



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Π. Κόκκαλης¹, Α. Παπαγιάννης¹

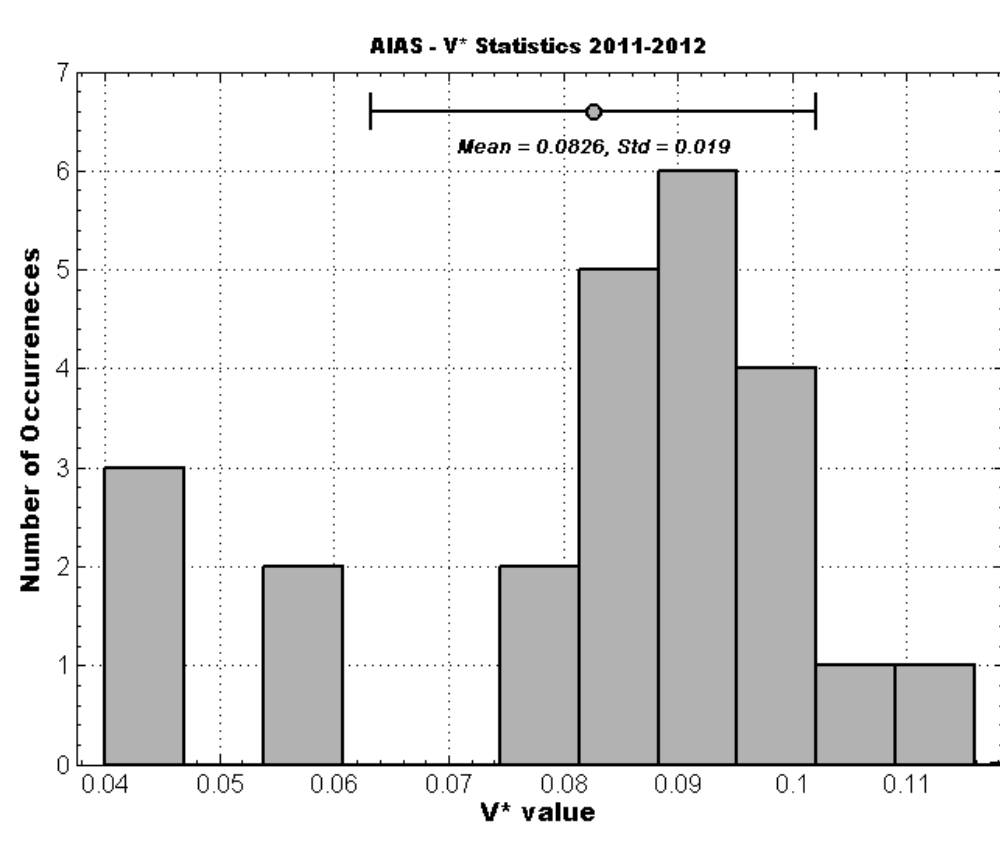
¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Laser της Ατμόσφαιρας, Τομέας Φυσικής, 15780 Ζωγράφου, Ελλάδα
panko@central.ntua.gr

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

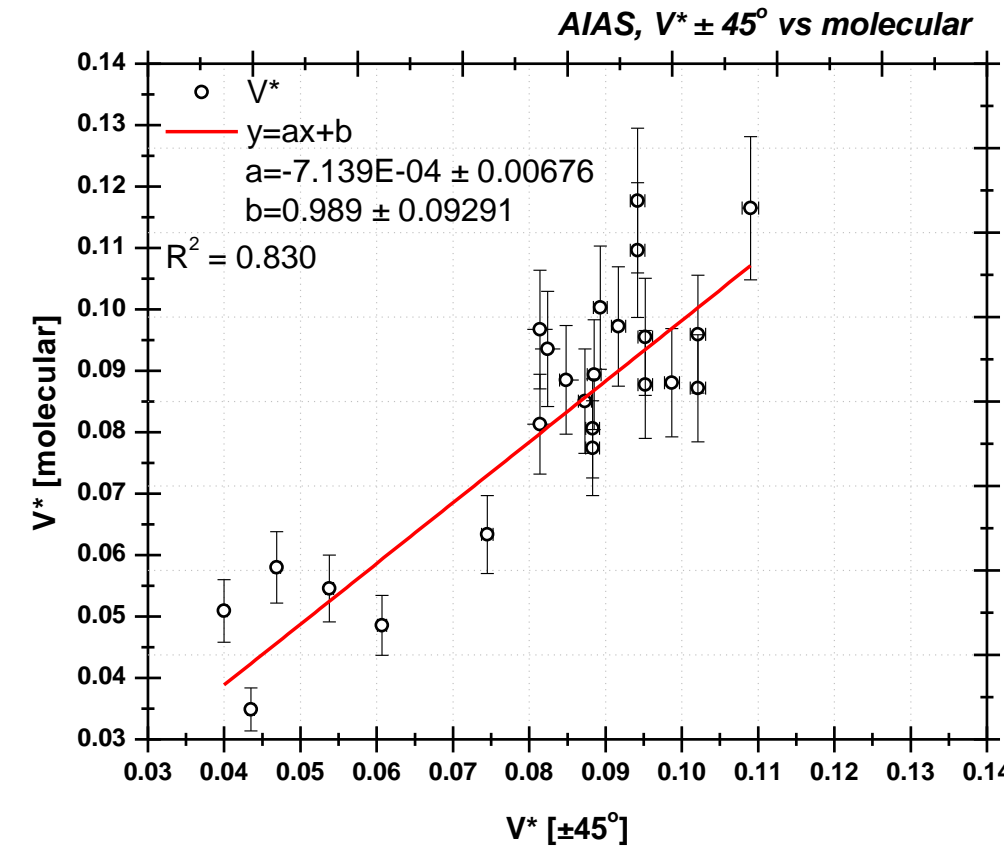
Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν χαρακτηριστεί ως βασικοί παράγοντες επιρροής στο γήινο κλίμα και την ανθρώπινη υγεία. Παρόλη την μέχρι τώρα πρόοδο της επιστημονικής κοινότητας, αναφορικά με την μελέτη της επίδρασης των αερολυμάτων στο κλίμα η μεγάλη χωρική και χρονική τους διακύμανση, καθώς, επίσης, και η ανομοιογένειά τους [αναφορικά με τη σύστασή τους], τα καθιστούν σημαντικούς παράγοντες αβεβαιότητας σε παγκόσμια κλίμακα. Η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου χαρακτηρίζεται ως υψηλού ενδιαφέροντος, καθώς παρουσιάζει από 2 έως 10 φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις αερολυμάτων από ό,τι άλλες ρυπασμένες περιοχές σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη [Lelieveld et al., 2002], όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία.

2. ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ LIDAR

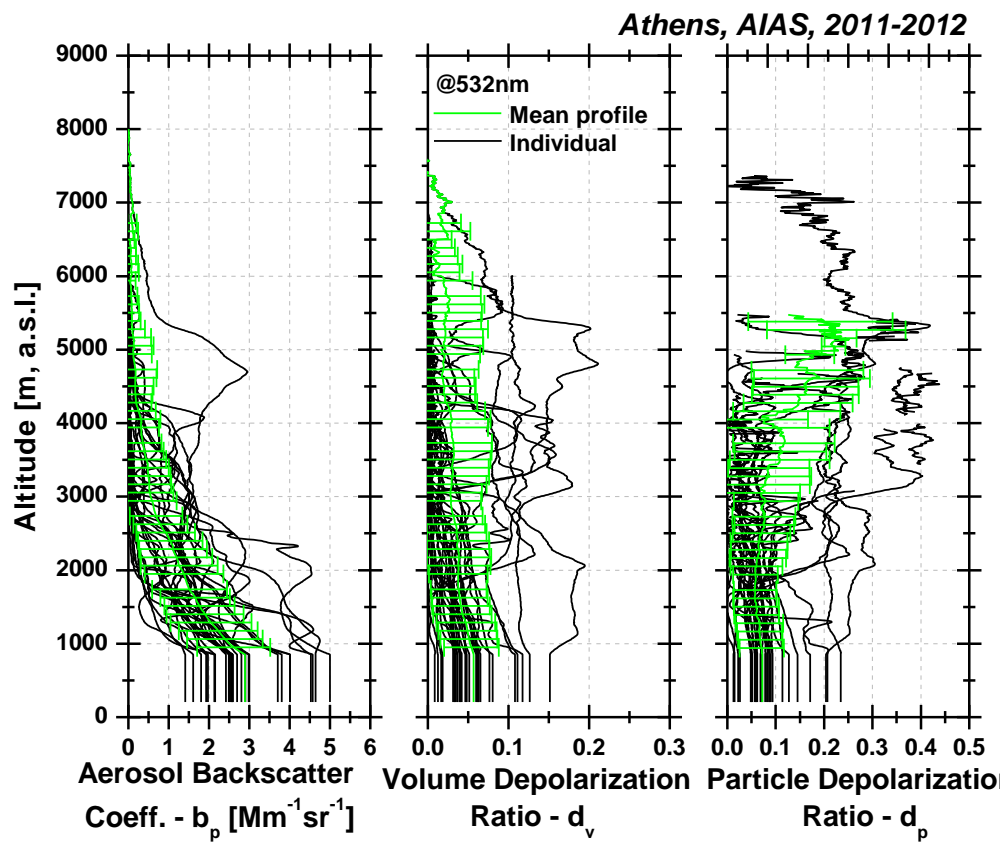
Για τη βαθμονόμηση των συστημάτων lidar αποπόλωσης, επικεντρωθήκαμε στην ανάλυση της ευαισθησίας των τεχνικών βαθμονόμησης [μοριακή και $\pm 45^\circ$ τεχνική] ενός συστήματος lidar αποπόλωσης, με προσομοιώσεις και με πειραματικά σήματα lidar, καταλήγοντας στη βέλτιστη τεχνική για το σύστημά μας. Στη συνέχεια πραγματοποιήσαμε στατιστική ανάλυση δεδομένων 2 ετών [2011-2012] του συντελεστή βαθμονόμησης και του λόγου αποπόλωσης των αερολυμάτων στο Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα [ΑΟΣ] και την ελεύθερη τροπόσφαιρα. Επίσης, με βάση επίγειο lidar αποπόλωσης διακριβώθηκε το δορυφορικό σύστημα CALIOP.



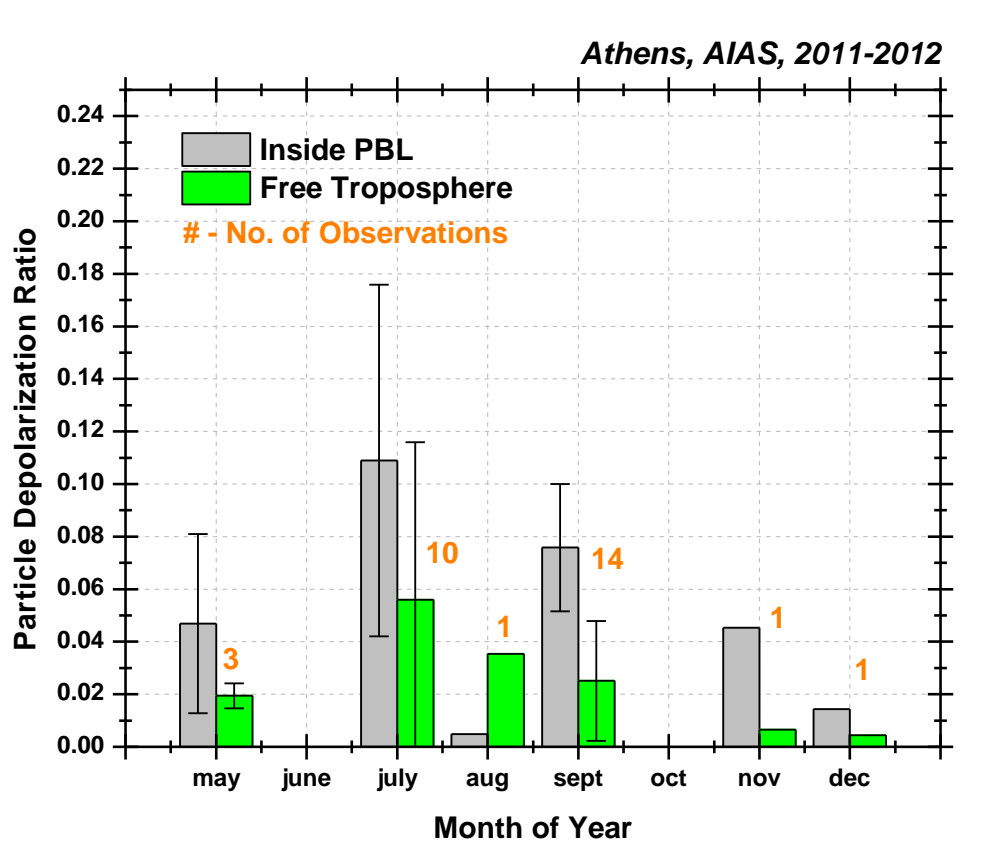
Σχήμα 1. Η κατανομή των τιμών του συντελεστή βαθμονόμησης V* του συστήματος AIAS, όπως υπολογίσθηκαν, για τα έτη 2011 και 2012, με την τεχνική βαθμονόμησης $\pm 45^\circ$.



