

Γ' ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



**ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ ΠΕ4
ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ
ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΒΑΛΚΑΝΙΩΝ**

Τίτλος έργου : ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΒΑΛΚΑΝΙΩΝ (ΑΘΗΝΑ & ΒΟΥΚΟΥΡΕΣΤΙ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΤΕΧΝΙΚΗΣ LIDAR»

Κωδικός έργου	:	167 - Γ
Ανάδοχος	:	Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ-ΤΕΜΦΕ-ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
Επιστημονικός Υπεύθυνος	:	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ
Μέτρο	:	4.3
Δράση	:	4.3.6.1
Θεματικός Τομέας	:	ΕΛΛΑΔΑ - ΡΟΥΜΑΝΙΑ ΚΟΙΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ (2005-2007) ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αρμόδια Διεύθυνση ΓΓΕΤ	:	Διεύθυνση Διεθνούς Ε+Τ Συνεργασίας Τμήμα Β' Διακρατικών Σχέσεων
Αρμόδια χειρίστρια ΓΓΕΤ	:	Β. ΚΕΡΑΣΙΩΤΗ

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 4: ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΒΑΛΚΑΝΙΩΝ

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια της Φάσης 4 του Έργου πραγματοποιήθηκαν ειδικές μετρήσεις για την μελέτη των μηχανισμών τροποποίησης των οπτικών ιδιοτήτων αερίων μαζών στην περιοχή των Βαλκανίων. Ανάλογα με τις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες οι αέριες μάζες που διακινούνται στην περιοχή των Βαλκανίων, εμπλουτίζονται λιγότερο ή περισσότερο με αερολύματα, όταν διέρχονται πάνω από αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Στο πλαίσιο του έργου πραγματοποιήθηκαν συντονισμένες μετρήσεις lidar από την Ελληνική και την Ρουμανική πλευρά, για τη μελέτη της τροποποίησης των οπτικών ιδιοτήτων (συντελεστές οπισθοσκέδασης) των αερίων μαζών κατά την διέλευσή τους πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν και πάλι μετεωρολογικά δεδομένα, σε συνεργασία με τον κώδικα Hysplit.

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 4: Ρόλος των πηγών ρύπανσης στην τροποποίηση των αερίων μαζών στην περιοχή των Βαλκανίων

Εισαγωγή

Τα αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) της ατμόσφαιρας επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη, είτε σκεδάζοντας την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, είτε απορροφώντας την εκπεμπόμενη προς το διάστημα θερμική ακτινοβολία, ενεργώντας έτσι σαν θερμοκηπικά αέρια. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως με τη χημική τους σύσταση, σε τοπική ψύξη (cooling effect) ή τοπική θέρμανση (warming effect) [Houghton et al., 2001]. Επηρεάζουν επίσης έμμεσα το κλίμα λειτουργώντας σαν πυρήνες συμπύκνωσης στη διαδικασία δημιουργίας νεφών [Forster et al., 2007].

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να γίνονται συστηματικές προσπάθειες μέσω ατμοσφαιρικών μοντέλων [Haywood et al., 1999], δορυφορικών μετρήσεων (CALIPSO), και επίγειων δικτύων μετρήσεων (EARLINET), ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην γήινη ατμόσφαιρα. Ωστόσο οι αβεβαιότητες όσον αφορά την επίδρασή τους στο γήινο κλίμα παραμένουν αρκετά ισχυρές, ενώ ταυτόχρονα πολύ λίγα γνωρίζουμε για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα αερολύματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και με τα άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας με

αποτέλεσμα την δημιουργία συσσωματωμάτων, χημικών ενώσεων γεγονός που οδηγεί στην αλλαγή των οπτικών, φυσικών, αλλά και χημικών ιδιοτήτων τους οδηγώντας στη δημιουργία νέων σωματιδίων [Kulmala *et al.*, 2004].

Συστηματικές μετρήσεις των ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων (κατανομή μεγέθους, χημική σύσταση, συντελεστές σκέδασης και απορρόφησης) πραγματοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στην Ευρώπη με χρήση τόσο σημειακών αισθητήρων, όσο και μεθόδων τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των ατμοσφαιρικών μοντέλων τα οποία δίνουν προγνώσεις σχετικά με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων, τη χημική τους σύσταση και τις πιθανές μελλοντικές τους τάσεις. Εύκολα λοιπόν γίνεται κατανοητό ότι η δημιουργία πυκνών δικτύων από μετρητικούς σταθμούς οι οποίοι θα έχουν την δυνατότητα όχι μόνο σημειακών μετρήσεων, αλλά και μετρήσεων από απόσταση με μεθόδους τηλεπισκόπησης αυξάνει την αξιοπιστία των παρεχόμενων αποτελεσμάτων οδηγώντας σε ορθότερα συμπεράσματα σχετικά με την αξιοπιστία των ατμοσφαιρικών μοντέλων.

