

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ  
ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LASER ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ  
ΦΩΤΟΜΕΤΡΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ

Χαραλάμπους Νικολίνα

Λεμεσός 2011



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ  
ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LASER ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ  
ΦΩΤΟΜΕΤΡΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ

Χαραλάμπους Νικολίνα

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2011

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Νικολίνα Χαραλάμπους, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κο Διόφαντο Χατζημιτσή, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του και τη βοήθεια του σε κάθε φάση της δημιουργίας της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης ευχαριστώ την υποψήφια διδάκτορα της ερευνητικής ομάδας του κου Χατζημιτσή, κα Αργυρώ Νισαντζή, η συνεισφορά της οποίας ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής με τις παρατηρήσεις και τις υποδείξεις της στη βελτίωση της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου και την ερευνητική ομάδα του έργου με το ακρωνύμιο "AIRSPACE" (Air Pollution Monitoring from Space), που χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας, στο οποίο συμμετέχουν το ΤΕΠΑΚ, το πανεπιστήμιο Harvard, το πανεπιστήμιο Frederic, η Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, για την παροχή όλων των διαθέσιμων πόρων για την εκπόνηση της εν λόγω πτυχιακής μελέτης. Θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για τη διαρκή τους υποστήριξη, που επέτρεψε την επιτυχή διεκπεραίωση των σπουδών μου. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναγνωρίζεται σήμερα σαν ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι αναπτυγμένες χώρες έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας ζωής. Η παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει μεθόδους για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Λεμεσό με χρήση της τεχνικής LIDAR (Light Detection And Ranging), των ηλιακών φωτόμετρων τύπου Cimel και των συσκευών μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων τύπου Dust Trak. Σκοπός των μετρήσεων  $PM_{10}$  (αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου 10  $\mu m$ ) και AOT (οπτικού πάχους αερολυμάτων) που λήφθηκαν είναι αρχικά η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Λεμεσού και παράλληλα η ανάπτυξη μιας εξίσωσης που να συνδέει τις παραμέτρους  $PM_{10}$  και AOT. Στόχος είναι η μελλοντική συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με έξυπνα συστήματα παρακολούθησης όπως τα δορυφορικά δεδομένα. Από τα γραφήματα της χρονικής εξέλιξης της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος που προέκυψαν από τις μετρήσεις με την τεχνική LIDAR, παρατηρήθηκε πως πέραν του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ΑΟΣ), ορισμένες φορές παρατηρούνται επιπλέον στρώματα που οφείλονται στη διασυνοριακή μεταφορά ρύπων ή/και σε νέφωση. Από τις μετρήσεις AOT που πραγματοποιήθηκαν στο κέντρο της Λεμεσού το όριο για το AOT ξεπερνιέται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Η εξίσωση που προέκυψε έδωσε συντελεστή συσχέτισης  $R=0.68$ , γεγονός που υποδεικνύει την επίτευξη του αρχικού στόχου. Η συγκεκριμένη εξίσωση θα μπορεί να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα δορυφορικά δεδομένα για την έγκαιρη ενημέρωση των πολιτών σε θέματα που αφορούν τη δημόσια υγεία.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xv
1 Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	1
1.1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση .....	1
1.1.1. Ορισμός Ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	1
1.1.2. Αερολύματα .....	1
1.1.3. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι .....	2
1.1.3.1 Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ).....	3
1.1.3.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	4
1.1.3.3 Αιωρούμενα Σωματίδια (ή PM).....	4
1.1.3.4 Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) .....	6
1.1.3.5 Όζον (O <sub>3</sub> ).....	6
1.1.3.6 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) .....	7
1.1.3.7 Μόλυβδος (Pb) .....	8
1.1.4. Νομοθεσία Κύπρου-Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	8
1.2. Χρήση LIDAR για μέτρηση της ρύπανσης.....	11
1.2.1. Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ).....	11

1.2.2.	Εφαρμογές του LIDAR .....	11
1.2.2.1.	Εφαρμογές LIDAR στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	12
1.2.2.2.	Άλλες εφαρμογές του LIDAR .....	12
1.2.3.	Τηλεπισκόπηση- Τεχνική LIDAR.....	15
1.2.3.1.	Αλληλεπίδραση ύλης-ακτινοβολίας.....	16
1.2.3.2.	Αρχή λειτουργίας.....	21
2	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	23
3	Μεθοδολογία.....	35
3.1.	Σκοπός .....	35
3.2.	Περιοχή μελέτης.....	35
3.3.	Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.....	40
3.3.1.	LIDAR.....	40
3.3.2.	Ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel.....	41
3.3.2.1.	Αρχή λειτουργίας.....	41
3.3.3.	DUST TRAK.....	42
4	Επεξεργασία μετρήσεων/ Αποτελέσματα .....	43
4.1.	Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε .....	43
4.2.	Μετρήσεις με τη συσκευή LIDAR.....	43
4.3.	Μετρήσεις PM <sub>10</sub> – Ύψωνας, Λιμάνι, Κάτω Πολεμίδα, Λεωφόρος Μακαρίου .....	49
4.3.1.	Μετρήσεις PM <sub>10</sub> – Λιμάνι .....	50
4.4.	Μετρήσεις AOT – Αστικό κέντρο Λεμεσού .....	54
4.5.	Μετρήσεις PM <sub>10</sub> και AOT .....	56
4.5.1.	Μετρήσεις PM <sub>10</sub> - Κτίριο Δωροθέα .....	56
4.5.2.	Συσχέτιση PM <sub>10</sub> με AOT.....	57
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	69
1 Νομοθεσία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην Κύπρο .....	69
1.1. Ο περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμος του 2002 (Ν.188(I)/2002)....	69
1.2. Ο νόμος πλαίσιο περί Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (96/62/ΕΚ).....	70
1.3. Θυγατρικές Οδηγίες (97/101/ΕΚ, 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ, 2002/3/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ).....	71
2 Διακύμανση ΑΟΤ για ορισμένους μήνες των ετών 2010-2011 .....	72
3 Διακύμανση PM <sub>10</sub> στο αστικό κέντρο της Λεμεσού για το έτος 2011.....	76

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Οριακές τιμές για SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO και PM <sub>10</sub> σύμφωνα με την πρώτη και δεύτερη θυγατρική οδηγία.....	9
Πίνακας 2: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές PM <sub>10</sub> και Μετεωρολογικά δεδομένα .....	51
Πίνακας 3: Μετρήσεις AOT στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	54

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η τεχνική ραντάρ.....	16
Εικόνα 2: Αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά τη διέλευσή της μέσα στην ατμόσφαιρα (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010) .....	17
Εικόνα 3: Σκέδαση Rayleigh και Mie (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010).....	19
Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης .....	37
Εικόνα 5: Βιομηχανική Περιοχή Ύψωνα.....	38
Εικόνα 6: Λιμάνι Λεμεσού.....	38
Εικόνα 7: Κάτω Πολεμίδα Λεμεσού.....	39
Εικόνα 8: Περιοχή στη Λεωφόρο Μακαρίου όπου λήφθηκαν μετρήσεις PM <sub>10</sub> .....	40
Εικόνα 9: Η συσκευή Lidar που χρησιμοποιήθηκε.....	40
Εικόνα 10: Ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel .....	41
Εικόνα 11: Η συσκευή Dust Trak (model 8533) και Dust Trak (model 8520).....	42

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010).....	20
Γράφημα 2: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 15/03/2011 .....	44
Γράφημα 3: Συντελεστής εξασθένησης στις 15/03/2011 .....	44
Γράφημα 4: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 17/03/2011 .....	45
Γράφημα 5: Συντελεστής εξασθένησης στις 17/03/2011 .....	45
Γράφημα 6: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 18/03/2011 .....	46
Γράφημα 7: Συντελεστής εξασθένησης στις 18/03/2011 .....	46
Γράφημα 8: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 22/03/2011 .....	47
Γράφημα 9: Συντελεστής εξασθένησης στις 22/03/2011 .....	47
Γράφημα 10: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 24/03/2011 .....	48
Γράφημα 11: Συντελεστής εξασθένησης στις 24/03/2011 .....	48
Γράφημα 12: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 8/2/2011 στις περιοχές Ύψωνας, Λιμάνι, Κάτω Πολεμίδα και Μακαρίου .....	50
Γράφημα 13: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 15/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού.....	51
Γράφημα 14: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 17/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού.....	52
Γράφημα 15: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 18/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού.....	52
Γράφημα 16: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 22/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού.....	53
Γράφημα 17: Διακύμανση AOT τον Απρίλιο του 2010.....	55

Γράφημα 18: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 8/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	56
Γράφημα 19: Συσχέτιση PM <sub>10</sub> με AOT.....	57
Γράφημα 20: Διακύμανση AOT τον Μάιο του 2010.....	72
Γράφημα 21: Διακύμανση AOT τον Ιούνιο του 2010 .....	72
Γράφημα 22: Διακύμανση AOT τον Ιούλιο του 2010 .....	73
Γράφημα 23: Διακύμανση AOT τον Αύγουστο του 2010 .....	73
Γράφημα 24: Διακύμανση AOT τον Γενάρη του 2011.....	74
Γράφημα 25: Διακύμανση AOT τον Φεβράρη του 2011.....	74
Γράφημα 26: Διακύμανση AOT τον Μάρτη του 2011 .....	75
Γράφημα 27: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 9/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	76
Γράφημα 28: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 10/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	76
Γράφημα 29: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 11/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	77
Γράφημα 30: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 16/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	77
Γράφημα 31: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 1/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού.....	78
Γράφημα 32: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 2/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	78
Γράφημα 33: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 3/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	79
Γράφημα 34: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 4/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	79
Γράφημα 35: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 5/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	80
Γράφημα 36: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 8/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	80
Γράφημα 37: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 10/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	81
Γράφημα 38: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 11/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	81
Γράφημα 39: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 14/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	82
Γράφημα 40: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 15/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	82
Γράφημα 41: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 16/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	83
Γράφημα 42: Διακύμανση PM <sub>10</sub> στις 17/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	83

Γράφημα 43: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 18/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	84
Γράφημα 44: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 21/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	84
Γράφημα 45: Διακύμανση $PM_{10}$ στις 22/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού .....	85

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AOT:	Aerosol Optical Thickness
LIDAR:	Light Detection And Ranging
PM:	Particulate Matter
VOCs:	Volatile Organic Compounds
ΑΟΣ:	Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα
DEMs:	Digital Elevation Models
NCALM:	National Center for Airborne LASER Mapping
GPS:	Global Positioning System
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
ACC:	Adaptive Cruise Control
PBL:	Planetary Boundary Layer
AERONET:	Aerosol Robotic Network
GUSTO:	Generic Ultraviolet Sensors Technologies and Observations
POPs:	Persistent Organic Pollutants
ΤΕΠΙΑΚ:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Aerosol Optical Thickness	Οπτικό Πάχος Αερολυμάτων
Particulate Matter	Αιωρούμενα σωματίδια
VOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
DEMs	Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρων
NCALM	Εθνικό Κέντρο για την Αερομεταφερόμενη Χαρτογράφηση Λείζερ
National Science Foundation	Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης
ACC	Προσαρμοστικά Συστήματα Ελέγχου
PBL	Πλανητικό Οριακό στρώμα
POPs	Επίμονοι Οργανικοί Ρύποι



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι αναπτυγμένες χώρες έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας ζωής.

Η βιβλιογραφία αναφέρει πολλές προσπάθειες που έγιναν κατά καιρούς για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση πηγών LASER. Η τηλεπισκόπηση ατμοσφαιρικών παραμέτρων με τη χρήση αυτών των πηγών πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1962 από τους Fiocco και Smullin (1963) και αφορούσε στην ανίχνευση του στρώματος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας σε ύψος 20 χιλιομέτρων. Έκτοτε η ραγδαία ανάπτυξη στην τεχνολογία κατασκευής πηγών LASER, επέτρεψε το σχεδιασμό και την υλοποίηση εξελιγμένων πειραματικών διατάξεων, οι οποίες καταγράφοντας την αλληλεπίδραση του φωτός, που εκπέμπει μια πηγή LASER με τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, σαν συνάρτηση της απόστασης, μπορούν να περιγράψουν με μεγάλη ακρίβεια πολλά χαρακτηριστικά μεγέθη της ατμόσφαιρας.

Η τεχνική LIDAR (Light Detection And Ranging) αποτελεί μία από τις πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες μεθόδους μελέτης και παρακολούθησης των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Μια διάταξη LIDAR διαδίδει ένα παλμό LASER στην ατμόσφαιρα, η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τα συστατικά της ατμόσφαιρας και στη συνέχεια ανιχνεύεται ένα μέρος της ακτινοβολίας που επιστρέφει από κάποιο κατάλληλο ανιχνευτικό σύστημα. Αν η ακτινοβολία LASER διαδίδεται κατακόρυφα στην ατμόσφαιρα, οι μετρήσεις αφορούν στην κατακόρυφη κατανομή των ρυπαντών, ενώ αν διαδίδεται οριζόντια, καθίσταται δυνατή η τρισδιάστατη χαρτογράφηση της συγκέντρωσης των ρυπαντών σε μία ευρεία γεωγραφική περιοχή.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές LIDAR για την τηλεπισκόπηση ατμοσφαιρικών παραμέτρων, οι οποίες βασίζονται σε διαφορετικές αλληλεπιδράσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και των διάφορων συστατικών της ατμόσφαιρας. Έτσι υπάρχουν διατάξεις που βασίζονται στη σκέδαση της LASER ακτινοβολίας κατά Rayleigh, στη σκέδαση

Raman, στη σκέδαση Mie, στη σκέδαση συντονισμού, στο φθορισμό, στην απορρόφηση καθώς και στη διαφορική σκέδαση / απορρόφηση.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Λεμεσού (στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα ή πλανητικό οριακό στρώμα) και παράλληλα η ανάπτυξη μιας εξίσωσης που να συνδέει τις παραμέτρους  $PM_{10}$  και AOT κατά το χρονικό διάστημα που έχουμε συγχρονισμένες μετρήσεις  $PM_{10}$  και AOT. Στόχος είναι η μελλοντική συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με έξυπνα συστήματα παρακολούθησης όπως τα δορυφορικά δεδομένα μιας και από αυτά λαμβάνοντας το AOT θα μπορεί να γίνει υπολογισμός των  $PM_{10}$ .

# **1 Θεωρητικό Υπόβαθρο**

## **1.1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση**

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ο ορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης η οποία επηρεάζει τόσο το ανθρωπογενές όσο και το φυσικό περιβάλλον. Κατόπιν γίνεται μια αναφορά στους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις πηγές προέλευσης τους. Τέλος, περιγράφεται η Νομοθεσία της Κύπρου στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που διέπει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα με τις οριακές τιμές για τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

### **1.1.1. Ορισμός Ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται κάθε κατάσταση στην οποία υπάρχουν ουσίες στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις αρκετά υψηλότερες από τα φυσιολογικά επίπεδα του περιβάλλοντος, οι οποίες αλλοιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και επιδρούν με διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στα ζώα, στη βλάστηση ή και στα υλικά. Με τον όρο ουσίες εννοείται κάθε φυσική ή ανθρωπογενής χημική ένωση ή χημικό στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή.

Οι κύριες πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται τα ηφαίστεια, τα θαλάσσια σταγονίδια, η γύρη, η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος, αλλά και η κοσμική ακτινοβολία και οι μετεωρίτες. Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται οι βιομηχανικές, εμπορικές και αγροτικές δραστηριότητες, οι μεταφορές, οι καύσεις και οι πυρκαγιές (Καραθανάσης, 2006; Κυπριακή Δημοκρατία, 2011).

### **1.1.2. Αερολύματα**

Αερολύματα είναι τα αέρια παραπροϊόντα φυσικών ή χημικών διεργασιών (καύσης). Ανάλογα με την πηγή και τις διεργασίες που συντελούνται σε αυτή, τα κυριότερα συστατικά των αερολυμάτων είναι τα παρακάτω:

α. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

β. Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

γ. Οξείδια του Θείου (SO<sub>x</sub>) με σημαντικότερο εκπρόσωπο το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

δ. Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) με συνηθέστερα το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

ε. Υδρογονάνθρακες (HCs)

στ. Αιωρούμενα Σωματίδια (PM<sub>10</sub>)

ζ. Όζον (O<sub>3</sub>)

Οι σημαντικότερες πηγές απελευθέρωσης αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα είναι οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης πρώτων υλών και οι μεταφορές. Ωστόσο, υπάρχουν και οι δευτερογενείς ρύποι που παράγονται από την εμπλοκή των αέριων ρύπων σε διάφορες χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα είτε μεταξύ τους είτε μεταξύ των συστατικών της ατμόσφαιρας (οξυγόνο, υδρατμοί, κ.λπ.), κυρίως ως αποτέλεσμα της απορρόφησης ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία. Μερικοί δευτερογενείς ρύποι, όπως το τροποσφαιρικό όζον, το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), το νιτρικό υπεροξυακετύλιο [CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>] και τα υπεροξείδια του αζώτου είναι υπεύθυνοι κατά κύριο λόγο για τα φαινόμενα του φωτοχημικού νέφους, της μειωμένης ορατότητας, του ερεθισμού των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος, αλλά και γενικότερα για μια σειρά επιπτώσεων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

### 1.1.3. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ταξινομούνται με βάση τις πηγές τους ή τον τρόπο σχηματισμού τους σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα είτε από φυσικές πηγές είτε από ανθρωπογενείς πηγές. Δευτερογενείς είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που σχηματίζονται από φωτοχημικές αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων και πτητικών οργανικών ενώσεων και άλλων αερίων ή

σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Καραθανάσης, 2006; Κυπριακή Δημοκρατία, 2011; Καϊτατζής, 2009).

### **1.1.3.1 Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)**

Το διοξείδιο του θείου είναι ανόργανη χημική ένωση με χημικό τύπο SO<sub>2</sub>. Είναι αέριο με οσμή «καιόμενου θείου», που αποτελεί το κυριότερο προϊόν της καύσεως ουσιών που περιέχουν θείο, γεγονός με περιβαλλοντική σημασία. Είναι ένα άχρωμο, διαβρωτικό αέριο και άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις, αλλά με έντονη μυρωδιά σε υψηλότερες. Είναι άκαυστο στον αέρα και η ατμοσφαιρική του οξείδωση οφείλεται σε φωτοχημικές αντιδράσεις, κυρίως υγρής φάσης.

Διαλύεται πολύ εύκολα στα υδροσταγονίδια της ατμόσφαιρας, όπου οξειδώνεται δημιουργώντας θειώδες (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) και θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και θειικά άλατα (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>). Με την παρουσία υγρασίας και περισσότερο κάποιου καταλύτη όπως το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται παραπέρα σε θειικό οξύ, πράγμα που όταν γίνεται στην ατμόσφαιρα δημιουργεί το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστειών και από τις δασικές πυρκαγιές, αλλά οι ανθρωπογενείς και βλαβερές πηγές του είναι οι εκπομπές από τις κεντρικές θερμάνσεις, τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι χημικές βιομηχανίες και η καύση ορυκτών καυσίμων. Επειδή οι γαιάνθρακες (κάρβουνο) και το πετρέλαιο περιέχουν ενώσεις του θείου, αναπόφευκτα η καύση τους εκλύει διοξείδιο του θείου. Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί, εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου και άλλα μεγάλα βιομηχανικά εργοστάσια συμβάλλουν στην πλειοψηφία της συνολικής μάζας που απελευθερώνεται. Η οξείδωση άλλων συστατικών του θείου (όπως το σουλφίδιο του υδρογόνου) που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από φυσικές και ανθρωπογενείς ενέργειες παρέχουν ακόμη μια πηγή εκπομπής.

### **1.1.3.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άοσμο, άχρωμο, άγευστο, μη ερεθιστικό, αλλά εξαιρετικά τοξικό αέριο που θεωρείται επικίνδυνα ασφυξιογόνο και είναι ελαχίστως ελαφρύτερο από τον αέρα. Με εξαίρεση το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο είναι ο πιο άφθονος ατμοσφαιρικός ρύπος στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές του από ανθρωπογενείς πηγές υπερβαίνουν τη συνολική μάζα όλων των άλλων ρύπων που εκπέμπονται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Στις αστικές περιοχές το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται σχεδόν αποκλειστικά από ανθρώπινες δραστηριότητες, με κυριότερες πηγές τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις όλων των μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Παράγεται επίσης στους ωκεανούς από τη δράση των βακτηρίων, τις πυρκαγιές των δασών, το καψάλισμα των χωραφιών και την καύση ελαστικών σε ανοικτούς χώρους, στα ηφαίστεια και από διεξόδους του φυσικού αερίου που υπάρχει στο φλοιό της γης.

### **1.1.3.3 Αιωρούμενα Σωματίδια (ή PM)**

Αιωρούμενα σωματίδια είναι τα μικρά στερεά ή υγρά σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και έχουν μέγεθος της τάξεως των μm ή και μικρότερο. Ανάλογα με τη διάμετρό τους μπορούν να γίνουν αντιληπτά ακόμη και με το μάτι (μαύρος καπνός) ή είναι τόσο μικρά που γίνονται αντιληπτά μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Τα σωματίδια αυτά δεν έχουν κάποια γενική χημική σύσταση και μπορούν στην ουσία να είναι πολύ πολύπλοκα αφού περιλαμβάνουν ουσίες διαφορετικής χημικής σύνθεσης.

Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm αναφέρονται ως μικροσκοπικά ή λεπτά και εκείνα με διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5 μm ως μεγάλα ή αδρά σωματίδια. Από τη στιγμή που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, το μέγεθός τους, ο αριθμός τους και η χημική τους σύσταση αλλάζουν συνεχώς μέχρι να απομακρυνθούν από αυτή. Ο συνήθης χρόνος παραμονής τους στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι της τάξης των δύο ημερών μέχρι μίας βδομάδας.

Τα μικροσκοπικά και τα μεγάλα σωματίδια δημιουργούνται και μετασχηματίζονται διαφορετικά, απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με διαφορετικούς μηχανισμούς, απαιτούν διαφορετικές τεχνικές ελέγχου, έχουν διαφορετική χημική σύνθεση και διαφορετικές οπτικές ιδιότητες. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διαχωρίζονται όσον αφορά τις μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων και την ποιότητα του αέρα.

Τα μικροσκοπικά σωματίδια αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις του θείου, από αμμωνιακά άλατα ( $\text{NH}_4^+$ ), από μόλυβδο (Pb), από νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) και από οργανική ύλη συμπεριλαμβανομένης και της αιθάλης. Επίσης, πάνω τους συμπυκνώνονται τοξικές ουσίες όπως πολυκυκλικές αρωματικές χημικές ενώσεις, αρσενικό (As), σελήνιο (Se), κάδμιο (Cd) και ψευδάργυρος (Zn). Τα μεγάλα σωματίδια περιέχουν σίδηρο (Fe), ασβέστιο (Ca) και πυρίτιο (Si).

Σε αυτή την κατηγορία οι δύο κυριότεροι ρύποι, οι οποίοι είναι σημαντικής ανησυχίας είναι τα “PM<sub>10</sub>” και “PM<sub>2,5</sub>”. Τα PM<sub>10</sub> είναι σωματίδια των οποίων η διάμετρος είναι ίση ή μικρότερη των 10 μm. Τα PM<sub>2,5</sub> είναι ακόμη μικρότερα, με διάμετρο 2,5 μm ή λιγότερο.

Φυσικές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διάβρωση του εδάφους και των βράχων (σκόνη), η δράση των ηφαιστειών, η εισροή σταγονιδίων από τη θάλασσα, οι φωτιές των δασών και οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ φυσικά εκπεμπόμενων σωματιδίων.

Ανθρωπογενείς πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, η βιομηχανία (π.χ. εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, χυτήρια), οι αγροτικές δραστηριότητες και οι οικοδομικές κατασκευές. Τα PM<sub>10</sub> παράγονται γενικά ως τυχαίο υποπροϊόν των διάφορων χημικών ή φυσικών διαδικασιών. Δεν κατασκευάζονται σκόπιμα, αν και πολλές βιομηχανικές διαδικασίες χρησιμοποιούν τις πούδρες και τις σκόνες ως κανονική εισαγωγή στις διαδικασίες κατασκευής και επεξεργασίας. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τους τομείς του τσιμέντου, ασβέστη, σιδήρου και χάλυβα.

Όσον αφορά τα σωματίδια αιθάλης απελευθερώνονται στον αέρα από τις διαδικασίες καύσης όπως το κάψιμο άνθρακα, τις οδικές μεταφορές, την αποτέφρωση αποβλήτων και άλλες βιομηχανικές διαδικασίες. Τα σωματίδια θειικού άλατος μπορούν να προκύψουν από την καύση των καυσίμων που περιέχουν θείο, είτε άμεσα είτε από τις επόμενες χημικές αντιδράσεις του

διοξειδίου του θείου με άλλα αερομεταφερόμενα (Καραθανάσης, 2006; Κυπριακή Δημοκρατία, 2011; Καϊτατζής, 2009).

#### **1.1.3.4 Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)**

Τα σημαντικότερα οξείδια του αζώτου είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Το μονοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο, άγευστο και άοσμο αέριο. Είναι ένα ισχυρό αέριο θερμοκηπίου και επιπλέον καταστρέφει το στρώμα του όζοντος. Αντιδρά με το οξυγόνο ή το όζον στην ατμόσφαιρα για να παράξει το διοξείδιο του αζώτου. Το διοξείδιο του αζώτου έχει καφέ-κόκκινο χρώμα, ισχυρά ερεθιστική οσμή, είναι εξαιρετικά τοξικό και διαλυτό στο νερό. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του αστικού ουρανού. Η εισπνοή των NO και NO<sub>2</sub> φέρνει ακαριαία το θάνατο.

Οι κυριότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου που προκαλούνται από τον άνθρωπο είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, το κάψιμο βιομαζών και άλλες διαδικασίες παραγωγής. Υπάρχουν επίσης κάποιες πιο μικρές φυσικές πηγές εκπομπής οξειδίων του αζώτου. Αυτές είναι η δράση της ηλιακής ακτινοβολίας, η δράση των μικροοργανισμών στο έδαφος, η οξείδωση της αμμωνίας, η φωτόλυση και βιολογικά φαινόμενα στον ωκεανό και τέλος η εισροή από τη στρατόσφαιρα.

#### **1.1.3.5 Όζον (O<sub>3</sub>)**

Το όζον αποτελεί φυσικό συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα. Είναι αέριο σχετικά άχρωμο στις συνηθισμένες τιμές των συγκεντρώσεών του, ενώ σε μεγαλύτερες έχει ένα γαλάζιο χρώμα. Είναι βαρύτερο από τον αέρα, είναι ισχυρότατο οξειδωτικό και διαλύεται δύσκολα στο νερό.

Το περισσότερο όζον βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) και μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία. Αντιθέτως, το όζον που βρίσκεται στην τροπόσφαιρα επιφέρει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά και τα υλικά.



Το όζον δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα σχηματίζεται από τους φωτοχημικούς μετασχηματισμούς των πτητικών οργανικών χημικών ενώσεων (VOCs) και των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) παρουσία άπλετου ηλιακού φωτός. Στη στρατόσφαιρα σχηματίζεται από τη φωτόλυση του μοριακού οξυγόνου (O<sub>2</sub>) μέσω της έντονης και δραστηκής υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας (UV).

Οι κύριες διαδικασίες καταστροφής του ή απομάκρυνσής του από την ατμόσφαιρα είναι η φωτόλυση, οι χημικές αντιδράσεις με άλλες χημικές ενώσεις, η ξηρή και υγρή εναπόθεση στο έδαφος.

Οι συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να είναι ψηλές κατά τη διάρκεια ζεστών και ηλιόλουστων ημερών στις περισσότερες πόλεις με μεγάλο πληθυσμό λόγω της κυκλοφοριακής κίνησης, της βιομηχανίας και άλλων πηγών. Παράλληλα, μεγάλες συγκεντρώσεις του όζοντος έχουν μετρηθεί σε αγροτικές περιοχές γύρω από μεγαλουπόλεις εξαιτίας της διασυνοριακής μεταφοράς ρύπων.

Οι κυριότερες πηγές εκπομπής όζοντος είναι η κυκλοφοριακή κίνηση και η βιομηχανία. Μερικά ηλεκτρικά εξαρτήματα παράγουν αξιόλογα επίπεδα όζοντος, κυρίως συσκευές που χρησιμοποιούν υψηλές τάσεις, όπως ιονιστές αέρος, εκτυπωτές λέιζερ, φωτοαντιγραφικά και ηλεκτροσυγκολλητές. Επίσης συσκευές με ηλεκτροκίνητο περιστρεφόμενο κινητήρα μπορούν να δημιουργήσουν όζον από τη συνεχή δημιουργία σπινθών στο εσωτερικό του κινητήρα.

#### **1.1.3.6 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)**

Είναι το σύνολο των οργανικών χημικών ενώσεων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα είτε σε αέρια μορφή είτε με τη μορφή ατμών. Παραδείγματα οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα αποτελούν τα αλκάνια, κυκλοαλκάνια, αλκύλια, αλκένια κα. Εξαιρούνται το μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, και όλες οι ανόργανες χημικές ενώσεις του άνθρακα. Οι συγκεντρώσεις τους έχουν βασική σημασία για την ποιότητα του αέρα σε μια περιοχή. Ο αριθμός των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πολύ μεγάλος. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις συμμετέχουν στη δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές τους είναι οι οργανικοί διαλύτες, τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Υπάρχουν και άλλες που εκλύονται από τη φύση, από τα φυτά και από τα φυλλοβόλα δέντρα. Οι βιογενείς εκπομπές τους έχουν μεγαλύτερη ένταση από τις ανθρωπογενείς σε περιοχές με έντονη δασοκάλυψη και φυτοκάλυψη.

#### **1.1.3.7 Μόλυβδος (Pb)**

Ο μόλυβδος είναι μαλακό μέταλλο και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Όταν κόβεται έχει κυανόλευκο χρώμα, αλλά εξασθενεί σε γκρι όταν βρίσκεται στον αέρα και σε γυαλιστερό ασημί όταν βρίσκεται σε υγρό. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια μολύβδου. Οι ενώσεις του μολύβδου είναι τοξικές και έχουν την τάση να συσσωρεύονται στον οργανισμό.

Χρησιμοποιείται σε μονώσεις, στις μπαταρίες αυτοκινήτων, στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και σε διάφορα κράματα. Θεωρείται αξιόλογο προστατευτικό από τη ραδιενέργεια. Λόγω της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση χρησιμοποιείται εκτενώς στην οικοδόμηση κτιρίων.

Ο μόλυβδος είναι μέταλλο που συναντάται τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στα προϊόντα ή τα κατάλοιπα της βιομηχανικής παραγωγής. Πηγές μολύβδου μπορεί να είναι τα διάφορου τύπου μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούν μολυβδούχα βενζίνη, εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και χώροι που καίνε απορρίμματα.

#### **1.1.4. Νομοθεσία Κύπρου-Ευρωπαϊκής Ένωσης**

Η Οδηγία 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21<sup>ης</sup> Μαΐου 2008 για την Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα και Καθαρότερου Αέρα για την Ευρώπη τέθηκε σε ισχύ από την 11<sup>η</sup> Ιουνίου 2008. Αυτή η Οδηγία ενοποιεί τις Οδηγίες 96/62/EK, 1999/30/EK, 2000/69/EK και 2002/3/EK.

