

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή Εργασία

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ  
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΟΦΩΤΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ  
ΕΠΙΓΕΙΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ

Παναγιώτης Χάμπαλης

Λεμεσός 2012



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

## **Πτυχιακή Εργασία**

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ  
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΟΦΩΤΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ  
ΕΠΙΓΕΙΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ

Παναγιώτης Χάμπαλης

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Διόφαντος Χατζιμιτσής

Λεμεσός 2012

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Παναγιώτης Χάμπαλης, 2012

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.

Στους γονείς μου Μαρία και  
Δημήτριο για τα τόσα που μου  
πρόσφεραν μέχρι σήμερα...

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, που έδειξε εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου και μου ανάθεσε την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Εκτός αυτού τον ευχαριστώ από καρδιάς για όλες τις γνώσεις αλλά και τις εμπειρίες που μου μετάφερε όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της ενδιαφέρουσας διπλωματικής εργασίας αλλά και μέσα από τα διάφορα μαθήματα του και άλλες δραστηριότητες στο σύνολο των τεσσάρων χρόνων φοίτησης μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Επιπρόσθετα θέλω να μεταφέρω θερμές ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτορα της ερευνητικής ομάδας του κου Χατζημιτσή, κα Αργυρώ Νισαντζή. Με τη συνεισφορά της, μέσα από υποδείξεις και επισημάνσεις, η πτυχιακή αυτή εργασία ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας εντάσσονται στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων 'AIRSPACE' και 'WEBAIR-2' που χρηματοδοτεί το ΙΠΕ. Ευχαριστίες στο Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας για την παραχώρηση των δεδομένων "ΑΣ". Ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον κ. Σάββα Κλεάνθους Ανώτερο Λειτουργό στο Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας - Κλάδο Ποιότητας Αέρα.

Αναπόσπαστο κομμάτι είναι η παρέα των 12 (ξέρουν αυτοί), που χάρισαν χρώμα στα φοιτητικά μου χρόνια και που όσο ζω θα τα θυμάμαι....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι μέσα από την λήψη μετρήσεων των αιωρούμενων σωματιδίων ( $AS_{10}$ ) από επιγείους σταθμούς και του οπτικού πάχους των αερολυμάτων (AOT) από ηλιοφωτόμετρα να γίνει εφικτή η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την περιοχή της αστικής περιοχής της Λεμεσού στην Κύπρο. Ενώ παράλληλα μέσα από συσχέτιση των  $AS_{10}$  και του οπτικού πάχους των αερολυμάτων (AOT) να προσδιοριστεί σχέση μεταξύ τους. Με απώτερο στόχο την συστηματική μέτρηση της παρουσίας αιωρούμενων μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα μέσω έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης και πιο συγκεκριμένα δορυφορικών δεδομένων. Από τις μετρήσεις του AOT, με τη χρήση του ηλιοφωτόμετρου, που έλαβαν χώρα στο αστικό κέντρο της Λεμεσού, έχει παρατηρηθεί πως η τιμή 0,3 που αποτελεί όριο για το AOT, υπερβαίνεται σε μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια των μηνών του καλοκαιριού. Μέσω του μοντέλου HYSPLIT έχει φανεί ότι οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται στα γραφήματα της διακύμανσης AOT οφείλονται στη διέλευση αέριων μαζών που μεταφέρουν κυρίως σκόνη από την περιοχή της Αφρικανικής Ηπείρου.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xv
1 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	1
1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	1
1.1.1 Ορισμός Ατμόσφαιρας.....	1
1.1.2 Ο καθαρός αέρας .....	3
1.1.3 Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	4
1.1.4 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι.....	7
1.1.5 Οπτικό Πάχος Αερολύματος (Aerosol Optical Thickness ή Aerosol Optical Depth - AOD ).....	13
1.1.6 Επιδράσεις που οφείλονται στα Αιωρούμενα Σωματίδια .....	14
1.2 Η νομοθεσία στην Κύπρο βάση αυτής της Ευρωπαϊκής Ένωσης .....	16
2 Ανασκόπηση.....	18
3 Μεθοδολογία .....	21
3.1 Σκοπός .....	21
3.2 Μέθοδος.....	22
3.3 Περιοχή Μελέτης.....	23
3.4 Εξοπλισμός .....	26
3.4.1 Ηλιοφωτόμετρο Microtrops II .....	26



3.4.2	Αυτόματο Ηλιοφωτόμετρο τύπου Cimel.....	27
3.4.3	Διαθέσιμα Δεδομένα.....	30
3.5	Παγκόσμιο Δίκτυο αυτόματων ηλιοφωτομέτρων "AERONET" της NASA. ....	30
3.6	Διαδικασία λήψης μετρήσεων από την ιστοσελίδα του 'AERONET' .....	32
3.7	Μοντέλο HYSPLIT - Οπισθοτροχιές .....	33
4	Αποτελέσματα .....	35
4.1	Μετρήσεις AOT από το ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel.....	35
4.2	Συσχετίσεις Fine - Coarse – Συνολικού AOT .....	41
4.3	Συσχέτιση δεδομένων με βάση το Μοντέλο HYSPLIT .....	42
4.4	Συσχέτιση AΣ <sub>10</sub> με AOT.....	46
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	51
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	55
4.5	Ευρωπαϊκή Νομοθεσία .....	55
4.6	Κυπριακή Νομοθεσία .....	58
4.7	Εικόνες από το μοντέλο HYSPLIT (Μέρες με AOT>0,3).....	60

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Οι ζώνες της ατμόσφαιρας ως προς το ύψος και οι αντίστοιχες επικρατούσες θερμοκρασίες και πιέσεις (Γεντεκάκης, 2010) .....	1
Πίνακας 2: Η μέση σύσταση του καθαρού αέρα σε ξηρή και υγρή βάση (Πηγή: Γεντεκάκης, 2010) .....	4
Πίνακας 3: Οριακές τιμές για SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>X</sub> , CO και ΑΣ <sub>10</sub> σύμφωνα με την πρώτη και δεύτερη θυγατρική οδηγία (Πηγή: (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012). .....	17
Πίνακας 4: Μηνιαίες τιμές ΑΟΤ για 2010 και 2011 .....	39
Πίνακας 5: Μέρες με ΑΟD μεγαλύτερο του 0,3 .....	41
Πίνακας 6: Τιμές ΑΟΤ που λήφθηκαν στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTROPS II από 10/2011 έως 1/2012 .....	47
Πίνακας 7: Τιμές ΑΣ <sub>10</sub> που υπολογίστηκαν βάση της σχέσης που αναπτύχθηκε από τη συσχέτιση ΑΟΤ και ΑΣ <sub>10</sub> .....	49
Πίνακας 8: Οριακές τιμές για ΑΣ <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ΑΣ <sub>10</sub> , Pb, CO, Benzene, O <sub>3</sub> , As, Cd, Ni και PAHs, σύμφωνα με τις θυγατρικές οδηγίες.....	56

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πορεία Συσχετισμού δεδομένων.....	21
Εικόνα 2: Συσχέτιση AOT με μοντέλο HYSPLIT για χαρακτηρισμό αιωρούμενων σωματιδίων .....	22
Εικόνα 3: Περιοχή Λεμεσού (Google Earth Inc., 2011).....	23
Εικόνα 4: Ρύπανση για το κέντρο της Λεμεσού, Μετρήσεις AOT, από μελέτες Τηλεπισκόπησης (Themistocleous et al., 2010) .....	25
Εικόνα 5: Περιοχή στη Λεωφόρο Μακαρίου όπου λήφθηκαν μετρήσεις για AOT.....	26
Εικόνα 6: Ηλιοφωτόμετρο τύπου MICROTUPS (με GPS).....	27
Εικόνα 7: Αυτόματο Ηλιοφωτόμετρο τύπου Cimel .....	28
Εικόνα 8: Δίκτυο Χωρών που συνεργάζονται στο πρόγραμμα AERONET (NASA 2011)	31
Εικόνα 9:Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/4/2010 .....	33
Εικόνα 10: Διακύμανση Συνολικού AOT για το 2010 - 2011.....	37
Εικόνα 11: Συνεισφορά Fine και Coarse στη διακύμανση του Συνολικού AOT.....	38
Εικόνα 12: Κατανομή AOT σε μηνιαία βάση για το έτος 2010.....	40
Εικόνα 13: Κατανομή AOT σε μηνιαία βάση για το έτος 2011 .....	40
Εικόνα 14: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για την 20/4/2010 .....	43
Εικόνα 15: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 25/10/2010 .....	44
Εικόνα 16: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για την 21/9/2011 .....	45
Εικόνα 17: Συσχέτιση των $AS_{10}$ με AOT .....	46
Εικόνα 18: AOT για στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTUPS II από 10/2011 εως 1/2012 .....	48

Εικόνα 19: Τιμές $A\Sigma_{10}$ βασισμένες στη εξίσωση συσχέτισης και τις μετρήσεις AOT για στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTROPS II για τους 10/2011 έως 1/2012 .	50
Εικόνα 20: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/4/2010	60
Εικόνα 21: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 20/4/2010	60
Εικόνα 22: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 7/5/2010	61
Εικόνα 23: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 9/5/2010	61
Εικόνα 24: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/5/2010	62
Εικόνα 25: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 14/5/2010	62
Εικόνα 26: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 16/5/2010	63
Εικόνα 27:: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 27/5/2010	63
Εικόνα 28: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 28/5/2010	64
Εικόνα 29: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 2/6/2010	64
Εικόνα 30: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/6/2010	65
Εικόνα 31: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 12/6/2010	65
Εικόνα 32: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 13/6/2010	66

Εικόνα 33: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 15/6/2010 .....	66
Εικόνα 34: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 16/7/2011 .....	67
Εικόνα 35: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 19/7/2011 .....	67
Εικόνα 36: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 20/7/2011 .....	68
Εικόνα 37: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 21/7/2011 .....	68
Εικόνα 38: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 23/7/2011 .....	69
Εικόνα 39: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 24/7/2011 .....	69
Εικόνα 40: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 30/7/2011 .....	70
Εικόνα 41: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 5/8/2011 .....	70
Εικόνα 42: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 18/8/2011 .....	71
Εικόνα 43: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 4/9/2011 .....	71
Εικόνα 44: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/9/2011 .....	72
Εικόνα 45: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/9/2011 .....	72
Εικόνα 46: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 21/9/2011 .....	73
Εικόνα 47: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 28/9/2011 .....	73

Εικόνα 48: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 29/9/2011 .....	74
Εικόνα 49: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 30/9/2011 .....	74
Εικόνα 50: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/10/2011 .....	75
Εικόνα 51: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/10/2011 .....	75
Εικόνα 52: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 23/10/2011 .....	76
Εικόνα 53: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 24/10/2011 .....	76
Εικόνα 54: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 25/10/2011 .....	77
Εικόνα 55: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 26/10/2011 .....	77

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΙΠΕ	Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας
AOT	Aerosol Optical Thickness
ΑΣ10	Αιωρούμενα Σωματίδια διαμέτρου < 10 μm. Particulate matter with aerodynamic diameter less than 10 micrometers
VOCs	Volatile Organic Compounds
AERONET	Aerosol Robotic Network
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
UTC	Coordinated Universal Time

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Data	Δεδομένα
PM	Αιωρούμενα Σωματίδια - ΑΣ
VOCs	Πτητικές οργανικές ενώσεις



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι κοινώς αποδεκτό και αναγνωρισμένο πως θέματα που άπτονται της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και ειδικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν προβλήματα πολύπλευρα και βαρυσήμαντα, γεγονότα που επηρεάζουν κάθε περιοχή σε επίπεδο χώρας ενώ παράλληλα μεταβάλλουν τις ισορροπίες παγκόσμια. Ανά το παγκόσμιο οι χώρες έχουν πλέον ευαισθητοποιηθεί σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα πράγμα που φαίνεται μέσα από τη διεξαγωγή ενεργειών ώστε να εξασφαλιστεί ένα επίπεδο ζωής που να πληρεί βιώσιμες συνθήκες και χαρακτηριστικά ενός κοινώς αποδεκτού επιπέδου, στοιχεία τα οποία πλέον εντάχθηκαν σε κανονισμούς αλλά και νομοθεσίες που οριοθετούν τις συνθήκες αυτές.

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Ιδιαίτερα σε μέρες με υψηλή θερμοκρασία και υψηλή σχετική υγρασία, η ποιότητα του αέρα πάνω από αστικές περιοχές, όπως για παράδειγμα το κέντρο της Λεμεσού, συχνά φθάνει σε επιβλαβή για την υγεία επίπεδα, με τα αιωρούμενα σωματίδια να είναι ο κύριος ένοχος.

Ένας όχι ιδιαίτερα γνωστός μέχρι πρότινος, αόρατος αλλά υπαρκτός, ατμοσφαιρικός ρύπος, τα αιωρούμενα σωματίδια, γνωστά ως PM10, έρχονται να προστεθούν στα ήδη συσσωρευμένα προβλήματα ρύπανσης των αστικών κέντρων. Πρόκειται για σωματίδια απειροελάχιστης ύλης με διάμετρο μικρότερη των 10 εκατομμυριοστών του μέτρου, τα οποία αποτελούνται από πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, μικροσκοπικά κομμάτια άνθρακα, ανόργανες και οργανικές ουσίες και εκπέμπονται κυρίως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Αυτά τα σωματίδια ενοχοποιούνται για σειρά ασθενειών κυρίως του αναπνευστικού συστήματος και την πρόκληση πρόωρων θανάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα μικρά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm μπορούν να διεισδύσουν στους πνεύμονες και να επιδεινώσουν ή να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα. Τα σωματίδια επίσης μπορούν να απειλήσουν επίσης την ασφάλεια των αεροπορικών πτήσεων, καθώς είναι δυνατόν να μειώσουν την ορατότητα πάνω από ρυπασμένες περιοχές αυξάνοντας τον αριθμό των πρόωρων θανάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Η συστηματική μέτρηση, παρακολούθηση των αιωρούμενων σωματιδίων (PM10 και 2.5) είναι το κυριότερο μέλημα των αρμόδιων αρχών.

Κατά την διάρκεια της περασμένης δεκαετίας, τα ηλιακά φωτόμετρα αποτέλεσαν την πιο συστηματική μέθοδο καταγραφής των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Το δίκτυο AERONET [Aerosol Robotic NETwork] (Holben et al., 1998) παρέχει τις οπτικές και μικροφυσικές

ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υποστήριξη των δορυφορικών παρατηρήσεων.

Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφία συναντούμε αρκετές προσπάθειες που έλαβαν χώρα ανά το παγκόσμιο με σκοπό την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης χρησιμοποιώντας επίγειους σταθμούς αλλά και συνδυασμένα δορυφορικά δεδομένα.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με ηλιοφωτόμετρα και επίγειους σταθμούς στην αστική περιοχή της Λεμεσού ενώ παράλληλα η ανάπτυξη εξίσωσης – σχέσης η οποία να συνδέει τις παραμέτρους ΑΟΤ και ΑΣ<sub>10</sub>. Ενέργεια, που αποσκοπεί, σε μελλοντικό στάδιο, να υποστηρίξει την συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη βοήθεια έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης και ειδικά τα δορυφορικά δεδομένα. Λαμβάνοντας το ΑΟΤ από αυτά θα μπορεί εύκολα να γίνεται υπολογισμός των ΑΣ<sub>10</sub>, διαδικασία που προβλέπει στην εξοικονόμηση χρόνου, χρήματος αλλά παράλληλα θα απλοποιεί τις διαδικασίες.

