



ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1

ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΙΔΙΚΩΝ CAMPAIGNS (CASE STUDIES)

Τίτλος Έργου : “Αξιολόγηση Φωτοχημικών Μοντέλων των Αιωρούμενων Σωματιδίων και του Όζοντος στο Λεκανοπέδιο Αθηνών με χρήση αισθητήρων DOAS και τεχνικής LIDAR και συσχέτισή τους με δείκτες υγείας”

Κωδικός Έργου :	05B-NON-EU-349 [ΟΠΣ: 96δ]
Ανάδοχος :	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ
Επιστημονικός Υπεύθυνος :	Δρ. Ιωάννης ΖΙΩΜΑΣ Καθηγητής
Δράση :	«Συνεργασίες με Ε&Τ οργανισμούς χωρών εκτός Ευρώπης - 2005» (Φάση Β)
Θεματικός Τομέας :	Περιβαλλοντικές και Διαστημικές Τεχνολογίες
Αρμόδια Διεύθυνση ΓΓΕΤ :	Διεύθυνση Διεθνούς Ε&Τ Συνεργασίας Τμήμα Διακρατικών Σχέσεων
Αρμόδιος Χειριστής ΓΓΕΤ :	Β. ΚΕΡΑΣΙΩΤΗ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1. Βάση δεδομένων ατμοσφαιρικών ρύπων από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις πεδίου στο πλαίσιο ειδικών campaigns (case studies)

Συντονιστής: ΕΜΠ, Συνεργάτες: ΕΜΠ (30%), Raymetrics SA (10%), ΕΚΕΦΕ-Δ (40%), ΕΑΑ-ΙΔΕΤ (20%)

Περίληψη

Η βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του παρόντος έργου περιλαμβάνει μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων που ελήφθησαν από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις πεδίου στο πλαίσιο ειδικών campaigns (case studies). Ειδικότερα, περιλαμβάνει μετρήσεις αερολυμάτων από επίγειες μετρήσεις με χρήση συστήματος lidar, και δορυφορικές μετρήσεις από διαστημικές πλατφόρμες (χαμηλής, μεσαίας και υψηλής ανάλυσης). Οι μετρήσεις όζοντος πραγματοποιήθηκαν με χρήση επίγειου συστήματος διαφορικής απορρόφησης lidar (σύστημα DIAL) και με χρήση συστήματος (τεχνική DOAS).

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1. Βάση δεδομένων ατμοσφαιρικών ρύπων από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις πεδίου στο πλαίσιο ειδικών campaigns (case studies)

Κατά τη διάρκεια του 1^{ου} Σταδίου του ερευνητικού αυτού έργου αναπτύχθηκε μια κεντρική βάση δεδομένων που περιλαμβάνει μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων που ελήφθησαν από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις πεδίου στο πλαίσιο ειδικών campaigns (case studies). Ειδικότερα, η βάση δεδομένων αυτή περιλαμβάνει μετρήσεις αερολυμάτων από επίγειες μετρήσεις με χρήση συστήματος lidar, και δορυφορικές μετρήσεις από διαστημικές πλατφόρμες (χαμηλής, μεσαίας και υψηλής ανάλυσης). Οι μετρήσεις όζοντος πραγματοποιήθηκαν με χρήση επίγειου συστήματος διαφορικής απορρόφησης lidar (σύστημα DIAL) και με χρήση συστήματος οπτικής διαφορικής απορρόφησης (τεχνική DOAS).

Από τις διαθέσιμες πειραματικές μετρήσεις των αερολυμάτων και του όζοντος, κατά την περίοδο υλοποίησης του παρόντος έργου, επιλέγησαν εκείνες οι ημερομηνίες του έτους 2007 (**27 Ιουνίου, 28 Ιουνίου, 29 Ιουνίου, 2 Ιουλίου, 24 Ιουλίου, 25 Ιουλίου, 1 Οκτωβρίου**) που παρουσίαζαν το μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, αναφορικά με το (υψηλό) επίπεδο των ρύπων που ανιχνεύθηκαν. Ακολούθως, για τις ημερομηνίες αυτές «έτρεξαν» τα φωτοχημικά προγνωστικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν (βλ. Πακέτο Εργασίας 3).

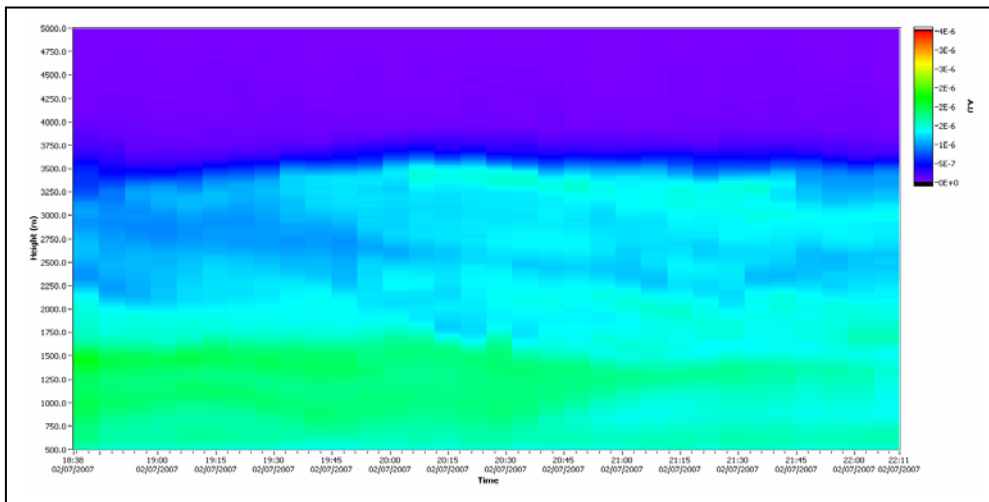
1. ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΖΟΝΤΟΣ