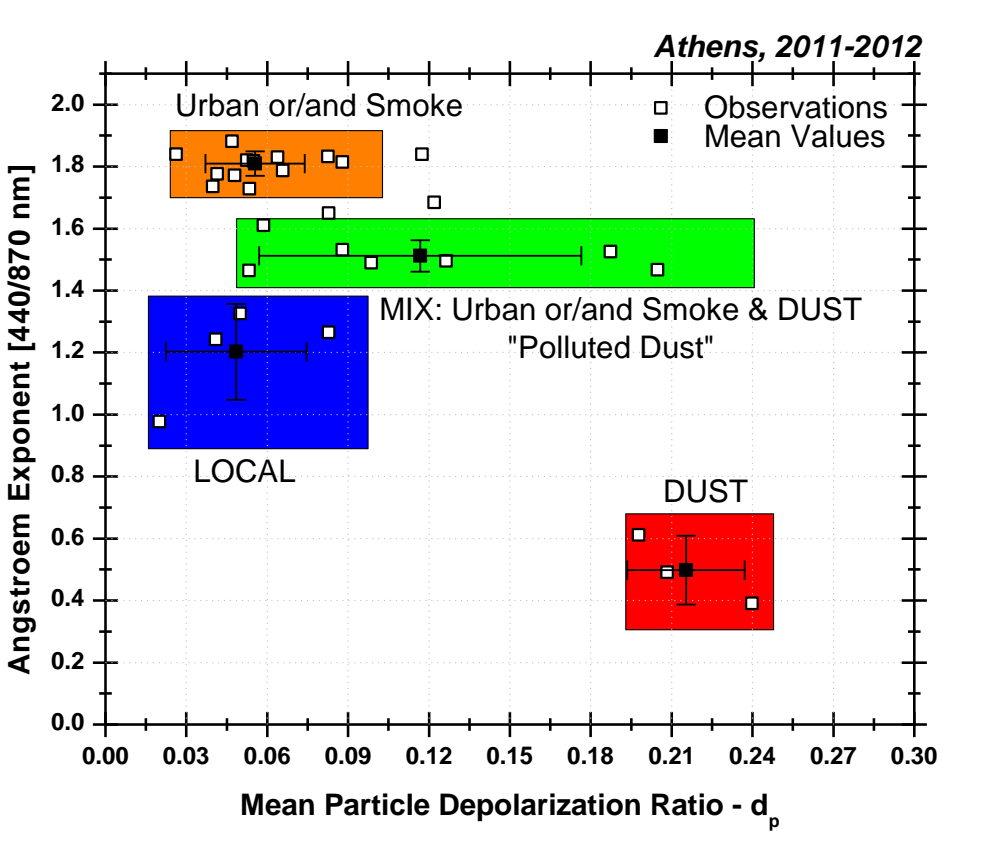
Σχήμα 2. Η γραμμική συσχέτιση του συντελεστή βαθμονόμησης V* όπως υπολογίσθηκε με την τεχνική βαθμονόμησης $\pm 45^\circ$ και μοριακή, για το σύστημα AIAS κατά την χρονική περίοδο 2011-2012.



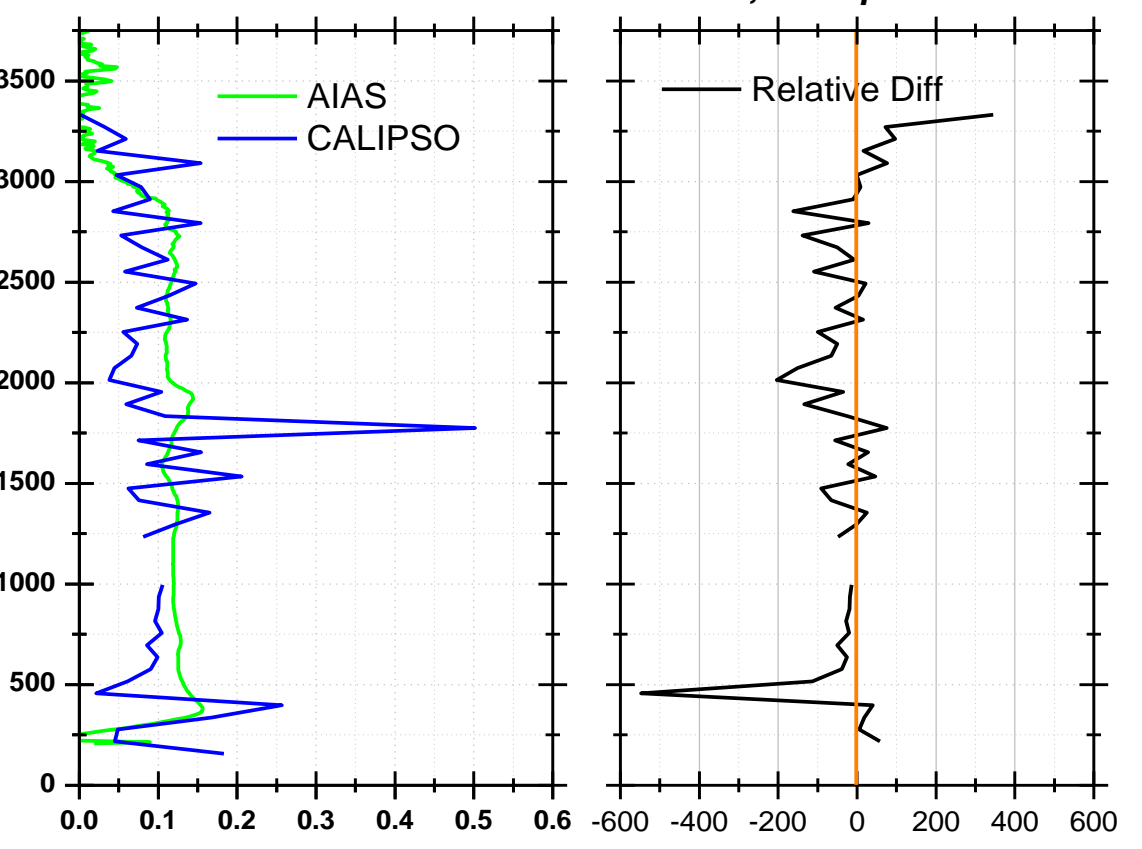
Σχήμα 3. Η κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης, του συνολικού λόγου αποπόλωσης και του λόγου αποπόλωσης των σωματιδίων στα 532 nm, από την δύο ετών ανάλυση δεδομένων του συστήματος AIAS.