Η σύγκριση των δεδομένων από σημειακές μετρήσεις με τα δεδομένα των μοντέλων είναι αρκετά περίπλοκη λόγω των διαφορών στις μετεωρολογικές συνθήκες αλλά και διότι οι σημειακές μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές για περιοχές της ατμόσφαιρας πολύ κοντά στο έδαφος ενώ οι διαταραχές της ενεργειακής ισορροπίας οφείλονται στην κατακόρυφη κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων. Για παράδειγμα, η χωρική διακριτική ικανότητα των ατμοσφαιρικών μοντέλων είναι μερικές μοίρες όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ η χρονική διακριτική ικανότητα κυμαίνεται από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες ανάλογα με την εφαρμογή. Έτσι, όταν η σύγκριση γίνεται με μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγαλύτερη χωρική και χρονική ανάλυση, περιορίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Πιθανή λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η δημιουργία πυκνότερων δικτύων μετρήσεων με μεθόδους τηλεπισκόπησης (ώστε να παρέχονται μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων) με ταυτόχρονες μετρήσεις για μεγάλες χρονικές περιόδους ώστε να καθίσταται δυνατή αργότερα η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Δίκτυα τα οποία προσομοιάζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι το AERONET [Holben *et al.*, 2001], EARLINET [Bösenberg *et al.*, 2003], ADNET [Murayama *et al.*, 2001], and the MPLNET [Welton *et al.*, 2001].

Η μέθοδος LIDAR (Light Detection and Ranging) είναι μια μέθοδος τηλεπισκόπησης η οποία βασίζεται στην εκπομπή μιας δέσμης laser η οποία αλληλεπιδρά με τα στοιχεία της ατμόσφαιρας (άτομα, μόρια). Η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται μέσω οπτικού τηλεσκοπίου και στη συνέχεια έχουμε ηλεκτρονική καταγραφή του παραγόμενου σήματος και αποθήκευσή του σε Ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Ανάλογα με το είδος των υπό εξέταση ρύπων καθώς και τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους επιλέγονται διαφορετικά μήκη κύματος εκπομπής και καταγραφής. Ο οπτικός διαχωρισμός των οπισθοσκεδαζόμενων φωτονίων από την ατμόσφαιρα (τα οποία συλλέγονται ταυτόχρονα από το ίδιο τηλεσκόπιο) πραγματοποιείται μέσω ενός φασματοφωτόμετρου μέσω του οποίου με χρήση κατάλληλα επιλεγμένων διχρωικών καθρεπτών και στενών φίλτρων συμβολής (της τάξεως του nm) τα διαφορετικά μήκη κύματος διαχωρίζονται και καταγράφονται μέσω φωτοπολλαπλασιαστών ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται και η ακτινοβολία υποβάθρου.

Στη συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων lidar που χρησιμοποιούνται για την μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιούνται παλμικά laser Nd:YAG. Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος είναι συνήθως 1064, 532 και 355 nm, ενώ πέραν αυτών των τριών καταγράφονται και τα σήματα lidar στα 607 και 407 nm, τα οποία προέρχονται από σκέδαση Raman του ατμοσφαιρικού αζώτου από τα 532 και 355 nm, αντίστοιχα. Η χρονική διάρκεια του εκπεμπόμενου παλμού laser είναι της τάξεως των 8 ns, ενώ η ισχύς εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής καθώς και από τις δυνατότητες του οπτικού τηλεσκοπίου (διάμετρος, εστιακή απόσταση, κλπ.). Τυπικές τιμές είναι 400-600, 200-300 και 80-150 mJ ανά παλμό για τα 1064, 532 και 355 nm, αντίστοιχα με τυπική διάμετρο τηλεσκοπίου 300-400 mm.