1.1 Μετρήσεις αερολυμάτων

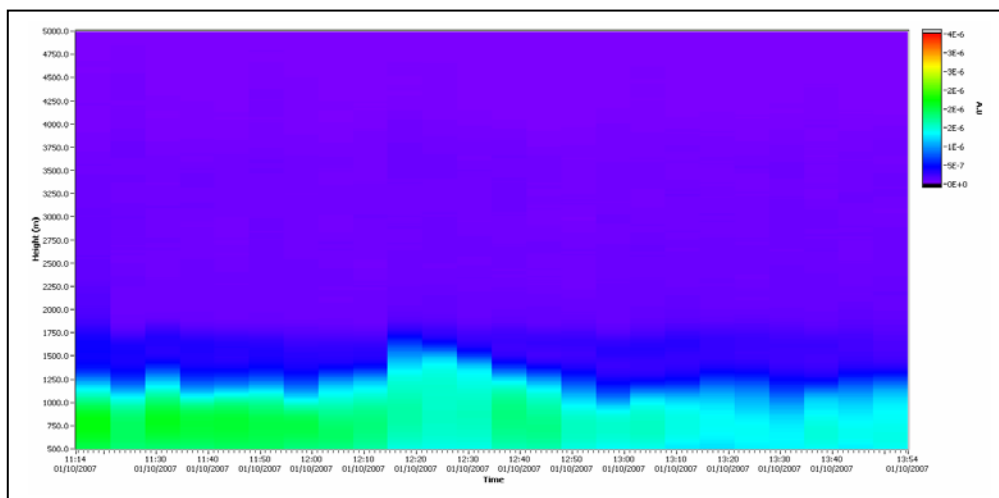
Οι επίγειες μετρήσεις των αερολυμάτων πραγματοποιήθηκαν με χρήση συστήματος lidar (Ε.Μ.Πολυτεχνείο) και διαφόρων μετρητικών διατάξεων αερολύματος (π.χ. φασματόμετρο, αιθαλόμετρο, SMPS, κλπ.) από το ΕΚΕΦΕ-Δημόκριτος.

1.1.1 Μετρήσεις lidar (Ε.Μ.Πολυτεχνείο)

Τυπικές μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης) στα 532 nm παρουσιάζονται στις Εικόνες 1.1 και 1.2 για 2 επιλεγθείσες ημερομηνίες (π.χ. 2 Ιουλίου και 1 Οκτωβρίου του έτους 2007).



Εικόνα 1.1 Μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης) με χρήση της τεχνικής lidar στα 532 nm) (02/07/2007).



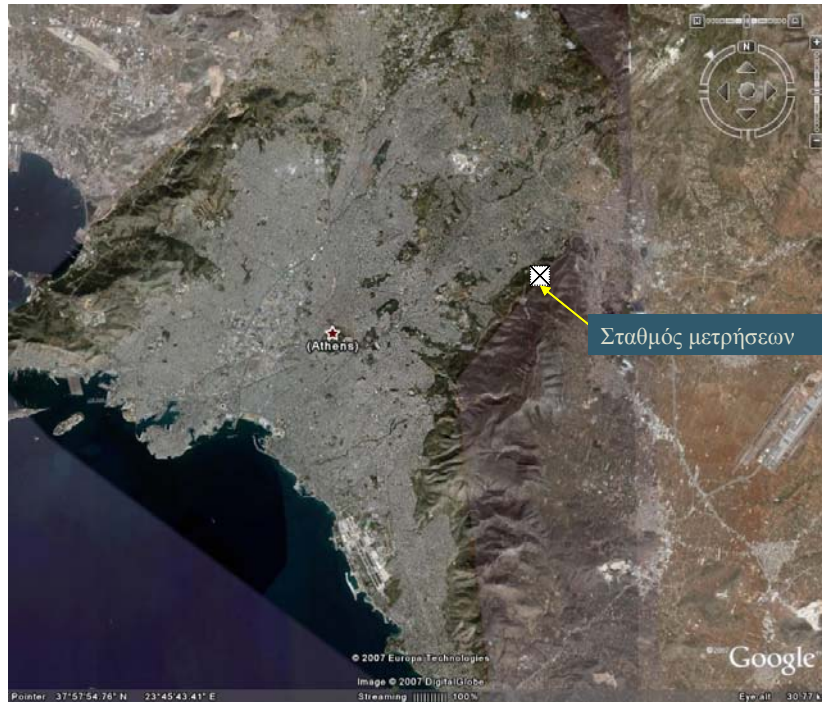
Εικόνα 1.2 Μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης) με χρήση της τεχνικής lidar (532 nm) (01/10/2007).

1.1.2 Μετρήσεις συγκέντρωσης αερολυμάτων (ΕΚΕΦΕ-Δημόκριτος)

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση σταθμού δειγματοληψίας στον χώρο του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» στην Αγία Παρασκευή, Αττικής (Εικόνα 1.3). Εκεί, διενεργήθηκαν ταυτόχρονες δειγματοληψίες λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ2.5) σε πολλαπλά σημεία και έγινε η καταγραφή των συγκεντρώσεων των ΑΣ2.5 με σκοπό την πρώτη εκτίμηση των επιπέδων τους και τη συσχέτισή τους με παράγοντες που επηρεάζουν τη διακύμανση τους και τη σχέση τους με τη συγκέντρωση του αριθμού των αιωρούμενων σωματιδίων. Πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη των συστημάτων παρακολούθησης των φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως τα συστήματα σάρωσης της κατανομής μεγέθους, το σύστημα παρακολούθησης συντελεστή σκέδασης, και το σύστημα μέτρησης συγκεντρώσεων των ανόργανων συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων. Παρατηρήθηκε η διακύμανση άλλων παραμέτρων όπως των συστατικών του αερολύματος που προκαλούν απορρόφηση φωτός. Σαν μέθοδο αναφοράς για τη συγκέντρωση μάζας θεωρούμε την εργαστηριακή σταθμική μέθοδο (EN12341) σε δείγμα που συλλέγεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