# 1 Θεωρητικό Υπόβαθρο

## 1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται ο ορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παράγοντας που επηρεάζει άμεσα το δομημένο αλλά και φυσικό περιβάλλον. Συνεχίζοντας, παρουσιάζονται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι καθώς επίσης οι πηγές από τις οποίες προέρχονται. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται περιγραφή της Νομοθεσίας που ισχύει στην Κύπρο βασισμένη στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που είναι συνυφασμένη με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τις οριακές τιμές σχετικά με τις συγκεντρώσεις διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

### 1.1.1 Ορισμός Ατμόσφαιρας

Με τον όρο ατμόσφαιρα αναφερόμαστε σε ένα φλοιό πάχους 150 km που περιβάλλει τη Γή, ο οποίος αναλογεί σε περίπου 500.000.000.000 τόνους αέρα. Μέσα από την παρατήρηση της ατμόσφαιρας διακρίνουμε το γεγονός πως η πυκνότητα καθώς και η θερμοκρασία της μεταβάλλονται σχετικά με το ύψος. Όσο απομακρυνόμαστε από τη Γή, ανεβαίνουμε δηλαδή προς τα πάνω, η τιμή της πυκνότητας μικραίνει καθώς και η θερμοκρασία παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά. Για την καλύτερη μελέτη της ατμόσφαιρας έγινε διαχωρισμός σε διάφορες βαθμίδες – ζώνες, ανάλογα με το ύψος της κάθε μιας, όπου στην κάθε μια επικρατούν διαφορετικές θερμοκρασίες αλλά και πιέσεις. Χαμηλότερο σημείο είναι η τροπόσφαιρα (troposphere), ακολουθεί η στρατόσφαιρά (stratosphere), η μεσόσφαιρα (mesosphere), ψηλότερα η θερμόσφαιρα (thermosphere) και στο ψηλότερο υψομετρικά σημείο η εξώσφαιρα (exosphere) (Βλέπε Πίνακα 1).

**Πίνακας 1: Οι ζώνες της ατμόσφαιρας ως προς το ύψος και οι αντίστοιχες επικρατούσες θερμοκρασίες και πιέσεις (Γεντεκάκης, 2010)**

	Τροπόσφαιρα	Στρατόσφαιρα	Μεσόσφαιρα	Θερμόσφαιρα	Εξώσφαιρα
Ύψος	0 km~15 Km	15Km ~ 50Km	50Km~80Km	80Km~120Km	120Km~500Km
Πίεση (mbar)	$10^3 \sim 10^2$	$10^2 \sim 1$	$1 \sim 10^{-2}$	$10^{-2} \sim 10^{-5}$	$> 10^{-5}$
Θερμοκρασία	20 °C ~ -57°C	-57°C ~ 0°C	0°C ~ -85°C	-85°C ~ -30°C	< -30°C

Το ενδιαφέρον των μελετών που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση εστιάζεται στις ζώνες της μεσόσφαιρας και θερμόσφαιρας. Τα στρώματα αυτά καθορίζουν την κατανομή της ενέργειας που προέρχεται από την απορρόφηση αλλά και διασπορά της ακτινοβολίας του ήλιου αλλά και κοσμικής ακτινοβολίας<sup>1</sup> προς τα χαμηλότερα υψομετρικά τμήματα της ατμόσφαιρας, την στρατόσφαιρα και τροπόσφαιρα. Μεταφορά ρύπανσης στη ζώνη της στρατόσφαιρας θα έχει αντίκτυπο ρύπανσης σε ευρεία κλίμακα, με τάξη μεγέθους διηπειρωτική ή ακόμη και παγκόσμια (Γεντεκάκης 2010). Ρύπανση που συσχετίζεται με ρύπανση από τα διασκορπισμένα σωματίδια από εναέριες δοκιμές ατομικών βομβών αλλά και ηφαιστειακές εκρήξεις. Παράλληλα στη ζώνη της στρατόσφαιρας παρατηρείται ζωτικής σημασίας απορρόφηση και διασπορά ακτινοβολίας του ήλιου.

Σημαντικό για να αναφερθεί είναι το γεγονός της παρουσίας του στρώματος του όζοντος στα κατώτερα στρώματα της ζώνης. Το όζον λειτουργεί σαν φίλτρο που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία (UV- ultraviolet), που προέρχεται από τον ήλιο, η οποία είναι εξαιρετικά βλαβερή. Η μη μεταβολή της θερμοκρασίας στα χαμηλότερα στρώματα της στρατόσφαιρας λαμβάνει χώρα λόγω αυτού του γεγονότος. Για το λόγο αυτό αρκετοί επιστήμονες, από διάφορους κλάδους, εστιάζουν τις μελέτες τους στο στρώμα του όζοντος έχοντας σαν επίκεντρο της έρευνας τους τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται το πάχος του λόγω της συσσώρευσης χλωροφθορανθράκων (CFCs) αλλά και άλλων ρυπογόνων αερίων που το απειλούν με καταστροφή. Ρύποι που προέρχονται κυρίως από τις δραστηριότητες στη Γή ή από αεροσκάφη που κινούνται σε μεγάλα ύψη οι οποίοι μετακινούνται με αργό ρυθμό προς τη στρατόσφαιρα όπου και συσσωρεύονται.

Ζωτικής σημασίας είναι η παρουσία της τροπόσφαιρας, η οποία αποτελεί την αέρια ζώνη που περιβάλλει τη Γή. Σε αυτή τη ζώνη βασίζεται η πιο βασική δράση της ζωής στη Γή η αναπνοή, ενέργεια που καθορίζει την ίδια την ύπαρξη μας και επηρεάζει άμεσα κάθε έκφανση των δραστηριοτήτων μας. Για τους λόγους αυτούς αποτελεί το κύριο θέμα έρευνας.

---

<sup>1</sup> Οι **κοσμικές ακτίνες** ή **κοσμική ακτινοβολία** είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα. Αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή θετικά φορτισμένα ηλεκτρικώς σωματίδια, περίπου 87% πρωτόνια, 12% σωματίδια άλφα (πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες. Ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτινών είναι ακτίνες γ (φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών, και . Μία κοσμική ακτίνα (1 σωματίο) μπορεί να φθάσει σε ενέργεια τα  $10^{20}$  (περίπου 50 Joules, η ενέργεια μιας μπάλας του τένις που κινείται με 151 km/h). Καμιά μηχανή κατασκευασμένη από τον άνθρωπο στη Γη προς το παρόν δεν μπορεί να επιταχύνει κάποιο σωματίο σε τόσο υψηλές ενέργειες. (Creative Commons Attribution/Share-Alike License, 2012)

### 1.1.2 Ο καθαρός αέρας

Η έννοια καθαρός αέρας μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί ιδεατή κατάσταση. Η έννοια αυτή κυρίως αποτελεί υπόθεση του πως θα ήταν η σύνθεση του αέρα αν δεν τύγχανε επηρεασμό από τις διάφορες δράσεις και ενέργειες του ανθρώπου. Ακόμη και την καλύτερη από τις υφιστάμενες των περιπτώσεων που ισχύουν παγκόσμια να εξετάσουμε, για παράδειγμα απομακρυσμένες θαλάσσιες περιοχές, έρημους, βουνά ή ακόμη τους Πόλους, ο αέρας εκεί μπορεί να θεωρηθεί ως επιβαρυσμένος υπό υψηλή αραίωση ρύπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις όντως ο αέρας θεωρείται ότι πλησιάζει την έννοια του καθαρού αέρα όμως είναι σίγουρο ότι διαφέρει από αυτόν λόγω του ότι έχει υποστεί επιβάρυνση από υπολείμματα διάσπαρτης και πεπαλαιωμένης ρύπανσης που οφείλεται από ανθρωπογενείς πηγές.

Στην πραγματικότητα η ατμόσφαιρα μπορεί να χαρακτηριστεί ως κάτι περισσότερο από ένα ξηρό μείγμα μόνιμων αερίων. Η ατμόσφαιρα περιέχει και άλλες ουσίες όπως νερό υπό μορφή ατμού, οργανικές ουσίες καθώς επίσης και ουσίες σωματιδιακού τύπου, συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται σε περιορισμένα ποσοστά. Κυρίαρχη θέση όσον αφορά τους ατμούς έχουν οι ατμοί του νερού. Η παρουσία τους χαρακτηρίζει την ατμόσφαιρα με ακραίες καταστάσεις την σχεδόν απόλυτη ξηρασία έως και την απόλυτη υγρασία (0% και 4% κατά βάρος) (Βλέπε Πίνακα 2).

Ο πίνακας παρουσιάζει τη σύσταση του καθαρού αέρα σε ξηρή φάση αλλά και με την παρουσία υγρασίας, που μεταφράζεται σε συγκέντρωση υδρατμών 31,200 ppm(v) Η διαφορά μεταξύ υγρού και ξηρού καθαρού αέρα χαρακτηρίζεται με κύριο στοιχείο την παρουσία υγρασίας. (Γεντεκάκης 2010).

Στον πίνακα 2 η σύσταση του αέρα είναι παρουσιασμένη με κάθε συστατικό να είναι τοποθετημένο σε δυο κατηγορίες: εκφρασμένο σε μέρη στο εκατομμύριο κατ όγκο, ppm(v) ή σε μονάδες συγκέντρωσης μάζας mg/m<sup>3</sup>.

**Πίνακας 2: Η μέση σύσταση του καθαρού αέρα σε ξηρή και υγρή βάση (Πηγή: Γεντεκάκης, 2010)**

Συστατικό	Ξηρός Αέρας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Υγρός Αέρας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Συστατικό	Ξηρός Αέρας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Υγρός Αέρας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Άζωτο( $\text{N}_2$ )	$8,95 \times 10^8$	$8,67 \times 10^8$	Μεθάνιο( $\text{CH}_4$ )	$6,6-7,9 \times 10^2$	$6,4-7,6 \times 10^2$
Οξυγόνο( $\text{O}_2$ )	$2,74 \times 10^8$	$2,65 \times 10^8$	Κρυπτό (Kr)	$3,43 \times 10^3$	$3,32 \times 10^3$
Νερό( $\text{H}_2\text{O}$ )	-	$2,30 \times 10^7$	$\text{N}_2\text{O}$	$9,00 \times 10^2$	$8,73 \times 10^2$
Αργό(Ar)	$1,52 \times 10^7$	$1,47 \times 10^7$	Υδρογόνο( $\text{H}_2$ )	4,13	4,00
$\text{CO}_2$	$5,67 \times 10^5$	$5,49 \times 10^5$	Ξένο(Xe)	$4,29 \times 10^2$	$4,17 \times 10^2$
Νέο (Ne)	$1,49 \times 10^4$	$1,44 \times 10^4$	Οργανικοί ατμοί (VOC <sup>S</sup> )	-	-
Ήλιο(He)	$8,5 \times 10^2$	$8,25 \times 10^2$	Όζον( $\text{O}_3$ )	$7,84 \times 10^1$	$7,84 \times 10^1$

### 1.1.3 Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 96/61 για την διαχείριση της ποιότητας του αέρα “ρύπος καλείται κάθε ουσία η οποία διοχετεύεται αμέσως ή εμμέσως από τον άνθρωπο στον αέρα του περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή/και στο περιβάλλον στο σύνολο του” (DOTSOFT 1998-2012).

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα , δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα (DOTSOFT 1998-2012).

Με μια πιο λεπτομερή παρακολούθηση της ατμόσφαιρας είναι δυνατόν να συναντήσουμε εκτός από μια πληθώρα ανόργανων αλλά και οργανικών ουσιών κάθε στοιχείο που περιλαμβάνεται στον Περιοδικό Πίνακα. Γεγονός κοινώς αποδεκτό και πράγμα που δεν αποτελεί αίτιο ώστε να ασχοληθούμε με την παρακολούθηση τους, μιας και οι

συγκεντρώσεις τους είναι τόσο χαμηλές που δεν είναι σε θέση να επηρεάσουν τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε βαθμό που να είναι αντιληπτός ή έστω μετρήσιμος ώστε να προκαλεί αντίκτυπο σε οποιαδήποτε έκφανση της ζωής μας, ανθρώπους – χλωρίδα – πανίδα ή άλλα υλικά (Γεντεκάκης, 2010).

Παρατήρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιχειρείται σε συνεχή βάση μέσω προγραμμάτων σε διάφορες χώρες, Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις που η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζεται σε κατάσταση κατά την οποία υπάρχουν συγκεντρώσεις των οποίων οι τιμές ξεπερνούν να φυσιολογικά αποδεκτά όρια. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σε θέση να μεταβάλουν ή να αλλοιώσουν τα κοινώς αποδεκτά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας ενώ παράλληλα ασκούν επιζήμια επίδραση σε κάθε ζωντανό οργανισμό πάνω στη Γή.

Είναι καλό να αναφερθεί πως με τον όρο ουσίες χαρακτηρίζουμε κάθε ανθρωπογενή, φυσική ή χημικό στοιχείο – ένωση που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε οποιαδήποτε κατάσταση (στερεή, υγρή ή αέρια).

Όταν αναφερόμαστε στο πρόβλημα που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση εστιάζουμε την προσοχή μας σε επτά βασικές ομάδες ρύπων. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να γίνεται αναφορά σε κάποια ειδική περίπτωση και μια συνθήκη ρύπων που είναι δυνατόν να επικρατούν σε κάποια περιοχή.

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- Το Διοξείδιο του Θείου ( $\text{SO}_2$ )
- Το Μονοξείδιο του Άνθρακα ( $\text{CO}$ )
- Το Διοξείδιο του Αζώτου ( $\text{NO}_2$ )
- Το Όζον ( $\text{O}_3$ )
- Τα Αιωρούμενα Σωματίδια ( $\text{AS}_{10}$ )
- Το Βενζόλιο ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )
- Ο Μόλυβδος ( $\text{Pb}$ )

Σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός του ότι ένα μεγάλο μέρος από τα υλικά που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, τα οποία παρουσιάζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, όσον αφορά την χημική τους σύσταση είναι από απλά μόρια. Για παράδειγμα τα πιο κύρια συστατικά των αερολυμάτων είναι: το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), τα οξείδια του αζώτου [μονοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}$ ), διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ )], το υδρόθειο

(H<sub>2</sub>S), η αμμωνία (NH<sub>3</sub>), το υδροχλώριο (HCl), το υδροφθόριο (HF) καθώς επίσης και διάφοροι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, με απλή σχετικά δομή, αλλά και διαλύτες που εξατμίζονται λόγω πτητικότητας όπως αλκάνια ή αλκένια.

Εκτός από αυτά, η ατμόσφαιρα είναι δέκτης εκπομπών που προέρχονται κυρίως από τη βιομηχανία οι οποίοι περιλαμβάνουν μόρια που είναι περισσότερο πολύπλοκα. Για παράδειγμα διοξίνες ή πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες μόρια τα οποία κοινώς καλούνται ως τοξικά αέρια. Οι ουσίες που παρουσιάστηκαν πιο πάνω εντάσσονται στην ομάδα των πρωτογενών ρύπων, των ρύπων δηλαδή που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή.