Η παρακολούθηση και διαχείριση της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα στην Κύπρο γίνεται μέσα από τις πρόνοιες του περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμου του 2002 (Ν.188(Ι)/2002) και τριών σειρών Κανονισμών (βλέπε Παράρτημα Α) που καθορίζουν τα όρια ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα για συγκεκριμένους ρύπους.

Το αρμόδιο Υπουργείο για την εφαρμογή του πιο πάνω Νόμου και Κανονισμών είναι το Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων που είναι επίσης υπεύθυνο για την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας περί ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα. Η Οδηγία - Πλαίσιο για την Ποιότητα του Αέρα (96/62/ΕΚ) (βλέπε Παράρτημα Α), μαζί με τις Θυγατρικές Οδηγίες (97/101/ΕΚ, 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ, 2002/3/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ) (βλέπε Παράρτημα 1), θέτουν ένα πλαίσιο για το πώς πρέπει τα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να χειρίζονται τα θέματα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτές οι Οδηγίες καθορίζουν τις οριακές τιμές για τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα που φαίνονται στον Πίνακα 1 (Κυπριακή Δημοκρατία, 2011).

**Πίνακας 1: Οριακές τιμές για SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO και PM<sub>10</sub> σύμφωνα με την πρώτη και δεύτερη θυγατρική οδηγία**

Ρύπος	Μέση χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο Ανοχής	Έτος <sup>1)</sup>
Διοξείδιο του Θείου, SO <sub>2</sub>	1 ώρα <sup>2)</sup>	350 µg/m <sup>3</sup>	43%	2005
Διοξείδιο του Θείου, SO <sub>2</sub>	24 ώρες <sup>2)</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>	-----	2005
Διοξείδιο του Θείου, SO <sub>2</sub>	Ημερολογιακό Έτος και Χειμώνας <sup>3)</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	-----	2001
Διοξείδιο του αζώτου, NO <sub>2</sub>	1 ώρα <sup>2)</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	50%	2010

Διοξείδιο του αζώτου, NO <sub>2</sub>	Ημερολογιακό Έτος <sup>2)</sup>	40 μg/m <sup>3</sup>	50%	2010
Οξείδια του αζώτου, NO <sub>x</sub>	Ημερολογιακό Έτος <sup>4)</sup>	30 μg/m <sup>3</sup>	-----	2010
Μονοξείδιο του άνθρακα, CO	8 ώρες <sub>max</sub> <sup>2)</sup>	10 μg/m <sup>3</sup>	2 μg/m <sup>3</sup> <sup>5)</sup>	2005
Αιωρούμενα Σωματίδια, PM <sub>10</sub>	24 ώρες <sup>2)</sup>	50 (50) μg/m <sup>3</sup>	50 (0)	2005 (2010)
Αιωρούμενα Σωματίδια, PM <sub>10</sub>	1 ώρα <sup>2)</sup>	40(20) μg/m <sup>3</sup>	20 (20)	2005 (2010)
Μόλυβδος, Pb	1 ώρα <sup>2)</sup>	0,5μg/m <sup>3</sup>	0.2 μg/m <sup>3</sup>	2005 (2010)

Πηγή: Κυπριακή Δημοκρατία, 2011

<sup>1)</sup> Έτος κατά το οποίο πρέπει να έχουν αποκτηθεί οι οριακές τιμές

<sup>2)</sup> Οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας

<sup>3)</sup> Οριακή τιμή για την προστασία των οικολογικών συστημάτων, χειμερινή περίοδος: 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου έως 31<sup>η</sup> Μαρτίου

<sup>4)</sup> Οριακή τιμή για την προστασία της βλάστησης

<sup>5)</sup> 6 μg/m<sup>3</sup> στις 13 Δεκεμβρίου, μειώνοντας την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2003 και κάθε 12 μήνες κατά 2 μg/m<sup>3</sup> μέχρι να φτάσουμε το 0% την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005

## **1.2. Χρήση LIDAR για μέτρηση της ρύπανσης**

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται αρχικά ο ορισμός του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος ενώ τονίζεται η σπουδαιότητα του για ολόκληρο το οικοσύστημα. Στη συνέχεια αναφέρονται οι εφαρμογές του LIDAR στην ατμοσφαιρική ρύπανση και σε άλλες επιστήμες καθώς και ο ορισμός της τηλεπισκόπησης και της τεχνικής LIDAR. Περιγράφεται η αρχή λειτουργίας του LIDAR και τέλος δίνεται η βασική του εξίσωση.

### **1.2.1. Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)**

Το ΑΟΣ είναι το κατώτερο τμήμα της τροπόσφαιρας που επηρεάζεται άμεσα από τη γήινη επιφάνεια, καθώς αλληλεπιδρά με τη μορφολογία του εδάφους με χρονική κλίμακα της τάξης το πολύ μιας ώρας. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές περιλαμβάνουν τη διάδοση θερμότητας, τη διάχυση αερίων ρύπων αλλά και γενικότερες αλληλεπιδράσεις του γήινου ανάγλυφου με τον αέρα μέσω δυνάμεων τριβής.

Το στρώμα αυτό είναι πρωταρχικής σημασίας για ολόκληρο το οικοσύστημά μας αφού περνάμε τον περισσότερο χρόνο της ζωής μας σε αυτό, οι συγκεντρώσεις του σε ατμοσφαιρική ρύπανση είναι γενικά ψηλότερες απ' ό τι στην υπόλοιπη ατμόσφαιρα και τέλος η θερμότητα και η υγρασία από την επιφάνεια πρέπει πρώτα να αναμιχθούν μέσω του ΑΟΣ πριν διατεθούν στην ελεύθερη ατμόσφαιρα (Μακρής, 2006).

### **1.2.2. Εφαρμογές του LIDAR**

Τα πρώτα συστήματα LIDAR χρησιμοποιήθηκαν για μελέτη της σύνθεσης και της δομής της ατμόσφαιρας, των σύννεφων και των αερολυμάτων.

Το LIDAR που ανιχνεύει την οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία (Elastic backscatter LIDAR) είναι ο απλούστερος τύπος LIDAR και χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά για τις μελέτες των αερολυμάτων και των σύννεφων.

Το ραντάρ με ακτίνες LASER που απορροφά την ακτινοβολία (Differential Absorption LIDAR-DIAL) χρησιμοποιείται για μετρήσεις ενός συγκεκριμένου αερίου στην ατμόσφαιρα, όπως το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα, ή ο υδρατμός.

Το ραντάρ με ακτίνες LASER Raman (Raman LIDAR) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών αερίων, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ανακτήσει τις παραμέτρους αερολυμάτων.

Το Doppler LIDAR χρησιμοποιείται για να μετρήσει την ταχύτητα του αέρα.

### **1.2.2.1. Εφαρμογές LIDAR στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση**

Οι εφαρμογές του LIDAR στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση παρατίθενται παρακάτω:

- Μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων και της συγκέντρωσης αέριων ρύπων (όζον, οξείδια του αζώτου, αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, κλπ.).
- Παρακολούθηση φαινομένων μεταφοράς και διάχυσης ρύπανσης σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές σε πραγματικό χρόνο.
- Προσδιορισμός του οπτικού πάχους των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Διόρθωση δορυφορικών εικόνων στο ορατό φάσμα.
- Παροχή δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας τροχοφόρων οχημάτων σε πραγματικό χρόνο.
- Παροχή δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συστήματα πρόβλεψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

### **1.2.2.2. Άλλες εφαρμογές του LIDAR**

Στη βιβλιογραφία γίνεται αναφορά σε δύο διαφορετικά συστήματα LIDAR με διαφορετικές εφαρμογές, στα αερομεταφερόμενα και τα επίγεια συστήματα που βασίζονται στην ίδια τεχνική. Ενδεικτικές εφαρμογές των πιο πάνω συστημάτων αναφέρονται στη συνέχεια.

Εφαρμογές αερομεταφερόμενων συστημάτων:

- Το LIDAR έχει πολλές εφαρμογές στον τομέα της αρχαιολογίας αφού μπορεί να παρέχει στους αρχαιολόγους τη δυνατότητα να δημιουργήσουν υψηλής ευκρίνειας ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (DEMs = digital elevation models) των αρχαιολογικών περιοχών που μπορούν να αποκαλύψουν την μικρο-τοπογραφία που ίσως να κρύβεται από τη βλάστηση.
- Όσον αφορά τον τομέα της Γεωλογίας και Επιστήμης του εδάφους οι υψηλής ευκρίνειας ψηφιακοί χάρτες υψομέτρων που παράγονται από αερομεταφερόμενα LIDAR έχουν οδηγήσει σε σημαντικές προόδους στην χαρτογράφηση της γεωμορφολογίας του εδάφους.
- Οι δυνατότητες των LIDAR να ανιχνεύουν τα λεπτά τοπογραφικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως όχθες ποταμών, να μετρούν το ύψος της επιφάνειας του εδάφους κάτω από τη βλάστηση, να παράγουν καλύτερα υψομετρικά δεδομένα και να ανιχνεύουν τις αλλαγές στο υψόμετρο έχουν επιτρέψει τη διεξαγωγή πολλών νέων μελετών που μέσω φυσικών και χημικών διαδικασιών ασχολούνται με τη μορφή του πεδίου.
- Το εθνικό κέντρο για την αερομεταφερόμενη χαρτογράφηση λέιζερ (NCALM=National Center for Airborne LASER Mapping), που στηρίζεται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης (National Science Foundation), συλλέγει και διανέμει στοιχεία LIDAR για υποστήριξη της επιστημονικής έρευνας και της εκπαίδευσης σε ποικίλους τομείς, ιδιαίτερα της επιστήμης της γης (geoscience) και της οικολογίας.
- Στη γεωφυσική και την τεκτονική, ένας συνδυασμός LIDAR σε αεροσκάφος και ενός GPS (Global Positioning System) έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό εργαλείο για εντοπισμό ρηγμάτων και συλλογή υψομετρικών δεδομένων. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών μπορεί να παράξει εξαιρετικά ακριβή υψομετρικά πρότυπα ακόμη και για εκτάσεις που καλύπτονται από βλάστηση.
- Αερομεταφερόμενα συστήματα LIDAR ελέγχουν τους παγετώνες και έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν τα λεπτά ποσοστά αύξησης ή μείωσης τους. Ένα τέτοιο

σύστημα κατέχει και η NASA. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για να ελέγχει τους παγετώνες και να αναλύει παράκτιες αλλαγές.

- Στον τομέα της γεωργίας, οι επιστήμονες υπηρεσιών γεωργικής έρευνας έχουν αναπτύξει έναν τρόπο να ενσωματώσουν το LIDAR για καθορισμό των ποσοστών παραγωγής σε αγροτικές περιοχές. Αυτή η τεχνολογία θα βοηθήσει τους αγρότες να κατευθύνουν τους πόρους τους προς τα τμήματα του εδάφους τους με υψηλή παραγωγή. Το LIDAR μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τους αγρότες να καθορίσουν σε ποιους τομείς των εδαφών τους πρέπει να εφαρμόζουν τα δαπανηρά λιπάσματα.
- Στη δασονομία, οι μετρήσεις βιομαζών και η περιοχή φυτοκάλυψης μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας τα αερομεταφερόμενα συστήματα LIDAR.
- Το LIDAR χρησιμοποιείται από πολλές βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανίας ενέργειας και σιδηροδρόμων, και στις μεταφορές. Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή τοπογραφικών χαρτών.
- Στην ωκεανογραφία, το LIDAR χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του φθορισμού του φυτοπλαγκτόν και γενικά της βιομάζας στα επιφανειακά στρώματα του ωκεανού.
- Το Lidar χρησιμοποιείται επίσης στον έλεγχο της ταχύτητας της κυκλοφορίας και στη μέτρηση της ταχύτητας των οχημάτων ως εναλλακτική λύση έναντι των πυροβόλων όπλων ραντάρ.

Εφαρμογές επίγειων συστημάτων:

- Στη φυσική της ατμόσφαιρας, το LIDAR χρησιμοποιείται ευρέως για τον καθορισμό ατμοσφαιρικών παραμέτρων όπως το AOT και το AOS.
- Χρησιμοποιείται επίσης ως όργανο ανίχνευσης για να μετρήσει τις πυκνότητες ορισμένων συστατικών της μέσης και ανώτερης ατμόσφαιρας, όπως το κάλιο, το νάτριο, ή μοριακά και το οξυγόνο.



- Το LIDAR μπορεί τέλος να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει την ταχύτητα του αέρα και για να παρέχει πληροφορίες για την κατακόρυφη κατανομή των μορίων των αερολυμάτων και την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

### 1.2.3. Τηλεπισκόπηση- Τεχνική LIDAR

Στον όρο τηλεπισκόπηση περιλαμβάνονται οι μέθοδοι εκείνοι που επιτρέπουν, με τη χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (π.χ. ακτινοβολία, θερμότητα), τον εντοπισμό και την ανίχνευση διάφορων φαινομένων.

Η τεχνική ραντάρ με ακτίνες LASER, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1, είναι βασισμένη στην εκπομπή παλμικού λέιζερ που αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα (μόρια, ρύποι). Η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται, συλλέγεται και αναλύεται από το σύστημα.

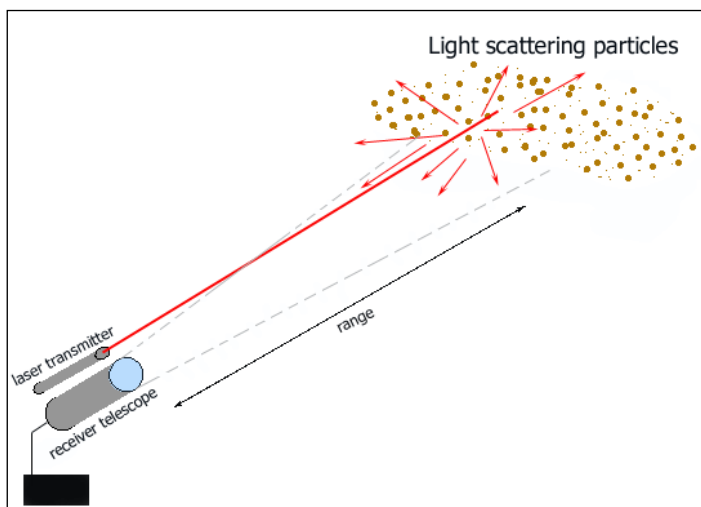
Με τη χρήση της μεθόδου αυτής επιτυγχάνεται ο έλεγχος των χημικών και φυσικών παραμέτρων των σωματιδίων της ατμόσφαιρας ενώ παρέχεται η δυνατότητα μελέτης της χωρικής διανομής και τη χρονικής ανάπτυξης των ατμοσφαιρικών παραμέτρων με υψηλή ακρίβεια.

Η βάση για την τηλεπισκόπηση ραντάρ με ακτίνες LASER βρίσκεται στην αλληλεπίδραση του φωτός με τα μόρια της ατμόσφαιρας και των αιωρούμενων σωματιδίων. Ένα ραντάρ με ακτίνες LASER οπισθοσκέδασης χρησιμοποιεί ένα λέιζερ (πομπός) για να στείλει έναν παλμό φωτός στην ατμόσφαιρα και ένα ανιχνευτή-αισθητήρα (δέκτη) για να συλλέξει την ελαστικά οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία.

Καθώς η ακτινοβολία μεταβαίνει από την πηγή προς τον στόχο αλλά και καθώς επιστρέφει προς το δέκτη, αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά επίσης με το στόχο αναλόγως του μήκους κύματος της ακτινοβολίας της πηγής και των ιδιοτήτων του στόχου.

Η ακτινοβολία που επιστρέφει από την αλληλεπίδραση με το στόχο περισυλλέγεται και καταγράφεται από μία καταγραφική διάταξη, το φωτοπολλαπλασιαστή, όπου και γίνεται ουσιαστικά η ανίχνευσή της.

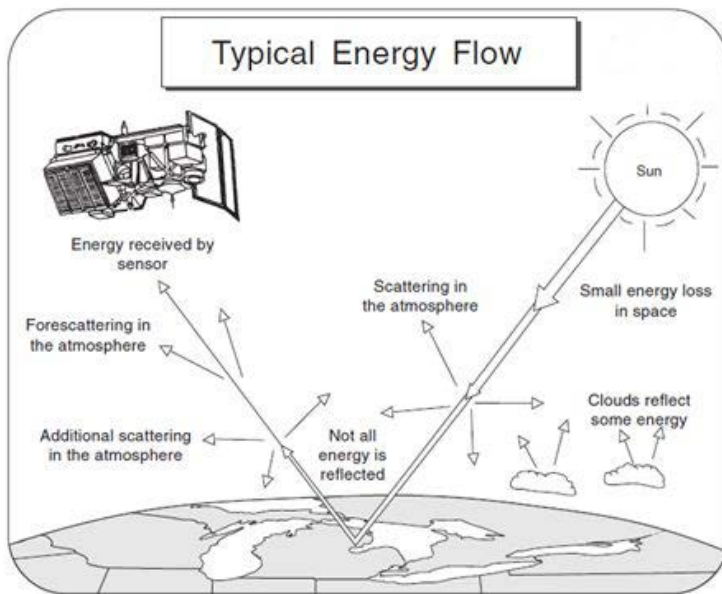
Στη συνέχεια το σήμα του φωτοπολλαπλασιαστή οδηγείται σε ένα ηλεκτρονικό κουτί καταγραφέα - αποδέκτη ο οποίος φροντίζει για την απαραίτητη ψηφιοποίηση του σήματος και την διοχέτευση του στην μονάδα επεξεργασίας που είναι συνήθως ένας υπολογιστής. Εκεί τα δεδομένα επεξεργάζονται και αναλύονται για εξαγωγή συμπερασμάτων για το στόχο (Χουρδάκης, 2005).



**Εικόνα 1: Η τεχνική ραντάρ**

### **1.2.3.1. Αλληλεπίδραση ύλης-ακτινοβολίας**

Οι διάφορες τεχνικές LIDAR για την τηλεπισκόπηση ατμοσφαιρικών παραμέτρων βασίζονται σε διαφορετικές αλληλεπιδράσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και των διάφορων συστατικών της ατμόσφαιρας. Οι αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά τη διέλευσή της μέσα στην ατμόσφαιρα παρουσιάζεται στην εικόνα 2.



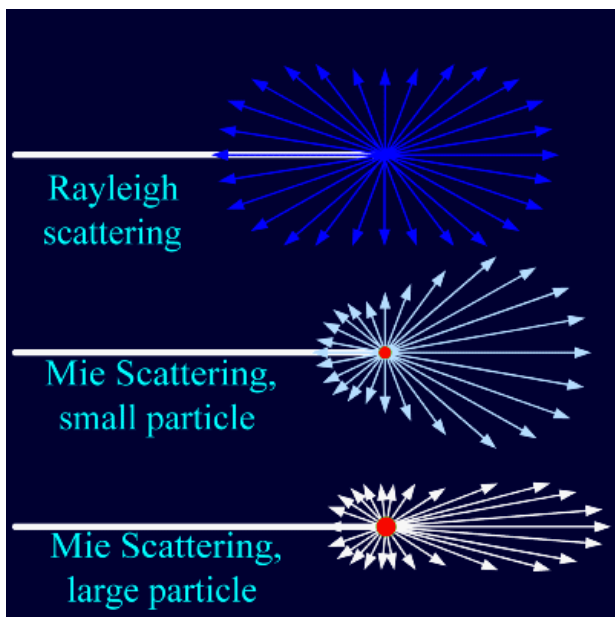
**Εικόνα 2: Αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά τη διέλευσή της μέσα στην ατμόσφαιρα (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)**

Κατά τη διαδρομή της η ακτινοβολία μέσα από την ατμόσφαιρα, υφίσταται πολλαπλές επιδράσεις. Ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, τη φυσική και τη χημική κατάσταση (στερεή, υγρή, αέρια) της ύλης, που αυτή συναντά, υφίσταται σκέδαση (scatter), απορρόφηση (absorption), φαινόμενα φθορισμού ή ανάκλαση (reflection). Για την ατμόσφαιρα έχουμε:

1. Σκέδαση: Η σκέδαση αποτελεί το μηχανισμό κατά τον οποίο οι φωτεινές ακτίνες διασκορπίζονται προς διάφορες κατευθύνσεις όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια ή μεγάλα μόρια αερίων. Η σκέδαση είναι προϊόν πολλαπλής ανάκλασης και εξαρτάται από το μήκος κύματος  $\lambda$  της ακτινοβολίας, τη συγκέντρωση και το μέγεθος των σωματιδίων.

Η σκέδαση της ακτινοβολίας ανάλογα με το σχετικό μέγεθος των κέντρων σκέδασης ( $R$ ) και το μήκος της ακτινοβολίας  $\lambda$  ενός σωματιδίου ταξινομείται ως εξής:

- a) Σκέδαση Rayleigh (βλέπε εικόνα 3): Ισχύει όταν  $2\pi R/\lambda < 0.1$ , δηλαδή όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερο από τις τυπικές διαστάσεις ενός σωματιδίου. Τυπικά παραδείγματα σκέδασης Rayleigh αποτελούν τα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας και των υδρατμών και λαμβάνει χώρα κυρίως στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ο συντελεστής σκέδασης είναι αντιστρόφως ανάλογος της 4<sup>ης</sup> δύναμης του μήκους κύματος  $S \sim 1/\lambda^4$ . Σε σκέδαση από μόρια της ατμόσφαιρας καμιά φορά παρατηρείται και η μεταβολή του μήκους κύματος της ακτινοβολίας, τέτοια περίπτωση είναι η σκέδαση Raman (Χατζημιτσής, 2010).
- b) Σκέδαση Mie (βλέπε εικόνα 3): Προκύπτει όταν  $0.1 < 2\pi R/\lambda < 50$ . Συμβαίνει κυρίως από τα αερολύματα και τα υδροσταγονίδια, δηλαδή από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας με διάμετρο συγκρίσιμη ή μεγαλύτερη από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Εμφανίζεται κυρίως στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και στο ΑΟΣ εκεί όπου συγκεντρώνεται και το μεγαλύτερο πλήθος μικροσωματιδίων λόγω ρύπανσης. Ο συντελεστής σκέδασης  $S(\lambda) \sim \lambda^{-\gamma}$ , όπου  $\gamma$  παράμετρος που εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων (η τιμή του  $\gamma$  είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των σωματιδίων και για κανονικές συνθήκες  $\gamma=1.3$ ) (Χατζημιτσής, 2010).
- c) Μη-επιλεκτική σκέδαση (non-selective scattering): Προκύπτει όταν  $2\pi R/\lambda > 50$ . Οφείλεται κυρίως στην παρουσία μεγάλων κέντρων σκέδασης όπου η συμπεριφορά της ακτινοβολίας υπόκειται σε νόμους γεωμετρικής οπτικής. Όλα τα μήκη κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας συμμετέχουν περίπου ισότιμα (Χατζημιτσής, 2010).



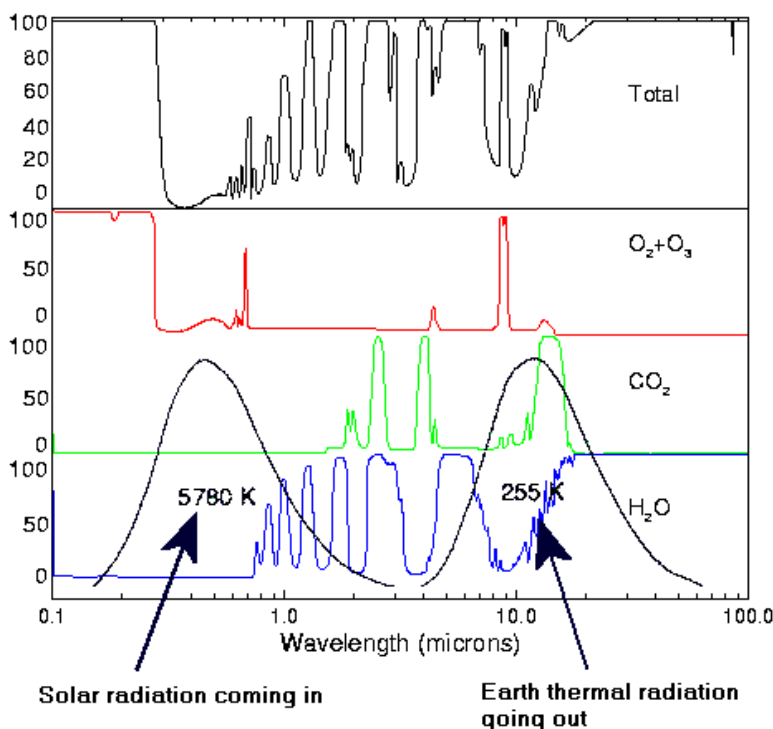
Εικόνα 3: Σκέδαση Rayleigh και Mie (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)

2. Απορρόφηση (absorption): Τα μόρια του όζοντος, του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα συνεισφέρουν στην απορρόφηση. Πιο συγκεκριμένα, η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον βοηθά στο να μην φτάνει στην επιφάνεια της γης η ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από 0,29  $\mu\text{m}$ . Το διοξείδιο του άνθρακα απορροφά κυρίως στο απώτερο υπέρυθρο (θερμικό) δηλαδή ακτινοβολία με μήκη κύματος μεγαλύτερα των 15 $\mu\text{m}$  και τέλος οι υδρατμοί απορροφούν κυρίως στην περιοχή του φάσματος  $>1 \mu\text{m}$  (Χατζημιτσής, 2010).
3. Το φαινόμενο του φθορισμού όπου η απορροφούμενη ακτινοβολία επανεκπέμπεται από τον στόχο σε μεγαλύτερο μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ποσό ενέργειας χαρακτηριστικό του κάθε υλικού.

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (στερεή ή υγρή) ανακλούν, απορροφούν ή εκπέμπουν σε διάφορα μήκη κύματος. Στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος, η επιφάνεια της γης, εκτός των αστικών περιοχών έχει τη μέγιστη ικανότητα εκπομπής (προσεγγίζει τη μονάδα) και για αυτό θεωρείται μέλαν σώμα. Τα νέφη με τη σειρά τους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την

ακτινοβολία που εισέρχεται ή εξέρχεται από την ατμόσφαιρα. Ο βαθμός που επιδρούν τα νέφη στην ορατή και την υπέρυθρη ακτινοβολία εξαρτάται από το πάχος τους. Έτσι στην ορατή περιοχή του φάσματος η ακτινοβολία υφίσταται πολλαπλές σκεδάσεις κατά τη διαδρομή της μέσα από το νέφος. Συγκεκριμένα οι σκεδάσεις εξαρτώνται από το μέγεθος και το σχήμα των υδροσταγονιδίων, π.χ. σε μια σφαιρική σταγόνα η κατανομή της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι αποτέλεσμα της σκέδασης Mie. Στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου τα πυκνά νέφη έχουν τη μέγιστη ικανότητα εκπομπής.

Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα μόρια των χημικών ενώσεων που βρίσκονται σε αέρια φάση πραγματοποιείται σε συγκεκριμένα μήκη κύματος της περιοχής του φάσματος. Η απορρόφηση της ενέργειας συμβαίνει σε μήκη κύματος τα οποία αντιστοιχούν στις γραμμές απορρόφησης (absorption bands). Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διέλευση της γίνεται κυρίως από το CO<sub>2</sub>, το H<sub>2</sub>O και το O<sub>3</sub> όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα:



**Γράφημα 1:** Απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας (Πηγή: Χατζημιτσής, 2010)

Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα αερολύματα της ατμόσφαιρας εξαρτάται από το μέγεθός τους και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και καθορίζεται από φαινόμενα πόλωσης. Άρα, η πολωσιμότητα ενός αερολύματος είναι αυτή που καθορίζει τον τρόπο που αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία.

Για μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας από 0.3 έως 0.9 η απορρόφηση της ατμόσφαιρας είναι πολύ μικρή όταν δεν υπάρχουν αερολύματα. Η ύπαρξη αερολυμάτων αυξάνει την απορρόφηση και τη σκέδαση της ακτινοβολίας, για αυτό σε περίπτωση μεγάλων συγκεντρώσεων, όπως σε στρώματα σκόνης από τη Σαχάρα, η καταγραφή των επιφανειακών στοιχείων της γης χρειάζεται διόρθωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το ύψος του ήλιου είναι χαμηλά, η ορατή ακτινοβολία σκεδάζεται και ανακλάται σε μεγάλο βαθμό από τα αερολύματα (καπνός, σκόνη) ενώ η θερμική ακτινοβολία της γήινης επιφάνειας υφίσταται σημαντική απορρόφηση μόνο στην περίπτωση πολύ μεγάλων συγκεντρώσεων των αερολυμάτων (Χατζημιτσής, 2010).

### **1.2.3.2. Αρχή λειτουργίας**

Η τεχνική LIDAR (Light Detection and Ranging) βασίζεται στην εκπομπή ενός παλμού μονοχρωματικής ακτινοβολίας LASER προς ένα συγκεκριμένο στόχο, στη μέτρηση της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας από τα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας (στόχου), στην καταγραφή του χρόνου που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και τη λήψη και τέλος στην καταγραφή της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας η οποία αντιστοιχεί στο είδος, στην πυκνότητα και στην απόσταση των σκεδαστών από την πηγή LASER (Μακρής, 2006).

Έτσι η τεχνική LIDAR αναλύοντας το σήμα που προέρχεται από την αλληλεπίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας (στόχου) με την ακτινοβολία λέιζερ, είναι ικανή να καθορίσει την κατακόρυφη κατανομή και την συγκέντρωση των κυριότερων ρύπων και συστατικών της ατμόσφαιρας με μεγάλη χωρική (3m ~7 m) και χρονική ακρίβεια (10 – 30 s).

Η βασική εξίσωση LIDAR που χρησιμοποιείται είναι η εξής (Μακρής, 2006):

$$P(R, \lambda) = P_0 \frac{c\tau}{2} A \eta \frac{O(R)}{R^2} \beta(R, \lambda) \exp \left[ -2 \int_0^R a(r, \lambda) dr \right]$$

Όπου:

P: η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται σε απόσταση R

R: η απόσταση

$\beta$ : ο χωρικός συντελεστής οπισθοσκέδασης

$P_0$ : η αρχική ισχύς ενός παλμού λέιζερ που παρέχει το σύστημα

c: ταχύτητα του φωτός

$\tau$ : η χρονική διάρκεια των παλμών

O: συνάρτηση επικάλυψης

A: σταθερά που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τηλεσκοπίου

$\lambda$ : το μήκος κύματος

$\eta$ : ο συντελεστής οπτικής απόδοσης του συστήματος

$a(R, \lambda)$ : ο συντελεστής εξασθένισης



## 2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η κατασκευή πολύ εξειδικευμένων πηγών LASER, επέτρεψε το σχεδιασμό και την υλοποίηση εξελιγμένων πειραματικών διατάξεων, οι οποίες καταγράφοντας την αλληλεπίδραση του φωτός, που εκπέμπει μια πηγή LASER με τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, σαν συνάρτηση της απόστασης, μπορούν να περιγράψουν με μεγάλη ακρίβεια πολλά χαρακτηριστικά μεγέθη της ατμόσφαιρας.