ΦΑΣΗ 4: Πραγματοποίηση ειδικών συντονισμένων μετρήσεων lidar για τα αιωρούμενα σωματίδια – Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, εφαρμόστηκε ένα συστηματικό πρόγραμμα συντονισμένων μετρήσεων lidar (Αθήνα και Βουκουρέστι) για τη μελέτη του ρόλου των τοπικών πηγών ρύπανσης στην τροποποίηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερίων μαζών κατά τη διέλευσή τους υπεράνω της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων. Στο Παραδοτέο αυτό επεξεργασθήκαμε τα δεδομένα lidar που καταγράψαμε και συσχέτισαμε τις μετρήσεις μας με δορυφορικά δεδομένα, καθώς και προγνώσεις μοντέλων σχετικά με την μετακίνηση των

αερίων μαζών. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των δεδομένων lidar που χρησιμοποιήθηκαν έχουν δοκιμαστεί για την αξιοπιστία τους στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος EARLINET-ASOS [Böckmann *et al.*, 2004]. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης των αερίων μαζών έγινε χρήση του μοντέλου HYSPLIT για την ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών. Καθόσον οι μετρήσεις lidar ήταν συστηματικές σε τοπικό επίπεδο και γνωρίζοντας συγκεκριμένες μετεωρολογικές παραμέτρους (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμων) με βάση το παραπάνω μοντέλο, μπορούν να προσδιοριστούν οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, έστω και αν η απόσταση της πηγής ευρίσκεται αρκετά μακριά.

Ακολουθως, παρουσιάζουμε αποτελέσματα μετρήσεων lidar που πραγματοποιήθηκαν από τα δυο συστήματα lidar της Αθήνας και του Βουκουρεστίου. Συγκεκριμένα παρουσιάζουμε δυο περιπτώσεις καταγραφής σωματιδίων πάνω από τη περιοχή των Βαλκανίων. Στην πρώτη παρατηρήθηκαν σωματίδια καπνού προερχόμενα από πυρκαγιές στην περιοχή της Ουκρανίας-Μολδαβίας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα σωματίδια προέρχονταν από την έρημο Σαχάρα. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης και στις δυο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα MODIS και ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών με χρήση του μοντέλου HYSPLIT. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση των εμπροσθοτροχιών με χρήση του ίδιου μοντέλου ώστε να προσδιοριστεί ο προορισμός των μαζών αυτών. Δεδομένου ότι η εξαγωγή πληροφοριών για τις μικροφυσικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι πάντα εφικτή μέσω της μεθόδου lidar χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από ηλιακά φωτόμετρα που βρίσκονται σε γειτονικές περιοχές με τα συστήματα lidar, ώστε να προσδιοριστεί το είδος των υπό εξέταση σωματιδίων.

Περίπτωση I: Δασικές πυρκαγιές 17-24 Ιουλίου 2007

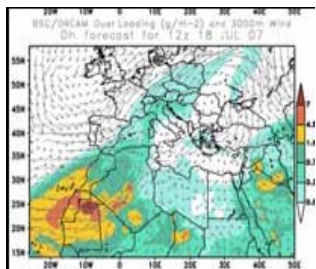
Κατά τη διάρκεια του θέρους του 2007 καταγράφηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός πυρκαγιών σε περιοχές της Μολδαβίας και της Ουκρανίας. Οι εστίες αυτών των δασικών πυρκαγιών καταγράφηκαν από τον δορυφόρο MODIS (Εικόνες 4.1 και 4.4). Παράλληλα κατά την περίοδο 17–24 Ιουλίου δεν υπήρχε πρόβλεψη για παρουσία σωματιδίων σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων από το προγνωστικό μοντέλο DREAM (Dust Regional Atmospheric Model), αλλά μόνο για την κεντρική και δυτική Ευρώπη

(Εικόνες 4.2 και 4.5). Οι μετρήσεις lidar στην περιοχή του Βουκουρεστίου κατά τη συγκεκριμένη περίοδο έδειξαν παρουσία στρωματώσεων αερολυμάτων σε ύψος 3000-3600 m (Εικόνες 4.3 και 4.6), για τις 17 και 20 Ιουλίου, αντίστοιχα. Τα σωματίδια αυτά παρατηρήθηκαν, ακολούθως, στις 21 Ιουλίου στην Αθήνα στην κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης των αερολυμάτων (Εικόνα 4.6) μεταξύ 1800-2800 m. Στις Εικόνες 4.3 και 4.6 παρουσιάζεται μια σύγκριση των συντελεστών οπισθοσκέδασης στα 1064 nm που καταγράφηκαν από τα συστήματα lidar της Αθήνας (μαύρη γραμμή) και του Βουκουρεστίου (γκρι γραμμή). Η χωρο-χρονική κατακόρυφη κατανομή των αερολυμάτων στο Βουκουρέστι και την Αθήνα για τις 17, 19 και 21 Ιουλίου παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.7 έως 4.10, όπου απεικονίζεται το χωρικά διορθωμένο σήμα lidar.