Σχήμα 4. Η μηνιαία διακύμανση της μέσης τιμής του λόγου αποπόλωσης των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και των εκθέτη Ångström [440/870 nm] στην ατμοσφαιρική στήλη, όπως προέκυψε από σύγχρονες μετρήσεις του συστήματος AIAS και του ηλιακού φωτομέτρου CIMEL [2011-2012].



Σχήμα 5. Διάφορες κλάσεις σωματιδίων ανάλογα με τη μέση τιμή του λόγου αποπόλωσης σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και τον εκθέτη Ångström [440/870 nm] στην ατμοσφαιρική στήλη, όπως προέκυψε από σύγχρονες μετρήσεις του συστήματος AIAS και του ηλιακού φωτομέτρου CIMEL [2011-2012].

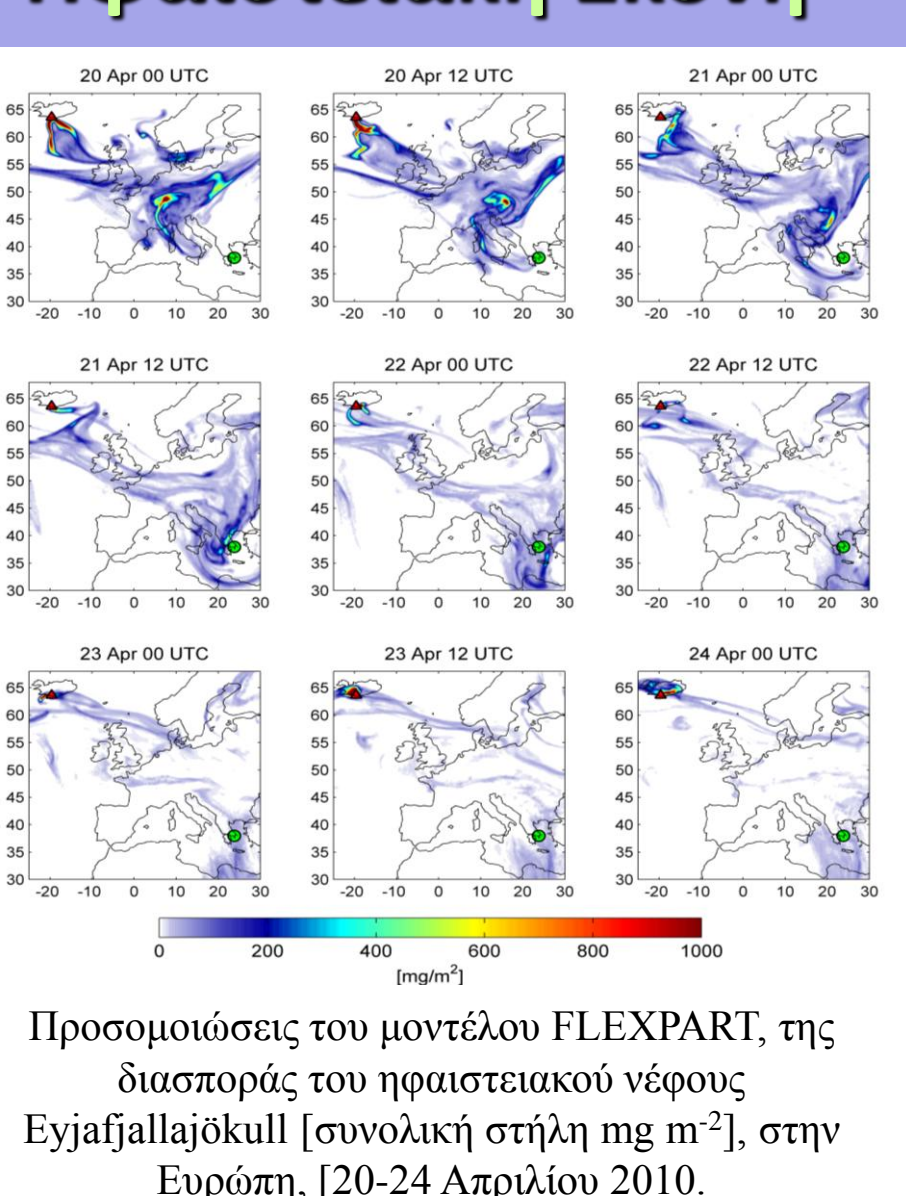


Σχήμα 6. Η κατακόρυφη κατανομή του λόγου αποπόλωσης των αερολυμάτων, όπως υπολογίσθηκαν από το δορυφορικό lidar σύστημα CALIOP και το επίγειο σύστημα AIAS, στις 09 Σεπτεμβρίου 2009, 00:31 UTC [δεξιά]. Η ποσοστιαία [%] σχετική διαφορά των δύο κατανομών [αριστερά].

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Παρουσιάζονται οι οπτικές, μικροφυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες των σωματιδίων [ηφαιστειακή τέφρα, σωματίδια ερημικής σκόνης] στην Αθήνα. Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των προαναφερόμενων σωματιδιακών συγκεντρώσεων, όπως αυτές προβλέφθηκαν από αντίστοιχα ατμοσφαιρικά μοντέλα και υπολογίσθηκαν από τα δεδομένα παθητικής [CIMEL] και ενεργητικής τηλεπισκόπησης [lidar].