Οι Fiocco και Smullin (1963) χρησιμοποίησαν ένα ruby LASER για την ανίχνευση του στρώματος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας σε ύψος 20 χιλιομέτρα. Λίγο αργότερα, οι Clemesha et al. (1966) παρουσίασαν ένα LASER radar για ατμοσφαιρικές μελέτες. Ο εξοπλισμός σχεδιάστηκε για να παρατηρεί μεταβολές στην ατμοσφαιρική πυκνότητα σε ύψη μέχρι και 65 χιλιομέτρα με τη μέτρηση της έντασης της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας από μια ακτίνα λέιζερ. Η τεχνική παράγει ένα συνεχές προφίλ-σχεδιάγραμμα της ατμοσφαιρικής πυκνότητας συναρτήσει του ύψους, σε αντιδιαστολή με τις μετρήσεις μπαλονιών και πυραύλων που καταγράφουν την κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας σε μεμονωμένα χρονικά διαστήματα.

Στοιχεία για την κατακόρυφη κατανομή του αερολύματος συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μεγάλων υπαίθριων πειραμάτων (π.χ. το ACE-1, το ACE-2, το TARFOX και το LACE'98) (Bates et al., 1998; Russell et al., 1999; Ansmann et al., 2002; Raes et al., 2000). Ωστόσο, δεν έγινε καμία προσπάθεια για να ληφθούν πιο μακροχρόνιες σειρές κατακόρυφης κατανομής αερολυμάτων σε μια ηπειρωτική κλίμακα μέχρι το 2000 που καθιερώθηκε το EARLINET (European Aerosol Research LIDAR Network) (Bo¨senberg et al., 2003), το οποίο αποτελεί το Ευρωπαϊκό δίκτυο επίγειων σταθμών LIDAR.

Πολυάριθμα κάθετα σχεδιαγράμματα κατανομής αερολυμάτων ανακτήθηκαν και από το ασιατικό δίκτυο LIDAR (Murayama et al., 2001), αλλά το δίκτυο ήταν αφοσιωμένο σε συγκεκριμένα γεγονότα (τα ασιατικά γεγονότα με υψηλή συγκέντρωση σκόνης) και όχι σε κανονικές παρατηρήσεις. Το γερμανικό δίκτυο LIDAR (Bo¨senberg et al., 2001) που καθιερώθηκε το 1997 ήταν το πρώτο δίκτυο LIDAR που αφοσιώθηκε σε κανονικές παρατηρήσεις αλλά περιλάμβανε 5 μόνο σταθμούς LIDAR στη Γερμανία και κάλυπτε μια κλίμακα μόνο λίγων εκατοντάδων χιλιομέτρων.

Αυτό δεν ήταν αρκετό για να ερευνηθεί λεπτομερώς η μεταφορά και η τροποποίηση των αερολυμάτων και να παρατηρηθούν σημαντικές διαφορές μεταξύ της κατανομής αερολυμάτων σε διαφορετικές περιοχές. Μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στο EARLINET, π.χ., στην εξασφάλιση ποιότητας ή στη δειγματοληψία, αναπτύχθηκαν σε αυτό το πρόγραμμα. Στο EARLINET, έχουν εκτελεσθεί συντονισμένες μετρήσεις LIDAR αερολυμάτων σε 25 σταθμούς LIDAR σε 14 Ευρωπαϊκές χώρες. Τα περισσότερα από τα σχεδιαγράμματα είναι σχεδιαγράμματα του συντελεστή οπισθοσκέδασης αερολυμάτων σε τρία μήκη κύματος λέιζερ, στην UV υπεριώδη ακτινοβολία (355 ή 351 nm), στην ορατή (532 nm) και στην υπέρυθη ακτινοβολία (1064 nm).

Παρ' όλα αυτά, η ανάκτηση συντελεστών οπισθοσκέδασης αερολυμάτων από καθαρά ελαστικές επιστροφές LIDAR παρουσιάζουν αβεβαιότητες λόγω του άγνωστου λόγου εξασθένισης προς οπισθοσκέδαση (LIDAR ratio), ο οποίος πρέπει να καθοριστεί για την αξιολόγηση των στοιχείων. Επομένως, στο EARLINET, οι μετρήσεις του συντελεστή εξασθένισης αερολυμάτων με UV Raman LIDAR είναι η προτιμότερη μέθοδος για την παραγωγή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει επίσης τον προσδιορισμό των συντελεστών εξασθένισης αερολυμάτων κάτω από τα σύννεφα. Επιπλέον, ένα σχεδιάγραμμα οπισθοσκέδασης αερολυμάτων μπορεί να προσδιοριστεί σε πολύ χαμηλά υψόμετρα πάνω από το έδαφος χρησιμοποιώντας το πηλίκο της οπισθοσκέδασης του ελαστικού και του Raman LIDAR για ένα μήκος κύματος. Έτσι οι μετρήσεις με Raman LIDAR παρέχουν επίσης σχεδιαγράμματα LIDAR ratio και τη δυνατότητα ταξινόμησης του τύπου των αερολυμάτων.

Μεταξύ Μαΐου 2000 και Δεκεμβρίου 2002 διεξήχθησαν κανονικές Raman LIDAR μετρήσεις στα 355/351 nm σε 10 σταθμούς EARLINET. Λόγω της χαμηλής ατμοσφαιρικής Raman οπισθοσκέδασης, οι μετρήσεις λήφθηκαν γύρω στο ηλιοβασίλεμα σε συνθήκες χαμηλού ηλιακού υπόβαθρου. Εντούτοις, ήταν ακόμα αντιπροσωπευτικές για το πλήρως αναπτυγμένο οριακό στρώμα το απόγευμα. Εκτός από την αναφερθείσα ομοιογενή δειγματοληψία, η στατιστική ανάλυση των στοιχείων LIDAR από 10 διαφορετικούς σταθμούς απαιτούσαν μια εκτενή διαδικασία εξασφάλισης ποιότητας συμπεριλαμβανομένων των άμεσων συγκρίσεων των συμμετεχόντων συστημάτων LIDAR. Αυτό ήταν ιδιαίτερης σπουδαιότητας επειδή τα συστήματα LIDAR που χρησιμοποιούνταν στο EARLINET διέφεραν σε αρκετές τεχνικές

πτυχές όπως το μέγεθος του τηλεσκοπίου, τους ανιχνευτές, τους ενισχυτές των τηλεσκοπίων και την οπτική ρύθμιση. Στο EARLINET, τα συστήματα LIDAR ήταν εξασφαλισμένα ποιοτικά με την εκτέλεση άμεσων συγκρίσεων τουλάχιστον δύο συστημάτων τη φορά σε μια θέση (Matthias et al., 2004). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα τυπικά περιθώρια λάθους ήταν της τάξεως του 10-15%, ανάλογα με τις στατιστικές ύψους και σημάτων. Συστηματικά λάθη παρατηρήθηκαν κυρίως στα χαμηλότερα ύψη όπου μια ελλιπής επικάλυψη μεταξύ της εκπεμπόμενης ακτίνας λέιζερ και του οπτικού πεδίου των τηλεσκοπίων μπορούσαν να οδηγήσουν σε μια υποτίμηση των συντελεστών οπισθοσκέδασης και εξασθένησης αερολυμάτων. Τα σχεδιαγράμματα εξασθένησης αερολυμάτων που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων άρχιζαν περίπου στα 500 μέτρα ή περισσότερο επάνω από το έδαφος.

Οι Matthias et al. (2002) πραγματοποίησαν μετρήσεις εξασθένησης (extinction) και οπισθοσκέδασης του αερολύματος χρησιμοποιώντας ένα UV Raman LIDAR για 3 χρόνια στο Αμβούργο στα πλαίσια του γερμανικού δικτύου LIDAR. Χρησιμοποίησαν ένα σύνολο από 92 μετρήσεις του συντελεστή εξασθένησης και 164 σχεδιαγράμματα οπισθοσκέδασης αερολυμάτων για τις στατιστικές τους έρευνες. Υπολόγισαν τις μέσες τιμές και τις διαφορές της εξασθένησης και της οπισθοσκέδασης αερολυμάτων στο πλανητικό στρώμα. Βρέθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους. Οι μετρήσεις εξασθένησης των αερολυμάτων πέρα από το Αμβούργο παρουσίαζαν ένα εποχιακό κύκλο με τις υψηλότερες τιμές στις αρχές του φθινόπωρου και ένα δεύτερο μικρότερο μέγιστο την άνοιξη. Μια ανάλυση των στοιχείων που χρησιμοποιούσαν τις τροχιές των αέριων μαζών (back trajectories), έδειξε ότι ο συντελεστής εξασθένησης των αερολυμάτων εξαρτάται από την προέλευση αυτών των μαζών. Ο χρόνος παραμονής της αέριας μάζας πάνω από βιομηχανικές περιοχές αποτέλεσε σημαντική παράμετρο για την τιμή του συντελεστή εξασθένησης στο Αμβούργο. Εντούτοις, μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής μεταβλητότητας θα μπορούσε να εξηγηθεί από τη μαζική προέλευση της αέριας μάζας. Για 75 περιπτώσεις μετρήσεων του συντελεστή εξασθένησης των αερολυμάτων σε συνθήκες χωρίς σύννεφα, το σχεδιάγραμμα οπισθοσκέδασης των αερολυμάτων και επομένως, ο λόγος του συντελεστή εξασθένησης και οπισθοσκέδασης συναρτήσει του ύψους μπορούσε να καθοριστεί. Οι χειμερινές μετρήσεις του λόγου αυτού βρέθηκαν συχνά κοντά στα πρότυπα αποτελέσματα για τα θαλάσσια αερόλυμα, οι θερινές μετρήσεις βρέθηκαν κοντά στα πρότυπα αποτελέσματα για τα αστικά ή ηπειρωτικά αερόλυμα. Η υψηλή ποιότητα των στοιχείων

αποδείχθηκε από συγκρίσεις με άλλα συστήματα LIDAR και από μετρήσεις του οπτικού πάχους των αερολυμάτων με τη χρήση φωτόμετρων κατά τη διάρκεια του πειράματος Lindenberg Aerosol Characterization (LACE'98) (Ansmann, 2002).

Raman LIDAR χρησιμοποίησαν επίσης οι Sicard et al. (2011) για να αξιολογήσουν την ετήσια και εποχιακή μεταβλητότητα των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στη βορειοανατολική Ισπανία. Η αντιπροσωπευτικότητα του LIDAR είχε ελεγχθεί σε σχέση με μετρήσεις ηλιακών φωτόμετρων που αφορούσαν το οπτικό πάχος αερολυμάτων. Στη συνέχεια ανέλυσαν και συζήτησαν τον ετήσιο κύκλο και την εποχιακή μεταβλητότητα του οπτικού πάχους αερολυμάτων και το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος. Παρουσίασαν τα σχεδιαγράμματα για το χειμώνα και το καλοκαίρι των παραπάνω μεγεθών που λήφθηκαν με τον αλγόριθμο Raman. Η ανάλυση παρουσίαζε τον αντίκτυπο των περισσότερων φυσικών γεγονότων (σκόνη από τη Σαχάρα, πυρκαγιές κτλ) και των μετεωρολογικών καταστάσεων (θερινή αντικυκλωνική κυκλοφορία, σχηματισμός του ιβηρικού κατώτατου θερμικού, χειμερινή μεταφορά μεγάλης ακτίνας από τη Βόρεια Ευρώπη και/ή τη Βόρεια Αμερική, ροές επανακυκλοφορίας κτλ.) που εμφανίζονται στην περιοχή της Βαρκελώνης. Μια λεπτομερής μελέτη ενός ειδικού γεγονότος συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα και σωματίδια καιγόμενης βιομάζας (biomass-burning particles) αποδεικνύει την καταλληλότητα του να συνδυάζει κανείς την ανάκτηση των ιδιοτήτων του οπτικού αερολύματος από ένα Raman LIDAR με καθαρές ελαστικές μετρήσεις LIDAR για να διακριθούν χωρικά οι διάφοροι τύποι αερολυμάτων και για να ακολουθηθεί η χωρική και χρονική εξέλιξη τους.

Τη μέθοδο LIDAR χρησιμοποίησαν και οι Tomasi και Perrone (2006) για να ερευνήσουν συστηματικά την ανάπτυξη του ύψους του πλανητικού οριακού στρώματος (Planetary boundary layer - PBL) και του στρώματος σκόνης (Dust Layer - DL) για 2 χρόνια στη Lecce, Ιταλία. Τα ύψη του PBL και του DL ήταν χαμηλότερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού απ' ό,τι το χειμώνα, σε αντίθεση με αυτό που αναμενόταν. Αυτή η συμπεριφορά εξηγήθηκε από άποψης της καταστολής της αύξησης του πάχους του οριακού στρώματος που προκαλείται από τη μεταφορά της θαλάσσιας αύρας. Αποδείχθηκε ότι τα ύψη των PBL και DL που ανακτήθηκαν από το LIDAR συμφωνούσαν ικανοποιητικά με τις μετρήσεις που λαμβάνονταν από έναν κοντινό μετεωρολογικό σταθμό.

Την ίδια μέθοδο (LIDAR οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία) χρησιμοποίησαν οι Torres et al. (2008) στη Βραζιλία, για να παράσχουν το κατακόρυφο γράφημα του συντελεστή οπισθοσκέδασης των αερολυμάτων στα 532 nm σε υψόμετρο 4-6 χιλιόμετρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, σε μια περιοχή στα προάστια στην πόλη του Σάο Πάολο. Το LIDAR ήταν σε λειτουργία από το Σεπτέμβριο του 2001. Τα στοιχεία από το LIDAR λήφθηκαν σε περίοδο 4 ετών (2001-04) και αφορούσαν το οπτικό πάχος αερολυμάτων (AOT), τον συντελεστή οπισθοσκέδασης και εξασθένισης των αερολυμάτων (aerosol backscattering and extinction coefficients) στα 532 nm, ιδιότητες των νεφών (βάση και πάχος), το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος (PBL), τις στρωματώσεις των αερολυμάτων, τη δομή και τη δυναμική της κατώτερης τροπόσφαιρας. Τα στοιχεία από το LIDAR παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν σε συνδυασμό με μετρήσεις AOT που λήφθηκαν από ένα ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel στην ορατή περιοχή του φάσματος. Ο συσχετισμός των στοιχείων LIDAR και των στοιχείων που λήφθηκαν από το φωτόμετρο που ανήκε στο AERONET έγινε για να τεθεί μια χρονική βάση δεδομένων για τα δεδομένα που συλλέγονται ταυτόχρονα και για να διασταυρώνονται και να συσχετίζονται οι πληροφορίες που λαμβάνονται από κάθε όργανο. Τα δεδομένα από το ηλιακό φωτόμετρο χρησιμοποιούνται για να παρέχουν τις τιμές του AOT σε επιλεγμένα μήκη κύματος και έτσι να παράγονται οι τιμές του εκθέτη Angstrom, του συντελεστή ανακλαστικότητας μονοχρωματικής σκέδασης, οι τιμές της συνάρτησης φάσης και οι τιμές LR.

Η τεχνική αυτή συνδυάστηκε με τη χρήση ηλιακών φωτόμετρων και LASER scanner για τρισδιάστατη απεικόνιση από τους Themistokleous et al. (2010) για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κοντά σε μνημεία της πολιτιστικής κληρονομιάς της Κύπρου. Ένας σταθμός ελέγχου που διαχειρίζεται από το Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας, Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων (Department of Labour Inspection (DLI), Ministry of Labour and Social Insurance) ήταν διαθέσιμος για το σκοπό αυτό, για σκοπούς σύγκρισης και επικύρωσης. Τα δεδομένα για τα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας το μετρητή Partical Handheld Mass Counter (AEROCET 531), ο οποίος μετρά ανεξάρτητα σωματίδια χρησιμοποιώντας φως οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία για να υπολογίσει τη μαζική συγκέντρωση. Η μεθοδολογία βασίστηκε στη χρήση διάφορων οργάνων (ηλιακά φωτόμετρα και συστήματα LIDAR) για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που καθορίζονταν απευθείας από δορυφορικές εικόνες όπως οι Landsat TM ή ETM+ και οι MODerate resolution Imaging

Spectroradiometer (MODIS). Όλες οι μέθοδοι συμπεριέλαβαν τον προσδιορισμό του οπτικού πάχους αερολυμάτων (AOT).

Πέραν των μεθόδων που χρησιμοποιούν LIDAR για τις μετρήσεις ατμοσφαιρικών δεδομένων, χρησιμοποιούνται και δορυφορικά δεδομένα που λαμβάνονται από δορυφορικούς αισθητήρες. Οι Tulloch et al. (2004) μελέτησαν τις αλλαγές στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στον Καναδά. Άρχισαν έρευνες στους υπάρχοντες διαστημικούς αισθητήρες απεικόνισης (spaceborne imaging sensors) και με μερικά παραδείγματα δορυφορικών εικόνων για τον έλεγχο της αστικής ατμοσφαιρικής ποιότητας. Στη συνέχεια εξέτασαν τέσσερις σημαντικές δορυφορικές προσεγγίσεις: τη μέτρηση του οπτικού πάχους των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, την οπτική επιθεώρηση δορυφορικών εικόνων, τη μέτρηση μορίων άνθρακα και την ανάλυση των αλλαγών των χρήσεων και επικάλυψης της γης. Περιέγραψαν τη χρήση πολυαισθητήρων (multi\_sensor), πολυχρονικών (multi\_temporal) και πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων για να αποδώσουν καλύτερα τη σχέση αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ της αστικοποίησης και της τάσης στην κλιματολογία και την ποιότητα του αέρα. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις παρείχαν μια πλήρη εικόνα για την πόλη παρουσιάζοντας τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης και την κατανομή τους, βοηθώντας στον καθορισμό του που έπρεπε να στραφεί η προσπάθεια για να μειωθεί το επίπεδο ρύπανσης και στον καθορισμό οποιασδήποτε σχέσης μεταξύ των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των πόλεων και της κατανομής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Wald και Baleynaud, 1999).

Δορυφορικά δεδομένα τηλεπισκόπησης χρησιμοποίησαν και οι Jill et al. (2005) για σκοπούς ανάλυσης των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη μεταφορά τους. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με τη χρήση αισθητήρων δορυφόρων (Satellite sensors) και παρείχαν χωρικές πληροφορίες για την ποιότητα του αέρα, όπως το οπτικό πάχος των αερολυμάτων. Χρησιμοποίησαν μια νέα τεχνική απεικόνισης που στηριζόταν στη συσχέτιση του δορυφορικού AOT με τα PM<sub>2.5</sub> και μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό γεωγραφικών περιοχών με πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η τεχνική που χρησιμοποίησαν ενσωματώνει το MODIS AOT, συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> και το μοντέλο HYSPLIT που παρέχει τις τροχιές των αέριων μαζών (Draxler et al., 1997).

Από προηγούμενες εργασίες έχει αποδειχθεί ότι δορυφορικά στοιχεία και δορυφορικές εικόνες μπορούν να εφαρμοστούν στην πολιτική της ατμοσφαιρικής ποιότητας (Engel-Cox et al., 2001;

Engel-Cox et al., 2004; Falke et al., 2001; Hutchinson, 2003). Πολλοί ερευνητές έχουν επίσης αρχίσει να πραγματοποιούν ποσοτικές αναλύσεις συγκρίνοντας δορυφορικές μετρήσεις αισθητήρων με επίγειες μετρήσεις της ποιότητας του αέρα. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές έχουν τεκμηριώσει ότι υπάρχει ένας δυνατός συσχετισμός στην ανατολική περιοχή των ΗΠΑ μεταξύ των δεδομένων οπτικού πάχους αερολυμάτων του MODIS, αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) με άλλα δεδομένα για την ποιότητα του αέρα που λαμβάνονται επίγεια (Chu et al., 2003; Engel-Cox et al., 2004; Wang et al., 2003).

Οι Τρίγκας et al. (2010) υπολόγισαν το οπτικό πάχος αερολυμάτων σε διάφορες περιοχές της Κύπρου χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις/μετρήσεις από δορυφορικά δεδομένα και φορητά ηλιακά φωτόμετρα. Παρουσίασαν μια συνολική μεθοδολογία καθώς και μια πιο αναλυτική μέθοδο υπολογισμού του οπτικού πάχους αερολυμάτων χρησιμοποιώντας αλγόριθμο ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Το οπτικό πάχος αερολυμάτων ανακτήθηκε από τους δορυφόρους Landsat TM/ETM+, ASTER, MODIS. Η συσχέτιση μεταξύ δορυφορικών μετρήσεων και εκείνων στο πεδίο για την εύρεση των ιδιοτήτων των αερολυμάτων έχει φανεί ότι είναι μεγάλη (Chu et al., 2003). Αυτό είναι ένα ενθαρρυντικό αποτέλεσμα για τη χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων αντί μετρήσεων στην επίβλεψη και ανάκτηση του οπτικού πάχους αερολυμάτων. Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Σκοτεινότερων Εικονοστοιχείων (Darkest Pixel) και η μέθοδος PITs. Για την ολοκλήρωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).

Τα δορυφορικά δεδομένα συνδυάστηκαν με επίγειες μετρήσεις για τον υπολογισμό του οπτικού πάχους αερολυμάτων. Το 2008, οι Ρετάλης και Παρώνης μελέτησαν τα επίπεδα της αεροσωματιδιακής ρύπανσης με συνδυασμό επίγειων μετρήσεων και δορυφορικών δεδομένων για την περιοχή της Κύπρου (Ρετάλης και Παρώνης, 2008). Με χρήση δορυφορικών δεδομένων MODIS για διάφορους τύπους επίγειων περιοχών αποτυπώθηκε η κατανομή των αερολυμάτων και προσδιορίστηκαν συσχετισμοί μεταξύ των επίγειων μετρήσεων  $\text{PM}_{10}$  και των τιμών οπτικού πάχους αερολυμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα MODIS που προσέφεραν έτοιμα προϊόντα με μετρήσεις οπτικού πάχους αερολυμάτων και επιλέχθηκε χρονοσειρά εικόνων αρχείου που καλύπτουν χρονική περίοδο τουλάχιστον τριών ετών (2003-2005). Ο δέκτης MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) βρίσκεται εγκατεστημένος στους

δορυφόρους Terra και Aqua. Οι μετρήσεις του οπτικού πάχους αερολυμάτων πραγματοποιούνται τόσο πάνω από την επιφάνεια των ωκεανών (Tanré et al., 1997) όσο και πάνω από τη ξηρά (Tanré et al., 1997) μέσω δυο ανεξάρτητων αλγορίθμων. Οι επίγειες μετρήσεις συγκέντρωσης των αερολυμάτων ( $PM_{10}$ ) που λήφθηκαν από 4 επίγειους σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να συνεκτιμηθεί η διαφορά των επιπέδων ρύπανσης στους 4 διαφορετικούς τύπους σταθμών. Από το σύνολο των διαθέσιμων εικόνων υπολογίστηκαν οι μέσοι μηνιαίοι χάρτες κατανομής του οπτικού πάχους των αερολυμάτων για την περίοδο 2003-2005.

Την ίδια μέθοδο χρησιμοποίησαν και οι Kaskaoutis et al. (2009) για τον υπολογισμό του οπτικού πάχους αερολυμάτων στην αστική περιοχή της Αθήνας. Τα δορυφορικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από τους δορυφόρους MODIS και MERIS. Το οπτικό πάχος αερολυμάτων από τον MERIS παρουσίασε μια ισχυρή θετική συσχέτιση με τα επίγεια δεδομένα  $PM_{10}$ , ενώ το οπτικό πάχος αερολυμάτων από τον MODIS ήταν σύμφωνο και με του MERIS και με των  $PM_{10}$ . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, τουλάχιστον για την περίπτωση της Αθήνας, το AOT που ανακτάται από εικόνες του MERIS πάνω από περιοχές χωρίς συννεφιά μπορεί να συσχετιστεί με τα  $PM_{10}$ . Η ακρίβεια της ανάκτησης εξαρτάται κυρίως από την επιτυχή επιλογή των δορυφορικών στοιχείων αναφοράς, δηλαδή μιας εικόνας που είναι η λιγότερη μολυσμένη με τροποσφαιρικά αερολύματα.

Ο Λαζαρίδης (2005) παρουσίασε διάφορες μεθόδους για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των αερίων ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2005). Ως παράδειγμα ανέφερε τον προσδιορισμό του διοξειδίου του θείου που είναι ένας από τους πιο κοινούς αέριους ρύπους. Για τη μέτρηση του διοξειδίου του θείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο φασματοφωτομετρικός, ο αγωγιμομετρικός, ο φλογοφωτομετρικός και τέλος ο φθορισμομετρικός προσδιορισμός (Κουιμτζή et al., 1998). Για τη μέτρηση του διοξειδίου του αζώτου χρησιμοποιείται η μέθοδος της χημειοφωταύγειας (chemilunescence), που είναι εκπομπή ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια χημικής αντίδρασης. Σε άλλες μεθοδολογίες το διοξείδιο του αζώτου απορροφάται σε διαλύματα και μετατρέπεται σε νιτρικό άλας. Σε περιοχές με χαμηλή συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου μπορεί να γίνει με τη χρήση της μεθόδου απορρόφησης χρησιμοποιώντας ιώδιο. Οι μετρήσεις όζοντος βασίζονται στη UV υπεριώδη φωτομετρία. Ο



υπολογισμός του όζοντος γίνεται σε μια ποσότητα αέριου δείγματος που λαμβάνει το όργανο από το εξωτερικό περιβάλλον μετρώντας την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία που απορροφάται. Για τη δειγματοληψία των  $PM_{10}$  έχουν εκτενωώς εξετασθεί και συγκριθεί διάφορες μέθοδοι. Το EN 12341 (European Norm) διευκρινίζει τρεις μεθόδους αναφοράς για τον προσδιορισμό των σωματιδίων  $PM_{10}$ . Ένα παράδειγμα οργάνου μέτρησης σύμφωνα με τα πρότυπα CEN (1998) για μετρήσεις  $PM_{10}$  είναι το πρότυπο Sierra-Andersen/GMW 1200 δειγματοληπτικών συσκευών μεγάλου όγκου.

Ακόμη μία μέθοδος για την ερεύνηση των οπτικών ιδιοτήτων του αερολύματος είναι η χρήση ραδιόμετρων (Sun/sky radiometer). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε από τους Eck et al. (2005) οι οποίοι ερεύνησαν τις οπτικές ιδιότητες του αερολύματος στην κεντρική Ανατολική περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού με τη χρήση μετρήσεων από ραδιόμετρα (Sun/sky radiometer) που έγιναν σε περιοχές του AERONET (Aerosol Robotic Network). Πολυετής έλεγχος πέρα από τον ετήσιο κύκλο σε περιοχές στην Κίνα, Μογγολία, Νότια Κορέα και Ιαπωνία έδειξε μέγιστη τιμή του οπτικού πάχους αερολυμάτων το καλοκαίρι και την άνοιξη και ελάχιστη το χειμώνα. Ωστόσο, απαιτείται επιπλέον έλεγχος για να καθιερωθεί ακριβής κλιματολογία των περιοχών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ανοιξιάτικο ελάχιστο σχετίζεται με δραστηριότητα ανεμοθύελλας. Παρόλα αυτά βρέθηκε ότι τα λεπτόκοκκα αερολύματα που εκπέμπονται από κέντρα πληθυσμών στην ανατολική Ασία κυριαρχούν στην επιρροή του μηνιαίου πάχους αερολυμάτων ακόμη και την άνοιξη καθώς τα αερολύματα αυτά ανακατεύονται με την άμμο από πηγές δυτικών περιοχών. Το οπτικό πάχος αερολυμάτων είναι μέγιστο την άνοιξη στον τροπικό μέσο-Ειρηνικό ωκεανό και σχετίζεται με εποχιακές μετατοπίσεις ατμοσφαιρικών μεταφορών από την Ασία, και το 35% της αύξησης την άνοιξη εμφανίζεται σε ύψη πάνω από 3,4 χιλιόμετρα.

Το 2004, οι Ghanem et al. παρουσίασαν μια νέα μέθοδο για τη δημιουργία ενός κατανεμημένου συστήματος για την αστική παρακολούθηση και έλεγχο της ρύπανσης του αέρα (Ghanem et al., 2004). Αυτή αναφέρεται στη χρήση πλεγμάτων αισθητήρων (sensor grids) με τη χρήση του προγράμματος Discovery Net για τη δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος. Το πρόγραμμα Discovery Net αναπτύσσει μεθόδους που βασίζονται σε πλέγμα (net) για την ολοκλήρωση και ανάλυση των στοιχείων που παράγονται από υψηλής απόδοσης συσκευές σε ποικίλους τομείς

όπως η βιολογία, η επιστήμη περιβάλλοντος και η τηλεπισκόπηση. Ένας από τους κύριους τομείς εφαρμογής του προγράμματος είναι η ανάλυση στοιχείων που παράγονται από τους αισθητήρες ελέγχου ρύπανσης GUSTO (Generic Ultraviolet Sensors Technologies and Observations). Το GUSTO είναι το αρκτικόλεξο για τις τεχνολογίες και παρατηρήσεις αισθητήρων γενικής υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι βασικοί ρύποι που καλύπτονται από το GUSTO είναι το SO<sub>2</sub>, το C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, το NO, το NO<sub>2</sub> και το O<sub>3</sub>. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν ρύπους με υψηλό επίπεδο ακρίβειας και μπορούν να παράγουν μέχρι και 8 MB στοιχεία ανά αισθητήρα καθημερινά. Το γεγονός αυτό αυξάνει πολλές προκλήσεις όσον αφορά την πληροφορική και τη διαχείριση και ανάλυση των στοιχείων που συλλέγουν. Ένα πλέγμα αισθητήρων GUSTO θα ήταν εξαιρετικά πολύτιμο στον τομέα του ελέγχου ρύπανσης λόγω της υψηλής πυκνότητας των αισθητήρων (δεκάδες ή εκατοντάδες αισθητήρες ανά 2-3 τετραγωνικά χιλιόμετρα, παρά ένα ή δύο αισθητήρες ανά πόλη), και της υψηλής ανάλυσης των αναγνωσθέντων μολυσματικών συγκεντρώσεων (κάθε δύο δευτερόλεπτα, παρά κάθε 15 λεπτά ή ωριαίο μέσο όρο). Αυτός ο πλούτος στοιχείων επιτρέπει τη λεπτομερή εξέταση της περιοχής που ελέγχεται, στο επίπεδο των δρόμων και των κτιρίων ενώ έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει σημεία αιχμής ρύπανσης με μικρή διάρκεια.