1.1.2.1 Περιγραφή της υποδομής μετρητικών διατάξεων αερολύματος

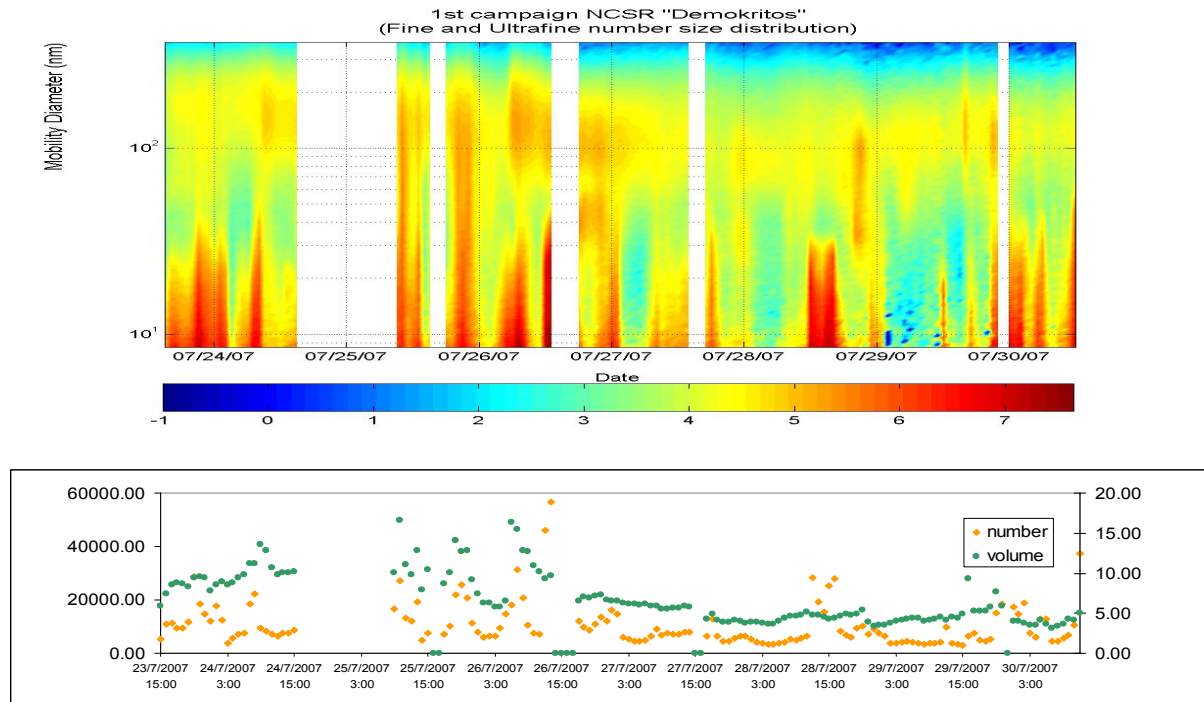
- **LAS-X AEROSOL SPECTROMETER**
- Κατανομή μεγέθους αριθμού σωματιδίων από 0.1-3 μm .
- **DR4000**
- Συγκέντρωση μάζας αιωρούμενων σωματιδίων με έμεση εκτίμηση από τη σκέδαση φωτός σε δύο μήκη κύματος Μετρούμενη συγκέντρωση: 0.1 έως 400000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- **Αιθαλόμετρο ΑΕ31**
Συγκέντρωση στοιχειακού άνθρακα ή συντελεστή απόρροφησης.
- **SMPS (MODEL 3080 ELECTROSTATIC CLASSIFIER AND CPC 3022A)**
Μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων και της κατανομής μεγέθους τους ανάλογα με την ηλεκτροκινητική τους διάμετρο.
Μετρούμενο μέγεθος σωματιδίων: 7 έως 700 nm
Μέγιστη συγκέντρωση σωματιδίων στην είσοδο: $10^8/\text{cm}^3$ στα 10 nm



Εικόνα 1.3. Γεωγραφική θέση του σταθμού παρακολούθησης παραμέτρων αερολύματος του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος».

Κατά τη διάρκεια του έργου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις καθόλη τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους. Παρόλα αυτά εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων η βάση δεδομένων δεν είναι συνεχής για τις παραμέτρους του ατμοσφαιρικού αερολύματος που περιγράφονται παραπάνω. Παρακάτω δίδεται η συνοπτική περιγραφή των μετρήσεων για κάθε παράμετρο συνοδευόμενη από γραφικές παραστάσεις που αποδίδουν την τυπική διακύμανση των σημαντικότερων παραμέτρων. Συγκεντρωτικά έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Παράμετρος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
<u>Συγκέντρωση μάζας αερολύματος με αεροδυναμικό μέγεθος < 2.5 μm</u>	16.3 (μgr/m ³) ±	8.8 (μgr/m ³)
<u>Συγκέντρωση μάζας αιθάλης (στοιχειακού Άνθρακα) με αεροδυναμικό μέγεθος < 2.5 μm</u>	0.93 (μgr/m ³) ±	0.78 (μgr/m ³)
<u>Συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων αερολύματος με αεροδυναμικό μέγεθος < 2.5 μm</u>	10.5 10 ³ (#/cm ³) ±	10.6 10 ³ (#/cm ³)
<u>Συντελεστής σκέδασης αερολύματος με αεροδυναμικό μέγεθος < 2.5 μm</u>	40.1 (Mm ⁻¹) ±	26.4 (Mm ⁻¹)



Εικόνα 1.4 Χαρακτηριστική περίοδος με υψηλή διακύμανση στην κατανομή μεγέθους του αριθμού των υπέρλεπτων σωματιδίων όπως καταγράφηκαν στο σταθμό μετρήσεων του ΕΚΕΦΕ «Δ».

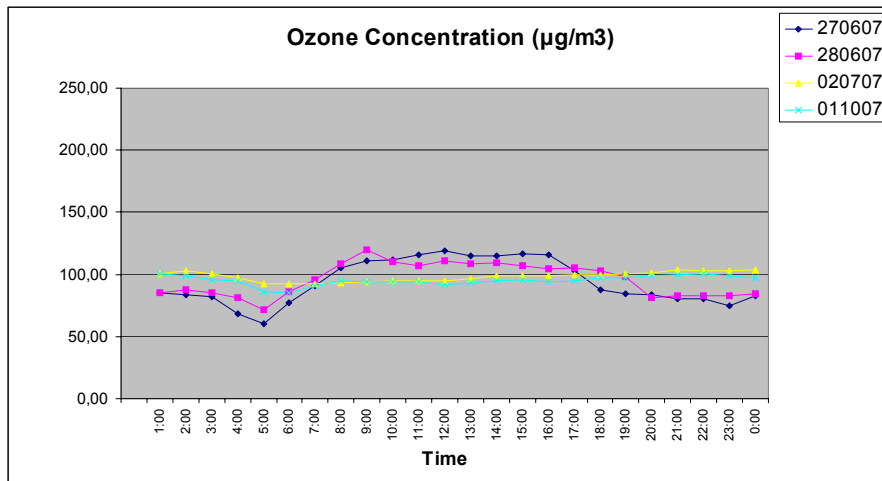
1.1.2.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η αναλυτική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, μπορεί να απασχολήσει εκτενώς τους εμπλεκόμενους φορείς σχετικά με την παρακολούθηση των παραμέτρων του αστικού αερολύματος: Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του φαίνεται να συνοψίζονται στα εξής (βλ. Εικόνα 1.4):

- Η κατανομή μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων στην αστική ατμόσφαιρα παρουσιάζει σημαντική διακύμανση η οποία είναι καθοριστική για την εκτίμηση της δοσιμετρίας των κατοίκων της πόλης. Υψηλές τιμές στον πληθυσμό από πλευράς συγκέντρωσης αριθμού υπέρλεπτων και λεπτών σωματιδίων παρατηρείται κατά τη θερινή περίοδο του έτους.
- Η κατανομή μεγέθους εμφανίζει τοπικά μέγιστα στα μεγέθη 20 και 100 nm, όπως έχει παρατηρηθεί και σε σποραδικές μετρήσεις του παρελθόντος με μικρή διαφορά στα μεγέθη συσσώρευσης (*Eleftheriadis et. al., 2006*).
- Δεδομένα συντελεστή σκέδασης και απορρόφησης αποκτώνται για πρώτη φορά στο Λεκανοπέδιο της Αττικής και βρίσκονται σε συμφωνία με τα μεγέθη που αναμένονται από τη διεθνή βιβλιογραφία.