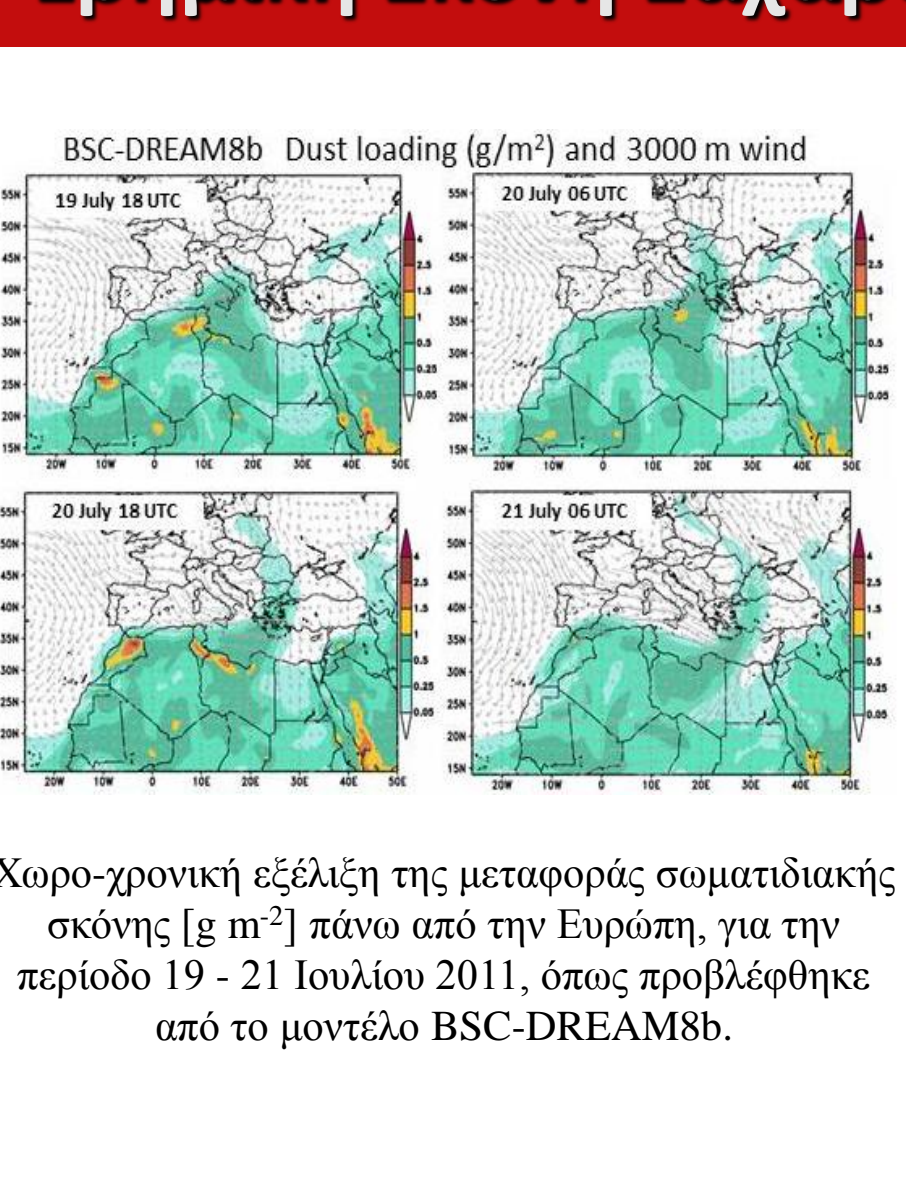
Ηφαιστειακή Σκόνη



Κατακόρυφες κατανομές του συντελεστή εξασθένησης [355, 532 nm], του συντελεστή οπισθοσκέδασης [355, 532, 1064 nm], του λόγου lidar [355, 532 nm], του συντελεστή Ångström [A_{355/532}, A_{532/1064}], της αναλογίας ανάμειξης των υδρατμών [g kg⁻¹] και σχετικής υγρασίας [%], όπως ανακτήθηκαν από τις μετρήσεις Raman lidar [σύστημα EOLIE] πάνω από την Αθήνα στις 22 Απριλίου 2010, μεταξύ 01:30-03:00 UTC.

Σύγκριση των συγκεντρώσεων ηφαιστειακής τέφρας [µg m⁻³] που ανακτώνται από τον κώδικα LIRIC και προσομοιώνονται με το μοντέλο FLEXPART, στις 22 Απριλίου 2010 στην Αθήνα, στις 03:00 UTC, 6:00 UTC και από 07:00 UTC.

Ερημική Σκόνη Σαχάρας



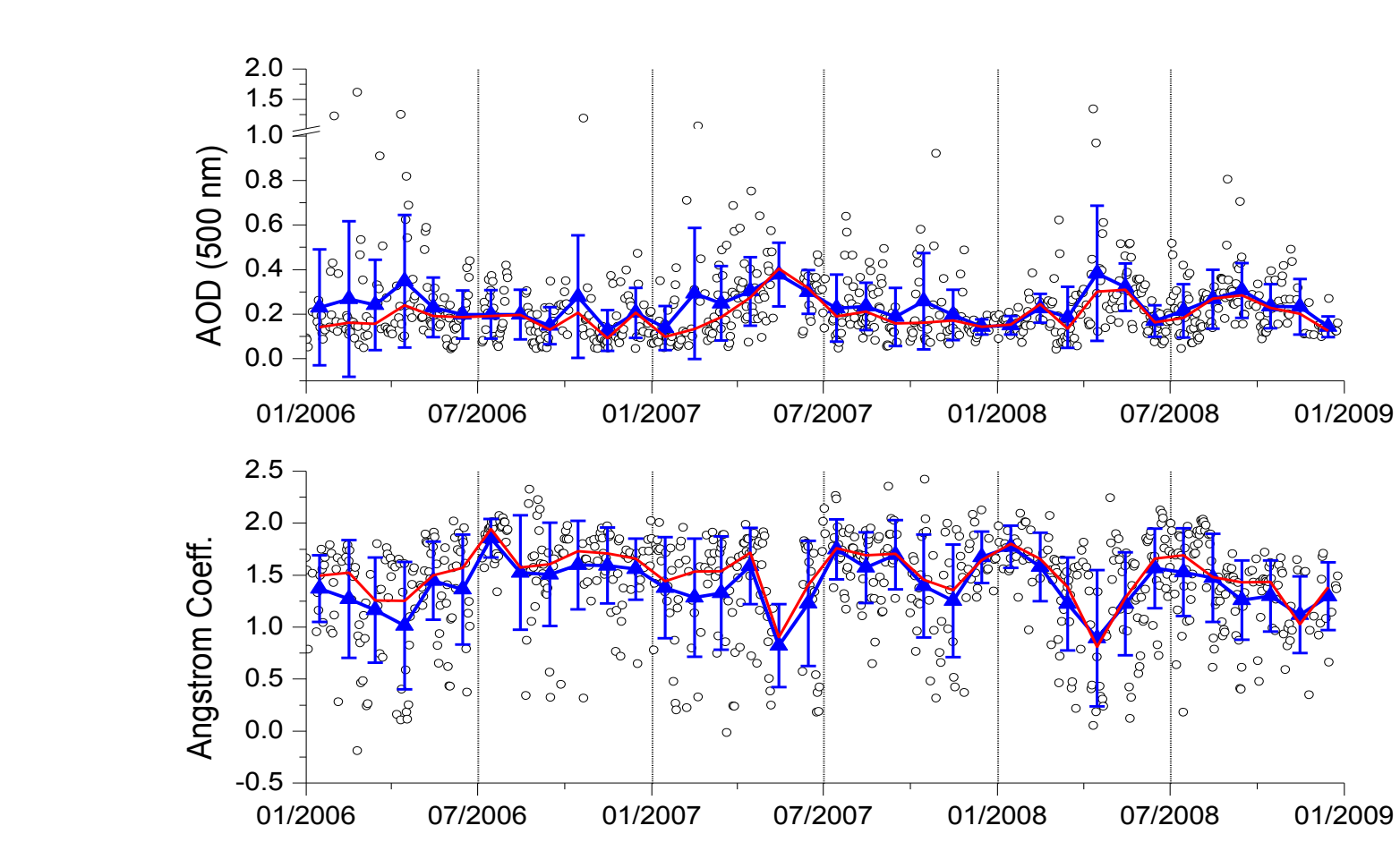
Χορο-χρονική εξέλιξη της μεταφοράς σωματιδιακής σκόνης [g m⁻³] πάνω από την Ευρώπη, για την περίοδο 19 - 21 Ιουλίου 2011, όπως προβλέφθηκε από το μοντέλο BSC-DREAMSb.