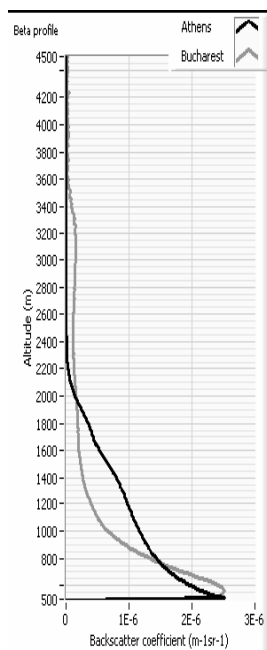
Στην Εικόνα 4.7 παρατηρούμε μια σημαντική στρωμάτωση αερολυμάτων στην περιοχή 2000-2800 m στην περιοχή του Βελιγραδίου στις 17 Ιουλίου, καθώς και μια παρόμοια στρωμάτωση στις 19 Ιουλίου (Εικόνα 4.9). Στην περιοχή των Αθηνών στις 17 Ιουλίου δεν παρατηρείται ύπαρξη στρωματώσεων από τα αιωρούμενα σωματίδια (Εικόνα 4.8), παρά μόνον στις 21 Ιουλίου όπου εμφανίζεται ένα πολύ σημαντικό φορτίο αερολυμάτων μεταξύ 1800-2800 m (βλ. και Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.1. Εστίες πυρκαγιών στην Ουκρανία και Μολδαβία κατά την περίοδο 17 - 24 Ιουλίου 2007.



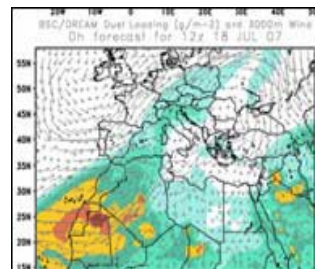
Εικόνα 4.2. Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την παρουσία αερολυμάτων στην περιοχή με προέλευση την έρημο Σαχάρα την περίοδο 17 - 18 Ιουλίου 2007.



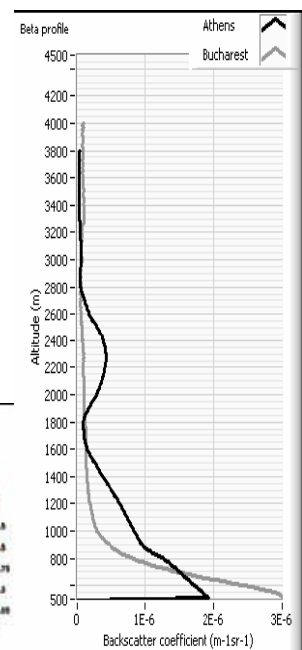
Εικόνα 4.3. Συντελεστές οπισθοσκέδασης στα 1064 nm στην Αθήνα (μαύρη γραμμή) και το Βουκουρέστι (γκρι γραμμή) στις 17 Ιουλίου 2007.



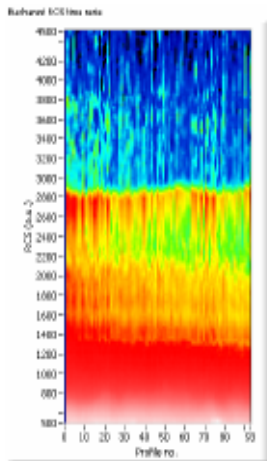
Εικόνα 4.4. Εστίες πυρκαγιών στην Ουκρανία και Μολδαβία κατά την περίοδο 20 - 21 Ιουλίου 2007.



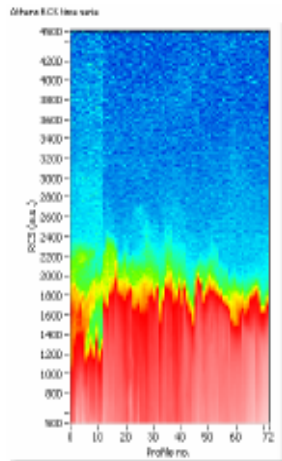
Εικόνα 4.5. Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την παρουσία αερολυμάτων στην περιοχή με προέλευση την έρημο Σαχάρα την περίοδο 20 - 21 Ιουλίου 2007.