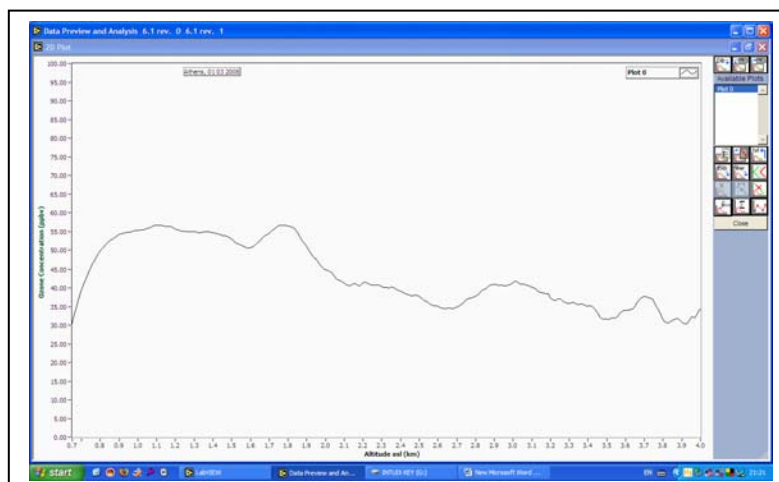
1.2 Μετρήσεις όζοντος (Ε.Μ. Πολυτεχνείο)

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με χρήση της τεχνικής της διαφορικής απορρόφησης (τεχνική DOAS) και της τεχνικής διαφορικής απορρόφησης lidar (DIAL). Στην Εικόνα 1.5 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της πορείας της συγκέντρωσης του όζοντος (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης, Ζωγράφου, για 4 επιλεγθείσες ημέρες (**27 Ιουνίου, 28 Ιουνίου, 2 Ιουλίου και 1 Οκτωβρίου του έτους 2007**).



Εικόνα 1.5 Χρονική διακύμανση (τοπική ώρα) της συγκέντρωσης του όζοντος (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης, Ζωγράφου, για 4 επιλεγθείσες ημέρες, με χρήση της τεχνικής DOAS.

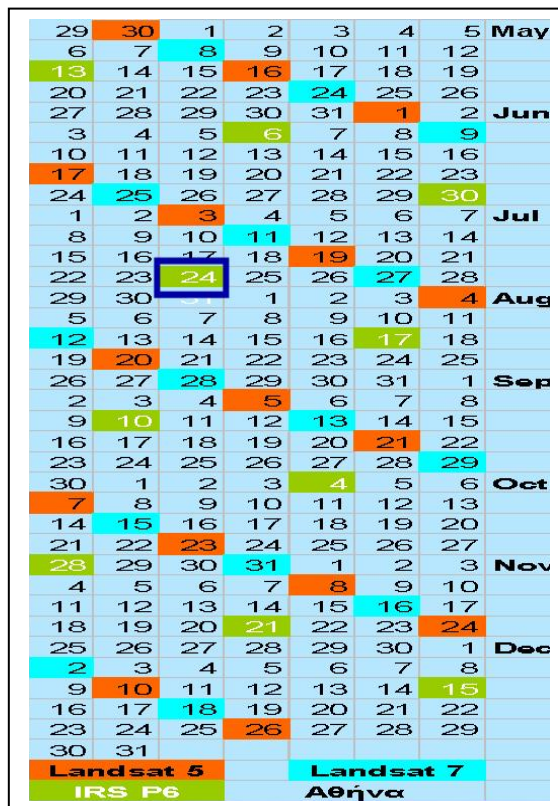
Στην Εικόνα 1.6 παρουσιάζουμε, ένα τυπικό παράδειγμα ανάκτησης της κατακόρυφης κατανομής της αναλογίας ανάμιξης όγκου του όζοντος, μεταξύ 650 m και 4000 m στο Λεκανοπέδιο Αθηνών, όπου καταγράφηκαν τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος από 30 έως 55 ppbv, με χρήση του συστήματος διαφορικής απορρόφησης lidar (σύστημα DIAL) (26/1/2007).



Εικόνα 1.6 Η κατακόρυφη κατανομή της αναλογίας ανάμιξης όγκου του όζοντος, μεταξύ 650 m και 4000 m στο Λεκανοπέδιο Αθηνών, με χρήση τεχνικής DIAL (26/1/2007).

2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Η ανάκτηση και η χαρτογράφηση της οριζόντιας κατανομής του οπτικού βάθους των αερολυμάτων (AOD) μπορούν να πραγματοποιηθούν σε διάφορες γεωγραφικές κλίμακες χρησιμοποιώντας διαφορετικούς δορυφορικούς δέκτες και αντίστοιχες τεχνικές. Δέκτες χαμηλής διακριτικής ικανότητας (δηλ. με απόσταση επίγειας δειγματοληψίας της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων), όπως ο TOMS και ο SCIAMACHY χρησιμοποιούνται κυρίως σε μελέτες παγκόσμιας κλίμακας. Οι δέκτες με μέτρια διακριτική ικανότητα (δηλ. με απόσταση επίγειας δειγματοληψίας της τάξης των μερικών χιλιομέτρων), όπως οι AVHRR, SEVIRI και GOME μπορούν να εξετάσουν προβλήματα ρύπανσης μεγάλης κλίμακας. Ενώ οι προηγούμενες κατηγορίες χρησιμοποιούνται συχνότερα για την ανάκτηση του οπτικού βάθους των αερολυμάτων, η χρήση δορυφόρων με απόσταση επίγειας δειγματοληψίας της τάξης των δεκάδων μέτρων αρχίζει σταδιακά να τραβά την προσοχή των ερευνητών που έχουν αναπτύξει μια σειρά από αντίστοιχες τεχνικές. Τέτοιοι δορυφορικοί δέκτες υψηλής διακριτικής ικανότητας είναι ο Landsat TM/ETM+, ο SPOT HRV/HRVIR και ο IRS-LISS-III, και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε μελέτες αστικής κλίμακας. Η συχνότητα λήψης εικόνας όμως από αυτούς τους δορυφόρους παραμένει χαμηλή (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7 Χρονικός κατάλογος των δυνατών δορυφορικών λήψεων υψηλής διακριτικής ικανότητας στην Αθήνα για το έτος 2007.

