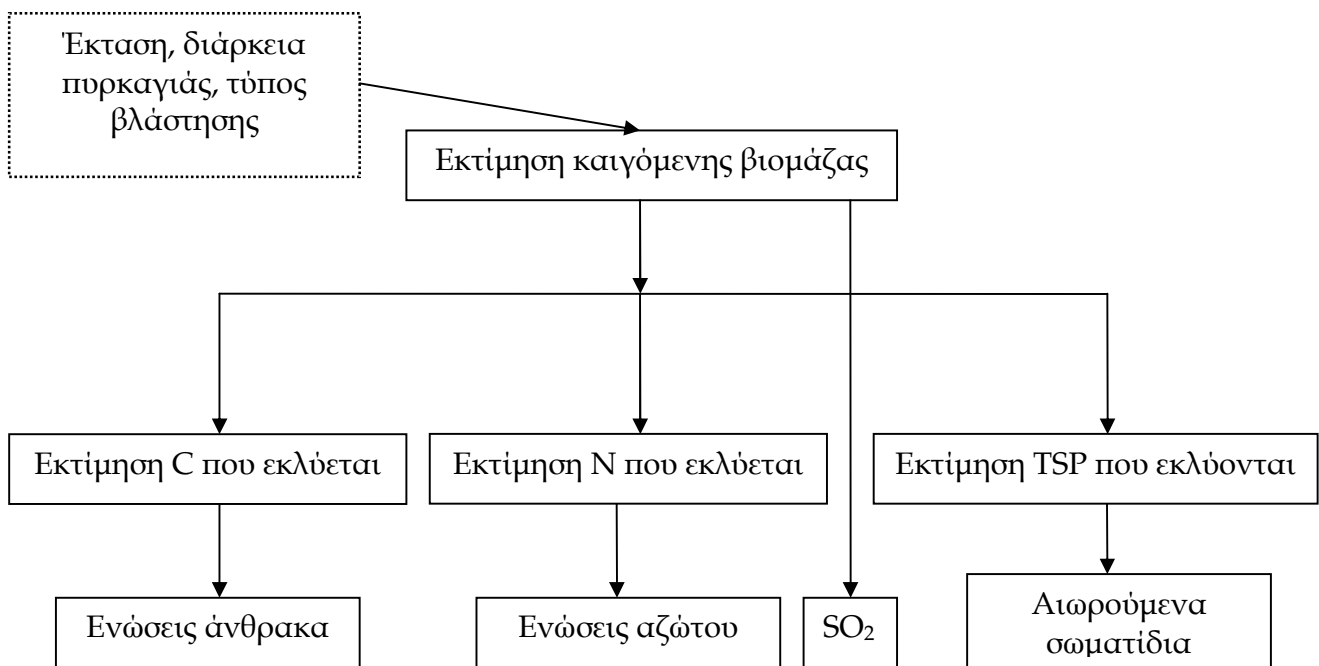
Πίνακας 3.1: Βασικές εκπομπές από δασικές πυρκαγιές

Ενώσεις Άνθρακα	CO₂	
	CO	
	CH₄	
	NMHCs	C ₃ H ₆
		C ₂ H ₆
		C ₂ H ₂
		C ₃ H ₈
		n-C ₄ H ₁₀
Ενώσεις Αζώτου	NO₂	
	NH₃	
	N₂O	
Ενώσεις θείου	SO₂	
Αιωρούμενα Σωματίδια	TSP	SO₄⁼ (9 size bins)
		EC (9 size bins)
		OC (9 size bins)
		Other (9 size bins)

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές είναι τα εξής (σχήμα 3.1):

- Εκτίμηση της ποσότητας της καιγόμενης βιομάζας
- Εκτίμηση της ποσότητας του άνθρακα που εκπέμπεται
- Εκτίμηση της ποσότητας του αζώτου που εκπέμπεται
- Εκτίμηση της ποσότητας των σωματιδίων που εκπέμπονται
- Υπολογισμός των εκπομπών για τις ενώσεις του άνθρακα (CO₂,CH₄,CO, NMHCs)

- Υπολογισμός των εκπομπών για τις ενώσεις του αζώτου (NO_2 , NH_3 , N_2O)
- Υπολογισμός των εκπομπών για τις ενώσεις του θείου (SO_2)
- Υπολογισμός των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP)
- Διαχωρισμός των TSP ως προς το μέγεθός τους και τη χημική τους σύσταση.



Σχήμα 3.1 : Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης εκπομπών από δασικές πυρκαγιές

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα του σχήματος 3.1.

3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΚΑΙΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η εκτίμηση της βιομάζας που καταναλώνεται σε μια δασική πυρκαγιά είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία λόγω του μεγάλου πλήθους παραμέτρων που υπεισέρχονται. Τα είδη που καίγονται δεν ανήκουν σε μια κατηγορία μόνο με αποτέλεσμα να γίνεται ακόμα πιο σύνθετο το πρόβλημα. Στα καύσιμα υλικά

ουσιαστικά περιλαμβάνεται όλη η ύλη που μπορεί να επηρεαστεί από τη φωτιά όπως τα χαμηλά φυτά, οι θάμνοι, τα δένδρα, τα πεσμένα φύλλα, κλαδιά και φλοιοί, αλλά και η οργανική ύλη που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Εκτός από την έκταση που κάηκε πρέπει να γνωρίζουμε και τη μέση ολική βιομάζα καύσιμου υλικού ανά μονάδα επιφάνειας, το κλάσμα της βιομάζας καθώς και την απόδοση καύσης της βιομάζας που βρίσκεται πάνω από το έδαφος. Όλες αυτές οι παράμετροι εξαρτώνται από τον τύπο του οικοσυστήματος στο οποίο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία βασίζεται στην εργασία των Seiler και Crutzen (1980) και Corinair (1991).

Η ποσότητα της ξηρής βιομάζας ενός καιγόμενου είδους δίνεται από τη σχέση:

$$M = a \cdot b \cdot A \cdot B \quad (\text{εξ. 3.1})$$

Όπου:

- A : η έκταση της περιοχής που καίγεται (m^2)
- B : μέση ολική βιομάζα καύσιμου υλικού ανά μονάδα επιφάνειας (kg/m^2)
- a : το κλάσμα (άνω της μέσης τιμής) της βιομάζας που βρίσκεται πάνω από το έδαφος
- b : η απόδοση καύσης της βιομάζας που βρίσκεται πάνω από το έδαφος

Οι συντελεστές B , a , b εξαρτώνται από τον τύπο του δασικού οικοσυστήματος και σε πολλές περιπτώσεις, όπου τα οικοσυστήματα αυτά είναι σύνθετα, είναι δύσκολο να καθοριστούν. Τυπικές τιμές για τους συντελεστές αυτούς παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά βιομάζας για την εκτίμηση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές (CORINAIR, 1991)

Είδος οικοσυστήματος	Βιομάζα (kg/m ²)	Κλάσμα βιομάζας πάνω από το έδαφος	Απόδοση καύσης
	B	A	b
Βόρεια Δάση	25,0	0,75	0,20
Εύκρατα Δάση	35,0	0,75	0,20
Μεσογειακά Δάση	15,0	0,75	0,25
Θαμνότοπος	7,5	0,64	0,50
Λιβάδι	2,0	0,36	0,50

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2, χρησιμοποιούνται 5 χαρακτηριστικοί τύποι βλάστησης. Στην περίπτωση που ο τύπος βλάστησης δεν περιλαμβάνεται στις κατηγορίες αυτές θα πρέπει να γίνεται επιλογή του είδους που θα προσεγγίζει καλύτερα την ποσότητα της βιομάζας ανά μονάδα επιφανείας.

3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

3.3.1 Ενώσεις του Άνθρακα

Αρχικά πρέπει να γίνει μια εκτίμηση της ποσότητας του άνθρακα που εκπέμπεται από την καύση της βιομάζας.

Η ποσότητα του εκπεμπόμενου άνθρακα (σε kg) δίνεται από τον τύπο :

$$C=0,45 \cdot M \quad (\text{εξ. 3.2})$$

Όπου 0,45 εκφράζει τη μέση ποσότητα άνθρακα που περιέχεται στη βιομάζα και M ή ποσότητα της ξηρής βιομάζας (σε kg).

Η μέση περιεκτικότητα της βιομάζας σε άνθρακα θεωρείται σταθερή για όλα τα είδη χωρίς σημαντικό σφάλμα. Η υπόλοιπη ποσότητα βιομάζας είναι κυρίως υδρογόνο και οξυγόνο.

Οι κύριες εκπομπές από δασικές πυρκαγιές όσον αφορά στις ενώσεις του άνθρακα είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες.

Οι εκπομπές (σε kg) των ενώσεων του άνθρακα δίνονται από τη σχέση 3.3:

$$E_j = \varepsilon_j \cdot \delta_j \cdot C \quad (\text{εξ. 3.3})$$

Όπου:

- j : η ένωση
- ε_j : το ποσοστό του ολικού άνθρακα που εκπέμπεται ως ένωση
- δ_j : ο συντελεστής για την μετατροπή από εκπομπές σε τόνους άνθρακα σε εκπομπές σε τόνους της συγκεκριμένης ένωσης.

Οι συντελεστές ε_j και δ_j παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των εκπομπών ενώσεων του άνθρακα

Ένωση	ε_j	δ_j
CO ₂	0,888	44/12
CH ₄	0,012	16/12
CO	0,1	28/12
NMHCs	0,0068	37/12

Πηγή: Andreae, 1991

Σημείωση: Η μέση μάζα των NMHC θεωρείται ίση με 37, σύμφωνα με την κατανομή των Radke et al., 1991
Όσο αφορά τις εκπομπές NMHC έχει εκτιμηθεί πως αποτελούνται από 35% C₃H₆, 30% C₂H₆, 16% C₂H₂, 14% C₃H₈, 5% n-C₄H₁₀ (κατά βάρος) (Radke et al., 1991).

3.3.2 Ενώσεις του αζώτου

Το περιεχόμενο της βιομάζας σε άζωτο είναι 100 φορές μικρότερο από αυτό του άνθρακα. Έτσι, η ποσότητα του εκπεμπόμενου αζώτου (σε kg) είναι :

$$N=0,0045 \cdot M \quad (\text{εξ. 3.4})$$

Όπου 0,0045 εκφράζει τη μέση ποσότητα του αζώτου στη βιομάζα όπου και εδώ λαμβάνεται σταθερό για κάθε είδος δασικού καυσίμου.

Οι εκπομπές (σε kg) των ενώσεων του αζώτου είναι:

$$E_j = \varepsilon_j \cdot N \quad (\text{εξ. 3.5})$$

Όπου

j : η ένωση

ε_j : το ποσοστό του ολικού αζώτου που εκπέμπεται ως ένωση j

Οι ενώσεις που μελετώνται εδώ είναι τα οξείδια του αζώτου, το υποξείδιο του αζώτου και η αμμωνία. Οι συντελεστές ε_j δίνονται στον πίνακα 3.4 .

Πίνακας 3.4 : Συντελεστές εκπομπής ενώσεων του αζώτου

Ένωση	ε_j
NO _x	0,8
N ₂ O	0,04
NH ₃	0,18

Πηγή: Trozzi (2002), Corinair (1991)

3.3.3 Ενώσεις του θείου

Η κύρια ένωση θείου που εκπέμπεται κατά την καύση βιομάζας είναι το SO₂. Η ποσότητα του διοξειδίου του θείου (σε kg) που εκπέμπεται δίνεται από τη σχέση:

$$E_S = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot C = 0,72 \cdot 10^{-3} \cdot M \quad (\text{εξ. 3.6})$$

όπου M η καιγόμενη βιομάζα (σε kg).

3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων (σε kg) που εκπέμπεται κατά την καύση βιομάζας δίνεται από την εξίσωση 3.7 :

$$M_{TSP}=0,0085 \cdot M \quad (\text{εξ. 3.7})$$

Όπου 0,0085 η ποσότητα των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP, Total Suspended Particulate matter) που εκπέμπονται στη μονάδα της βιομάζας. Ο συντελεστής αυτός προτείνεται από την US EPA.

Ο διαχωρισμός των σωματιδίων ως προς το μέγεθός και την σύστασή τους έγινε βάσει των απαιτούμενων δεδομένων για την εφαρμογή του προγράμματος UAM-AERO. Το μοντέλο UAM-AERO χρησιμοποιεί 9 κατηγορίες μεγεθών για τα αιωρούμενα σωματίδια. Λόγω των πολύ μικρών διαμέτρων που συναντώνται στις εκπομπές από δασικές πυρκαγιές χρησιμοποιήθηκαν οι 8 πρώτες κατηγορίες μόνο (δεν λήφθηκαν υπόψη τα PM₁₀) (πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5: Κατηγορίες μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν

α/α	Διάμετροι σωματιδίων
1	$D_p \leq 0,08$
2	$0,08 < D_p \leq 0,16$
3	$0,16 < D_p \leq 0,31$
4	$0,31 < D_p \leq 0,62$
5	$0,62 < D_p \leq 1,25$
6	$1,25 < D_p \leq 2,50$
7	$2,50 < D_p \leq 5,00$
8	$5,00 < D_p \leq 10,0$

Όσον αφορά στον χημικό διαχωρισμό των σωματιδίων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες του πίνακα 3.6.

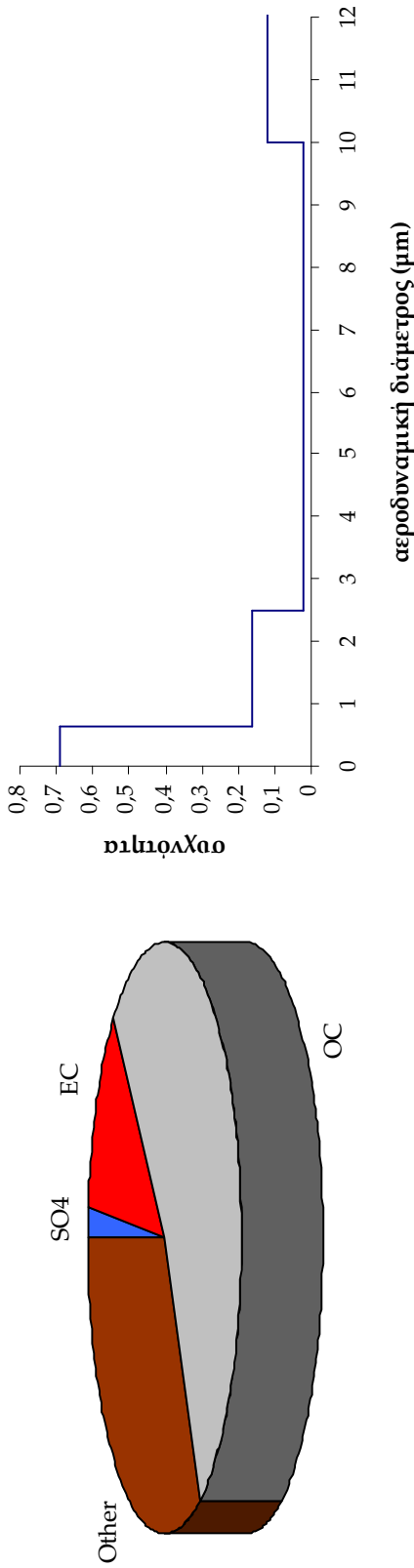
Πίνακας 3.6: Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων

α/α	Χημική Σύσταση	Συμβολισμός
1	Θειικά σωματίδια	SO ₄
2	Σωματίδια στοιχειακού άνθρακα	EC
3	Σωματίδια οργανικής ύλης	OC
4	Λοιπά σωματίδια	Other

Ο διαχωρισμός των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP) στις κατηγορίες μεγεθών και σύστασης έγινε με βάση τους συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων ως προς τη σύσταση και το μέγεθός τους (STI (12/1996)).

Διάμετρος(μm)	0,04-0,08	0,08-0,16	0,16-0,31	0,31-0,62	0,62-1,25	1,25-2,5	2,5-5,0	5,0-10,0	>10	Σύνολο
Σύσταση										
SO ₄	0,002698	0,002698	0,002698	0,002698	0,001269	0,001269	0,000177	0,000177	0,001914	0,015598
EC	0,017488	0,017488	0,017488	0,017488	0,008224	0,008224	0,001147	0,001147	0,012405	0,101099
OC	0,082042	0,082042	0,082042	0,082042	0,038584	0,038584	0,005383	0,005383	0,058197	0,474299
Other	0,049523	0,049523	0,049523	0,049523	0,023291	0,023291	0,00325	0,00325	0,035129	0,286303
Σύνολο	0,151751	0,151751	0,151751	0,151751	0,071368	0,071368	0,009957	0,009957	0,107645	



Σχήμα 3.2: Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές

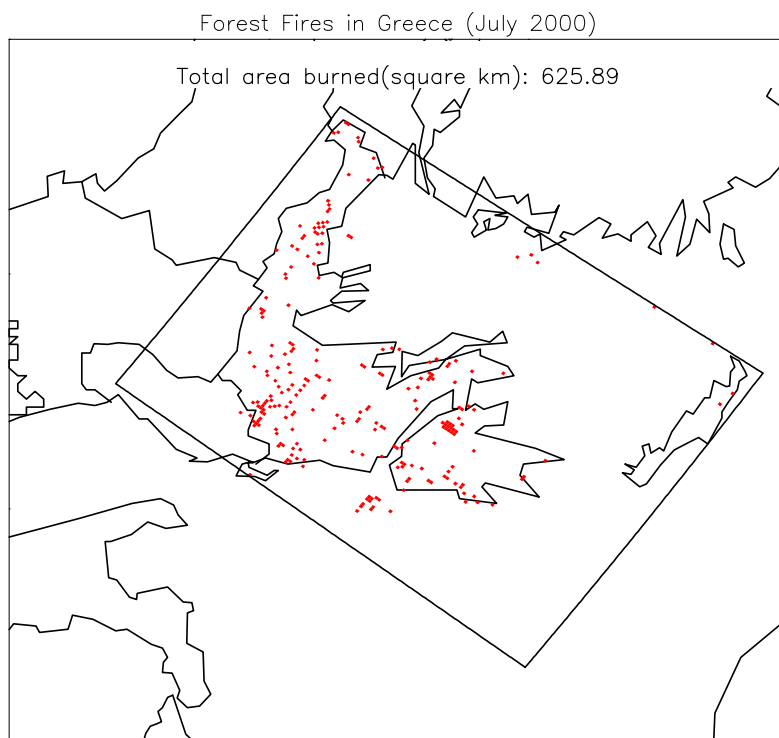
Σχήμα 3.3: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές

3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3.5.1 Ποσοτικοποίηση εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω εφαρμόστηκε στην περιοχή της Ελλάδας για τον μήνα Ιούλιο του 2000. Η επιλογή του συγκεκριμένης χρονικής περιόδου έγινε λόγω του ιδιαίτερα αυξημένου αριθμού δασικών πυρκαγιών αλλά και της μεγάλης έκτασης που κάηκε στην Ελλάδα (626.000 στρέμματα). Οι ισχυροί βόρειοι άνεμοι (ετησίες) και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες ($>40^{\circ}\text{C}$ σε αρκετές περιοχές) συντέλεσαν στην κατάσταση αυτή. Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Διεύθυνση Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και περιλαμβάνουν στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές κατά τα έτη 1997-2003.

Τον μήνα Ιούλιο του 2000 έχουν καταγραφεί 269 πυρκαγιές σε όλη την Ελλάδα με συνολικά καμένη έκταση 626 χιλιάδες στρέμματα. Οι πυρκαγιές παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4.

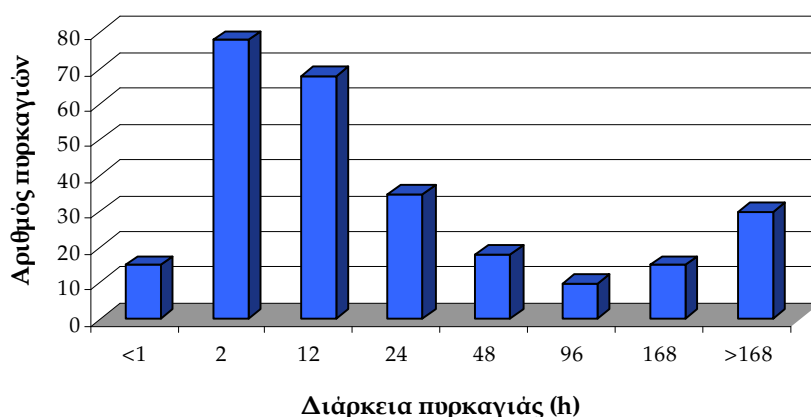


Σχήμα 3.4: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα τον Ιούλιο του 2000

Η γεωγραφική θέση των δασικών πυρκαγιών στα πρωτογενή δεδομένα περιγράφεται με το γεωγραφικό μήκος- γεωγραφικό πλάτος της κάθε πυρκαγιάς. Για να είναι δυνατή η χρήση τους από το μοντέλο UAM-AERO έγινε αναγωγή των εστιών των πυρκαγιών στο πλέγμα του μοντέλου (βλ. κεφάλαιο 6). Το πλέγμα αυτό αποτελείται από 118x155 πλεγματικές κυψελίδες διαστάσεων 5x5 km². Οι συντεταγμένες UTM που χρησιμοποιεί το UAM-AERO δεν ακολουθούν επακριβώς την κατεύθυνση του γεωγραφικού μήκους και πλάτους και για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε κώδικας που εφαρμόζει μια διαδικασία παρεμβολής, για τη μετάβαση μεταξύ των δύο συστημάτων.

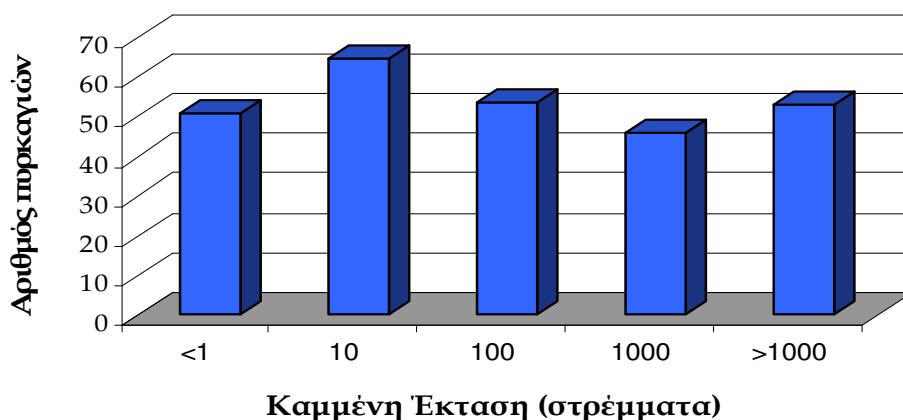
Οι συντεταγμένες για κάθε πυρκαγιά αναφέρονται στην εστία της. Σε περιπτώσεις όπου η πυρκαγιά εξαπλώθηκε σε έκταση μεγαλύτερη από 25 km² αυτή θεωρήθηκε ότι μεταφέρθηκε σε γειτονικό πλεγματικό σημείο του πλέγματος του UAM-AERO. Η εξαπλώση της πυρκαγιάς θεωρήθηκε ελλειπτικής μορφής με τον μεγάλο ημιάξονα να καθορίζεται από τη διεύθυνση του ανέμου και την εστία της φωτιάς τοποθετημένη στην μια εστία της έλλειψης. Έγινε έτσι τοποθέτηση των καμένων εκτάσεων στο πλέγμα που χρησιμοποιεί το μοντέλο UAM-AERO με σκοπό να καθοριστούν οι εκπομπές ρύπων από κάθε σημείο του πλέγματος. Επίσης έγινε ανάλυση της κάθε πυρκαγιάς στις ώρες που διήρκησε για να καθοριστούν χρονικά οι εκπομπές ρύπων.

Από την ημερομηνία και ώρα έναρξης και λήξης της κάθε πυρκαγιάς υπολογίστηκε η διάρκεια της κάθε φωτιάς (σε h). Η μέση διάρκεια των πυρκαγιών του Ιουλίου του 2000 προκύπτει ότι είναι ίση με 2 μέρες. Παρατηρούμε στο σχήμα 3.5 ότι εκτός από τον μεγάλο αριθμό των πυρκαγιών αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι πολλές από τις πυρκαγιές που συνέβησαν είχαν πολύ μεγάλη διάρκεια (26 πυρκαγιές είχαν διάρκεια μεγαλύτερη από 1 εβδομάδα).



Σχήμα 3.5: Συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών διαφόρων χρονικών διαρκειών.

Η μεγάλη διάρκεια των πυρκαγιών είχε ως συνέπεια να είναι μεγάλη και η καιόμενη έκταση ανά πυρκαγιά. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6 σε 53 πυρκαγιές κάηκαν εκτάσεις πάνω από 1 km² στην κάθε μια.



Σχήμα 3.6: Καμένη έκταση ανά πυρκαγιά

Ο τύπος βλάστησης της κάθε περιοχής στην οποία εκδηλώνεται μια πυρκαγιά διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο τόσο στον ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς όσο και στις ποσότητες των διαφόρων ρύπων που εκπέμπονται στη μονάδα της επιφάνειας λόγω του διαφορετικού ποσού βιομάζας που υπάρχει ανάλογα με τη χρήση γης.

Οι τύποι βλάστησης που χρησιμοποιούνται από τη δασική υπηρεσία στα δεδομένα που παραχωρήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8 : Τύποι βλάστησης και αντιστοίχηση τους στην κατηγοριοποίηση του UAM-AERO

Τύπος βλάστησης	Κατηγοριοποίηση UAM-AERO
Πεύκη μαύρη	Μεσογειακά δάση
Πεύκη δασική	Μεσογειακά δάση
Πεύκη λευκόδερμος	Μεσογειακά δάση
Ελάτη	Μεσογειακά δάση
Ερυθρελάτη	Μεσογειακά δάση
Λοιπά ψυχρόβια κωνοφόρα	Μεσογειακά δάση
Πεύκη χαλέπιος	Μεσογειακά δάση
Πεύκη τραχεία	Μεσογειακά δάση
Πεύκη κουκουναριά	Μεσογειακά δάση
Κυπάρισος	Μεσογειακά δάση
Λοιπά θερμόβια κωνοφόρα	Μεσογειακά δάση
Καστανιά	Μεσογειακά δάση
Οξιά	Μεσογειακά δάση
Σημύδα	Μεσογειακά δάση
Λοιπά ψυχρόβια πλατύφυλλα	Μεσογειακά δάση
Δρυς φυλλοβόλος	Θαμνότοποι
Αριά	Θαμνότοποι
Πουρνάρι	Θαμνότοποι
Λοιπά θερμόβια πλατύφυλλα	Θαμνότοποι
Φυλλοβόλα πλατύφυλλα	Θαμνότοποι
Αείφυλλα πλατύφυλλα	Θαμνότοποι
Αναγέννηση	Θαμνότοποι
Αναδάσωση	Θαμνότοποι
Σιτηρά	Θαμνότοποι
Άμπελοι	Θαμνότοποι
Ελαιώνες	Θαμνότοποι
Λοιπές καλλιέργειες	Θαμνότοποι
Φρυγανοσκεπείς εκτάσεις	Λιβάδια
Χορτοσκεπείς εκτάσεις	Λιβάδια

Για την εφαρμογή του μοντέλου UAM-AERO χρειάστηκε να γίνει η αντιστοίχηση των τύπων βλάστησης έτσι όπως ορίζονται από τη Δασική Υπηρεσία, στους αντίστοιχους που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο. Η αντιστοίχηση έγινε με βάση την πυκνότητα βλάστησης για κάθε χρήση γης.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε για κάθε χρήση γης η ποσότητα της καιγόμενης βιομάζας ανά μονάδα επιφανείας ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Η ποσότητα της καιγόμενης βιομάζας υπολογίζεται όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο από τη σχέση $M = a \cdot b \cdot A \cdot B$. Οι συντελεστές B, A και b για τα τρία είδη οικοσυστήματος που συναντώνται στην Ελλάδα προκύπτουν από τον πίνακα 3.1 από τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε την καιγόμενη βιομάζα ανά μονάδα επιφανείας.

Πίνακας 3.9: Καύσιμη βιομάζα ανάλογα με το είδος οικοσυστήματος

Είδος οικοσυστήματος	Καιγόμενη Βιομάζα ανά μονάδα επιφανείας (kg/m ²)
	(α·B·b)
Μεσογειακά Δάση	2,81
Θαμνότοπος	2,40
Λιβάδι	0,36

Πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή που προέκυψε για κάθε είδος οικοσυστήματος (πίνακας 3.9) με την καμένη έκταση μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσότητα της βιομάζας που κάηκε.

Η συνολική ποσότητα της βιομάζας που καταναλώθηκε τον Ιούλιο του 2000 από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα υπολογίστηκε περίπου ίση με 1,5 Mton.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι εκπομπές των αερίων και σωματιδιακών ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενες παραγράφους υπολογίστηκαν οι εκπομπές των αερίων σε moles/h και των αιωρούμενων σωματιδίων σε g/h.

Με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε υπολογίστηκαν οι εκπομπές για τις ενώσεις που αναφέρονται στον πίνακα 3.1 και στη συνέχεια όπως αναλύεται στην παράγραφο 6.6 έγινε κάποια περαιτέρω επεξεργασία για να εισαχθούν ως δεδομένα στο μοντέλο UAM-AERO. Τα δεδομένα αυτά αφορούν όλο τον μήνα Ιούλιο του 2000 όπου η χρονική ανάλυση τέθηκε στην 1h και η χωρική στα 5x5 km².

Οι συνολικές εκπομπές που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.10.

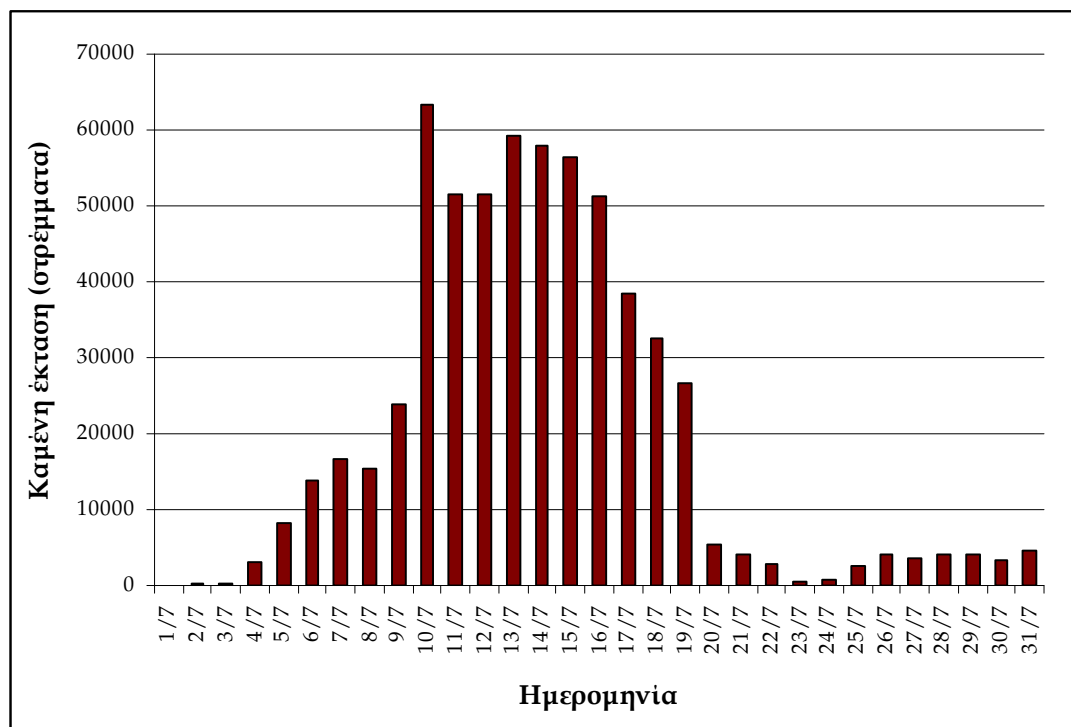
Πίνακας 3.10: Εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα(Ιούλιος 2000)

	Ρύπος	Εκπομπές (tn)
Ενώσεις Άνθρακα	CO ₂	2.201.954
	CO	157.797
	CH ₄	10.820
	NMHCs	14.202
Ενώσεις Αζώτου	NO ₂	5.401
	NH ₃	1.217
	N ₂ O	270
Ενώσεις Θείου	SO ₂	1.082
Αιωρούμενα Σωματίδια	TSP	12.774

3.5.2 Εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές

Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές που υπολογίστηκαν αντιστοιχούν σε ένα σχετικά μικρό ποσοστό των ολικών εκπομπών ρύπων στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, κυμαίνονται από 1% μέχρι και 20% με τα μεγαλύτερα ποσοστά να αντιστοιχούν στα αιωρούμενα σωματίδια και το μονοξείδιο του άνθρακα και τα μικρότερα ποσοστά στο διοξείδιο του θείου και το διαζωτοξείδιο. Λαμβάνοντας, όμως, υπόψη την περιορισμένη έκταση και διάρκεια των εκπομπών, φαίνεται πόσο σημαντική είναι η συνεισφορά των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές.

Ο μήνας Ιούλιος του 2000 χαρακτηρίζεται από τον ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό δασικών πυρκαγιών, αλλά και τις μεγάλες εκτάσεις που κάηκαν. Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η έκταση που κάηκε κατά την περίοδο αυτή ανά ημέρα.



Σχήμα 3.7: Καμένες εκτάσεις ανά ημέρα τον Ιούλιο του 2000 στην Ελλάδα

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.7, οι μέρες κατά τις οποίες κάηκαν οι μεγαλύτερες εκτάσεις είναι οι μέρες 10- 16 Ιουλίου. Για το λόγο αυτό θα γίνει στη συνέχεια μια ανάλυση της σημαντικότητας των εκπομπών από τις δασικές πυρκαγιές κατά τις μέρες αυτές.

Αρχικά, υπολογίστηκαν οι εκπομπές ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές με ημερήσιο χρονικό βήμα για τις μέρες 12-16 Ιουλίου και 5x5 km². Οι εκπομπές αυτές προσαρμόστηκαν στο πλέγμα του UAM-AERO (βλ. παράγραφο 6.2.2).