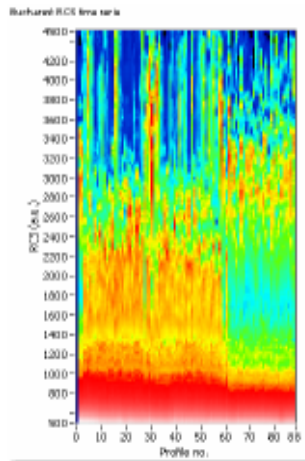
Εικόνα 4.6. Συντελεστές οπισθοσκέδασης στα 1064 nm στην Αθήνα (21 Ιουλίου μαύρη γραμμή) και το Βουκουρέστι (20 Ιουλίου γκρι γραμμή).



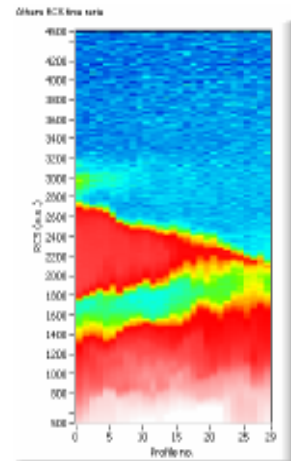
Εικόνα 4.7. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στο Βουκουρέστι στις 17 Ιουλίου 2007.



Εικόνα 4.8. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην Αθήνα στις 17 Ιουλίου 2007.



Εικόνα 4.9. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στο Βουκουρέστι στις 19 Ιουλίου 2007.

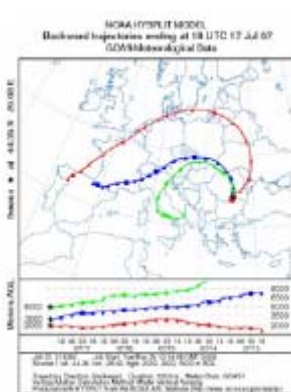


Εικόνα 4.10. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην Αθήνα στις 21 Ιουλίου 2007.

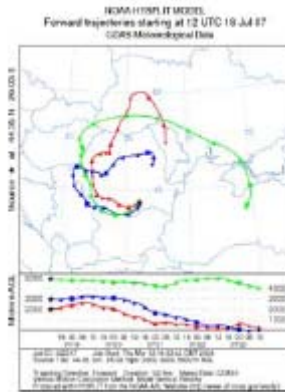
Στην Εικόνα 4.11 παρατηρούμε ότι οι αέριες μάζες που καταλήγουν στη Ρουμανία στις 17 Ιουλίου και στο ύψος των 3 km, έχουν περάσει πάνω από περιοχές της Ουκρανίας και της Μολδαβίας όπου υπήρχαν πυκνές δασικές πυρκαγιές. Στην ίδια Εικόνα φαίνεται ότι οι αέριες μάζες σε μεγαλύτερα ύψη είχαν προέλευση την περιοχή της Ουγγαρίας όπου δεν υπήρχαν δασικές πυρκαγιές. Στην Εικόνα 4.12 παρατηρούμε ότι οι συγκεκριμένες αέριες μάζες στις επόμενες δυο ημέρες βρέθηκαν και πάλι πάνω από την Ουκρανία. Έτσι, κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου επεισοδίου, αέριες μάζες με προέλευση την Ουκρανία και τη Μολδαβία βρέθηκαν πάνω από την Ρουμανία και ταξίδεψαν πίσω στην Ουκρανία για αρκετές ημέρες. Μετά τις 19 Ιουλίου, η κυκλοφορία των αερίων μαζών διαφοροποιήθηκε με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες με φορτίο σωματιδίων από τις δασικές πυρκαγιές στην Ουκρανία και τη Μολδαβία να ταξιδέψουν πάνω από τη Ρουμανία με κατεύθυνση την Ελλάδα. Το γεγονός επιβεβαιώνεται από το μοντέλο HYSPLIT για συγκεκριμένα ύψη που προέκυψαν από τις μετρήσεις lidar.

Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις μετρήσεις lidar στην περιοχή του Βουκουρεστίου όπου παρατηρείται στρωμάτωση σωματιδίων πάνω από το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ) (Εικόνες 4.3 και 4.6). Όπως προαναφέρθηκε, στην περιοχή της Αθήνας στις 17 Ιουλίου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις αερολυμάτων πάνω από το ΑΟΣ (Εικόνα 4.3). Η κατάσταση διαφοροποιήθηκε στις 19 Ιουλίου όπου οι αέριες μάζες ξεκινώντας την ημέρα εκείνη από την περιοχή της Ρουμανίας στο ύψος των 3 km άλλαξαν κατεύθυνση ταξιδεύοντας προς την Βουλγαρία και την Ελλάδα

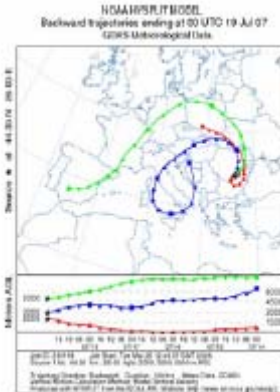
όπου και έφθασαν στις 21 Ιουλίου (Εικόνες 4.13 και 4.14). Το γεγονός επιβεβαιώνεται πλήρως από τις μετρήσεις lidar στο Βουκουρέστι και την Αθήνα (Εικόνες 4.6 και 4.10). Στην περίπτωση αυτή και τα δυο συστήματα lidar κατέγραψαν στρωμάτωση σωματιδίων πάνω από το ΑΟΣ την περίοδο 20-21 Ιουλίου. Για την Αθήνα η στρωμάτωση των σωματιδίων περιορίζεται στο ύψος των 2.8 km, ενώ για το Βουκουρέστι εκτείνεται και σε ακόμη μεγαλύτερα ύψη. Η διαφοροποίηση αυτή στις μετρήσεις μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπ' όψη ότι οι αέριες μάζες πάνω από το Βουκουρέστι στα ύψη 2 και 5 km είχαν προέλευση πάνω από περιοχές όπου υπήρχαν επίσης δασικές πυρκαγιές (Βόρεια Ρουμανία). Η επιβεβαίωση έρχεται μέσω μετρήσεων από ηλιακό φωτόμετρο το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στην περιοχή του Βουκουρεστίου. Με βάση τις μετρήσεις του συγκεκριμένου οργάνου τα σωματίδια ταξινομήθηκαν σαν σωματίδια καπνού –με μεγάλο οπτικό πάχος– παρουσιάζοντας υψηλή απορρόφηση καθ' όλη τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.



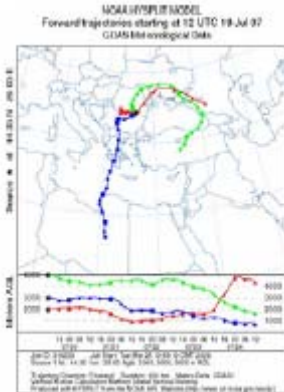
Εικόνα 4.11. Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από τη περιοχή του Βουκουρεστίου στις 17 Ιουλίου 2007.



Εικόνα 4.12. Ανάλυση εμπροσθοτροχιών των αερίων μαζών που έχουν αφετηρία το Βουκουρέστι στις 18 Ιουλίου 2007.



Εικόνα 4.13. Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από την περιοχή του Βουκουρεστίου στις 19 Ιουλίου 2007.



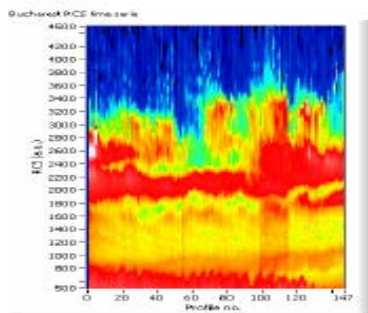
Εικόνα 4.14. Ανάλυση εμπροσθοτροχιών των αερίων μαζών που έχουν αφετηρία το Βουκουρέστι στις 19 Ιουλίου 2007.