Είναι καλό να αναφερθεί πως η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελεί γεγονός που οφείλεται μόνο στους πρωτογενείς ρύπους. Στην περιοχή που καταλαμβάνει η ατμόσφαιρα λαμβάνουν χώρα πληθώρα χημικών αντιδράσεων, αντιδράσεις που έχουν σαν κύρια συστατικά στοιχεία ρύπους αλλά και αντιδράσεις που συνιστώνται από ρύπους και μόρια που αποτελούν την καθαρή ατμόσφαιρα. Με άλλα λόγια μπορούμε να παρομοιάσουμε την ατμόσφαιρα με ένα αντιδραστήρα τεραστίων διαστάσεων όπου μέσα του συμβαίνουν χημικές αλλαγές στη σύσταση των μορίων των ρύπων. Διαδικασίες που γίνονται μέσω φωτοχημικών, ομογενών αλλά και ετερογενών αντιδράσεων, μέσα από συμμετοχή της σωματιδιακής ύλης. Μέσα από την όλη διαδικασία παρουσιάζεται η παραγωγή νέων σχηματισμών που ενισχύουν τις συγκεντρώσεις που καλούνται δευτερογενείς ρύποι, οι οποίοι είναι σε μεγάλο βαθμό κύριοι υπεύθυνοι για την παρουσία φαινομένων μειωμένης ορατότητας, που οφείλεται στα αερολύματα, αλλά και του φαινομένου του φωτοχημικού νέφους.



#### **1.1.4 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι**

Όπως προαναφέρθηκε οι ατμοσφαιρικοί ρύποι τοποθετούνται σε κατηγορίες με γνώμονα την πηγή τους ή τον τρόπο με τον οποίο σχηματίστηκαν. Η κατηγοριοποίηση αυτή έχει τον χαρακτηρισμό πρωτογενής ή δευτερογενής ρύπος.

##### **1.1.4.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**

Το διοξείδιο του άνθρακα δεν αποτελεί άμεσα τοξικό ρύπο, όμως είναι ένα μόριο που λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα σε τεράστιες ποσότητες. Είναι αέριο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας, άχρωμο, άοσμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και επίσης είναι ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου. Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών και άλλων οργανικών ενώσεων.

Παράγεται ακόμα από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από τις θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Γεωλογικού Ινστιτούτου των ΗΠΑ τα ηφαίστεια παράγουν σε παγκόσμιο επίπεδο 200 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως.

##### **1.1.4.2 Νιτρικά οξείδια ή οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)**

Ο όρος «νιτρικά οξείδια» ή «οξείδια του αζώτου» (NO<sub>x</sub>) συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε δύο ρύπους: το νιτρικό οξείδιο ή μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το νιτρικό διοξείδιο ή διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Το μεν πρώτο είναι ένα άχρωμο, άοσμο αέριο, ενώ το δεύτερο είναι ένα κόκκινο-καφέ αέριο με έντονη μυρωδιά. Το νιτρικό οξείδιο αντιδρά με το οξυγόνο ή το όζον στην ατμόσφαιρα για να παράξει το νιτρικό διοξείδιο. Η τυχόν εισπνοή αυτών των δύο ουσιών στη μορφή καθαρών αερίων φέρνει ακαριαίο το θάνατο. Στην κατηγορία των νιτρικών οξειδίων περιλαμβάνονται τα NO<sub>3</sub> (νιτρικά τριοξείδια), N<sub>2</sub>O (νιτρώδες οξείδιο), N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Το νιτρώδες οξείδιο είναι ένα αέριο θερμοκηπίου και επιπλέον καταστρέφει το στρώμα του όζοντος. Το N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> είναι πολύ ασταθές αέριο, το οποίο συνήθως παρουσιάζεται σε σημαντικές ποσότητες τη νύχτα (διαλύεται με την ηλιακή ακτινοβολία).

Το νιτρικό οξείδιο (NO) χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδροξυλαμίνης, η οποία στηρίζεται στην αντίδραση του νιτρικού οξειδίου με το υδρογόνο υπό την παρουσία καταλύτη. Το νιτρικό διοξείδιο (NO<sub>2</sub>) χρησιμοποιείται σαν ενδιάμεσο μέσο στην κατασκευή του νιτρικού οξέως (HNO<sub>3</sub>) και επιπλέον ως ισχυρός οξειδωτικός παράγοντας σε χημικές αντιδράσεις και στα καύσιμα των πυραύλων.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς εκπομπές νιτρικών οξειδίων βασίζονται στο μηχανισμό της καύσης και προέρχονται από τη χρήση καυσίμων, το κάψιμο βιομάζας αλλά και διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής. Οι διαδικασίες καύσης εκπέμπουν (μεταξύ και άλλων αερίων) ένα μίγμα νιτρικού οξειδίου (90%) και νιτρικού διοξειδίου (10%). Το νιτρικό οξείδιο αντιδρά με άλλες χημικές ουσίες στην ατμόσφαιρα για να γίνει νιτρικό διοξείδιο. Υπάρχουν επίσης κάποιες πιο μικρές φυσικές πηγές εκπομπής νιτρικών οξειδίων, όπως ο φωτισμός και βιολογικές διαδικασίες στο έδαφος (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012).

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

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο, δηλητηριώδες αέριο. Δημιουργείται όταν καύσιμα που περιέχουν άνθρακα καίγονται σε συνθήκες με περιορισμένο οξυγόνο. Είναι ελαχίστως ελαφρύτερο από τον αέρα. Το μονοξείδιο του άνθρακα συνιστά εκρηκτικά μίγματα με τον αέρα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν στο παρελθόν, 19<sup>ο</sup> αιώνα, ένα αέριο το οποίο γινόταν χρήση ως καύσιμο, μία συνήθης πρακτική για θέρμανση αλλά και φωτισμό στις πόλεις. Πηγή του αερίου αυτό ήταν η θερμική κατεργασία ξυλάνθρακα, και το μονοξείδιο του άνθρακα ήταν ο κύριος λόγος για την πολύ υψηλή τοξικότητά του. Η χρήση του αυτή αντικαταστάθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '70 από το φυσικό αέριο, που είναι συνήθως μεθάνιο, και είναι λιγότερο τοξικό.

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται όταν καίγονται καύσιμα που περιέχουν άνθρακα σε συνθήκες όπου το οξυγόνο είναι περιορισμένο. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν βενζίνη είναι η κύρια πηγή μονοξειδίου του άνθρακα σε πόλεις. Παρόλα αυτά οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλότερες από τα σύγχρονα οχήματα που διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς. Οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στις αστικές περιοχές είναι συνυφασμένες σε μεγάλο βαθμό με την πυκνότητα της κυκλοφορίας και με τις καιρικές συνθήκες. Οι συγκεντρώσεις μπορούν να ποικίλουν πολύ κατά τη διάρκεια της ημέρας, ως συνάρτηση των επιπέδων και της ταχύτητας κυκλοφορίας. Τα οχήματα

παράγουν το περισσότερο μονοξειδίο άνθρακα όταν είναι σε ακινησία ή κατά την επιβράδυνση. Άλλες δευτερεύουσες πηγές είναι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και αποτεφρωτήρες αποβλήτων. Σε περιβάλλον σπιτιού, οι ελαττωματικοί λέβητες αερίου μπορεί να απελευθερώσουν μονοξειδίο του άνθρακα, όπως και το κάπνισμα από το οποίο απελευθερώνεται άμεσα μονοξειδίο του άνθρακα και εισπνέεται από τον καπνιστή. (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012).

#### **1.1.4.4 Όζον**

Το όζον είναι ένα φυσικό συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα. Αν και είναι ένα δευτερεύον συστατικό, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε ατμοσφαιρικές διαδικασίες. Το όζον που βρίσκεται στην στρατόσφαιρα, δηλαδή στο εξωτερικό μέρος της ατμόσφαιρας συχνά αποκαλείται «καλό όζον», επειδή μας προστατεύει απορροφώντας την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Παρόλα αυτά η απευθείας έκθεση στο όζον είναι επικίνδυνη και το «κακό όζον» που βρίσκεται στην τροπόσφαιρα, δηλαδή το μέρος της ατμόσφαιρας που συνήθως ζουν οι άνθρωποι, επιφέρει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά και τα υλικά.

Το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των οξειδίων του αζώτου (NOX) και των οργανικών πτητικών ενώσεων (VOCs) με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να είναι ψηλές κατά τη διάρκεια ζεστών και ηλιόλουστων ημερών. Σήμερα οι συγκεντρώσεις όζοντος είναι κατά πολύ ψηλότερες σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις πριν 100 χρόνια λόγω των εκπομπών NOX και VOC που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα λόγω της κυκλοφοριακής κίνησης, της βιομηχανίας και άλλων πηγών. Επιστημονική έρευνα έχει αποδείξει ότι το όζον, NOX και VOC μπορούν να μεταφέρονται εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Σύμφωνα με τη σύμβαση σχετικά με τη μεγάλης ακτίνας διασυνοριακή ρύπανση των Ηνωμένων Εθνών, χώρες στην Ευρώπη και τη Βόρειο Αμερική έχουν συμφωνήσει να μειώσουν τις συγκεκριμένες εκπομπές σύμφωνα με τους όρους μιας σειράς πρωτοκόλλων (Europa 2005).

#### **1.1.4.4.1 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Όζον**

Για να προστατέψουμε την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει νομοθεσία σε ισχύ, η οποία χρειάζεται προετοιμασία για την τήρηση της. Για να εξασφαλιστεί η σωστή επιτήρηση των νομοθεσιών έχει θέσει μακροπρόθεσμους στόχους για τις συγκεντρώσεις όζοντος με στόχο τον περιορισμό των εθνικών εκπομπών NO<sub>x</sub> και VOC.

Η νομοθεσία προϋποθέτει τη σωστή πληροφόρηση των πολιτών για τις συγκεντρώσεις όζοντος και των άλλων αέριων ρύπων. Για το λόγο αυτό, οι σύνδεσμοι πιο κάτω παρέχουν ενημερωτικό υλικό για την Ευρωπαϊκή Ένωση και τις συγκεντρώσεις όζοντος της τελευταίας καλοκαιρινής περιόδου όπου εκδηλώθηκαν υπερβάσεις.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/3/EC για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με το όζον που ίσχυε μέχρι το 2008 είναι τώρα ενσωματωμένη στην Οδηγία 2008/50/EK(πχ Παράρτημα VII με τίτλο, Τιμές Στόχοι και Μακροπρόθεσμοι Στόχοι για το Όζον).

Εκθέσεις που παρουσιάζουν την κατάσταση όζοντος της τελευταίας καλοκαιρινής περιόδου όπου παρουσιάζονται και οι υπερβάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκονται στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος. Η πιο πρόσφατη έκθεση τιτλοφορείται 'Air pollution by ozone across Europe during the summer of 2009' (EEA Technical Report No2/2010). Περισσότερες εκθέσεις βρίσκονται στη σελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σε σχέση με υπερβάσεις Όζοντος κατά τους θερινούς μήνες (Europa 2005).

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

Το πιο γνωστό οξείδιο του θείου είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν κατά τη διάρκεια της παραγωγής του θειικού οξέως. Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο με διεισδυτική, αποπνικτική οσμή. Διαλύεται στο νερό για να παράξει όξινο διάλυμα (θειώδες οξύ).

Το διοξείδιο του θείου χρησιμοποιείται για τη λεύκανση, ως καπνογόνο και σαν συντηρητικό φαγητού. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου χρησιμοποιούνται επίσης στη διαδικασία παραγωγής του θειώδους οξέως. Χρησιμοποιείται επίσης και ως απολυμαντικό. Το υγροποιημένο διοξείδιο του θείου χρησιμοποιείται στον καθαρισμό

πετρελαιοειδών. Η χρήση του διοξειδίου του θείου ήταν σαν προστατευτικό στρώμα στην παραγωγή μαγνησίου για να το προστατεύει από την οξείδωση. Πριν λίγο καιρό αυτή η χρήση αντικαταστήθηκε από εξαφθορίδιο του θείου, το οποίο δεν είναι τοξικό (αλλά είναι ένα εξαιρετικά ισχυρό αέριο θερμοκηπίου).

Η κυριότερη πηγή διοξειδίου του θείου είναι η καύση στερεών καυσίμων. Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί, εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου και άλλα μεγάλα βιομηχανικά εργοστάσια συμβάλλουν στην πλειοψηφία της συνολικής μάζας που απελευθερώνεται. Οι εσωτερικοί λέβητες και οι φυσικές πηγές, όπως τα ενεργά ηφαίστεια και οι δασικές πυρκαγιές ελευθερώνουν διοξείδιο του θείου. Η οξείδωση άλλων συστατικών του θείου (όπως υδρόθειο που είναι το σουλφίδιο του υδρογόνου) που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από φυσικές και ανθρωπογενείς ενέργειες παρέχουν ακόμη μια πηγή εκπομπής θείου. Από το 1970 μέχρι το 1998 η ποσότητα διοξειδίου του θείου που απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα έχει μειωθεί κατά 75 %. Αυτή η μείωση ήταν κυρίως αποτέλεσμα της μειωμένης χρήσης κάρβουνου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η αντικατάστασή του πετρελαίου με πετρέλαιο μειωμένης περιεκτικότητας σε θείο ή με τη χρήση φυσικού αερίου.

#### **1.1.4.6 Πτητικές οργανικές ενώσεις**

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs = Volatile Organic Compounds) είναι οργανικές ενώσεις. Σε συνήθεις θερμοκρασίες βρίσκονται σε αέρια κατάσταση ή διαφεύγουν εύκολα από την υγρή φάση που βρίσκονται.

Το βενζόλιο είναι μια πτητική οργανική ένωση (VOC) η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης.

Οι πηγές πτητικών οργανικών ενώσεων είναι οι οργανικοί διαλύτες, τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο.

Οι κυριότερες εκπομπές των οργανικών πτητικών ενώσεων προέρχονται από οργανικούς διαλύτες, τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της καθώς επίσης και από μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ)

Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ), επίσης γνωστά ως σωματιδιακή ρύπανση. Αποτελούνται από ένα σύνθετο μίγμα πολλών διαφορετικών ειδών που συμπεριλαμβάνει τη σκόνη, την αιθάλη (άνθρακας), τα μόρια θειικού άλατος, τα μέταλλων και τα ανόργανα άλατα όπως το

αλάτι της θάλασσας. Σε αυτή την κατηγορία οι δύο κυριότεροι ρύποι, οι οποίοι χρήζουν σημαντικής ανησυχίας, είναι τα “ΑΣ10” και “ΑΣ2.5.” Τα ΑΣ10 είναι σωματίδια διάμετρο μικρότερη από 10 μικρόμετρα. Τα ΑΣ2.5 είναι ακόμη μικρότερα, δηλαδή έχουν διάμετρο μικρότερη από το 1/4 της διαμέτρου των προηγούμενων. Αυτά τα σωματίδια είναι τόσο μικρά που μπορούν να γίνουν ένα σώμα με τον ιστό των πνευμόνων, προκαλώντας ή επιδεινώνοντας τις αναπνευστικές ασθένειες και τα καρδιαγγειακά προβλήματα (KentroDomisis 2012).

Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι, είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσον πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα είναι. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται επίσης από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας.

Τα ΑΣ<sub>10</sub> παράγονται γενικά ως τυχαίο υποπροϊόν των διάφορων χημικών ή φυσικών διαδικασιών, δεν δημιουργούνται σκόπιμα, αν και πολλές βιομηχανικές διαδικασίες χρησιμοποιούν κονιορτοποιημένα υλικά (πούδρες και σκόνες) στις διαδικασίες κατασκευής και επεξεργασίας προϊόντων. Κάποια παραδείγματα που μπορούν να αναφερθούν διότι περιλαμβάνουν παραγωγή ΑΣ<sub>10</sub> είναι οι τομείς παραγωγής και επεξεργασίας του τσιμέντου, ασβέστη, σιδήρου και χάλυβα.