Στη συνέχεια, προσαρμόστηκαν οι ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές στην περιοχή της Ελλάδας όπως έχουν προσδιοριστεί από τη βάση δεδομένων του EMEP/TNO (μέσες ετήσιες τιμές σε τόνους ανά έτος, αρχικής χωρικής διακριτότητας 50x50 km²). Τα δεδομένα αυτά έχουν υποστεί βελτίωση ως προς τη χωρική τους ανάλυση, βάσει της χρήσης γης, της πυκνότητας πληθυσμού και της κατηγορίας

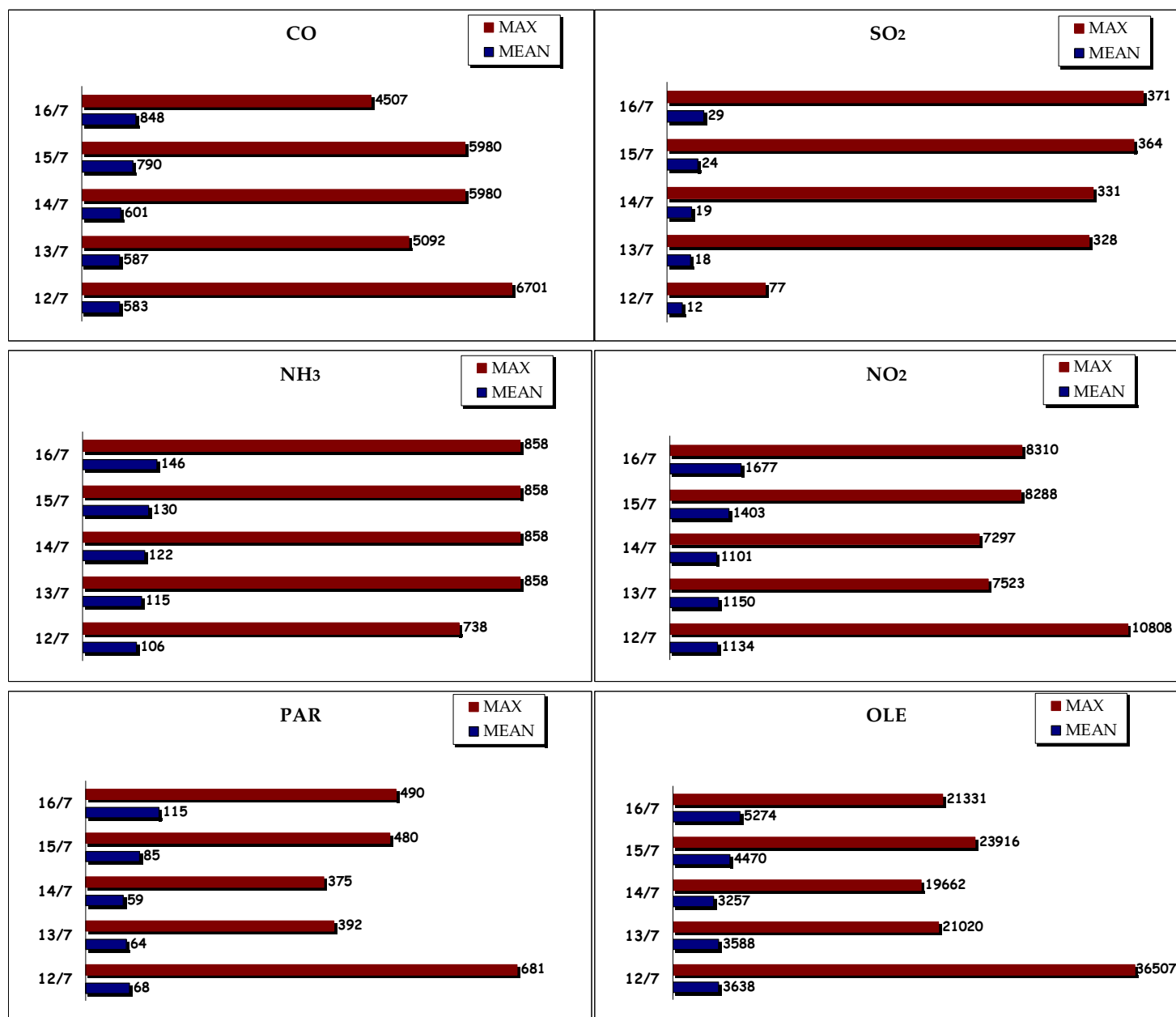
πηγής εκπομπής. Επίσης, έχει εισαχθεί ημερήσια και ετήσια διακύμανση, καθώς και μεταβολή του ρυθμού εκπομπής, ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας (Σπυριδάκη, 2005, Aleksandropoulou et al., 2004). Στα δεδομένα αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές.

Για την εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές χρησιμοποιήθηκε ο λόγος των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές προς τις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές. Ο λόγος αυτός παίρνει την τιμή μηδέν στα κελιά όπου δεν υπήρχε φωτιά κατά τη διάρκεια της εκάστοτε ημέρας ενώ όταν υπήρχε φωτιά μας δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερες (τιμές μεγαλύτερες της μονάδας) ή μικρότερες (τιμές μικρότερες της μονάδας) είναι οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές σε σχέση με τις υπόλοιπες ανθρωπογενείς εκπομπές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον λόγο που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχημάτων 3.8, για τους αέριους ρύπους και των σχημάτων 3.9 και 3.10 για τα αιωρούμενα σωματίδια (EC και OC).

Να σημειωθεί ότι για την περιγραφή των υδρογονανθράκων έγινε η κατηγοριοποίηση που χρησιμοποιείται από τον χημικό μηχανισμό CBM-IV (βλ. κεφάλαιο 5). Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση αυτή οι υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται από τις δασικές πυρκαγιές χωρίζονται σε 2 βασικές ομάδες:

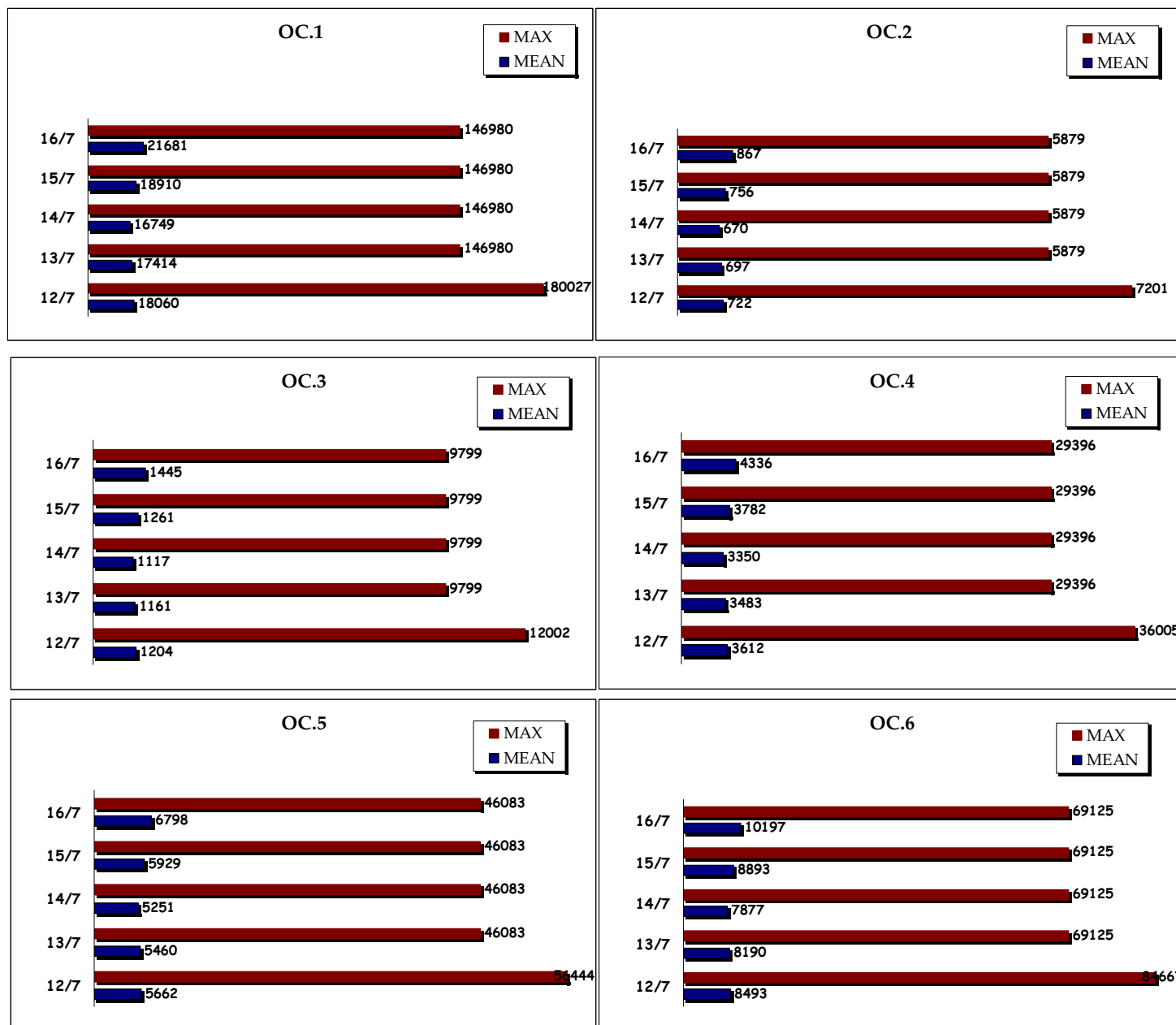
Ομάδα PAR: Αντιπροσωπεύει τον απλό δεσμό και περιλαμβάνει ένα άτομο άνθρακα (C-). Η ομάδα αυτή χρησιμοποιείται για την περιγραφή της χημείας των αλκανίων και της πλειοψηφίας των αλκυλικών ομάδων.

Ομάδα OLE: Αντιπροσωπεύει το διπλό δεσμό μεταξύ δύο ατόμων άνθρακα (C=C) (η ομάδα περιλαμβάνει τα δύο άτομα άνθρακα). Η ομάδα αυτή χρησιμοποιείται για την περιγραφή της χημείας των 1-αλκενίων.

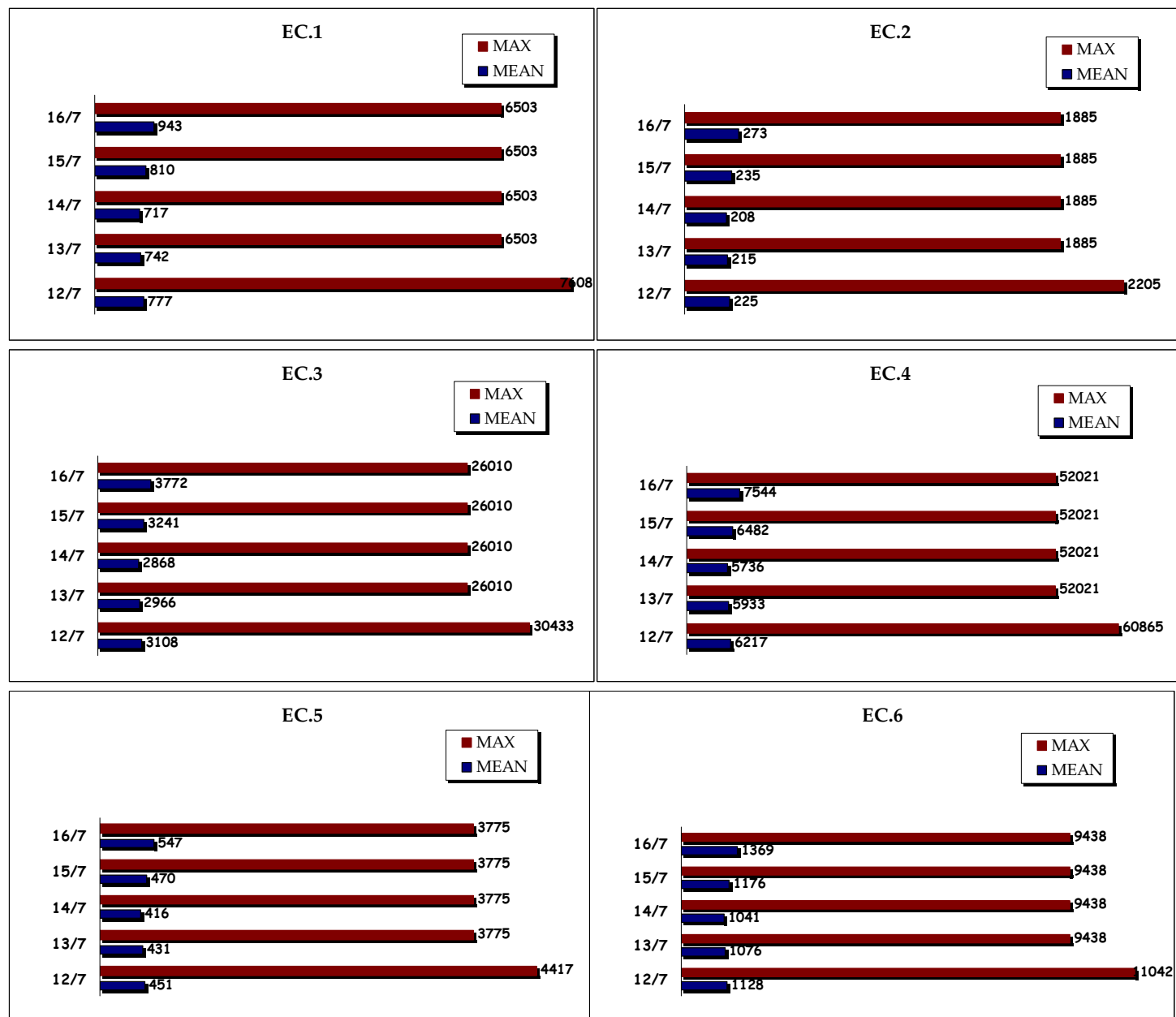


Σχήμα 3.8: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής αερίων ρύπων από δασικές πυρκαγιές προς τις λοιπές ανθρωπογενείς εκπομπές ανά ημέρα.

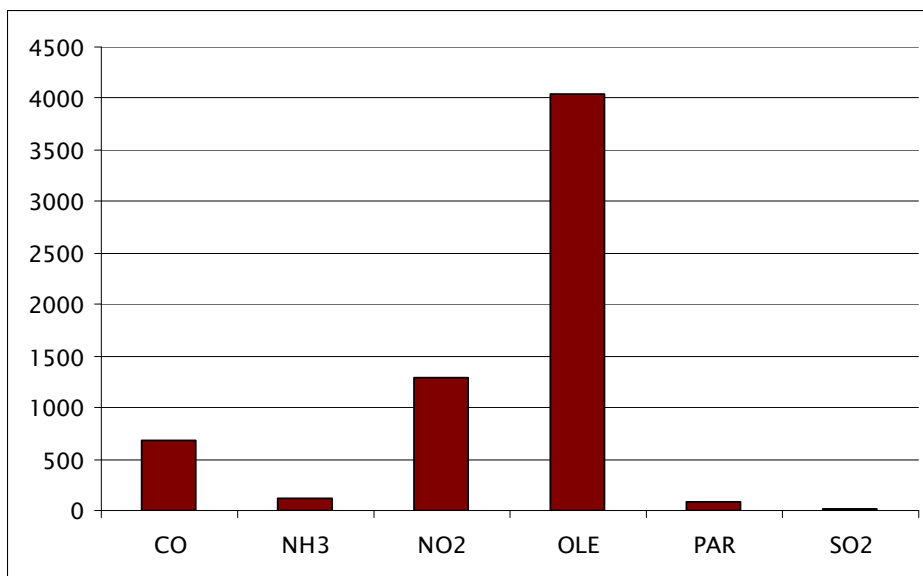
Για τα αιωρούμενα σωματίδια μελετήθηκε η συνεισφορά των δασικών πυρκαγιών για τις έξι πρώτες κατηγορίες μεγεθών του πίνακα 3.5 που αναφέρονται στα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Οι εκπομπές σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές αποτελούνται, κατά ένα ποσοστό 99% για τον στοιχειακό άνθρακα (EC) και 94% για τον οργανικό άνθρακα (OC), από σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Στα σχήματα 3.9 και 3.10 παρουσιάζονται οι λόγοι των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων (EC και OC) από δασικές πυρκαγιές, προς τις λοιπές ανθρωπογενείς εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων.



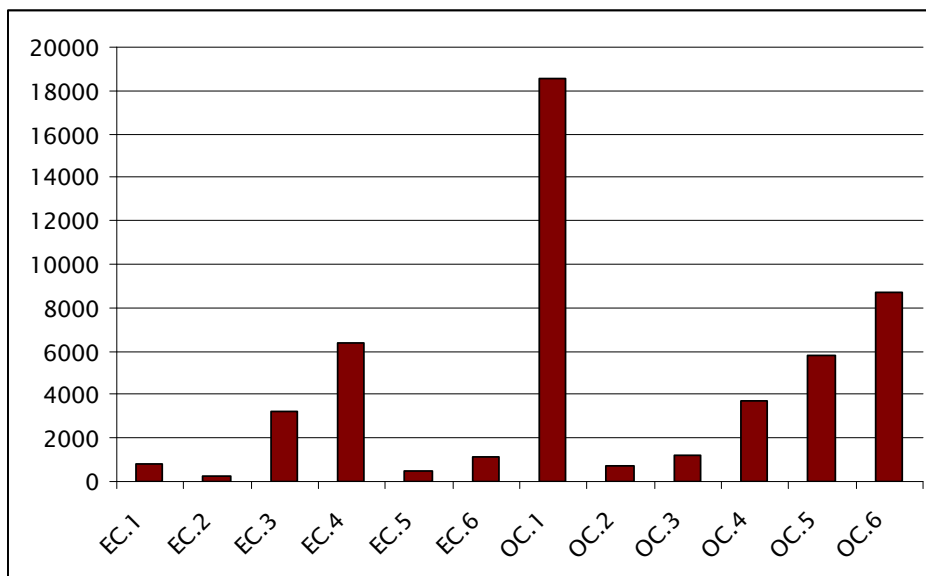
Σχήμα 3.9: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής σωματιδιακών ρύπων οργανικού άνθρακα από δασικές πυρκαγιές, προς τις λοιπές εκπομπές OC ανά ημέρα.



Σχήμα 3.10: Μέσος και μέγιστος λόγος εκπομπής σωματιδιακών ρύπων στοιχειακού άνθρακα από δασικές πυρκαγιές, προς τις λοιπές εκπομπές EC ανά ημέρα.



Σχήμα 3.11: Συνεισφορά εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων ρύπων (12-16 Ιουλίου 2000)



Σχήμα 3.12: Συνεισφορά εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ανθρωπογενείς εκπομπές σωματιδίων οργανικού και στοιχειακού άνθρακα (12-16 Ιουλίου 2000)

Από τα σχήματα 3.11 και 3.12 παρατηρούμε ότι οι δασικές πυρκαγιές σε τοπικό επίπεδο μπορούν να επηρεάσουν έντονα τις εκπομπές των αλκενίων, για τα οποία οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές είναι κατά μέσο όρο 4000 φορές μεγαλύτερες από το σύνολο των υπολοίπων ανθρωπογενών εκπομπών αλκενίων. Σημαντικό ρόλο επίσης διαδραματίζουν στις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα με αναλογία εκπομπών ως προς τις υπόλοιπες ανθρωπογενείς 1400 και 700 αντίστοιχα. Στις εκπομπές NH_3 , SO_2 και PAR η συνεισφορά των δασικών πυρκαγιών είναι μικρότερη αλλά και πάλι είναι σημαντικότερη από τις εκπομπές των υπολοίπων ανθρωπογενών πηγών.

Όσον αφορά στους σωματιδιακούς ρύπους, σημαντική είναι η συνεισφορά των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές κυρίως για τον οργανικό άνθρακα αλλά και για τον στοιχειακό άνθρακα. Οι τιμές του λόγου εκπομπών είναι μέχρι και 4 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες.

3.6 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το έτος 2000 είναι το έτος με τις περισσότερες πυρκαγιές στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία. Εκτός από τον μεγάλο αριθμό πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν όμως παρατηρήθηκαν και πολλές μεγάλες φωτιές ειδικά κατά τους θερινούς μήνες. Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο σε 6 πυρκαγιές κάηκαν περίπου 500.000 στρέμματα στην Ελλάδα.

Η έκταση που προκύπτει ότι κάηκε τον Ιούλιο του 2000 στην Ελλάδα, είναι συνολικά περίπου 626 χιλιάδες στρέμματα. Σύμφωνα με έκθεση της Ε.Ε. (European Communities, 2001) η έκταση αυτή αντιστοιχεί στο 59% της συνολικά καμένης έκτασης στην Ελλάδα το 2000. Δεδομένου ότι η έκταση των καμένων δασών στην Ελλάδα αντιστοιχεί στο 28% των καμένων δασών στη Νότια Ευρώπη (Πορτογαλία, Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα) προκύπτει ότι στον μήνα αυτό κάηκε περίπου το 17% της συνολικά καμένης έκτασης στη Νότια Ευρώπη όλο το 2000.

Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη επειδή αντιστοιχούν σε απότομες και απρογραμμάτιστες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα οι οποίοι σε μικρή χρονική κλίμακα μπορούν να

διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο. Συγκεκριμένα, όπως υπολογίστηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι εκπομπές αερίων και σωματιδιακών ρύπων από δασικές πυρκαγιές μπορούν να φτάσουν και τις 4-5 τάξεις μεγέθους πάνω από τις λοιπές ανθρωπογενείς εκπομπές. Στο σύνολο σχεδόν των δασικών πυρκαγιών, η επίδραση της ύπαρξης μιας δασικής πυρκαγιάς σε μια περιοχή $5 \times 5 \text{ km}^2$ διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ποσοτικοποίηση των εκπομπών από αυτή την περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έκταση της Ελλάδας είναι περίπου 132.000.000 στρέμματα. Ο όρος δασική έκταση (forestland) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις χρήσεις γης όπως είναι τα δάση, οι θαμνότοποι και τα λιβάδια. Οι δασικές εκτάσεις καλύπτουν περίπου τα 2/3 της συνολικής επιφάνειας της Ελλάδας (Dimitrakopoulos, 1994). Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα με τις πυρκαγιές ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό, όχι μόνο όσον αφορά στον ετήσιο αριθμό των πυρκαγιών αλλά και όσον αφορά στην μέση καιγόμενη έκταση ανά πυρκαγιά. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου 394 στρέμματα καίγονται ανά πυρκαγιά στην Ελλάδα 300 στρέμματα στην Ισπανία, 200 στρέμματα στην Ιταλία και 153 στρέμματα στην Πορτογαλία (Dimitrakopoulos, 1994). Το πρόβλημα αυτό οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινη παρέμβαση παρά σε φυσικές αιτίες.

Αναλυτικά, η κατανομή των μορφών εδαφοπονίας του ελληνικού χώρου σύμφωνα με στοιχεία της Δασικής Υπηρεσίας και της ΕΣΥΕ φαίνεται στους πίνακες 4.1 και 4.2.

Πίνακας 4.1: Μορφές εδαφοπονίας του ελληνικού χώρου

Μορφές εδαφοπονίας	Έκταση στρέμ.	%
1. Δάση	25.124.180	19,0
2. Μερικώς Δασοσκεπείς εκτάσεις	32.421.400	24,6
3. Φρυγανότοποι	2.773.135	2,1
4. Αλπικές εκτάσεις	4.400.577	3,3
5. Χορτολίβαδα	17.555.073	13,3
6. Έλη – Λίμνες – Ποταμοί	2.728.620	2,1
7. Άγωνα (συμπεριλαμβάνονται οι αστικές περιοχές)	7.348.513	5,6
8. Γεωργικές Καλλιέργειες	39.638.500	30,0
Σύνολο χώρας	131.990.000	100,0

Η έκταση των δασών κατά δασοπονικό είδος παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 : Κατανομή των ελληνικών δασών σε δασοπονικά είδη

Δασοπονικό είδος	Έκταση στρέμ.	%
Κωνοφόρα		
1. Ελάτη – Ερυθρελάτη	3.297.620	13,1
2. Χαλέπιος – Τραχεία Πεύκη	4.757.770	18,9
3. Μαύρη Πεύκη	1.370.470	5,5
4. Λοιπά Κωνοφόρα	237.870	0,9
Σύνολο Κωνοφόρων	9.663.730	38,4
Πλατύφυλλα		
5. Δρυς	7.475.490	29,8
6. Οξιά	2.190.700	8,7
7. Λοιπά φυλλοβόλα	1.017.650	4,1
8. Αείφυλλα	4.776.610	19,0
Σύνολο Πλατύφυλλων	15.460.450	61,6
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	25.124.180	100,0

Κατά τη δεκαετία 1960-69, 7.240 πυρκαγιές έκαψαν 1.237.790 στρέμματα δασικών εκτάσεων. Την επόμενη δεκαετία (1970-79), παρόλο που ο αριθμός των πυρκαγιών παρέμεινε ο ίδιος (7.354), η συνολική έκταση που κάηκε σχεδόν διπλασιάστηκε (2.037.900 στρέμματα). Την δεκαετία 1980-89 σχεδόν διπλασιάστηκαν τόσο ο αριθμός των πυρκαγιών (12.653) όσο και η συνολική έκταση που κάηκε (5.241.670 στρέμματα). Η μέση έκταση που καιγόταν ανά πυρκαγιά αυξήθηκε από 170 στρέμματα την δεκαετία του 60 στα 200 στρέμματα την δεκαετία του 70 και στα 390 την δεκαετία του 80 (Dimitrakopoulos, 1990). Γενικά παρατηρείται μια αυξητική τάση τόσο στον αριθμό των πυρκαγιών όσο και στην έκταση που καίγεται σε κάθε πυρκαγιά. Οι απότομες μεταβολές συνδέονται συνήθως με τις μετεωρολογικές συνθήκες του κάθε έτους, όπως για παράδειγμα το 1993 που ήταν ένα ιδιαίτερα ξηρό έτος. Επίσης, το έτος 1995 εμφανίστηκαν πολλές βροχές με αποτέλεσμα να είναι σχετικά μειωμένη η καμένη έκταση αυτού του έτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 25% σχεδόν της καμένης έκτασης το 1995 οφείλεται σε μια πυρκαγιά στην Πεντέλη που έκαψε 65.000 στρέμματα σε 3 μέρες (21-24 Ιουλίου).

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται ιστορικά δεδομένα για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα όπως προκύπτουν από στοιχεία των Dimitrakopoulos

(1990, 1992, 1993, 1994), Dimitrakopoulos and Sakelaridis (1990), Xanthopoulos (1995, 1996, 1997).

Πίνακας 4.3: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1960-1996)

Έτος	Αριθμός πυρκαγιών	Καμένη Έκταση (στρέμματα)	Μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά
1960-1969	7240	1237790	170
1970-1979	7534	2037900	200
1980-1989	12653	5241670	390
1990	1091	338820	310
1991	1118	212270	190
1992	1815	420000	230
1993	2417	470000	190
1994	2074	540000	260
1995	1572	251860	160
1996	1757	229010	130

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανάλυση των δεδομένων που παραχωρήθηκαν από την δασική υπηρεσία για τα έτη 1997 -2003. Από την ανάλυση που θα ακολουθήσει θα γίνει μια προσπάθεια να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά στην μεταβολή του αριθμού των δασικών πυρκαγιών και των καμένων εκτάσεων ανά έτος. Επίσης θα γίνει αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των τύπων οικοσυστημάτων που καίγονται ώστε να δημιουργηθεί μια λεπτομερής βάση δεδομένων για τις πυρκαγιές στην Ελλάδα και να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση των ρύπων που εκπέμπονται από αυτές.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την δασική υπηρεσία περιέχουν τις πληροφορίες που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4. Αναλυτική περιγραφή των δεδομένων αυτών παρέχονται στο παράρτημα Ι.

Πίνακας 4.4: Διαθέσιμα δεδομένα για κάθε πυρκαγιά

Τοποθεσία	Επιθεώρηση
	Διεύθυνση Δασών
	Δασαρχείο
	Κοινότητα
	Γ. μήκος
	Γ. πλάτος
Έκρηξη	Έτος
	Μήνας
	Ημέρα
	Ώρα
	Λειπτά
Επισήμανση	Ώρες
	Λειπτά
Αναγγελία	Ώρες
	Λειπτά
Επέμβαση	Ώρες
	Λειπτά
Κατάσβεση	Ώρες
	Λειπτά
Αναζωπύρωση	Ώρες
	Λειπτά
Ανακατάσβεση	Ώρες
	Λειπτά
Κλήση Στρατού	Ώρες
	Λειπτά
Άφιξη Στρατού	Ώρες
	Λειπτά
Άφιξη Αεροσκαφών	Ώρες
	Λειπτά
Αναχώρηση Αεροσκαφών	Ώρες
	Λειπτά
Αίτιο	Αίτιο (πιθανό/σίγουρο)
	Αίτιο
	Εξακρίβωση δράστη
Καμένη Δασική Βλάστηση	Είδος βλάστησης
	Εκταση

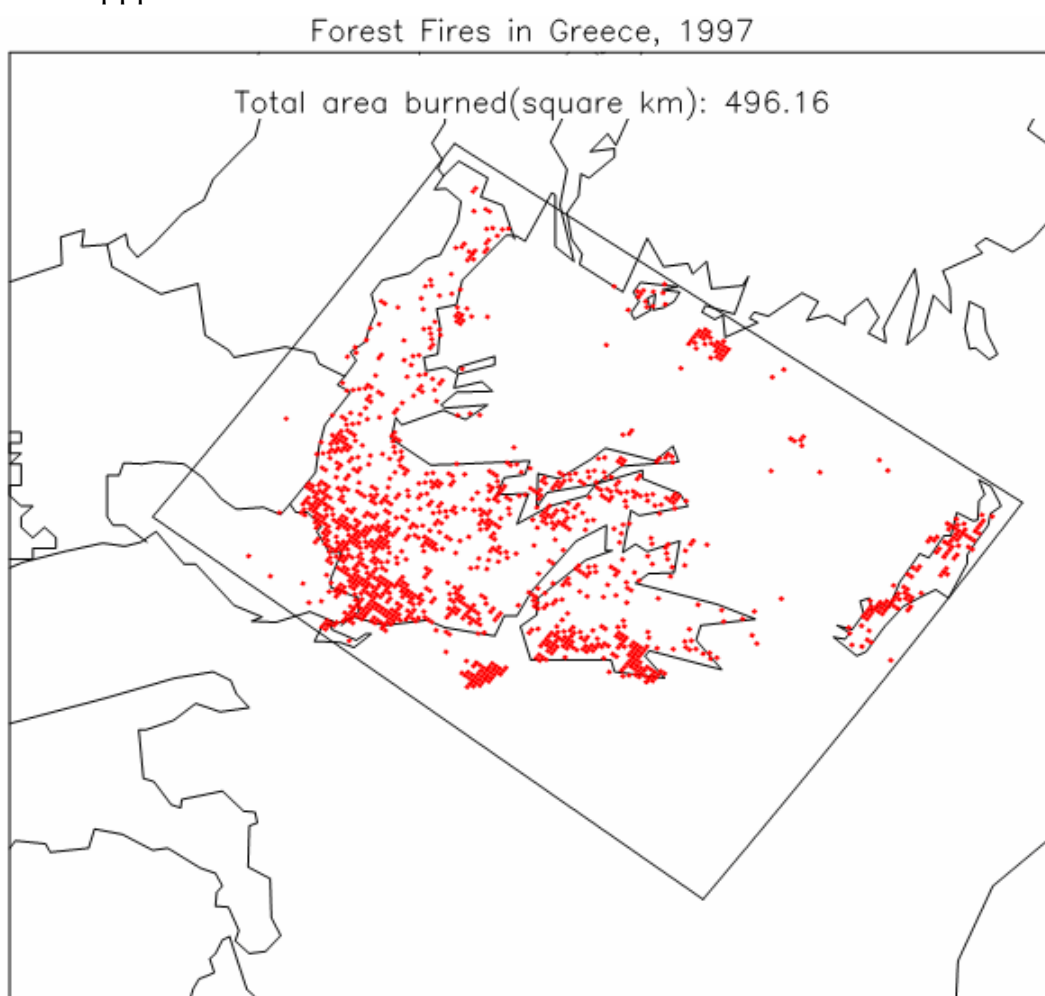
Καμένη Μη Δασική Βλάστηση	Είδος βλάστησης
	Έκταση
Άλλες Καταστροφές	Είδος καταστροφής
	Αριθμός
Ιδιοκτησία Δασικών Γαιών	Δημόσιες/μη δημόσιες
	Έκταση
Υψόμετρο	Υψόμετρο
Μετεωρολογικά Στοιχεία	Κωδικός σταθμού
	Σχετική υγρασία
	Θερμοκρασία
	Ένταση ανέμου
	Διεύθυνση ανέμου
Σταθμολογικά - Πυρολογικά Στοιχεία	Κλίση
	Έκθεση
	Πέτρωμα
	Πυκνότητα χορτοτάπητα
	Πυκνότητα καμένης βλάστησης
	Μορφή πυρκαγιάς
	Σημείο έναρξης
Στοιχεία Καταστολής	Τρόπος κατάσβεσης
	Χρήση επιβραδυντικού
	Χρήση αντίπυρος
Μέσα Κατάσβεσης	Δασικό προσωπικό
	Δασοπυροσβέστες
	Ένοπλες δυνάμεις
	Ιδιώτες
	Οχήματα δασικής υπηρεσίας
	Οχήματα πυροσβεστικής υπηρεσίας
	Οχήματα μεταφοράς προσωπικού
	Φορητά εργαλεία
	Βαρέα μηχανήματα
	Αεροσκάφη CL – 215
	Αεροσκάφη M-18 PZI
Δαπάνες Κατάσβεσης	Προσωπικού
	Οχημάτων- μηχανημάτων- φθορές

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

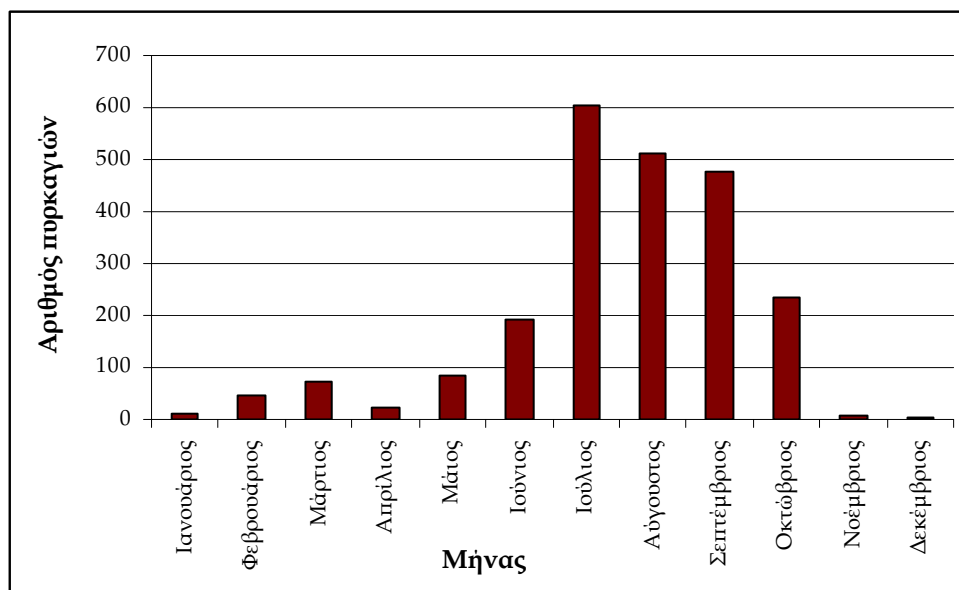
Στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των δεδομένων που προέκυψαν από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων που παραχωρήθηκαν από τη δασική υπηρεσία για κάθε έτος.