Μια άλλη κατηγορία δορυφορικών δεδομένων, που παράγεται από μια ενδιάμεση κατηγορία δεκτών με μέση προς υψηλή διακριτική ικανότητα, όπως οι MODIS και MERIS, έχει τη δυνατότητα να παρέχει ποσοτικές πληροφορίες για τα αερολύματα και τις ιδιότητές τους με με απόσταση επίγειας δειγματοληψίας της τάξης των μερικών εκατοντάδων μέτρων σε καθημερινή βάση.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα lidar κατά τη διάρκεια της περιόδου εντατικών μετρήσεων το 2007, επιλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα AOD με ποικίλες χωρικές διακριτικές ικανότητες ως ακολούθως:

- *δορυφορικά δεδομένα υψηλής διακριτικής ικανότητας*: επιλέχθηκαν και αγοράστηκαν εικόνες IRS P6 LISS-III. Λόγω του υψηλού κόστους (~1500€ ανά τέταρτο εικόνας) αποκτήθηκαν μόνο δύο τέταρτα-εικόνων. Σύμφωνα με τις μετρήσεις συγκέντρωσης ρύπων του δικτύου ελέγχου του ΕΑΡΘ, επιλέχθηκαν ως "εικόνες αναφοράς" (χωρίς αέρια ρύπανση) η 16^η Ιουνίου 2005 και η 19^η Απριλίου 2007, ενώ η 24^η Ιουλίου 2007 θεωρήθηκε ως "εικόνα ρύπανσης". Οι συντεταγμένες τροχιάς των επιλεγμένων εικόνων επάνω από την Αθήνα ήταν 043/043, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 1.8.



Εικόνα 1.8 Δορυφορική εικόνα υψηλής διακριτικής ικανότητας (IRS P6 LISS-III).

- *δορυφορικά δεδομένα μέτριας προς υψηλή διακριτικής ικανότητας*: επιλέχθηκαν και συγκεντρώθηκαν μέσω του κεντρικού υπολογιστή της NASA εικόνες MODIS και το αντίστοιχο προϊόν AOD (MOD04_L2) για τις ακόλουθες

ημερομηνίες το 2007: 27 Ιουνίου, 28 Ιουνίου, 29 Ιουνίου, 2 Ιουλίου, 24 Ιουλίου, 25 Ιουλίου, 1 Οκτωβρίου. Σύμφωνα με βασισμένα τα στο έδαφος στοιχεία ρύπανσης, η εικόνα που αποκτήθηκε στις 16 Αυγούστου 2005 επιλέχθηκε ως "εικόνα αναφοράς".

- *δορυφορικά δεδομένα μέτριας προς υψηλή διακριτικής ικανότητας*: επιλέχθηκαν εικόνες AVHRR από τα αρχεία του ΙΔΕΤ-ΕΑΑ για τις ακόλουθες ημερομηνίες του 2007: 22 Αυγούστου, 27 Αυγούστου, 29 Αυγούστου. Εξάλλου η εικόνα που αποκτήθηκε την 1η Οκτωβρίου 2007 επιλέχθηκε ως "εικόνα αναφοράς" σύμφωνα με τις μετρήσεις ρύπανσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα AVHRR καταγράφονται απευθείας μέσω σταθμού λήψης στο ΙΔΕΤ-ΕΑΑ.

2.1. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Αρχικά, για τις ανάγκες της σύγκρισης μεταξύ δορυφορικά παραγόμενου και βασισμένου στο έδαφος AOD επισκεφτήκαμε το ΔΗΜΟΚΡΙΤΟ και προσδιορίσαμε, με τη βοήθεια GPS, τις συντεταγμένες του αντίστοιχου σταθμού ελέγχου των αερολυμάτων. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες βρέθηκαν να είναι οι ακόλουθες:

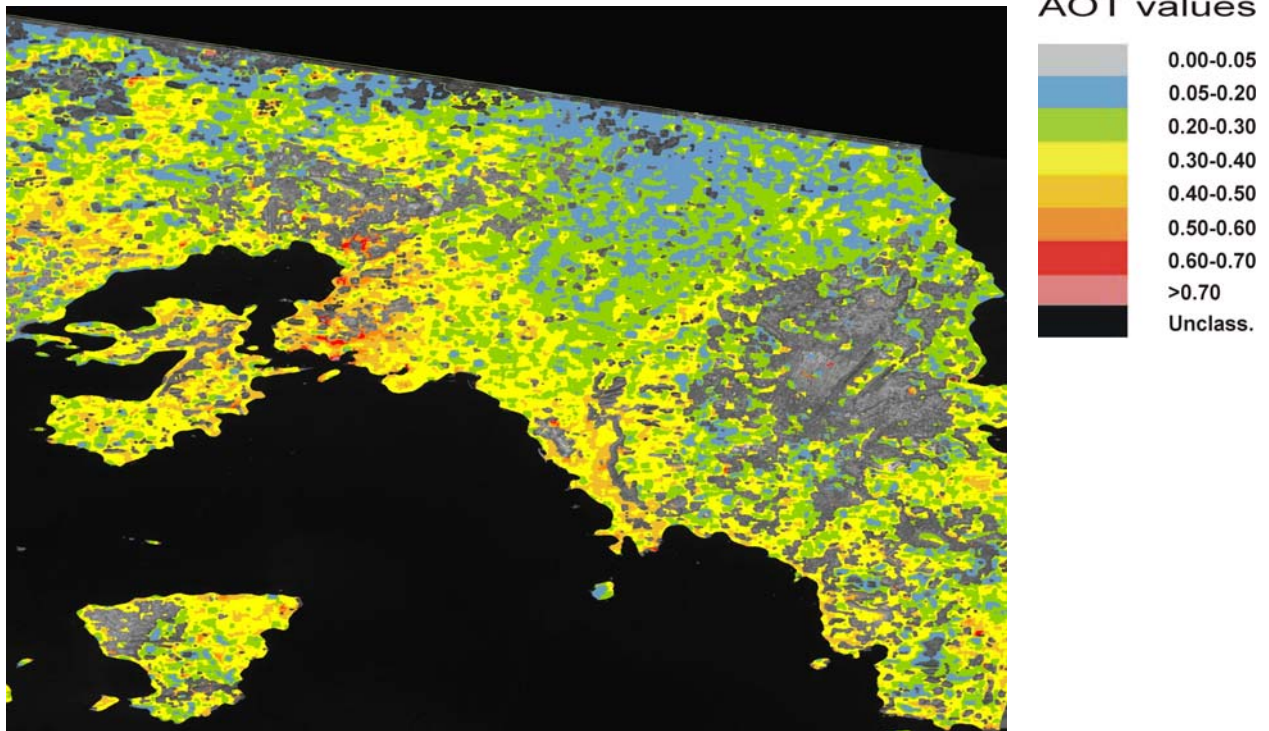
$$\varphi = 37^{\circ} 59' 43'' \quad \lambda = 23^{\circ} 48' 57,3''$$