Τα τελευταία χρόνια, σύμφωνα με τους DiGiovanni και Fellin (2006) έχει αποδειχθεί ότι πολλοί ρύποι παρουσιάζουν το φαινόμενο της διασυνοριακής μεταφοράς. Έχει φανεί ότι η διασυνοριακή μεταφορά εμφανίζεται είτε επειδή οι ρύποι διατηρούν πολύ χαμηλές ταχύτητες απόθεσης (όπως στην περίπτωση των αρκτικών συστατικών ελαφριάς ομίχλης ή των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων), είτε επειδή απαιτείται μια εκτεταμένη χρονική περίοδος για το ρύπο για να αναπτυχθεί από τις ενώσεις προδρόμων (αιθαλομίχλη, όξινη βροχή) ή επειδή είναι χημικά αδρανείς (υδράργυρος). Γενικά, η αιθαλομίχλη (smog) και η όξινη βροχή έχουν την πιο μακροχρόνια ιστορία μελέτης και έχουν γίνει καλύτερα κατανοητά. Πιο πρόσφατα, ζητήματα των POPs και του υδραργύρου παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον αφού τα αποτελέσματά τους είναι καταστροφικά.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος των διασυνοριακών ρύπων απαιτείται η ικανοποίηση δύο προκλήσεων, η διεθνής συνεργασία και η παροχή κατάλληλων στοιχείων για τη λήψη κατάλληλων μέτρων για τη μείωση των ρύπων αυτών. Όσον αφορά την πρώτη πρόκληση,

ευτυχώς, τα τελευταία χρόνια το πολιτικό κλίμα έχει προσαρμοστεί σε διεθνή συνεργασία για την αντιμετώπιση της διασυνοριακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης (π.χ. North American Free Trade Association – Commission of Environmental Co-operation, rationalization of EU environmental regulations, UN CLRTAP). Όσον αφορά τη δεύτερη πρόκληση, τα απαιτούμενα στοιχεία προέρχονται από επιστημονικές έρευνες παρακολούθησης και μοντελοποίησης. Η ανάγκη να συντονιστούν τα διεθνή δίκτυα ελέγχου των σταθμών έχει ικανοποιηθεί επιτυχώς στην Ευρώπη (EMEP) και στη Βόρεια Αμερική (Καναδάς 1998) και οι προσπάθειες μοντελοποίησης συντονίζονται συχνά, σε μεγαλύτερο βαθμό στην Ευρώπη στο πλαίσιο του προγράμματος EMEP απ' ότι στη Βόρεια Αμερική (DiGiovanni και Fellin, 2006).

Όσον αφορά στην προσπάθεια που έγινε για τη συσχέτιση των PM με το AOT οι Koelemeijer et al. (2006) πραγματοποίησαν μια σύγκριση μεταξύ των PM και του AOT που λαμβανόταν από το δορυφόρο MODIS για το 2003 στη βόρεια Ιταλία, τη νότια Πολωνία και την περιοχή του Βελγίου/της Ολλανδίας/του Ρουρ, καθώς και ανεξάρτητων μεγάλων πόλεων και βιομηχανοποιημένων κοιλάδων. Η χωρική συσχέτιση μεταξύ του ετήσιου μέσου όρου των PM<sub>10</sub> και του AOT υπολογίστηκε 0.6 για τους αγροτικούς σταθμούς. Παρόλα αυτά η εποχιακή διακύμανση του AOT και του PM διαφέρει. Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, το AOT που μετρείται από τον MODIS έχει ένα σαφές ελάχιστο κατά τους χειμερινούς μήνες. Η εποχιακή διακύμανση των PM διαφέρει σε ολόκληρη την Ευρώπη και σε πολλές περιοχές η εποχιακή διακύμανση είναι λιγότερο σημαντική από αυτήν του AOT. Συνεπώς, η συσχέτιση του AOT με τα PM<sub>10</sub> είναι χαμηλή (0,3). Η συσχέτιση μεταξύ των PM και του AOT βελτιώνεται όταν το AOT διαιρείται από το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος, και σε λιγότερο βαθμό όταν διορθώνεται για επίγεια αερολύματα με τη σχετική υγρασία. Σε αυτή την περίπτωση, ο μέσος όρος συσχέτισης είναι 0,5 (PM<sub>10</sub>), που υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε αγροτικούς και ημιαστικούς σταθμούς.

Οι Chu et al. (2003) προσπάθησαν να συσχετίσουν τα PM<sub>10</sub> με το AOT στη Βόρεια Ιταλία, το Λος Άντζελες και το Πεκίνο. Η συσχέτιση που βρέθηκε μεταξύ του ημερήσιου μέσου όρου AOT που λαμβάνεται από το AERONET και της 24ωρης συγκέντρωσης PM<sub>10</sub> (mg/m<sup>3</sup>) στη Βόρεια Ιταλία ήταν πολύ ενθαρρυντικά με συντελεστή συσχέτισης (R) ίσο με 0.82 και εξίσωση:

$$PM_{10} = 54.7 * AOT + 8.$$

Οι Péré et al. (2009) παρουσίασαν τη συσχέτιση μεταξύ των  $PM_{10}$  ( $\mu m/m^3$ ) και του AOT σε πέντε περιοχές στη Νοτιοανατολική Γαλλία. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν σημαντικούς συντελεστές συσχέτισης με εύρος τιμών από 0,68 έως 0,79. Στην Τουλόν (αστική περιοχή) ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,68 και 0,74 για το καλοκαίρι του 2005 και 2006 αντίστοιχα. Στην Αβινιόν (αστική περιοχή) ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,73 και 0,79 για το καλοκαίρι του 2004 και 2005 αντίστοιχα. Στη Μασσαλία (αστική περιοχή) ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,69 για το καλοκαίρι του 2001. Στην περιοχή The Vallon d'Oli (ημιαστική περιοχή) ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,79 για το καλοκαίρι του 2001 και τέλος στη Vinon sur Verdon (αγροτική περιοχή) ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,70 για το καλοκαίρι του 2001. Η εξίσωση που αναπτύχθηκε και για τις πέντε αυτές περιοχές ήταν  $PM_{10} = 54 * AOT + 13$  με συντελεστή συσχέτισης (R) ίσο με 0.69.

## **3 Μεθοδολογία**

### **3.1. Σκοπός**

Σκοπός των μετρήσεων είναι η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Λεμεσού (στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα ή πλανητικό οριακό στρώμα) και παράλληλα η ανάπτυξη μιας εξίσωσης που να συνδέει τις παραμέτρους  $PM_{10}$  και AOT κατά το χρονικό διάστημα που έχουμε συγχρονισμένες μετρήσεις AOT και  $PM_{10}$ . Στόχος είναι η μελλοντική συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με έξυπνα συστήματα παρακολούθησης όπως τα δορυφορικά δεδομένα μιας και από αυτά λαμβάνοντας το AOT θα μπορεί να γίνει υπολογισμός των PM.

### **3.2. Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη Λεμεσό (βλέπε εικόνα 4). Η Λεμεσός έχει έκταση 3 401,63 εκτάρια και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κύπρου με 228 900 κατοίκους. Διαθέτει το μεγαλύτερο λιμάνι του νησιού το οποίο είναι κι ένα από τα μεγαλύτερα της Ανατολικής Μεσογείου.

Ο ρυθμός ανάπτυξης της Λεμεσού επιταχύνθηκε απότομα με τη ραγδαία αύξηση του αστικού πληθυσμού, που ήταν αποτέλεσμα της Τουρκικής εισβολής του 1974 και της μεταγενέστερης προσπάθειας για οικονομική επαναδραστηριοποίηση, ιδιαίτερα στον τομέα του τουρισμού. Κατά την περίοδο μετά το 1977 δημιουργήθηκαν πιέσεις και τάσεις ανάπτυξης, των οποίων η κλίμακα ήταν αδύνατο να αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά από τη μέχρι τότε παραδοσιακή δομή της πόλης.

Η δομή του αστικού συγκροτήματος έχει δημιουργηθεί χωρίς ουσιαστικό προγραμματισμό, με βάση κυρίως τη δομή του παραδοσιακού οδικού δικτύου. Το κέντρο της πόλης εξυπηρετείται, κατά κανόνα, από στενούς δρόμους περιορισμένης χωρητικότητας. Η οργάνωση αυτή οδηγεί σε υπερφόρτιση των κύριων οδικών αρτηριών με εμπορικές και άλλες χρήσεις και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Λόγω του περιορισμένου σε χωρητικότητα ακτινωτού οδικού δικτύου και της ανεπάρκειας συναφών διευκολύνσεων, όπως είναι οι χώροι στάθμευσης, οι πεζόδρομοι και τα δημόσια μέσα μεταφοράς μειώνεται η προσπελασιμότητα της περιοχής και δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Όλα αυτά σε συνδυασμό με την επιταχυνόμενη ανάπτυξη του ιστορικού κέντρου της Λεμεσού και με την αυξημένη τάση χρήσης του ιδιωτικού αυτοκινήτου επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Το λιμάνι και ο αυτοκινητόδρομος Λεμεσού - Πάφου σε συνδυασμό με τις κεντρικές αρτηρίες συντείνουν στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα προκύπτουν επίσης από τη χρήση της παραλιακής γης για βιομηχανικούς σκοπούς.

Η βασική περιοχή μελέτης είναι το αστικό κέντρο της Λεμεσού κοντά στην περιοχή του ΤΕΠΑΚ. Ο εξοπλισμός με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις βρίσκεται εγκατεστημένος στο κτίριο Δωροθέα, όπου στεγάζονται οι χώροι διεξαγωγής μαθημάτων και τα εργαστήρια των μηχανολόγων μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει το σύστημα LIDAR, το ηλιακό φωτόμετρο Cimel και τη συσκευή Dust Trak (Model 8533 και Model 8520).

Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και σε τέσσερις άλλες περιοχές της Λεμεσού, στην βιομηχανική περιοχή Ύψωνα, στο λιμάνι, στα Πολεμίδια και τέλος στην περιοχή της Λεωφόρου Μακαρίου. Από τις μετρήσεις που λήφθηκαν στο λιμάνι, παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά ρύπανσης σε σχέση με τις τρεις άλλες περιοχές, γεγονός που μας παρότρυνε να πραγματοποιήσουμε επιπλέον μετρήσεις στην περιοχή αυτή για εύρεση της διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών των πιο πάνω περιοχών περιγράφονται παρακάτω.



**Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης**

Βιομηχανική περιοχή Ύψωνα (βλέπε εικόνα 5): Ο Ύψωνας είναι ένα από τα μεγαλύτερα χωριά της επαρχίας Λεμεσού με 8500 κατοίκους. Βρίσκεται 7 περίπου χιλιόμετρα δυτικά της πόλης της Λεμεσού σε μέσο υψόμετρο 90 μέτρων. Χαρακτηρίζεται από μια ανθηρή βιομηχανική ανάπτυξη με κυριότερα είδη βιομηχανίας την αλλαντοποιία, την τυροκομία, τα πριονιστήρια, τα είδη μετάλλου και επινικέλωσης, την κατασκευή ψυγείων, τσιμεντόλιθων και τσιμεντοσωλήνων, ξύλινων επίπλων, την παρασκευή φαρμάκων καθώς επίσης και τη συσκευασία γεωργικών προϊόντων. Ο αριθμός των ατόμων που εργάζονται στη βιομηχανία είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος της επαρχίας Λεμεσού.



**Εικόνα 5: Βιομηχανική Περιοχή Ύψωνα**

Λιμάνι Λεμεσού (βλέπε εικόνα 6): Το λιμάνι της Λεμεσού, λιμάνι πολλαπλής χρήσης, είναι το κύριο λιμάνι της Κύπρου που ξεκίνησε τη λειτουργία του μετά το πραξικόπημα και την Τουρκική εισβολή του 1974. Ουσιαστικά, ξεκίνησε να εργάζεται ως το βασικό λιμάνι της χώρας, μόνο μετά που καταλήφθηκε από τους Τούρκους το λιμάνι της Αμμοχώστου. Προσφέρει υπηρεσίες για εξυπηρέτηση πλοίων, φορτοεκφόρτωση φορτίων και διακίνηση επιβατών. Ο λιμενικός θαλάσσιος χώρος του καλύπτει έκταση ενός τετρ. χιλ. και ο χερσαίος χώρος του καλύπτει έκταση 1,3 τετρ. χιλιόμετρα (km<sup>2</sup>).



**Εικόνα 6: Λιμάνι Λεμεσού**



Κάτω Πολεμίδια Λεμεσού (βλέπε εικόνα 7): Τα Κάτω Πολεμίδια είναι προάστιο στα βορειοδυτικά της Λεμεσού και ανεξάρτητος δήμος της Κύπρου από το 1986. Απέχει 5 χιλιόμετρα από τη Λεμεσό, έχει έκταση 2 130 εκτάρια, πληθυσμό 25 000 περίπου κατοίκους, και διοικητικά έχει έξι ενορίες, του Αγίου Νικολάου, της Παναγίας Ευαγγελίστριας, του Αρχάγγελου Μιχαήλ, του Απόστολου Βαρνάβα, του Μακάριου Γ΄ και την Ανθούπολη. Στα Κάτω Πολεμίδια υπάρχει η Βιομηχανική περιοχή Λεμεσού.



**Εικόνα 7: Κάτω Πολεμίδια Λεμεσού**

Περιοχή Λεωφόρου Μακαρίου (βλέπε εικόνα 8): Η λεωφόρος αυτή θεωρείται μία από τις πιο πολυσύχναστες λεωφόρους της Λεμεσού. Είναι εμπορική με αρκετά καταστήματα, εστιατόρια και χώρους ψυχαγωγίας ενώ εκεί υπάρχει και ένας σταθμός του Τμήματος Επιθεώρησης Εργασίας. Παρουσιάζει αρκετά υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, για αυτό και επιλέχθηκε σαν υποπεριοχή μελέτης.



**Εικόνα 8:** Περιοχή στη Λεωφόρο Μακαρίου όπου λήφθηκαν μετρήσεις  $PM_{10}$

### **3.3. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε**

#### **3.3.1. LIDAR**

Η συσκευή LIDAR (βλέπε εικόνα 9) περιγράφεται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 1.2.3.



**Εικόνα 9:** Η συσκευή Lidar που χρησιμοποιήθηκε

### 3.3.2. Ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel

Ένα ηλιακό φωτόμετρο είναι ένας τύπος φωτομέτρου σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι στραμμένο προς τον ήλιο. Είναι αυτοματοποιημένο όργανο που ενσωματώνει μια μονάδα Sun-tracking, ένα κατάλληλο οπτικό σύστημα, μια συσκευή φασματικού φιλτραρίσματος, ένα φωτοανιχνευτή και ένα σύστημα ανάκτησης δεδομένων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών φωτομέτρων από διαφορετικούς κατασκευαστές, ένα από τα οποία είναι το φωτόμετρο τύπου Cimel που παρουσιάζεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel

#### 3.3.2.1. Αρχή λειτουργίας

Όταν ένα ηλιακό φωτόμετρο τοποθετηθεί κάπου μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης, η μετρούμενη ακτινοβολία δεν είναι ίση με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο, επειδή η ηλιακή ροή μειώνεται από την ατμοσφαιρική απορρόφηση και σκέδαση. Ως εκ τούτου, η μετρούμενη ροή ακτινοβολίας είναι συνδυασμός της εκπομπής από τον ήλιο και της επίδρασης της ατμόσφαιρας.

Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε προκαθορισμένα διακριτά μήκη κύματος στα ορατά και κοντινά τμήματα του υπέρυθρου φάσματος (IR) για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της ατμοσφαιρικής μετάδοσης και σκέδασης. Παίρνει μετρήσεις μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η ατμοσφαιρική επίδραση μπορεί να αφαιρεθεί με την παρέκταση Langley (Langley extrapolation). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει, συνεπώς, τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας με επίγειες μετρήσεις. Μόλις η ακτινοβολία γίνει γνωστή, το ηλιακό φωτόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ατμόσφαιρας, και ειδικότερα για τον προσδιορισμό του ατμοσφαιρικού οπτικού πάχους. Επίσης, εάν το σήμα σε δύο ή περισσότερα κατάλληλα επιλεγμένα φασματικά χρονικά διαστήματα μετρηθεί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες που προκύπτουν για τον υπολογισμό της κατακόρυφης συγκέντρωσης των επιλεγμένων ατμοσφαιρικών αερίων, όπως οι υδρατμοί, το όζον, κλπ.

### 3.3.3. DUST TRAK

Το Dust Trak έχει την ιδιότητα να μετρά διαφορετικά μεγέθη του μετρούμενου αερολύματος και επίσης να πραγματοποιεί μια φωτομετρική μέτρηση βασισμένη στη μάζα. Χρησιμοποιεί μια μέθοδο που διαχωρίζει ταυτόχρονα τα σωματίδια των συγκεντρώσεων σκόνης ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , Respirable/ $PM_4$ ,  $PM_{10}$ /Thoracic, και TPM) από ένα ευρύ διάστημα συγκέντρωσης ( $0.001-150 \text{ mg/m}^3$ ) σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος συνδυάζει μια φωτομετρική μέτρηση για να καλύψει το διάστημα μαζικής συγκέντρωσης και μια ενιαία μέτρηση ανίχνευσης μορίων για να είναι σε θέση να ταξινομήσει σε ομάδες το επιλεγέν αερόλυμα. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έχουν χρησιμοποιηθεί τα Dust Trak με αριθμό μοντέλου 8533 και 8520 (βλέπε εικόνα 11).



**Εικόνα 11: Η συσκευή Dust Trak (model 8533) και Dust Trak (model 8520)**

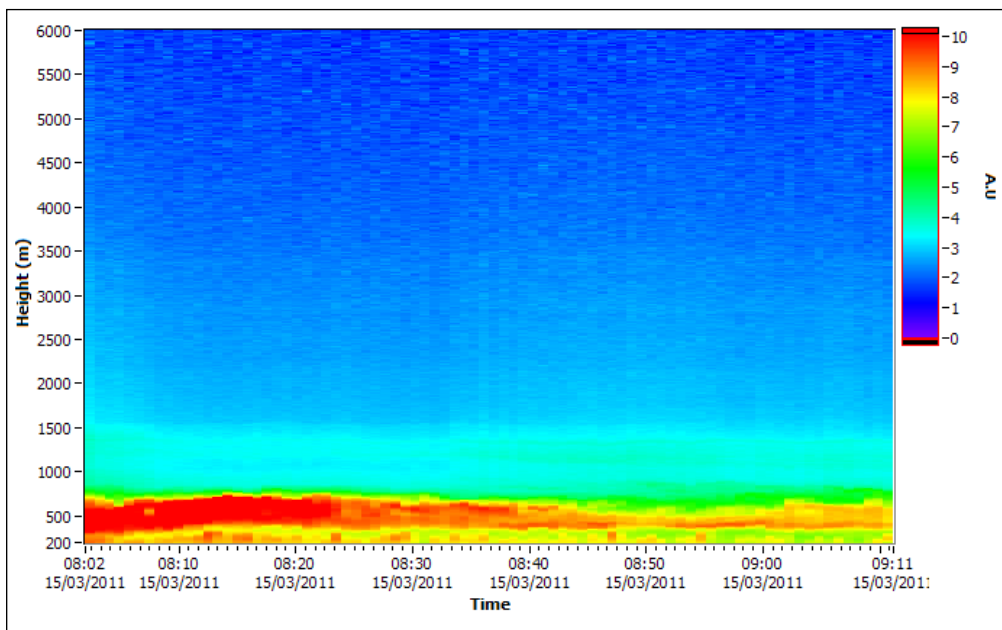
## **4 Επεξεργασία μετρήσεων/ Αποτελέσματα**

### **4.1. Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε**

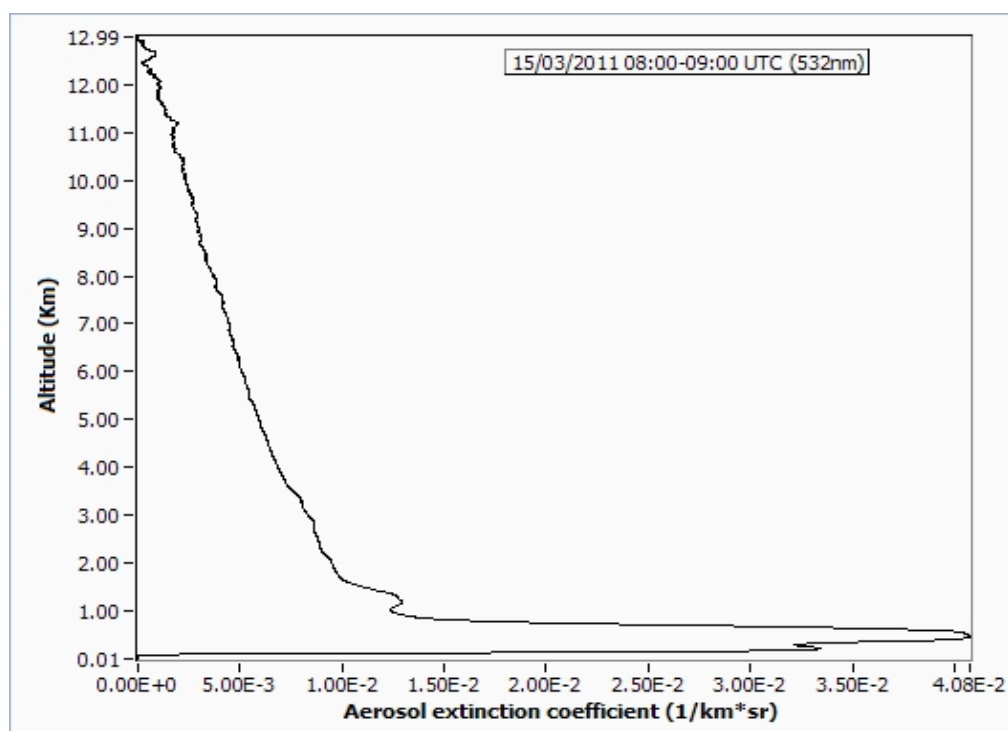
- Μετρήσεις με τη χρήση της τεχνικής LIDAR για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Μετρήσεις PM<sub>10</sub> από τη συσκευή Dust Trak σε 4 διαφορετικές περιοχές της Λεμεσού με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση.
- Μετρήσεις AOT από το ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel στο αστικό κέντρο της Λεμεσού και υπολογισμός των μηνιαίων μεταβολών του AOT από τον Απρίλιο έως τον Αύγουστο του 2010 και από το Γενάρη έως τον Μάρτιο του 2011 με σκοπό τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Μετρήσεις AOT και PM<sub>10</sub> και ανάπτυξη εξίσωσης που να συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους.

### **4.2. Μετρήσεις με τη συσκευή LIDAR**

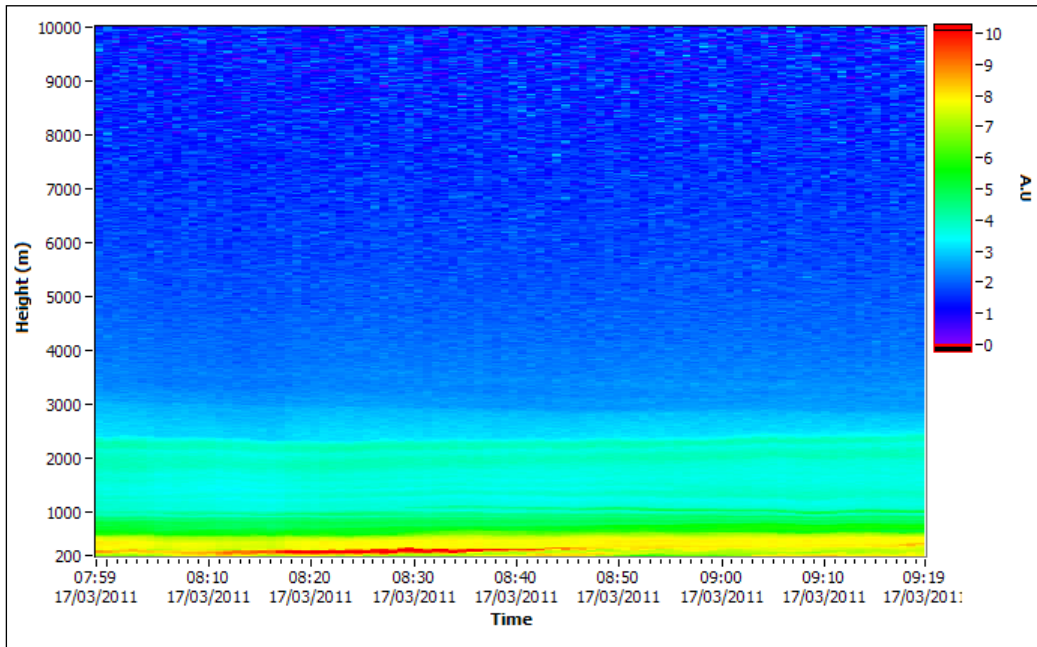
Οι μετρήσεις με τη συσκευή Lidar πραγματοποιήθηκαν στις 15/03/2011, 17/03/2011, 18/03/2011, 22/03/2011 και 24/03/2011. Οι μετρήσεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα (βλέπε γραφήματα 2-11) όπου παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar και ο συντελεστής εξασθένησης.



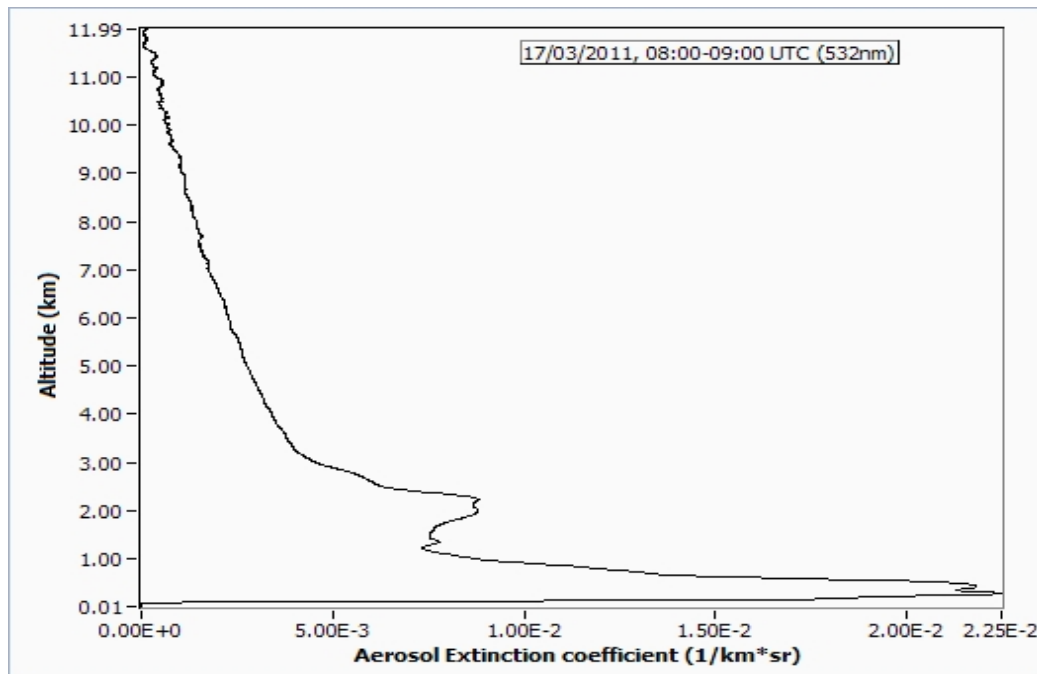
Γράφημα 2: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 15/03/2011