4.3.1 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1997

Το έτος 1997 εκδηλώθηκαν οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές της τελευταίας 7ετίας με 2271 πυρκαγιές στην Ελλάδα (σχήμα 4.1) με αποτέλεσμα να καούν περίπου 500 km². Το 70% των πυρκαγιών συνέβησαν κατά τους μήνες Ιούλιο με Σεπτέμβριο.



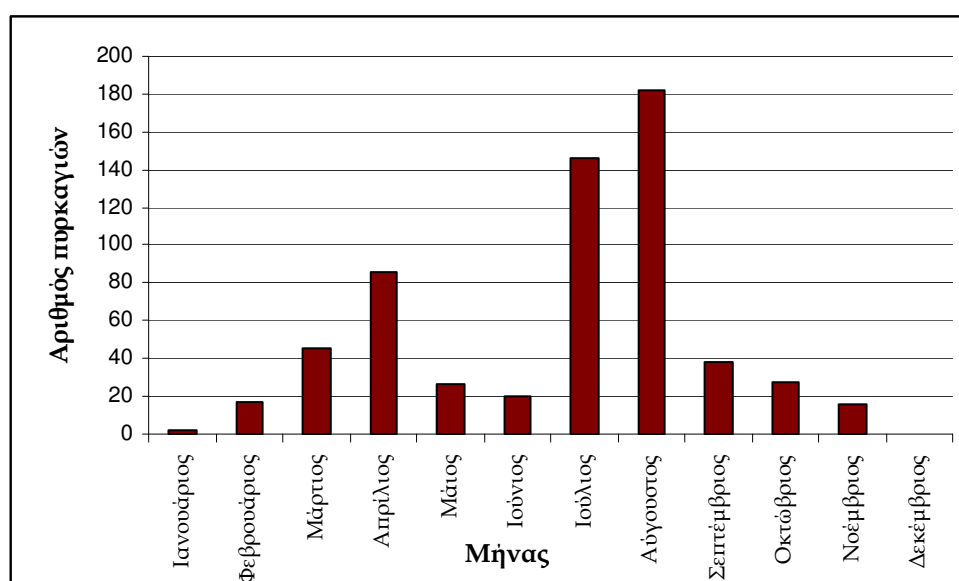
Σχήμα 4.1: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1997)



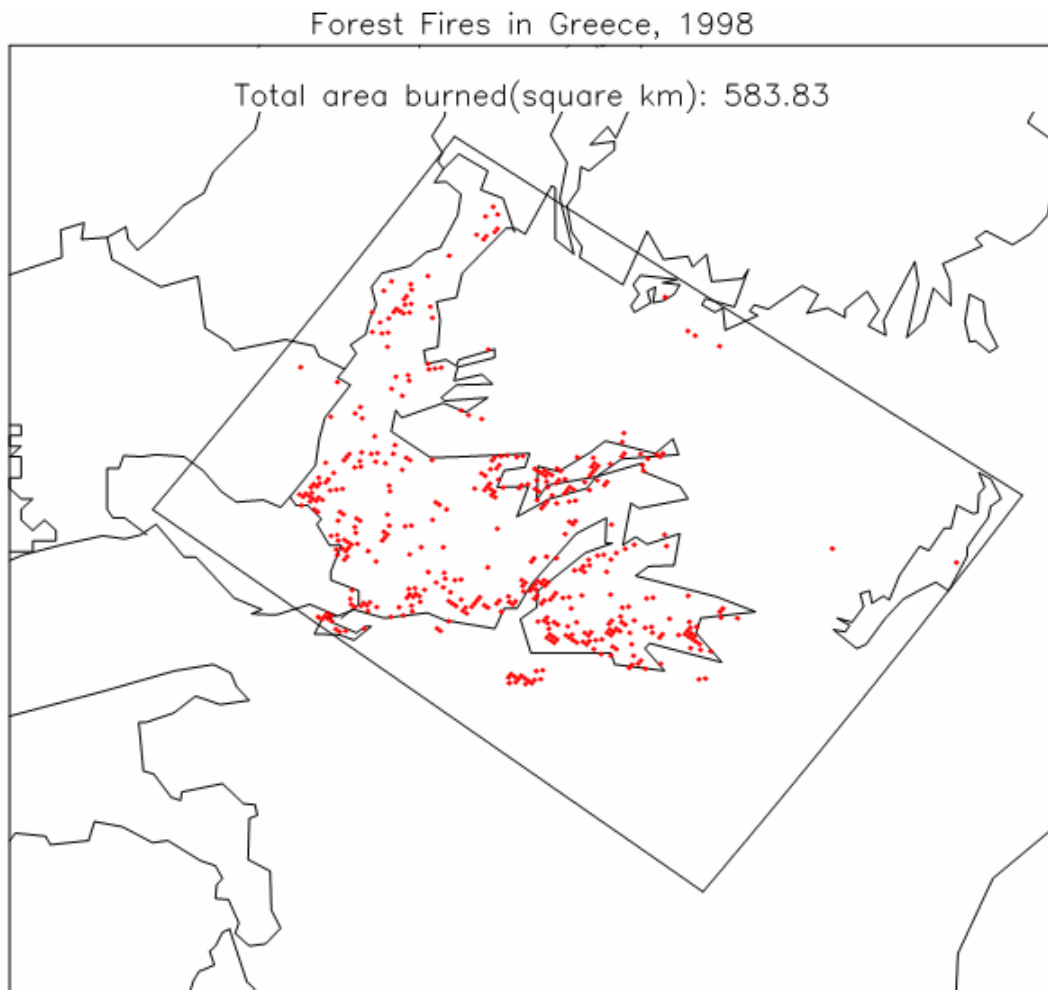
Σχήμα 4.2: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1997)

4.3.2 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1998

Το 1998 ο αριθμός των πυρκαγιών μειώθηκε σημαντικά σε σχέση με το 1997 και έφτασε τις 605 πυρκαγιές. Το μεγαλύτερο μέρος τους παρατηρήθηκε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά και με ένα σημαντικό ποσοστό (14%) τον μήνα Απρίλιο ο οποίος ήταν ιδιαίτερα ξηρός. Παρόλα αυτά, η συνολικά καμένη έκταση το 1998 ήταν μεγαλύτερη (περίπου 583 km²) από την αντίστοιχη το 1997 λόγω της μεγαλύτερης καιγόμενης έκτασης ανά πυρκαγιά (965 στρέμματα/πυρκαγιά το 1998 , 218 στρέμματα/πυρκαγιά το 1997).



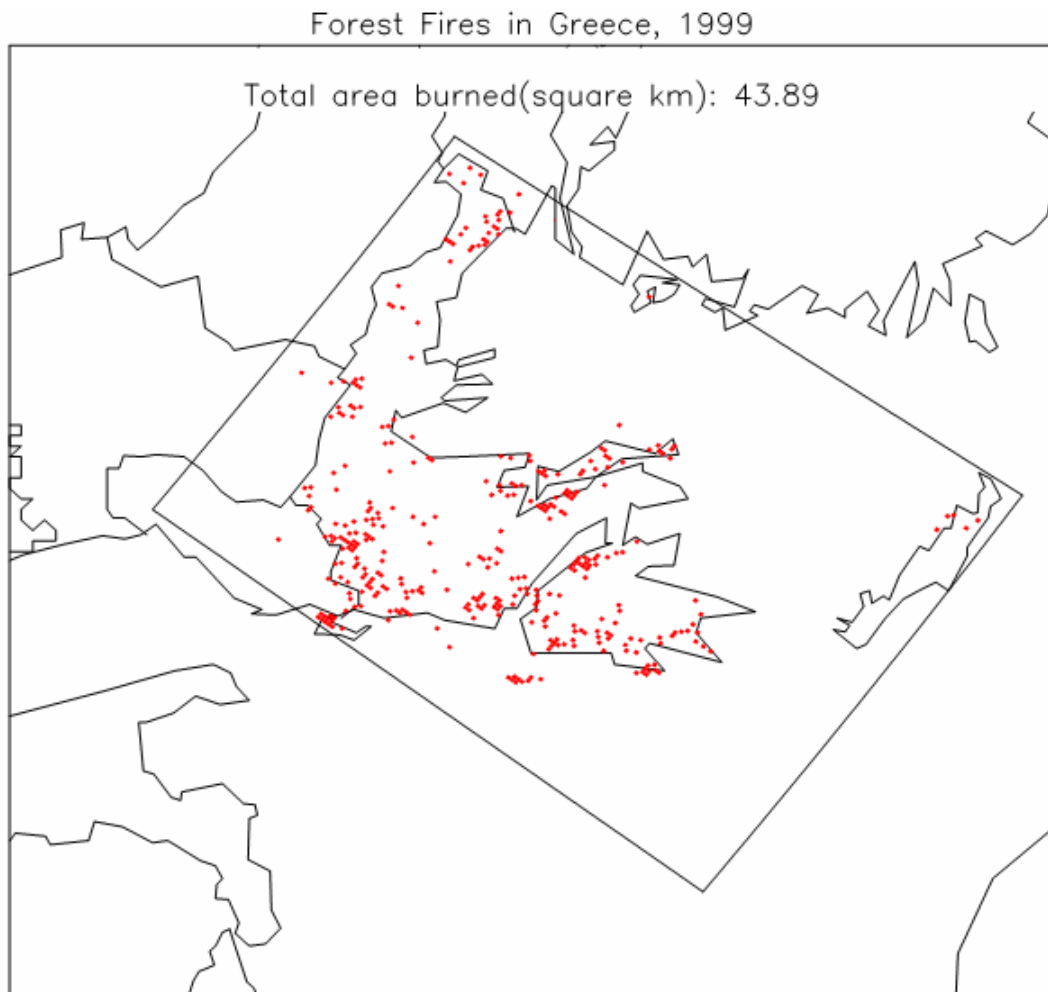
Σχήμα 4.3: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1998)



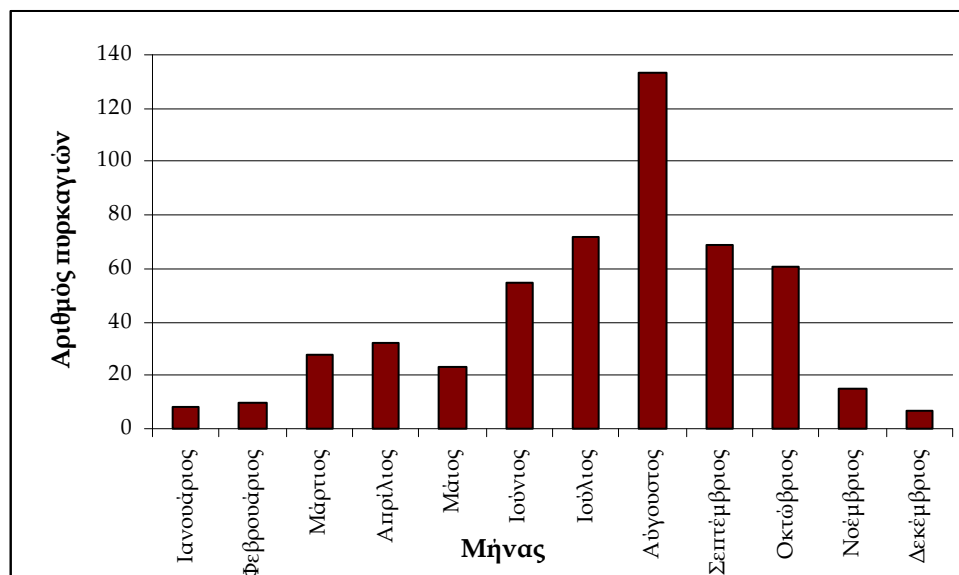
Σχήμα 4.4: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1998)

4.3.3 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 1999

Το 1999 ήταν η χρονιά με τις λιγότερες πυρκαγιές των τελευταίων δεκαετιών στην Ελλάδα με 513 πυρκαγιές σε όλη τη διάρκεια του έτους. Αξίζει να αναφερθεί ότι το 1997 μόνο τον μήνα Ιούλιο υπήρχαν 602 πυρκαγιές. Η συνολική καμένη έκταση είναι επίσης ιδιαίτερα μικρή (περίπου 44000 στρέμματα).



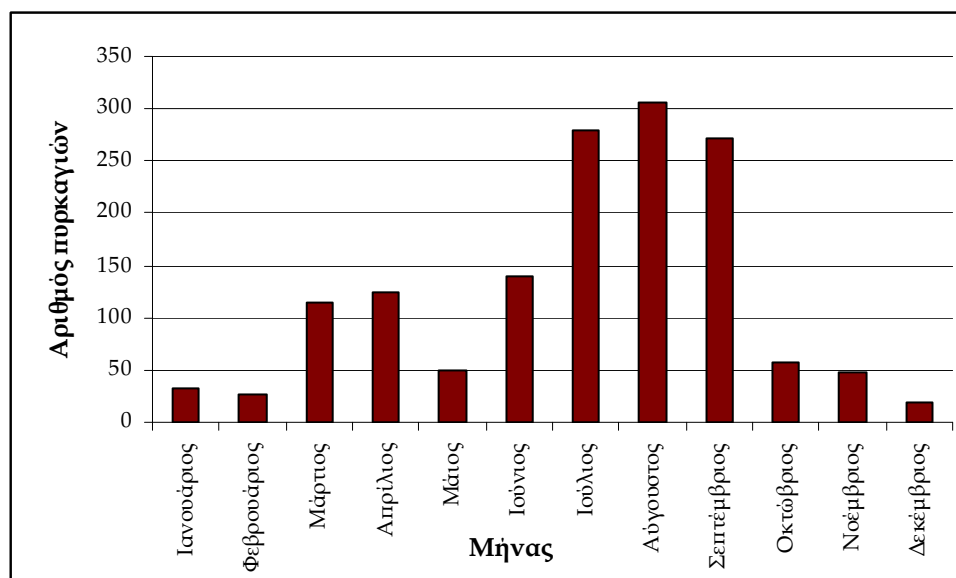
Σχήμα 4.5: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (1999)



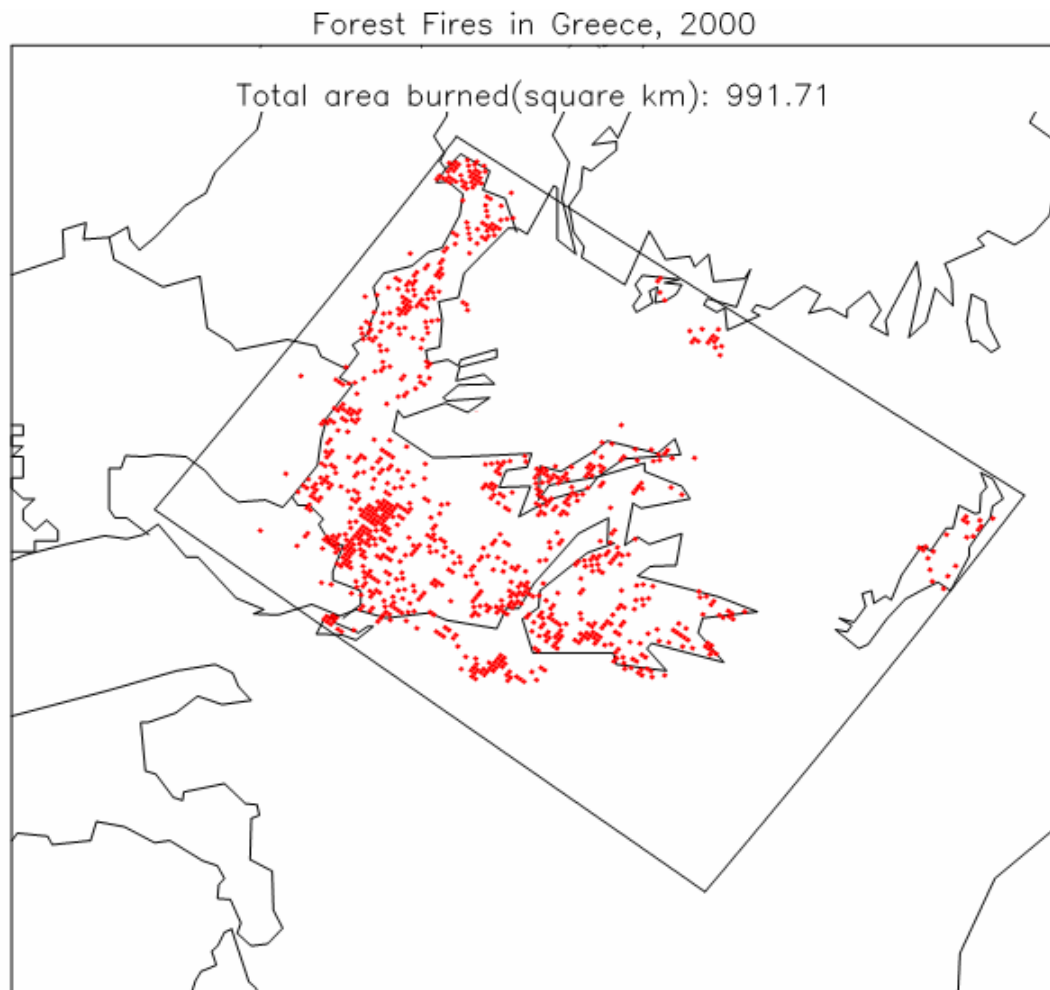
Σχήμα 4.6: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (1999)

4.3.4 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2000

Το 2000 αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των πυρκαγιών που αναφέρθηκαν σε σχέση με τα προηγούμενα 2 χρόνια. Ο αριθμός τους έφτασε τις 1469 πυρκαγιές με συνολικά καμένη έκταση περίπου 992000 στρέμματα. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση πολλών μεγάλων πυρκαγιών. Συγκεκριμένα, το 86% της συνολικά καμένης έκτασης το 2000 προκλήθηκε από πυρκαγιές έκτασης μεγαλύτερης των 500 στρεμμάτων (European Communities, 2001). Κατά τους μήνες Ιούλιο - Αύγουστο μόλις σε 7 πυρκαγιές οφείλεται περισσότερο από 50% της συνολικά καμένης έκτασης στην Ελλάδα όλο το 2000. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ξηρασία που επικρατούσε το έτος 2000 στην Ελλάδα από την άνοιξη μέχρι και το φθινόπωρο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς ακόμα και σε ορεινές περιοχές όπου συνήθως ο κίνδυνος είναι μειωμένος (European Communities, 2001).



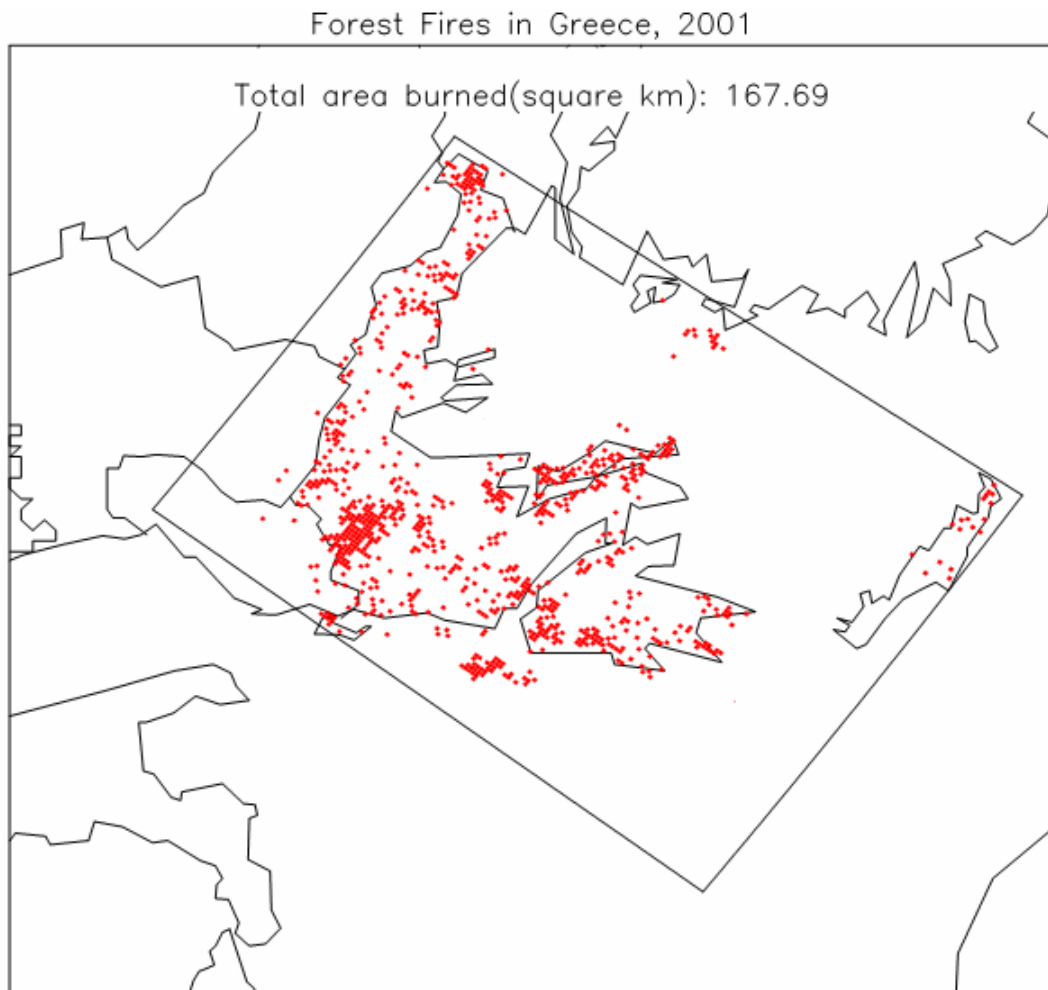
Σχήμα 4.7: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2000)



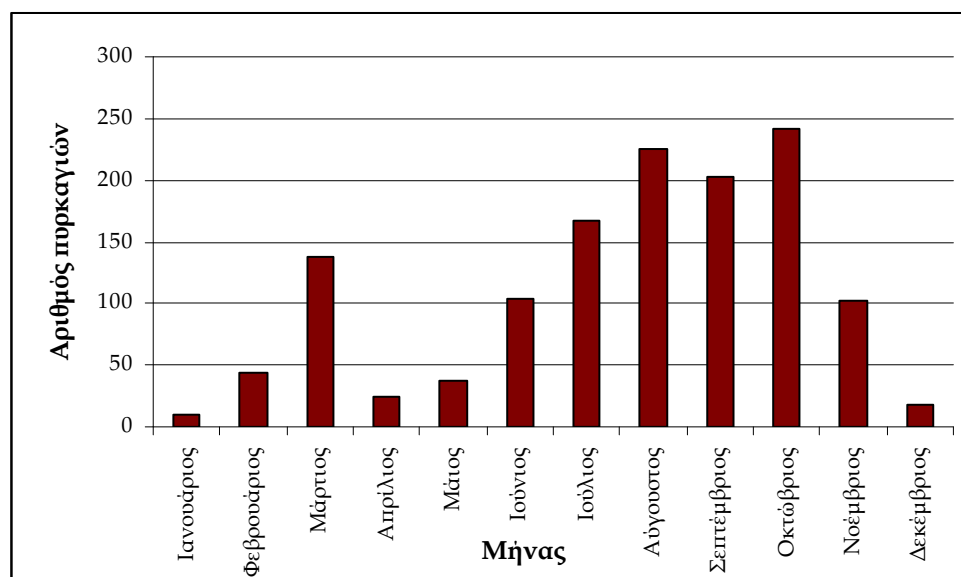
Σχήμα 4.8: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2000)

4.3.5 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2001

Το 2001 όπως και το 2000 ο αριθμός των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα παρέμεινε υψηλός (1313 πυρκαγιές) με μείωση ωστόσο της καιγόμενης έκτασης ανά πυρκαγιά. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά η συνολικά καμένη έκταση στα 167000 στρέμματα. Οι αυξημένες περίοδοι βροχόπτωσης ακόμα και κατά την καλοκαιρινή περίοδο συνέβαλαν στο γεγονός αυτό (European Communities, 2002).



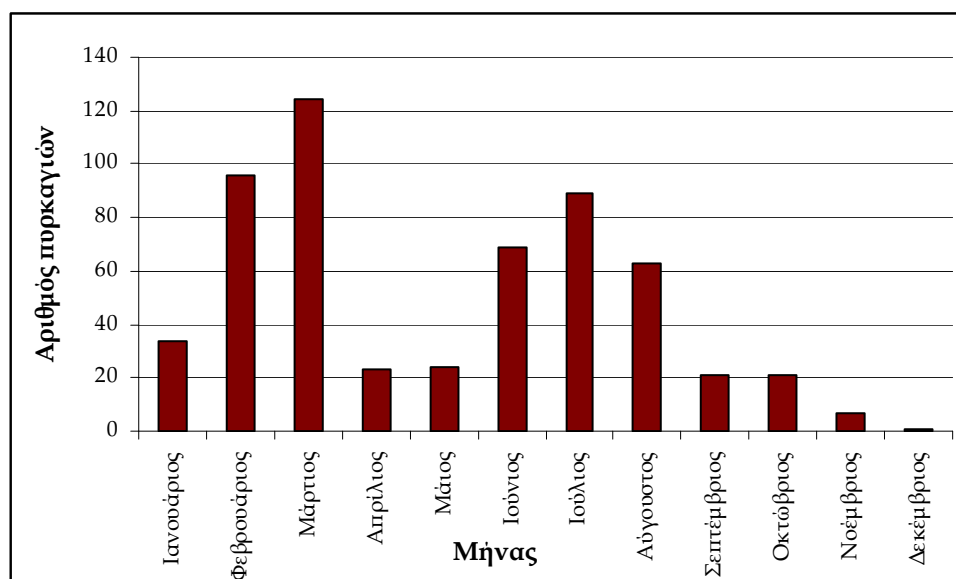
Σχήμα 4.9: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2001)



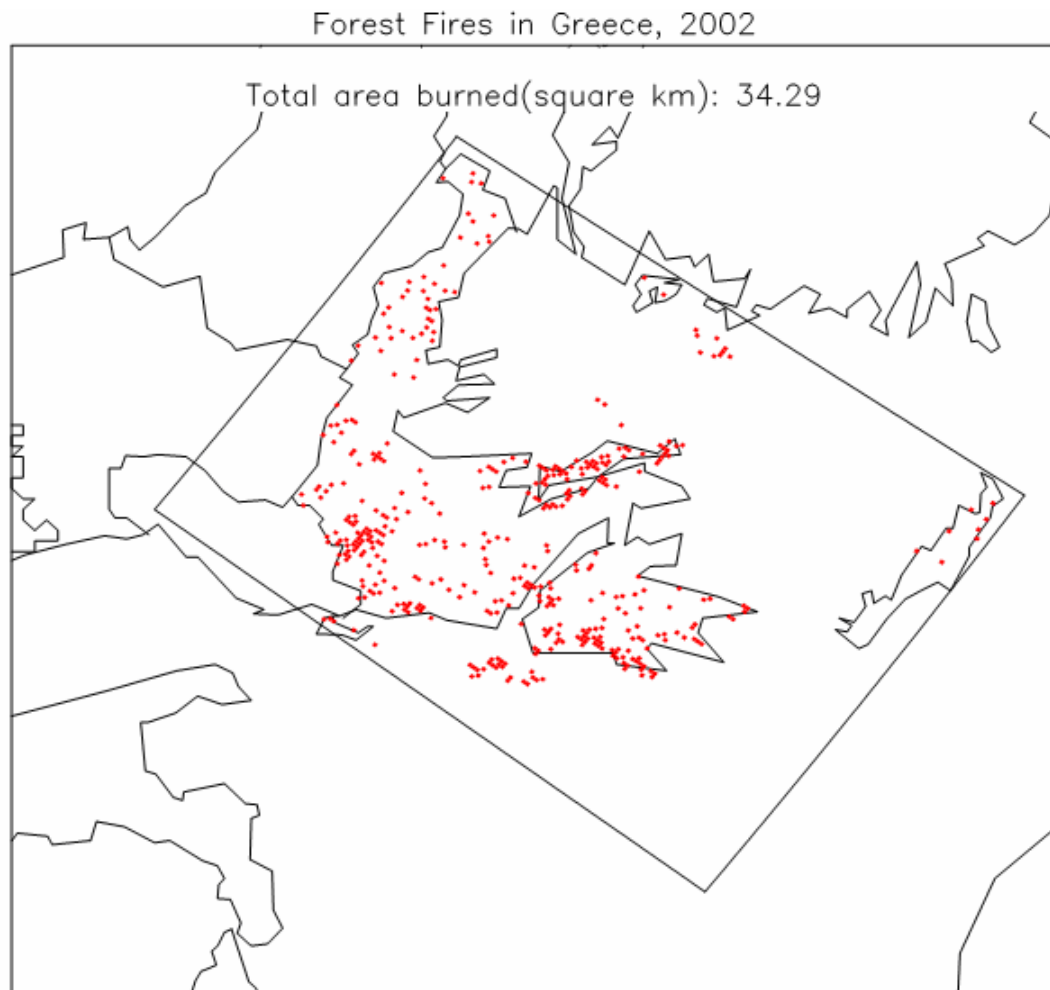
Σχήμα 4.10: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2001)

4.3.6 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2002

Το 2002 ο αριθμός των πυρκαγιών μειώθηκε και πάλι (572 πυρκαγιές) φτάνοντας περίπου τον αριθμό των πυρκαγιών που είχαν εκδηλωθεί το 1999. Αρκετές από τις πυρκαγιές συνέβησαν κατά τους χειμερινούς μήνες με αποτέλεσμα να μειωθεί η μέση καιγόμενη έκταση ανά πυρκαγιά λόγω των μη ευνοϊκών συνθηκών για την εξάπλωση των πυρκαγιών τους μήνες αυτούς. Έτσι, η συνολική καμένη έκταση έφτασε μόλις τα 34000 στρέμματα. Η καμένη έκταση από πυρκαγιές στην Ελλάδα αντιστοιχεί για το έτος 2002 μόλις στο 2% των συνολικών καμένων εκτάσεων σε όλη τη Νότια Ευρώπη το έτος αυτό. Μόλις μια φωτιά υπερέβη τα 5000 στρέμματα και το 83% των πυρκαγιών δεν ήταν μεγαλύτερες από 10 στρέμματα (European Communities, 2003). Η μείωση αυτή συνδέεται κυρίως με τις ιδιαίτερα ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες κατά την θερινή περίοδο αλλά και με μια μεγάλη καμπάνια ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών το έτος αυτό.



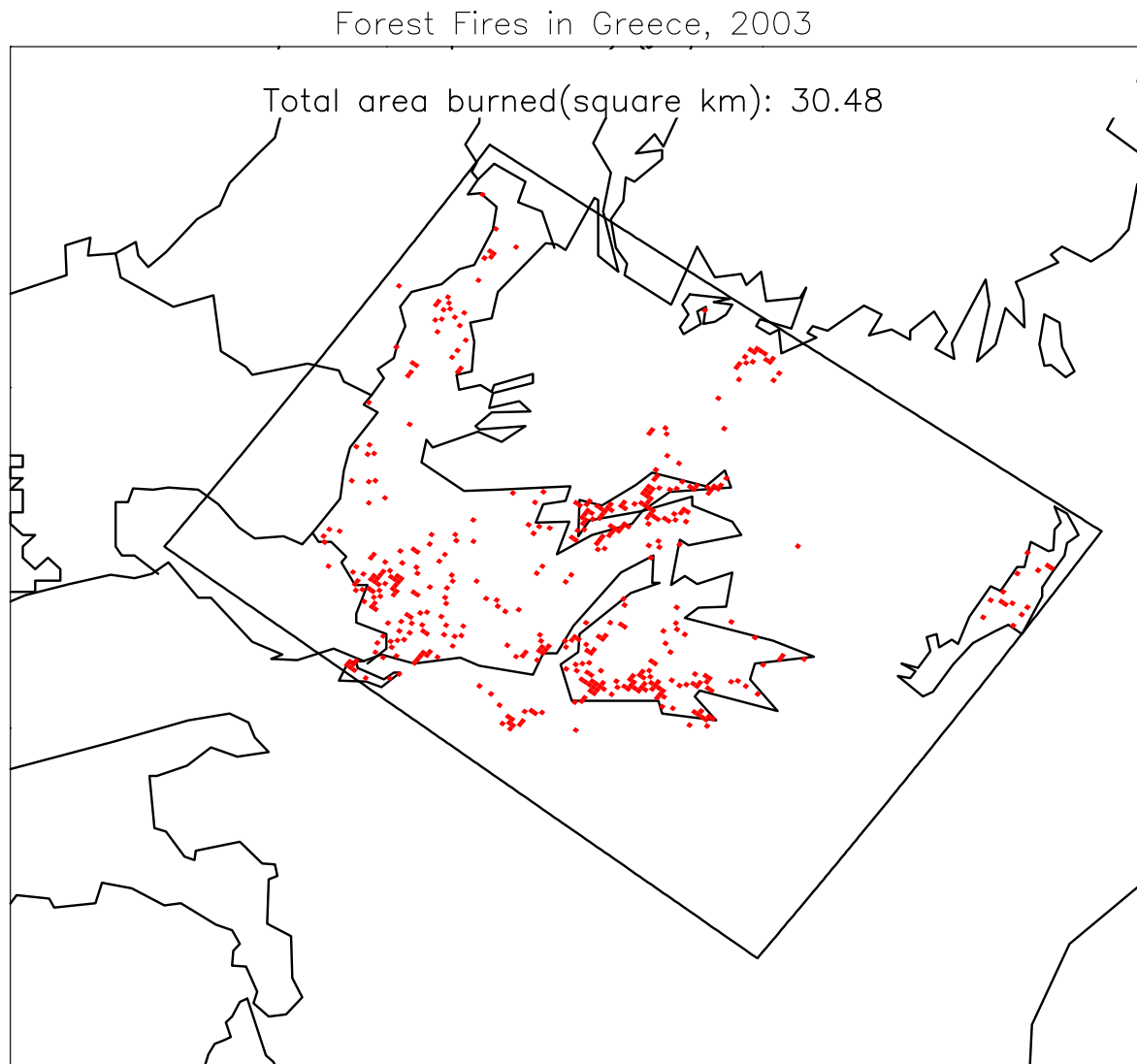
Σχήμα 4.11: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2002)



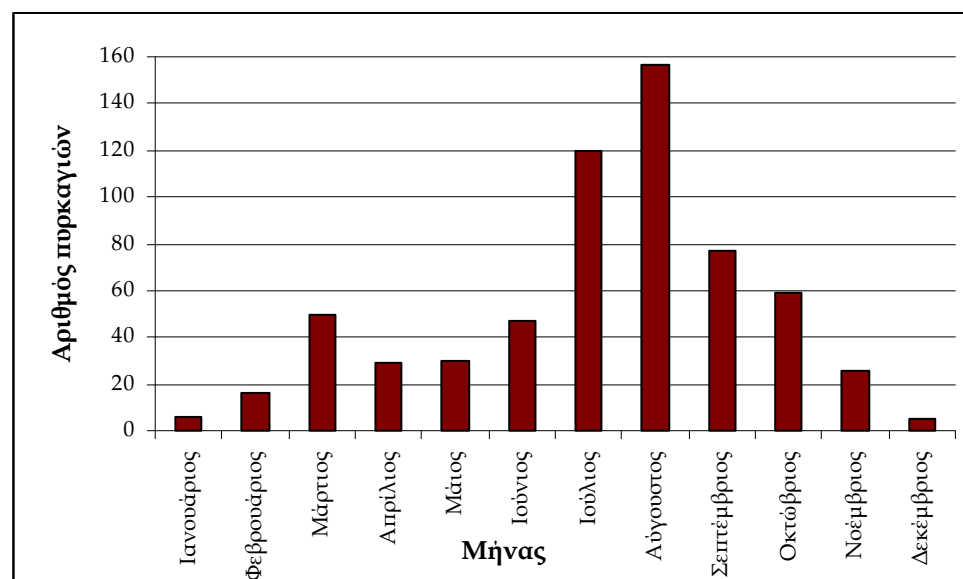
Σχήμα 4.12: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2002)

4.3.7 Πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο κατά το έτος 2003

Το 2003 παρά την μικρή αύξηση του αριθμού των δασικών πυρκαγιών (622 πυρκαγιές) η συνολική καμένη έκταση μειώθηκε στην χαμηλότερη τιμή της εξεταζόμενης επταετίας φτάνοντας τα 30000 στρέμματα περίπου. Χαρακτηριστικό είναι ότι καμία πυρκαγιά δεν εξαπλώθηκε σε έκταση μεγαλύτερη από 1000 στρέμματα ενώ σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες της Νότιας Ευρώπης, στην Ελλάδα εκδηλώθηκε ο μικρότερος αριθμός δασικών πυρκαγιών (European Communities, 2004)



Σχήμα 4.13: Δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα (2003)



Σχήμα 4.14: Αριθμός πυρκαγιών ανά μήνα (2003)

4.4 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ (1997-2003)

Ακολουθώντας την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3, έγινε μια εκτίμηση των συνολικών εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές κατά τα έτη 1997-2003. Αρχικά έγινε η αντιστοίχιση των τύπων οικοσυστημάτων σε αυτούς που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των εκπομπών. Στη συνέχεια εκτιμήθηκε η καμένη βιομάζα ανάλογα με το είδος της καιγόμενης βλάστησης για να υπολογιστούν έτσι οι εκπομπές των ρύπων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5 και αναφέρονται σε ετήσιες εκπομπές από όλη την έκταση της Ελλάδας.