$$\text{υψόμετρο} = 262 \text{ μέτρα}$$

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το δορυφορικά παραγόμενο AOD μέσω αυτοματοποιημένης επεξεργασίας εικόνας και συγκεκριμένα εφαρμογή του κώδικα DTA (διαφορική ανάλυση της υψής) που αναπτύχθηκε από τους Sifakis et al. (1992 και 1998). Ο κώδικας εφαρμόστηκε στις επιλεγμένες εικόνες IRS, MODIS και AVHRR. Ειδικά η τελευταία κατηγορία εικόνων ακολούθησαν την επεξεργασία των Retalis et al. (2003). Επιπλέον, εξετάστηκε για πρώτη φορά στα στοιχεία IRS, ο πρόσφατα αναπτυγμένος κώδικας CHRISTINE, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα πολυφασματικό κριτήριο παραλλαγής για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων ταξινόμησης AOD λόγω μεταβολών στην κάλυψη του εδάφους μεταξύ εικόνας αναφοράς και εικόνας ρύπανσης.

Όλα τα αποτελέσματα ανάκτησης και χαρτογράφησης του AOD συνοψίζονται στον Πίνακα 1.2. Η Εικόνα 1.9 απεικονίζει το δορυφορικό χάρτη υψηλής διακριτικής ικανότητας του AOD που παράχθηκε βάσει των εικόνων IRS-LISSIII, για την περιοχή του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Οι τιμές του AOD ανακτήθηκαν, επίσης, τοπικά για εκείνη την ημερομηνία (24/7/2007) υπεράνω του κτηρίου του Τομέα Φυσικής του ΕΜΠ και υπεράνω του σταθμού μετρήσεων του ΕΚΕΦΕ-ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, ώστε να επιτευχθεί η σύγκριση με ταυτόχρονες επίγειες μετρήσεις. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές "εικόνες αναφοράς" στην

περίπτωση των δεδομένων IRS-LISSIII. Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει τις ανακτημένες τιμές του AOD, οι οποίες είναι σχετικές ως προς τις δύο εικόνες αναφοράς (τιμές με κανονικούς χαρακτήρες) και τις προσεγγισμένες απόλυτες τιμές που υπολογίστηκαν μετά από διόρθωση σύμφωνα με τη μέση τιμή AOD που προέκυψε από το προϊόν MODIS για την ημερομηνία αναφοράς (τιμές με πλάγιους χαρακτήρες).



Εικόνα 1.9 Χάρτης AOD υψηλής χωρικής ευκρίνειας από δεδομένα IRS-LISSIII στις 24/7/2007.

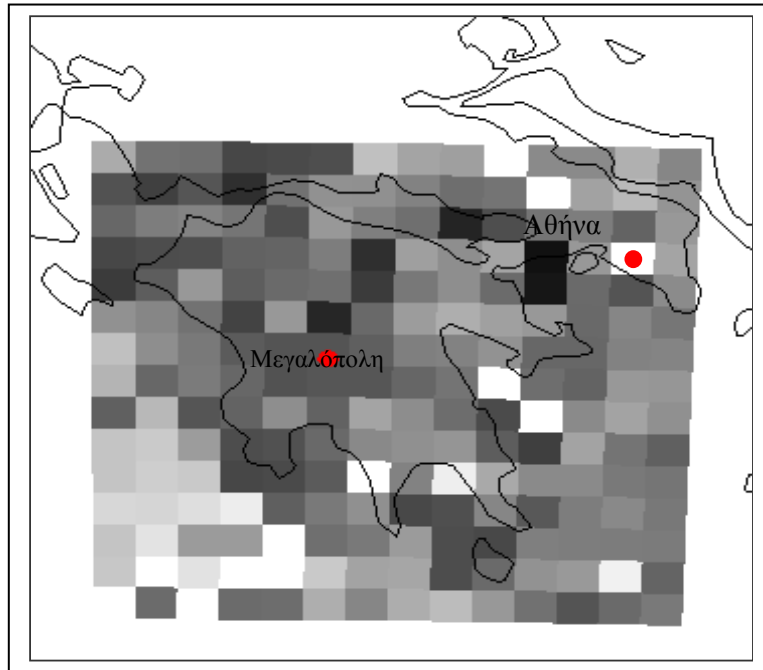
AOT and aerosol indices by satellite sensors during 2007 campaign							
Date	Lidar	MODIS quick look	LISS-III aot (12h20 LT)	MODIS aot (~12h00 LT)	MODIS product	AVHRR aot (~14h00 LT)	Notes
27/6	V						smog
28/6	V						fire
29/6	V						fire
2/7	V						fire?
24/7	V						dust
25/7	V						dust
22/8	V						dust
27/8	V						fire, dust
29/8	V						
1/10						ref	clear

Πίνακας 1.2 Χάρτες του οπτικού πάχους των αερολυμάτων (AOD) από ποικίλα δορυφορικά δεδομένα.

ΚΤΙΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΜΠ		ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΚΕΦΕ-ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΥ				ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΕΠΑ					
1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd				
αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς	αναφοράς				
0.42	0.48	0.32	0.49	0.49	0.55	0.18	0.35	0.47	0.53	0.28	0.45

Πίνακας 1.3 Τιμές του AOD ανακτημένες από τον δορυφόρο IRS στις 24 Ιουλίου 2007 βάσει δύο “εικόνων αναφοράς”. Οι τιμές με πλάγιους χαρακτήρες αντιστοιχούν σε AOD διορθωμένο με προϊόντα MODIS.