Περίπτωση II: Σωματίδια με προέλευση την έρημο Σαχάρα 25-30 Ιουνίου 2007

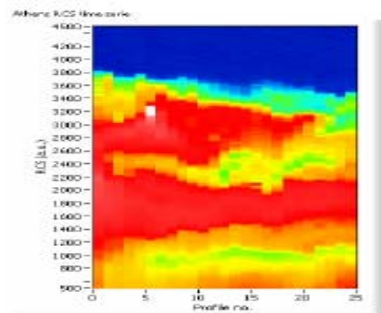
Το φαινόμενο της μεταφοράς μέσω των αερίων μαζών σωματιδίων σκόνης από την έρημο Σαχάρα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων είναι αρκετά συχνό, ιδίως κατά τους θερμούς μήνες του έτους (Απρίλιο – Σεπτέμβριο). Οι διαδρομές που ακολουθούν τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους, είτε απ' ευθείας από την έρημο Σαχάρα, είτε μέσω Ιταλίας ή Ισπανίας. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις η πορεία τους διέρχεται από τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, αφού πρώτα έχουν ταξιδέψει στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη [Parayannis et al.,

2005]. Ένα τέτοιο φαινόμενο μεταφοράς σκόνης καταγράφηκε από τους δυο σταθμούς lidar (Αθηνών και Βουκουρεστίου) την περίοδο 25 – 30 Ιουνίου 2007. Στις Εικόνες 4.15 και 4.16 απεικονίζεται το χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στα 1064 nm, ενώ και στην Εικόνα 4.17 παρουσιάζεται ο συντελεστής οπισθοσκέδασης των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από τις δυο περιοχές.

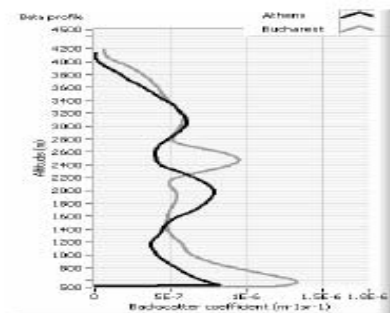
Για το Βουκουρέστι παρατηρούμε την ύπαρξη στρωμάτωσης σωματιδίων στο ύψος των 2.5 km, ενώ πάνω από την Αθήνα υπάρχουν δυο στρωματώσεις, στα 2 και 3 km. Τα σωματίδια αυτά παρατηρήθηκαν την περίοδο 25-30 Ιουνίου πάνω από την Ελλάδα, ενώ πάνω από τη Ρουμανία μετακινήθηκαν στις 28 Ιουλίου γεγονός που προβλέφθηκε με επιτυχία από το προγνωστικό μοντέλο DREAM (βλ. Εικόνα 4.19). Κατά την ίδια χρονική περίοδο σύμφωνα με την εικόνα από τον δορυφόρο MODIS δεν καταγράφηκαν στην περιοχή σημαντικές δασικές πυρκαγιές (Εικόνα 4.18).



Εικόνα 4.15. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην περιοχή του Βουκουρεστίου 28 Ιουνίου 2007.



Εικόνα 4.16. Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην περιοχή της Αθήνας 29 Ιουνίου 2007

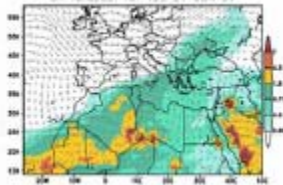


Εικόνα 4.17. Συντελεστές οπισθοσκέδασης αιωρούμενων σωματιδίων στα 1064 nm πάνω από την Αθήνα στις 29 Ιουνίου (μαύρη γραμμή) και το Βουκουρέστι στις 28 Ιουνίου (γκρι γραμμή).

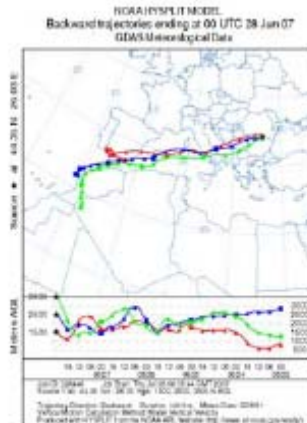
Στην Εικόνα 4.20 όπου παρουσιάζεται η ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών πάνω από την Αθήνα και το Βουκουρέστι παρατηρούμε τα σωματίδια που φθάνουν στη Ρουμανία, αν και έχουν την ίδια προέλευση με αυτά που φθάνουν στην Αθήνα, εν τούτοις ακολουθούν διαφορετικές διόδους ταξιδεύοντας πάνω από την Μεσόγειο τη Ισπανία, Ιταλία και Σερβία και επομένως, επηρεάζονται και από την ατμοσφαιρική ρύπανση στην ηπειρωτική Ευρώπη. Πάντως, η ανάλυση των δεδομένων του ηλιακού φωτόμετρου στην περιοχή του Βουκουρεστίου έδειξε ότι η πρόκειται για μια τυπική περίπτωση σωματιδίων με προέλευση την έρημο Σαχάρα.