Πίνακας 4.5: Εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές (1997-2003)

Έτος	Ενώσεις Άνθρακα (tn)				Ενώσεις αζώτου (tn)			Ενώσεις Θείου (tn)	Σωματίδια (tn)
	CO ₂	CO	CH ₄	NMHCs	NO ₂	NH ₃	N ₂ O	SO ₂	TSP
1997	1540239	110378	7569	9934	3784	851	189	757	8935
1998	2112486	151386	10381	13625	5190	1168	260	1038	12255
1999	144906	10384	712	935	356	80	18	71	841
2000	3456117	247674	16983	22291	8492	1911	425	1698	20050
2001	564454	40450	2774	3641	1387	312	69	277	3275
2002	110811	7941	545	715	272	61	14	54	643
2003	97428	6982	479	628	239	54	12	48	565

Χρησιμοποιώντας κάποιες τυπικές τιμές εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων στην Ελλάδα (πίνακας 4.6) (Αλεξανδροπούλου, 2002), μπορούμε να κάνουμε μια πρόχειρη εκτίμηση της συνεισφοράς των ρύπων που εκπέμπονται από δασικές πυρκαγιές στις ολικές εκπομπές στην Ελλάδα. Οι τυπικές τιμές εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων βασίζονται σε στοιχεία του EMEP (Vestreng et al., 2004, Vestreng and Klein, 2002). Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5 το έτος 2000 παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές σε σχέση με τα εξεταζόμενα έτη. Στον πίνακα 4.6 φαίνονται η συνεισφορά (ως τάξη μεγέθους μιας και δεν υπάρχουν διαθέσιμα ακριβή δεδομένα για το έτος 2000) των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις ολικές εκπομπές ρύπων στην Ελλάδα το 2000.

Πίνακας 4.6: Εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από πυρκαγιές (2000)

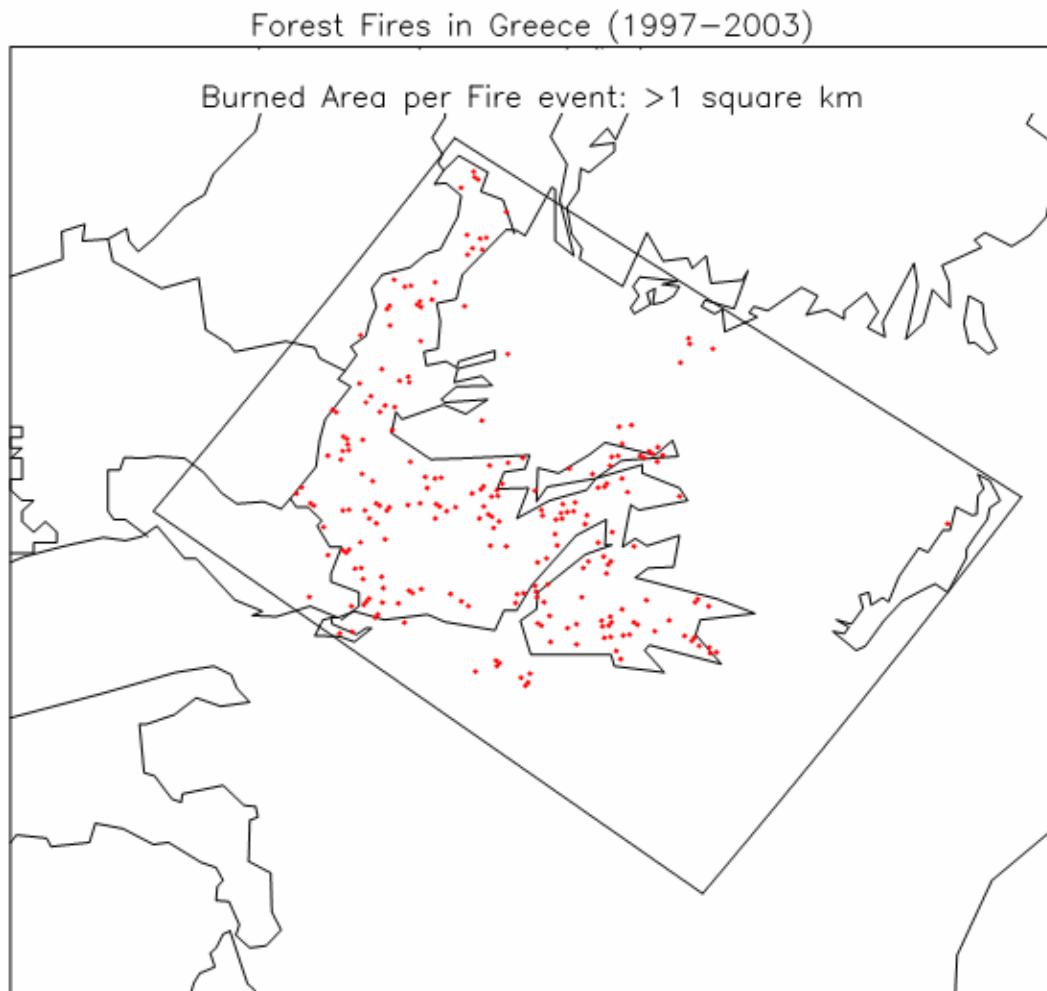
	Ολικές Εκπομπές (tn)	Δασικές πυρκαγιές (tn)	Ποσοστό (%)
CO ₂	107.598.920	3.456.117	3,2
CO	1.430.628	247.674	17,3
CH ₄	543.570	16.983	3,1
NMHCs	188.107	22.291	11,9
NO ₂	572.059	8.492	1,5
NH ₃	65.204	1.911	2,9
N ₂ O	46.750	425	0,9
SO ₂	625.110	1.698	0,3
TSP	90.689	20.050	22,1

Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην τροποσφαιρική χημεία κυρίως σε τοπικό επίπεδο μιας και πρόκειται για εστιασμένη χωρικά και χρονικά εκπομπή ρύπων.

4.5 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1997-2003

Κατά τα έτη 1997-2003 καταγράφηκαν συνολικά 7365 πυρκαγιές. Οι μεγαλύτερες από αυτές (με καμένη έκταση ανά πυρκαγιά μεγαλύτερη του 1 km²) παρουσιάζονται στο σχήμα 4.15. Αυτές οι 247 πυρκαγιές είναι διασκορπισμένες όπως φαίνεται στο σχήμα 4.15 σχεδόν σε όλη την έκταση της Ελλάδας. Όλες οι μεγάλες πυρκαγιές έχουν εκδηλωθεί κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιος – Σεπτέμβριος λόγω των ευνοϊκών συνθηκών για την εξάπλωση τους.

Από τα διαθέσιμα δεδομένα δεν μπορούμε να εντοπίσουμε κάποια τάση αύξησης ή μείωσης του αριθμού των δασικών πυρκαγιών ανά έτος. Οι μετεωρολογικές συνθήκες φαίνεται ότι επηρεάζουν έντονα τον αριθμό και το μέγεθος των πυρκαγιών.

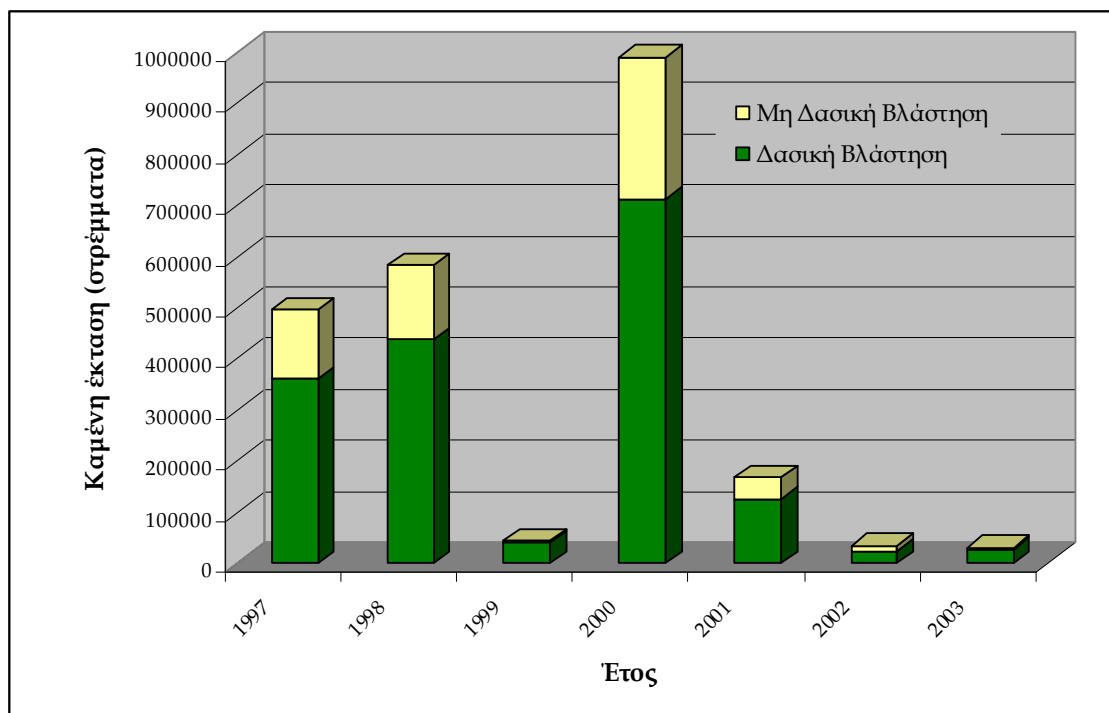


Σχήμα 4.15: Οι μεγαλύτερες πυρκαγιές της περιόδου 1997-2003

Οι εκτάσεις που καίγονται είναι κατά πλειοψηφία δασικές εκτάσεις με την ολική καμένη έκταση να ποικίλει ανάλογα με μετεωρολογικές και άλλες συνθήκες κάθε έτους.

Πίνακας 4.7: Καμένη έκταση ανά έτος

Έτος	Δασική έκταση (στρεμ)	Μη Δασική έκταση (στρεμ)	Σύνολο (στρεμ)
1997	362139	134019	496158
1998	438076	145750	583826
1999	39680	4211	43891
2000	713061	278647	991708
2001	126369	41321	167690
2002	23348	10945	34293
2003	26940	3538	30478



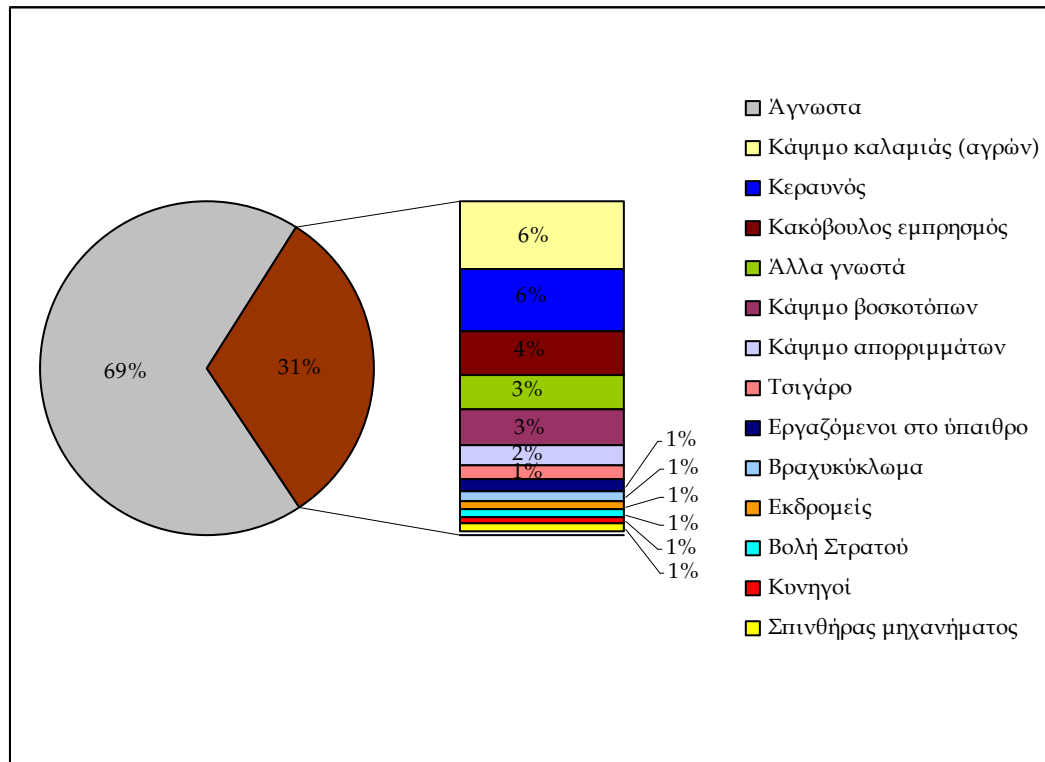
Σχήμα 4.16: Καμένη έκταση ανά έτος

Σημαντική παράμετρο αποτελεί επίσης και η μέση καιγόμενη έκταση ανά πυρκαγιά καθώς και η μέση διάρκεια της κάθε πυρκαγιάς (πίνακας 4.8). Οι παράμετροι αυτές έχουν να κάνουν τόσο με φυσικές συνθήκες όπως είναι η μετεωρολογία και το είδος – πυκνότητα της καιγόμενης βλάστησης όσο και με την ταχύτητα και αποτελεσματικότητα της πυρόσβεσης.

Πίνακας 4.8: Συνοπτικά στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα

Έτος	Αριθμός πυρκαγιών	Μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά (στρέμματα)	Μέση διάρκεια πυρκαγιάς (h)
1997	2271	218	15,62
1998	605	965	19,35
1999	513	86	10,28
2000	1469	675	24,13
2001	1313	128	16,55
2002	572	60	10,66
2003	622	49	14,21

Όσον αφορά στα αίτια των δασικών πυρκαγιών των ετών 1997- 2003 μόλις το 31% των αιτίων είναι γνωστό. Η πλειοψηφία των πυρκαγιών οφείλεται στην ανθρώπινη παρέμβαση μιας και μόλις το 6% οφείλεται σε φυσικά αίτια (σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17: Αίτια πρόκλησης δασικών πυρκαγιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ UAM-AERO

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο ατμοσφαιρικό μεσοσκοπικό μοντέλο UAM-AERO, το οποίο είναι ένα μοντέλο ποιότητας αέρα το οποίο σχεδιάστηκε για την προσομοίωση των ατμοσφαιρικών διεργασιών που διέπουν τα αιωρούμενα σωματίδια. Το μοντέλο προσομοιώνει την επίδραση των εκπομπών, της οριζόντιας και κατακόρυφης μεταφοράς και διασποράς, της ξηρής απόθεσης και των χημικών αντιδράσεων στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση των ρύπων. Το μοντέλο προβλέπει τις συγκεντρώσεις τόσο πρωτογενών όσο και δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων σε ωριαία βάση σε ένα μεσοσκοπικό πλέγμα. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια επέκταση του ευρέως χρησιμοποιούμενου φωτοχημικού μοντέλου, Urban Airshed Model (UAM), Version IV (SAI, 1990a,b,c,d,e). Το μοντέλο UAM-IV έχει βελτιωθεί έτσι ώστε να μπορεί να «χειρίζεται», εκτός από τους αέριους ρύπους μόνο, και τα αιωρούμενα σωματίδια και τις διεργασίες που τα διέπουν. Βασικό στοιχείο του UAM-AERO είναι ότι παρέχει ένα κοινό πλαίσιο στο οποίο μπορούν να διαπιστωθούν οι συσχετίσεις ανάμεσα σε όζον και αιωρούμενα σωματίδια με τις πρόδρομες ενώσεις τους.

Το μοντέλο αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων και τις εκπομπές σωματιδιακών και αέριων ρύπων που οδηγούν στο σχηματισμό δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων. Η ατμοσφαιρική χημεία του συνδυασμένου συστήματος αερίων-σωματιδίων περιλαμβάνει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό χημικών στοιχείων. Οι εκπομπές ρύπων που δέχεται το μοντέλο ως δεδομένα εισόδου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Δεδομένα εκπομπών ρύπων

Εκπομπές Αιωρούμενων Σωματιδίων	Εκπομπές Αερίων ρύπων
Στοιχειακός άνθρακας (EC)	Οξείδια του αζώτου
Οργανικός άνθρακας (OC)	Διοξείδιο του Θείου
Θειικά	Αμμώνιο
Νάτριο	Πτητικές οργανικές ενώσεις
Χλώριο	Μονοξείδιο του άνθρακα
Crustal material	Οξείδια του αζώτου

Το μοντέλο στη συνέχεια μπορεί να υπολογίσει τις συγκεντρώσεις και άλλων αιωρούμενων σωματιδίων όπως είναι τα νιτρικά, θειικά, παράγωγα του αμμωνίου, του νατρίου, του χλωρίου καθώς και του στοιχειακού και οργανικού άνθρακα, του νερού και άλλων σωματιδίων τα οποία δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις (Other).

Το μοντέλο UAM-AERO προσομοιώνει την κατανομή μεγεθών των σωματιδίων καθώς και την χημική τους σύσταση. Ο διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους είναι πολύ σημαντικός καθώς το μέγεθος τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις διαδικασίες που θα λάβουν χώρα. Σε αντίθεση με τα αέρια που θεωρείται ότι έχουν το ίδιο μέγεθος, τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια έχουν μέγεθος από 10^{-3} μm μέχρι και πάνω από 100 μm και οι κατανομές μεγεθών τους είναι συνήθως πολλαπλές (multimodal). Επιπλέον, τα σωματίδια μεγαλώνουν και μικραίνουν μέσω αρκετών φυσικών διαδικασιών και η προσομοίωση των δυναμικών αυτών διεργασιών είναι απαραίτητη για να καθοριστούν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Το μοντέλο UAM-AERO έχει σχεδιαστεί ώστε να εκτιμά τις συγκεντρώσεις των $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{10} και παρόλο που μπορεί να εφαρμοστεί θεωρώντας μόνο μια κατηγορία μεγέθους σωματιδίων (aerosol size section) ($\text{PM}_{2.5}$ ή PM_{10}) μπορεί γενικά να εφαρμοστεί και για 4 μέχρι 8 κατηγορίες μεγεθών κάτω από 10 μm και μια ή περισσότερες κατηγορίες μεγεθών πάνω από τα 10 μm για υδροσταγονίδια.

Οι διαδικασίες που χρησιμοποιεί το UAM-AERO για την προσομοίωση των αερίων ρύπων είναι παρόμοιες με αυτές του UAM. Οι βασικές διαφορές όσον αφορά στους αέριους ρύπους είναι οι εξής:

- Δυνατότητα επιλογής διαφορετικών μηχανισμών χημικής κινητικής των αερίων ενώσεων ανάμεσα στον SARPC90 και τον CBM-IV. Εφαρμογές του μοντέλου έχουν γίνει χρησιμοποιώντας και τους δυο μηχανισμούς (Carter, 1990 και Gery et al. 1988 αντίστοιχα) .
- Επίλυση των εξισώσεων της χημικής κινητικής των αερίων με μια μέθοδο implicit-explicit hybrid (IEH) που χρησιμοποιεί τον Livermore Solver for Ordinary Differential Equations (LSODE) για την εξασφάλιση λύσεων υψηλής ακρίβειας (Sun et al., 1994; Chock et al., 19994; Kumar et al., 1995).
- Προσομοίωση της παραγωγής θειικού οξέος από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου.
- Παραγωγή σωματιδιακών οργανικών ενώσεων από την οξείδωση αερίων οργανικών ενώσεων βάσει των αποδόσεων τους σε οργανικό αεροζόλ (organic aerosol yields) που αναφέρονται από τον Pandis et al., (1992).
- Υπολογισμός των ρυθμών αντιδράσεων των αερίων συστατικών από ωριαίες, τριδιάστατες τιμές θερμοκρασίας και συγκέντρωσης υδρατμών (ενώ στο UAM γινόταν χρήση δισδιάστατου πεδίου θερμοκρασιών)
- Χρήση βελτιωμένου αλγορίθμου για την ξηρή εναπόθεση των αερίων ρύπων (Wesely, 1989)

Η κύρια διαφορά ωστόσο του UAM-AERO από το UAM είναι ότι στο UAM-AERO συμπεριλαμβάνεται και προσομοίωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Το μοντέλο περιλαμβάνει πρόσθετους αλγορίθμους για την προσομοίωση φυσικών και χημικών διεργασιών που είναι σημαντικές για τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια. Τα επιπρόσθετα στοιχεία που περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι:

- Προσομοίωση των συγκεντρώσεων των αεροζόλ όλων των βασικών πρωτογενών και δευτερογενών συστατικών των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων συμπεριλαμβανομένου των σωματιδίων SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , H_2O και άλλων σωματιδίων.
- Μια προσέγγιση με τη χρήση τομέων για την περιγραφή της συνεχούς καμπύλης κατανομής μεγεθών των σωματιδίων που εκτείνεται από 0,01 μέχρι 10 μm για τα αεροζόλ και 0,01 μέχρι 30 μm όταν υπάρχουν υδροσταγονίδια. Οι τομείς αυτοί μπορούν να καθοριστούν από τον χρήστη. Το μοντέλο επίσης μπορεί να εφαρμοστεί με μια μόνο κατηγορία μεγεθών.

- Τα σωματίδια που βρίσκονται στην ίδια κατηγορία μεγεθών θεωρείται ότι έχουν την ίδια χημική σύσταση.
- Έχει ενσωματωθεί ένας αλγόριθμος για την προσομοίωση της μεταφοράς μάζας που λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε αέριους και σωματιδιακούς ρύπους κατά τα φαινόμενα της συμπύκνωσης, εξάτμισης και πυρηνοποίησης.
- Ενσωματώθηκε ο αλγόριθμος εξισορρόπησης SEQUILIB (Inorganic Multicomponent Atmospheric Aerosol Equilibrium Model) (Pilinis and Seinfeld, 1987 και Pandis, 1996), ο οποίος εξασφαλίζει τη σωστή ενσωμάτωση της παραγωγής ανόργανων αεροζόλ στο αρχικό μοντέλο UAM-IV.
- Υπορουτίνα που υπολογίζει εμπειρικά την επίδραση της ομίχλης στους ρυθμούς φωτολυτικών αντιδράσεων ανάμεσα στους αέριους ρύπους, την επίδραση των χημικών αντιδράσεων θεικών και νιτρικών που συμβαίνουν μέσα σε υδροσταγονίδια και την επίδραση της συμπύκνωσης και εξάτμισης στα υδροσταγονίδια στο μέγεθος των αεροζόλ.
- Ένας αλγόριθμος για την προσομοίωση της απόθεσης και της βαρυτικής καθίζησης των σωματιδίων διαφόρων μεγεθών.

5.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ UAM-AERO

5.2.1 Εισαγωγή

Το UAM-AERO είναι ένα τριοδιάστατο Eulerian μοντέλο που έχει σχεδιαστεί για να υπολογίζει τις συγκεντρώσεις χημικά αδρανών και ενεργών ρύπων προσομοιώνοντας τις φυσικές και χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα οι οποίες επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων. Η βάση για το UAM-AERO είναι η εξίσωση ατμοσφαιρικής διάχυσης. Η εξίσωση αυτή (εξ. 5.1) εκφράζει ένα ισοζύγιο μάζας στο οποίο εκφράζονται μαθηματικά οι σχετικές εκπομπές, η μεταφορά, η διάχυση, οι χημικές αντιδράσεις και οι διεργασίες απομάκρυνσης.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \frac{\partial(uc_i)}{\partial x} + \frac{\partial(vc_i)}{\partial y} + \frac{\partial(wc_i)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_V \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) + R_i + S_i + L_i$$

Όπου:

- c_i : Συγκέντρωση του ρύπου στο σημείο (x,y,z) και σε χρόνο t
 u,v,w : Οριζόντιες και κατακόρυφη συνιστώσα του ανέμου
 K_H, K_V : Οριζόντιος και κατακόρυφος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης
 R_i : Ρυθμός παραγωγής του ρύπου i
 S_i : Ρυθμός εκπομπής του ρύπου i
 L_i : Ρυθμός εναπόθεσης του ρύπου

Στην εξίσωση 5.1 ο όρος $\frac{\partial c_i}{\partial t}$ εκφράζει την μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου i στο χρόνο, ο όρος $\frac{\partial(u c_i)}{\partial x} + \frac{\partial(v c_i)}{\partial y} + \frac{\partial(w c_i)}{\partial z}$ εκφράζει τη μεταφορά του ρύπου i από τον άνεμο και ο όρος $\frac{\partial}{\partial x}(K_H \frac{\partial c_i}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_H \frac{\partial c_i}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_V \frac{\partial c_i}{\partial z})$ εκφράζει την επίδραση της τύρβης στη διάχυση των ρύπων.

Η εξίσωση ατμοσφαιρικής διάχυσης επιλύεται από το UAM-AERO με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων (μέθοδος πεπερασμένων διαφορών). Η μελετούμενη περιοχή καθορίζεται μέσω ενός τρισδιάστατου πλέγματος. Τα οριζόντια κελιά είναι ορθογώνια με σταθερές πλευρές κατά την x και y διεύθυνση. Το πάχος των κατακόρυφων στρωμάτων καθορίζεται βάσει του ύψους αναμίξεως, του άνω ορίου της περιοχής, του αριθμού των στρωμάτων που βρίσκονται πάνω και κάτω από το ύψος αναμίξεως και του ελάχιστου πάχους του κάθε στρώματος όπως ορίζονται από το χρήστη. Το πάχος του κάθε κατακόρυφου στρώματος μπορούν να μεταβάλλονται χωρικά και χρονικά.

Το UAM-AERO επιλύει την εξίσωση ατμοσφαιρικής διάχυσης χρησιμοποιώντας μικρά χρονικά βήματα. Σε κάθε χρονικό βήμα (της τάξης των 5min) οι όροι της εξίσωσης που εκφράζουν διαφορετικές ατμοσφαιρικές διεργασίες επιλύονται χωριστά σε αρκετά βήματα χρησιμοποιώντας την καταλληλότερη μέθοδο αριθμητικής ολοκλήρωσης για την κάθε διεργασία. Η σειρά με την οποία επιλύεται η εξίσωση είναι η εξής:

- Βήμα 1: Επίλυση διάχυσης-μεταφοράς κατά τη x (ανατολική-δυτική) διεύθυνση
- Βήμα 2: Επίλυση διάχυσης-μεταφοράς κατά τη y (βόρεια-νότια) διεύθυνση.

- Βήμα 3: Εισαγωγή εκπομπών των ρύπων και επίλυση κατακόρυφης μεταφοράς-διάχυσης.
- Βήμα 4: Εκτέλεση χημικών αντιδράσεων των ρύπων.

5.2.2 Μεταφορά ρύπων

Οι ρύποι μεταφέρονται κυρίως μέσω της κίνησης του αέρα. Η μεταφορά στο UAM-AERO προσομοιώνεται καθορίζοντας τα οριζόντια πεδία ταχυτήτων του ανέμου για κάθε κατακόρυφο στρώμα. Η κατακόρυφη συνιστώσα του ανέμου στο σύστημα συντεταγμένων του UAM-AERO (το οποίο ακολουθεί την τοπογραφία του εδάφους) μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση διατήρησης της μάζας. Ο άνεμος επομένως επηρεάζει το πώς οι ρύποι που εκπέμπονται αναμιγνύονται, μεταφέρονται και αραιώνονται. Οι προηγούμενες εκδόσεις του UAM χρησιμοποιούσαν τον αλγόριθμο “SHarp And Smooth Transport Algorithm” (SHASTA) για την επίλυση της εξίσωσης ατμοσφαιρικής διάχυσης. Από την δημιουργία όμως της πρώτης έκδοσης του UAM έχουν αναπτυχθεί καινούριοι αλγόριθμοι που μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς της μεταφοράς ρύπων. Έτσι, έχει εισαχθεί ένας βελτιωμένος αλγόριθμος για την προσομοίωση της οριζόντιας μεταφοράς ρύπων.

5.2.3 Τυρβώδης διάχυση

Στο UAM-AERO η διασπορά θεωρείται ότι είναι ανάλογη προς το ρυθμό της αλλαγής της συγκέντρωσης των ρύπων στο χώρο. Ο συντελεστής αναλογίας είναι ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης (K_x , K_y , K_z). Λόγω της δυσκολίας να υπάρξουν ακριβείς μετρήσεις των συντελεστών τυρβώδους διάχυσης, έχουν γίνει θεωρητικές εκτιμήσεις τους μέσω της κλάσης ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

5.2.4 Ατμοσφαιρική χημεία

Το μοντέλο UAM-AERO παρέχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ δύο χημικών μηχανισμών: του CBM-IV (Carbon Bond Mechanism – Version IV (Gery et al., 1988) και του SAPRC90 (Carter, 1990). Στην παρούσα εργασία, έχει χρησιμοποιηθεί ο χημικός μηχανισμός CBM-IV ο οποίος αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του μηχανισμού CBM-EX. Ο χημικός μηχανισμός CBM-EX βασίζεται σε μηχανιστικά, κινητικά και φωτολυτικά δεδομένα από τις μελέτες των Atkinson and Lloyd (1984) και Hampson et al. (1984). Η βελτίωση συνίσταται στην ελαχιστοποίηση της υπολογιστικής ισχύος που απαιτείται για την προσομοίωση των χημικών διεργασιών και επιτεύχθηκε μέσω των ακόλουθων διαδικασιών:

- Απαλοιφή αντιδράσεων και ενώσεων που διαδραματίζουν δευτερεύοντα ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας
- Δημιουργία και χρήση μιας γενικευμένης ρίζας υπεροξειδίου
- Μαθηματικοί και αλγεβρικοί χειρισμοί για τον περιορισμό του αριθμού των χημικών αντιδράσεων
- Ομαδοποίηση των δευτερευόντων προϊόντων

Ο χημικός μηχανισμός CBM-IV αποτελείται από 95 φωτοχημικές και χημικές αντιδράσεις (Πίνακας 5.2) και από 50 χημικά συστατικά (Πίνακας 5.3). Για την αριθμητική επίλυση του συστήματος πεπλεγμένων διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν το χημικό μηχανισμό χρησιμοποιείται, για την πλειοψηφία των συστατικών, η αριθμητική μέθοδος Crank-Nicholson. Για τα πολύ δραστικά συστατικά χρησιμοποιείται η μέθοδος Gear ενώ για τις ελεύθερες ρίζες που δεν αντιδρούν στον CBM-IV με άλλες ρίζες γίνεται η υπόθεση ότι οι συγκεντρώσεις τους είναι σχεδόν σταθερές.