Επίσης, επιχειρήθηκε και μια σύγκριση των τιμών του AOD, μεταξύ δύο χαρακτηριστικών περιοχών: του Λεκανοπεδίου Αθηνών και της πόλης της Μεγαλόπολης στην Πελοπόννησο. Τούτο συμβαίνει γιατί και οι δύο αυτές περιοχές παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις αερολυμάτων. Στην Εικόνα 1.10 παρουσιάζονται μετρήσεις του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550 nm, καθώς και του δείκτη Angstrom για τις περιοχές του Λεκανοπεδίου Αθηνών και της πόλης της Μεγαλόπολης στην Πελοπόννησο, όπως καταγράφηκαν από τον δορυφόρο MODIS με χωρική ανάλυση 10x10 km.



Εικόνα 1.10 Μετρήσεις του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550 nm, καθώς και του δείκτη Angstrom για τις περιοχές του Λεκανοπεδίου Αθηνών και της Πελοποννήσου όπως καταγράφηκαν από τον δορυφόρο MODIS (χωρική ανάλυση 10x10 km).

2.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι δορυφορικές ανακτήσεις του AOD από τους διάφορους δέκτες συγκρίθηκαν, αφ' ενός μεταξύ τους και, αφ' ετέρου, με τις επίγειες μετρήσεις. Τα δορυφορικά δεδομένα που αγοράστηκαν και που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία στα πλαίσια του προγράμματος ήταν πολύ περιορισμένα, και δεν επιτρέπουν λεπτομερή στατιστική ανάλυση. Επομένως, η σύγκριση μεταξύ των δορυφορικών και επεξεργασμένων στοιχείων περιορίστηκε στις συγκεκριμένες ημερομηνίες που συνέπεσαν οι διαθέσιμες μετρήσεις lidar με τις υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφορικές εικόνες.

Αρχικά τα δορυφορικά δεδομένα αναφοράς διορθώθηκαν ως προς τα προϊόντα MODIS AOD. Το προϊόν MODIS έδωσε τις μέσες τιμές AOD 0,06 και 0,17 για τις εικόνες αναφοράς 16/06/2005 και 19/04/2007 IRS αντίστοιχα, τιμές αρκούντως χαμηλές και στις δύο περιπτώσεις. Για την εικόνα αναφοράς MODIS (16/08/2005) το προϊόν MODIS έδωσε 0,09, επίσης μια χαμηλή τιμή AOD. Αυτή η σύγκριση επιβεβαίωσε ότι οι επιλεγμένες "εικόνες αναφοράς" αντιστοιχούν σε ημερομηνίες με αποδεκτά χαμηλές τιμές AOD. Η πρόσθεση των προηγούμενων τιμές AOD, που αντιστοιχούν στις "εικόνες αναφοράς", στις αρχικά ανακτημένες τιμές AOD θα μπορούσαν, θεωρητικά τουλάχιστον, να παρέχουν απόλυτο AOD. Τα αποτελέσματα αυτής της διόρθωσης παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 1.3.

Θέση AOD	Υπεράνω κτηρίου Φυσικής			Μέση τιμή στην ΕΠΑ		
Προέλευση AOD	IRS με CHRISTINE	MODIS με DTA	Lidar	IRS με CHRISTINE	MODIS με DTA	Προϊόν MODIS
Ωρα λήψης (τοπική)	12h18	11h50	13h00	12h18	11h50	11h50
Τιμή AOD	0.32 0.49	0.31 0.40	0.64	0.28 0.45	0.37 0.46	0.52

Πίνακας 1.4. Σύγκριση δορυφορικών ανακτήσεων AOD και επίγειων μετρήσεων στις 24/07/2007. Με πλάγιους χαρακτήρες παρουσιάζονται οι διορθωμένες τιμές του AOD.

Στη συνέχεια οι δορυφορικές τιμές AOD από τους διαφορετικούς δορυφορικούς αισθητήρες συγκρίθηκαν για την ημερομηνία της 24ης Ιουλίου 2007 όταν συνέπεσαν όλες οι μετρήσεις. Το δορυφορικό AOD συγκρίθηκε επίσης με τις επίγειες μετρήσεις στο ΔΗΜΟΚΡΙΤΟ και με τις μετρήσεις Lidar στο κτήριο Φυσικής για την ίδια ημερομηνία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.4. Όσον αφορά στην επεξεργασία των εικόνων IRS, παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα που βασίστηκαν στη δεύτερη "εικόνα αναφοράς".

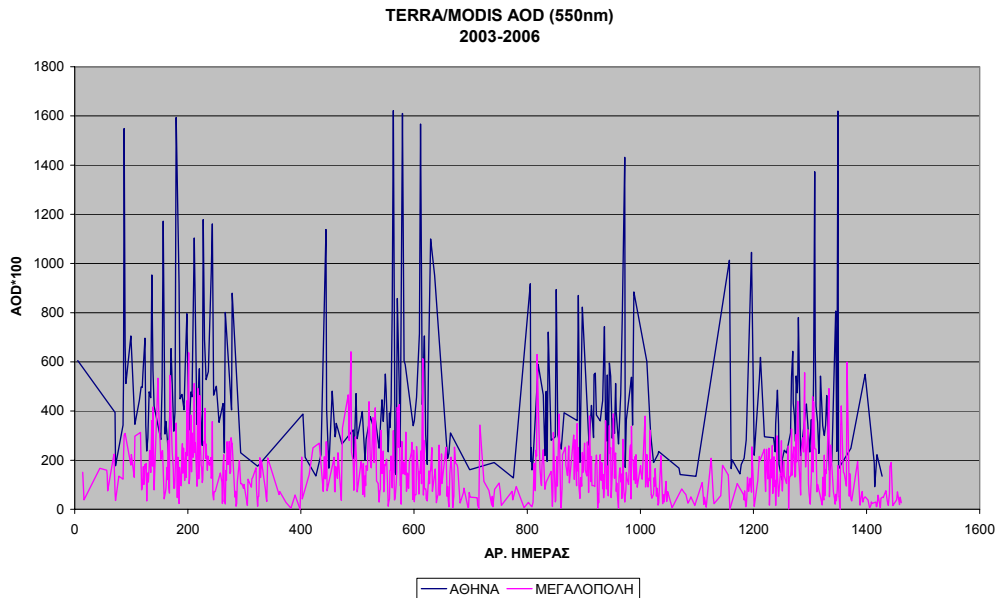
2.3 Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων και στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων περιελάμβανε το στάδιο της προεπεξεργασίας και τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Και τα δύο στάδια επεξεργασίας έγιναν με αυτοματοποιημένο τρόπο με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού που έχει αναπτυχθεί από το Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης. Τα στάδια προεπεξεργασίας των εικόνων από τη στιγμή λήψης της εικόνας μέχρι τη δημιουργία του τελικού δυαδικού αρχείου μετρήσεων για την περιοχή ενδιαφέροντος περιελάμβαναν τα εξής:

- Ανάγνωση αρχείων μορφής hdf
- Προβολή σε οριζοντιογραφικό σύστημα συντεταγμένων (UTM)
- Μετατροπή σε αρχεία geotif προκειμένου να μελετηθεί η χωρική αποτύπωση του οπτικού πάχους των αερολυμάτων
- Δημιουργία αρχείων με τις διαχρονικές τιμές του οπτικού πάχους και του δείκτη Angstrom για τις περιοχές μελέτης.