Γράφημα 3: Συντελεστής εξασθένισης στις 15/03/2011

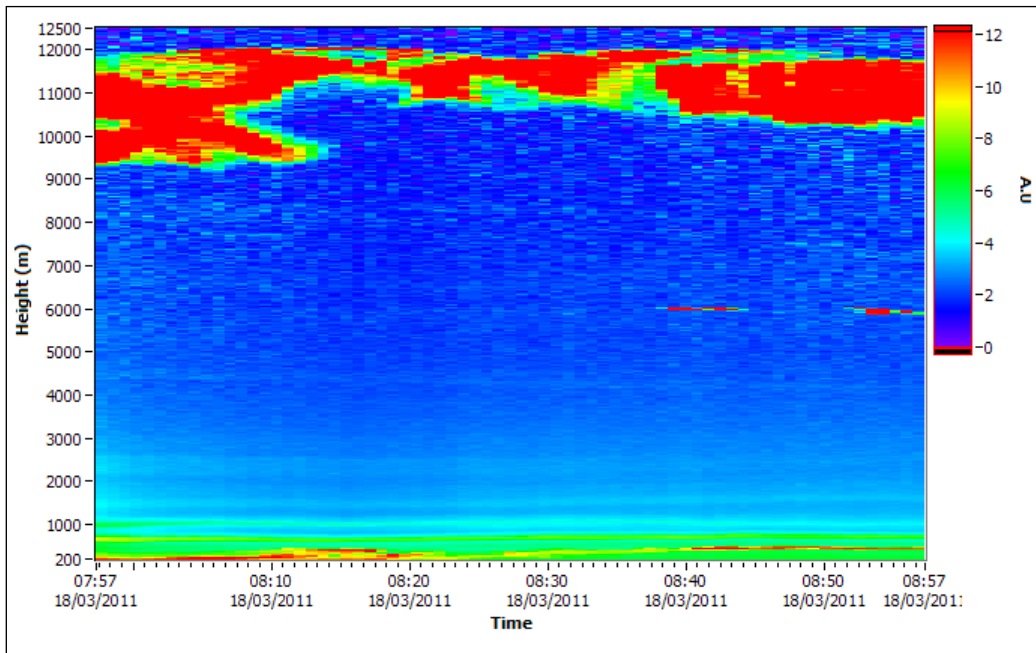


**Γράφημα 4: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 17/03/2011**

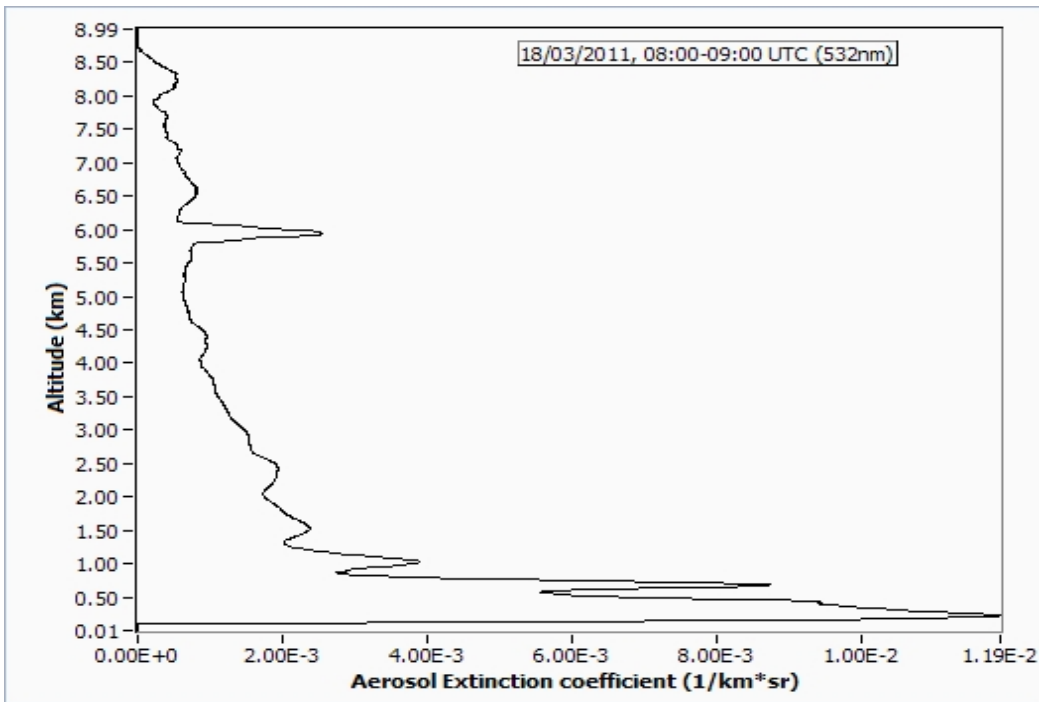


**Γράφημα 5: Συντελεστής εξασθένησης στις 17/03/2011**



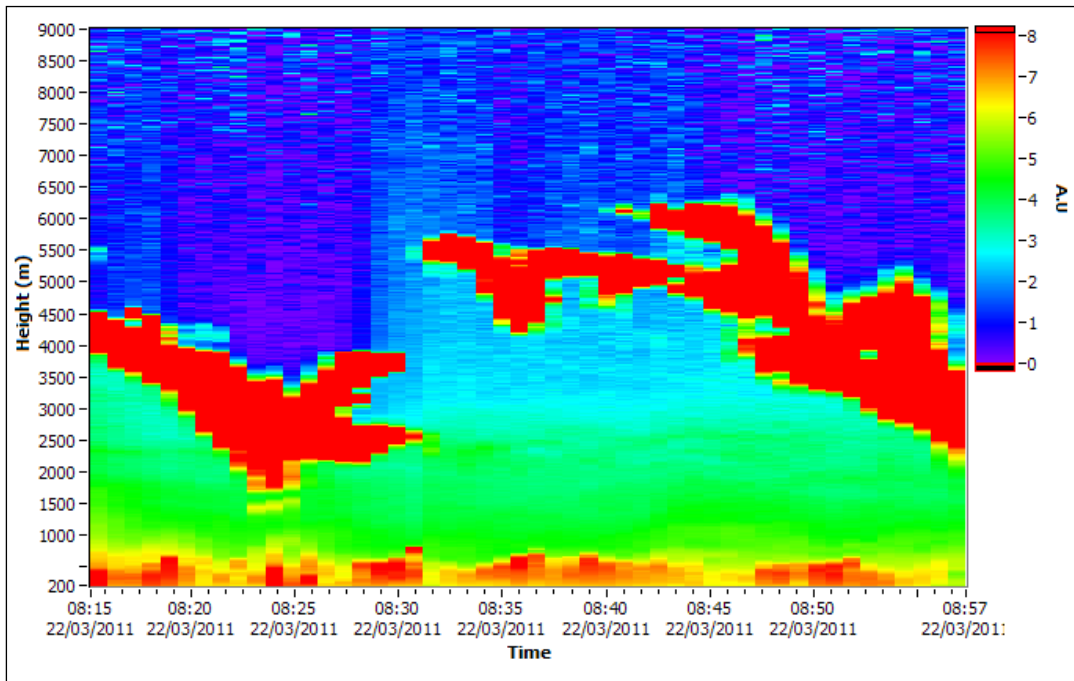


Γράφημα 6: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 18/03/2011

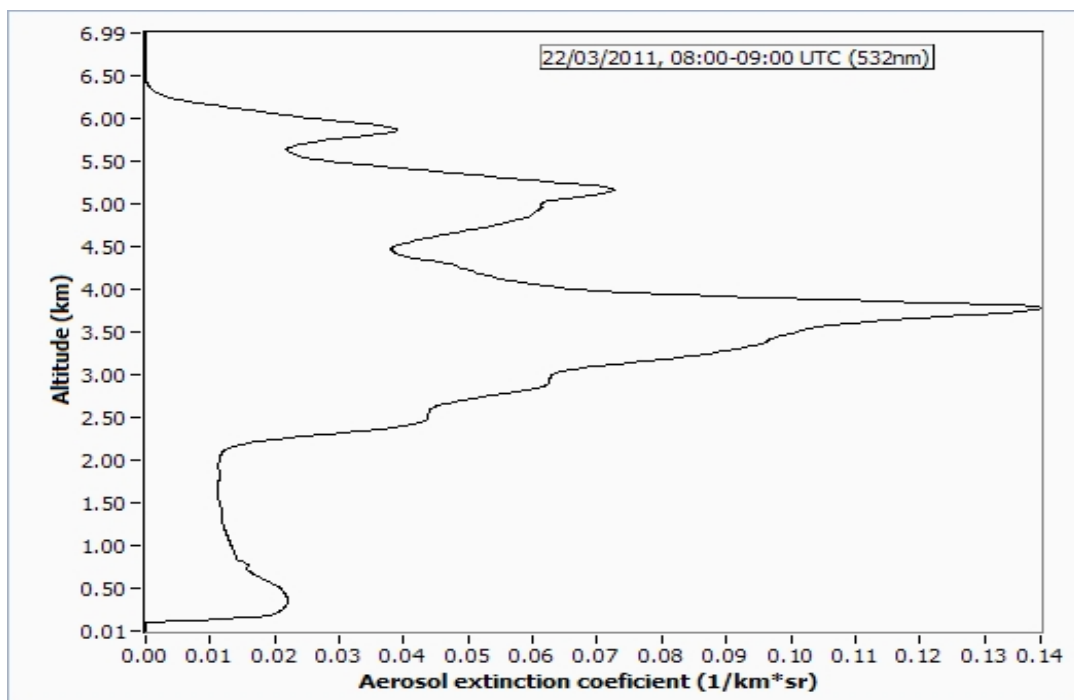


Γράφημα 7: Συντελεστής εξασθένησης στις 18/03/2011

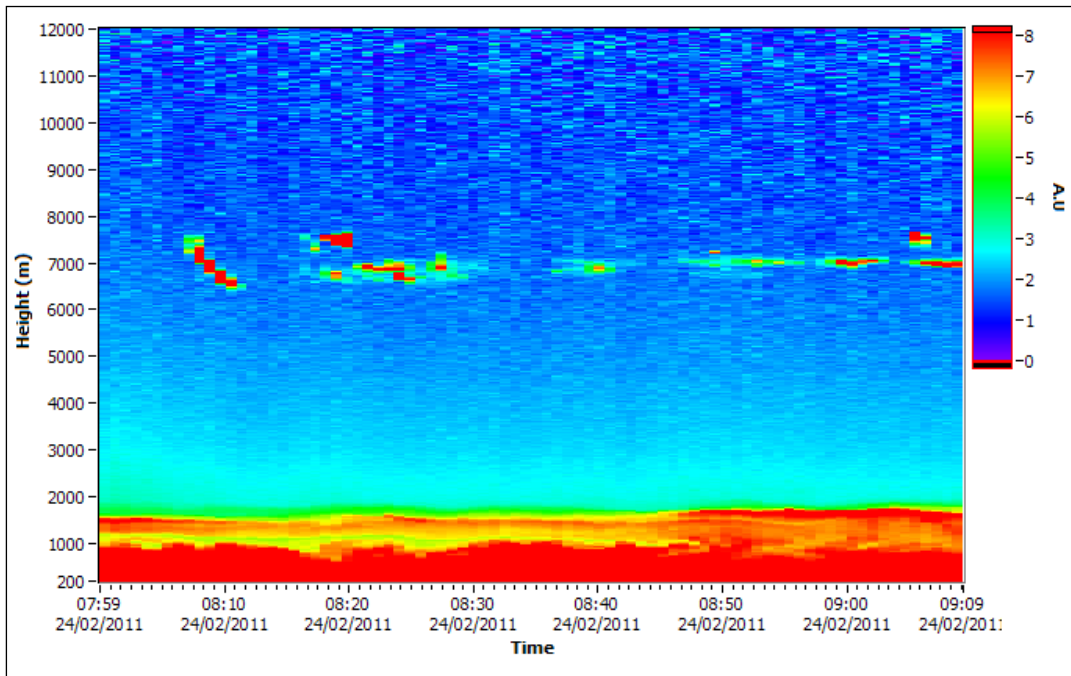




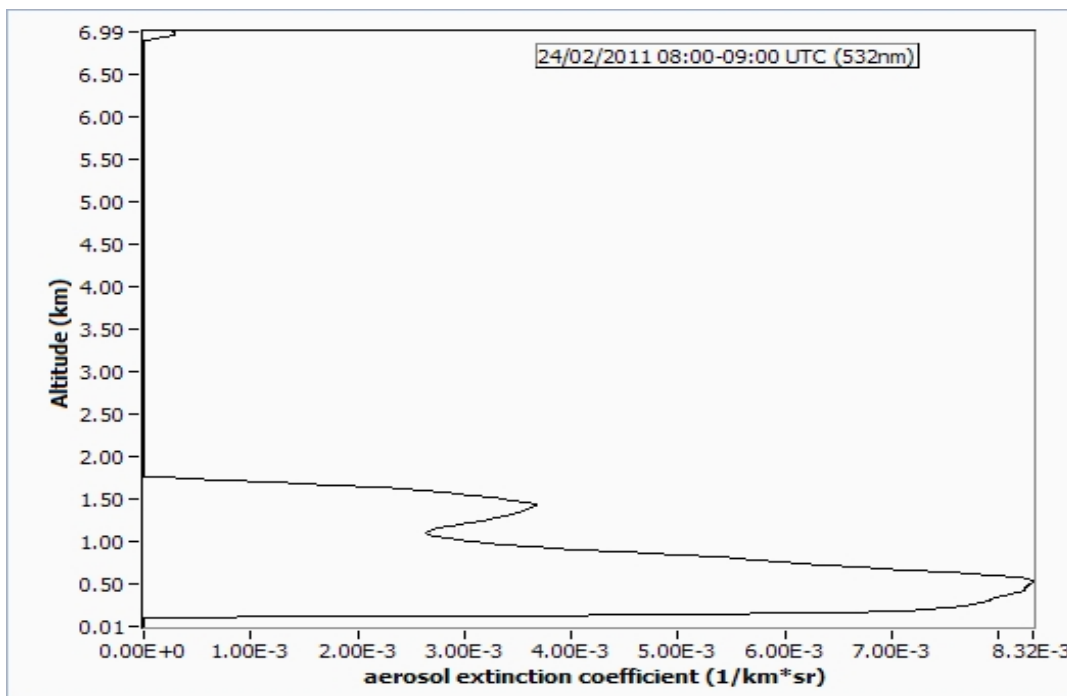
Γράφημα 8: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 22/03/2011



Γράφημα 9: Συντελεστής εξασθένησης στις 22/03/2011



Γράφημα 10: Χρονική Εξέλιξη της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar στις 24/03/2011



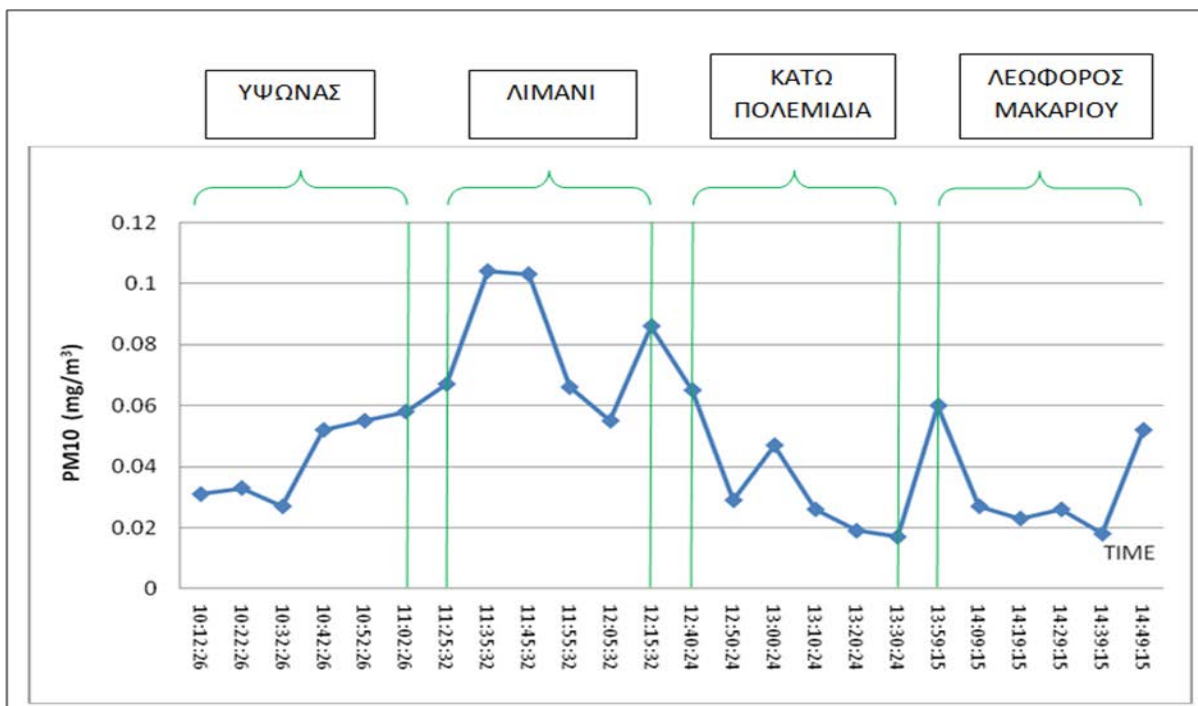
Γράφημα 11: Συντελεστής εξασθένησης στις 24/03/2011

Η πρώτη στρωμάτωση που παρατηρείται στα γραφήματα της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος Lidar αποτελεί το ΑΟΣ και τα αερολύματα σε αυτό το τμήμα οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. βιομηχανία, κυκλοφορία).

Στις 18/03/2011 εκτός από το κατώτερο στρώμα (200-2000 μέτρα) παρατηρούνται άλλα 5 επιπλέον στρώματα στα 1000, 1500, 2500, 4500 και 6000 μέτρα. Είναι χαρακτηριστική η υψηλή τιμή  $AOT = 0,581$  που παρατηρείται συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες μέρες που λήφθηκαν μετρήσεις. Η στρωμάτωση αυτή στα πρώτα 4 στρώματα οφείλεται σε ρύπους που προέρχονται από απομακρυσμένες πηγές ενώ στα 6000 μέτρα οφείλεται σε μεσαία νέφη που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Παρομοίως, ο συντελεστής οπισθοσκέδασης εκτός από το ότι παρουσιάζει μέγιστη (peak) τιμή στο οριακό στρώμα, παρουσιάζει άλλες 5 μέγιστες τιμές στα ύψη που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί πως σε όλες τις ημερομηνίες, εκτός από τις 22/03/2011 όπου η χαμηλή νέφωση δεν μας έδωσε ικανό σήμα Lidar για περαιτέρω συμπεράσματα, παρατηρείται ένα δευτερεύον μέγιστο σε ύψος 1,5-2 χιλιόμετρα το οποίο πιθανόν να αποτελεί μεταφορά σωματιδίων από απομακρυσμένες πηγές ρύπανσης.

### **4.3. Μετρήσεις $PM_{10}$ – Ύψωνα, Λιμάνι, Κάτω Πολεμίδα, Λεωφόρος Μακαρίου**

Οι μετρήσεις των  $PM_{10}$  στον Ύψωνα, στο λιμάνι, στα Κάτω Πολεμίδα και στη λεωφόρο Μακαρίου λήφθηκαν στις 24/2/2011. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Λιμανιού, γεγονός που μας ώθησε στην πραγματοποίηση περαιτέρω μετρήσεων. Οι τιμές των μετρήσεων αυτών φαίνονται στο γράφημα που ακολουθεί.



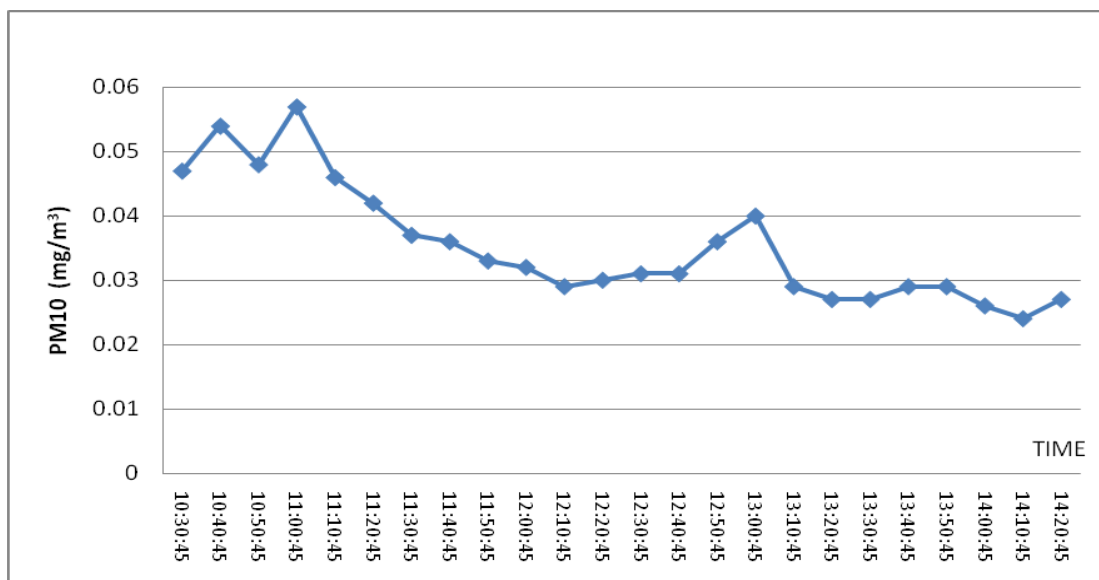
Γράφημα 12: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 8/2/2011 στις περιοχές Ύψωνας, Λιμάνι, Κάτω Πολεμίδια και Μακαρίου

#### 4.3.1. Μετρήσεις PM<sub>10</sub> – Λιμάνι

Οι μετρήσεις των PM<sub>10</sub> λήφθηκαν στις 15/3/2011, 17/3/2011, 18/3/2011 και 22/3/2011. Η διακύμανση των τιμών αυτών φαίνεται στα γραφήματα 13-16. Κάποιες μέγιστες (peak) τιμές πιθανότατα να οφείλονται σε τοπικές πηγές ρύπανσης (διέλευση βαρέων οχημάτων). Στον Πίνακα 2 αναγράφονται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή των PM<sub>10</sub> καθώς και κάποια μετεωρολογικά δεδομένα.

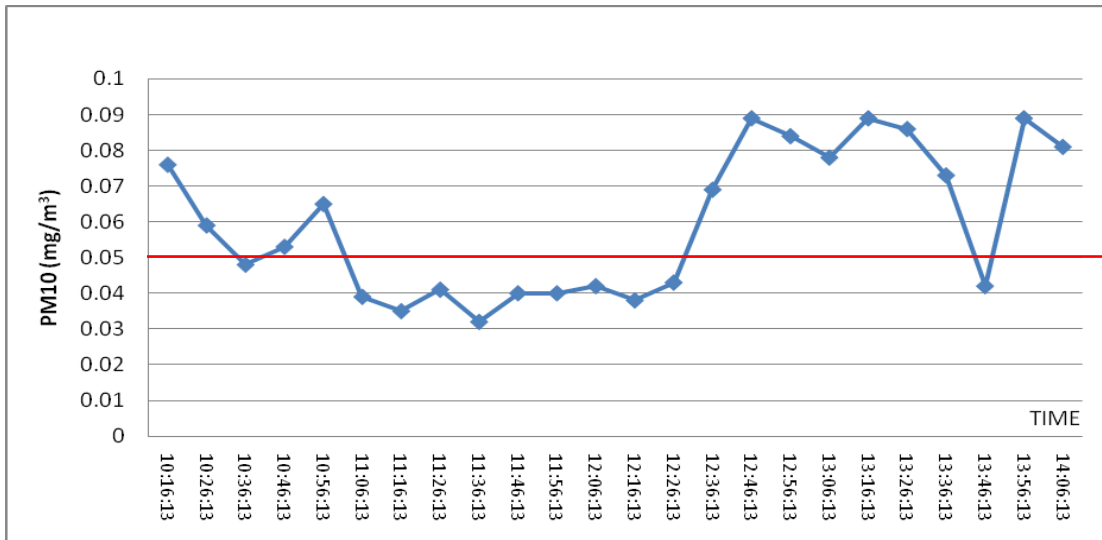
**Πίνακας 2: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές PM<sub>10</sub> και Μετεωρολογικά δεδομένα**

Ημερομηνία	Ελάχιστη τιμή (mg/m <sup>3</sup> )	Μέγιστη τιμή (mg/m <sup>3</sup> )	Ταχύτητα Ανέμου (kt)	Διεύθυνση Ανέμου	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (%)
15/3/2011	0,025	0,057	9-13	Ανατολικός	18-19	52-68
17/3/2011	0,03	0,09	6	Ανατολικός	18-19	46-52
18/3/2011	0,03	0,07	4	Ανατολικός	18-19	54-60
22/3/2011	0,017	0,027	14-15	Δυτικός	18-19	56-64



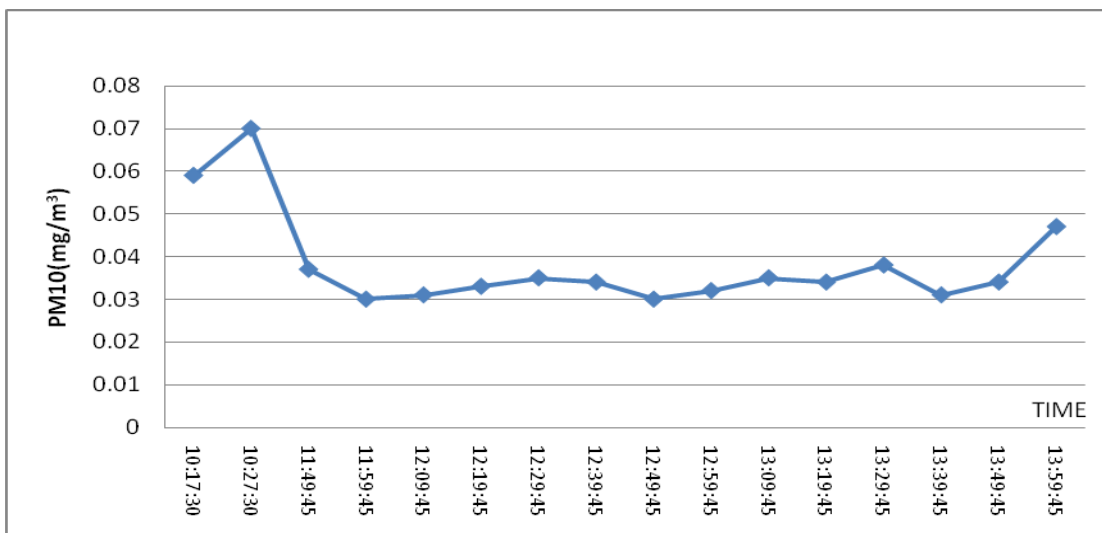
**Γράφημα 13: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 15/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού**

Στις 15/03/2011 οι τιμές των PM<sub>10</sub> κυμάνθηκαν μεταξύ 0,025 και 0,057 mg/m<sup>3</sup>. Η ταχύτητα του ανέμου ξεκίνησε στους 13 κόμβους και έπεσε στους 9 κατά τη διάρκεια της μέτρησης κάτι που επεξηγεί την έντονη διακύμανση στη συγκέντρωση των ρύπων την 1<sup>η</sup> ώρα της μέτρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διεύθυνση του ανέμου ήταν ανατολική, πράγμα που υποδηλώνει ότι είχαμε σωματίδια που προέρχονταν κυρίως από τη θάλασσα (αλάτι).



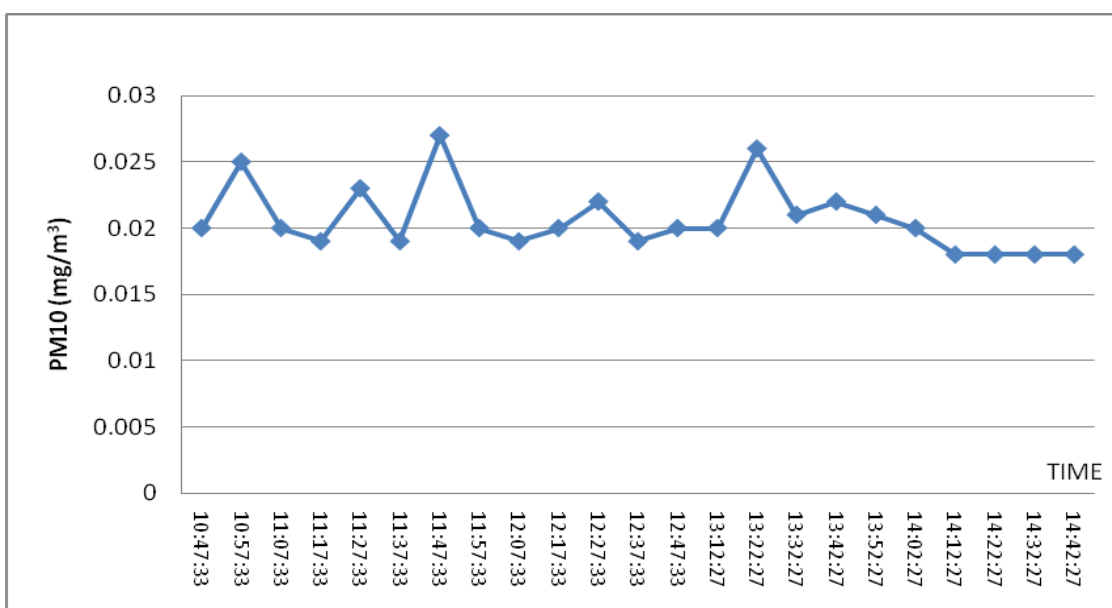
**Γράφημα 14: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 17/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού**

Στις 17/03/2011 οι τιμές των PM<sub>10</sub> κυμάνθηκαν μεταξύ 0,03 και 0,09 mg/m<sup>3</sup>. Η ταχύτητα του ανέμου ήταν σχετικά χαμηλή, γεγονός που βοήθησε στη διατήρηση των υψηλών συγκεντρώσεων των ρύπων στην περιοχή όπου παρατηρήθηκε υπέρβαση του ορίου των 0,05 mg/m<sup>3</sup> 13 φορές στις 24. Όπως και προηγουμένως, η διεύθυνση του ανέμου ήταν ανατολική, πράγμα που υποδηλώνει ότι είχαμε σωματίδια που προέρχονταν κυρίως από τη θάλασσα (αλάτι).



**Γράφημα 15: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 18/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού**

Στις 18/03/2011 οι τιμές των  $PM_{10}$  κυμάνθηκαν μεταξύ 0,03 και 0,07  $mg/m^3$ . Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου ήταν όπως τις προηγούμενες μέρες. Παρόλο που οι μετεωρολογικές συνθήκες αυτές τις δύο ημέρες ήταν οι ίδιες, οι διαφορές των συγκεντρώσεων πιθανόν να οφείλονται στο διαφορετικό "φόρτο - κίνηση" του λιμανιού. Αξίζει να σημειωθεί πως παρά τις χαμηλές τιμές  $PM_{10}$  που παρατηρήθηκαν, η υψηλή τιμή  $AOT = 0,581$  οφείλεται στην ύπαρξη των στρωμάτων που φαίνονται στο γράφημα 6. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές  $MP_{10}$  αντιστοιχούν στο  $AO\Sigma$  ενώ οι τιμές  $AOT$  αντιστοιχούν σε όλη τη στήλη της ατμόσφαιρας (πολλαπλά στρώματα σκόνης).



**Γράφημα 16: Διακύμανση  $PM_{10}$  στις 22/3/2011 στην περιοχή του Λιμανιού**

Στις 22/03/2011 οι τιμές των  $PM_{10}$  κυμάνθηκαν μεταξύ 0,017 και 0,027  $mg/m^3$ . Η συγκέντρωση των ρύπων διατηρήθηκε σε σταθερά επίπεδα, χαμηλότερα από τις προηγούμενες μέρες, γεγονός που οφείλεται κύρια στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της μέτρησης αυτής πραγματοποιήθηκε υγρή εναπόθεση ρύπων λόγω βροχόπτωσης.

#### 4.4. Μετρήσεις ΑΟΤ – Αστικό κέντρο Λεμεσού

Η επεξεργασία των μετρήσεων του ΑΟΤ που λήφθηκαν στο αστικό κέντρο της Λεμεσού κατά τη διάρκεια ορισμένων μηνών των ετών 2010 και 2011 έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 3. Στη συνέχεια φαίνεται το γράφημα της διακύμανσης του ΑΟΤ ενός από τους μήνες που μελετήθηκαν, του Απρίλη του 2010. Για τα γραφήματα των υπόλοιπων μηνών βλέπε Παράρτημα 2 (γραφήματα 20-26).

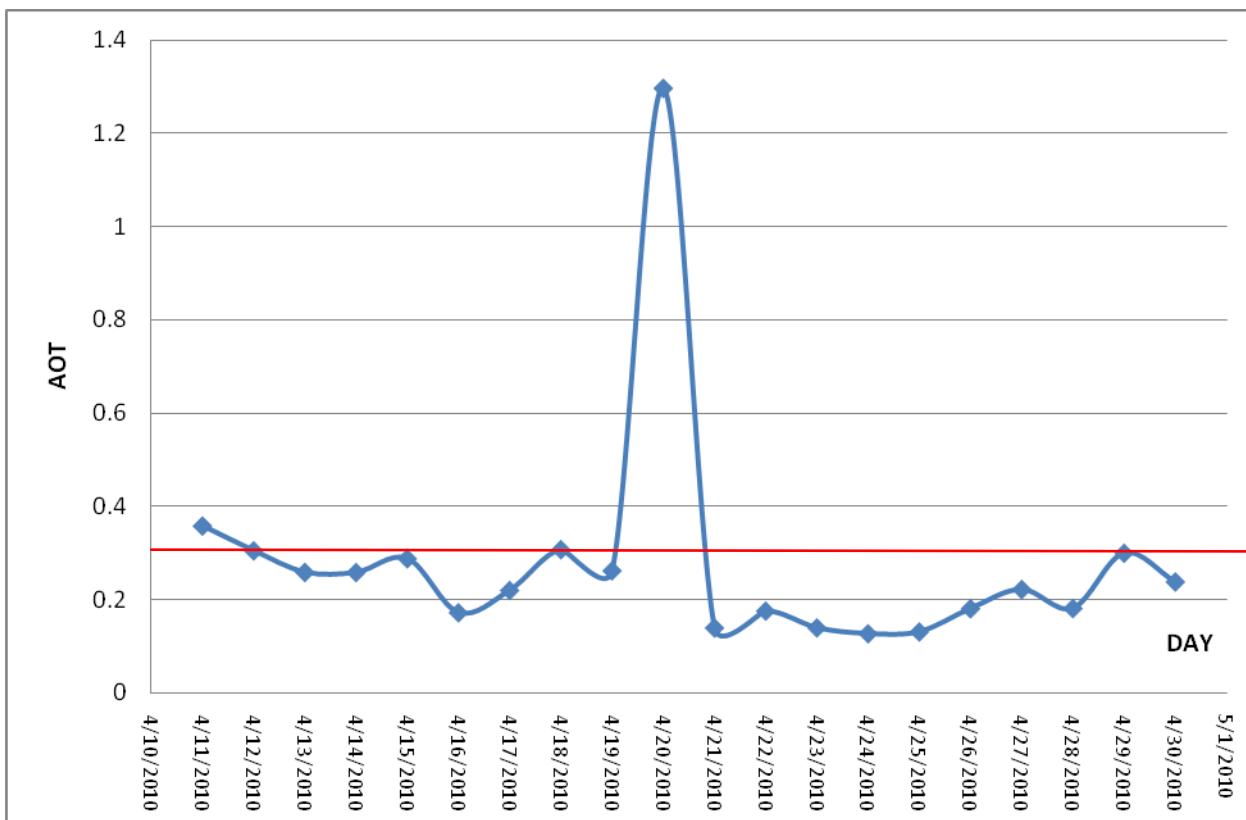
Πίνακας 3: Μετρήσεις ΑΟΤ στο αστικό κέντρο της Λεμεσού

ΑΟΤ				
ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
ΑΠΡΙΛΗΣ	2010	0.128	1.297	0.279
ΜΑΗΣ	2010	0.096	1.177	0.313
ΙΟΥΝΗΣ	2010	0.160	0.715	0.297
ΙΟΥΛΗΣ	2010	0.169	0.683	0.332
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2010	0.353	0.785	0.576
ΓΕΝΑΡΗΣ	2011	0.069	0.485	0.241
ΦΕΒΡΑΡΗΣ	2011	0.066	0.371	0.156
ΜΑΡΤΗΣ	2011	0.074	0.452	0.170

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται τους μήνες Μάιο – Αύγουστο, κάτι που αναμένεται τους καλοκαιρινούς μήνες. Έχοντας δεδομένο ότι στη βιβλιογραφία η τιμή 0,3 αποτελεί όριο για το ΑΟΤ παρατηρούμε ότι η τιμή αυτή πλησιάζει είτε ξεπερνιέται τους



καλοκαιρινούς μήνες. Παρόλα αυτά και τους υπόλοιπους μήνες η τιμή αυτή ξεπερνιέται (μέγιστη τιμή).