Πίνακας 5.2: Χημικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται στον CBM-IV

α/α	Αντιδράσεις		Σταθερά ρυθμού στους 298 K (ppm ⁻ⁿ min ⁻¹)
(1)	NO ₂ + HV	→ NO + O	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(2)	O	→ O ₃	4,32E+06
(3)	O ₃ + NO	→ NO ₂	2,66E+01
(4)	O + NO ₂	→ NO	1,38E+04
(5)	O + NO ₂	→ NO ₃	2,31E+03
(6)	O + NO	→ NO ₂	2,44E+03
(7)	O ₃ + NO ₂	→ NO ₃	4,73E-02
(8)	O ₃ + HV	→ O	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(9)	O ₃ + HV	→ O1D	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(10)	O1D	→ O	4,25E+05
(11)	H ₂ O + O1D	→ 2 OH	3,26E+00
(12)	O ₃ + OH	→ HO ₂	1,00E+02
(13)	O ₃ + HO ₂	→ OH	3,00E+00
(14)	NO ₃ + HV	→ .89 NO ₂ + .89 O + .11 NO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(15)	NO ₃ + NO	→ 2 NO ₂	4,42E+04
(16)	NO ₃ + NO ₂	→ NO + NO ₂	5,90E-01
(17)	NO ₃ + NO ₂	→ N ₂ O ₅	1,85E+03
(18)	N ₂ O ₅ + H ₂ O	→ 2 HNO ₃	1,90E-06
(19)	N ₂ O ₅	→ NO ₃ + NO ₂	2,78E+00
(20)	NO + NO	→ 2 NO ₂	1,54E-04
(21)	NO + NO ₂ + H ₂ O	→ 2 HONO	3,00E-08
(22)	OH + NO	→ HONO	9,80E+03
(23)	HONO + HV	→ OH + NO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(24)	OH + HONO	→ NO ₂	9,77E+03
(25)	HONO +	→ NO + NO ₂	1,50E-05

α/α	Αντιδράσεις	Σταθερά ρυθμού στους 298 K (ppm ⁻ⁿ min ⁻¹)
	HONO	
(26)	OH + NO ₂ → HNO ₃	1,68E+04
(27)	OH + HNO ₃ → NO ₃	2,18E+02
(28)	HO ₂ + NO → OH + NO ₂	1,23E+04
(29)	HO ₂ + NO ₂ → PNA	0,00E+00
(30)	PNA → HO ₂ + NO ₂	0,00E+00
(31)	OH + PNA → NO ₂	0,00E+00
(32)	HO ₂ + HO ₂ → H ₂ O ₂	4,14E+03
(33)	HO ₂ + HO ₂ + H ₂ O → H ₂ O ₂	2,18E-01
(34)	H ₂ O ₂ + HV → 2 OH	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(35)	OH + H ₂ O ₂ → HO ₂	2,52E+03
(36)	OH + CO → HO ₂	3,22E+02
(37)	FORM + OH → HO ₂ + CO	1,50E+04
(38)	FORM + HV → 2 HO ₂ + CO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(39)	FORM + HV → CO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(40)	FORM + O → OH + HO ₂ + CO	2,37E+02
(41)	FORM + NO ₃ → HNO ₃ + HO ₂ + CO	9,30E-01
(42)	ALD2 + O → C2O3 + OH	6,36E+02
(43)	ALD2 + OH → C2O3	2,40E+04
(44)	ALD2 + NO ₃ → C2O3 + HNO ₃	3.70E+00
(45)	ALD2 + HV → XO2+2HO ₂ +CO+FORM	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(46)	C2O3 + NO → NO ₂ + XO2+FORM+ HO ₂	2,82E+04
(47)	C2O3 + NO ₂ → PAN	1,37E+04
(48)	PAN → C2O3 + NO ₂	2,54E-02
(49)	C2O3 + C2O3 → 2 XO2 + 2 FORM +2 HO ₂	3,70E+03
(50)	C2O3 + HO ₂ → .79 FORM + .79 XO2 + .79 HO ₂ + .79 OH	9,60E+03

α/α	Αντιδράσεις		Σταθερά ρυθμού στους 298 K (ppm ⁻ⁿ min ⁻¹)
(51)	OH	→ XO ₂ + FORM + HO ₂ + HO ₂	2,10E+01
(52)	PAR + OH	→ .87 XO ₂ + .13 XO ₂ N + .11 HO ₂ + .11 ALD ₂ + .76 ROR + -.11 PAR + 8 COC	1,20E+03
(53)	ROR	→ 1.1 ALD ₂ + .96 XO ₂ + .94 HO ₂ + -2.1 PAR + .04 XO ₂ N + .02 ROR	1,37E+05
(54)	ROR	→ HO ₂	9,55E+04
(55)	ROR + NO ₂	→	2,20E+04
(56)	O + OLE	→ .63 ALD ₂ + .38 HO ₂ + .28 XO ₂ + .3 CO + .2 FORM + .02 XO ₂ N + .22 PAR + .2 OH + 20 COC	5,92E+03
(57)	OH + OLE	→ FORM + ALD ₂ + XO ₂ + HO ₂ + -1 PAR + 20 COC	4,20E+04
(58)	O ₃ + OLE	→ .5 ALD ₂ + .74 FORM + .33 CO + .44 HO ₂ + .22 XO ₂ + .1 OH + -1 PAR + 20 COC	1,80E-02
(59)	NO ₃ + OLE	→ .91 XO ₂ + .09 XO ₂ N + FORM + ALD ₂ + -1 PAR + NO ₂ + 20 COC	1,14E+01
(60)	O + ETH	→ FORM + .7 XO ₂ + CO + 1.7 HO ₂ + .3 OH	1,08E+03
(61)	OH + ETH	→ XO ₂ + 1.56 FORM + HO ₂ + .22 ALD ₂	1,19E+04
(62)	O ₃ + ETH	→ FORM + .42 CO + .12 HO ₂ + .08 XO ₂ + .36 CRES + .44	2,70E-03
(63)	OH + TOL	→ HO ₂ + .56 TO ₂ + 402 COC	9,15E+03

α/α	Αντιδράσεις	Σταθερά ρυθμού στους 298 K (ppm ⁿ min ⁻¹)
(64)	TO ₂ + NO → .9 NO ₂ + .9 HO ₂ + .9 OPEN	1,20E+04
(65)	TO ₂ → CRES + HO ₂	2,50E+02
	.4 CRO + .6 XO ₂ + .6	
(66)	OH + CRES → HO ₂ + .3 OPEN + 221 COC	6,10E+04
(67)	NO ₃ + CRES → CRO + HNO ₃ + 221 COC	3,25E+04
(68)	CRO + NO ₂ →	2,00E+04
(69)	OPEN + HV → C ₂ O ₃ + HO ₂ + CO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
(70)	OPEN + OH → XO ₂ + 2 CO + 2 HO ₂ + C ₂ O ₃ + FORM	4,40E+04
	.03 ALD ₂ + .63 C ₂ O ₃ +	
(71)	OPEN + O ₃ → .7 FORM + .03 XO ₂ + .69 CO + .08 OH + .76 HO ₂ + .2 MGLY	1,50E-02
	.7 HO ₂ + .5 XO ₂ + .2	
(72)	OH + XYL → CRES + .8 MGLY + 1.1 PAR + .3 TO ₂ + 416 COC	3,62E+04
(73)	OH + MGLY → XO ₂ + C ₂ O ₃	2,60E+04
(74)	MGLY + HV → C ₂ O ₃ + HO ₂ + CO	Εξαρτ. από την ακτινοβολία
	.6 HO ₂ + .8 ALD ₂ + .55	
(75)	O + ISOP → OLE + .5 XO ₂ + .5 CO + .45 ETH + .9 PAR	2,70E+04
	XO ₂ + FORM + .67 HO ₂ + .13 XO ₂ N + ETH + .4	
(76)	OH + ISOP → MGLY + .2 C ₂ O ₃ + .2 ALD ₂	1,42E+05
	FORM + .4 ALD ₂ + .55	
(77)	O ₃ + ISOP → ETH + .2 MGLY + .1 PAR + .06 CO + .44 HO ₂ + .1 OH	1,80E-02

α/α	Αντιδράσεις		Σταθερά ρυθμού στους 298 K (ppm ⁿ min ⁻¹)
(78)	NO ₃ + ISOP	→ XO ₂ N	4,70E+02
(79)	XO ₂ + NO	→ NO ₂	1,20E+04
(80)	XO ₂ + XO ₂	→	2,00E+03
(81)	XO ₂ N + NO	→	1,20E+04
(82)	SO ₂ + OH	→ HO ₂ + SO ₄	1,11E+03
(83)	SO ₂	→ HSO ₄	Εξαρτ. από την υγρασία
(84)	SO ₂ + H ₂ O ₂	→ HSO ₄	Εξαρτ. από την υγρασία
(85)	XO ₂ + HO ₂	→	8,90E+03
(86)	XO ₂ N	→	2,00E+03
(87)	XO ₂ N + XO ₂	→	2,00E+03
(88)	XO ₂ N + HO ₂	→	8,90E+03
(89)	O + OLE2	→ .63 ALD2 + .38 HO ₂ + .28 XO ₂ + .3 CO + .2 FORM + .02 XO ₂ N + .22 PAR + .2 OH + 1236 COC	5,92E+03
(90)	OH + OLE2	→ FORM + ALD2 + XO ₂ + HO ₂ + -1 PAR + 1236 COC	4,20E+04
(91)	O ₃ + OLE2	→ .5 ALD2 + .74 FORM + .33 CO + .44 HO ₂ + .22 XO ₂ + .1 OH + -1 PAR + 1236 COC	1,80E-02
(92)	NO ₃ + OLE2	→ .91 XO ₂ + .09 XO ₂ N + FORM + ALD2 + -1 PAR + NO ₂ + 1236 COC	1,14E+01
(93)	MEOH + OH	→ FORM + HO ₂	1,60E+03
(94)	ETOH + OH	→ ALD2 + HO ₂	4,30E+03
(95)	MTBE + OH	→ 1.37 XO ₂ + .98 HO ₂ + .42 FORM + .97 PAR + .02 XO ₂ N	4,18E+03

Πίνακας 5.3: Χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στον CBM-IV

α/α	Χημική Ένωση	Περιγραφή
(1)	NO	Μονοξείδιο του αζώτου
(2)	NO ₂	Διοξείδιο του αζώτου
(3)	O ₃	Όζον
(4)	CO	Μονοξείδιο του άνθρακα
(5)	SO ₂	Διοξείδιο του θείου
(6)	NH ₃	Αμμωνία
(7)	HNO ₃	Νιτρικό οξύ
(8)	H ₂ O ₂	Υπεροξείδιο του υδρογόνου
(9)	NO ₃	Τριοξείδιο του αζώτου
(10)	N ₂ O ₅	Πεντοξείδιο του αζώτου
(11)	PAN	περοξυ-ακυλ-νιτρικά
(12)	HONO	Νιτρώδες οξύ
(13)	PNA	Υπερνιτρικό οξύ
(14)	CRES	Κρεσόλες
(15)	PAR	Δεσμός παραφίνης
(16)	ETH	Αιθένιο
(17)	OLE	Δεσμός ολεφίνης
(18)	OLE2	Μονοτερπένια με δεσμούς ολεφίνης
(19)	TOL	Τολουόλιο
(20)	XYL	Ξυλένιο
(21)	ISOP	Ισοπρένιο
(22)	FORM	Φορμαλδεϋδη
(23)	ALD2	Αλδεϋδη
(24)	MGLY	m-γλυοξάλη
(25)	MEOH	Μεθανόλη

(26)	ETOH	Αιθανόλη
(27)	MTBE	Μεθυλο- <i>t</i> -βουτυλο-αιθέρας
(28)	OPEN	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες ανοικτού δακτυλίου
(29)	COC	Συμπυκνώσιμες οργανικές ενώσεις (αέρια)
(30)	HSO ₄	Θεικό οξύ (αέριο)
(31)	HCL	Υδροχλωρικό οξύ
(32)	OH	Ρίζα υδροξύλιο
(33)	HO ₂	Υδροπεροξυ-ομάδα
(34)	C2O3	Υπεροξυ-ακετυλομάδα
(35)	XO ₂	Υπεροξυ-ομάδα μετατροπής των NO σε NO ₂
(36)	CRO	Υπεροξυ-ομάδα από την αντίδραση των CRES με OH
(37)	ROR	Αιθέρες
(38)	O	Άτομο οξυγόνου στη θεμελιώδη κατάσταση
(39)	O1D	Διεγερμένο άτομο οξυγόνου
(40)	TO ₂	Υπεροξυ-ομάδα
(41)	XO ₂ N	Τελεστής
(42)	H ₂ O	Νερό
(43)	SO ₄ =	Σωματίδια θείου
(44)	NH ₄ ⁺	Σωματίδια αμμωνίου
(45)	NO ₃ ⁻	Νιτρικά σωματίδια
(46)	EC	Σωματίδια στοιχειακού άνθρακα
(47)	OC	Σωματίδια οργανικής ύλης
(48)	NA ⁺	Σωματίδια νατρίου
(49)	CL-1	Σωματίδια χλωρίου
(50)	OTR	Λοιπά σωματίδια

5.2.5 Θερμοδυναμική των αεροζόλ

Οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις κατανέμονται ανάμεσα στην αέρια και σωματιδιακή φάση θεωρώντας ότι επιτυγχάνεται θερμοδυναμική ισορροπία σε χρονικές κλίμακες μικρότερες των 5-15 min. Μελέτες έδειξαν ότι σε περιπτώσεις πολύ πτητικών ενώσεων μπορεί να διαταραχθεί η ισορροπία αυτή όταν υπάρχουν συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων αεροζόλ (Wexler and Seinfeld, 1990). Η προσομοίωση όμως της μεταφοράς μάζας ανάμεσα στην σωματιδιακή και αέρια φάση αυξάνει σημαντικά την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ (Wexler et al., 1994) και έτσι κρίθηκε πιο πρακτικό να θεωρηθεί ότι ισχύουν συνθήκες ισορροπίας.

Για τον υπολογισμό των ολικών ποσοτήτων των ανόργανων σωματιδίων και του υδατικού περιεχομένου τους γίνεται χρήση του μοντέλου SEQUILIB (Inorganic Multicomponent Atmospheric Aerosol Equilibrium Model) (Pilinis and Seinfeld, 1987) στο οποίο έχουν γίνει κάποιες βελτιώσεις (Pandis, 1996). Το μοντέλο χρησιμοποιώντας τις σχέσεις του πίνακα 5.5, υπολογίζει τις συγκεντρώσεις των ενώσεων του πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Ενώσεις που χρησιμοποιούνται στο SEQUILIB

Αέρια	Υγρά	Στερεά
NH ₃ HCl HNO ₃ H ₂ O	H ₂ O	Na ₂ SO ₄
	NH ₄	NaHSO ₄
	SO ₄	NaCl
	NO ₃	NaNO ₃
	H ⁺	NH ₄ Cl
	Na ⁺	NH ₄ NO ₃
	Cl ⁻	(NH ₄) ₂ SO ₄
	HSO ₄ ⁻	NH ₄ HSO ₄
	H ₂ SO ₄	(NH ₄) ₃ H(SO ₄) ₂

Πίνακας 5.5: Αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται από το SEQUILIB

α/α	<u>Αντιδράσεις</u>		
(1)	$\text{NaCl(s)} + \text{HNO}_3\text{(g)}$	\leftrightarrow	$\text{NaNO}_3\text{(s)} + \text{HCl(s)}$
(2)	$\text{NH}_3\text{(g)} + \text{HNO}_3\text{(g)}$	\leftrightarrow	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$
(3)	HCl(g)	\leftrightarrow	$\text{H}^+ + \text{Cl}^-$
(4)	$\text{NH}_3\text{(g)} + \text{HCl(g)}$	\leftrightarrow	$\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$
(5)	$\text{Na}_2\text{SO}_4\text{(s)}$	\leftrightarrow	$2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
(6)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{(s)}$	\leftrightarrow	$2\text{NH}_4^+ + \text{SO}_4^{2-}$
(7)	HSO_4^-	\leftrightarrow	$\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
(8)	$\text{HNO}_3\text{(g)}$	\leftrightarrow	$\text{H}^+ + \text{NO}_3^-$
(9)	$\text{NH}_4\text{Cl(s)}$	\leftrightarrow	$\text{NH}_3\text{(g)} + \text{HCl(g)}$
(10)	$\text{NH}_3\text{(g)} + \text{HNO}_3\text{(g)}$	\leftrightarrow	$\text{NH}_4\text{NO}_3\text{(s)}$
(11)	$\text{NaNO}_3\text{(s)}$	\leftrightarrow	$\text{Na}^+ + \text{NO}_3^-$
(12)	NaCl(s)	\leftrightarrow	$\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
(13)	$\text{NaHSO}_4\text{(s)}$	\leftrightarrow	$\text{Na}^+ + \text{HSO}_4^-$

Θερμοδυναμική ισορροπία θεωρείται ότι ισχύει και για τα οργανικά συστατικά. Όταν η συγκέντρωση των ατμών υπερβαίνει την τάση ατμών τους λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της συμπύκνωσης. Υπό συνθήκες υπό-κορεσμού της αέριας φάσης λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της εξάτμισης. Το μοντέλο UAM-AERO θεωρεί ότι η τάση ατμών είναι 0.1 ppt (Pandis et al., 1992a) το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη θεώρηση του συνόλου σχεδόν του οργανικού υλικού σε φάση αεροζόλ λόγω της πολύ χαμηλής τιμής της τάσης ατμών.

Λόγω των μεγάλων αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στις φυσικές και χημικές διεργασίες των δευτερογενών οργανικών συστατικών, δεν γίνονται υπολογισμοί της ποσότητας του νερού που απορροφάται ή αποβάλλεται από τα οργανικά σωματίδια (STI, 12/1996).

5.2.6 Προσομοίωση της κατανομής μεγεθών των αεροζόλ

Το μοντέλο UAM-AERO μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες κλάσεις μεγεθών των σωματιδίων. Η τυπική κλίμακα μεγέθους που χρησιμοποιεί το μοντέλο φαίνεται στον πίνακα 5.6. Η κλίμακα αυτή είναι λογαριθμική αλλά μπορούν να εισαχθούν οποιεσδήποτε τιμές από τον χρήστη. Το μοντέλο θεωρεί ότι σε κάθε κατηγορία μεγεθών τα σωματίδια έχουν το ίδιο μέγεθος και την ίδια χημική σύσταση (Gelbard et al., 1980; Seigneur et al., 1986)

Πίνακας 5.6: Κατηγορίες μεγέθους των σωματιδίων

α/α	Διάμετροι UAM-AERO
1	$D_p \leq 0.08$
2	$0.08 < D_p \leq 0.16$
3	$0.16 < D_p \leq 0.31$
4	$0.31 < D_p \leq 0.62$
5	$0.62 < D_p \leq 1.25$
6	$1.25 < D_p \leq 2.50$
7	$2.50 < D_p \leq 5.00$
8	$5.00 < D_p \leq 10.0$
9	$10.0 < D_p \leq 30.0$

Ο αριθμός των σωματιδίων σε κάθε κατηγορία μεγεθών θεωρείται σταθερός κατά τα φαινόμενα της συμπύκνωσης και εξάτμισης και οι αλλαγές στη μάζα εξαιτίας αυτών των φαινομένων προκαλούν μεταβολές στο μέγεθος των σωματιδίων. Ωστόσο, επειδή τα τρισδιάστατα μοντέλα ποιότητας αέρα απαιτούν σταθερές κατηγορίες μεγεθών σωματιδίων, η μάζα στη νέα κατανομή μεγεθών που δημιουργείται ανακατανέμεται στην αρχική κατανομή χωρίς να αναιρείται η διατήρηση της μάζας.

Η ολική ποσότητα μεταφερόμενου υλικού σε μία κατηγορία μεγέθους είναι ανάλογη του αριθμού των σωματιδίων που υπάρχουν στην κατηγορία αυτή και του ρυθμού συμπύκνωσης/ εξάτμισης για την περίπτωση ενός σωματιδίου:

$$f = \frac{\frac{2n\pi D_p D_i (C_{ai} - C_{ei})}{\beta + 1}}{\int_0^\infty \frac{2n\pi D_p D_i (C_{ai} - C_{ei})}{\beta + 1} dD_p} \quad (\text{εξ. 5.2})$$

Όπου:

D_p : η διάμετρος του σωματιδίου

D_i : η μοριακή διαχυτότητα (diffusivity) του συστατικού i που υφίσταται συμπύκνωση ή εξάτμιση

n : ο αριθμός των σωματιδίων στη συγκεκριμένη κατηγορία μεγέθους

C_{ai} : ατμοσφαιρική συγκέντρωση του σωματιδίου

C_{ei} : επιφανειακή συγκέντρωση ισορροπίας του σωματιδίου

Το β δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{2\lambda}{\alpha D_p} \quad (\text{εξ. 5.3})$$

Όπου:

α : συντελεστής συμπύκνωσης

λ : μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων στον αέρα

Ο συντελεστής συμπύκνωσης, γενικά, κυμαίνεται από 1 (για συμπύκνωση υδρατμών) έως 10^{-4} . Στο UAM-AERO λαμβάνεται ίσος με 1 (Pandis et al., 1993).

Για τον υπολογισμό της κατανομής μεγεθών των συστατικών που υφίστανται συμπύκνωση, το μοντέλο πρώτα υπολογίζει τις συγκεντρώσεις (στην αέρια φάση) των συστατικών εκείνων που προέρχονται από χημικές αντιδράσεις. Για τα ανόργανα συστατικά, οι συγκεντρώσεις ισορροπίας υπολογίζονται από την SEQUILIB. Οι ποσότητες που συμπυκνώνονται ή εξατμίζονται κατανέμονται ανάμεσα στις κατηγορίες μεγεθών σωματιδίων διατηρώντας την ισχύ της εξίσωσης 5.2. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση ή σμίκρυνση κάποιων κατηγοριών μεγεθών. Η μάζα όμως στη νέα κατανομή μεγεθών ανακατανέμεται στην αρχική μέσω μιας διαδικασίας παρεμβολής η οποία εξασφαλίζει τη διατήρηση της μάζας. Σε περιπτώσεις γρήγορων μεταβολών της υγρασίας, η μεταφορά ανάμεσα σε αέρια και σωματιδιακή

φάση γίνεται σε μικρά χρονικά βήματα για να είναι εξασφαλισμένη η ομαλή μεταβολή της κλίμακας μεγεθών.

5.2.7 Επίδραση της ομίχλης

Η ομίχλη μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους στην ατμόσφαιρα (Munger et al., 1983; Waldman, 1986; Jacob et al., 1984, 1987; Pandis and Seinfeld, 1989; Pandis et al., 1992b). Η ομίχλη απορροφά διαλυτά αέρια με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.3 μm , όπως το νιτρικό οξύ, το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα (STI (12/1996)). Τα σταγονίδια της ομίχλης μεγαλώνουν απορροφώντας νερό και ρύπους και αποκτούν έτσι μεγέθη αρκετά μεγάλα ώστε να λαμβάνει χώρα η εναπόθεση τους (υγρή εναπόθεση) γρηγορότερα σε σχέση με την εναπόθεση χωρίς την ύπαρξη ομίχλης. Μια ακόμα σημαντική επίδραση της ομίχλης είναι η παραγωγή σωματιδίων, ειδικά θεικών αεροζόλ, μέσω αντιδράσεων υγρής φάσης (STI (12/1996)).

Η ομίχλη στην ατμόσφαιρα, επίσης, μεταβάλλει την κατακόρυφη κατανομή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός το οποίο επηρεάζει τους ρυθμούς των φωτολυτικών αντιδράσεων. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται μέσα στο στρώμα της ομίχλης και ενισχύεται πάνω από αυτό.

Η επίδραση της ομίχλης στις συγκεντρώσεις των ρύπων προσομοιώνεται στο UAM-AERO μέσω ενός εμπειρικού μοντέλου. Χρησιμοποιούνται ωριαίοι δείκτες για την ομίχλη (1: μηδενική ομίχλη, 2: αραιό στρώμα ομίχλης, 3: πυκνή ομίχλη). Στην περίπτωση ύπαρξης ομίχλης το μοντέλο επιτρέπει στα σωματίδια να πάρουν μεγαλύτερα μεγέθη ($>10\mu\text{m}$). Η αύξηση ή μείωση του μεγέθους των σωματιδίων εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που μεταφέρεται από και προς τα αεροζόλ όπως προκύπτει από την SEQUILIB για συγκεκριμένη σχετική υγρασία, θερμοκρασία και χημική σύσταση των σωματιδίων. Για το λόγο αυτό απαιτείται η ύπαρξη μιας κατηγορίας μεγεθών διαμέτρου μεγαλύτερης των 10 μm στην περίπτωση ύπαρξης ομίχλης. Όλες οι διεργασίες υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση όπου δεν υπήρχε ομίχλη αλλά τώρα το μέγεθος των σωματιδίων είναι μεγαλύτερο.

Στην περίπτωση ύπαρξης ομίχλης και σχετικής υγρασίας μεγαλύτερης από 80% λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις παραγωγής H_2SO_4 από SO_2 . Επίσης ο ρυθμός της υδρόλυσης του N_2O_5 αυξάνεται μέχρι και 50 φορές σε συνθήκες ομίχλης. Τέλος, η

ύπαρξη ομίχλης μειώνει τους ρυθμούς όλων των φωτολυτικών αντιδράσεων μέσα στο στρώμα της ομίχλης ενώ τους αυξάνει πάνω από αυτό (Πίνακας 5.7).

Πίνακας 5.7: Επίδραση της ομίχλης

Χημικές αντιδράσεις	Μηδενική ομίχλη	Αραιό στρώμα ομίχλης & RH>70%	Πυκνή ομίχλη
$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})$	$k=0$ (όλα τα στρώματα)	$k=0.05\text{ppm}^{-1}\text{min}^{-1}$ (στρώματα 1-2) $k=0$ (στρώματα 3-5)	$k=5\text{ppm}^{-1}\text{min}^{-1}$ (στρώματα 1-2) $k=0$ (στρώματα 3-5)
$\text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})$	$k=0$ (όλα τα στρώματα)	$k=0.00033\text{min}^{-1}$ (στρώματα 1-2) $k=0$ (στρώματα 3-5)	$k=0.00167\text{min}^{-1}$ (στρώματα 1-2) $k=0$ (στρώματα 3-5)
$\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{g})$	$k=\text{Original}$ (όλα τα στρώματα)	$k=5 \times \text{Original}$ (στρώματα 1-2) $k=\text{Original}$ (στρώματα 3-5)	$k=50 \times \text{Original}$ (στρώματα 1-2) $k=\text{Original}$ (στρώματα 3-5)
Φωτολυτικές αντιδράσεις	Original (όλα τα στρώματα)	Original (όλα τα στρώματα)	$0.7 \times \text{Original}$ (στρώματα 1-2) $1.3 \times \text{Original}$ (στρώματα 3-5)

Οι ρυθμοί που δίνονται στον πίνακα 5.7 είναι εμπειρικοί και σε γενικές γραμμές είναι αντιπροσωπευτικοί για τις περισσότερες εφαρμογές. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαραίτητες κάποιες προσαρμογές τους. Για παράδειγμα, οι αντιδράσεις παραγωγής H_2SO_4 θα έχουν μικρότερους ρυθμούς κατά τη χειμερινή περίοδο λόγω της μειωμένης παρουσίας οξειδωτικών στην ατμόσφαιρα κατά την εποχή αυτή.

5.2.8 Ξηρή εναπόθεση

Η ξηρή εναπόθεση στο UAM-AERO θεωρείται βασική διεργασία απομάκρυνσης ρύπων από την ατμόσφαιρα τόσο για τους αέριους ρύπους όσο και για τα σωματίδια. Η ταχύτητα εναπόθεσης (v_d) ορίζεται από τη σχέση 5.4.

$$v_d = \frac{1}{r_T} = -\frac{F_c}{C_z} \quad (\text{εξ. 5.4})$$

Όπου:

- r_T : η ολική αντίσταση (s/m) στην μεταφορά μάζας στην επιφάνεια
- F_c : η ροή μάζας προς το έδαφος ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$)
- C_z : η συγκέντρωση του ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε ύψος z

Ο βελτιωμένος αλγόριθμος ξηρής εναπόθεσης του UAM-AERO (σε σχέση με αυτόν του UAM-IV) απαιτεί κάποιες πρόσθετες πληροφορίες όπως οι χρήσεις γης σε κάθε πλεγματικό σημείο της εξεταζόμενης περιοχής και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, χρησιμοποιεί δεδομένα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, επιφανειακής τραχύτητας, ταχύτητας του ανέμου και ατμοσφαιρικής ευστάθειας.

5.2.8.1 Ξηρή εναπόθεση σωματιδίων

Η ξηρή εναπόθεση σωματιδίων μπορεί να προκύψει λόγω διάχυσης, πρόσκρουσης στο έδαφος, ή βαρυτικής καθίζησης. Ο κυρίαρχος μηχανισμός εναπόθεσης σωματιδίων διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Στο UAM-AERO, η ξηρή εναπόθεση σωματιδίων υπολογίζεται από την σχέση 5.5 (Slinn and Slinn, 1980)

$$v_d^i = \frac{1}{r_a + r_d^i + r_a \cdot r_d^i \cdot v_g} + v_g^i \quad (\text{εξ. 5.5})$$

Όπου:

- v_d^i : Ταχύτητα εναπόθεσης (m/s) σωματιδίων της i κατηγορίας μεγεθών

r_a : Αεροδυναμική αντίσταση (s/m)

r_d^i : Αντίσταση εναπόθεσης (s/m) σωματιδίων της i κατηγορίας μεγεθών

v_g^i : Ταχύτητα βαρυτικής καθίζησης (m/s) σωματιδίων της i κατηγορίας μεγεθών

Η διάχυση σωματιδίων στο στρώμα αέρα πάνω από το έδαφος γίνεται κυρίως λόγω της κίνησης Brown και της πρόσκρουσης στο έδαφος. Τα σωματίδια που μεταφέρονται μέσα σε αυτό το στρώμα θεωρείται ότι μένουν στην επιφάνεια (Voldner et al., 1986). Η αντίσταση στη διάχυση στο στρώμα αυτό (r_d) ποσοτικοποιείται μέσω των αριθμών Schmidt και Stokes. Η αντίσταση στην εναπόθεση στο επιφανειακό στρώμα δίνεται από τις σχέσεις 5.6- 5.8.

$$r_d^i = \frac{1}{u \cdot \left(S_c^{-\frac{2}{3}} + 10^{-\frac{3}{S_t}} \right)} \quad (\text{εξ. 5.6})$$

$$S_c = \frac{v}{D} \quad (\text{Αριθμός Schmidt}) \quad (\text{εξ. 5.7})$$

$$S_t = \frac{v_g^i \cdot u_*^2}{\nu g} \quad (\text{Αριθμός Stokes}) \quad (\text{εξ. 5.8})$$

Όπου:

v : ιξώδες του αέρα

D : Διάχυτοτητα Brown

v_g^i : Ταχύτητα βαρυτικής καθίζησης της i κατηγορίας μεγεθών

u_* : ταχύτητα τριβής

Η ταχύτητα βαρυτικής καθίζησης υπολογίζεται από τις σχέσεις 5.9-5.10 (STI (12/1996)).

$$v_g = \frac{D_p^2 g C \cdot (\rho_p - \rho_g)}{18 \nu} \quad (\text{εξ. 5.9})$$

$$C = 1 + \frac{2\lambda}{D_p} \left[1.257 + 0.4 \exp\left(\frac{-0.55D_p}{\lambda}\right) \right] \quad (\text{εξ. 5.10})$$

Όπου:

- D_p : Μέση διάμετρος σωματιδίων (m) της κατηγορίας μεγεθών
- ρ_p : Πυκνότητα σωματιδίων (g/m³)
- ρ_g : Πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα (g/m³)
- g : Επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)
- C : Συντελεστής διόρθωσης Cunningham για μικρά σωματίδια
- λ : Μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων του αέρα (m)
- ν : Ιξώδες του αέρα (g/m-s)

Η εναπόθεση στο επιφανειακό στρώμα το οποίο βρίσκεται στα πρώτα 10 -20 m από το έδαφος είναι συνάρτηση της ατμοσφαιρικής τύρβης και των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Η αεροδυναμική αντίσταση (r_a) είναι η ίδια για αέρια και σωματίδια και υπολογίζεται από τη εξίσωση 5.11 (STI (12/1996), Seinfeld et al. (1998)):

$$r_a = \frac{1}{ku_*} \left[\ln\left(\frac{z_s}{z_o}\right) - \phi_H(L, z_s) \right] \quad (\text{εξ. 5.11})$$

Όπου:

- z_s : ύψος αναφοράς (m)
- z_o : μήκος τραχύτητας (m)
- k : σταθερά von Karman (=0.4)
- $\phi_H(L, z_s)$: διορθωτική παράμετρος για την ατμοσφαιρική ευστάθεια
- L : μήκος Monin- Obukhov (m)

Στο UAM-AERO, όλες οι ταχύτητες εναπόθεσης των σωματιδίων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας μεγεθών υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη γεωμετρική μέση διάμετρο μάζας για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης.

5.2.8.2 Ξηρή εναπόθεση αερίων ρύπων

Σε αντίθεση με τα σωματίδια, η ξηρή εναπόθεση των αερίων ρύπων δεν εξαρτάται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες και την επιφανειακή τραχύτητα αλλά και από τη φύση και κατάσταση της επιφάνειας και την χημική φύση του ρύπου. Η εναπόθεση των αερίων εκφράζεται με την εξίσωση 5.12.

$$v_g^i = \frac{1}{r_a + r_d^i + r_s^i} \quad (\text{εξ. 5.12})$$

Η αεροδυναμική αντίσταση (r_a) είναι η αντίσταση στη μεταφορά μάζας από ένα ύψος αναφοράς z στο επιφανειακό στρώμα και υπολογίζεται από τη σχέση 5.11.