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των τιμών του δείκτη Angstrom καθώς και των τιμών του οπτικού πάχους των αερολυμάτων. Στην Εικόνα 1.11

παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη διαχρονική μεταβολή (2003-2006) του οπτικού πάχους των αερολυμάτων (0.55 μm) για τις δύο περιοχές μελέτης (Αθήνα και Μεγαλόπολη).



Εικόνα 1.11 Διαχρονική μεταβολή του οπτικού πάχους των αερολυμάτων (0.55 μm) από δεδομένα Modis (Terra) για την περίοδο 2003-2006.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι τιμές του οπτικού πάχους των αερολυμάτων στην περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αττικής είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες στην περιοχή της Μεγαλόπολης, ενώ σε γενικές γραμμές υπάρχει μία συμμετρία ως προς τη καμπύλη των αντίστοιχων τιμών τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναφορικά με τα δεδομένα εδάφους για τα λεπτόκκοκα αερολύματα (A_{S2.5}) τα κυριότερα συμπεράσματα συνοψίζονται στα παρακάτω στοιχεία:

- Η κατανομή μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων στην αστική ατμόσφαιρα παρουσιάζει σημαντική διακύμανση η οποία είναι καθοριστική για την εκτίμηση της δοσιμετρίας των κατοίκων της πόλης. Υψηλές τιμές στον πληθυσμό από πλευράς συγκέντρωσης αριθμού υπέρλεπτων και λεπτών σωματιδίων παρατηρείται κατά τη θερινή περίοδο του έτους.
- Η κατανομή μεγέθους εμφανίζει τοπικά μέγιστα στα μεγέθη 20 και 100 nm, όπως έχει παρατηρηθεί και σε σποραδικές μετρήσεις του παρελθόντος με μικρή διαφορά στα μεγέθη συσσώρευσης (*Eleftheriadis et. al., 2006*).

- Δεδομένα συντελεστή σκέδασης και απορρόφησης αποκτώνται για πρώτη φορά στο Λεκανοπέδιο της Αττικής και βρίσκονται σε συμφωνία με τα μεγέθη που αναμένονται από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Αναφορικά με τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς επίσης και οι ταυτόχρονες διαθέσιμες επίγειες παρατηρήσεις, περιορίστηκαν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες, οι ακόλουθες παρατηρήσεις μπόρεσαν να καταγραφούν από την εξέταση των αποτελεσμάτων:

- Όσον αφορά στη δορυφορική ανάκτηση του AOD από τον IRS, είναι αξιοσημείωτο ότι οι αρχικά προσδιορισμένες σχετικές τιμές διέφεραν αρκετά (μέχρι 60%) ανάλογα με τη χρήση διαφορετικών "εικόνων αναφοράς". Εντούτοις αυτές οι διαφορές μειώθηκαν αρκετά (5-30%) όταν οι σχετικές τιμές διορθώνονται ως προς τις κατά προσέγγιση απόλυτες τιμές AOD βάσει των προϊόντων MODIS για τις αντίστοιχες εικόνες αναφοράς. Αυτό επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας DTA/CHRISTINE για ανάκτηση σχετικών τιμών AOD και τη χαρτογράφηση τους.
- Όσον αφορά στις διορθωμένες τιμές του AOD γενικά (είτε από τον IRS, είτε από τον MODIS) παρατηρήσαμε μια μέση διαφορά της τάξης του 25% με τα προϊόντα του MODIS.
- Παρατηρήσαμε επίσης ότι η διαφορά στην ανάκτηση AOD από τον IRS έναντι στο AOD ανακτημένο από τον MODIS ήταν της τάξης του $\pm 20\%$.
- Τελικά σημειώσαμε ότι οι τιμές AOD ανακτημένες από τον IRS ή τον MODIS διέφεραν από τις μετρήσεις του AOD κατά 50%. Αυτό μειώνεται σε 20% και 40% για τον IRS και τον MODIS, αντίστοιχα, όταν το σχετικό AOD διορθώνεται ώστε να προσεγγίσει τις απόλυτες τιμές βάσει προϊόντων MODIS AOD για τις αντίστοιχες εικόνες αναφοράς.

Συμπερασματικά, το Παραδοτέο 1, ολοκληρώθηκε επιτυχώς με την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει τις μετρήσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων που ελήφθησαν από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις πεδίου στο πλαίσιο ειδικών campaigns (case studies).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Eleftheriadis, K., I. Colbeck, C. Housiadas, M. Lazaridis, N. Mihalopoulos, C. Mitsakou, J. Smolík and V. Ždímal, (2006), Size distribution, composition and origin of the submicron aerosol in the marine boundary layer during the Eastern Mediterranean "SUB-AERO" experiment. *Atmospheric Environment*, **40**, 6245-6260.

- Eleftheriadis, K., S. Vratolis, C. Housiadas, J. Smolík, V. Ždímal, J. Schwarz, Z. Wagner, M. Lazaridis, J. Ondracek, T. Hussein, S. Kephelopoulos and Y. Drossinos (2006) Modal Structure of the Fine Urban Aerosol in four European Cities IAC, Minneapolis, 6-14th of Sept 2006.
- Retalis A., Sifakis N., Grosso N., Paronis D., Sarigiannis D. (2003), Aerosol optical thickness retrieval from AVHRR images over the Athens urban area. *Proc. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS 2003)*, 21-25 July 2003, Toulouse, France, **IV**, 2182-2184.
- Sifakis N., Deschamps P.Y. (1992), Mapping of Air Pollution Using SPOT Satellite Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **58**, 1433-1437.
- Sifakis N., Soulakellis N., Paronis D. (1998), Quantitative mapping of air pollution density using Earth observations: A new processing method and application on an urban area. *International Journal of Remote Sensing*, **19**, 3289-3300.

Βεβαιώνεται η εκτέλεση του παραπάνω έργου

1/11/2007

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος

Δρ. Ιωάννης ΖΙΩΜΑΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.