Κατακόρυφες κατανομές, του συντελεστή οπισθοσκέδασης σωματιδίων στα 355, 532 και 1064 nm, του συντελεστή Ångström [355/532 nm], και ο λόγος αποπόλωσης των σωματιδίων στα 532 nm, όπως υπολογίσθηκαν από τα συστήματα EOLE και AIAS, [20 Ιουλίου 2011], πάνω από την Αθήνα.

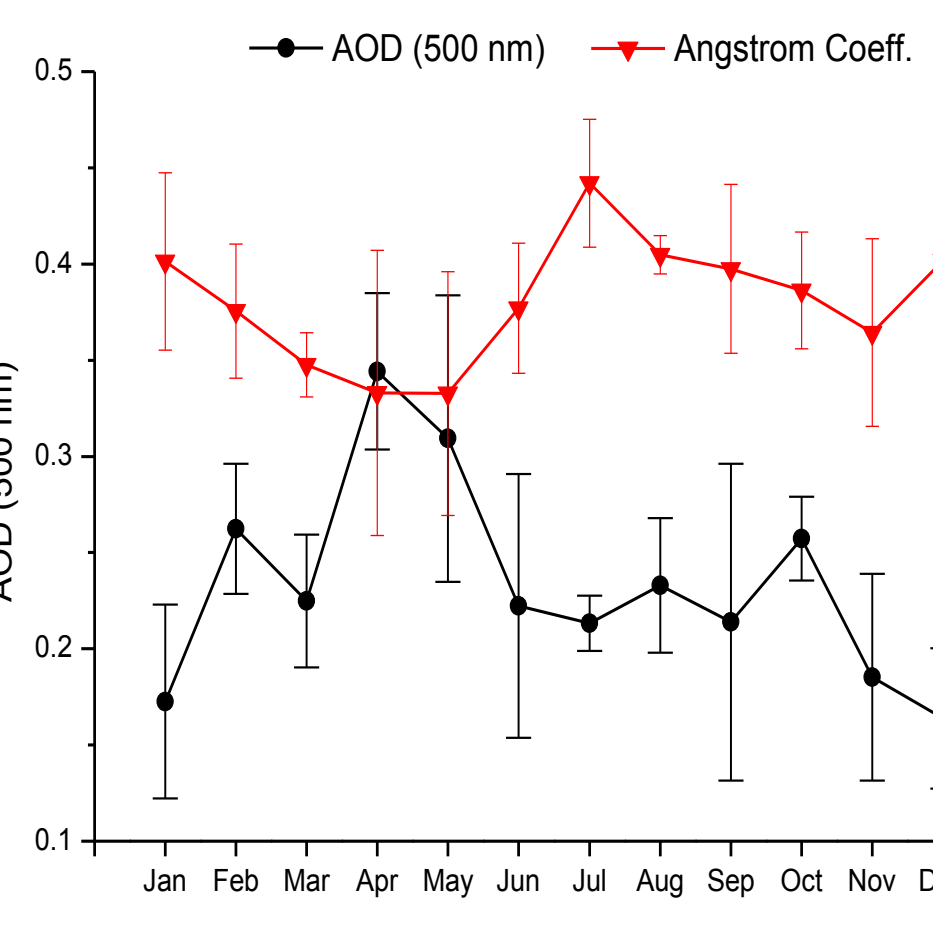
Κατακόρυφες κατανομές, της συγκέντρωσης σωματιδίων ερημικής σκόνης [µg m⁻³], όπως προσομοιώθηκε από το μοντέλο BSC-DREAMSb [μιαή γραμμή] και υπολογίσθηκαν από τον κώδικα αναστροφής LIRIC [μιαή γραμμή] και το συντελεστή εξασθένησης [a_{ext}] των σωματιδίων, από τα σήματα lidar του συστήματος EOLE [20 Ιουλίου 2011], πάνω από την Αθήνα.