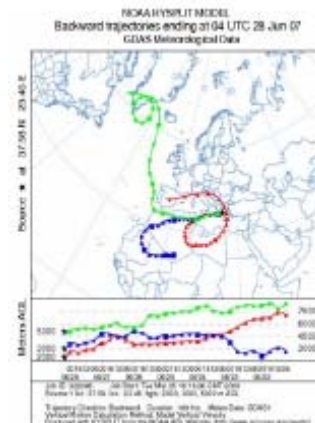
Εικόνα 4.18. Εστίες πυρκαγιών στην περιοχή των Βαλκανίων την χρονική περίοδο 25-28 Ιουνίου 2007.



Εικόνα 4.19. Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την κατανομή των σωματιδίων σκόνης με προέλευση την Σαχάρα στις 27 Ιουνίου 2007.



Εικόνα 4.20. Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από την περιοχή του Βουκουρεστίου στις 28 Ιουνίου 2007.



Εικόνα 4.21. Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από την περιοχή της Αθήνας στις 28 Ιουνίου 2007.

Για την περίπτωση της Αθήνας το μοντέλο HYSPLIT δείχνει ότι τα σωματίδια βρέθηκαν πάνω από την Αθήνα προερχόμενα απ' ευθείας από την Βόρεια Αφρική (Εικόνα 4.21) γεγονός που εξηγεί και τις διαφορετικές στρωματώσεις (στα 2 και 3 km) σε σχέση με τις μετρήσεις του Βουκουρεστίου.

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε πως με τη χρήση της μεθόδου τηλεπισκόπησης lidar μπορούμε να καταγράψουμε την κατακόρυφη κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από μια περιοχή με μεγάλη χωρική και χρονική ακρίβεια καθώς επίσης και να παρακολουθήσουμε την χρονική εξέλιξη του φαινομένου σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική αυτή σε συνδυασμό με μετρήσεις μέσω άλλων μεθόδων π.χ. ηλιακών φωτομέτρων, δορυφορικών δεδομένων και ατμοσφαιρικών μοντέλων μπορεί να μας δώσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την προέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από μια περιοχή καθώς και για τις μικροφυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Επιπλέον, εάν οι αέριες αυτές μάζες καταγράφονται συντονισμένα από 2 συστήματα lidar, τοποθετημένα σε διαφορετικές περιοχές, είναι τότε δυνατόν να μελετηθεί ο τρόπος μεταβολής (τροποποίησης) των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων και να εκτιμηθεί ρόλος των τοπικών πηγών ρύπανσης (π.χ. καυση βιομάζας, αστική ρύπανση, έρημος Σαχάρα) στην κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Böckmann C. et al., Aerosol lidar intercomparisons in the framework of EARLINET project 2. Aerosol backscatter algorithms, *Applied Optics*, 43, 977-989, 2004.

Bösenberg, J., et al., *A European aerosol research lidar network to establish an aerosol climatology*, MPI-Report 317, Max-Planck Inst. für Meteorology, Hamburg, Germany, 2003.

Forster, P., et al., *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

Haywood M., Ramaswamy, V., and Soden, B. J.: *Tropospheric aerosol climate forcing in clear-sky satellite observations over the oceans*, *Science*, 283, 1299–1305, 1999.

Holben, B. N., et al., An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET, *J. Geophys. Res.*, 106, 12,067–12,098, 2001.

Houghton J. T., et al., *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, London, 2001.

Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petaja, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V.-M., Birmili, W., and Mc Murry, P., Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *J. Aerosol Sci.*, 35, 143–176, 2004.

Murayama T., et al., *Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia*, *J. Geophys. Res.*, 106(D16), 18,345–18,359, 2001.

Papayannis, A., D. Balis, V. Amiridis, G. Chourdakis, G. Tsaknakis, C. Zerefos, A. Castanho, S. Nickovic, S. Kazadzis, J. Grabowski, *Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project*, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 2065-2079, 2005.

Welton E. J., J. R. Campbell, J. D. Spinhirne, and V. S. Scott: *Global monitoring of clouds and aerosols using a network of micropulse lidar systems*. *Proc. Lidar Remote Sensing for Industry and Environmental Monitoring*, Sendai, Japan, 4153 *SPIE*, 151–158, 2001.

Βεβαιώνεται η εκτέλεση του έργου

Ημερομηνία 31/01/2008

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

Δρ. Αλεξ. ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.