Η αντίσταση στην εναπόθεση στο επιφανειακό στρώμα (r_d^i) είναι η αντίσταση στη μεταφορά μάζας μέσα στο επιφανειακό στρώμα και εξαρτάται από τον αριθμό Schmidt και την ταχύτητα τριβής όπως φαίνεται στην εξίσωση 5.13:

$$r_d^i = \frac{5(Sc_i)^{0.67}}{u_*} \quad (\text{εξ. 5.13})$$

Η επιφανειακή αντίσταση (r_s^i) εκφράζει την συνολική αντίσταση στην απόθεση ενός ρύπου στην επιφάνεια. Η αντίσταση αυτή είναι αρκετά πολύπλοκη στην περιγραφή της και υπάρχουν πολλές διαθέσιμες προσεγγίσεις (Wesely, 1989; Scire et al., 1990; Hicks et al., 1987; Russell et al., 1993; Gray et al., 1991). Η προσέγγιση που χρησιμοποιεί το UAM-AERO βασίζεται στην μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τον Wesely (1989) επειδή μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήθος ρύπων, χρήσεων γης και εποχών. Η επιφανειακή αντίσταση εξαρτάται έντονα από την επιφάνεια στην οποία θα γίνει η απόθεση και συγκεκριμένα στην ύπαρξη ή όχι νερού στην επιφάνεια αυτή. Για το λόγο αυτό έχει εισαχθεί διαφορετική προσέγγιση (Sehmel, 1980) για την εναπόθεση αερίων ρύπων πάνω σε υγρή επιφάνεια όπου η επιφανειακή αντίσταση δίνεται από τη σχέση 5.14:

$$r_s^i = \frac{1}{3.94 \cdot 10^{-5} H_i^* T u_*} \quad (\text{εξ. 5.14})$$

Όπου:

H_i^* : Σταθερά του νόμου του Henry (M/atm)

T : Θερμοκρασία του επιφανειακού στρώματος αέρα

u^* : ταχύτητα τριβής (m/s)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ UAM-AERO

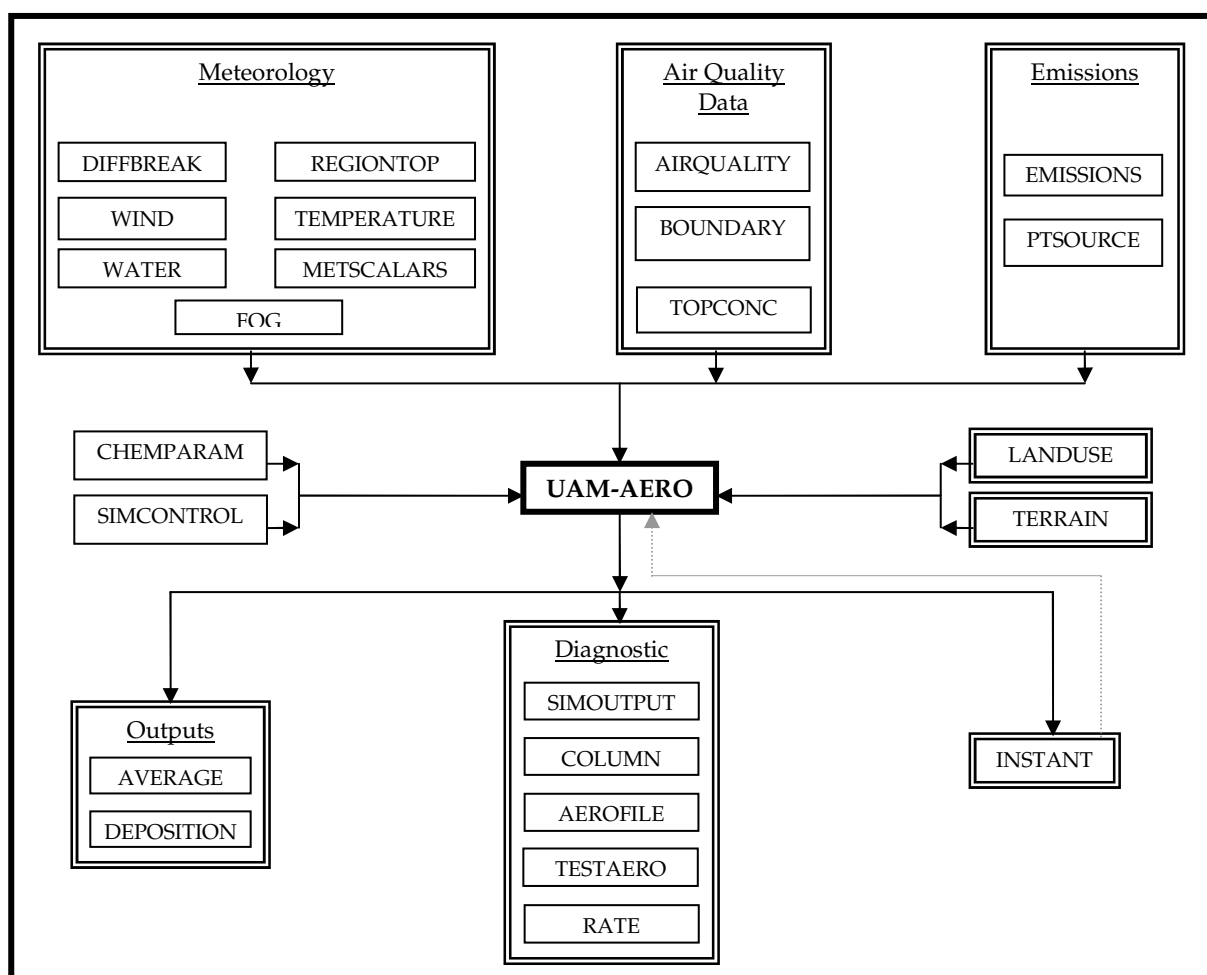
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μοντέλο UAM-AERO χρησιμοποιεί 15 αρχεία εισόδου τα οποία περιέχουν στοιχεία απαραίτητα για την εξέταση των φυσικών και χημικών διεργασιών που καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων στην υπό μελέτη περιοχή. Τα αρχεία αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια περιγραφή του περιεχομένου και της χρησιμότητας του κάθε αρχείου εισόδου καθώς και μια συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία των αρχείων αυτών.

Πίνακας 6.1: Αρχεία εισόδου για το μοντέλο UAM-AERO

Τύπος δεδομένων	Αρχείο εισόδου
Μετεωρολογικά δεδομένα	DIFFBREAK
	REGIONTOP
	WIND
	TEMPERATURE
	WATER
	FOG
Αρχικές και οριακές συνθήκες	AIRQUALITY
	BOUNDARY
	TOPCONC
Εκπομπές	EMISSIONS
	PTSOURCE
Λοιπά αρχεία	CHEMPARAM
	SIMCONTROL
	LANDUSE
	TERRAIN

Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζονται τα αρχεία εισόδου και η δομή του μοντέλου σε γενικές γραμμές. Με την εφαρμογή του μοντέλου προκύπτουν τα αρχεία εξόδου (output) στα οποία περιλαμβάνονται 5 διαγνωστικά αρχεία (SIMOUTPUT, COLUMN, AEROFILE, TESTAERO, RATE) τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της επιτυχίας της εφαρμογής του μοντέλου. Τα «βασικά» αρχεία εξόδου είναι 2 (AVERAGE και DEPOSITION) τα οποία περιέχουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων σε κάθε πλεγματική κυψελίδα της υπό μελέτη περιοχής και δεδομένα για την απόθεση αντίστοιχα. Επίσης δημιουργείται και ένα αρχείο (INSTANT) το οποίο χρησιμοποιείται ως αρχείο εισόδου για την επόμενη ημέρα προσομοίωσης ως αρχείο δεδομένων για τις αρχικές συνθήκες.



Σχήμα 6.1: Δομή του προγράμματος UAM-AERO

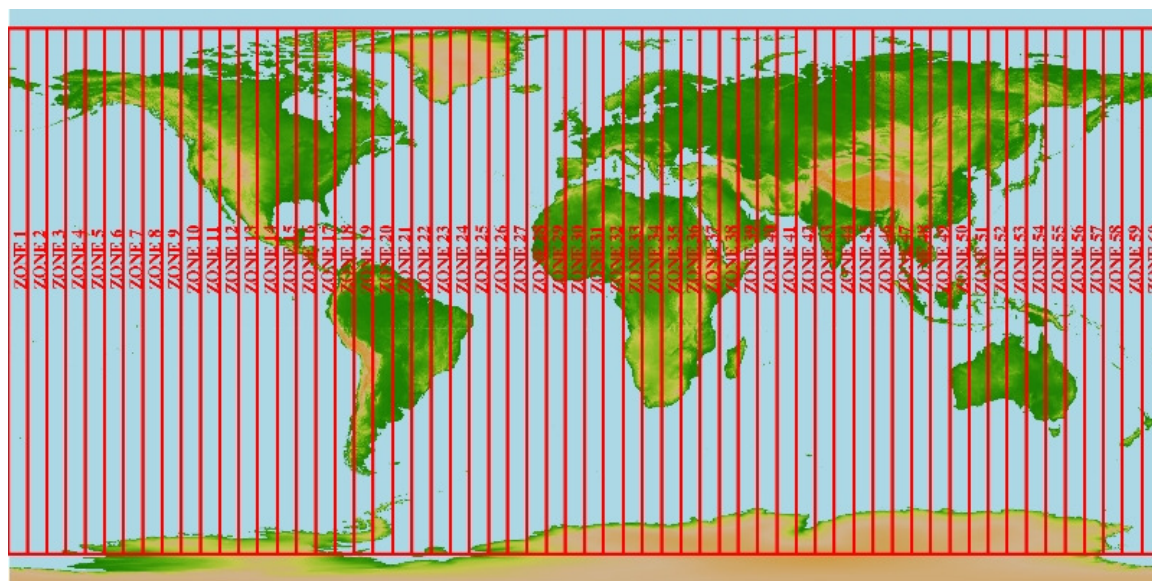
6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ UAM-AERO ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

6.2.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία έγινε η προετοιμασία των αρχείων εισόδου του μοντέλου UAM-AERO για να μελετηθεί η συνεισφορά των ρύπων από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα. Η περίοδος για την οποία ετοιμάστηκαν τα αρχεία εισόδου είναι ο Ιούλιος του 2000 και η περιοχή εφαρμογής είναι η περιοχή της Ελλάδας όπως περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 6.2.2. Τα δεδομένα εκπομπών προέκυψαν από τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3 και αφορούν στους κυριότερους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους που εκπέμπονται από δασικές πυρκαγιές. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέκυψαν από την εφαρμογή ενός αριθμητικού προγνωστικού μετεωρολογικού μοντέλου.

6.2.2 Πλέγμα UAM-AERO

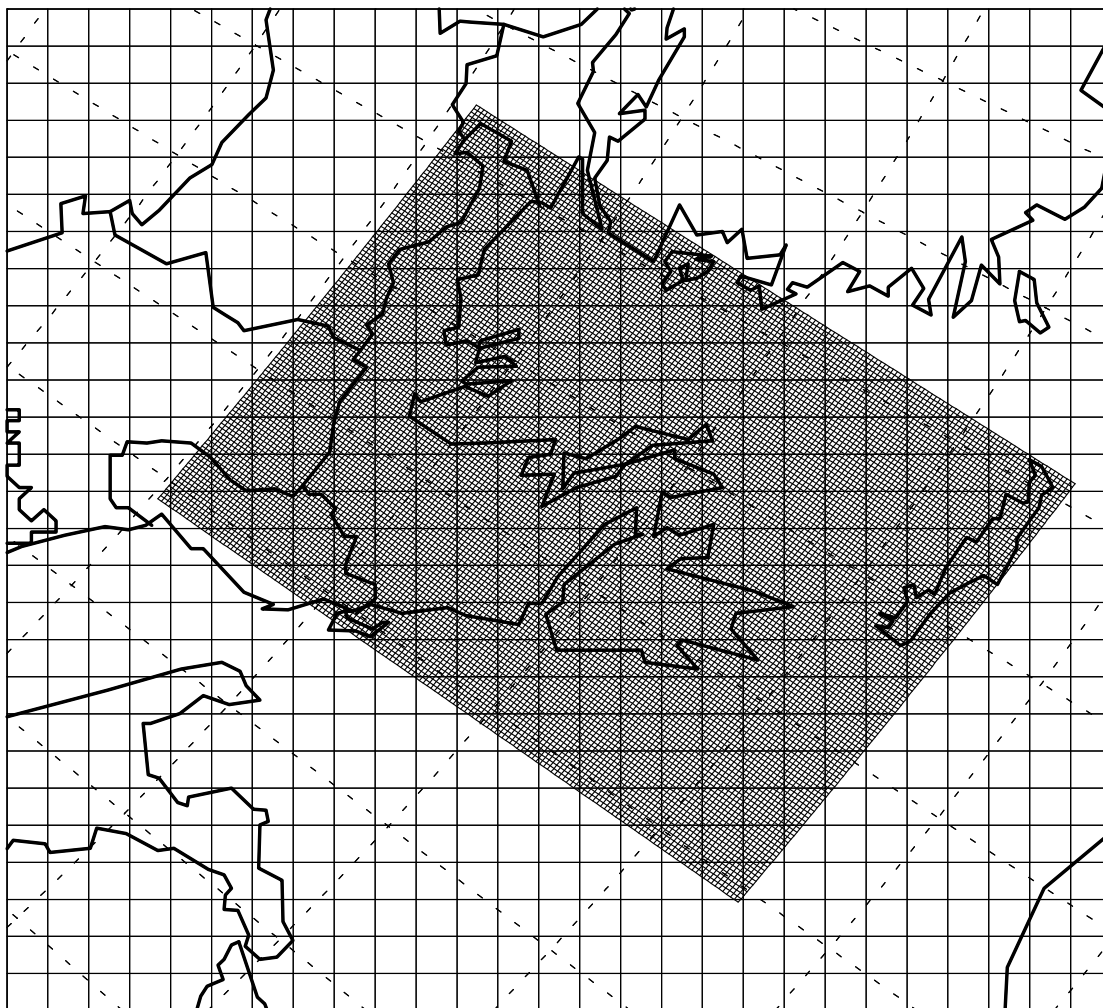
Το πλέγμα που χρησιμοποιείται στο UAM-AERO είναι ορισμένο στο σύστημα συντεταγμένων UTM (Universal Transverse Mercator Coordinate System). Το UTM είναι κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων (η γήινη επιφάνεια προβάλλεται πάνω σε έναν κύλινδρο, ο άξονας του οποίου είναι κάθετος ως προς την ευθεία που ενώνει τους δύο πόλους). Ο κεντρικός μεσημβρινός της προβολής που ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα του προβολικού συστήματος είναι ο μεσημβρινός του Greenwich. Ο οριζόντιος άξονας του UTM είναι ο Ισημερινός. Η προβολή που προκύπτει είναι σύμμορφη. Στο σύστημα αυτό, η Γη έχει χωριστεί σε 60 ζώνες πλάτους 6° , οι οποίες είναι παράλληλες προς τους μεσημβρινούς της Γης (σχήμα 6.2). Οι ανατολικές (Easting) και βόρειες (Northing) συντεταγμένες δίνονται ως απόσταση (σε m) από τον κεντρικό μεσημβρινό και από τον ισημερινό αντίστοιχα.



Σχήμα 6.2: Ζώνες της Γης στο σύστημα συντεταγμένων UTM.

Η Ελλάδα εκτείνεται σε 2 ζώνες του συστήματος συντεταγμένων UTM (Ζώνη 34 με Κεντρικό Μεσημβρινό τον 21ο και τη ζώνη 35, με κεντρικό μεσημβρινό τον 27°). Ωστόσο, επειδή το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ανήκει στην 34η ζώνη είναι δυνατή η χρήση του συστήματος UTM θεωρώντας ότι όλη η περιοχή βρίσκεται στην 34η ζώνη χωρίς το σφάλμα να είναι μεγάλο.

Οι συντεταγμένες της ΝΔ γωνίας του πλέγματος προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84 σε 392.089 m ανατολικά από τον κεντρικό μεσημβρινό και 3.868.229 m βόρεια του ισημερινού. Με αρχή τη γωνία αυτή αναπτύχθηκε παράλληλα προς τον κεντρικό μεσημβρινό ένα σύστημα πλέγματος UTM $n_x = 118$ (ανατολική-δυτική κατεύθυνση) και $n_y = 155$ (βόρεια-νότια διεύθυνση) πλεγματικών κυψελίδων οριζόντιων διαστάσεων $5 \times 5 \text{ km}^2$ (σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3: Το πλέγμα UTM για την περιοχή μελέτης

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των 4 γωνιών του πλέγματος είναι:

ΝΔ: Latitude: 34° 54' 25'', Longitude: 19° 45' 51''

ΝΑ: Latitude: 34° 48' 04'', Longitude: 26° 12' 54''

ΒΔ: Latitude: 41° 53' 22'', Longitude: 19° 38' 21''

ΒΑ: Latitude: 41° 45' 13'', Longitude: 26° 44' 18''

Λόγω του ελλειψοειδούς σχήματος της Γης (GRS 80), όπως ορίζεται από το σύστημα WGS84 (Μπαντέλας κ.ά., 1999), οι συντεταγμένες UTM δεν ακολουθούν επακριβώς την κατεύθυνση του γεωγραφικού μήκους και πλάτους και απαιτείται η εφαρμογή διαδικασίας παρεμβολής, για τη μετάβαση μεταξύ των δύο συστημάτων.

6.3 ΣΕΙΡΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΡΧΕΙΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

Η σειρά με την οποία πρέπει να ετοιμαστούν τα αρχεία εισόδου δεν πρέπει να είναι τυχαία γιατί υπάρχουν «προαπαιτούμενα» αρχεία. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 6.2) φαίνεται η σειρά με την οποία πρέπει να ετοιμάζονται τα αρχεία (χωρισμένα σε 4 ομάδες).

Πίνακας 6.2: Σειρά προετοιμασίας αρχείων εισόδου

Ομάδα	Input File	Άλλα Input που απαιτούνται
1	METSCALARS	Κανένα
1	FOG	Κανένα
1	DIFFBREAK	Κανένα
1	REGIONTOP	Κανένα
2	TOPCONC	REGIONTOP, DIFFBREAK
2	TEMPERATURE	REGIONTOP, DIFFBREAK
2	WATER VAPOR	REGIONTOP, DIFFBREAK
2	WIND	REGIONTOP, DIFFBREAK
3	AIRQUALITY	REGIONTOP, DIFFBREAK, TOPCONC
3	BOUNDARY	REGIONTOP, DIFFBREAK, TOPCONC
4	PTSOURCE	REGIONTOP, DIFFBREAK, METSCALARS, WIND, TEMPERATURE

Το μεγάλο πλήθος και μέγεθος των αρχείων εισόδου, σε συνδυασμό με τις εκάστοτε υπολογιστικές δυνατότητες και την ανάγκη εξοικονόμησης υπολογιστικού κόστους, επιβάλλει τη διοχέτευση των αρχείων εισόδου σε μορφή binary. Εξαιρέση αποτελούν τα αρχεία CHEMPARM, LANDUSE και SIMCONTROL.

6.4 ΑΡΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εφαρμογή του μοντέλου UAM-AERO απαιτούνται τρισδιάστατα μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας, ανέμου, συγκέντρωσης υδρατμών και δισδιάστατα δεδομένα ύψους αναμίξεως και ομίχλης. Για τον υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα αριθμητικό προγνωστικό μετεωρολογικό μοντέλο το οποίο βασίζεται στο μοντέλο NORMAL το οποίο αναπτύχθηκε στο Νορβηγικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο και περιγράφεται από τους Gronas et al., 1987 και Nordeng, 1986. Στο μοντέλο έχουν εισαχθεί αλγόριθμοι προσομοίωσης της νεφοκάλυψης από ερευνητές του Πανεπιστημίου του πανεπιστημίου του Bergen (Sundqvist, 1988; Sundqvist et al., 1989; Kvamsto, 1992). Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Frode Flatoy (Bjerknes Centre for Climate Research, University of Bergen). Τα αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων που δημιουργήθηκαν στην παρούσα μελέτη καλύπτουν όλο τον Ιούλιο του 2000 στον ελληνικό χώρο.

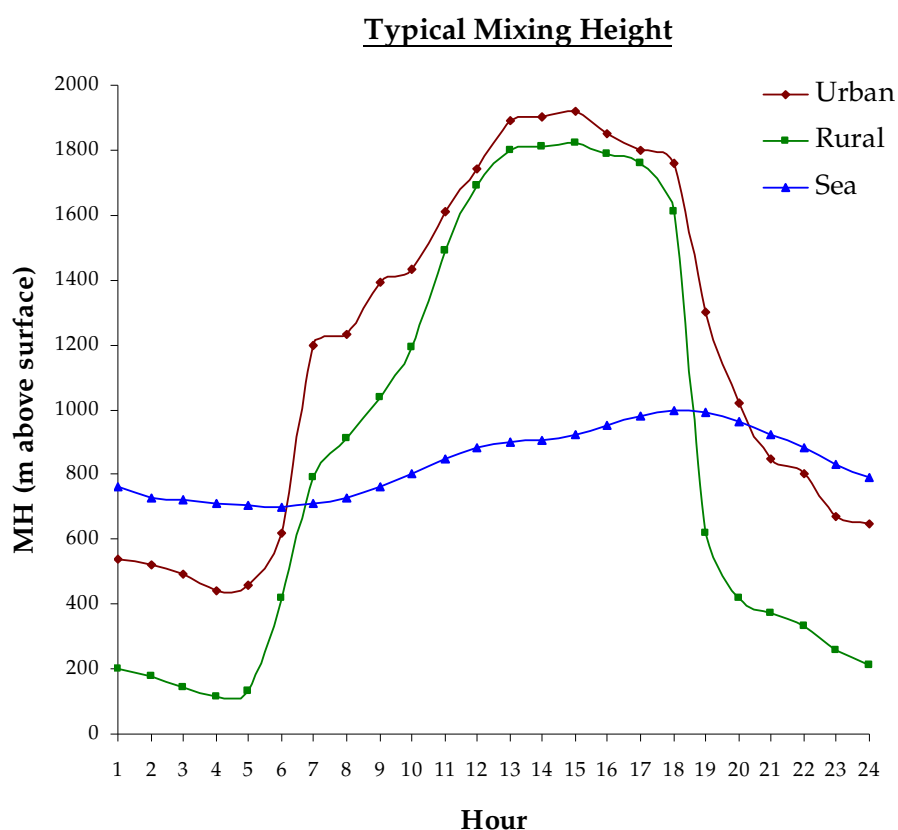
6.4.1 Αρχείο Ύψους ανάμιξης (DIFFBREAK)

Το αρχείο DIFFBREAK περιέχει το ημερήσιο ύψος ανάμιξης και το νυχτερινό ύψος αναστροφής (σε m) στην αρχή κάθε ώρας προσομοίωσης και για κάθε πλεγματικό σημείο. Συνολικά απαιτούνται δεδομένα για 25 ώρες για κάθε μέρα (συμπεριλαμβάνεται και η πρώτη ώρα της επόμενης μέρας). Για τα ύψη ανάμιξης στο μοντέλο γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ της αρχής και του τέλους κάθε ώρας προσομοίωσης. Το ύψος ανάμιξης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο UAM-AERO επειδή καθορίζει την κίνηση των κατακόρυφων στρωμάτων και τα 3D δεδομένα που εισάγονται πρέπει να είναι ακριβή όταν χρησιμοποιούμε μεταβαλλόμενα κατακόρυφα στρώματα.

Για τον λεπτομερή υπολογισμό του ύψους ανάμιξης χρησιμοποιείται ευρύτατα η μέθοδος του Holzworth (Holzworth, 1972) στην περίπτωση που υπάρχουν μετεωρολογικά δεδομένα για αρκετά ύψη. Στην περίπτωσή μας όμως υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα μόνο για 5 κατακόρυφα στρώματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τοπικές τιμές του ύψους ανάμιξης για κάθε ώρα της ημέρας. Οι τιμές του ύψους αναμίξεως που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στους Khan και Simpson (2001) όσον αφορά στο ύψος ανάμιξης πάνω από τη στεριά. Ο διαχωρισμός που γίνεται στην περίπτωση αυτή είναι αν η

περιοχή είναι αστική ή μη λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε περίπτωση. Για το ύψος ανάμιξης πάνω από υδάτινες επιφάνειες (θάλασσα, λίμνη) χρησιμοποιήθηκαν οι τυπικές τιμές που προκύπτουν από τους Semprevina και Gryning (2000). Οι τιμές του ύψους ανάμιξης για κάθε ώρα προέκυψαν από γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις διαθέσιμες τιμές. Οι καμπύλες των τυπικών τιμών του ύψους ανάμιξης δίνονται στο σχήμα 6.4.

Στον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε για την δημιουργία των δεδομένων ύψους ανάμιξης λήφθηκε υπόψη η χρήση γης καθώς επηρεάζει σημαντικά την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο έδαφος και την ατμόσφαιρα. Έτσι, έγινε διαχωρισμός ανάλογα με το αν αντιστοιχεί αστική, θαλάσσια ή αγροτική έκταση στο κάθε πλεγματοτικό σημείο.



Σχήμα 6.4: Τυπικές καμπύλες ύψους ανάμιξης

Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς υπάρχει μεγάλη ροή θερμότητας από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί συνθήκες έντονης

αστάθειας. Για το λόγο αυτό, υπάρχει πρόβλεψη στον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε ώστε να θεωρεί ότι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς το ύψος ανάμιξης βρίσκεται σε πολύ μεγάλο υψόμετρο.

Λόγω των πολύ έντονων μεταβολών στην τοπογραφία της εξεταζόμενης περιοχής υπάρχουν έντονες και απότομες μεταβολές του ύψους αναμίξεως. Το γεγονός αυτό μπορεί να εισάγει αριθμητικά σφάλματα στους υπολογισμούς του UAM-AERO τα οποία αποφεύχθηκαν με την πραγματοποίηση εξομάλυνσης 2^{ου} βαθμού στις τιμές του ύψους ανάμιξης.

6.4.2 Αρχείο ανεμολογικών δεδομένων (WIND)

Το αρχείο WIND περιέχει ανεμολογικά δεδομένα για τις 3 συνιστώσες του ανέμου για την κάθε ώρα (μέσες ωριαίες) και για κάθε πλεγματικό σημείο της προσομοίωσης. Οι 2 οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου (u και v) δίνονται σε m/hr για κάθε στρώμα του κατακόρυφα κινούμενου πλέγματος. Στο αρχείο εισόδου δίνονται επίσης οι μέγιστες και οι ελάχιστες ωριαίες τιμές της ταχύτητας σε όλη την περιοχή καθώς και οι μέσες ωριαίες τιμές στις 4 πλευρές του πλέγματος. Το μοντέλο δεν διαβάζει τις κατακόρυφες ταχύτητες (w) αλλά τις υπολογίζει από τις οριζόντιες ταχύτητες και βάσει της αρχής της διατήρησης της μάζας, συνθήκη που επιβάλλεται για ασυμπίεστα (ή υδροστατικά) πεδία ροής.

Για τον καθορισμό του πεδίου ταχυτήτων ανέμου υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου σε 5 κατακόρυφα στρώματα (100m, 1000m, 2000m, 3000m, 4000m) σε κάθε πλεγματική κυψελίδα της εξεταζόμενης περιοχής. Για την αναγωγή των δεδομένων αυτών στο πλέγμα του UAM-AERO πραγματοποιήθηκε κατακόρυφη γραμμική παρεμβολή μέσω ειδικών αλγορίθμων οι οποίοι εξασφαλίζουν τη συνέχεια της μάζας σε όλα τα επίπεδα. Επίσης στην παρεμβολή που γίνεται εφαρμόζεται η μέθοδος Ο'Brien (Ο'Brien, 1970). Για την παρεμβολή που έγινε χρησιμοποιήθηκε το ύψος ανάμιξης για τον καθορισμό των χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενων κατακόρυφων στρωμάτων του UAM-AERO στα οποία ανάχθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα.

6.4.3 Αρχείο θερμοκρασιακών δεδομένων (TEMPERATURE)

Το αρχείο θερμοκρασιακών δεδομένων περιέχει τιμές της θερμοκρασίας (σε K) στις 3 διαστάσεις στην αρχή της κάθε ώρας της προσομοίωσης για κάθε πλεγματοειδές σημείο και κάθε κατακόρυφο στρώμα της περιοχής. Το μοντέλο κάνει παρεμβολή για τη θερμοκρασία σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης δίνοντας διαφορετική τιμή θερμοκρασίας για κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό στο αρχείο εισόδου δίνονται θερμοκρασιακά δεδομένα 25 ωρών για κάθε μέρα (στο τέλος του αρχείου κάθε μέρας προστέθηκε η πρώτη ώρα της επόμενης).

Όπως και στα αρχεία των ανεμολογικών δεδομένων τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν σε 5 στρώματα και με κατακόρυφη γραμμική παρεμβολή ανάχθηκαν στα υψόμετρα που χρησιμοποιούνται στο UAM-AERO.

6.4.4 Αρχείο ομίχλης (FOG)

Περιέχει δείκτες ομίχλης (σε 2 διαστάσεις) για κάθε ώρα της προσομοίωσης. Ο καθορισμός των συνθηκών ομίχλης γίνεται για το στρώμα ανάμιξης ενώ ο προσδιορισμός της ύπαρξης ή μη ομίχλης στα ανώτερα στρώματα (πάνω από το ύψος ανάμιξης) καθορίζεται με εσωτερικό αλγόριθμο του προγράμματος (SAI, 1990a).

Υπάρχει δυνατότητα ορισμού 3 καταστάσεων ομίχλης:

- Δείκτης = 1 : Μηδενική ομίχλη (clear)
- Δείκτης = 2 : Αραιό στρώμα ομίχλης (haze)
- Δείκτης = 3 : Πυκνή ομίχλη (foggy)

6.4.5 Αρχείο ορισμού ανώτατου ύψους πλέγματος (REGIONTOP)

Περιέχει χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενους πίνακες υψομέτρων του άνω ορίου της περιοχής. Έτσι, καθορίζεται η προς μελέτη περιοχή για κάθε πλεγματοειδές σημείο σε κάθε ώρα. Το ύψος εκφράζεται σε m πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Συνήθως χρησιμοποιείται το ίδιο ύψος σε όλη την περιοχή αν και το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται άλλο ύψος για κάθε κελί ή

να δοθεί το άνω όριο του κάθε πλεγματοειδούς σημείου σαν συνάρτηση του ύψους αναμειγνύεται στο κελί αυτό. Για τον καθορισμό του ύψους αυτού γίνεται γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις τιμές που αντιστοιχούν στην αρχή και το τέλος κάθε βήματος προσομοίωσης και για το λόγο αυτό δίνονται για κάθε ώρα προσομοίωσης 25 τιμές για κάθε πλεγματικό σημείο (στο τέλος κάθε μέρας προστίθεται και η πρώτη ώρα της επόμενης μέρας). Στην περίπτωση που η τιμή του ανώτατου ύψους του πλέγματος υπερβαίνει την τιμή του ύψους αναμειγνύεται, το μοντέλο UAM-AERO θεωρεί ότι οι κυψελίδες που κείνται πάνω από το στρώμα αναμειγνύεται βρίσκονται στο εσωτερικό μιας θερμοκρασιακής αναστροφής.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το άνω όριο της περιοχής θεωρήθηκε ότι είναι τα 4 km μέσα στα οποία λαμβάνουν χώρα όλες οι ατμοσφαιρικές διεργασίες που επηρεάζουν την τροποσφαιρική χημεία.

6.4.6 Αρχείο δεδομένων συγκεντρώσεων υδρατμών (WATER)

Περιέχει σε 3 διαστάσεις τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις υδρατμών σε ppm ανά πλεγματικό σημείο (κυψελίδα) και κατακόρυφο επίπεδο της υπό μελέτης περιοχής. Το μοντέλο εκτελεί γραμμική παρεμβολή για τους υδρατμούς σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό εισάγονται δεδομένα 25 ωρών (συμπεριλαμβάνεται και η πρώτη ώρα της επόμενης μέρας).

Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα θερμοκρασίας και υδρατμών αξιοποιούνται από το μοντέλο UAM-AERO για τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας. Τα δεδομένα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς επηρεάζουν έντονα:

- Τη μετάβαση μεταξύ αέριας και σωματιδιακής φάσης ενώσεων όπως για παράδειγμα οι $\text{HNO}_3/\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ (εξάρτηση από θερμοκρασία και σχετική υγρασία).
- Τον σχηματισμό και την απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων (εξάρτηση από ομίχλη και σχετική υγρασία).
- Την κατά μέγεθος κατανομή της μάζας (εξάρτηση από σχετική υγρασία).

Από το αριθμητικό προγνωστικό μετεωρολογικό μοντέλο παρήχθησαν δεδομένα για την σχετική υγρασία σε κάθε πλεγματικό σημείο, κάθε κατακόρυφο στρώμα και κάθε ώρα προσομοίωσης. Το UAM-AERO χρησιμοποιεί δεδομένα συγκεντρώσεων υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Για τη μετατροπή από σχετική

υγρασία (%) σε συγκέντρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα (ppm) δημιουργήθηκε ένας κώδικας ο οποίος χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου την ατμοσφαιρική πίεση στη Μ.Σ.Θ. (Μέση Στάθμη της Θάλασσας), τη θερμοκρασία σε κάθε κατακόρυφο στρώμα του UAM-AERO και τη σχετική υγρασία.

Η σχετική υγρασία ορίζεται ως ο λόγος της τάσης υδρατμών προς την τάση ισορροπίας στην ίδια θερμοκρασία (εξ. 6.1)

$$RH = 100 \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^o} \quad (\text{εξ. 6.1})$$

όπου ο πολλαπλασιασμός με 100 γίνεται επειδή συνήθως η σχετική υγρασία εκφράζεται σε μέρη ανά εκατό. Η σχετική υγρασία ισούται επομένως και με τον λόγο των γραμμομορίων των υδρατμών (y) προς τα γραμμομόρια σε συνθήκες κορεσμού (y_s). Επομένως ισχύει:

$$RH = 100 \frac{y}{y_s} \quad (\text{εξ. 6.2})$$

Εφόσον ο λόγος των γραμμομορίων ισούται με τον λόγο των όγκων, η συγκέντρωση των υδρατμών (σε ppm) θα ισούται με:

$$[H_2O] = 10^6 y = 10^4 \cdot RH \cdot y_s \text{ (ppm)} \quad (\text{εξ. 6.3})$$

Επίσης ισχύει ότι:

$$[H_2O] = 10^4 RH \frac{P_{H_2O}^o}{p} \text{ (ppm)} \quad (\text{εξ. 6.4})$$

Όπου p η ατμοσφαιρική πίεση.

Λόγω έλλειψης δεδομένων ατμοσφαιρικής πίεσης για κάθε κατακόρυφο στρώμα, η ατμοσφαιρική πίεση υπολογίστηκε μέσω της πίεσης στην Μ.Σ.Θ. (Μέση Στάθμη της Θάλασσας) με τη χρήση της υδροστατικής εξίσωσης (εξ. 6.5).

Θεωρώντας ότι η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε υδροστατική ισορροπία, ισχύει:

$$dp = -\rho g dz \quad (\text{εξ. 6.5})$$

όπου:

p : η ατμοσφαιρική πίεση σε ύψος z

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

ρ : πυκνότητα

Η επιτάχυνση της βαρύτητας μεταβάλλεται κατά 3% περίπου για κάθε 100 km αύξησης του ύψους από την επιφάνεια της γης (Ζερεφός, 1984). Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας επίσης δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα στα πρώτα 4000 m (περιοχή μελέτης) από την επιφάνεια του εδάφους. Θεωρώντας λοιπόν ότι $g=9.81\text{m/s}^2$ και $\rho=1.293\text{kgm}^{-3}$ προκύπτει:

$$p=p_0 - 9.81 \cdot 1.293z \quad (\text{εξ. 6.6})$$

Σύμφωνα με τους McRae (1980) και Richards (1971) η πίεση των κορεσμένων υδρατμών δίνεται από τη σχέση:

$$p_{H_2O}^o(T) = p_s \cdot \exp[13.3185a - 1.9760a^2 - 0.6445a^3 - 0.1299a^4] \quad (\text{εξ. 6.7})$$

Όπου $p_s=1013.25 \text{ mb}$ και η παράμετρος a εξαρτάται από την θερμοκρασία και δίνεται από τη σχέση:

$$a = 1 - \frac{373.15}{T} \quad (\text{εξ. 6.8})$$

Η εξίσωση 6.7 έχει ελεγχθεί και ισχύει με ακρίβεια $\pm 0.1\%$ για εύρος θερμοκρασιών από -50 μέχρι 140°C (Seinfeld, 1986)

6.4.7 Αρχείο καθορισμού μετεωρολογικών παραμέτρων (METSCALARS)

Στο αρχείο αυτό περιέχονται οι ωριαίες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων που θεωρούνται σταθερές χωρικά. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

- Μέση συγκέντρωση υδρατμών (ppm)
- Ατμοσφαιρική πίεση (atm)
- Κλάση ευστάθειας κοντά στο έδαφος λόγω της θέρμανσης-ψύξης του εδάφους
- Ο ρυθμός φωτόλυσης του διοξειδίου του αζώτου (min^{-1})
- Θερμοβαθμίδα πάνω από το ύψος ανάμιξης (K/m)

- Θερμοβαθμίδα κάτω από το ύψος ανάμιξης (K/m)

Οι επιφανειακές παράμετροι (ατμοσφαιρική πίεση και συγκέντρωση υδρατμών) τίθενται εύκολα ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Για τον υπολογισμό του ρυθμού φωτόλυσης χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SUNFUNC. Οι ρυθμοί φωτόλυσης των άλλων ειδών που υπολογίζονται από τον χημικό μηχανισμό CBM-IV υπολογίζονται ως συναρτήσεις του ρυθμού φωτόλυσης του διοξειδίου του αζώτου, το οποίο υπολογίζει επίσης και τη ζενίθεια γωνία του ήλιου. Η ζενίθεια γωνία του ήλιου σε συνδυασμό με το ποσοστό νεφοκάλυψης καθιστούν εφικτή την εκτίμηση της κλάσης ευστάθειας όπως φαίνεται στον πίνακα 6.3. Ο διαχωρισμός ανάμεσα στις κλάσεις ευστάθειας έχει γίνει κατά Pasquill. Οι κλάσεις ευστάθειας χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον καθορισμό των συντελεστών τυρβώδους διάχυσης.