**Γράφημα 17: Διακύμανση AOT τον Απρίλιο του 2010**

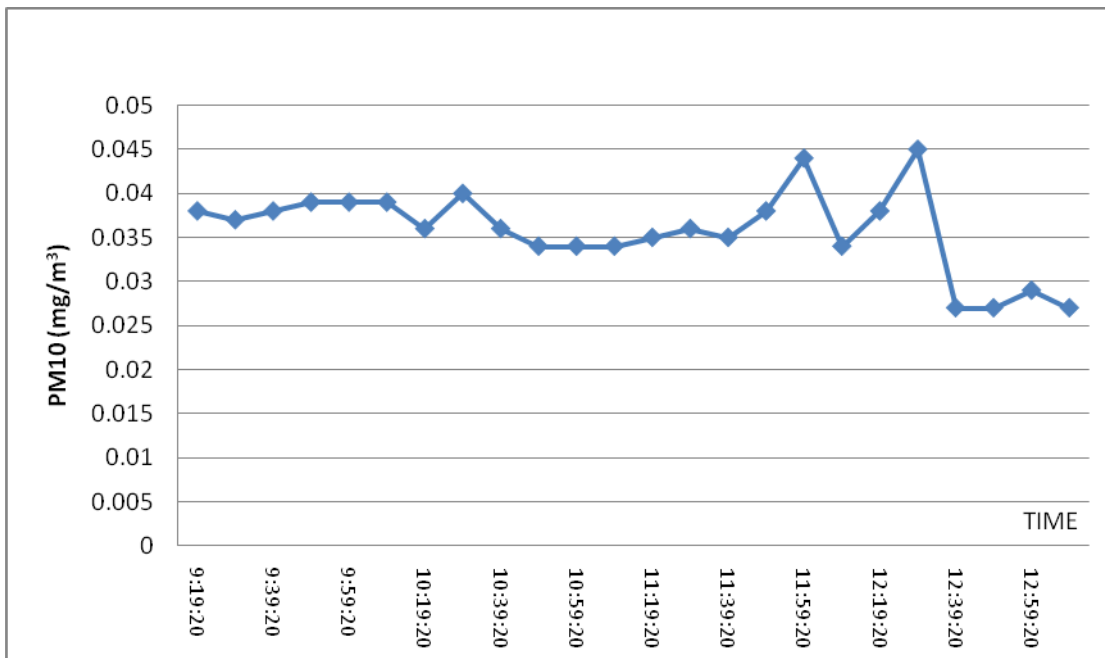
Το όριο 0.3 για το AOT έχει προκύψει από τη συσχέτιση  $PM_{10}$  με AOT από βιβλιογραφικές αναφορές αλλά και από την παρούσα εργασία.

Η μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται στο Γράφημα 17 οφείλεται στη διέλευση σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας (τροχιές αέριων μαζών από το μοντέλο HYSPLIT). Τα υπόλοιπα γραφήματα απεικονίζονται στο Παράρτημα 2 (βλέπε γραφήματα 20-26).

## 4.5. Μετρήσεις $PM_{10}$ και ΑΟΤ

### 4.5.1. Μετρήσεις $PM_{10}$ - Κτίριο Δωροθέα

Οι μετρήσεις των  $PM_{10}$  λήφθηκαν για ορισμένες μέρες για το μήνα Φεβρουάριο (8/2/2011, 9/2/2011, 10/2/2011, 11/2/2011, 16/2/2011) και το μήνα Μάρτιο (1/3/2011, 2/3/2011, 3/3/2011, 4/3/2011, 5/3/2011, 8/3/2011, 10/3/2011, 11/3/2011, 14/3/2011, 15/3/2011, 16/3/2011, 17/3/2011, 18/3/2011, 21/3/2011, 22/3/2011) του 2011. Παρακάτω παρατίθεται η γραφική παράσταση της διακύμανσης του ΑΟΤ από μετρήσεις που λήφθηκαν στις 8 Φεβρουαρίου του 2011. Τα υπόλοιπα γραφήματα απεικονίζονται στο Παράρτημα 3 (βλέπε γραφήματα 27-45).

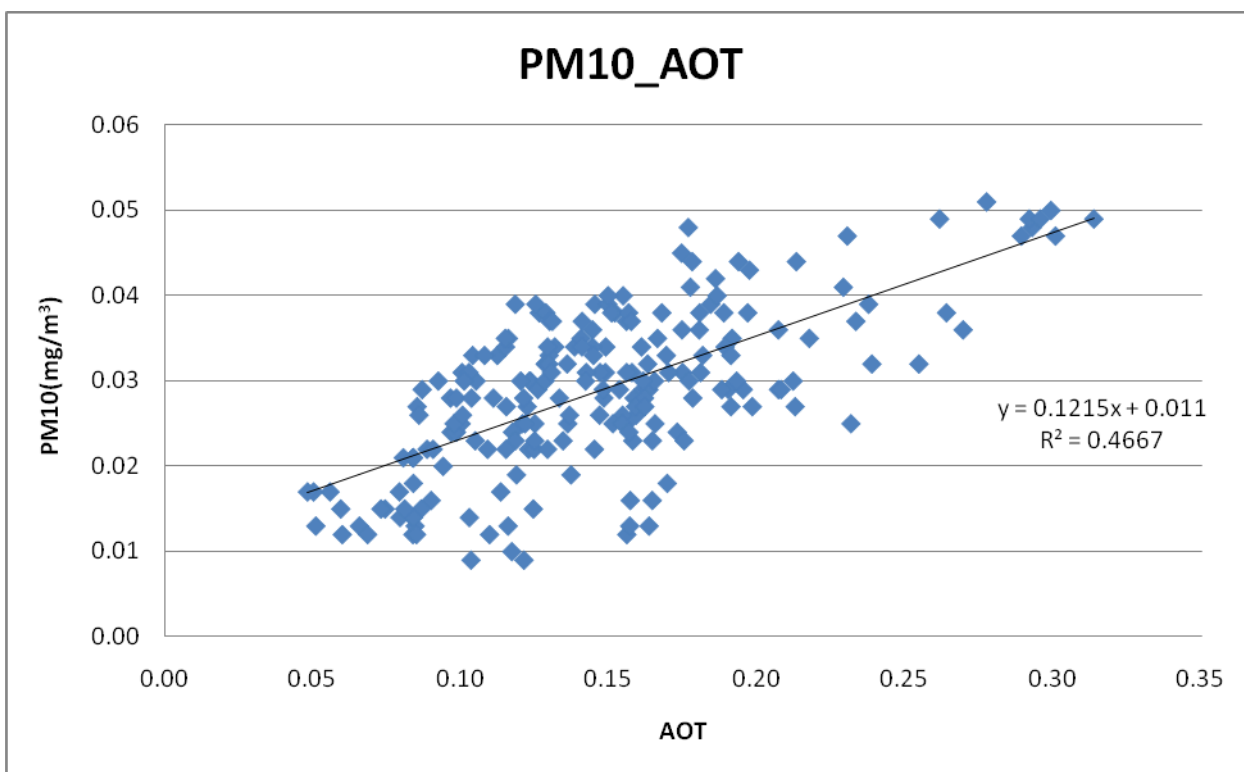


Γράφημα 18: Διακύμανση  $PM_{10}$  στις 8/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού

#### 4.5.2. Συσχέτιση PM<sub>10</sub> με AOT

- Αστικό κέντρο Λεμεσού

Χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις των PM<sub>10</sub> και του AOT για τις ίδιες μέρες και τις ίδιες ώρες με πιθανή απόκλιση 5 λεπτά.



Γράφημα 19: Συσχέτιση PM<sub>10</sub> με AOT

Από το Γράφημα 19 (συσχέτιση των PM<sub>10</sub> συναρτήσει του AOT) προκύπτει η εξίσωση

$$PM_{10} = 0,1215 \cdot AOT + 0,011$$

με συντελεστή συσχέτισης  $R = 0,68$ .

Η εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  αντιπροσωπεύει τα PM<sub>10</sub> ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  αντιπροσωπεύει το AOT.

Η πιο πάνω ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Microsoft Excel καθώς επίσης και με τη χρήση του προγράμματος Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 19.0 (SPSS) PC Inc, Chicago, Illinois, ΗΠΑ. Στη συνέχεια, με τη χρήση του προγράμματος SPSS εξετάστηκε εάν τα αποτελέσματα που βρέθηκαν είναι στατιστικά αποδεκτά.

Μια πρώτη εντύπωση για τη σχέση των δυο μεταβλητών φαίνεται από το γράφημα 19. Το γράφημα δείχνει καθαρά να υπάρχει μια θετική γραμμική σχέση και επομένως δικαιολογείται η περαιτέρω διερεύνηση της σχέσης με το απλό γραμμικό μοντέλο.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου (παλινδρόμησης) μέσω της ανάλυσης διακύμανσης ANOVA έδειξαν ότι η γραμμική σχέση είναι σημαντική αφού η τιμή του  $F=185.21$  είναι μεγαλύτερη από το  $F_{critical} = 3,87$  και το  $p<0.001$ .

Ο στατιστικός έλεγχος για το κατά πόσον η τιμή του συντελεστή  $\beta=0$  ή όχι έγινε με τον έλεγχο t-test και το αποτέλεσμα έδωσε τιμή  $t=7.889$  και το  $p<0.001$  που δείχνει καθαρά ότι ο συντελεστής  $\beta$  δεν μπορεί να είναι μηδέν και επομένως υπάρχει τιμή της παραμέτρου  $\beta$  που είναι θετική. Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για το  $\beta$  είναι (0.104 , 0.139).

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του AOT και των  $PM_{10}$  είναι  $R=0.683$  του οποίου ο έλεγχος είναι επίσης στατιστικά σημαντικός με  $p<0.001$ . Ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2=0.467$  δείχνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή X ερμηνεύει 46.7% της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής Y. Φυσικά αυτό επίσης σημαίνει ότι το υπόλοιπο 53.3% της μεταβλητότητας του Y οφείλεται σε άλλους παράγοντες.

Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι όλοι οι έλεγχοι που διενεργήθηκαν (ANOVA για το συνολικό μοντέλο, ο έλεγχος του συντελεστή  $\beta$  και ο έλεγχος του συντελεστή συσχέτισης  $r$ ) καταδεικνύουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική σχέση μεταξύ των  $PM_{10}$  και AOT.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εν λόγω πτυχιακής εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Από τα γραφήματα της χρονικής εξέλιξης της κατακόρυφης κατανομής της έντασης του σήματος που προέκυψαν από τις μετρήσεις με την τεχνική Lidar, παρατηρήθηκε πως πέραν του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ΑΟΣ), ορισμένες φορές παρατηρούνται επιπλέον στρώματα που οφείλονται στη διασυνοριακή μεταφορά ρύπων ή/και σε νέφωση. Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε πως πέραν της βιομηχανικής δραστηριότητας και της κυκλοφορίας των οχημάτων, και η διασυνοριακή ρύπανση είναι μία από τις αιτίες που παρατηρούνται ορισμένες φορές υψηλές τιμές ΑΟΤ. Χρησιμοποιώντας την τεχνική Lidar οι αρμόδιες Αρχές θα είναι σε θέση να κάνουν πρόγνωση των ακραίων φαινομένων μεταφοράς σκόνης.
- Από τις μετρήσεις ΑΟΤ που πραγματοποιήθηκαν στο αστικό κέντρο της Λεμεσού με τη χρήση του ηλιακού φωτόμετρου, έχει παρατηρηθεί πως η τιμή 0,3 που αποτελεί όριο για το ΑΟΤ, ξεπερνιέται κυρίως κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, γεγονός που είναι αναμενόμενο. Οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται στα γραφήματα της διακύμανσης ΑΟΤ οφείλονται στη διέλευση σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας.
- Όσον αφορά τις μετρήσεις των PM10, συμπεραίνουμε πως όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι σχετικά χαμηλή, διατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται στα γραφήματα της διακύμανσης των PM10 πιθανότατα να οφείλονται σε τοπικές πηγές ρύπανσης (διέλευση βαρέων οχημάτων).
- Σε περιπτώσεις που υπάρχει έντονη στρωμάτωση πέραν του ΑΟΣ, παρά το γεγονός ότι οι τιμές των PM10 είναι χαμηλές, οι τιμές του ΑΟΤ είναι υψηλές.
- Από τη συσχέτιση των PM10 συναρτήσεϊ του ΑΟΤ προέκυψε η εξίσωση:  
$$PM10 = 0,1215 * AOT + 0,011$$
 με συντελεστή συσχέτισης  $R = 0,68$ . Αυτό υποδεικνύει πως υπάρχει μια αρκετά καλή συσχέτιση των PM10 με το ΑΟΤ. Η εξίσωση θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για τη συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με έξυπνα συστήματα παρακολούθησης όπως τα δορυφορικά δεδομένα μιας και από αυτά λαμβάνοντας το ΑΟΤ θα μπορεί να γίνει υπολογισμός των PM. Η συγκεκριμένη εξίσωση θα μπορεί, τέλος, να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα δορυφορικά

δεδομένα για την έγκαιρη ενημέρωση των πολιτών σε θέματα που αφορούν τη δημόσια υγεία.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ansmann A., Wandinger U., Riebesell M., Weitkamp C., Michaelis W. (1992). "Independent measurement of extinction and backscatter profiles in cirrus clouds by using a combined Raman elastic-backscatter LIDAR." *Appl. Opt.*, 31, 7113– 7131.

Ansmann A. (2002). "Lindenberg Aerosol Characterization Experiment (LACE'98): overview and main results." *J. Geophys. Res.* 107, in press.

Ansmann A., Wandinger U., Wiedensohler A., Leiterer U. (2002). "Lindenberg Aerosol Characterization Experiment 1998 (LACE 98): Overview." *J. Geophys. Res.*, 107(D21), 8129, doi:10.1029/2000JD000233.

Bates T., Huebert B., Gras J., Griffiths F., Durkee P. (1998). "International Global Atmosphere Chemistry (IGAC) Project's First Aerosol Characterization Experiment (ACE 1): overview". *J. Geophys. Res.*, 103.

Bo¨senberg J., Matthias V. (2003). "A European aerosol research LIDAR network to Establish an aerosol climatology." *MPI-Rep. 348, Max-Planck-Inst. fu¨r Meteorol., Hamburg, Germany.*

Bo¨senberg J., Alpers M., Althausen D., Ansmann A., B¨ockmann C., Eixmann R., Franke A., Chu D.A., Kaufman Y.J., Zibordi G., Chern J.D., Mao J. Li C., Holben B.N. (2003). "Global Monitoring of Air Pollution Over Land from the Earth Observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)." *J. Geophys. Res.* 2003, 108, 4661.

Clemesha B. R., Kent G. S., Wright R. W. (1966). "A LASER Radar for Atmospheric Studies." *Journal of Applied Meteorology*, 6, 386-395.

Clemesha B. R., Kent G. S., Wright R. W. (1966). "LASER probing the lower atmosphere." *Nature*, 209, 184-185.

DiGiovanni F., Fellin P. (2006). "TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION." in Environmental Monitoring, in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.

Draxler R.R., Hess G. D. (1997). "Description of the Hysplit\_4 Modeling System." *NOAA Tech Memo ERL ARL-224, National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC, 1997.*

Eck T. F., Holben B. N., Dubovik O., Smirnov A., Goloub P., Chen H. B., Chatenet B., Gomes L., Zhang X-Y., Tsay S-C., Ji Q., Giles D., Slutsker I. (2005). "Columnar aerosol optical properties at AERONET sites in central eastern Asia and aerosol transport to the tropical mid-Pacific." *Journal of Geophysical Research*, VOL. 110, D06202, doi:10.1029/2004JD005274, 2005.

Eck T. F., Holben B. N., Dubovik O., Smirnov A., Goloub P., Chen H. B., Chatenet B., Gomes L., Zhang X.-Y., Tsay S-C., Ji Q., Giles D., Slutsker I. (2005). "Columnar aerosol optical properties at AERONET sites in central eastern Asia and aerosol transport to the tropical mid-Pacific." *Journal of Geophysical Research*, 110, D06202, doi:10.1029/2004JD005274.

Elterman L. (1951). "The measurement of stratospheric density distribution with the searchlight technique." *J. Geophys. Res.*, 56, 509-520.

Engel-Cox J., DeFelice T., Falke S. (2001). "A Methodology for Integrating Spaceborne Images and Ground Based Data." *Transboundary Movement of Airborne Pollutants. UNEP/DEWA/RS. 01-4. United Nations Environment Programme: Sioux Falls, SD, 2001.*

Engel-Cox J., Hoff R.M., Haymet A. D. J. (2004). "Recommendations on the Use of Satellite Remote-Sensing Data for Urban Air Quality." *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 2004, 54, 1360-1371.



Engel-Cox J., Holloman C., Coutant B., Hoff R. (2004). "Qualitative and Quantitative Evaluation of MODIS Satellite Sensor Data for Regional and Urban Scale Air Quality." *Atmos. Environ.* 2004, 38, 2495-2509.

Falke S. R., Husar R. B., Schichtel B. A. (2001). "Fusion of SeaWiFS and TOMS Satellite Data With Surface Observations and Topographic Data During Extreme Aerosol Events." *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 2001, 51, 1579-1585.

Fiocco G., Smullin L. D. (1963). "Detection of scattering layers in the upper atmosphere (60-140 km) by optical radar." *Nature*, 199, 1275-1276.

Freudenthaler V., Giehl H., Jäger H., Kreipl S., Linné H., Sarközi J., Matthias V., Mattis I., Müller D., Schneidenbach L., Schneider J., Trickl T., Vorobieva E., Wandinger U., Wiegner M. (2001). "The German aerosol LIDAR network: Methodology, data, analysis." *MPI-Rep. 317, Max-Planck-Inst. für Meteorol., Hamburg, Germany.*

Ghanem M., Guo Y., Hassard J., Osmond M., Richards M. (2004). "Sensor Grids For Air Pollution Monitoring. In Proc." *3rd UK e-Science All Hands Meeting.*

Hutchinson K. D. (2003). "Applications of MODIS Satellite Data and Products for Monitoring Air Quality in the State of Texas." *Atmos. Environ.* 2003, 37, 2403-2412.

Jill A., Engel-Cox., Young G. S., Hoff R. M. (2005). "Application of Satellite Remote-Sensing Data for Source Analysis of Fine Particulate Matter Transport Events." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, 1389-1397.

Kaskaoutis D. G., Sifakis N., Retalis A., Kambezidis H. D. (2009). "Aerosol Monitoring over Athens Using Satellite and Ground-Based Measurements." *Advances in Meteorology, 2010 (2010), Article ID 147910.*

Kaufman Y. J., Tanré D., Remer L. (1997). “Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from EOS-MODIS Over the Land Using Dark Targets and Dynamic Aerosol Models.” *J. Geophys. Res.*, 102, 17051-17067.

Koelemeijer R. B. A., Homan C. D., Matthijsen J. (2006). “Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe.” *Atmospheric Environment* 40 (2006) 5304–5315.

Matthias V., Bösenberg J. (2002). “Aerosol climatology for the planetary boundary layer derived from regular LIDAR measurements.” *Atmospheric Research*, 63, 221-245.

Matthias V., Freudenthaler V., Amodeo A., Balin I., Balis D., Bösenberg J., Chaikovsky A., Comeron A., Delaval A., Tomasi F., Eixmann R., Hagard A., Komguem L., Kreipl S., Matthey R., Rizi V., Rodrigues J. A., Wandinger U., Wang X. (2004). “Aerosol LIDAR intercomparison in the framework of the EARLINET project. 1. Instruments.” *Appl. Opt.*, 43, 961– 976.

Matthias V., Bösenberg J. (2002). “Aerosol climatology for the planetary boundary layer derived from regular LIDAR measurements.” *Atmos. Res.*, 63, 221–245.

Murayama T., Sugimoto N., Uno I., Kinoshita K., Aoki K., Hagiwara N., Liu Z., Matsui I., Sakai T., Shibata T., Arai K., Sohn B-J., Won J.G. Yoon S-C., Li T., Zhou J., Hu H., Abo M., Iokibe K., Koga R., Iwasaka Y. (2001). “Ground-based network observations of Asian dust events of April 1998 in East Asia.” *J. Geophys. Res.*, 106, 18,346–18,359.

Raes F., Bates T., McGovern F., Liedekerke M. (2000). “The 2nd Aerosol Characterization Experiment (ACE-2): General overview and main results.” *Tellus, Ser. B*, 52, 111– 125.

Russell P. B., Hobbs P. V., Stowe L. (1999). “Aerosol properties and radiative effects in the United States East Coast haze plume: An overview of the Tropospheric Aerosol Radiative Forcing Observational Experiment (TARFOX).” *J. Geophys. Res.*, 104, 2213– 2222.

Sicard M., Rocadenbosch F., Reba M. N. M., Comerón A., Tomás S., García-Vízcaino D., Batet O., Barrios R., Kumar D., Baldasano J. M. (2011). “Seasonal variability of aerosol optical properties observed by means of a Raman LIDAR at an EARLINET site over Northeastern Spain, Atmos.” *Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. Chem. Phys.*, 11, 175-190, doi:10.5194/acp-11-175-2011, 2011.

Tanré D., Kaufman Y. J., Herman M., Mattoo S. (1997). “Remote sensing of aerosol over oceans from EOS-MODIS.” *J. Geophys. Res.*, 102, 16971- 16988.

Themistocleous K., Nisantzi A., Hadjimitsis D. G., Retalis A., Paronis D., Michaelides S., Chrysoulakis N., Giorgousis G., Perdikou S. (2010). “Monitoring air pollution in the vicinity of cultural heritage sites in Cyprus using remote sensing techniques.” *In: Ioannides, M (Ed): Euromed 2010, LNCS 6436, Springer, pp. 536 – 547.*

Tomasi F., Perrone M. R. (2006). “PBL and dust layer seasonal evolution by LIDAR and radiosounding measurements over a peninsular site.” *Atmospheric Research* 80, 86– 103.

Torres S. A., Uehara T. S., Pozzetti V. M. L., Matos A. C., Sawamura P., Nakaema M. W., Jesus W. (2008). “A Four-Year LIDAR–Sun Photometer Aerosol Study at São Paulo, Brazil.” *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.*

Tulloch M., Li J. (2004). “Applications of Satellite Remote Sensing to Urban Air-Quality Monitoring: Status and Potential Solutions to Canada.” *International Society for Environmental Information Sciences*, 2, 846-854.

Wald L., Baleynaud J. M. (1999). “Observing air quality over the city of Nantes by means of Landsat thermal infrared data.” *International Journal of Remote Sensing*, 20(5):947-959.

Wang J., Christopher S.A. (2003). “Intercomparison between Satellite-Derived Aerosol Optical Thickness and PM<sub>2.5</sub> Mass: Implications for Air Quality Studies.” *Geophys. Res. Lett.* 2003, 30.

ARM, Climate Research Facility. “Instrument: Cimel Sunphotometer (CSPHOT).”  
<<http://www.arm.gov/instruments/instrument.php?id=cspnot>> (Ιανουάριος 2011).

Αποστολάτου Τζ. (2009). “Αιωρούμενα σωματίδια: Οι αόρατοι εχθροί της υγείας μας” *Vita.gr*,  
<<http://www.vita.gr/html/ent/234/ent.9234.asp>> (Φεβρουάριος 2011).

Αρχή Λιμένων Κύπρου, “Νέο Λιμάνι Λεμεσού.”  
<<http://www.cpa.gov.cy/CPA/page.php?pageID=22>> (Ιανουάριος 2011).

Βικιπαίδεια, “Sun Photometer.” <[http://en.wikipedia.org/wiki/Sun\\_photometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Sun_photometer)> (Φεβρουάριος 2011).

Βικιπαίδεια, “Μόλυβδος.”  
<<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD>> (Ιανουάριος 2011).

Βικιπαίδεια, “Οζόν.” <<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD>>  
(Φεβρουάριος 2011).

Δήμος Λεμεσού, <[http://www.limassolmunicipal.com.cy/history/greek/about\\_us.html](http://www.limassolmunicipal.com.cy/history/greek/about_us.html)>  
(Φεβρουάριος 2011).

Καϊτατζής Φ. (2009). “Μας πνίγουν τα αιωρούμενα σωματίδια.” *Ελευθεροτυπία*,  
<<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=64754>> (Φεβρουάριος 2011).

Καραθανάσης Στ. (2006). “Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές & Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία.” *Εκδόσεις Τζίολα*.

Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας. (2011). <[http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8\\_2.html](http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_2.html)>  
(Μάρτιος 2011).

Κοινοτικό Συμβούλιο Ύψωνα, “Ύψωνας.” NETinfo Services.  
<<http://www.ipsonas.org/general.shtm>> (Φεβρουάριος 2011).

Κουμιτζή Θ., Φυτιάνου Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (1998). “Χημεία Περιβάλλοντος”  
Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Κυπριακή Δημοκρατία. (2011). “Ποιότητα του αέρα στην Κύπρο.”  
<<http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Default.aspx?pageid=666&menuitem=346>> (Φεβρουάριος  
2011).

Κυπριακή Δημοκρατία. (2011). “Ποιότητα του αέρα στην Κύπρο.”  
<<http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Default.aspx?pageid=689&menuitem=355>>  
(Φεβρουάριος 2011).

Λαζαρίδης Μ. (2005). “Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας” *Εκδόσεις Τζίολα*.

Μακρής Β. (2006). “Τηλεπισκόπηση – Τεχνική Lidar.” Τμήμα ΣΕΜΦΕ, Εθνικό Μετσόβιο  
Πολυτεχνείο.

Πρίφτης Χ. (2009). “Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των παιδιών.” Τμήμα  
Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας.

Ρετάλης Α. και Παρώνης Δ. (2008). “Σύστημα Παρακολούθησης αεροσωματιδιακής ρύπανσης  
σε σχεδόν πραγματικό χρόνο στην Κύπρο.”  
<<http://www2.cs.ucy.ac.cy/projects/aeras/Paradoteo6.pdf>> (Ιανουάριος 2011).

Τρίγκας Β., Θεμιστοκλέους Κ., Χατζημιτσής Δ. (2010) “ Παρακολούθηση του οπτικού πάχους  
αερολυμάτων στην Κύπρο με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης και συστημάτων  
γεωγραφικών πληροφοριών.” *Συνέδριο Πάτρας 2010*

Χατζημιτσής Δ. (2010). “Σημειώσεις μαθήματος Τηλεπισκόπησης Ι” *Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου*.

Χουρδάκης Γ. (2005). “Raymetrics: Παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης και καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων”.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

### **1 Νομοθεσία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην Κύπρο**

#### **1.1. Ο περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμος του 2002 (N.188(I)/2002)**

“Ο περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμος του 2002 (N.188(I)/2002) έχει ως σκοπό:

- (α) τον προσδιορισμό και καθορισμό των στόχων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στη Δημοκρατία,
- (β) την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα βάσει κοινών μεθόδων και κριτηρίων της Ε.Ε.
- (γ) τη συγκέντρωση κατάλληλων πληροφοριών για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και την ενημέρωση του κοινού
- (δ) τη διατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα εκεί όπου είναι καλή και τη βελτίωση της στις άλλες περιπτώσεις.

Γενικά, ο συγκεκριμένος Νόμος εισάγει μια νέα φιλοσοφία στα θέματα εκτίμησης και διαχείρισης του ατμοσφαιρικού αέρα με την αντιμετώπιση της προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος ως ενιαίου συνόλου. Στα πλαίσια αυτά λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η ρύπανση από βιομηχανικές πηγές αλλά και η ρύπανση από τα οχήματα, τις κεντρικές θερμάνσεις, τα αεροπλάνα, τα πλοία ακόμη και από τις φυσικές πηγές.

Ο Νόμος (N.188(I)/2002) τροποποιήθηκε με το Νόμο 161(I)/2005 στις διατάξεις που αφορούν τη συμμετοχή του κοινού στην κατάρτιση ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων που αφορούν το περιβάλλον σύμφωνα με την οδηγία 2003/35/EK καθώς και η συμμετοχή του κοινού και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη σύμφωνα με την οδηγία 85/337/EOK και 96/61/EK του Συμβουλίου.

Οι περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Κανονισμοί του 2002 (ΚΔΠ 574/2002, ΚΔΠ 530/2002 και ΚΔΠ 516/2002) έχουν ως σκοπό τον καθορισμό οριακών τιμών για τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων, μολύβδου, όζοντος, βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος. Επίσης, οι κανονισμοί αυτοί έχουν ως στόχο την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των αναφερθέντων ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα και την ενημέρωση του κοινού καθώς επίσης και τη διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς τους ρύπους αυτούς.

Οι κανονισμοί Κ.Δ.Π. 530/2002 καταργήθηκαν και αντικαταστήθηκαν από τους κανονισμούς Κ.Δ.Π. 194/2004 σύμφωνα με την οδηγία 2002/3/ΕΚ που αφορά το όζον στον Ατμοσφαιρικό Αέρα.

Επίσης η μεταφορά της οδηγίας 2004/107/ΕΚ έγινε με τη δημοσίευση των Περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (Αρσενικό, Κάδμιο, Υδράργυρος, Νικέλιο και Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες στον Ατμοσφαιρικό Αέρα) Κανονισμού , ΚΔΠ 111/2007 στην Επίσημη Εφημερίδα της 9.3.2007.