4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

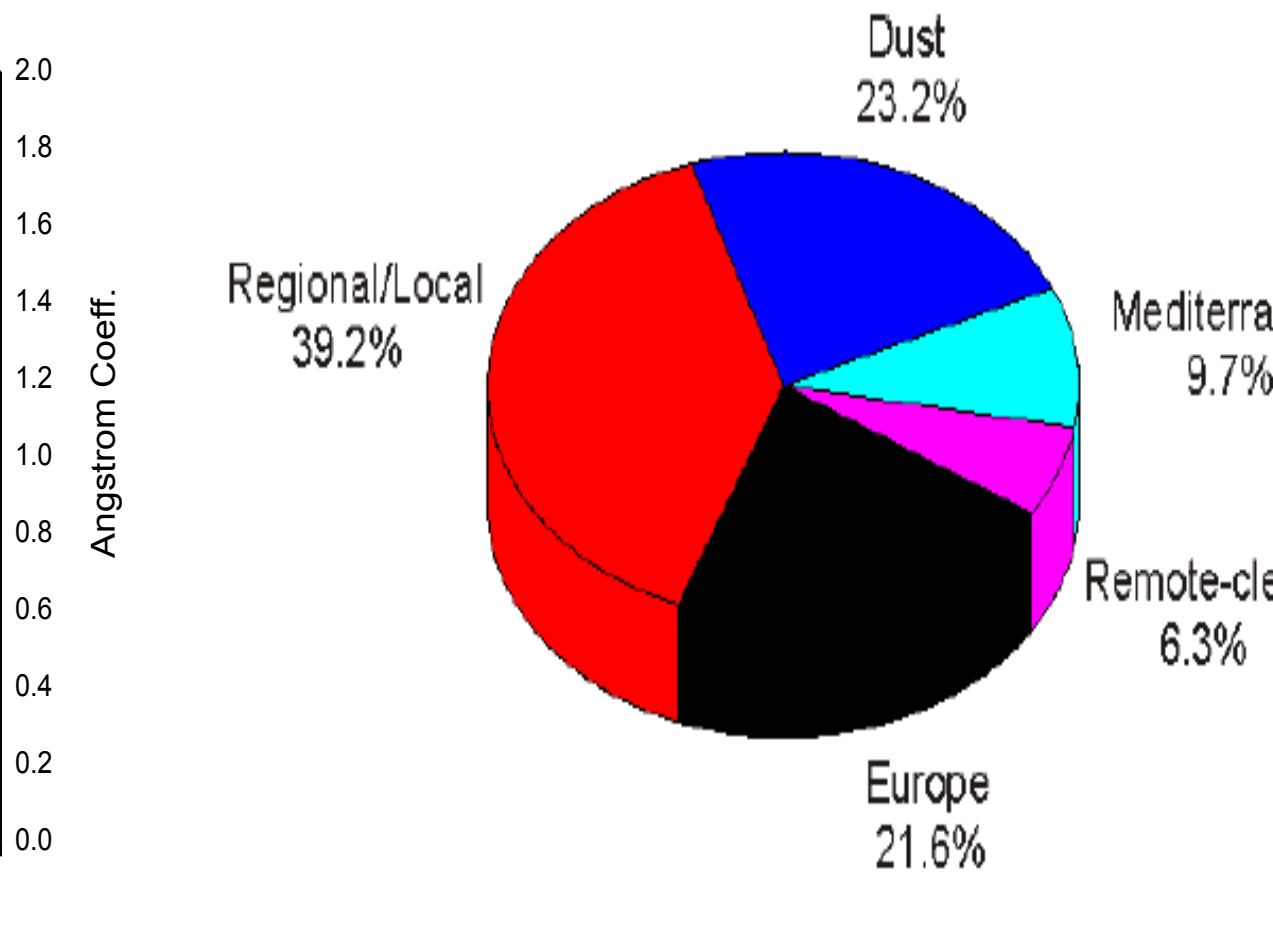
Παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία του οπτικού βάθους αερολυμάτων (AOD), από δεδομένα ηλιακών φωτόμετρων MFR και CIMEL [NASA-AERONET] στην περιοχή της Αθήνας για περίοδο τριών ετών [2006-2009]. Παρουσιάζεται επίσης, η συνεισφορά των διαφόρων πηγών σωματιδιακής ρύπανσης [ανά γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης], στη μέση τιμή του AOD των σωματιδίων. Επίσης, πραγματοποιείται και σύγκριση 740 περίπου σύγχρονων χρονικά μετρήσεων των προαναφερόμενων επίγειων δεδομένων με τα αντίστοιχα δορυφορικά δεδομένα παθητικής τηλεπισκόπησης, όπως ανακτήθηκαν από τον δορυφορικό αισθητήρα MODIS.



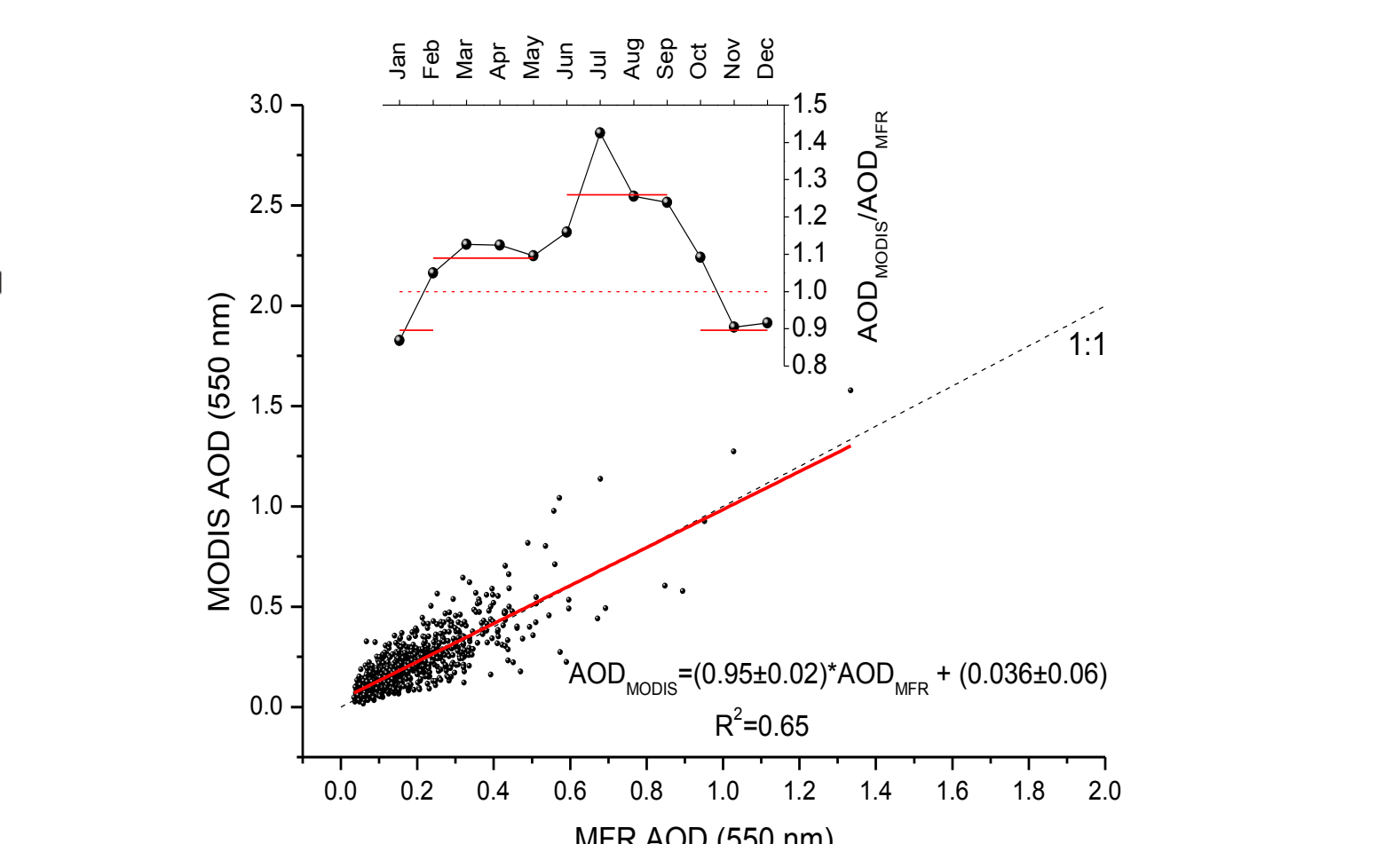
Average ± Stand. Dev.	
AOD ₅₀₀	0.29 ± 0.18
AOD ₆₀₀	0.23 ± 0.17
AOD ₆₅₀	0.18 ± 0.16
AOD ₇₀₀	0.16 ± 0.15
AOD ₈₀₀	0.12 ± 0.14
A _{440/870}	1.4 ± 0.5



Εποχιακή διακύμανση των παραμέτρων AOD στα 500 nm και εκθέτη Ångström, [2006 - 2009]. Οι μπάρες είναι ενδεικτικές της αντίστοιχης διακύμανσης.