Πίνακας 6.3: Κλάση ευστάθειας σε συνάρτηση με τη νεφοκάλυψη και την ηλιακή ζενίθεια γωνία (SAI, 1990b)

Ζενίθεια γωνία ήλιου (°)	Νεφοκάλυψη (%)	Κλάση ευστάθειας
$\theta > 85$	≤ 50	Πολύ Ασταθής (A)
	> 50	Μέτρια Ασταθής (B)
$\theta \leq 30$	≤ 50	Μέτρια Ευσταθής (F)
	> 50	Ελαφρώς Ευσταθής (E)
$30 < \theta \leq 55$	≤ 50	Ελαφρώς Ευσταθής (E)
	> 50	Ουδέτερη στρωμάτωση (D)
$55 < \theta \leq 85$	≤ 50	Ουδέτερη στρωμάτωση (D)
	> 50	Ελαφρώς Ασταθής (C)

6.5 ΑΡΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

6.5.1 Αρχείο αρχικών συγκεντρώσεων (AIRQUALITY)

Στο αρχείο αυτό, καθορίζονται οι αρχικές συγκεντρώσεις για κάθε ρύπο σε κάθε κελί στην έναρξη της προσομοίωσης (τα αέρια σε ppm και τα σωματίδια σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Για τους ρύπους που δεν εισάγονται αρχικές συγκεντρώσεις από το χρήστη το μοντέλο θέτει κάποιες προεπιλεγμένες ελάχιστες τιμές.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν μηδενικές τιμές καθώς ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συνεισφοράς των εκπομπών από πυρκαγιές στις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή. Συνεπώς θεωρούμε ότι δεν υπάρχει υπόβαθρο ρύπανσης στην περιοχή για να απομονώσουμε την επίδραση των ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές.

6.5.2 Αρχείο συγκεντρώσεων πλευρικών ορίων πλέγματος (BOUNDARY)

Περιέχει τα πλευρικά όρια του πλέγματος στην μελετούμενη περιοχή και τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις του κάθε ρύπου (τα αέρια σε ppm και τα σωματίδια σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$), στα όρια αυτά για κάθε κατακόρυφο στρώμα. Οι συγκεντρώσεις που εισάγονται αφορούν κυρίως σε ρύπους που μεταφέρονται με τον άνεμο. Για τους ρύπους που δεν εισάγονται οριακές συγκεντρώσεις από το χρήστη το μοντέλο θέτει κάποιες προεπιλεγμένες ελάχιστες τιμές.

Οι συγκεντρώσεις στα πλευρικά όρια του πλέγματος στην παρούσα εφαρμογή τίθενται ίσες με μηδέν ούτως ώστε να θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχει εισαγωγή ρύπων στην περιοχή από άλλες περιοχές και να απομονώσουμε έτσι την επίδραση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές.

6.5.3 Αρχείο συγκεντρώσεων άνω ορίου πλέγματος (TOPCONC)

Περιέχει τις συγκεντρώσεις του κάθε ρύπου (τα αέρια σε ppm και τα σωματίδια σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην κορυφή της μελετούμενης περιοχής. Προσομοιώνονται, έτσι, οι ρύποι που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα στην ατμόσφαιρα και εισέρχονται στην μελετούμενη περιοχή κυρίως μέσω της βαρυτικής κατακρήμνισης που συντελείται όταν παίρνουν αρνητικές τιμές οι τιμές της κατακόρυφης

συνιστώσας του ανέμου. Για τους ρύπους που δεν εισάγονται συγκεντρώσεις άνω ορίου πλέγματος από το χρήστη το μοντέλο θέτει κάποιες προεπιλεγμένες ελάχιστες τιμές.

Για τους λόγους που αναπτύχθηκαν και για τα αρχεία BOUNDARY και AIRQUALITY τέθηκαν και στο αρχείο TOPCONC όλες οι συγκεντρώσεις ίσες με μηδέν.

6.6 ΑΡΧΕΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Τα αρχεία των εκπομπών που δημιουργήθηκαν για την παρούσα εφαρμογή του μοντέλου αφορούν στις εκπομπές από δασικές πυρκαγιές τον Ιούλιο του 2000 στην Ελλάδα.

6.6.1 Αρχείο εκπομπών σημειακών πηγών (PTSOURCE)

Στο αρχείο αυτό καθορίζονται οι εκπομπές από ανυψωμένες πηγές. Περιέχει πληροφορίες για το ύψος της καμινάδας, θερμοκρασίας, ροής και ανύψωσης πλουμίου, το κελί στο οποίο γίνεται η εκπομπή και τον ρυθμό εκπομπής για κάθε ρύπο. Οι εκπομπές των ρύπων δίνονται σε μονάδες moles/hr για τα αέρια και gr/hr για τα σωματίδια. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή του μοντέλου δεν υπάρχουν ανυψωμένες πηγές.

6.6.2 Αρχείο εκπομπών (EMISSIONS)

Στο αρχείο αυτό καθορίζονται οι εκπομπές από όλες τις πηγές στο έδαφος για κάθε είδος και κάθε ώρα προσομοίωσης. Εισάγονται εκπομπές από αέριους και σωματιδιακούς ρύπους (moles/h για τα αέρια και g/h για τα σωματίδια). Ο προσδιορισμός των εκπομπών των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται σύμφωνα με την προεπιλεγμένη από το χρήστη κατανομή μεγέθους. Στις εκπομπές περιλαμβάνονται και επιφανειακές, γραμμικές κτλ πηγές.

Οι εκπομπές από τις πυρκαγιές καθορίστηκαν βάσει της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται αναλυτικά η

μεθοδολογία βάσει της οποίας υπολογίστηκαν οι εκπομπές των ρύπων του πίνακα 6.4. Από αυτούς τους ρύπους στον χημικό μηχανισμό CBM-IV δεν συμπεριλαμβάνονται οι CO_2 , CH_4 , C_2H_2 και N_2O . Οι υπόλοιποι ρύποι κατηγοριοποιούνται στον CBM-IV όπως φαίνεται στον πίνακα 6.4. Οι ρύποι C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} κατατάσσονται στις παραφίνες λόγω του ότι οι δεσμοί του άνθρακα είναι όλοι μονοί ενώ το C_3H_6 κατατάσσεται στις παραφίνες και στις ολεφίνες λόγω της ύπαρξης μονού και διπλού δεσμού στο μόριο της ένωσης.

Πίνακας 6.4: Κατάλογος των υπό μελέτη αερίων ρύπων

Αέριοι ρύποι	Κατηγοριοποίηση CBM-IV
CO_2	---
CO	CO
CH_4	---
C_3H_6	PAR+OLE
C_2H_6	PAR
C_2H_2	---
C_3H_8	PAR
C_4H_{10}	PAR
NO_2	NO2
NH_3	NH3
N_2O	---
SO_2	SO2

Πίνακας 6.5: Κατάλογος των υπό μελέτη σωματιδιακών ρύπων

Σωματιδιακοί ρύποι
SO_4^- (8 size bins)
E.C. (8 size bins)
O.C. (8 size bins)
OTR (8 size bins)

Οι εκπομπές δόθηκαν σε moles/h για τα αέρια και σε g/h για τα σωματίδια και καθορίστηκαν για κάθε πλεγματοτικό σημείο, κατακόρυφο στρώμα, ώρα προσομοίωσης και ρύπο.

6.7 ΛΟΙΠΑ ΑΡΧΕΙΑ

6.7.1 Αρχείο χρήσεων γης (LANDUSE)

Το αρχείο αυτό περιέχει την επικρατέστερη χρήση γης για κάθε κελί του πλέγματος. Η εισαγωγή των δεδομένων χρήσης γης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον υπολογισμό της ξηρής εναπόθεσης και τη δημιουργία του αρχείου TERRAIN με τη χρήση του προγράμματος CRETER (SAI, 1990a,b,c,d,e) το οποίο περιέχει δεδομένα επιφανειακής τραχύτητας και συντελεστές εναπόθεσης ανά κατηγορία βλάστησης για κάθε πλεγματοτικό σημείο. Στον πίνακα 6.6 παρουσιάζονται οι κατηγορίες χρήσεων γης που χρησιμοποιεί το μοντέλο.

Πίνακας 6.6: Κατηγορίες χρήσης γης του UAM-AERO

	Κατηγορία χρήσης γης
1	Αστική έκταση
2	Αγροτική έκταση
3	Βοσκοτόπια/Λιβάδια
4	Δάσος φυλλοβόλων δέντρων
5	Δάσος κωνοφόρων δέντρων
6	Μικτό δάσος που περιλαμβάνει υγρότοπο
7	Νερό (θαλασσινό και γλυκό)
8	Άγονη έκταση, κυρίως έρημος
9	Υγρότοπος που δεν περιβάλλεται από δάσος
10	Μικτή έκταση αποτελούμενη από αγροτικές καλλιέργειες και βοσκότοπους
11	Βραχώδης έκταση με θάμνους

Οι χρήσεις γης διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στο UAM-AERO καθώς, όπως έχει αναφερθεί, καθορίζουν την ημερήσια μεταβολή του ύψους ανάμιξης αλλά και τις διεργασίες απομάκρυνσης των ρύπων από την ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό απαιτούνται δεδομένα χρήσης γης για κάθε πλεγματικό σημείο της περιοχής προσομοίωσης.

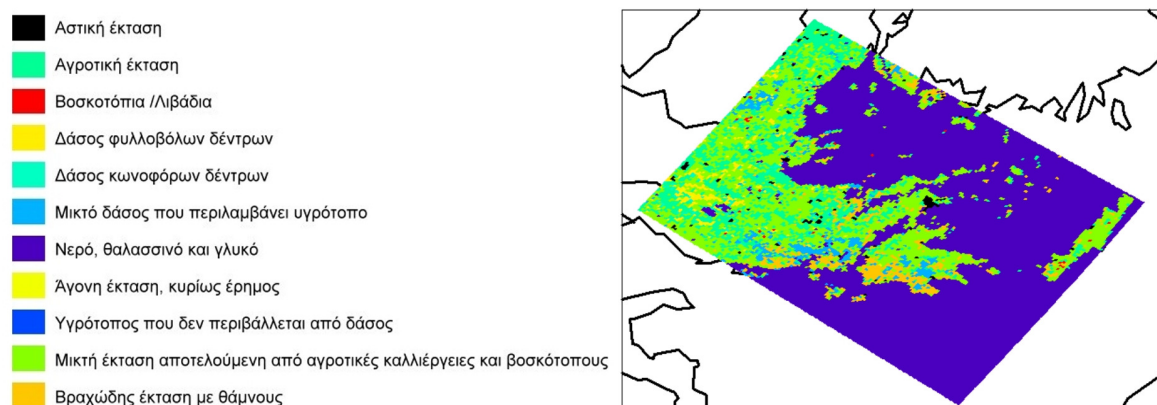
Υπάρχουν διαθέσιμα αναλυτικά δεδομένα χρήσεων γης για ένα μεγάλο μέρος των Βαλκανίων και της Ασίας σε πλέγμα υψηλής χωρικής διακριτότητας (1x1 km²) (Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τμήμα Φυσικής, Α.Π.Θ., Αν. Καθηγητής κ. Μελάς Δ.). Τα δεδομένα αυτά ακολουθούν την κατηγοριοποίηση χρήσεων γης του πίνακα 6.7.

Η κατηγοριοποίηση χρήσεων γης που χρησιμοποιεί το μοντέλο UAM-AERO είναι διαφορετική από αυτήν του πίνακα 6.7. Η αντιστοίχιση των κατηγοριών χρήσεων γης που πραγματοποιήθηκε φαίνεται επίσης στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 6.7: Αντιστοίχιση κατηγοριών χρήσης γης

	Κατηγορία χρήσης γης	Χρήση γης (κατηγορίες UAM-AERO)
1	Δάσος αειθαλών βελονόφυλλων δένδρων	5
2	Δάσος αειθαλών πλατύφυλλων δένδρων	5
3	Δάσος φυλλοβόλων βελονόφυλλων δένδρων	4
4	Δάσος φυλλοβόλων πλατύφυλλων δένδρων	4
5	Μικτό δάσος	6
6	Κλειστοί θαμνότοποι (Closed Shrublands)	11
7	Ανοιχτοί θαμνότοποι (Open Shrublands)	11
8	Σαβάνα (Woody Savannas)	10
9	Σαβάνα	8
10	Λιβάδι	3
11	Μόνιμοι υγρότοποι	9
12	Καλλιεργούμενη έκταση	2
13	Αστική και δομημένη έκταση	1
14	Έκταση με καλλιέργειες και φυσική βλάστηση	10
15	Χιόνι και πάγος	---
16	Βραχώδεις ή με αραιή βλάστηση έκταση	11
17	Υδατα	7

Στη συνέχεια, τα δεδομένα χρήσεων γης προσαρμόστηκαν στο πλέγμα της εφαρμογής του μοντέλου UAM-AERO το οποίο αποτελείται από 118x155 κελιά διαστάσεων 5x5km² (Αλεξανδροπούλου, 2002). Μια πλεγματική κυψελίδα του πλέγματος του UAM-AERO αντιστοιχεί σε 25 πλεγματικές κυψελίδες του πλέγματος των πρωτογενών δεδομένων των χρήσεων γης. Για την αναγωγή στο πλέγμα του UAM-AERO θεωρήθηκε ότι η χρήση που πλειοψηφεί στις 25 κυψελίδες του αρχικού πλέγματος θα είναι η αντιπροσωπευτικότερη τιμή για την αντίστοιχη κυψελίδα του πλέγματος του UAM-AERO. Όταν στις 25 πλεγματικές κυψελίδες όμως, αντιστοιχούσε έστω και μια αστική χρήση γης θεωρήθηκε ως επικρατούσα. Έτσι προέκυψε ο χάρτης του σχήματος 6.5.



Σχήμα 6.5: Χρήσεις γης στην Ελλάδα

Οι χρήσεις γης εισήχθησαν στο μοντέλο UAM-AERO με το αρχείο εισόδου LANDUSE. Στο αρχείο αυτό δίνονται οι χρήσεις γης με την κωδικοποίηση του πίνακα 6.7 για κάθε πλεγματική κυψελίδα της περιοχής. Τα δεδομένα αυτά μετατράπηκαν στο format που απαιτείται από το UAM-AERO και έτσι προέκυψε το αρχείο χρήσεων γης. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται ένα μέρος του αρχείου αυτού στο σχήμα 6.6.

6.7.2 Αρχείο πληροφοριών για το έδαφος της περιοχής (TERRAIN)

Το αρχείο TERRAIN περιέχει δεδομένα επιφανειακής τραχύτητας και συντελεστές φυτοκάλυψης για κάθε πλεγματοειδές σημείο (για τον καινούριο αλγόριθμο της ξηρής απόθεσης (Wesely, 1989) χρησιμοποιείται μόνο η επιφανειακή τραχύτητα αλλά οι συντελεστές φυτοκάλυψης δίνονται για να μπορεί το μοντέλο να τρέξει με τον αρχικό αλγόριθμο απόθεσης, αν χρειαστεί). Ο υπολογισμός των δεδομένων μήκους τραχύτητας και των συντελεστών φυτοκάλυψης έγινε με χρήση του προγράμματος CRETER (SAI, 1990a,b,c,d,e). Το πρόγραμμα αυτό αντιστοιχίζει στον τύπο χρήσης γης κάθε πλεγματοειδούς σημείου (το οποίο διαβάζει από το αρχείο LANDUSE) τις τιμές του πίνακα 6.8. Στο αρχείο SIMCONTROL δίνονται και σταθερές τιμές επιφανειακής τραχύτητας και συντελεστών εναπόθεσης σε περίπτωση που δεν εισαχθούν τα δεδομένα αυτά στο αρχείο TERRAIN. Ο υπολογισμός όμως των τιμών για τη συγκεκριμένη περιοχή είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς στην αντίθετη περίπτωση οι συντελεστές εναπόθεσης δεν θα είναι ρεαλιστικοί. Το πλέγμα του UAM-AERO ορίζεται σε σύστημα συντεταγμένων που ακολουθεί την τοπογραφία του εδάφους. Για το λόγο αυτό δεν απαιτείται η διοχέτευση επιπρόσθετων τοπογραφικών πληροφοριών.

Πίνακας 6.8: Επιφανειακή τραχύτητα και συντελεστές εναπόθεσης συναρτήσει των χρήσεων γης (Πρόγραμμα CRETER)

Χρήση γης	Επιφανειακή τραχύτητα (m)	Συντελεστής εναπόθεσης
1	3.00	0.20
2	0.25	0.50
3	0.05	0.40
4	1.00	0.40
5	1.00	0.30
6	1.00	0.30
7	0.0001	0.03
8	0.002	0.20
9	0.15	0.30
10	0.10	0.50
11	0.10	0.30

6.7.3 Αρχείο ελέγχου των παραμέτρων ροής του προγράμματος (SIMCONTROL)

Το αρχείο αυτό περιέχει τις παραμέτρους ελέγχου της προσομοίωσης που είναι πιο εκτεταμένοι στο UAM-AERO από ότι στο UAM. Είναι το βασικό αρχείο εισόδου που καθορίζει παραμέτρους απαραίτητες για την εφαρμογή του μοντέλου και πρέπει να αλλάζει για κάθε εφαρμογή του προγράμματος. Οι βασικότερες παράμετροι που καθορίζονται στο αρχείο αυτό είναι οι εξής:

- Επιλογή προσομοίωσης (ή όχι) ξηρής εναπόθεσης
- Ρυθμοί αντιδράσεων που χρησιμοποιούνται
- Σταθερές τιμές μήκους τραχύτητας και συντελεστή ξηρής εναπόθεσης

- Επιλογή προσομοίωσης (ή όχι) των αεροζόλ με επιλογή να θεωρηθούν αδρανή
- Πληροφορίες για τον αριθμό των κατηγοριών μεγέθους των αεροζόλ (με επιπρόσθετες πληροφορίες για την αύξηση του μεγέθους τους υπό συνθήκες ομίχλης)
- Επιλογή μεταξύ 3 αλγορίθμων ισορροπίας των αεροζόλ
- Γεωγραφικές συντεταγμένες, μεσημβρινός του πλέγματος
- Βήμα επαναπροσαρμογής των αεροζόλ στις κατηγορίες μεγέθους από την παράμετρο NTAERO (Number of Times the AEROSol integration module is called per hour)
- Δυνατότητα καταγραφής αναλυτικών πληροφοριών σχετικά με την αναπροσαρμογή των μεγεθών των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων σε συγκεκριμένα πλεγματικά σημεία για να διευκολυνθεί ο έλεγχος σφαλμάτων

Στο σχήμα 6.7 παρουσιάζεται το αρχείο SIMCONTROL της παρούσας εφαρμογής για την 25^η Ιουλίου του 2000.

SIMCONTROL July 25, 2000: UAM-CB4-SRSOAM 1 Sect Run 6										
1	0									
	00207		0.0		00207		24.0			
F	T	F	F	T	T	F	T	F	T	
	0.5		1.0		0.2		10	1.000e-02	1.000e-07	
	0.03		1.0		1.0	1.000e-16				
	2		2		0		0		3	
	38.34		23.07		2.0		2000		7	25
	0		0		0		1	25.000		F
END										

Σχήμα 6.7: Αρχείο εισόδου SIMCONTROL για την 25η Ιουλίου 2000

6.7.4 Αρχείο χημικών παραμέτρων (CHEMPARAM)

Περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον χημικό μηχανισμό για την προσομοίωση των αερίων ρύπων όπως είναι ο αριθμός και τα ονόματα των ρύπων, παράμετροι απόθεσης, ρυθμοί αντιδράσεων καθώς και ο αριθμός των φωτολυτικών αντιδράσεων. Επίσης περιέχει τον αριθμό των τμημάτων στα οποία έχουν χωριστεί τα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους και έχει γίνει διαχωρισμός σε ενώσεις δραστικές (fast reacting species) και λιγότερο δραστικών (slow reacting species). Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται σύμφωνα με το ρυθμό αντίδρασης που χρησιμοποιείται από τον IEH (Implicit-Explicit solver), ο οποίος επιλύει τις εξισώσεις χημικής κινητικής (Sun et al., 1994; Kumar et al., 1995).

Οι ρυθμοί των φωτολυτικών αντιδράσεων μεταβάλλονται σαν συνάρτηση της ζενίθειας γωνίας του ήλιου με εσωτερικό αλγόριθμο. Στο αρχείο καθορίζονται οι ζενίθειες γωνίες για τις οποίες θα πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί. Στη συνέχεια καθορίζονται οι ρυθμοί αντιδράσεων στους 298 K (που έχει οριστεί ως θερμοκρασία αναφοράς). Στην περίπτωση αντιδράσεων με σταθερό ρυθμό, αναγράφεται η τιμή του ρυθμού αυτού. Στην περίπτωση φωτολυτικών αντιδράσεων αναγράφονται ως ρυθμοί για κάθε ζενίθεια γωνία. Τέλος, στην περίπτωση αντιδράσεων που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία αναγράφονται οι σταθερές A,B και C που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ρυθμών k από τη σχέση:

$$k = A \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^C e^{\left(\frac{-B}{RT} \right)}$$

Όπου:

- T : η θερμοκρασία της κυψελίδας
- T_{ref} : η θερμοκρασία αναφοράς (298 K)
- R : η σταθερά των αερίων (0.0019872 Kcal/K)

Επίσης, στο αρχείο αυτό δίνονται οι τιμές των μεταβλητών και σταθερών στοιχειομετρικών συντελεστών των αντιδράσεων, αναλυτική περιγραφή των οποίων παρέχεται από τους Kumar et al. (1995).

Το αρχείο αυτό είναι προσαρμοσμένο στο συγκεκριμένο μηχανισμό χημικής κινητικής (CBM-IV) (Kumar et al., 1995) και πρέπει να αλλαχθεί στην περίπτωση επιλογής διαφορετικού χημικού μηχανισμού (SAPRC90).

Στο παράρτημα II παρατίθεται το αρχείο εισόδου CHEMPARM που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εφαρμογή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην Ν. Ευρώπη όσον αφορά στις δασικές πυρκαγιές. Συγκεκριμένα, κάθε έτος, στην Ελλάδα αντιστοιχεί περίπου το 10% των συνολικών καμένων δασικών εκτάσεων της Νότιας Ευρώπης (European Communities, 2001). Η έκταση της Ελλάδας είναι περίπου 132.000.000 στρέμματα εκ των οποίων περισσότερο από τα 2/3 αντιστοιχούν σε εκτάσεις στις οποίες υπάρχει δυνατότητα έκρηξης μιας πυρκαγιάς (δασοσκεπείς, μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις κ.α.).

Οι κυριότεροι ρύποι που εκπέμπονται από τις δασικές πυρκαγιές είναι το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί. Οι δύο αυτοί ρύποι αποτελούν πάνω από το 90% της συνολικής μάζας των εκπεμπόμενων ρύπων. Εκτός από αυτούς τους ρύπους όμως εκπέμπονται αρκετοί ακόμα αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι. Οι κύριες εκπομπές αερίων ρύπων είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, η αμμωνία, το μεθάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες. Οι σωματιδιακοί ρύποι αποτελούνται κυρίως από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα, καθώς και από ενώσεις του θείου και είναι, σε γενικές γραμμές, μικρών διαμέτρων.

Οι ρύποι που εκπέμπονται από τις δασικές πυρκαγιές διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην τροποσφαιρική χημεία, τις κλιματικές αλλαγές και τις οπτικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας αλλά έχουν και σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Κυρίως σε τοπικό επίπεδο ο άμεσα εκτιθέμενος πληθυσμός (δασοπυροσβέστες, πολίτες που βρίσκονται κοντά στην περιοχή της πυρκαγιάς) μπορεί να εμφανίσει αρκετά έντονα συμπτώματα.

Κατά τη δεκαετία 1960-69, εκδηλώθηκαν 7.240 πυρκαγιές οι οποίες έκαψαν 1.237.790 στρέμματα δασικών εκτάσεων. Την επόμενη δεκαετία (1970-79), παρόλο που ο αριθμός των πυρκαγιών παρέμεινε ο ίδιος (7.354), η συνολική έκταση που κάηκε σχεδόν διπλασιάστηκε (2.037.900 στρέμματα). Την δεκαετία 1980-89 σχεδόν διπλασιάστηκαν τόσο ο αριθμός των πυρκαγιών (12.653) όσο και η συνολική έκταση που κάηκε (5.241.670 στρέμματα). Η μέση έκταση που

καιγόταν ανά πυρκαγιά αυξήθηκε από 170 στρέμματα την δεκαετία του '60 στα 200 στρέμματα την δεκαετία του '70 και στα 390 την δεκαετία του '80. Από την δεκαετία του '90 και ύστερα, παρατηρείται μια τάση μείωσης τόσο του αριθμού των πυρκαγιών όσο και της καμένης έκτασης ανά έτος. Εξαιρέση αποτελούν μεμονωμένα έτη όπως το 1998 και το 2000 όπου υπήρχε μια σημαντική αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν ανά έτος.

Η περίοδος που μελετήθηκε (1997-2003) χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών ετών (1997, 2000 και 2001) με ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό δασικών πυρκαγιών (2271, 1469 και 1313 αντίστοιχα). Τα υπόλοιπα έτη εκδηλώθηκαν λιγότερες από 630 πυρκαγιές ανά έτος. Η συνολική καμένη έκταση ανά έτος δεν είναι ανάλογη του αριθμού των πυρκαγιών ανά έτος μιας και λόγω διαφόρων συνθηκών, όπως είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες, ο τύπος της πυρκαγιάς, η πυκνότητα και ο τύπος βλάστησης αλλά και η αποτελεσματικότητα της πυρόσβεσης, μεταβάλλεται η μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά. Έτσι, η μεγαλύτερη καμένη έκταση κατά τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου, δεν παρατηρείται κατά το έτος 1997, αλλά κατά το έτος 2000. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτού κάηκαν συνολικά 992000 στρέμματα καθώς η μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά ήταν 675 στρέμματα. Το έτος 1998 παρόλο που ο αριθμός των πυρκαγιών ήταν μικρός (605 πυρκαγιές) η συνολικά καμένη έκταση ήταν συγκρίσιμη με αυτήν του έτους 1997 που εκδηλώθηκαν σχεδόν οι τετραπλάσιες πυρκαγιές. Η μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά εξαρτάται κυρίως από την εποχή στην οποία εκδηλώθηκε η πυρκαγιά καθώς, κατά τους χειμερινούς κυρίως μήνες, οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν ευνοούν την εξάπλωση των πυρκαγιών. Για παράδειγμα, πολύ χαμηλή τιμή καμένης έκτασης ανά πυρκαγιά παρατηρήθηκε το έτος 2002 (60 στρέμματα/πυρκαγιά) λόγω του μεγάλου αριθμού των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν τους μήνες Ιανουάριο- Μάρτιο.

Κάθε έτος η πλειοψηφία των καιγόμενων περιοχών αντιστοιχούν σε δασικές περιοχές. Συγκεκριμένα, πάνω από 70% των καμένων εκτάσεων κάθε έτος αντιστοιχούν σε δασικές εκτάσεις.

Ο αριθμός των πυρκαγιών παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένος κατά τους θερινούς μήνες. Το 50% των πυρκαγιών εκδηλώθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ενώ το 76% εκδηλώθηκαν κατά τους μήνες Ιούνιο-Οκτώβριο.

Οι εκπομπές ρύπων από δασικές πυρκαγιές εκτιμήθηκε ότι συνεισφέρουν κατά ένα σημαντικό ποσοστό στις ολικές εκπομπές. Συγκεκριμένα, στα TSP συνεισφέρουν κατά 22%, στο CO κατά 17,3%, στους υδρογονάνθρακες κατά 15%, στα CO₂, CH₄ και NH₃ κατά 3%, στο NO₂ 1,5%, στο N₂O κατά 0,9% και στο SO₂ κατά 0,3%. Ιδιαίτερη σημασία αποκτούν οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές αν λάβουμε υπόψη ότι οι εκπομπές αυτές είναι εστιασμένες τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Συγκεκριμένα, μεταφέροντας τη σύγκριση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές με τις υπόλοιπες ανθρωπογενείς εκπομπές, σε μικρότερη χωρική κλίμακα, παρατηρήθηκε ότι οι πρώτες είναι κατά 1-6 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από τις δεύτερες. Μεγαλύτερη συνεισφορά βρέθηκε ότι έχουν οι δασικές πυρκαγιές, σε οργανικό άνθρακα μικρών διαμέτρων, αλκένια, οξείδια του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές θεωρούνται ανθρωπογενείς. Μόλις το 31% των αιτίων των δασικών πυρκαγιών των ετών 1997- 2003 είναι γνωστό. Η πλειοψηφία των πυρκαγιών στην Ελλάδα οφείλεται σε ανθρώπινη παρέμβαση κατά ποσοστό 94%.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα. Σε συνδυασμό με την βάση δεδομένων για τις δασικές πυρκαγιές που δημιουργήθηκε μπορούμε να μελετήσουμε την συνεισφορά των εκπομπών ρύπων από τις πυρκαγιές στις ολικές εκπομπές κάθε έτους.

Με την εφαρμογή του μοντέλου UAM-AERO είναι εφικτή η εκτίμηση της συνεισφοράς των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές στις συγκεντρώσεις ρύπων στην Ελλάδα. Για το λόγο αυτό έγινε αρχικοποίηση του μοντέλου δημιουργώντας όλα τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζονται για την εφαρμογή του μοντέλου. Τα αρχεία που δημιουργήθηκαν περιλαμβάνουν μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα εκπομπών, χρήσεων γης κ.α..

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ

Οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές εξαρτώνται πολύ από την φάση της πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, κατά τις πρώτες φάσεις της πυρκαγιάς υπερισχύει η εκπομπή CO₂ ενώ κατά τις τελευταίες φάσεις κυριαρχεί η εκπομπή CO. Ο διαχωρισμός της κάθε πυρκαγιάς στις επιμέρους φάσεις της θα συντελέσει στην βελτίωση της μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης των εκπνευόμενων ρύπων. Λόγω της μη καταγραφής των φάσεων αυτών κατά τη διάρκεια της φωτιάς θα μπορούσε να αναπτυχθεί κάποια μεθοδολογία διαχωρισμού της πυρκαγιάς στις επιμέρους φάσεις ανάλογα με την πυκνότητα και τον τύπο της βλάστησης, τις μετεωρολογικές συνθήκες κ.α.. Έτσι, θα είναι εφικτή η χρήση διαφορετικών συντελεστών για τον προσδιορισμό των εκπομπών ρύπων ανάλογα με την φάση της πυρκαγιάς. Επίσης μπορεί να μελετηθεί διεξοδικότερα ο τρόπος με τον οποίο εξαπλώνεται η πυρκαγιά ανάλογα με τα γεωμορφολογικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν σε κάθε πυρκαγιά.

Για την μελέτη της συνεισφοράς των εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων στις συγκεντρώσεις των ρύπων στην περιοχή της Ελλάδας απαιτείται η εφαρμογή ενός μοντέλου όπως είναι το UAM-AERO. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εκπομπών όλες τις εκπομπές που προέρχονται από πηγές εκτός από τις δασικές πυρκαγιές μπορούμε να προσδιορίσουμε τις συγκεντρώσεις των ρύπων στην Ελλάδα χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τις δασικές πυρκαγιές. Με μια επιπλέον εφαρμογή του μοντέλου, συμπεριλαμβάνοντας αυτή τη φορά και τις δασικές πυρκαγιές μπορούμε να προβούμε σε σύγκριση των δυο αποτελεσμάτων που θα προκύψουν και να προσδιορίσουμε, έτσι, την συνεισφορά των δασικών πυρκαγιών στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

I. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Alexander M.E., (1982). Calculating and interpreting forest fire intensities, *Can. J. Rot.* 60, 349-357.

Aleksandropoulou V. and Lazaridis M. (2004), 'Spatial Distribution of Gaseous and Particulate Matter Emissions in Greece', *Water, Air and Soil Pollution*, 153, 15-34.

Andreae, M.O., (1991). Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: Levine, J.S. (Ed.), *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biopheric Implications*. MIT Press, MA, pp. 3-21.

Andreae, M.O., Atlas, E., Cachier, H., Cofer III, W.R., Harris, G.W., Helas, G., Koppmann, R., Lacaux, J.-P., Ward, D.E., (1996). Trace gas and aerosol emissions from savanna fires. In: Levine, J.S. (Ed.), *Biomass Burning and Global Change, Vol. 1: Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa*. MIT press, MA, pp. 278-295.

Atkinson R. and Lloyd A.C. (1984), 'Evaluation of kinetic and mechanistic data for modelling of photochemical smog', *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 313-315.

Betchley C., J. Koenig, G. Van Belle, H. Checkoway, and T. Reinhardt, (1997). Pulmonary function and respiratory symptoms in forest firefighters. *Amercian Journal of Industrial Medicine* 31: 503-509.

Byram G.M., (1959), Combustion of forest fuels, In *Forest Fire: Control and Use*, McGraw-Hill, New York, pp. 61-89.

Carter W.P.L. (1990), 'A detailed mechanism for the gas phase atmospheric reactions of organic compounds', *Atmos. Env.* 24A, 481-518.

Chigier N.A., (1976), *Pollution Formation and Destruction in Flames*, Vol. 1, Pergamon Press, New York.

Chock D.P., Winkler S.L. and Sun P. (1994), 'A comparison of stiff chemistry solvers for air quality modelling', Paper presented at the Air and Waste Management Association 87th Annual Meeting, Cincinnati, OH, 19-24 June.

CORINAIR, Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd Edition, 2001

Costa, L.C.; Amdur, M.: *Air Pollution, Environmental Toxicology*, 1994

Dennis A., Fraser M., Anderson S., Allen D., (2002) Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. *Atm. Environ.* 36, 3779-3792

Dimitrakopoulos, A. (1994). Analysis of forest fire causes in Greece. MA of Chania Greece

Dimitrakopoulos, A. P. (1990). "A Synopsis of the Greek Wildland Fire Problem." *International Forest Fire News* (4)

Dimitrakopoulos, A.P., Sakelaridis, E. (1990). "Forest Fires in Greece, 1990." *International Forest Fire News* (4)

Dimitrakopoulos, A.P. (1992). "The 1991 Fire Statistics Report" *International Forest Fire News* (7)

Dimitrakopoulos, A.P. (1993). "The 1992 Fire Statistics Report" *International Forest Fire News* (8)

Dimitrakopoulos, A.P. (1994). "The 1993 Fire Statistics Report" *International Forest Fire News* (10)

EPA (2003), 'Fourth External Review Draft of Air Quality Criteria for Particulate Matter', Volume I.