## **1.2. Ο νόμος πλαίσιο περί Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (96/62/ΕΚ)**

Ο νόμος πλαίσιο περί Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (96/62/ΕΚ) έχει ως σκοπό:

(α) να καθορίσει και να καθιερώσει στόχους για την ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση ώστε να αποφευχθούν, να προληφθούν ή να μειωθούν οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον ως σύνολο,

(β) να αξιολογήσει την ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα στα Κράτη Μέλη με βάση κοινές μεθόδους και κριτήρια,

(γ) να ληφθούν επαρκείς πληροφορίες για την ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα, οι οποίες θα διατίθενται στο κοινό με διάφορα μέσα,

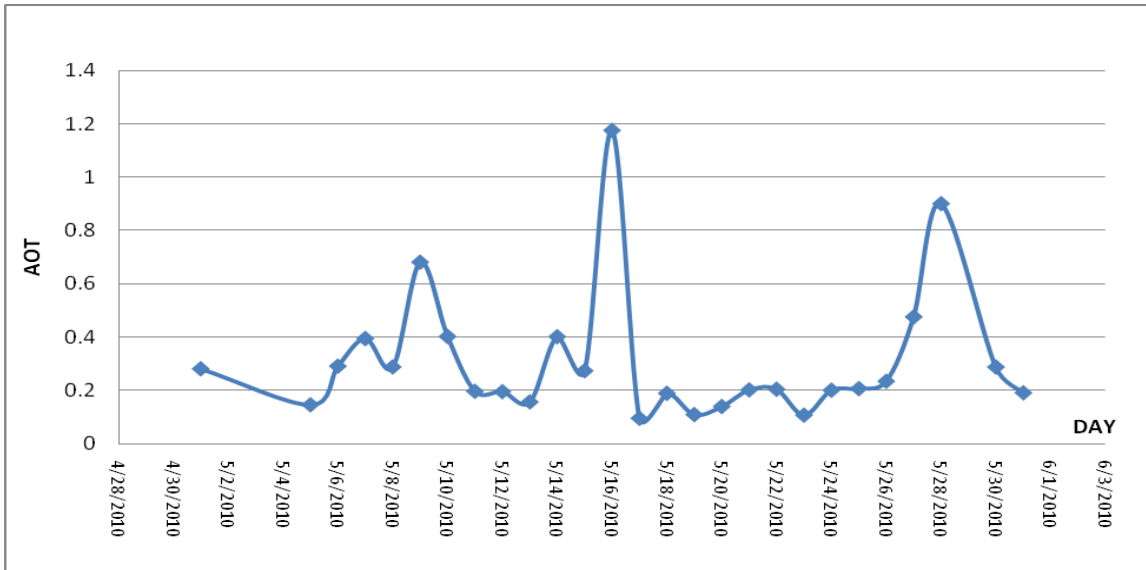
(δ) να διατηρηθεί η ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα εκεί όπου είναι καλή και να βελτιωθεί όπου χρειάζεται.



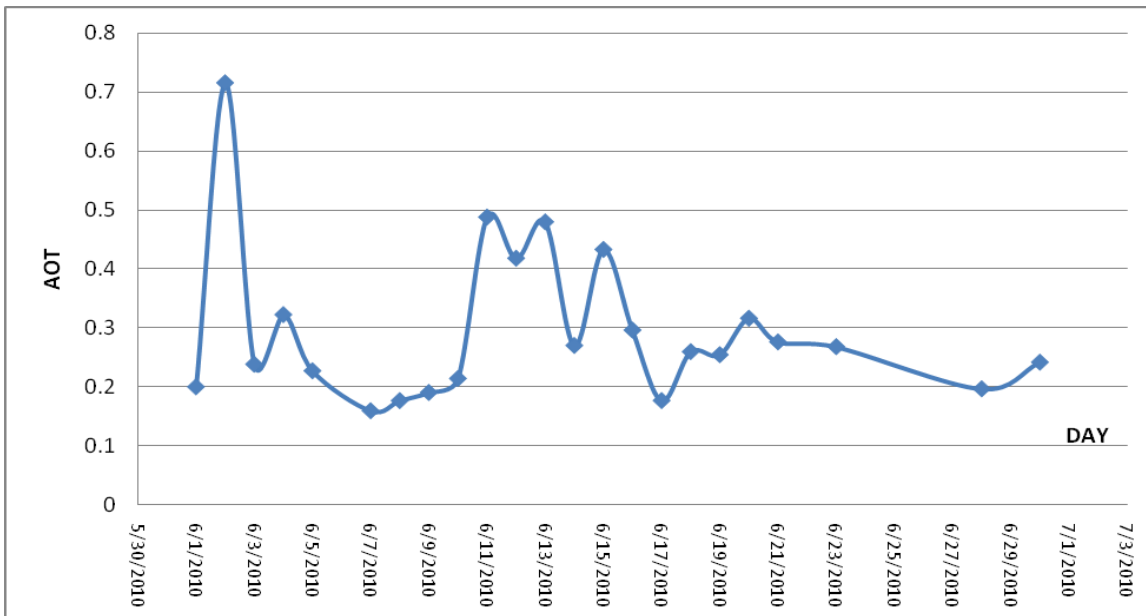
### **1.3. Θυγατρικές Οδηγίες (97/101/ΕΚ, 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ, 2002/3/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ)**

Οι Θυγατρικές Οδηγίες (97/101/ΕΚ, 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ, 2002/3/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ) έχουν ως σκοπό τον καθορισμό οριακών τιμών, και κατάλληλων ορίων προειδοποίησης για τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων, μολύβδου, όζοντος, βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος. Επίσης, οι κανονισμοί αυτοί έχουν ως στόχο την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των αναφερθέντων ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα και την ενημέρωση του κοινού καθώς επίσης και τη διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς τους ρύπους αυτούς” (Κυπριακή Δημοκρατία, 2011).

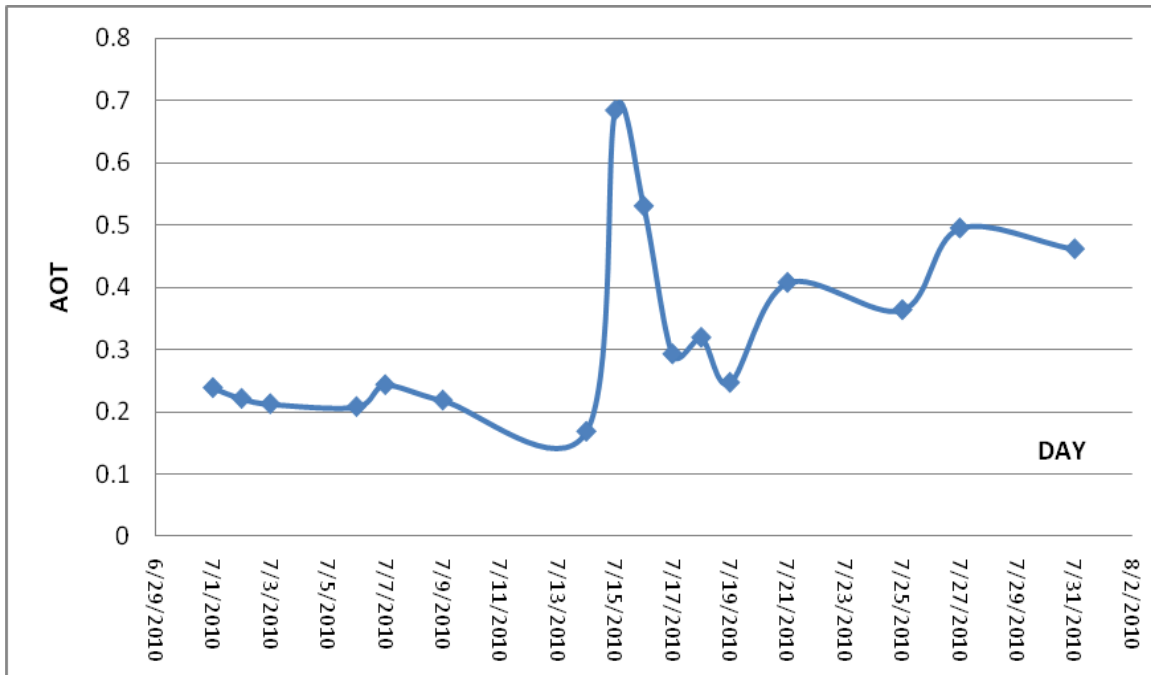
## 2 Διακύμανση ΑΟΤ για ορισμένους μήνες των ετών 2010-2011



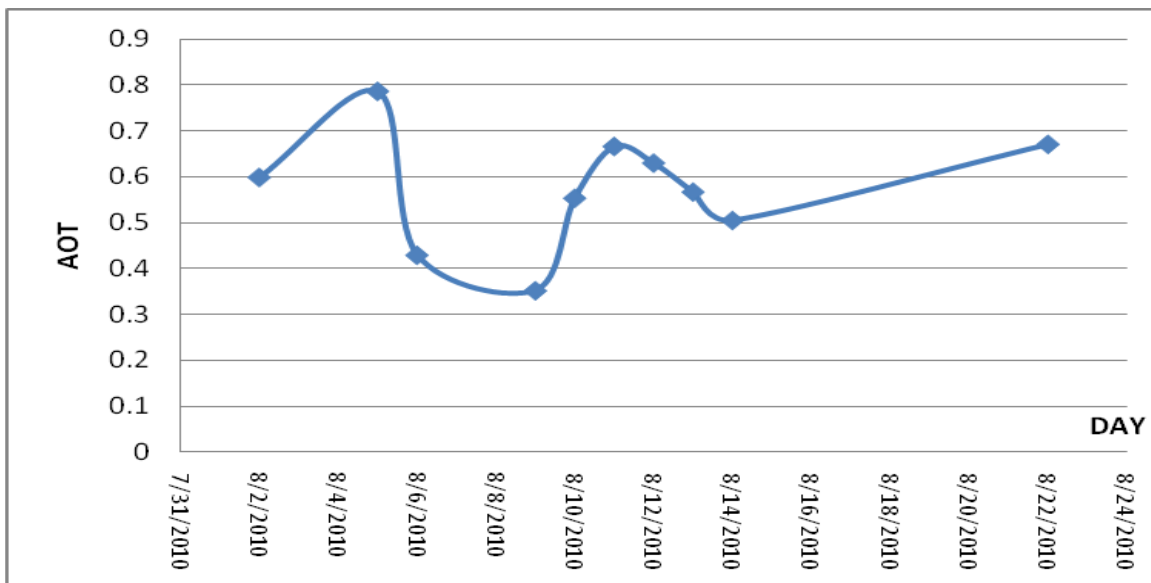
Γράφημα 20: Διακύμανση ΑΟΤ τον Μάιο του 2010



Γράφημα 21: Διακύμανση ΑΟΤ τον Ιούνιο του 2010

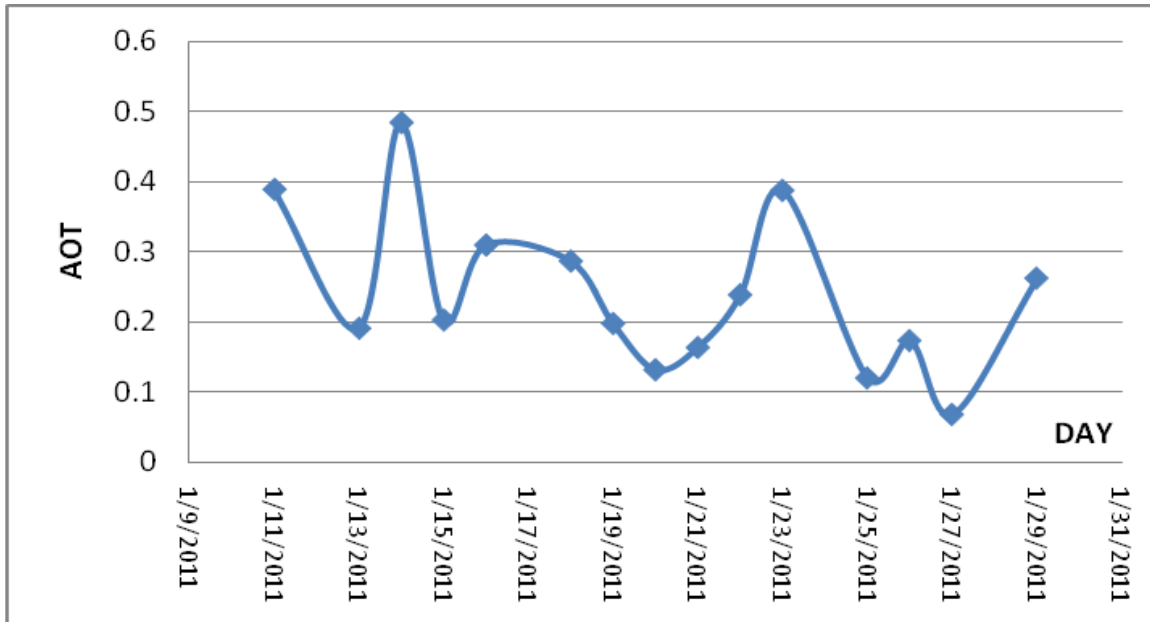


**Γράφημα 22: Διακύμανση AOT τον Ιούλιο του 2010**

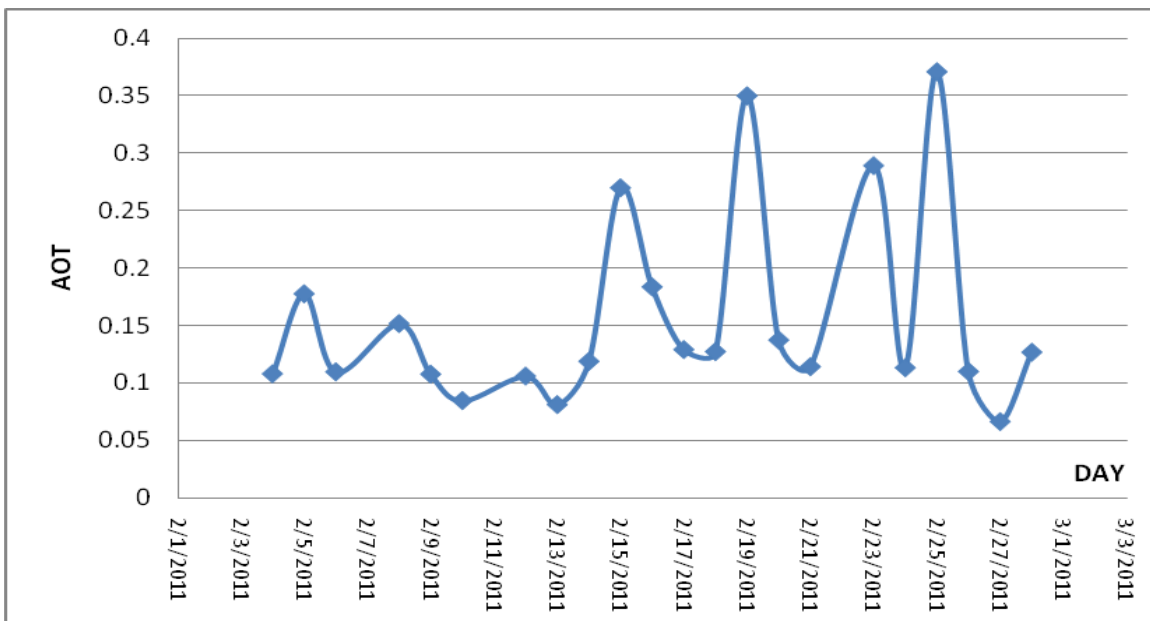


**Γράφημα 23: Διακύμανση AOT τον Αύγουστο του 2010**

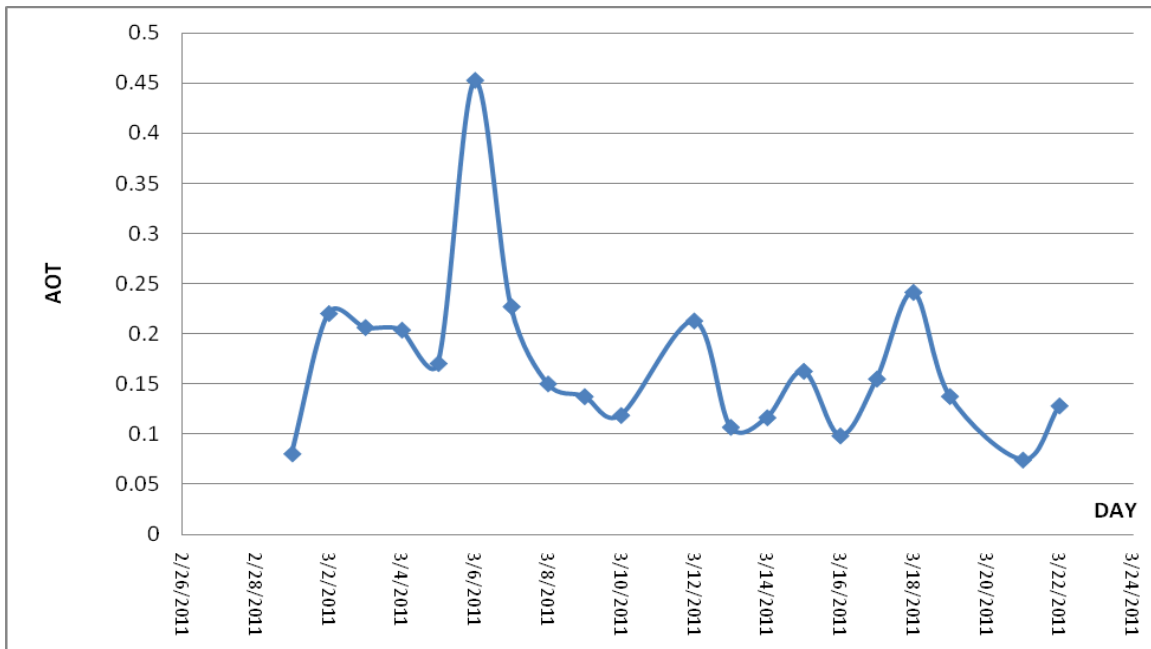
Για το μήνα Σεπτέμβριο του 2010 δεν υπήρχαν αρκετά στοιχεία για κατασκευή γραφήματος.



Γράφημα 24: Διακύμανση ΑΟΤ τον Γενάρη του 2011

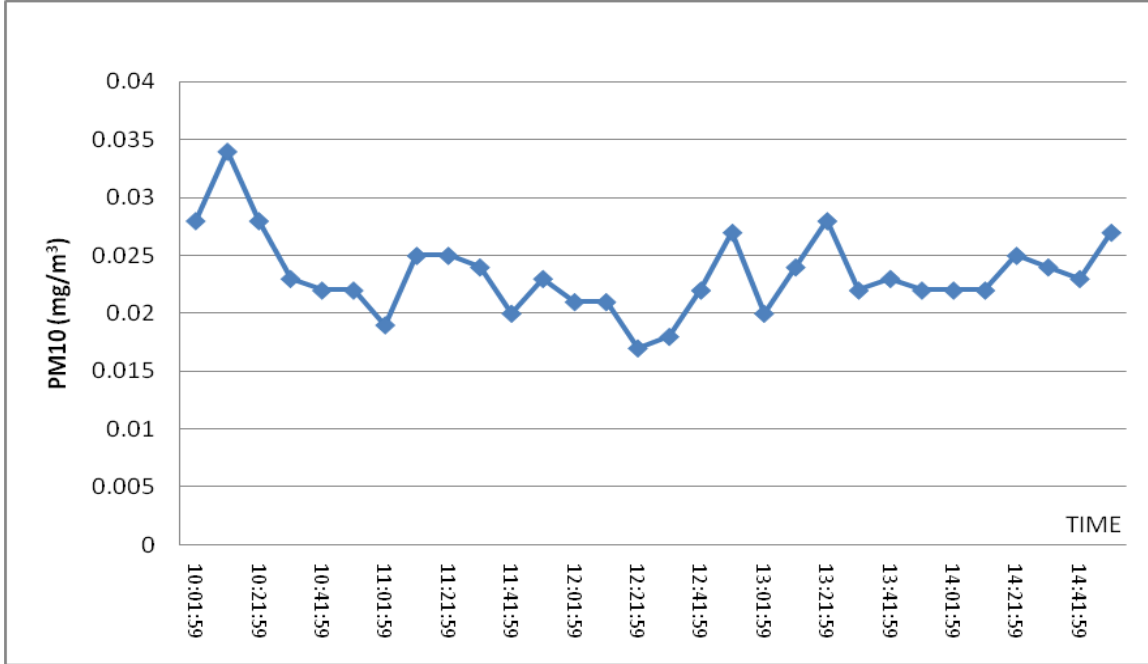


Γράφημα 25: Διακύμανση ΑΟΤ τον Φεβράρη του 2011

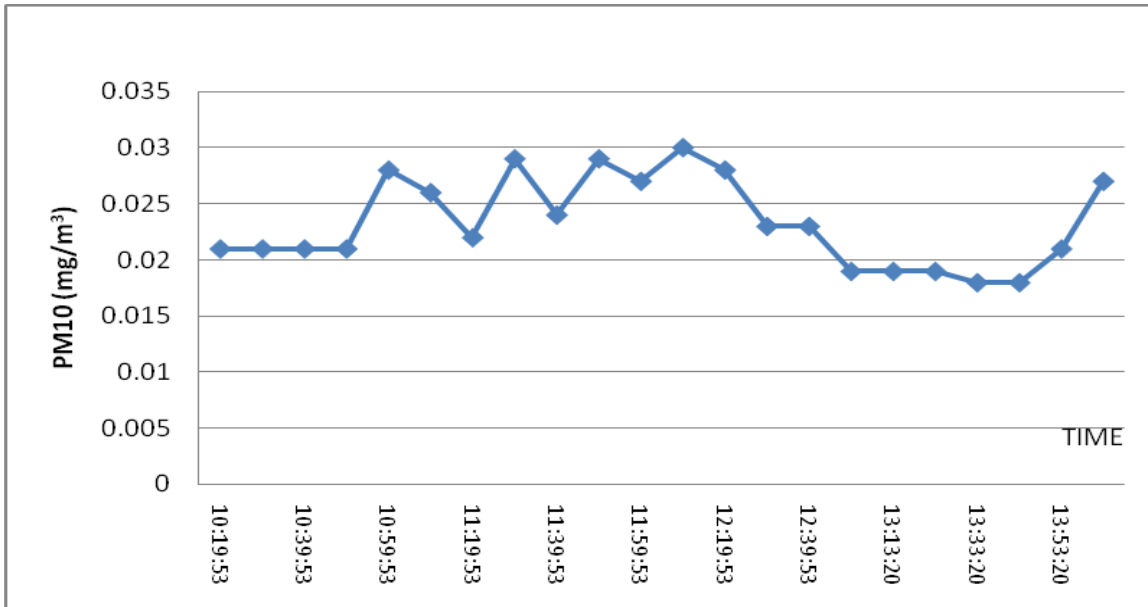


**Γράφημα 26: Διακύμανση ΑΟΤ τον Μάρτη του 2011**

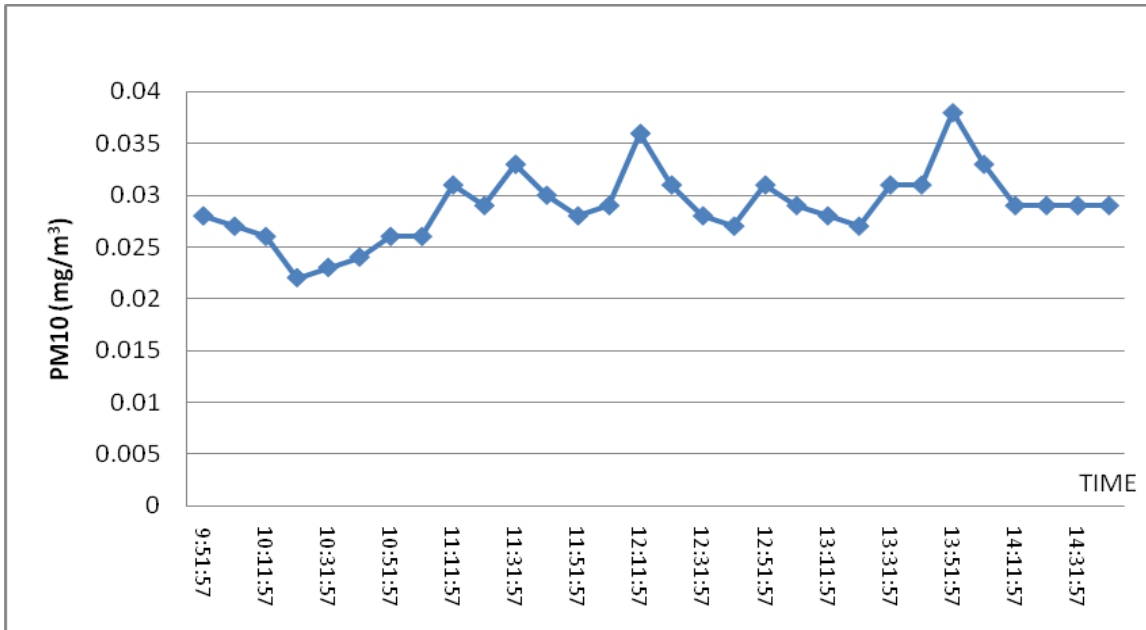
### 3 Διακύμανση $PM_{10}$ στο αστικό κέντρο της Λεμεσού για το έτος 2011



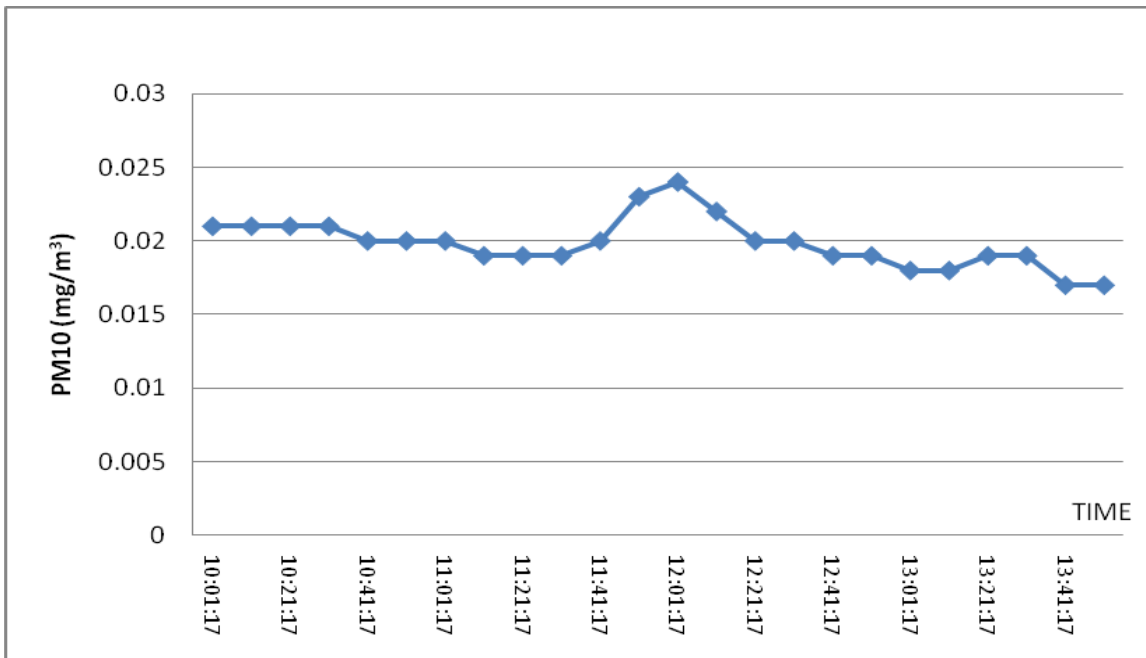
Γράφημα 27: Διακύμανση  $PM_{10}$  στις 9/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



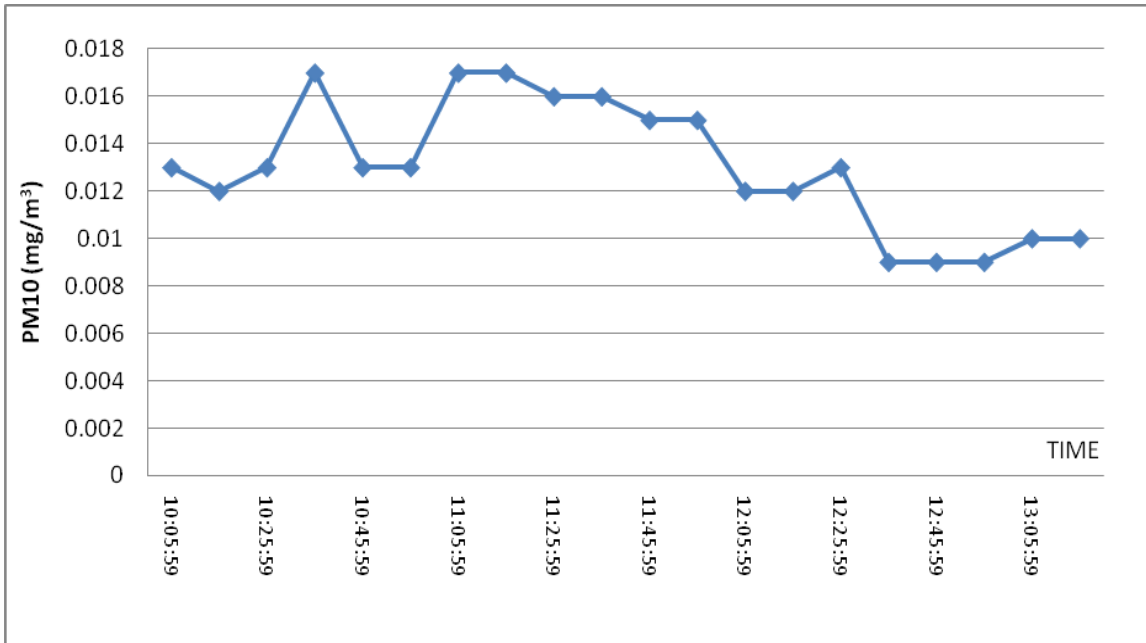
Γράφημα 28: Διακύμανση  $PM_{10}$  στις 10/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



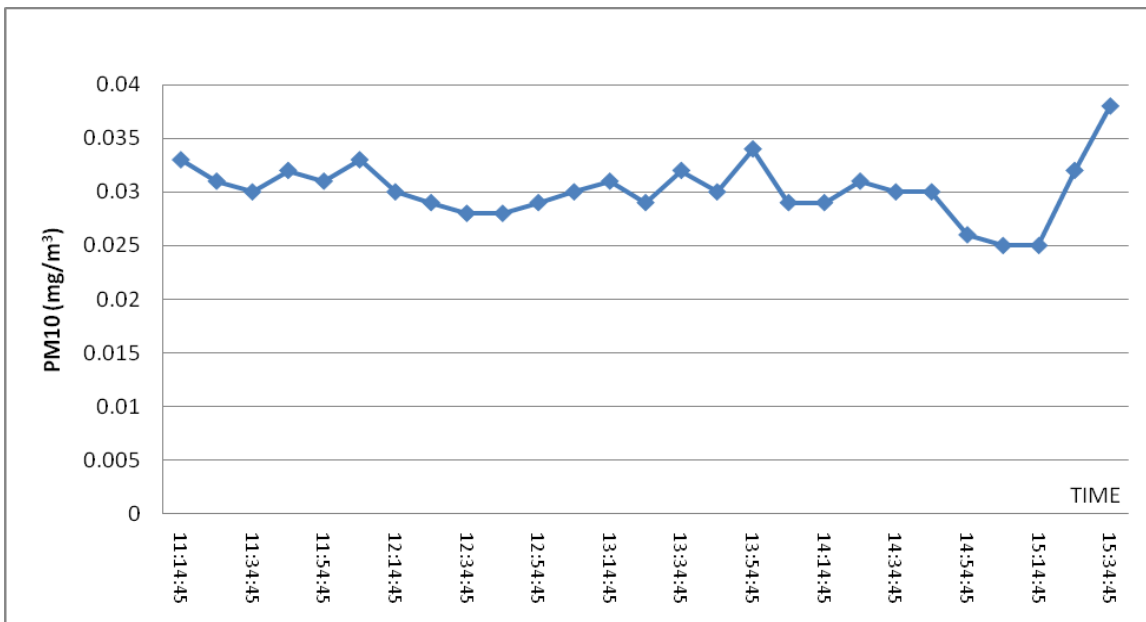
Γράφημα 29: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 11/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