Τα σωματίδια αιθάλης απελευθερώνονται στον αέρα από τις διαδικασίες καύσης που συναντώνται κατά τη χρήση καυσίμου άνθρακα, στις οδικές μεταφορές, στην αποτέφρωση αποβλήτων και σε άλλες βιομηχανικές διαδικασίες. Τα σωματίδια θειικού αλάτος μπορούν να προκύψουν από την χρήση καυσίμων που περιέχουν το θείο, είτε άμεσα είτε από τις επόμενες χημικές αντιδράσεις του διοξειδίου του θείου με άλλα αερομεταφερόμενα είδη ρύπων. Άλλοι τύποι σωματιδίων δημιουργούνται κατά τη διαδικασία κατασκευής προϊόντων, και από διαδικασίες εξόρυξης. Ιδιαίτερα σημαντικές μπορεί να είναι οι φυσικές (μη ανθρωπογενείς) πηγές, όπως οι δασικές πυρκαγιές, τα ηφαίστεια και οι θύελλες σκόνης.

Αυτά τα σωματίδια είναι τόσο μικρά που μπορούν να προσκολληθούν στον ανθρώπινο ιστό των πνευμόνων, προκαλώντας ή επιδεινώνοντας τις αναπνευστικές ασθένειες και τα καρδιαγγειακά προβλήματα. Τα αιωρούμενα σωματίδια, αφού μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του αέρα και να περάσουν έπειτα στο έδαφος ή το νερό, έχουν ως αποτέλεσμα τις εξής επιπτώσεις: καθιστούν τις λίμνες και τα ρεύματα όξινης,

αλλάζει η θρεπτική ισορροπία στα παράκτια ύδατα και τις μεγάλες λεκάνες ποταμών, μειώνονται οι θρεπτικές ουσίες στο χόμα, καταστρέφονται τα ευαίσθητα δάση και οι αγροτικές συγκομιδές και επηρεάζουν την ποικιλομορφία των οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να "λεκιάσει" και να βλάψει την πέτρα καθώς και τα άλλα υλικά, συμπεριλαμβανομένων αντικειμένων μεγάλης πολιτιστικής αξίας όπως τα αγάλματα και τα μνημεία.

### **1.1.5 Οπτικό Πάχος Αερολύματος (Aerosol Optical Thickness ή Aerosol Optical Depth - AOD )**

Οπτικό Πάχος Αερολύματος καλείται ως ο βαθμός στον οποίο τα αερολύματα αποτρέπουν τη μετάδοση του φωτός από την απορρόφηση ή τη διασπορά του φωτός. Το οπτικό βάθος αερολύματος ή το οπτικό πάχος ( $\tau$ ) ορίζεται ως ο ενσωματωμένος συντελεστής εξάλειψης πέρα από μια κάθετη στήλη της διατομής μονάδων. Ο συντελεστής εξάλειψης είναι η κλασματική μείωση της ακτινοβολίας ανά μήκος πορειών μονάδων. Το οπτικό πάχος κατά μήκος της κάθετης κατεύθυνσης καλείται επίσης κανονικό οπτικό πάχος (έναντι του οπτικού πάχους κατά μήκος του μήκους πορειών ραπίσματος) (NASA, 2011).

Όσον αφορά τις εφαρμογές τις οποίες είναι σε θέση να υποστηρίξει και να γίνει χρήση του AOT μπορούμε να πούμε πως αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Μια λίστα από αυτές παρουσιάζεται πιο κάτω: (NASA, 2011)

1. Διόρθωση των Ατμοσφαιρικών μακρινών εξασθενημένων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της επιφάνειας.
2. Έλεγχος των πηγών και των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων.
3. Έλεγχος των ηφαιστειακών εκρήξεων και δασικών πυρκαγιών.
4. Μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας.
5. Έλεγχος ποιότητας αέρα.
6. Διαχείριση της Υγείας και του περιβάλλοντος.
7. Έλεγχος κλιματικών αλλαγών.
8. Έλεγχος ποσοστού ακτινοβολίας της Γης.

### **1.1.6 Επιδράσεις που οφείλονται στα Αιωρούμενα Σωματίδια.**

Υπάρχει ανάγκη για λήψη μετρήσεων και παρακολούθηση της παρουσίας αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Εκτός από τα θέματα υγεία τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ικανά να επηρεάσουν και άλλους τομείς εξίσου ζωτικής σημασίας. Ορισμένοι από αυτούς είναι άμεσοι ενώ άλλοι σε κάποιο βαθμό δεν μπορούν να εντοπιστούν άμεσα, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα τους με το πέρασμα του χρόνου.

#### **1.1.6.1 Στην ορατότητα**

Ένα άμεσο επακόλουθο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας αποτελεί η μείωση της ορατότητας. Όταν αναφερόμαστε στον όρο ορατότητα έχουμε υπόψη μας την μέγιστη απόσταση στην οποία ένα αντικείμενο με επαρκείς διαστάσεις είναι ορατό και αναγνωρίσιμο όταν προβάλλεται στον ορίζοντα.

Σε γενικό βαθμό μερικοί από τους παράγοντες που είναι δυνατόν να επηρεάσουν την κρίση ενός παρατηρητή σχετικά με την ορατότητα είναι: η κατανομή και το ποσό του φωτός, η οξυδέρκεια που έχει το μάτι του παρατηρητή, οι οπτικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας καθώς επίσης τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

Οι λόγοι που οδηγούν στην μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας είναι η απορρόφηση και η σκέδαση από τα αέρια και τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι χρωματισμοί που συχνά παρουσιάζονται στην ατμόσφαιρα έχουν κυρίως την προέλευση τους στην απορρόφηση που διενεργούν τα σωματίδια σε ορισμένα μήκη κύματος. Παράλληλα, η σκέδαση του φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί το σημαντικότερο φαινόμενο που συνιστά στη μείωση της ορατότητας. Το φως που φθάνει από τον ήλιο μέσω του ουρανού σκεδάζεται από τα σωματίδια της στήλης αέρα που βρίσκεται μεταξύ κάποιου παρατηρητή και του αντικειμένου. Οδηγώντας στη μείωση της φωτεινής αντίθεσης μεταξύ αντικειμένου και ουράνιου ορίζοντα, γεγονός που μειώνει την ορατότητα. Ένα φαινόμενο που είναι σε όλους γνωστό πόσο δυσμενές μπορεί να είναι ανάλογα με την ένταση του.

#### **1.1.6.2 Στο κλίμα**

Το 1784 ο Βενιαμίν Φραγκλίνος ανακοίνωσε πως ο ιδιαίτερα κρύος χειμώνας που πέρασε την περίοδο εκείνη όφειλε την παρουσία του στην ελάττωση των ηλιακών ακτινών που έφθαναν στη Γη λόγω των αεροζόλ, ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Με αυτή του την κίνηση το πιθανότερο να τον κατάταξε ως τον πρώτο που συνέδεσε τις διαταράξεις – επηρεασμούς στο κλίμα με τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα (Hobbs et al., 1988). Έχοντας



αυτό υπόψη από τότε πολλές έρευνες έλαβαν χώρα ανά το παγκόσμιο με κατάληξη σημαντικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Η ηλιακή ενέργεια που απορροφά ο πλανήτης Γη αλλά και η ενέργεια που εκπέμπει με τη μορφή μικροκυματικής ακτινοβολίας επηρεάζει άμεσα το κλίμα. Οποιαδήποτε διαταραχή σε αυτή την ισορροπία είναι ικανή να αλλάξει το κλίμα παγκόσμια. Τα αέρια του θερμοκηπίου, η μεταβολή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι παράγοντες που είναι δυνατόν να το προκαλέσουν.

Οι παράγοντες που οφείλεται η μεταβολή του κλίματος διαχωρίζονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς. Στους φυσικούς εντάσσονται οι μεταβολές της τροχιάς της Γης, που έχουν περιοδικό χαρακτήρα, καθώς και οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται. Παράλληλα, οι εκρήξεις ηφαιστειών αλλά και η ερημοποίηση είναι δυνατόν να μεταβάλουν το κλίμα της Γης σε αισθητό βαθμό.

Η μεγαλύτερη σημασία που δίνεται σήμερα στις πηγές των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών είναι αυτές που πηγάζουν μέσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου εντείνεται μέσα από την αύξηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου αλλά και των οξειδίων του αζώτου. Επιπρόσθετα, η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, που όλο και αυξάνεται, επηρεάζει άμεσα και έμμεσα το χαρακτήρα του κλίματος της Γης. Τα σωματίδια αυτά είναι ικανά να απορροφήσουν να επανεκπέμψουν αλλά και να σκεδάσουν την ακτινοβολία που έρχεται από τον ήλιο, προκαλώντας θέρμανση ή ψύξη της ατμόσφαιρας.

Με πιο λεπτομερή παρατήρηση, μπορούμε να πούμε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στην τροπόσφαιρα επηρεάζουν το κλίμα έμμεσα και άμεσα. Έμμεσα μέσα από τη μεταβολή της διάρκειας ζωής αλλά και των οπτικών ιδιοτήτων των νεφών και άμεσα μέσω της απορρόφησης αλλά και ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

## 1.2 Η νομοθεσία στην Κύπρο βάση αυτής της Ευρωπαϊκής Ένωσης

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 2010 (Ν. 77(I)/2010) και δυο σειρών των Κανονισμών που καθορίζουν όρια ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα για συγκεκριμένους ρύπους. Αρμόδιο Υπουργείο για την εφαρμογή του πιο πάνω Νόμου και Κανονισμών είναι το Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων μέσω του Τμήματος Επιθεώρησης Εργασίας (ΤΕΕ) και ειδικότερα του Κλάδου Ποιότητας του Αέρα (ΚΠΑ), το οποίο έχει και την απαραίτητη υποδομή, την αναγκαία τεχνογνωσία, την εμπειρία και τον εξοπλισμό για εφαρμογή της πιο πάνω Νομοθεσίας.

Από τις 11 Ιουνίου 2008 τέθηκε σε ισχύ η Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21 Μαΐου 2008 για την Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα και καθαρότερο Αέρα για την Ευρώπη. Η Οδηγία αυτή ενοποίησε τις Οδηγίες 96/62/ΕΚ, 1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ. Ο Νόμος περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμου του 2010 (Ν. 77(I)/2010) καθώς και οι κανονισμοί Κ.Δ.Π. 327/2010 αποτελούν τη μεταφορά της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ στην Κυπριακή Νομοθεσία (2010). Η Οδηγία 2004/107/ΕΚ που προνοεί για τα Μέταλλα και τους Πολυαρωματικούς Υδρογονάνθρακες συνεχίζει να ισχύει και μεταφέρθηκε στην Κυπριακή Νομοθεσία το 2007 με τους κανονισμούς Κ.Δ.Π.111/2007. Αυτές οι Οδηγίες καθορίζουν τις οριακές τιμές για τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα που φαίνονται στον Πίνακα 3 (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012).

**Πίνακας 3: Οριακές τιμές για SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO και ΑΣ<sub>10</sub> σύμφωνα με την πρώτη και δεύτερη θυγατρική οδηγία (Πηγή: (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012).**

Ρύπος	Μέση χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο Ανοχής	Έτος 1)
<b>Διοξείδιο του Θείου, SO<sub>2</sub></b>	1 ώρα <sup>2)</sup>	350 µg/m <sup>3</sup>	43%	2005
<b>Διοξείδιο του Θείου, SO<sub>2</sub></b>	24 ώρες <sup>2)</sup>	125 µg/m <sup>3</sup>	-----	2005
<b>Διοξείδιο του Θείου, SO<sub>2</sub></b>	Ημερολογιακό Έτος και Χειμώνα <sup>3)</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>	-----	2001
<b>Διοξείδιο του αζώτου, NO<sub>2</sub></b>	1 ώρα <sup>2)</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	50%	2010
<b>Διοξείδιο του αζώτου, NO<sub>2</sub></b>	Ημερολογιακό Έτος <sup>2)</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	50%	2010
<b>Οξείδια του αζώτου, NO<sub>x</sub></b>	Ημερολογιακό Έτος <sup>4)</sup>	30 µg/m <sup>3</sup>	-----	2010
<b>Μονοξείδιο του άνθρακα, CO</b>	8 ώρες <sub>max</sub> <sup>2)</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup> <sup>5)</sup>	2005
<b>Αιωρούμενα Σωματίδια, ΑΣ<sub>10</sub></b>	24 ώρες <sup>2)</sup>	50 (50) µg/m <sup>3</sup>	50 (0)	2005 (2010)
<b>Αιωρούμενα Σωματίδια, ΑΣ<sub>10</sub></b>	1 ώρα <sup>2)</sup>	40(20) µg/m <sup>3</sup>	20 (20)	2005 (2010)
<b>Μόλυβδος, Pb</b>	1 ώρα <sup>2)</sup>	0,5µg/m <sup>3</sup>	0.2 µg/m <sup>3</sup>	2005 (2010)

1) Έτος κατά το οποίο πρέπει να έχουν αποκτηθεί οι οριακές τιμές

2) Οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας

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

4) Οριακή τιμή για την προστασία της βλάστησης

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

## 2 Ανασκόπηση

Στην βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα περιπτώσεων που σχετίζονται με την παρακολούθηση και μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο με σύγχρονα μέσα όσο και με επίγειους σταθμούς (Wald et al., 1999). Η δυνατότητα συνοπτικής κάλυψης μεγάλων περιοχών και συστηματικής παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την χρήση δορυφορικών δεδομένων έχει ωθήσει παρά πολλούς ερευνητές στην εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών (Kaufman et al., 1990; Sifakis and Deschamps, 1992; Retalis et al., 1999; Wald and Balleynaud, 1999; Tang et al, 2004; Hadjimitsis et al., 2002; Hadjimitsis, 2009; Nisantzi et al. 2011). Για την εφαρμογή και χρήση δορυφορικών δεδομένων για κάθε περιοχή απαιτεί την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που ανακτώνται από τις δορυφορικές εικόνες είτε έμμεσα (όπως για παράδειγμα Hadjimitsis and Clayton, 2009) είτε άμεσα με επίγεια μέσα όπως τα ηλιοφωτόμετρα (Chu et al., 2002; Tang et al., 2004) και τους επίγειους σταθμούς μέτρησης των ρύπων (Hadjimitsis et al., 2012). Τα ηλιοφωτόμετρα μετρούν είτε αυτόματα είτε σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές τα οπτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Τέτοια ηλιοφωτομετρα είναι το αυτόματο σύστημα CIMEL Sun-photometer και το ηλιοφωτόμετρο χεριού τύπου MICROTOPS (Tsanev and Mather, 2008; Nisantzi et al. 2011; Hadjimitsis et al., 2012). Η κύρια παράμετρος που χρησιμοποιείται ως η άμεση πληροφορία που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το οπτικό πάχος των αερολυμάτων (AOT). Η εν λόγω παράμετρος που ανακτάται από δορυφορικούς δέκτες συσχετίζεται άμεσα με τα αιωρούμενα σωματίδια (A<sub>S10</sub> /2.5) και μπορεί η σχέση που θα αναπτυχθεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο μέτρησης και εκτίμησης της ρύπανσης από δορυφορικά δεδομένα (Wang, and Christopher, 2003; Lee et al., 2011 και Nisantzi et al. 2011).