European Commission (1997), Technical Working Group on Particles: Ambient air pollution by particulate matter, Draft Position Paper, 1997/8

European Communities, (2001), Forest Fires in southern Europe: Bulletin of the 2000 fire campaign.

European Communities, (2002), Forest Fires in southern Europe: Bulletin of the 2001 fire campaign.

European Communities, (2003), Forest Fires in southern Europe: Bulletin of the 2002 fire campaign.

European Communities, (2004), Forest Fires in southern Europe: Bulletin of the 2003 fire campaign.

Gelbard F., Tambour Y., and Seinfeld J.H. (1980) Sectional representation for simulating aerosol dynamics. *J. Colloid Interface Sci.* 76, 541-556

Gery M.W., Whitten G.Z. and Killus J.P. (1988), 'Development and testing of the CBM-IV for urban and regional modeling', Report prepared by Systems Applications Inc., San Rafael, CA, EPA Contract No. 68-02-4136.

Gray H.A., Ligocki M.P., Moore G.E., Emery C.A., Kessler R.C., Cohen J.P., Chang P.P., Balestrini S.I., Douglas S.G., Schulhof R.R., Killus J.P. and Burton C.S. (1991), 'Deterministic modelling in the Navajo generating station visibility study. Volume II: appendices A-E', Report prepared for Salt River Project. Phoenix, AZ By Sustems Applications International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-91/045b, April.

Gronas, S., A. Foss, and M. Lystad, (1987). Numerical simulations on polar lows in the Norwegian Sea, *Tellus*, 39A, 224-353

Hampson Jr.J.A., Kerr J.T., Baulch D.L., Cox R.A. and Watson R.T. (1984), 'Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Supplement ii, codataa task group on gas phase chemical kinetics', *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 13:1-259.

Hicks B.B., Baldocchi D.D., Meyers T.P., Hosker R.P., and Matt D.R. (1987) A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. *Water, Air, Soil Poll.* 36, 311-330

Holben, B.N., Kaufman, Y.J., Setzer, A.W., Taure, D.D., Ward, D.E., (1991). Optical properties of aerosol emissions from biomass burning in the tropics, BASE-A. In: Levine, J.S. (Ed.), *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biopheric Implications*. MIT press, MA, pp. 403-411.

International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), (1990). *A Study of Global change of the International Council of Scientific Unions*, IGBP Secr., R. Swed. Acad. of Sci., Stockholm, Sweden

Jacob D.J., Waldman J.M., Munger J.W., and Hoffmann M.R. (1984) A field investigation of physical and chemical mechanisms affecting pollutant concentrations in fog droplets. *Tellus* 36B, 272-285

Jacob D.J., Shair F.H., Waldman J.M., Munger J.W., and Hoffmann M.R. (1987) Transport and oxidation of SO₂ in a stagnant foggy valley. *Atmos. Environ.* 21, 1305-1314

Khan, S.M., Simpson, R.W.,(2001), Simulation of mixing depths incorporating the urban heat island effect, *Environmental Modeling and Assessment* 6, 183-193

Korovin, G.N. (1996). Analysis of the distribution of forest fires in Russia. In: Goldammer, J.G. and Furyaev, V.V., eds. *Fire in ecosystems of boreal Eurasia*; Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 112-128.

Kumar N., Lurmann F.W. and Carter W.P.L. (1995), 'Development of the flexible chemical mechanism version of the urban airshed model', Final report

prepared for the California Air Resources Board, Sacramento, CA by Sonoma Technology, Inc, Santa Rosa, CA, STI-94470-1508-FR, August.

Kvamsto, N.G. (1992). Implementation of the Sundqvist Scheme in the Norwegian Limited Area Model, Meteorol. Rep. Seri., 2-92, Dep. Of Geophys., Univ. Of Bergen, Norway

Lazaridis M., Spyridaki A., Solberg S., Smolik J., Zdimal V., Eleftheriadis K., Aleksandropoulou V., Hov O., Georgopoulos P.G. (2005) 'Mesoscale modeling of combined aerosol and photo-oxidant processes in the Eastern Mediterranean', Atmos. Chem. Phys. 5, 927-940

MacCracken, M.C., Cess, R.D. and Potter, G.R., (1986). Climatic effects of anthropogenic arcticaerosols: an illustration of climatic feedback mechanisms with one- and two- dimensional climate models. J. Geophys. Res. 91, 14445-14450

McMahon C.K., (1983), Characteristics of forest fuels, fires and emissions. 76th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. USDA Forest Service.

McRae, G.J. (1980) A simple procedure for Calculating Atmospheric Water Vapor Concentration, J. Air Pollution Control Assoc., 30, 394-396

Martins V.J., Artaxo, P., Liousse, C., Reid, J.S., Hobbs, P.V., Kaufman, Y.J., (1998). Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil. Journal of Geophysical Research 103 (D4), 32041-32050.

Munger J.W., Jacob D.J., Waldman J.M., and Hoffmann M.R. (1983), 'Fogwater chemistry in an urban atmosphere', J. Geophys. Res. 88, 5109-5121.

Nordeng, T.E., (1986). Parameterization of physical processes in a three-dimensional numerical weather prediction model, Tech. Rep. 65, Norwegian Meteorol. Inst., Oslo, Norway

O'Brien, J.J. (1970). Alternative solutions to the classical vertical velocity profile. J. Applied Meteorol. 20, 3-17.

Ostermann, K., and M. Brauer (2001): "Air Quality During Haze Episodes and Its Impact on Health," in Forest Fires and Regional Haze in Southeast Asia, ed. by P. Eaton, and M. Radojevic, chap. 10

Pandis S. N. (1996a) 'EQUIL 2.1 user's guide', Report prepared for California Air Resources Board, Sacramento, CA.

Pandis S N., Harley R.A., Cass G.R., and Seinfeld J.H. (1992a), 'Secondary organic aerosol formation and transport', *Atmos. Environ.* 26A, 2269-2282.

Pandis S.N., Seinfeld J.H., and Pilinis C. (1992b), 'Heterogeneous sulphate production in an urban smog', *Atmos. Environ.* 26A, 2509-2522.

Pandis S.N., Wexler A.S. and Seinfeld J.H. (1993), 'Secondary organic aerosol formation and transport – II. Predicting the ambient secondary organic aerosol size distribution', *Atmos. Env.*, Vol. 27A, No. 15, pp. 2403-2416.

Pandis S.N. and Seinfeld J.H. (1989), 'Development of a state-of-the-art acid deposition model for the South Coast Air basin of California', Report prepared for California Air Resources Board, Sacramento, CA, Contract No. A732-043.

Penner, J.E., Ghan, S.J. and Walton, J.J., 1991. The role of biomass burning in the budget and cycle of carbonaceous soot aerosols and their climate impacts. In: J.S. Levine, *Global Biomass Burning. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts*

Pilinis C. and Seinfeld J.H. (1987), 'Continued development of a general equilibrium model for inorganic multicomponent atmospheric aerosols', *Atmos. Environ.* Vol. 21, No. 11, pp. 2453-2466.

Radke L.F., Hegg D.A., Hobbs P.V., Nance J.D., Lyons J.H., Laursen K.K., Weiss R.F., Riggan P.J., and Ward D.E. (1991) Particulate and trace gas emissions from large biomass fires in North America, *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*, MIT Press, Cambridge, Mass., pp. 209-224.

Reinhardt T. and R. Ottmar, 1997. Smoke Exposure Among Wildland Firefighters: A Review and Discussion of Current Literature. PNW-GTR-373. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Pacific Northwest Research Station.

Richards J.M., (1971) A simple expression for the saturation vapor pressure of water in the range 50 to 140°C, *British J. Appl. Phys.*, D4, L15

Russell A., Winner D.A., Harley R.A., McCue K.F., and Cass G.R. (1993) Mathematical modeling and control of the dry deposition flux of nitrogen-containing air pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 27, 2772-2782.

Ryan P.W., McMahon C.K., (1976) Some chemical and physical characteristics of emissions from forest fires, Pap. No. 76-2.3, 69th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association.

SAI (1990a), User's guide for the urban airshed model. Volume I, prepared by Systems Application, International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-90/018a.

SAI (1990b), 'User's guide for the urban airshed model. Volume II: Preprocessors and Postprocessors for the UAM modeling system', prepared by Systems Applications International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-90/018b.

SAI (1990c), 'User's guide for the urban airshed model. Volume III: the diagnostic wind model', prepared by Systems Applications International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-90/018c.

SAI (1990d), 'User's guide for the urban airshed model. Volume IV: the emissions preprocessor system', prepared by Systems Applications International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-90/018d.

SAI (1990e), 'User's guide for the urban airshed model. Volume V: description and operation of the ROM-UAM interface program system', prepared by Systems Applications International, San Rafael, CA, Report No. SYSAPP-90/018e.

Sandberg D.V., (1983), Emission reduction from prescribed forest burning, Pap. No. 83-45.2 presented at the 76th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Atlanta, GA.

Sandberg, D.V., Pierovich, J.M., Fox, D.G. and Ross, E.W., 1978. Effects of fire on air, USDA Forest Service General Tech. Rep. WO-9, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Scire J.S., Strimaitis D.G., and Yamartino R.J. (1990) Model formulation and user's guide for the CALPUFF dispersion model. Report prepared for the California Air Resources Board, Sacramento, CA by Sigma Research Corporation, Concord, MAm Report No. A025-2, November.

Sehmel G.A. (1980), 'Particle and gas deposition. A review', Atmos. Environ., 14, 983-1011.

Seigneur C., Hudischewskyj A.B., Seinfeld J.H., Whitby K.T., Whitby E.R., Brock J.R. and Barnes H.M. (1986), 'Simulation of aerosol dynamics: A comparative review of mathematical models', Aerosol Science Technology, 5, 205-222.

Seiler W., Crutzen P.J., (1980) Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2, 207-247.

Seinfeld J.H. (1986), 'Atmospheric chemistry and physics of air pollution', John Wiley and Sons , Wiley-Interscience Publication, USA.

Seinfeld J.H. and Pandis S.N. (1998), 'Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change', John Wiley and Sons , Wiley-Interscience Publication, USA.

Sempreviva A.M., Gryning S.E.,(2000), Mixing height over water and its role on the correlation between temperature and humidity fluctuations in the unstable surface layer, *Boundary-Layer Meteorology* 97, 273-291

Slinn S.A. and Slinn W.G.N. (1980), 'Predictions for particle deposition on natural waters', *Atmos. Environ.*, 24, 1013-1016.

Sundqvist, H., Parameterization of condensation and associated clouds in models for weather prediction and general circulation simulations, *Physically-Based Modelling and Simulation of Climate and Climatic Change*, edited by M.E. Schlesinger, pp. 433-461, D. Reidel, Norwell, Mass., 1988

Sundqvist, H., E. Berge, and J.E. Kristjanson, Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale NWP model, *Mon. Weather. Rev.*, 117, 1641-1657, 1989

STI (12/1996), 'User's Guide to the UAM-AERO Model', Sonoma Technology, inc. (STI).

Sun P., Chock D.P. and Winkler S.L. (1994), 'An implicit-explicit hybrid solver for a system of stiff kinetic equations', Paper presented at the Air & Water Management Association 87th Annual Meeting, Cincinnati, OH, June 19-24.

Trozzi C., (2002). Emissions estimate from forest fires: methodology, software and European case studies

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), 1986. Global Tropospheric Chemistry: Plans for the U.S. Research Effort, Office for Interdisciplinary Earth Studies. Boulder, Colorado

Vestreng, V. , et. al. (2004) , Inventory Review 2004, Emission Data reported to CLRTAP and under the NEC Directive, EMEP/EEA Joint Review Report, EMEP/MSC-W Note 1/2004. ISSN 0804-2446.

Vestreng, V. and Klein, H. (2002), Emission data reported to UNECE/EMEP: Quality assurance and trend analysis Presentation of WebDab, EMEP/MSC-W Note 1/2002. ISSN 0332-9879.

Voldner E.C., Barrie L.A., and Sirois A. (1986), 'A literature review of dry deposition of oxides of sulphur and nitrogen with emphasis on long-range transport modelling in North America', *Atmos. Environ.* 20, 2101-2123.

Waldman J.M. (1986) Depositional aspects of pollutant behavior in fog. Ph.D. Thesis, California Institute of technology, Pasadena.

Ward D.E., 1999, Smoke from wildland fires, Health guidelines for vegetation fire events, Lima, Peru, WHO.

Ward D.E., Hardy C. (1989) Organic and elemental profiles for smoke from prescribed fires. In: Watson J.G. (ed). Receptor models in air resources management: transactions of an international specialty conference of the Air and Waste Management Association, 299-321.

Ministry of Health Indonesia: Haze Disaster and Health impact in Indonesia. Paper for the Biregional Workshop on the Health Impacts of haze-related air pollution, IMR , Kuala Lumpur, Malaysia, 1-4 June 1998

Wesely M., (1989) 'Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models', *Atmos. Environ.* 23, 1293-1304.

Wexler A.S., Lurmann F.W., and Seinfeld J.H. (1994), Modelling urban and regional aerosols: I. model development. *Atmos. Environ.* 28, 531-546

Wexler A.S. and Seinfeld J.H. (1990), 'The distribution of ammonium salts among a size and composition dispersed aerosol', *Atmos. Env.*, 24A, 1231-1246.

Holzworth, C.G., 1972. Mixing depths, wind speeds, and potential for urban pollution throughout the contiguous United States. EPA, Office of Air Programs Publ. AP-101, 118 pp.

Xanthopoulos, G. (1995). "The 1994 Forest Fire Season" International Forest Fire News (12)

Xanthopoulos, G. (1996). "The 1995 Forest Fire Season" International Forest Fire News (14)

Xanthopoulos, G. (1997). "The 1996 Forest Fire Season" International Forest Fire News (16)

II. Ελληνική βιβλιογραφία

Αλεξανδροπούλου Β.Γ. (2002), 'Εκπομπές Αερίων και Σωματιδίων στην Ατμόσφαιρα από τον Ευρύτερο Ελληνικό Χώρο'. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Ζερεφός Χ.Σ., Μαθήματα φυσικής της ατμόσφαιρας και φυσικής του περιβάλλοντος, Α.Π.Θ, 1984

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

Μπαντέλας Α. (1999), Σαββαΐδης Π., Υφαντής Ι., Δούκας Ι., Γεωδαισία - Τόμος Ι.

Ντάφης Σ.Α., 1989. Οι διαχειριστικές μορφές δάσους. Σε *Ελληνικά Δάση*, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας και Κοινωφελές Ίδρυμα ΕΤΒΑ.

Σπυριδάκη Α. (2005), 'Μεσοσκοπική Διερεύνηση για την Ανίχνευση Όζοντος και Λεπτών Σωματιδίων στην Περιοχή της Μεσογείου'. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας Ι-1: Κωδικοποίηση αιτίων πρόκλησης πυρκαγιών

α/α	Αιτία πυρκαγιάς
1	Κεραυνός
2	Βολή Στρατού
3	Χρήση εκρηκτικών
4	Σπινθήρας μηχανήματος
5	Βραχυκύκλωμα
6	Τσιγάρο
7	Κάψιμο απορριμμάτων
8	Κάψιμο καλαμιάς (αγρών)
9	Κάψιμο βοσκοτόπων
10	Κακόβουλος εμπρησμός
11	Εκδρομείς
12	Κυνηγοί
13	Εργαζόμενοι στο ύπαιθρο
14	Ενέργεια πυρομανούς
15	Ενέργεια παιδιού
16	Ενέργεια ψυχοπαθούς
17	Ενέργεια διανοητικά καθυστερημένου
18	Άλλα γνωστά
19	Άγνωστα

Πίνακας Ι-2: Κατηγοριοποίηση Καμένης Δασικής Βλάστησης

α/α	Καμένη Δασική Βλάστηση
1	Πεύκη μαύρη
2	Πεύκη δασική
3	Πεύκη λευκόδερμος
4	Ελάτη
5	Ερυθρελάτη
6	Λοιπά ψυχρόβια κωνοφόρα
7	Πεύκη Χαλέπιος
8	Πεύκη Τραχεία
9	Πεύκη Κουκουναριά
10	Κυπάρισσος
11	Λοιπά θερμόβια κωνοφόρα
12	Καστανιά
13	Οξιά
14	Σημύδα
15	Λοιπά ψυχρόβια πλατύφυλλα
16	Δρυς φυλλοβόλος
17	Αριά
18	Πουρνάρι
19	Λοιπά θερμόβια πλατύφυλλα
20	Φυλλοβόλα πλατύφυλλα
21	Αείφυλλα πλατύφυλλα
22	Φρυγανοσκεπείς εκτάσεις
23	Χορτοσκεπείς εκτάσεις
24	Αναγέννηση
25	Αναδάσωση

Η καμένη δασική βλάστηση διαχωρίζεται επιπλέον ως προς τη διαχειριστική μορφή του δάσους. Στις διαχειριστικές μορφές του δάσους κατατάσσονται τρεις κύριες μορφές: το σπερμοφυές (υψηλό) δάσος, το πρεμνοφυές, ή παραβλαστογενές, και το διφυές (Ντάφης 1989).

Στο **σπερμοφυές δάσος**, η αναγέννηση (φυσική ή τεχνητή) γίνεται με σπόρους ή φυτάρια που προέρχονται από σπόρους. Γνωρίσματα των σπερμοφυών δασών είναι οι μεγάλοι χρόνοι παραγωγής (περίτροποι χρόνοι),

η συσσώρευση των υψηλών αποθεμάτων ξύλου και γενικά βιομάζας και η παραγωγή τεχνικού ξύλου σε μεγάλη αναλογία. Ο χρόνος παραγωγής του δάσους κυμαίνεται για τα κυριότερα δασοπονικά είδη μας, όπως η πεύκη, η ελάτη, η δρυς, η οξιά, κλπ., μεταξύ 60 και 100 ετών.

Στην **πρεμνοφυή ή παραβλαστογενή μορφή** δάσους η αναγέννηση γίνεται με παραβλαστήματα και είναι δυνατή σε είδη που έχουν την ικανότητα να πολλαπλασιάζονται με παραβλαστήματα, όπως τα πλατύφυλλα των θερμότερων περιοχών (δρυς, οξιά, καστανιά κλπ.). Ο χρόνος παραγωγής κυμαίνεται συνήθως από 25 έως 35 έτη, ανάλογα με το δασοπονικό είδος και τις λοιπές συνθήκες.

Στη **διφυή μορφή**, η αναγέννηση γίνεται τόσο με παραβλαστήματα όσο και με σπερμοβλαστήματα. Η θέση τους γενικά σε όλες τους τις ιδιότητες είναι ενδιάμεση μεταξύ της σπερμοφυούς και πρεμνοφυούς μορφής.

Η αναλογία των τριών διαχειριστικών μορφών των Ελληνικών δασών φαίνονται στον πίνακα Ι-3.

Πίνακας Ι-3: Διαχειριστικές μορφές δασών στην Ελλάδα

Διαχειριστική Μορφή	Έκταση στρεμ.	%
1. Σπερμοφυής	8.723.630	34,7
2. Πρεμνοφυής	12.072.430	48,0
3. Διφυής	4.328.120	17,3
Σύνολο Δασών	25.124.180	100,0

Πίνακας Ι-4: Κατηγοριοποίηση Καμένης Μη Δασικής Βλάστησης

α/α	Καμένη Μη Δασική Βλάστηση
1	Σιτηρά
2	Άμπελοι
3	Ελαιώνες
4	Λοιπές καλλιέργειες
5	Κατοικημένες εκτάσεις

Πίνακας Ι-5: Κατηγοριοποίηση άλλων Καταστροφών

α/α	Άλλες καταστροφές
1	Οικίες
2	Γεωργο-κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις
3	Άνθρωποι
4	Ζώα
5	Μηχανήματα

Πίνακας Ι-6: Κατηγοριοποίηση ταχύτητας ανέμου

α/α	Ένταση ανέμου (Bf)	
1	0.0 – 1.0	Νηνεμία
2	1.1 – 4.0	Μέτριος
3	4.1 – 7.0	Ισχυρός
4	7.1 – 9.0	Πολύ ισχυρός
5	> 9.1	Θυελλώδης

Πίνακας Ι-7: Κατηγοριοποίηση Πετρώματος

α/α	Πέτρωμα
1	Νεογενές
2	Φλύσχης
3	Πυριγενές
4	Κρυσταλλοσχιτώδες
5	Ασβεστολιθικό

Πίνακας Ι-8: Κατηγοριοποίηση Μορφής Πυρκαγιάς*

α/α	Μορφή πυρκαγιάς
1	Επικόρυφη
2	Έρπουσα
3	Εδάφους
4	Μικτή

* Η μορφή της πυρκαγιάς διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις επιπτώσεις της. Για παράδειγμα, οι επικόρυφες πυρκαγιές θεωρούνται καταστροφικές γιατί καταστρέφουν, όχι μόνο τα δένδρα, αλλά και τους σπόρους τους, με αποτέλεσμα η αναγέννηση του δάσους να είναι σχεδόν αδύνατη. Λιγότερο καταστροφική θεωρείται η έρπουσα πυρκαγιά, η οποία όμως μετατρέπεται σε καταστροφική όταν σε μικρό χρονικό διάστημα ακολουθήσει και άλλη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Αρχείο εισόδου CHEMPARAM

CHEMPARAM CHEMISTRY PARAMETERS SCSTCB4.MOD
REVISED VERSION (B). REC'D FROM SAI 2/16/94

NO OF SPECIES = 37
NO OF FAST SPECIES = 12
NO OF SLOW SPECIES = 25
NO OF REACTIONS = 97
NO OF VARIABLE COEFFICIENTS = 14
BEGIN OF CONSTANT COEFFS = 451
END OF CONSTANT COEFFS = 509
NO OF PHOTOLYTIC REACTIONS = 7
NO OF CONSTANT SPECIES = 2
NO OF VARIABLE TEMPERATURES = 0
NO OF VARIABLE TEMPERATURE COEFFS = 0
INDEX FOR CONCENTRATION OF H2O = 2
NUMBER OF AEROSOL SECTIONS = 8
NUMBER OF FOG DROPLETS = 1
DIAMETER CUT POINTS (micro-meter) = .039062 .078125 .15625 .3125 .625 1.25 2.5 5.0 10.0 20.0

HV 1.000000E+00 H2O 2.000000E+04

PNA	T	F	F	.1000E+11	2.090	.0000E+00	.2000E+05	.0000E+00
HNO3	T	F	F	.1000E-09	1.870	.0000E+00	.1000E+15	.0000E+00
HONO	T	F	F	.2000E-02	1.620	.1000	.1000E+06	.0000E+00
PAN	T	F	F	.2940	2.590	.1000	3.600	.0000E+00
H2O2	T	F	F	.1000E+11	1.370	1.000	.1000E+06	.0000E+00
PAR	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
ETH	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
OLE	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
OLE2	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
TOL	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
XYL	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
ISOP	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
CO	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
FORM	T	F	F	.1000E+11	1.290	.0000E+00	6000.	.0000E+00
ALD2	T	F	F	.1000E+11	1.560	.0000E+00	15.00	.0000E+00
MGLY	T	F	F	.1000E+11	2.000	.0000E+00	3700.	.0000E+00
OPEN	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
ETOH	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
MEOH	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
MTBE	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
SO2	T	F	F	.1000E+11	1.890	.0000E+00	.1000E+06	.0000E+00
HSO4	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
COC	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
NH3	T	F	F	.1000E+11	.9700	.0000E+00	.2000E+05	.0000E+00
HCL	T	F	F	.1000E+11	1.420	.0000E+00	.2050E+07	.0000E+00
O3	T	T	T	.1470E-01	1.630	1.000	.1000E-01	.0000E+00
NO	T	F	F	.2900	1.290	.0000E+00	.2000E-02	.0000E+00
NO2	T	F	F	.1110E-01	1.600	.1000	.1000E-01	.0000E+00
HO2	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
OH	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
NO3	T	F	F	.2000E-02	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
N2O5	T	F	F	.2000E-02	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
C2O3	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
XO2	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
ROR	T	F	F	.1000E+11	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00

Παράρτημα II

CRO T F F .1000E+11 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00
CRES T F F .1000E+11 2.450 .0000E+00 1200. .0000E+00

LOGICAL VARIABLE FOR NITROGEN BALANCE IS: F

INDICES FOR PNA REACTIONS ARE: 29 30 31

DEFAULT TEMPERATURE FOR REACTION RATES: 298.0

ZENITH ANGLES

11 .0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 78.0 86.0 90.0

INDICES FOR PHOTOLYTIC REACTIONS

8 9 10 11 12 13 14

REACTION MECHANISM PARAMETERS

1 .0000E+00 7 11
.6360E+00 .6290E+00 .6130E+00 .5861E+00 .5424E+00 .4857E+00 .4019E+00 .2829E+00 .1602E+00 .4799E-01
.0000E+00
2 .4323E+07 4 3
.8383E+05 -.2335E+01 .0000E+00
3 .2664E+02 4 3
.2643E+04 .2722E+01 .0000E+00
4 .1375E+05 4 3
.1375E+05 .0000E+00 .0000E+00
5 .2309E+04 4 3
.2303E+03 -.1365E+01 .0000E+00
6 .2437E+04 4 3
.3233E+03 -.1196E+01 .0000E+00
7 .4731E-01 4 3
.1760E+03 .4869E+01 .0000E+00
8 .0000E+00 0 0
9 .0000E+00 7 11
.2955E-02 .2849E-02 .2569E-02 .2123E-02 .1577E-02 .1016E-02 .5090E-03 .1686E-03 .4416E-04 .4712E-05
.0000E+00
10 .4246E+06 4 3
.1147E+06 -.7750E+00 .0000E+00
11 .3260E+01 4 3
.3260E+01 .0000E+00 .0000E+00
12 .1000E+03 4 3
.2344E+04 .1868E+01 .0000E+00
13 .2999E+01 4 3
.2100E+02 .1153E+01 .0000E+00
14 .0000E+00 0 0
15 .4417E+05 4 3
.1909E+05 -.4968E+00 .0000E+00
16 .5901E+00 4 3
.3660E+02 .2444E+01 .0000E+00
17 .1853E+04 4 3
.7849E+03 -.5087E+00 .0000E+00
18 .1900E-05 4 3
.1900E-05 .0000E+00 .0000E+00
19 .2776E+01 4 3
.2110E+17 .2165E+02 .0000E+00
20 .1539E-03 4 3
.2600E-04 -.1053E+01 .0000E+00
21 .2997E-07 4 3
.1680E-16 -.1261E+02 .0000E+00
22 .9798E+04 4 3
.6554E+03 -.1602E+01 .0000E+00
23 .0000E+00 0 0
24 .9770E+04 4 3

```

.9770E+04 .0000E+00 .0000E+00
25 .1500E-04 4 3
.1500E-04 .0000E+00 .0000E+00
26 .1682E+05 4 3
.1537E+04 -.1417E+01 .0000E+00
27 .2179E+03 4 3
.7600E+01 -.1987E+01 .0000E+00
28 .1227E+05 4 3
.5482E+04 -.4769E+00 .0000E+00
29 .0000E+00 4 3
.0000E+00 -.1488E+01 .0000E+00
30 .0000E+00 4 3
.0000E+00 .2011E+02 .0000E+00
31 .0000E+00 4 3
.0000E+00 -.7551E+00 .0000E+00
32 .4144E+04 4 3
.8739E+02 -.2285E+01 .0000E+00
33 .2181E+00 4 3
.7690E-09 -.1153E+02 .0000E+00
34 .0000E+00 7 11
.6976E-03 .6857E-03 .6534E-03 .5990E-03 .5203E-03 .4244E-03 .3063E-03 .1774E-03 .8478E-04 .2265E-04
.0000E+00
35 .2520E+04 4 3
.4720E+04 .3716E+00 .0000E+00
36 .3220E+03 4 3
.3220E+03 .0000E+00 .0000E+00
37 .1500E+05 4 3
.1500E+05 .0000E+00 .0000E+00
38 .0000E+00 7 11
.2790E-02 .2741E-02 .2600E-02 .2364E-02 .2025E-02 .1615E-02 .1121E-02 .6081E-03 .2673E-03 .5984E-04
.0000E+00
39 .0000E+00 7 11
.3736E-02 .3681E-02 .3542E-02 .3305E-02 .2945E-02 .2488E-02 .1883E-02 .1160E-02 .5861E-03 .1681E-03
.0000E+00
40 .2370E+03 4 3
.4302E+05 .3080E+01 .0000E+00
41 .9300E+00 4 3
.9300E+00 .0000E+00 .0000E+00
42 .6358E+03 4 3
.1739E+05 .1959E+01 .0000E+00
43 .2399E+05 4 3
.1037E+05 -.4968E+00 .0000E+00
44 .3700E+01 4 3
.3700E+01 .0000E+00 .0000E+00
45 .0000E+00 7 11
.4473E-03 .4365E-03 .4053E-03 .3541E-03 .2860E-03 .2092E-03 .1278E-03 .5747E-04 .2057E-04 .3242E-05
.0000E+00
46 .2815E+05 4 3
.5150E+05 .3577E+00 .0000E+00
47 .1374E+05 4 3
.3840E+04 -.7551E+00 .0000E+00
48 .2540E-01 4 3
.1200E+19 .2683E+02 .0000E+00
49 .3700E+04 4 3
.3700E+04 .0000E+00 .0000E+00
50 .9600E+04 4 3
.9600E+04 .0000E+00 .0000E+00
51 .2100E+02 4 3
.6521E+04 .3398E+01 .0000E+00
52 .1203E+04 4 3
.1203E+04 .0000E+00 .0000E+00
53 .1371E+06 4 3

```

```

.6250E+17 .1590E+02 .0000E+00
54 .9545E+05 4 3
.9545E+05 .0000E+00 .0000E+00
55 .2200E+05 4 3
.2200E+05 .0000E+00 .0000E+00
56 .5920E+04 4 3
.1756E+05 .6439E+00 .0000E+00
57 .4200E+05 4 3
.7740E+04 -.1002E+01 .0000E+00
58 .1800E-01 4 3
.2104E+02 .4183E+01 .0000E+00
59 .1135E+02 4 3
.1135E+02 .0000E+00 .0000E+00
60 .1080E+04 4 3
.1540E+05 .1574E+01 .0000E+00
61 .1192E+05 4 3
.3000E+04 -.8167E+00 .0000E+00
62 .2700E-02 4 3
.1856E+02 .5232E+01 .0000E+00
63 .9151E+04 4 3
.3106E+04 -.6399E+00 .0000E+00
64 .1200E+05 4 3
.1200E+05 .0000E+00 .0000E+00
65 .2500E+03 4 3
.2500E+03 .0000E+00 .0000E+00
66 .6100E+05 4 3
.6100E+05 .0000E+00 .0000E+00
67 .3250E+05 4 3
.3250E+05 .0000E+00 .0000E+00
68 .2000E+05 4 3
.2000E+05 .0000E+00 .0000E+00
69 .0000E+00 7 11
.2060E-02 .2023E-02 .1917E-02 .1738E-02 .1483E-02 .1176E-02 .8101E-03 .4347E-03 .1885E-03 .4105E-04
.0000E+00
70 .4400E+05 4 3
.4400E+05 .0000E+00 .0000E+00
71 .1500E-01 4 3
.8030E-01 .9936E+00 .0000E+00
72 .3620E+05 4 3
.2453E+05 -.2305E+00 .0000E+00
73 .2600E+05 4 3
.2600E+05 .0000E+00 .0000E+00
74 .0000E+00 0 0
75 .2700E+05 4 3
.2700E+05 .0000E+00 .0000E+00
76 .1420E+06 4 3
.1420E+06 .0000E+00 .0000E+00
77 .1800E-01 4 3
.1800E-01 .0000E+00 .0000E+00
78 .4700E+03 4 3
.4700E+03 .0000E+00 .0000E+00
79 .1200E+05 4 3
.1200E+05 .0000E+00 .0000E+00
80 .2000E+04 4 3
.2550E+02 -.2583E+01 .0000E+00
81 .1200E+05 4 3
.1200E+05 .0000E+00 .0000E+00
82 .1110E+04 4 3
.6488E+03 -.3180E+00 .0000E+00
83 .0000E+00 4 3
.0000E+00 .0000E+00 .0000E+00
84 .0000E+00 4 3

```

```
.0000E+00 .0000E+00 .0000E+00
85 .8896E+04 4 3
.1134E+03 -.2583E+01 .0000E+00
86 .2000E+04 4 3
.2550E+02 -.2583E+01 .0000E+00
87 .2000E+04 4 3
.2550E+02 -.2583E+01 .0000E+00
88 .8896E+04 4 3
.1134E+03 -.2583E+01 .0000E+00
89 .5920E+04 4 3
.1756E+05 .6439E+00 .0000E+00
90 .4200E+05 4 3
.7740E+04 -.1002E+01 .0000E+00
91 .1800E-01 4 3
.2104E+02 .4183E+01 .0000E+00
92 .1135E+02 4 3
.1135E+02 .0000E+00 .0000E+00
93 .0000E+00 4 3
.0000E+00 .0000E+00 .0000E+00
94 .0000E+00 4 3
.0000E+00 .0000E+00 .0000E+00
95 .1600E+04 4 3
.1600E+04 .0000E+00 .0000E+00
96 .4300E+04 4 3
.2382E+04 -.3497E+00 .0000E+00
97 .4180E+04 4 3
.4180E+04 .0000E+00 .0000E+00
```

VARIABLE COEFFICIENTS

```
.000000E+00 .100000E-29 .298120E+03 .000000E+00 .000000E+00 .000000E+00
.000000E+00 .000000E+00 .000000E+00 .000000E+00 .000000E+00 .000000E+00
.000000E+00 .000000E+00
```

CONSTANT COEFFICIENTS

```
.530000E-01 .200000E+01 .339000E+02 .890000E+00 .110000E+00 .197500E+00
.790000E+00 .870000E+00 .130000E+00 .760000E+00 -.110000E+00 .800000E+01
.110000E+01 .960000E+00 .940000E+00 -.210000E+01 .400000E-01 .200000E-01
.630000E+00 .380000E+00 .280000E+00 .300000E+00 .200000E+00 .220000E+00
.200000E+02 -.100000E+01 .500000E+00 .740000E+00 .330000E+00 .440000E+00
.100000E+00 .910000E+00 .900000E-01 .700000E+00 .170000E+01 .156000E+01
.420000E+00 .120000E+00 .800000E-01 .360000E+00 .560000E+00 .402000E+03
.900000E+00 .400000E+00 .600000E+00 .221000E+03 .300000E-01 .620000E+00
.690000E+00 .800000E+00 .416000E+03 .550000E+00 .450000E+00 .670000E+00
.600000E-01 .123600E+04 .137000E+01 .980000E+00 .970000E+00
```