Γράφημα 30: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 16/2/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού

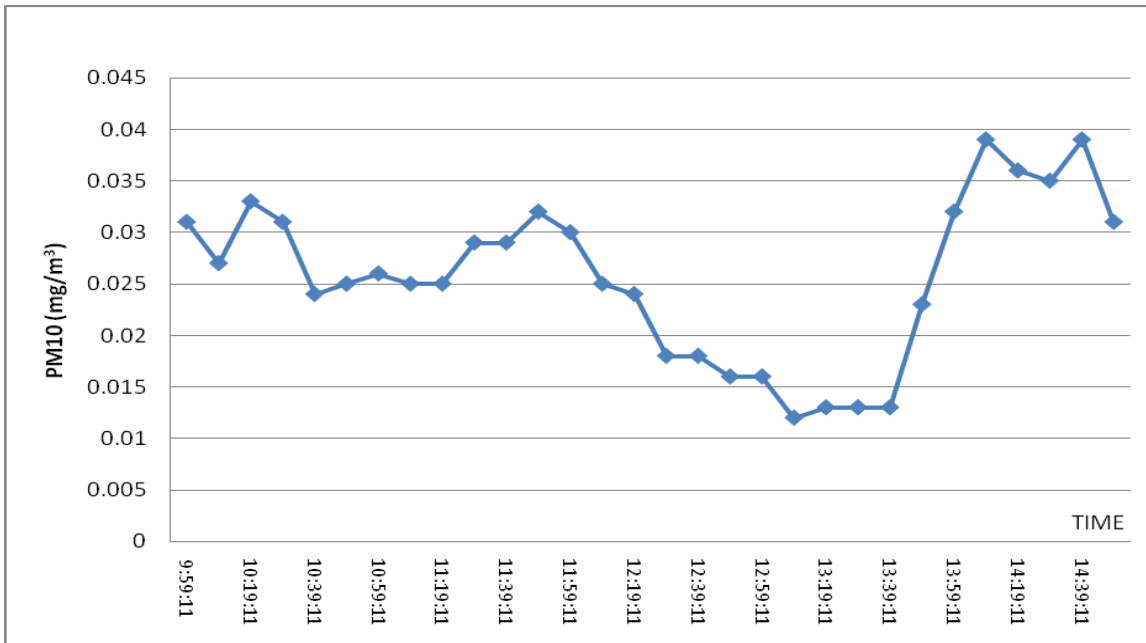


Γράφημα 31: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 1/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού

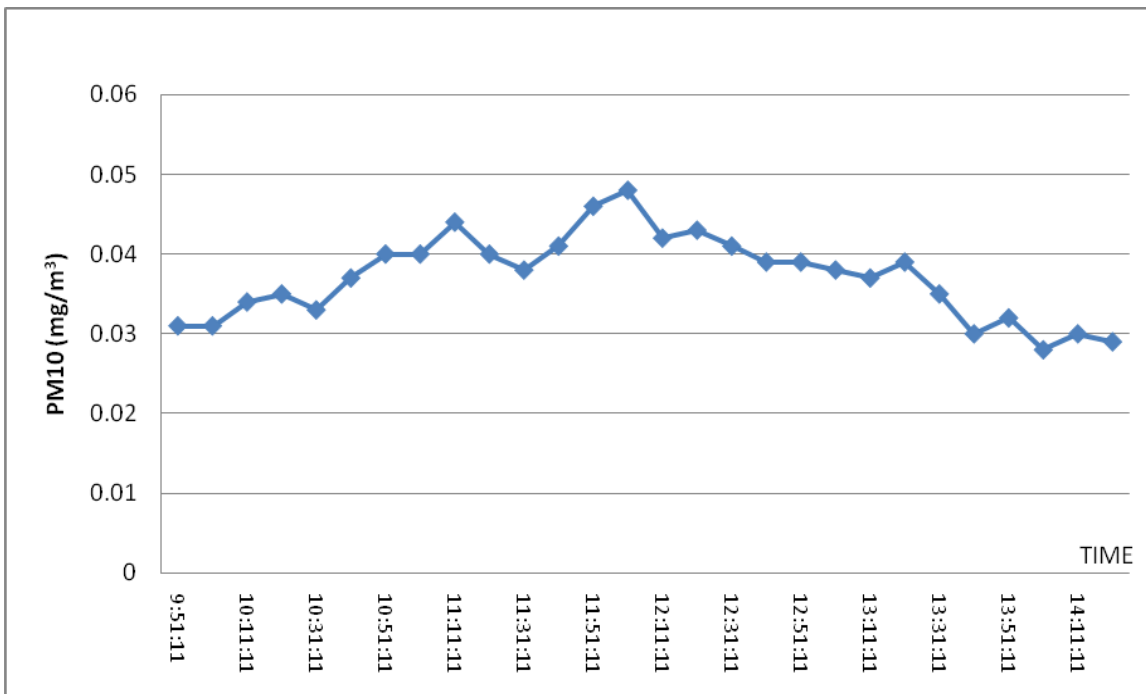


Γράφημα 32: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 2/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού

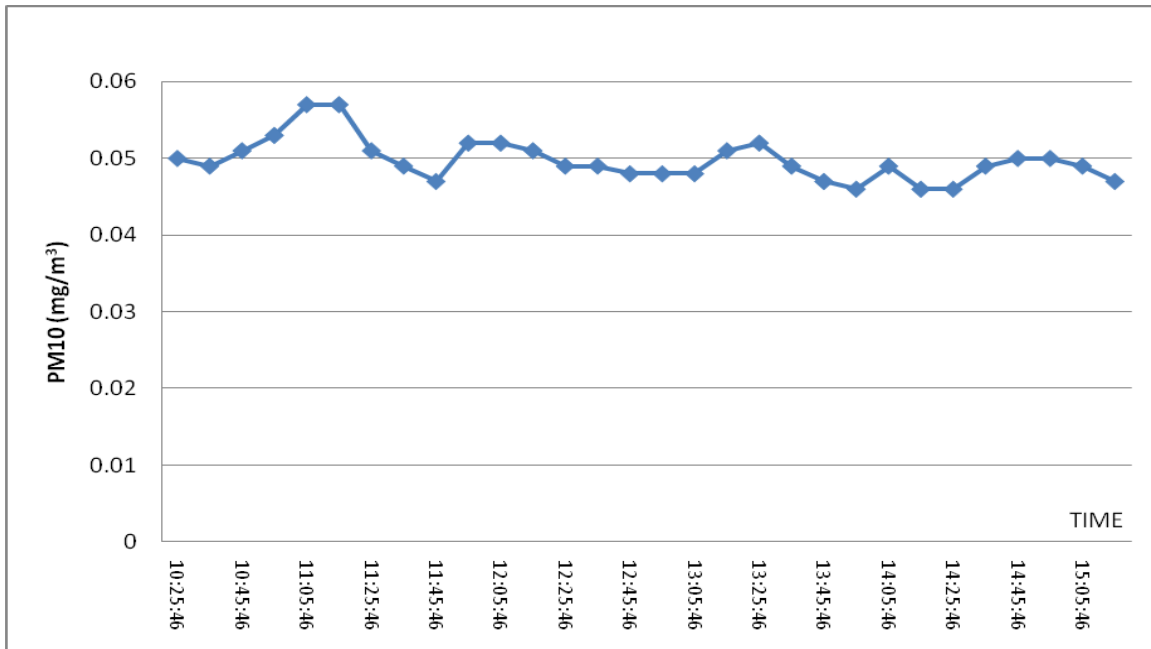




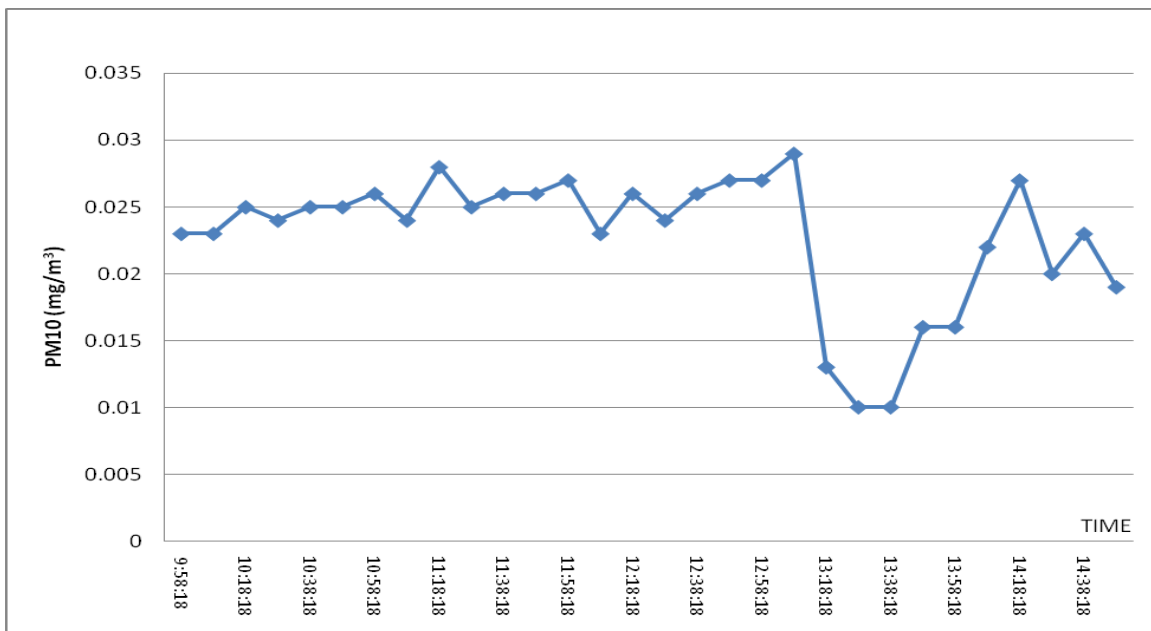
Γράφημα 33: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 3/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



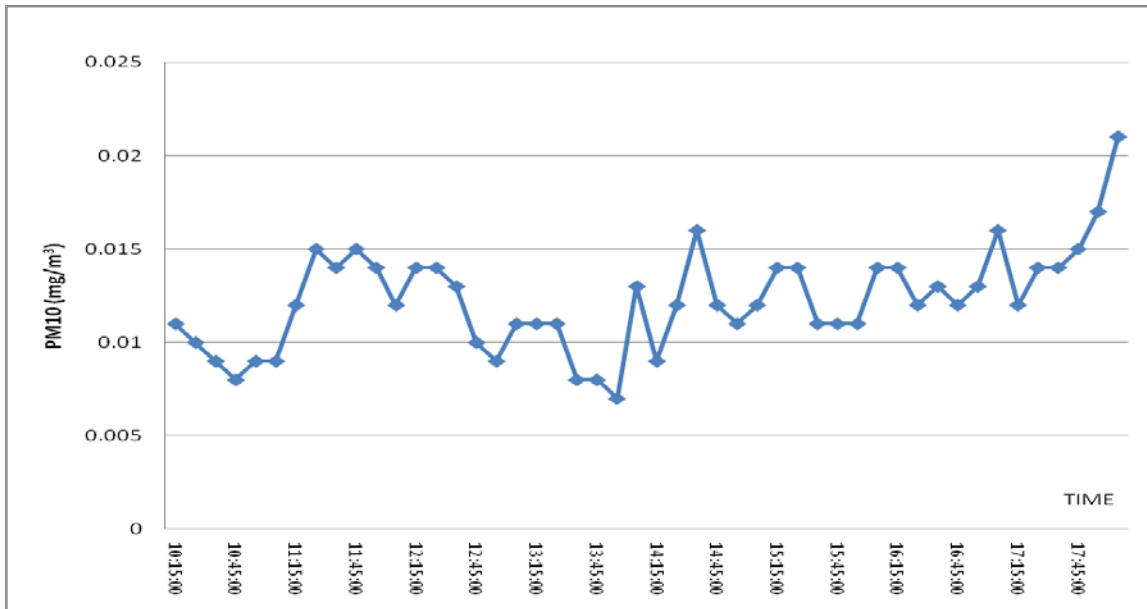
Γράφημα 34: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 4/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



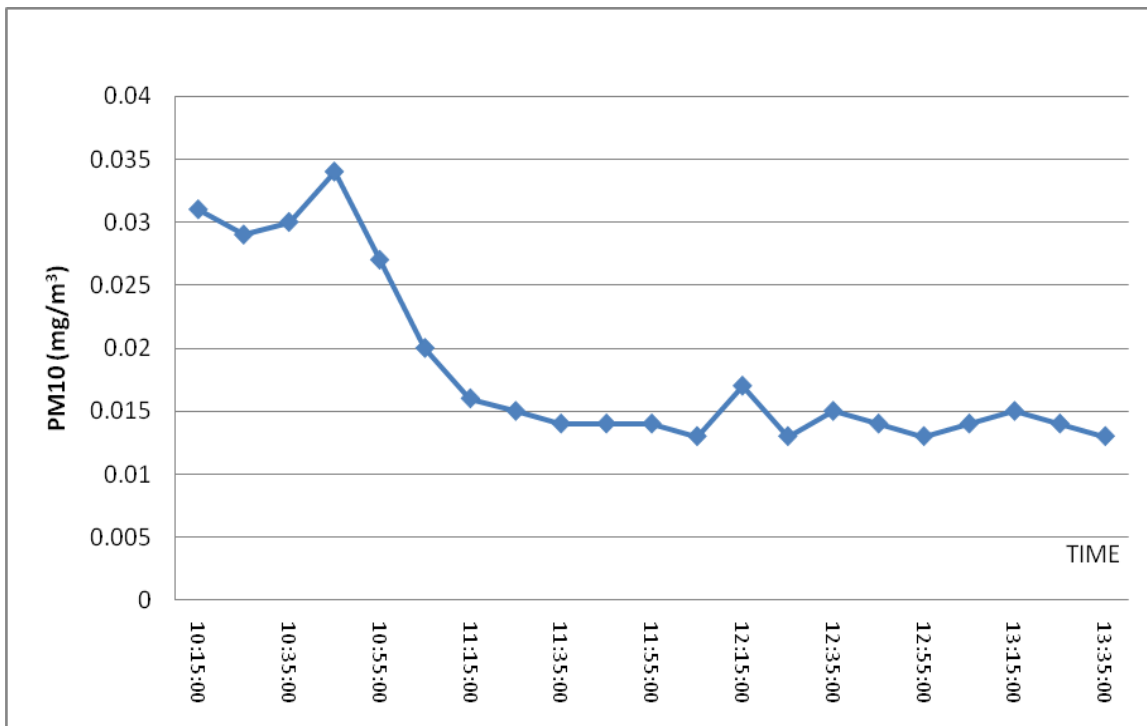
Γράφημα 35: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 5/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



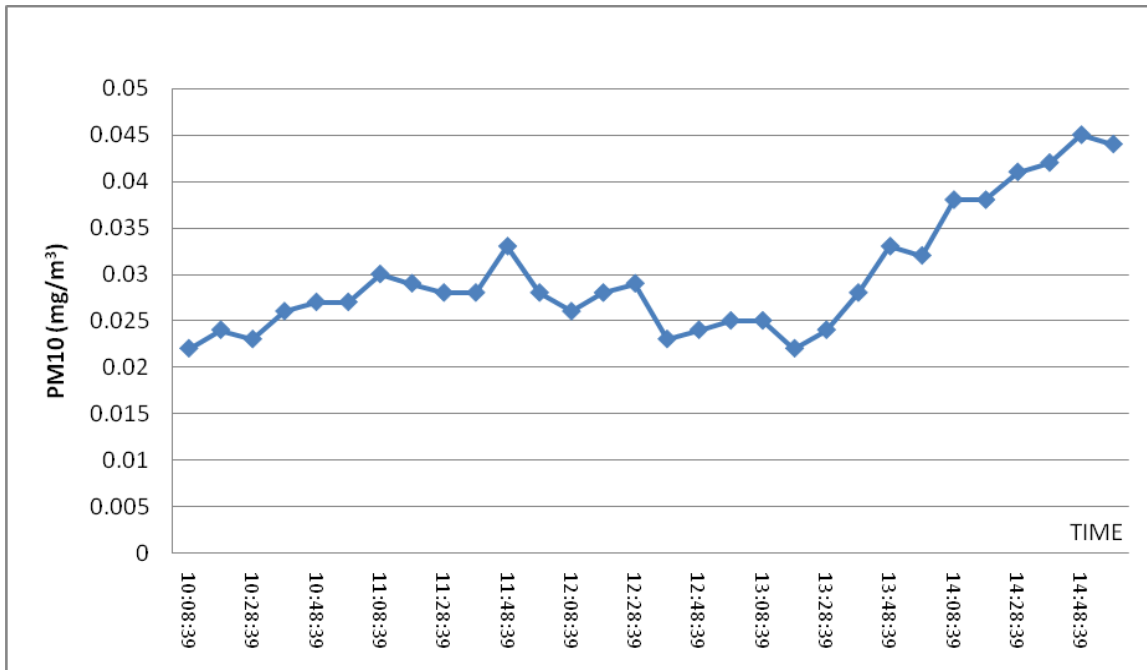
Γράφημα 36: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 8/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



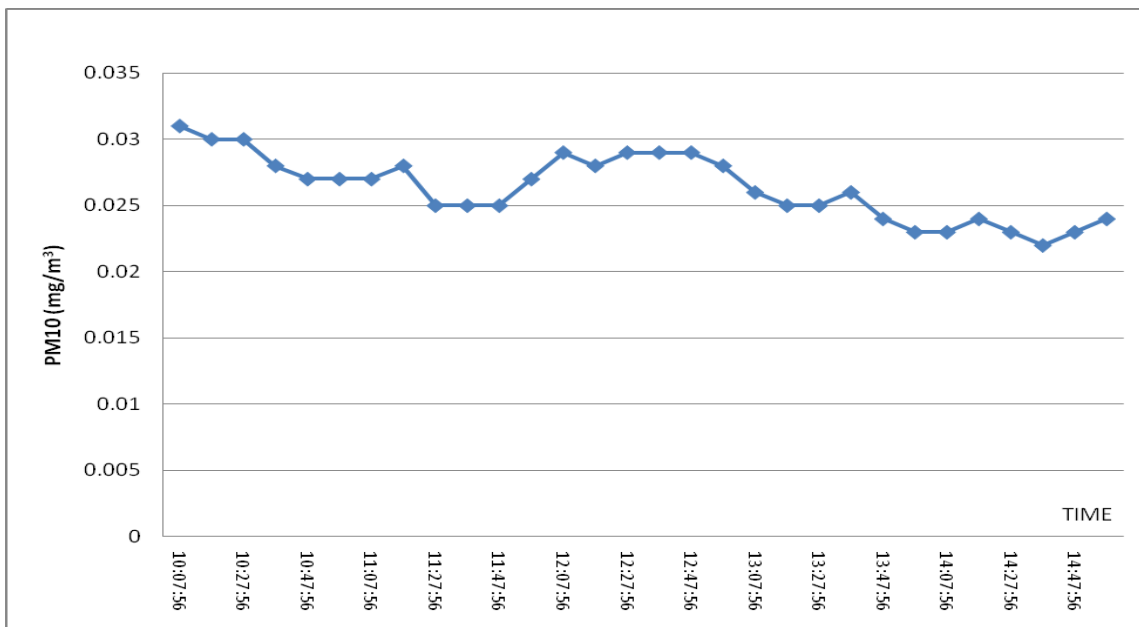
Γράφημα 37: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 10/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



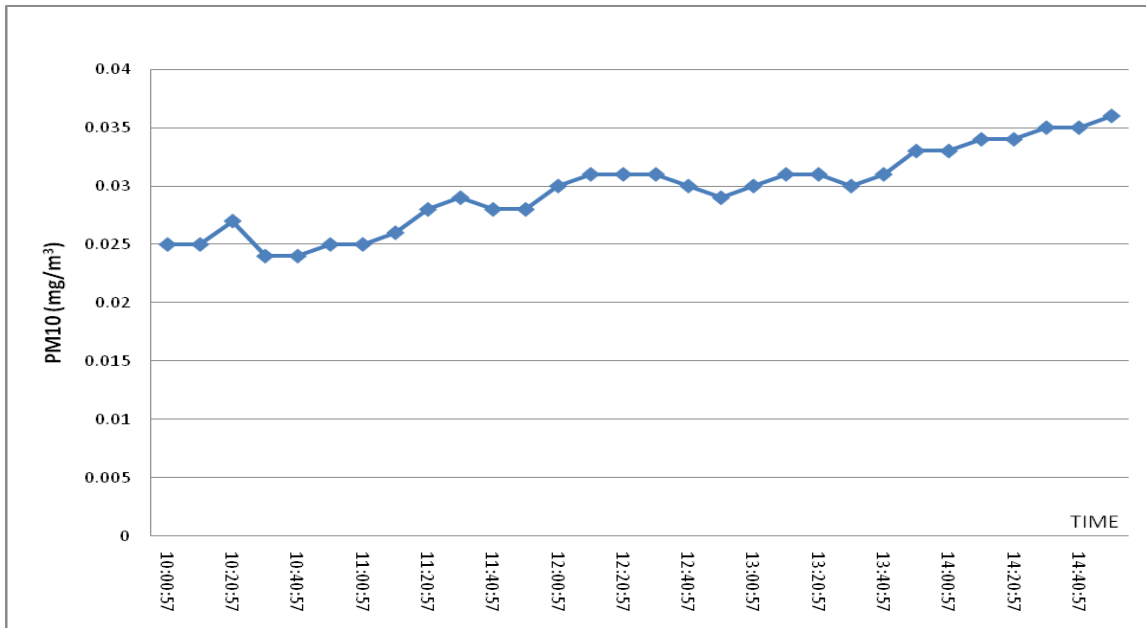
Γράφημα 38: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 11/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



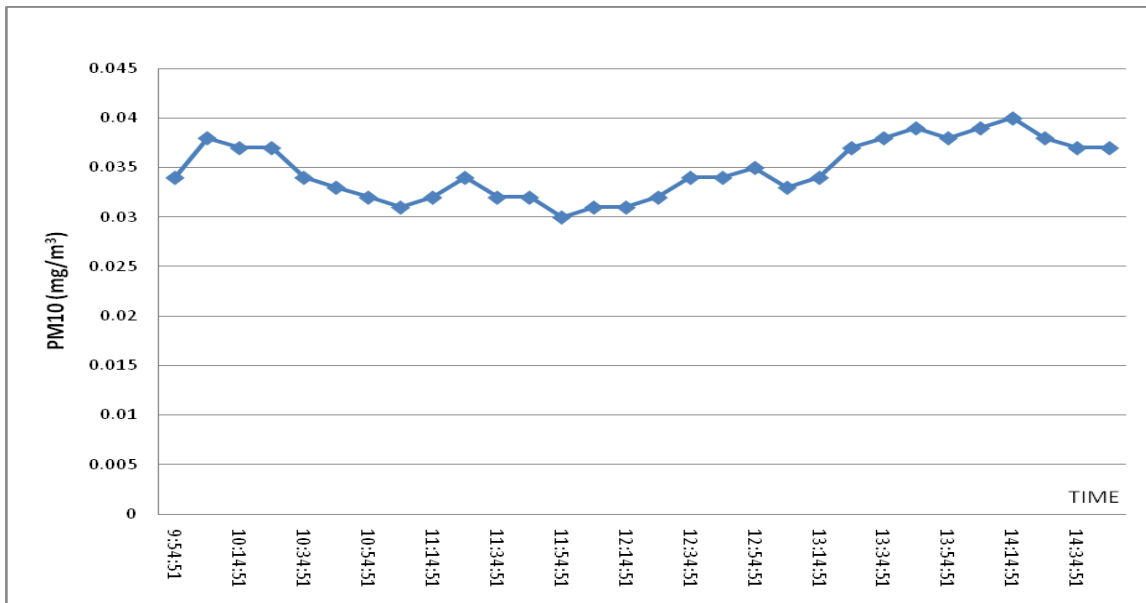
Γράφημα 39: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 14/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



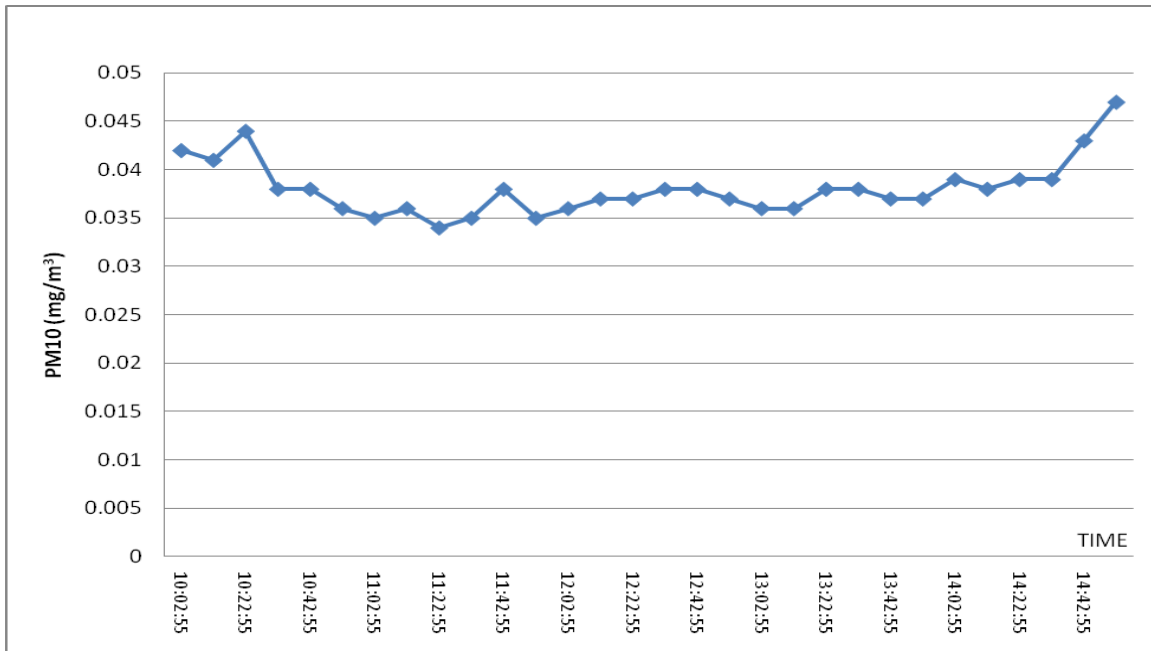
Γράφημα 40: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 15/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



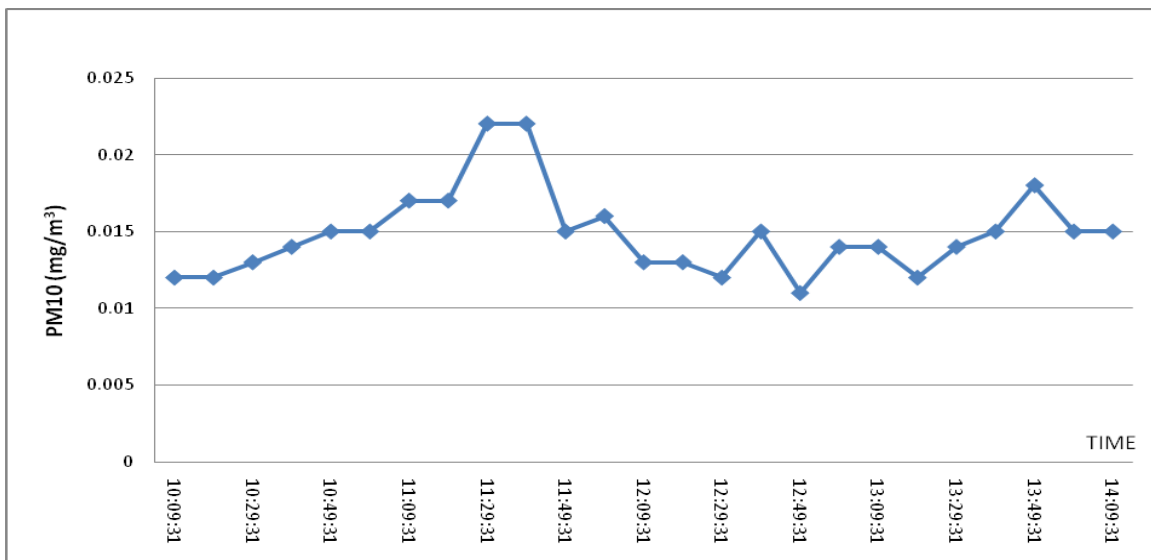
Γράφημα 41: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 16/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



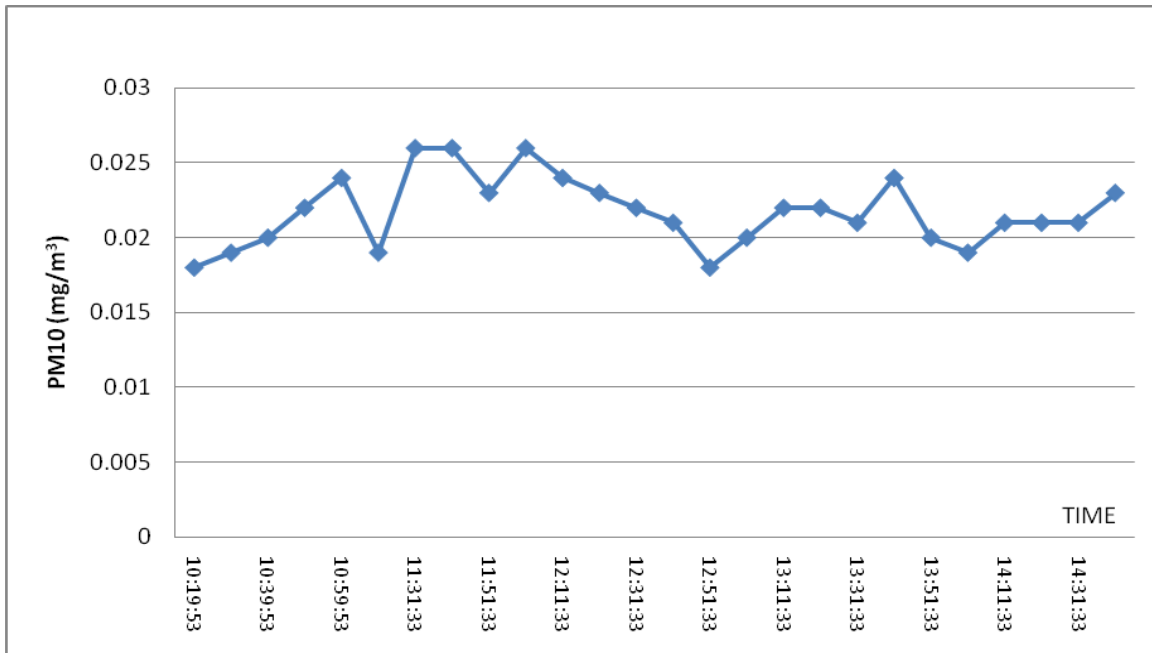
Γράφημα 42: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 17/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



Γράφημα 43: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 18/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



Γράφημα 44: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 21/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού



**Γράφημα 45: Διακύμανση PM<sub>10</sub> στις 22/3/2011 στο αστικό κέντρο της Λεμεσού**