Οι Tulloch et al. (2004) μελέτησαν τις μεταβολές της ποιότητας του αέρα της ατμόσφαιρας για την περιοχή του Καναδά. Οι έρευνες τους βασίστηκαν στους υφιστάμενους διαστημικούς αισθητήρες απεικόνισης συνδυαζόμενους με δορυφορικές εικόνες. Απώτερος σκοπός τους ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ποιότητας σε αστικό επίπεδο. Ασχολήθηκαν στις εξής προσεγγίσεις: την μέτρηση του AOT (οπτικού πάχους αερολύματος) στην ατμόσφαιρα, την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, ανάλυση βασισμένη στις αλλαγές στις χρήσεις Γής και στην επικάλυψη της αλλά και την μέτρηση μορίων άνθρακα. Είχαν χρησιμοποιήσει σειρά πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων .

Οι παρατηρήσεις τους παρουσίασαν μια σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα για την πόλη. Παρουσιάστηκαν οι πιο βαρυσήμαντες πηγές που προκαλούσαν ρύπανση αλλά και η κατανομή τους στην περιοχή. Παράλληλα έγινε το εργαλείο βάση του οποίου θα γινόταν η προσπάθεια ώστε να μειωθεί το επίπεδο της ρύπανσης και επιπρόσθετα να καθοριστεί κάποια σχέση που να συσχετίζει την κατανομή της ατμοσφαιρική ρύπανσης σε σχέση με τα χαρακτηριστικά κάποιας πόλης (Wald και Baleynaud, 1999).

Χρήση δορυφορικών δεδομένων έκαναν και οι Jill et al. (2005) με σκοπό την ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων όταν μεταφέρονται. Η έρευνα τους βασίστηκε σε δορυφορικούς αισθητήρες, από τους οποίους παρέλαβαν τα δεδομένα τους που ήταν χωρικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του αέρα αλλά και το οπτικό πάχος αερολύματος. Έκαναν χρήση μιας νέας τεχνικής απεικόνισης η οποία είχε το επίκεντρο της στη συσχέτιση του AOT που προέρχεται από δορυφορικές μετρήσεις και των  $AS_{2,5}$  μέσα από την οποία ήταν δυνατό να εντοπιστούν οι γεωγραφικές περιοχές στις οποίες υπήρχαν πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η τεχνική αυτή συσχετίζει το AOT που ανακτάται από δορυφορικά δεδομένα τύπου MODIS, τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter)  $AS_{2,5}$  και το μοντέλο HYSPLIT που δίνει τις τροχιές των αέριων μαζών (Draxler et al., 1997).

Μεγάλος αριθμός από ερευνητές ξεκίνησαν να επιχειρούν αναλύσεις σύγκρισης των δεδομένων από δορυφορικούς αισθητήρες με μετρήσεις που λαμβάνονται στη Γή σχετικά με την ποιότητα του αέρα. Επιπρόσθετα, βάση προηγούμενων εργασιών έχει εξαχθεί το συμπέρασμα πως τα δορυφορικά δεδομένα αλλά και δορυφορικές εικόνες είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν στην διαχείριση και εκτίμηση της ατμοσφαιρικής ποιότητας (όπως για παράδειγμα οι Falke et al., 2001; Engel-Cox et al., 2001; Engel-Cox et al., 2004; Hutchinson, 2003).

Σχετικά με την συσχέτιση του AOT και των ΑΣ οι Koelemeijer et al. (2006) έκαναν πράξη τη σύγκριση μεταξύ των ΑΣ και του AOT για τις περιοχές της βόρειας Ιταλίας, της νότιας Πολωνίας και την περιοχή του Βελγίου, της Ολλανδίας, του Ρουρ, καθώς επίσης και ανεξάρτητων μεγάλων πόλεων καθώς και βιομηχανοποιημένων κοιλάδων των οποίων τα δεδομένα λαμβάνονταν από το δορυφόρο MODIS για τη χρονιά 2003. Για τους αγροτικούς σταθμούς η χωρική συσχέτιση του ετήσιου μέσο όρου του AOT και των  $AS_{10}$  υπολογίστηκε να έχει τιμή 0,6. Ως εκ τούτου υπάρχει διαφορά μεταξύ της εποχιακής

διακύμανσης ΑΣ και ΑΟΤ. Η κατάσταση που επικρατεί για το πιο μεγάλο μέρος της Ευρώπης είναι αυτή του ΑΟΤ που μετριέται από το MODIS να είναι ελάχιστο για την περίοδο των χειμερινών μηνών. Η εποχιακή διακύμανση των ΑΣ διαφέρει σε ολόκληρη την Ευρώπη και σε πολλές περιοχές η εποχιακή διακύμανση δεν είναι όσο σημαντική όσο αυτή του ΑΟΤ. Με συνεπακόλουθο η τιμή της συσχέτισης των ΑΣ10 και του ΑΟΤ να είναι χαμηλή και να φθάνει την τάξη του 0,3. Η περίπτωση στην οποία ο μέσος όρος συσχέτισης, σε αγροτικούς και ημιαστικούς σταθμούς φθάνει το 0,5 (ΑΣ10) οφείλεται στη βελτίωση της συσχέτισης. Η συσχέτιση μεταξύ των ΑΣ και του ΑΟΤ βελτιώνεται όταν το ΑΟΤ διαιρείται από το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος, ενώ σε λιγότερο βαθμό όταν διορθώνεται για επίγεια αερολύματα με τη σχετική υγρασία.

Μια άλλη προσπάθεια είναι αυτή των Chu et al. (2003) που προσπάθησαν να συσχετίσουν τα ΑΣ10 με το ΑΟΤ για τη Βόρεια Ιταλία, το Λος Άντζελες και την περιοχή του Πεκίνο. Για την περιοχή στη Βόρεια Ιταλία εξήγαγαν συντελεστή συσχέτισης (R) ίσο με 0.82 και την εξίσωση  $ΑΣ10 = 54.7 * ΑΟΤ + 8$ . Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί γεγονός αρκετά θετικό. Η συσχέτιση έγινε μεταξύ του ΑΟΤ (ημερήσιου μέσου όρου), το οποίο λαμβάνεται από το AERONET, έγινε σε σχέση με την 24ωρη συγκέντρωση ΑΣ10 ( $mg/m^3$ ).

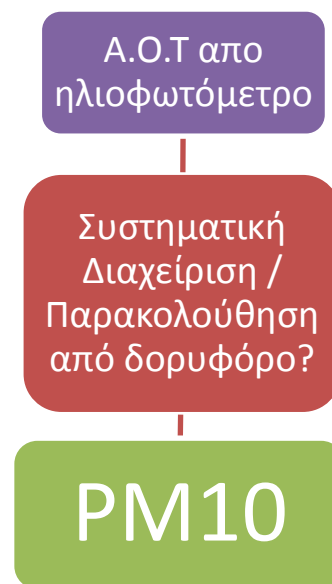
Σε πέντε περιοχές της Νοτιοανατολικής Γαλλίας οι Péré et al. (2009) διεκπεραίωσαν συσχέτιση μεταξύ ΑΣ10 ( $\mu m/m^3$ ) και του ΑΟΤ. Το εύρος των αποτελεσμάτων τους παρουσίασε σημαντικούς συντελεστές συσχέτισης με τιμές 0,86 έως 0,79. Πιο συγκεκριμένα, στη Μασσαλία που αποτελεί εξ ολοκλήρου αστική περιοχή, ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε να είναι ίσος με 0,69 για το καλοκαίρι του 2001. Επιπρόσθετα, στην αστική περιοχή της Τουλόν ο συντελεστής συσχέτισης (R) για το καλοκαίρι του 2004 βρέθηκε να είναι ίσος με 0,73 ενώ για το καλοκαίρι του επόμενου χρόνου ο συντελεστής συσχέτισης ίσος με 0,79 αντίστοιχα. Για την ημιαστική περιοχή The Vallon d'Oïl ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε να είναι ίσος με 0,79 το καλοκαίρι του 2001 ενώ για την αγροτική περιοχή της Vinon sur Verdon ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε ίσος με 0,70 για το καλοκαίρι του 2001. Με βάση τις πέντε περιοχές αυτές ο συντελεστής συσχέτισης (R) ήταν ίσος με 0.69 και η εξίσωση που αναπτύχθηκε ήταν  $ΑΣ10 = 54 * ΑΟΤ + 13$ .

### 3 Μεθοδολογία

#### 3.1 Σκοπός

Επίκεντρο της προσπάθειας λήψης των μετρήσεων είναι η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Λεμεσού με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη σχέσης που συνδέει τα αιωρούμενα σωματίδια  $AS_{10}$  και το οπτικό πάχος των αερολυμάτων (AOT) για την χρονική περίοδο που υπάρχουν ταυτόχρονες μετρήσεις  $AS_{10}$  και AOT.

Μετά την προσπάθεια διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων σε fine και coarse, γίνεται συσχέτιση με το AOT από το αυτόματο ηλιοφωτόμετρο με απώτερο σκοπό την δημιουργία ενός αλγορίθμου (ή σχέσης) ούτως ώστε οποιοσδήποτε άλλος χρήστης τηλεπισκόπησης να μπορεί μέσω δορυφορικών δεδομένων να λαμβάνει έμμεσα μετρήσεις του  $AS_{10}$  κάνοντας χρήση τιμές του AOT οι οποίες καταγράφονται στους δορυφορικούς δέκτες.

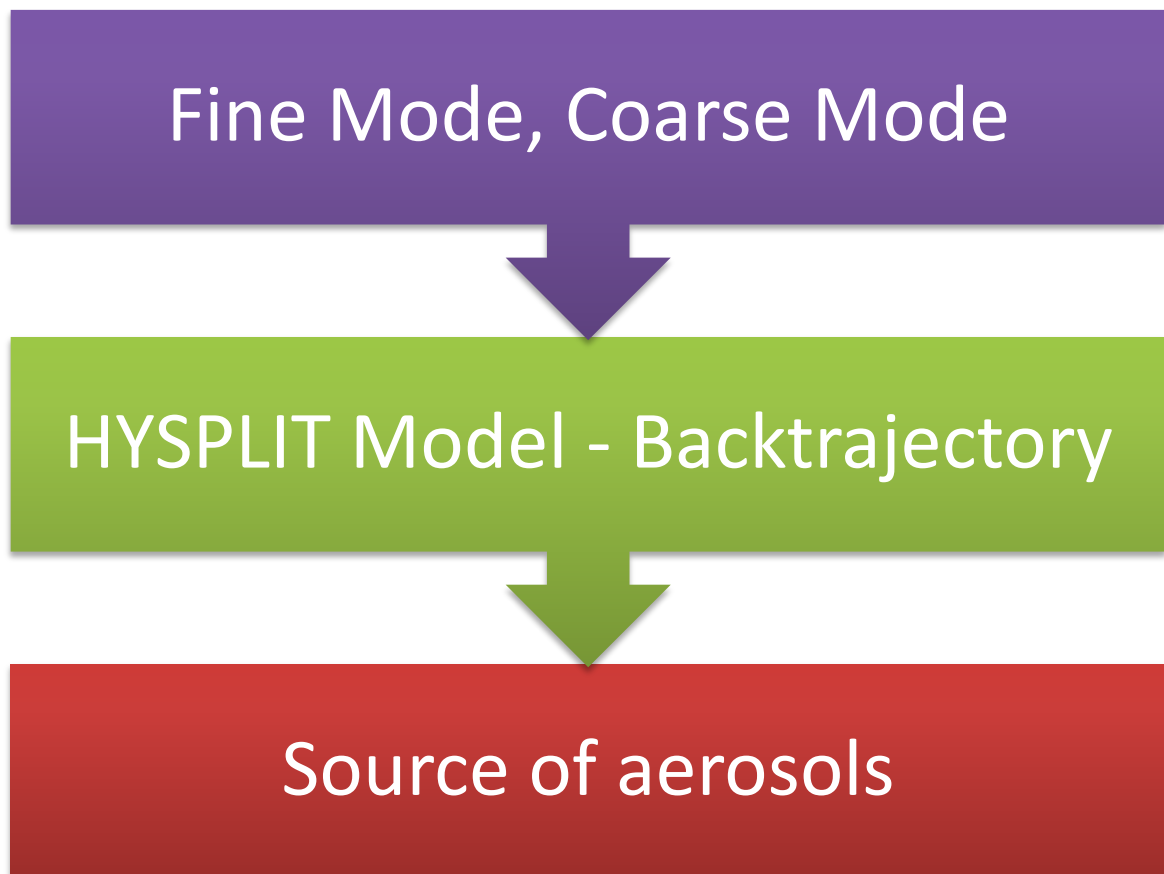


Εικόνα 1: Πορεία Συσχετισμού δεδομένων

### 3.2 Μέθοδος

Η μεθοδολογία της εν λόγω πτυχιακής περιγράφεται συνοπτικά ως ακολούθως:-

- Μετρήσεις AOT από τα ηλιακά φωτόμετρα τύπου Cimel και Microtops II στο αστικό κέντρο της Λεμεσού και υπολογισμός των μηνιαίων μεταβολών του AOT με σκοπό τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Μετρήσεις AOT και AΣ<sub>10</sub> και ανάπτυξη εξίσωσης που να συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους (Βλέπε Εικόνα 1).
- Συσχέτιση AOT με μοντέλο HYSPLIT για χαρακτηρισμό αιωρούμενων σωματιδίων (Βλέπε Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Συσχέτιση AOT με μοντέλο HYSPLIT για χαρακτηρισμό αιωρούμενων σωματιδίων



### 3.3 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή στην οποία εστιάστηκε η μελέτη βρίσκεται στην επαρχία Λεμεσού και συγκεκριμένα κοντά στο κέντρο της πόλης. Η Λεμεσός εκτείνεται σε μια περιοχή 1.393 km<sup>2</sup> περίπου, μια έκταση που αντιπροσωπεύει το 15,1% της όλης έκτασης της Κύπρου (9.251 km<sup>2</sup>). Αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κύπρου με πληθυσμό 228.900 κατοίκους.

Επιτακτική και απότομη ήταν η ανάπτυξη της πόλης της Λεμεσού ως αποτέλεσμα της Τούρκικης εισβολής του 1974. Σαν πόλη έπρεπε να δεχθεί πληθώρα κατοίκων από τις περιοχές που δέχτηκαν το πλήγμα του τούρκικου εισβολέα ενώ παράλληλα να γίνουν ενέργειες επαναδραστηριοποίησης στον κύριο τομέα οικονομικού τομέα του νησιού, τον τουρισμό. Δράσεις, που όπως ήταν φυσικό λόγω του εύρους της τάξης τους, δύσκολα θα αφομοίωνε η πόλη.