Η συνεισφορά του κάθε τομέα προέλευσης των αερίων μαζών στην μέση τιμή του AOD.



Γραμμική συσχέτιση των παραμέτρων AOD_{MODIS} και AOD_{MFR}, [2006 - 2009]. Στο εσωτερικό διάγραμμα παρουσιάζεται ο ετήσιος κύκλος του λόγου AOD_{MODIS}/AOD_{MFR}.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η μέση τιμή του λόγου αποπόλωσης των σωματιδίων για τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, για ατμοσφαιρικές περιοχές κάτω και πάνω από το ύψος του ΑΟΣ είναι 0.083 ± 0.006 και 0.036 ± 0.037 . Οι μικρότερες τιμές παρουσιάζονται στους χειμερινούς μήνες, ενώ η μεγάλη διακύμανση στην ελεύθερη τροπόσφαιρα είναι επεισοδιακού χαρακτήρα, με έντονα επεισόδια διασυστορικής ρύπανσης και μάλιστα, σωματιδίων σκόνης που μεταφέρονται από την έρημο Σαχάρα πάνω από την Αθήνα.
 - Η μέση τιμή του λόγου αποπόλωσης από το CALIOP, βρέθηκε ίση με 0.10 ± 0.09 , ενώ η αντίστοιχη τιμή από το σύστημα AIAS βρέθηκε ίση με 0.12 ± 0.02 , η μέση τιμή της σχετικής διαφοράς των δύο κατακόρυφων κατανομών είναι της τάξης του -29.8%, με το δορυφορικό σύστημα να παρουσιάζει υποεκτίμηση των τιμών. Η απόλυτη τιμή της παραπάνω σχετικής διαφοράς αυξάνεται ακόμη περισσότερο σε υψόμετρα κάτω από το ΑΟΣ [μικρότερα από 500 m], καθώς η συνάρτηση πλήρους επικάλυψης επηρεάζει άμεσα το επίγειο αποτέλεσμα και η εξασθένηση του σήματος επηρεάζει το αντίστοιχα δορυφορικό σήμα.
 - Η μέση τιμή του AOD μέσα στα ηφαιστειακά στρώματα βρέθηκε χαμηλή: 0.09 [0.01-0.18] στα 355 nm και 0.07 [0.02-0.17] στα 532 nm. Οι αντίστοιχες τιμές για το λόγο lidar κυμάνθηκαν από 60-80 sr [μέση τιμή 72 sr] στα 355 nm και 44-77 sr [μέση τιμή 65 sr] στα 532 nm. Η ανάκτηση των μικροφυσικών ιδιοτήτων των σωματιδίων ηφαιστειακής προέλευσης, αποκάλυψε ότι το μέγεθος των αερολυμάτων αυξήθηκε με το ύψος, καθώς η μέση ακτίνα των σωματιδίων κυμάνθηκε από 0.13-0.38 µm. Τέλος, από τη συσχέτιση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων που προβλέφθηκαν από μοντέλα και ανακτήθηκαν από τα δεδομένα lidar, ο συντελεστής συσχέτισης ήταν ~ 0.75 .
- Τα αποτελέσματα από τη στατιστική ανάλυση δεδομένων επίγειας και δορυφορικής παθητικής τηλεπισκόπησης για περίοδο τριών ετών [2006-2009], είναι τα ακόλουθα:
- Η μέση ημερήσια τιμή του AOD₅₀₀ ήταν 0.23 ± 0.17 [μέγιστη συχνότητα παρατηρήσεων μεταξύ 0.10 και 0.15]. Η αντίστοιχη μέση ημερήσια τιμή του εκθέτη Ångström ήταν 1.41 ± 0.48 , με μέγιστη συχνότητα παρατηρήσεων να παρουσιάζεται στο εύρος τιμών μεταξύ 1.6-1.8, οι μέγιστες τιμές του AOD₅₀₀ παρατηρούνται τον Απρίλιο, με μέση μηνιαία τιμή AOD₅₀₀ 0.35 η οποία και συμπίπτει με τον μήνα ελάχιστης τιμής του εκθέτη Ångström 1.2. Ελάχιστες τιμές του AOD₅₀₀ παρατηρούνται το Νοέμβριο και Ιανουάριο [0.16 - 0.19] με μέσες περίπου τιμές για τον εκθέτη Ångström [1.3 - 1.5]. Τέλος, τους υπόλοιπους μήνες, το AOD₅₀₀ παρουσιάζει μία σταθερότητα γύρω από τη μέση υπολογιζόμενη τιμή, ενώ μέγιστη τιμή του εκθέτη Ångström παρουσιάζεται τον Ιούλιο [1.7].
 - Από τη σύγκριση των επίγειων και δορυφορικών δεδομένων παθητικής τηλεπισκόπησης προέκυψε ένας ικανοποιητικός συντελεστής συσχέτισης [~ 0.65], με τα δορυφορικά δεδομένα να παρουσιάζονται υπερεκτιμημένα [από 10-30%] κυρίως λόγο των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των δεδομένων ακτινοβολίας σε δεδομένα AOD₅₀₀.
 - Από την ανάλυση, κατά συστάδες, των αερίων μαζών που καταφθάνουν πάνω από την Αθήνα, συμπεραίνεται ότι το 40% προέρχονται από τα Βαλκάνια και τοπικές πηγές ρύπανσης, 23% από την έρημο Σαχάρα, 21% από την Ηπειρωτική Ευρώπη, 6% από την περιοχή του Ατλαντικού και 9% από την Μεσόγειο Θάλασσα.

Αναφορές

1. Lelieveld, J., et al., Global air pollution crossroads over the Mediterranean, Science, **298**, 794-799, 2002.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου. 2002.