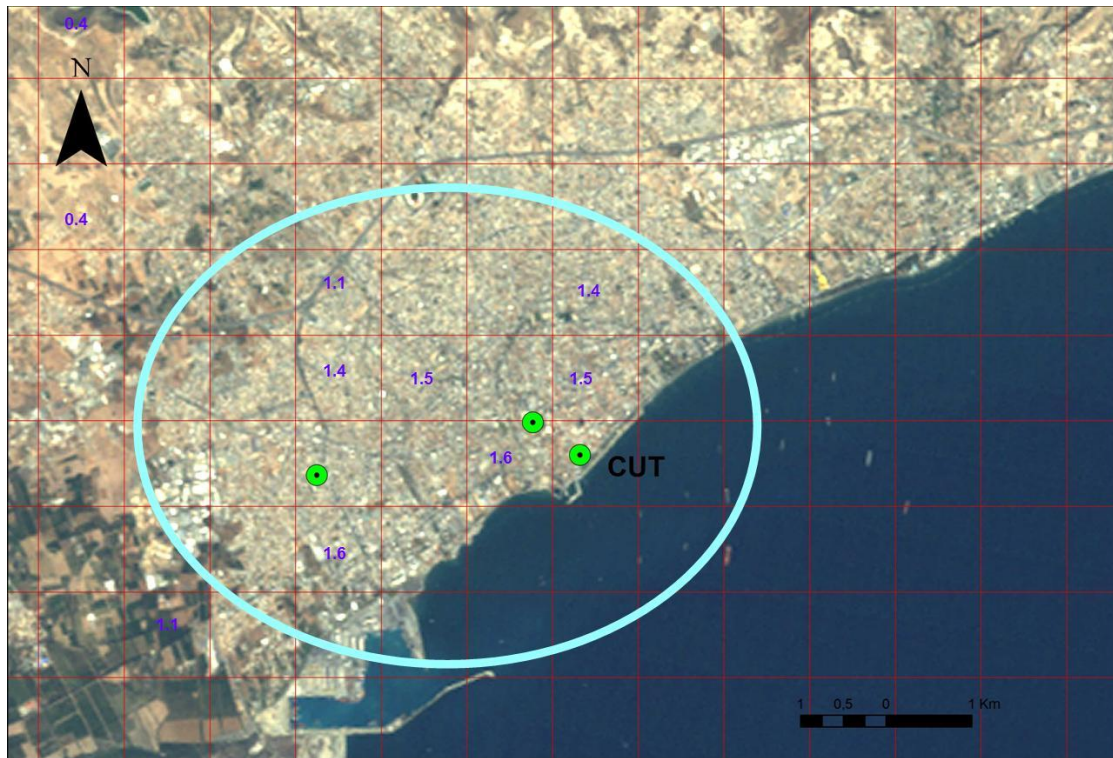


Εικόνα 3: Περιοχή Λεμεσού (Google Earth Inc., 2011)

Το παραδοσιακό οδικό δίκτυο είναι ο κορμός στον οποίο βασίστηκε η δομή του αστικού συγκροτήματος, με εμφανή την απουσία ουσιαστικού προγραμματισμού. Οι στενοί δρόμοι που κυριαρχούν στην ευρύτερη περιοχή του κέντρου της πόλης είναι το μέσο που εξυπηρετεί τους δημότες. Όπως είναι φυσικό η περιορισμένη χωρητικότητα τους σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη αστική κίνηση οδηγούν σε υπερφόρτωση του οδικού δικτύου με αρνητικά συνεπακόλουθα με πιο σοβαρό αυτό της περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Το θέμα γίνεται πλέον καθημερινό φαινόμενο και όχι μόνο σε περιόδους αργιών ή εορταστικών εκδηλώσεων. Η ανεπάρκεια σε χώρους στάθμευσης, πεζοδρόμων αλλά και μέσων μεταφοράς μειώνουν σημαντικά την προσπέλαση της περιοχής αυξάνοντας τον χρόνο παραμονής των διάφορων οχημάτων εντός του κέντρου όπου πολύ συχνά παρουσιάζονται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ένα γεγονός στο οποίο έρχεται συμβάλει και η τοποθέτηση των εγκαταστάσεων του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου (ΤΕ.ΠΑ.Κ) το οποίο επεκτείνεται σε μια ζωτικής σημασίας περιοχή στο κέντρο της πόλης. Ένα προς ένα οι πιο πάνω παράγοντες συνδυαζόμενη με την ευρύτερη επιταχυνόμενη ανάπτυξη του ιστορικού κέντρου της Λεμεσού και της αυξανόμενης χρήσης του ιδιωτικού οχήματος (Ι.Χ) συνιστούν αναμφισβήτητα στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. (Κυπριακή Δημοκρατία 2012)

Εκτός αυτών σημειώνεται και η παρουσία του Λιμανιού της πόλης που όπως προαναφέρθηκε αποτελεί το μεγαλύτερο της Κύπρου στο οποίο πραγματοποιούνται εργασίες όλη τη διάρκεια του έτους με όλο και αυξανόμενη ένταση. Σημειώνεται και η εκμετάλλευση της παραλιακής Γής για βιομηχανικούς αλλά και τουριστικούς σκοπούς. Παράλληλα η δημιουργία του αυτοκινητόδρομου Λεμεσού – Πάφου, αλλά και της παραλιακής οδού 4πλής κατεύθυνσης μήκους 18 km που εκτείνεται σε όλο παραλιακό μέτωπο της πόλης, οδικών αρτηριών που κυκλοφοριακή κίνηση γίνεται απρόσκοπτα στη διάρκεια όλου του εικοσιτετραώρου. Αποτελούν, όπως είναι φυσικό, επιβαρυντικές συνιστώσες στην όλη ρύπανση του περιβάλλοντος με εμφανή αντίκτυπο στην ατμόσφαιρα.



**Εικόνα 4: Ρύπανση για το κέντρο της Λεμεσού, Μετρήσεις AOT, από μελέτες Τηλεπισκόπησης (Themistocleous et al., 2010)**

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, από προηγούμενες μελέτες Τηλεπισκόπησης, η ρύπανση στο κέντρο της Λεμεσού παρουσιάζει αυξημένες τιμές. Γεγονός που αυξάνει το ενδιαφέρον για συνέχιση της παρακολούθησης της.

Η βασική περιοχή εστίασης της μελέτης είναι το αστικό κέντρο της Λεμεσού, περιοχή που εκτείνεται κοντά στην περιοχή του ΤΕ.ΠΑ.Κ (Βλέπε Εικόνες 3-4). Οι μετρήσεις λήφθηκαν με εξοπλισμό ο οποίος βρίσκεται εγκατεστημένος σε κτίριο του Πανεπιστημίου το κτίριο Δωροθέα, εκεί στεγάζονται χώροι διδασκαλίας, εργαστήρια, καθώς και γραφεία για τους κλάδους Πολιτικών Μηχανικών αλλά και Μηχανολόγων Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Παράλληλα λήφθηκαν μετρήσεις σε άλλη περιοχή της Λεμεσού και συγκεκριμένα στην περιοχή της Λεωφόρου Μακαρίου κοντά στο σταθμό μέτρησης της ρύπανσης του δικτύου του Τμήματος Επιθεώρησης Εργασίας Κύπρου (Βλέπε εικόνα 5).





Εικόνα 5: Περιοχή στη Λεωφόρο Μακαρίου όπου λήφθηκαν μετρήσεις για ΑΟΤ

## 3.4 Εξοπλισμός

### 3.4.1 Ηλιοφωτόμετρο Microtops II

Το μοντέλο MICROTOPS II (βλέπε εικόνα 6) είναι ένα φορητό φωτόμετρο πέντε (5) καναλιών το οποίο μπορεί να μετρήσει το οπτικό πάχος των αερολυμάτων με ακρίβεια και ευκολία. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μετριέται και αποθηκεύεται σε 5 ιδιαίτερα μήκη κύματος. Η MICROTOPS II χαρακτηρίζεται ως ακριβής και συγκρίνεται με πολύ μεγαλύτερα και ακριβότερα όργανα. Ο προαιρετικός δέκτης GPS διευκολύνει τη λειτουργία τομέων, διοχετεύοντας λεπτομέρειες σχετικά με τη θέση που λαμβάνονται οι μετρήσεις. Υπάρχει πρόνοια για επιλογή από πέντε ως οκτώ διαθέσιμα φίλτρα μήκους κύματος WMO ή ακόμη να γίνει τροποποίηση ως και πέντε μήκη κύματος συνήθειας. Το φορητό φωτόμετρο Microtops II παρέχει το οπτικό πάχος αερολύματος σε κάθε ένα από τα 8 πιθανά τυποποιημένα μήκη κύματος 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936, και 1020nm (SOLAR LIGHT, 2011). Επιπρόσθετα, μετρά την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε όλα τα καθορισμένα μήκη κύματος καθώς επίσης και τη στήλη υδρατμών με 936, 870 ή 1020 nm.



**Εικόνα 6: Ηλιοφωτόμετρο τύπου MICROTOPS (με GPS).**

Το κόστος του οργάνου έχει παρουσιαστεί αρκετά πιο χαμηλό από αυτό άλλων φωτόμετρων, χωρίς να γίνεται θυσία της ακρίβειας ή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων.. Το MICROTOPS είναι βασισμένο στο λογισμικό WINDOWS το οποίο αυτοματοποιεί την ανάκτηση στοιχείων αλλά και την αρχειοθέτηση.

### **3.4.2 Αυτόματο Ηλιοφωτόμετρο τύπου Cimel**

Ένα ηλιακό φωτόμετρο είναι ένας τύπος φωτόμετρου σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι στραμμένο προς τον ήλιο. Αποτελεί ρομποτικό φωτομετρητή του ηλιακού φάσματος. Είναι αυτοματοποιημένο όργανο που ενσωματώνει μια μονάδα Sun-tracking, ένα κατάλληλο οπτικό σύστημα, μια συσκευή φασματικού φιλτραρίσματος, ένα φωτοανιχνευτή και ένα σύστημα ανάκτησης δεδομένων. Στην κορυφή του υπάρχει ένας αισθητήρας όπου συστηματικά τοποθετεί τον αισθητήρα κορυφής σε θέση προς τον ήλιο βάσει μιας προγραμματισμένης διαδικασίας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών

φωτόμετρων από διαφορετικούς κατασκευαστές, ένα από τα οποία είναι το αυτόματο φωτόμετρο τύπου Cimel που παρουσιάζεται στην εικόνα 7.



**Εικόνα 7: Αυτόματο Ηλιοφωτόμετρο τύπου Cimel**

Οι παρατηρήσεις με το ηλιακό φωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία έγιναν με ένα ηλιακό φωτόμετρο CIMEL που ανήκει στο παγκόσμιο δίκτυο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων AERONET, (2012). Το ηλιακό φωτόμετρο στεγάζεται στο κτήριο των Μηχανολόγων μηχανικών με την ονομασία Δωροθέα, στην οδό Κιτίου Κυπριανού - Λεμεσός. Ο σταθμός εγκαταστάθηκε τον Απρίλιο του 2010 και λειτουργεί στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής (Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης). Η τεχνική περιγραφή του οργάνου δίνεται από τους Holben et al. (1998). Το φωτόμετρο ακολουθεί, αυτόματα, την πορεία του ηλίου και σαρώνει τον ουρανό, λαμβάνοντας μετρήσεις της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε οπτικό πεδίο 1.2ο , σε πολλαπλά μήκη κύματος [340, 380, 440, 500, 675, 870, 940, 1020 και 1640nm]. Με βάση την αναφορά των Holben et al. (1998) και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σφάλματα μέτρησης του οργάνου, η ακρίβεια μέτρησης του οπτικού βάθους των αιωρούμενων σωματιδίων είναι της τάξης του  $\pm 0.02$  για τα δεδομένα επιπέδου 2 (ελεγμένα ως προς την ποιότητά τους και την παρουσία νεφών). Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται δεδομένα επιπέδου 1.5 και 2.

### 3.4.2.1 Αρχή λειτουργίας

Το φωτόμετρο αυτό πραγματοποιεί δυο βασικές μετρήσεις, είτε απευθείας από τον ήλιο είτε απευθείας από τον ουρανό. Οι ηλιακές μετρήσεις λαμβάνουν χώρα σε οχτώ ομάδες φασμάτων και έχουν διάρκεια περίπου 10 δευτερόλεπτα. Παρεμβάλλονται οχτώ φίλτρα για μήκη κύματος 340, 380, 500, 670, 870, 940 και 1020nm, που είναι τοποθετημένα σε μηχανισμό οδήγησης ώστε να γίνεται αυτοματοποιημένα η όλη διαδικασία.

Εκτός των απευθείας ηλιακών μετρήσεων μετρήσεις γίνονται και σχετικά με την ουράνια ακτινοβολία σε τέσσερις ομάδες φασμάτων 440, 670, 870, και 2010 nm με σταθερή γωνία αζιμούθιου και διαφόρων διασκορπισμένων γωνιών έως και εννέα φορές την ημέρα, ενώ με σταθερή γωνία ανύψωσης και μεταβαλλόμενη γωνία αζιμούθιου μέχρι και έξι φορές ημερήσια. Μέσω της μεθόδου αυτής σκοπός είναι να συλλεχτούν μετρήσεις της ουράνιας ακτινοβολίας σε ένα διευρυνμένο πεδίο γωνιών από τον ήλιο με ένα σταθερό προφίλ αεροζόλ ώστε να γίνει υπολογισμός της κατανομής αλλά και του οπτικού βάθους του αερολύματος.

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. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ηλιακή ροή μειώνεται λόγω της επίδρασης της ατμοσφαιρικής απορρόφησης και σκέδασης. Παράλληλα, η μετρούμενη ροή ακτινοβολίας είναι συνδυασμός του οποίου οι συνιστώσες είναι η εκπομπή ακτινοβολίας από τον ήλιο αλλά και η επίδρασης της ατμόσφαιρας.

Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε προκαθορισμένα διακριτά μήκη κύματος στα ορατά και κοντινά τμήματα του υπέρυθρου φάσματος (IR) ώστε να προσδιοριστούν οι ιδιότητες της ατμοσφαιρικής μετάδοσης και σκέδασης. Σημειωτέο πως το όργανο 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.

### 3.4.3 Διαθέσιμα Δεδομένα

Τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τα ακόλουθα

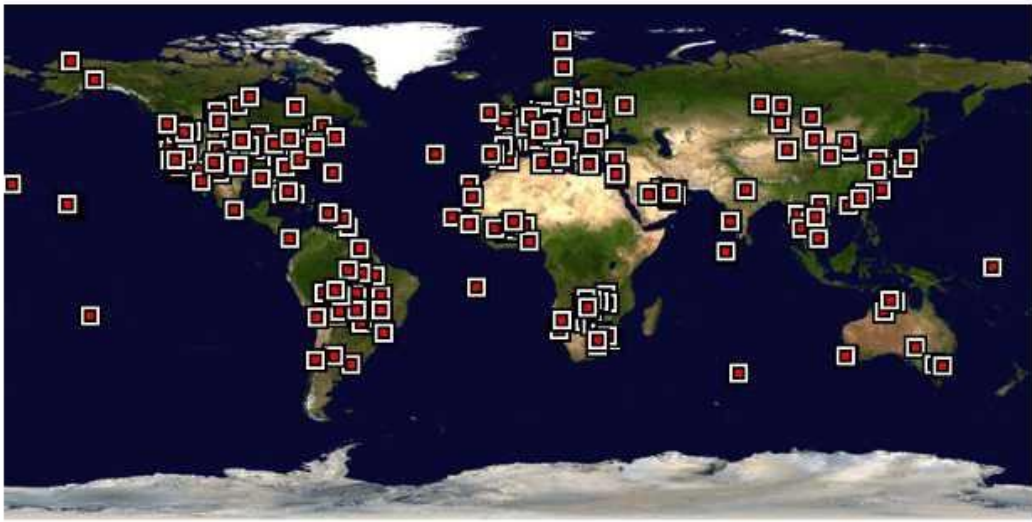
- Δεδομένα ΑΣ<sub>10</sub> (από τους επίγειους σταθμούς του Τμήματος Επιθεώρησης Εργασίας)
- Δεδομένα ΑΟΤ από το δίκτυο 'AERONET'
- Δεδομένα Μοντέλου HYSPLIT
- Δεδομένα ΑΟΤ από το ηλιακό φωτόμετρο MICROTOPS II

## 3.5 Παγκόσμιο Δίκτυο αυτόματων ηλιοφωτομέτρων "AERONET" της NASA.

Κατά την διάρκεια της περασμένης δεκαετίας, τα ηλιακά φωτόμετρα αποτέλεσαν την πιο συστηματική μέθοδο καταγραφής των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Αποτελεί μια προσπάθεια της NASA να βαθμονομήσει δέκτες και αποτελέσματα που έχουν το επίκεντρο τους τη μελέτη των αεροζόλ στην ατμόσφαιρα. Το δίκτυο AERONET ή αλλιώς Aerosol Robotic Network (ρομποτικό δίκτυο αερολύματος) (Holben et al., (1998)) είναι ικανό να παρέχει τις οπτικές και μικροφυσικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων Dubovik et al, (2002); Holben et al., (2001) κάτω από διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι παραγόμενες ποσότητες αναφέρονται στην ολική ατμοσφαιρική στήλη και αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει διαχωρισμός των ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων του οριακού ατμοσφαιρικού στρώματος που συνήθως επηρεάζονται από τις τοπικές πηγές και των σωματιδίων της ελεύθερης τροπόσφαιρας, που συχνά είναι αποτέλεσμα μεταφοράς σωματιδίων από μεγάλες αποστάσεις.



## AERONET – Global network (NASA)



Εικόνα 8: Δίκτυο Χωρών που συνεργάζονται στο πρόγραμμα AERONET (NASA 2011)

Στο δίκτυο AERONET είναι ενταγμένοι πλειάδα χωρών ανά το παγκόσμιο όπως φαίνεται και στον πιο πάνω χάρτη (βλέπε εικόνα 8), μεταξύ αυτών η Γερμανία, η Ελλάδα, και η Κύπρος. Ορισμένοι από τους σταθμούς λήψης δεδομένων είναι μόνιμοι ενώ άλλοι λειτουργούν προσωρινά ή εποχιακά. Όσες τιμές λαμβάνονται στέλνονται σε μια βάση δεδομένων όπου και δέχονται επεξεργασίας και έπειτα προωθούνται σε ιστοσελίδες στο διαδίκτυο, στις οποίες έχει πρόσβαση το κοινό. Οι σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν της μέρες που επικρατούσε νεφοκάλυψη πάνω από το φωτόμετρο και δίνουν ανάλογη προειδοποίηση στο χρήστη. Οι σταθμοί AERONET προσφέρουν αρκετά δεδομένα σε διάφορες χρονικές στιγμές που κατέγραψαν. Όσα επιλέγονται είναι αυτά που είναι όσο το δυνατόν χρονικά πιο κοντά τη στιγμή που λήφθηκε η εικόνα ενώ στις περιπτώσεις που υπάρχει διαφορά πάνω από 45 λεπτά, λόγω του ότι η παρουσία αεροζόλ στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, τα δεδομένα απορρίπτονται.

Το δίκτυο AERONET παρέχει τη δυνατότητα της καταγραφής αερολυμάτων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές.

Τα δεδομένα του οπτικού βάρους του αεροζόλ δέχονται υπολογισμούς και κατηγοριοποιούνται σε 3 ποιοτικά επίπεδα:

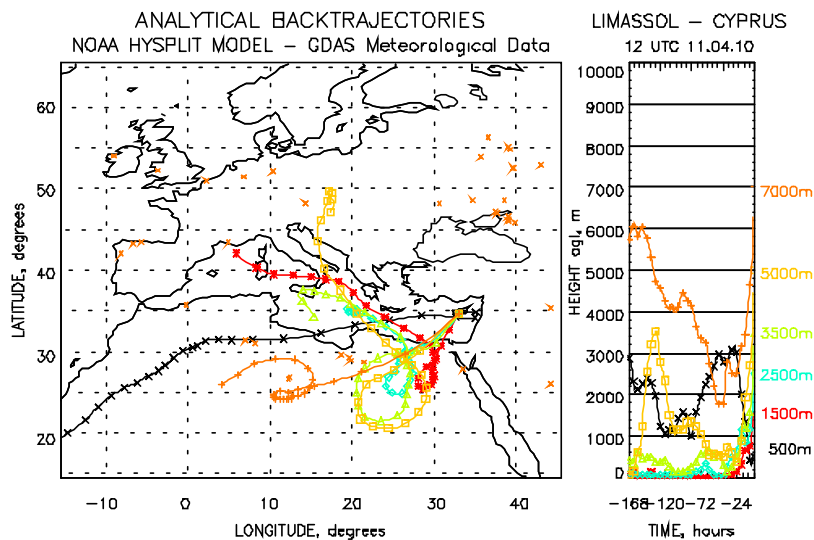
1. Επίπεδο 1.0 - αναφέρεται σε δεδομένα μη καλυμμένα (unscreened).
2. Επίπεδο 1.5 - αναφέρεται σε δεδομένα που είναι καλυμμένα από σύννεφα (cloud - screened).
3. Επίπεδο 2.0 - αναφέρεται σε δεδομένα που είναι καλυμμένα από σύννεφα τα οποία υπέστηκαν επεξεργασία και θεωρούνται ως εγγυημένα ποιοτικά (cloud – screened and quality assured).

### 3.6 Διαδικασία λήψης μετρήσεων από την ιστοσελίδα του ‘AERONET’

Σαν σκοπό έχουμε να κατεβάσουμε τα δορυφορικά δεδομένα του AERONET για τις χρονιές 2011 και 2012, τα οποία είναι διαθέσιμα μέσα από το link [http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type\\_piece\\_of\\_map\\_opera\\_v2\\_new](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type_piece_of_map_opera_v2_new). Από τα δεδομένα μας ενδιαφέρουν αυτά που είναι επιπέδου 2 και όπου δεν είναι διαθέσιμα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα επιπέδου 1,5. Από την λίστα με τις επιλογές για περιοχή επιλέγουμε CUT-TEPAK (34N, 33E), που αναφέρεται στο ερευνητικό πρόγραμμα του τμήματος μας. Συνεχίζοντας παρατηρούμε πως στη διάθεση μας έχουμε επιλογή για είδη δεδομένων Level 1.0, Level 1.5 και Level 2. Η διαφορά στις επιλογές είναι πως η Level 1.0 είναι αυτούσιες οι μετρήσεις όπως καταχωρήθηκαν στο σύστημα, οι Level 1.5 αναφέρονται σε επεξεργασμένα δεδομένα από τα οποία έχουν αφαιρεθεί τα νέφη και οι Level 2 είναι αυτές στις οποίες έχει αφαιρεθεί ο ηλεκτρονικός θόρυβος, μετά την βαθμονόμηση του οργάνου από τους υπεύθυνους του δικτύου.. Μετά από αυτό σημειώνουμε την επιλογή Daily averages από την οποία θα μας δώσει τους μέσους όρους από τις μετρήσεις για κάθε μέρα όσον αφορά τις χρονικές περιόδους που θα επιλέξουμε. Στη συνέχεια μέσα από τις επιλογές για χρονική περίοδο, εδώ δίνεται σε ετήσια βάση, επιλέγουμε τη χρονιά που μας ενδιαφέρει. Αφού αποθηκεύσουμε τα πακέτα δεδομένων με τη βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας Microsoft Excel επιχειρούμε ανάλυση των δεδομένων με απώτερο σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα από τις διάφορες συγκρίσεις.

### 3.7 Μοντέλο HYSPLIT - Οπισθοτροχιές

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο χωρίς το οποίο δε θα ήταν εφικτός ο χαρακτηρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μοντέλο HYSPLIT με ακρώνυμο Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. Το μοντέλο αυτό είναι ικανό να δώσει ένα μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων. Στην εργασία έγινε χρήση του μοντέλου για τον υπολογισμό των οπισθοτροχιών (backtrajectory) του ανέμου, δηλαδή της πορείας της οποίας ακολούθησαν οι αέριες μάζες για να φτάσουν στην τοποθεσία ενδιαφέροντος, όπου στην περίπτωσή μας είναι η Κύπρος. Οι τροχιές αυτές ονομάζονται οπισθοτροχιές γιατί ο υπολογισμός γίνεται πάντα από την τρέχουσα χρονική στιγμή και προς τα πίσω στον χρόνο.



**Εικόνα 9: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/4/2010**

Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αποτελέσματα αυτού του μοντέλου για την περιοχή της Κύπρου για κάθε μέρα για τα έτη 2010-2011 τα οποία περιέχουν το ύψος και την ατμοσφαιρική πίεση συναρτήσει των γεωγραφικών συντεταγμένων και του χρόνου μέχρι πριν 164 ώρες (7 μέρες) για 24 διαφορετικές κατηγορίες αερίων μαζών ανάλογα με το ύψος στο οποίο έφτασαν πάνω από τη Κύπρο. Το μοντέλο παρέχει ένα αρχείο για κάθε μέρα για την ώρα 12:00 UTC, δηλαδή με βάση τον 1<sup>ο</sup> μεσημβρινό στο Greenwich. Σε κάθε γράφημα, για τη μέρα που ενδιαφερόμαστε να ελέγξουμε, αναπαριστώνται οι

οπισθοτροχιές των αερίων ρευμάτων τα οποία είναι δυνατόν να φτάνουν σε διάφορα ύψη, με μηδενικό ύψος αυτό του εδάφους που αυξάνεται. Δεξιά καταγράφεται το ύψος του κάθε ρεύματος συναρτήσει του (αρνητικού) χρόνου.

## 4 Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της πτυχιακής εργασίας μέσω των μετρήσεων και πληροφοριών που ανακτώνται όπως περιγράφονται στην μεθοδολογία.

### 4.1 Μετρήσεις ΑΟΤ από το ηλιακό φωτόμετρο τύπου Cimel

Η επεξεργασία των μετρήσεων του ΑΟΤ που λήφθηκαν στο αστικό κέντρο της Λεμεσού για τα έτη 2010 και 2011 έδωσε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά τη ρύπανση όπως για παράδειγμα πληροφορίες της κατανομής των τιμών του ΑΟΤ κατά τη διάρκεια του έτους.

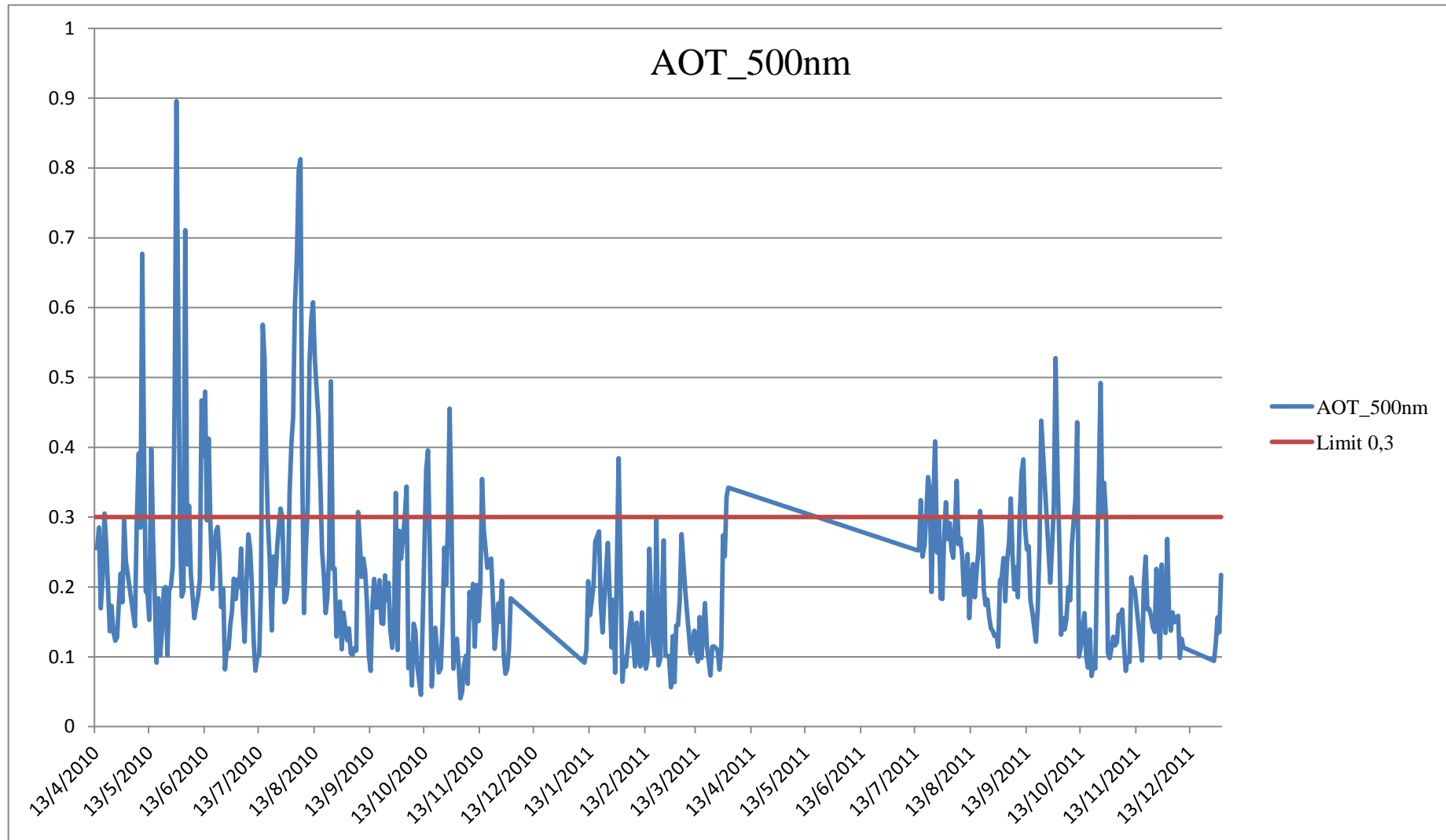
Βάση της επεξεργασίας εξάχθηκαν τα γραφήματα της διακύμανσης του ΑΟΤ για τα έτη αυτά. Παρατηρώντας το γράφημα στην εικόνα 8 μπορούμε να δούμε την κατανομή του συνολικού ΑΟΤ για το χρονικό διάστημα 2010 - 2011. Έχοντας δεδομένο ότι στη βιβλιογραφία η τιμή 0.3 αποτελεί όριο για το ΑΟΤ παρατηρούμε ότι η τιμή αυτή πλησιάζει είτε ξεπερνιέται τους καλοκαιρινούς μήνες. Γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις τιμές του πίνακα 4 που τοποθετεί και συγκρίνει τις μηνιαίες τιμές ΑΟΤ για τα έτη αυτά. Οι μετρήσεις ξεκινούν στις 11/4/2010, πρώτη μέρα καταγραφής δεδομένων του οργάνου CIMEL όπου και παρατηρούμε το γενικό ΑΟΤ να έχει τιμή ελάχιστα μικρότερη από αυτή του ορίου (0.3). Σε διάστημα 8 ημερών παρατηρείται αύξηση κατά 0.38 μονάδες και το συνολικό ΑΟΤ να φθάνει σχεδόν το 0.68, γεγονός που περιγράφει αυξημένη συγκέντρωση. Συγκεκριμένα στις 20/4/2010 παρατηρήθηκε επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από τα Βορειοδυτικά της Αφρικής (εικόνα 11).

Στην πορεία και μέχρι τον επόμενο μήνα παρατηρείται αισθητή μείωση και διακύμανση κάτω του ορίου. Στις ημερομηνίες 16/5/2010, 28/5/2010 και 2/6/2010 έχουμε εξίσου σημαντικές υπερβάσεις του ορίου της τάξεως από 0.4 ως 0.6.

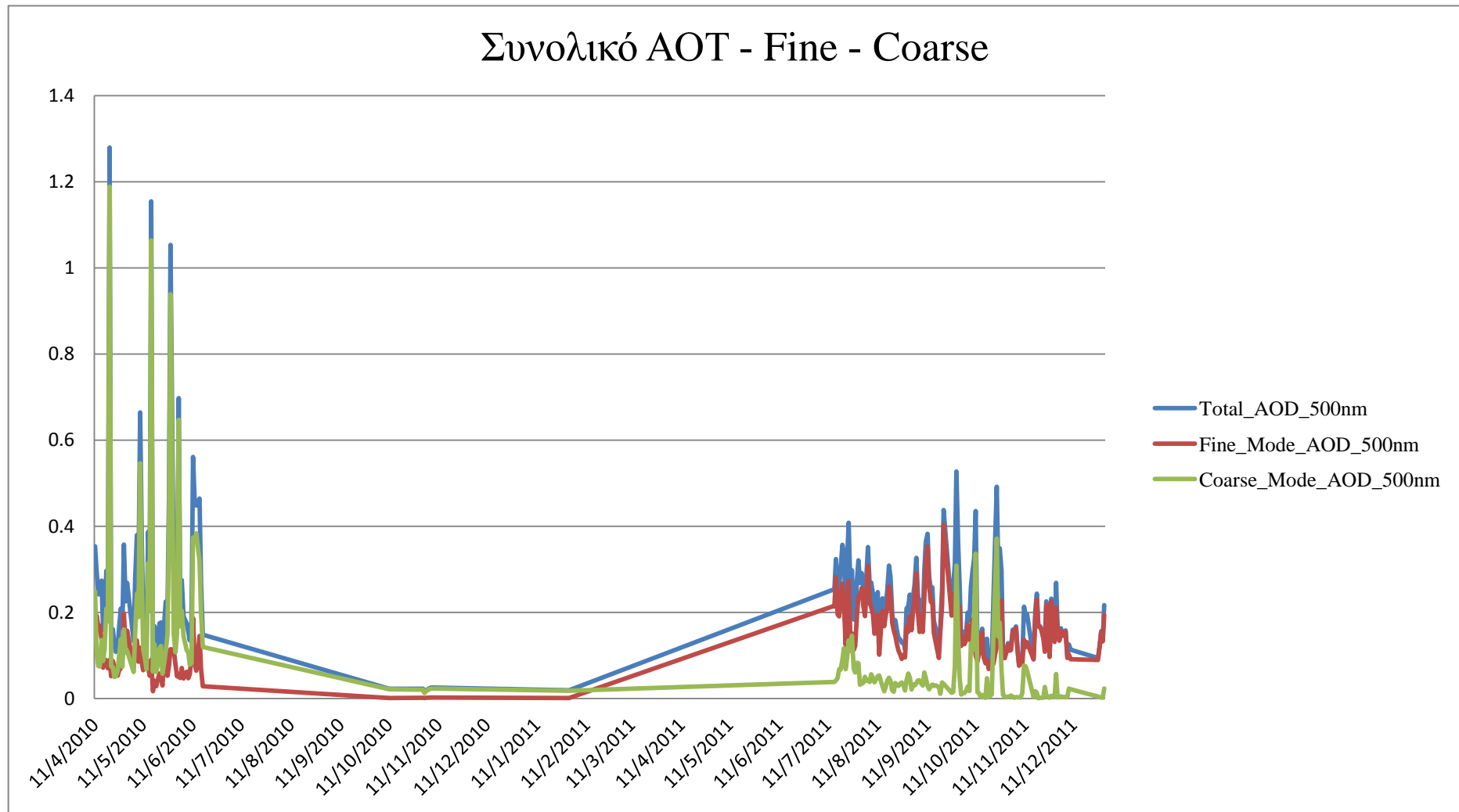
Παρόλα αυτά, με βάση το εικόνα 8 και την παρατήρηση για τους υπόλοιπους μήνες εξάγεται η εξής πληροφορία: πως η τιμή του ορίου ξεπερνιέται σε περιόδους ακόμη και εκτός καλοκαιρινών μηνών οι οποίες είναι άμεσα συνυφασμένες με τη μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων από τις γειτονικές περιοχές.

Στο γράφημα που παρουσιάζει η εικόνα 10 παρατηρούμε πως το AOT που οφείλεται στα fine υπερσχύει στις περισσότερες ημέρες (155) μιας και το υπόβαθρο της ρύπανσης στην αστική περιοχή της Λεμεσού είναι αιωρούμενα σωματίδια προερχόμενα από την ανθρώπινη δραστηριότητα (θέρμανση, μεταφορά, βιομηχανία). Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί πως στις περιπτώσεις που οι τιμές του υποβάθρου ξεπερνιόνται τότε είτε οι καιρικές συνθήκες (άπνοια, αυξημένη θερμοκρασία και υγρασία) ευνοούν τη αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είτε υπάρχει μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων προερχόμενα από πυρκαγιές. Τις ημέρες όπου η συνεισφορά του coarse AOT είναι μεγαλύτερη αυτό οφείλεται στις περισσότερες περιπτώσεις στη διασυνοριακή ρύπανση δηλαδή στη μεταφορά αερολυμάτων σκόνης ερημικής προέλευσης.

Εικόνα 10: Διακόμανση Συνολικού ΑΟΤ για το 2010 - 2011



Εικόνα 11: Συνεισφορά Fine και Coarse στη διακύμανση του Συνολικού AOT





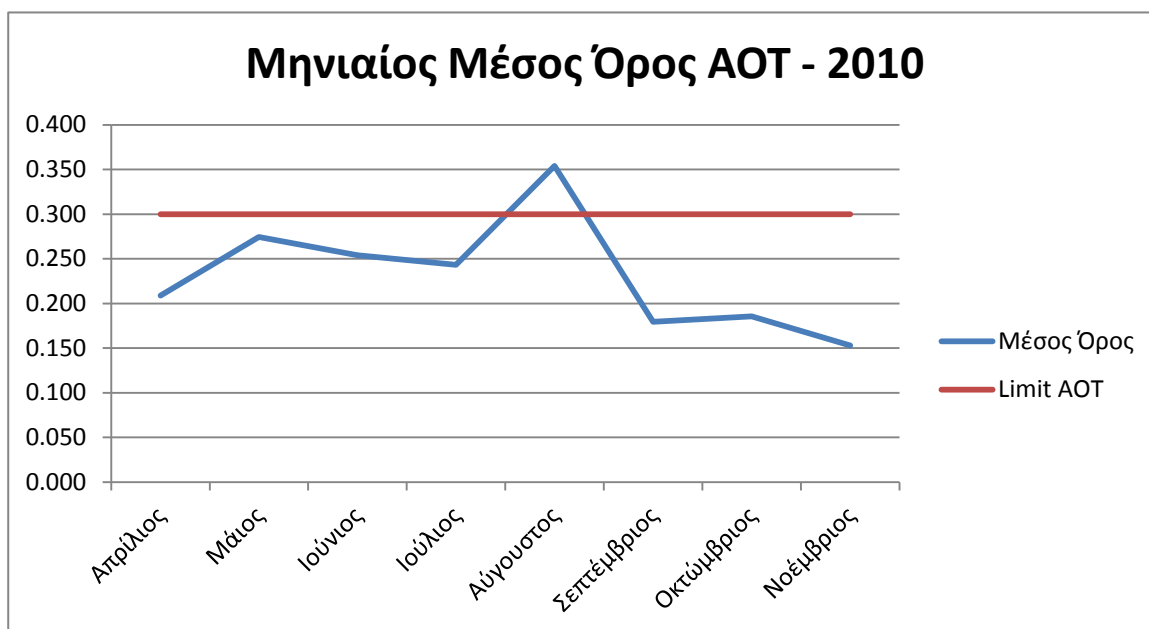
Σε μετέπειτα στάδιο, οι ημερήσιες τιμές του AOT για τα δυο έτη τοποθετήθηκαν σε πίνακα αλλά και γράφημα (βλέπε εικόνα 12 και 13) ώστε να διαφανεί η συμπεριφορά του AOT σε μηνιαία βάση. Έχοντας αυτά υπόψη μπορούμε να κατανοήσουμε πως οι μέγιστες τιμές του AOT παρουσιάζονται στους καλοκαιρινούς μήνες, Αύγουστο του 2010 και Σεπτέμβριο για το 2011, γεγονός, που όπως είπαμε και πιο πάνω, επιβεβαιώνει την εμφάνιση υψηλότερης τιμής AOT. Ενώ παράλληλα, όπως είναι προφανές, οι ελάχιστες τιμές AOT εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες, Νοέμβριος του 2010 και Φεβρουάριος για το 2011.

Σε πιο ξεκάθαρη μορφή, το γράφημα που αναπαριστά η εικόνα 12 παρουσιάζει τα στοιχεία της μηνιαίας διακύμανσης του AOT για το έτος 2010. Όπως φαίνεται για το έτος αυτό υψηλή τιμή στο AOT παρουσιάζει η περίοδος Ιούλιου 2010 έως και τον Αύγουστο του 2010 όπου κατά το μήνα αυτό παρουσιάζεται το μηνιαίο AOT να ξεπερνά και το όριο του 0,3.

**Πίνακας 4: Μηνιαίες τιμές AOT για 2010 και 2011**

Έτος	Μήνας	Min AOT	Max AOT	Mean	STD	Ελάχιστο Έτους	Μέγιστο έτους
<b>2010</b>	Απρίλιος	0,123	0,305	0,209	0,061		
	Μάιος	0,092	0,896	0,274	0,186		
	Ιούνιος	0,082	0,711	0,254	0,133		
	Ιούλιος	0,080	0,575	0,243	0,114		
	Αύγουστος	0,111	0,813	<b>0,354</b>	0,208		<b>x</b>
	Σεπτέμβριος	0,080	0,335	0,179	0,066		
	Οκτώβριος	0,046	0,455	0,186	0,116		
	Νοέμβριος	0,040	0,354	<b>0,153</b>	0,073	<b>x</b>	
<b>2011</b>	Ιανουάριος	0,064	0,385	0,181	0,086		
	Φεβρουάριος	0,056	0,296	<b>0,130</b>	0,062	<b>x</b>	
	Μάρτιος	0,064	0,342	0,157	0,077		
	Ιούλιος	0,183	0,408	0,280	0,061		
	Αύγουστος	0,114	0,352	0,216	0,058		
	Σεπτέμβριος	0,122	0,528	<b>0,268</b>	0,094		<b>x</b>
	Οκτώβριος	0,073	0,492	0,197	0,112		
	Νοέμβριος	0,080	0,269	0,160	0,050		
	Δεκέμβριος	0,094	0,217	0,142	0,032		

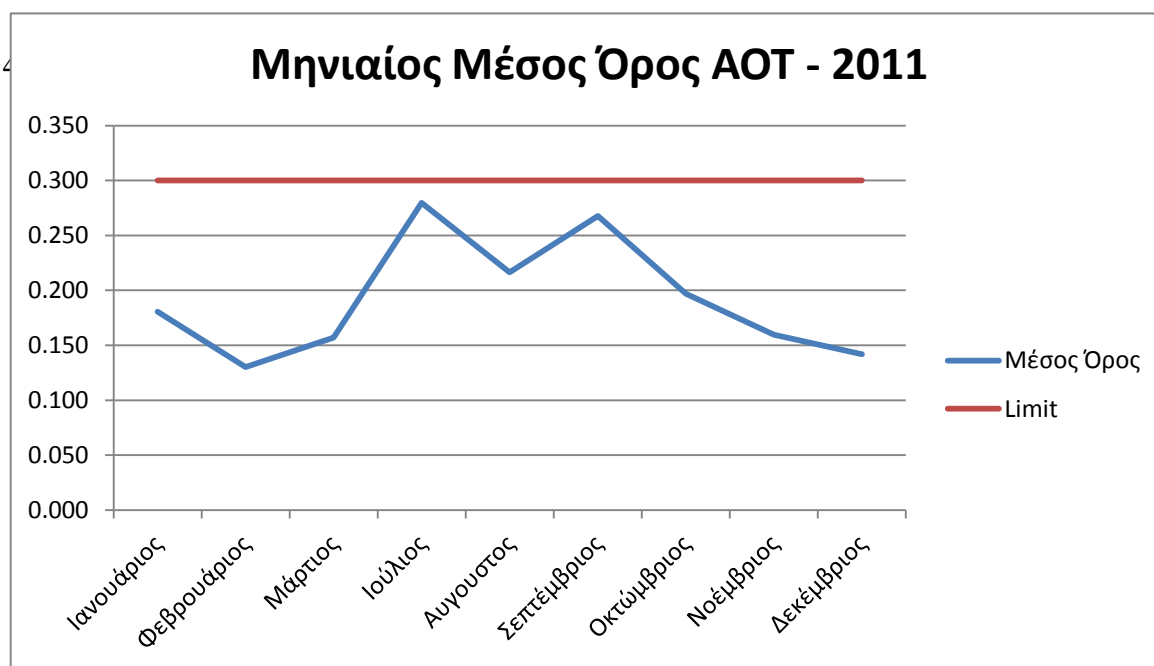
Εικόνα 12: Κατανομή ΑΟΤ σε μηνιαία βάση για το έτος 2010



Για το έτος 2011, το γράφημα της εικόνας 13 επαληθεύει ξεκάθαρα την παρουσία αυξημένου ΑΟΤ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στη μηνιαία αυτή κατανομή μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζουν ψηλότερη τιμή παρουσιάζουν οι μήνες Ιούλιος και Σεπτέμβριος, που όμως δεν ξεπερνούν το όριο του 0,3.

Και για τα δυο έτη, στα γραφήματα (εικόνα 12-13), οι χειμερινοί μήνες παρουσιάζουν μείωση της τιμής του ΑΟΤ.

Εικόνα 13: Κατανομή ΑΟΤ σε μηνιαία βάση για το έτος 2011



## Συσχετίσεις Fine - Coarse – Συνολικού AOT

Σε περαιτέρω στάδιο, από τις συνολικές μετρήσεις του AOT για τα έτη 2010 και 2011 ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέρες που έχουν τιμή AOT πάνω από το όριο του 0,3, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Hadjimitsis et al., 2010).

Παρατηρώντας τον πίνακα 3 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά σχετικά με τις μέρες με συνολικό AOT άνω του 0,3 καθώς επίσης και οι τιμές του Fine Mode και Coarse Mode αλλά και των  $AS_{10}$ , όπου είναι δυνατόν.

Έχοντας υπόψη τις τιμές του πίνακα 5 παρατηρείται η συνεισφορά των μικροσωματιδίων Fine Mode και Coarse Mode στο συνολικό AOT. Με μια πιο λεπτομερή παρατήρηση μπορούμε να δούμε πως κατά την περίοδο Ιουλίου – Σεπτεμβρίου τα Fine υπερिशύουν των Coarse σε συνεισφορά στο συνολικό AOT, ενώ κατά την περίοδο Απριλίου – Ιουνίου να αντιστρέφεται η κατάσταση και τα Coarse να υπερिशύουν των Fine. Υπάρχουν και περιπτώσεις κατά τις οποίες σχετικά οι τιμές Fine και Coarse πλησιάζουν, και θεωρούμε ότι συνεισφέρουν το ίδιο.

**Πίνακας 5: Μέρες με AOD μεγαλύτερο του 0,3**

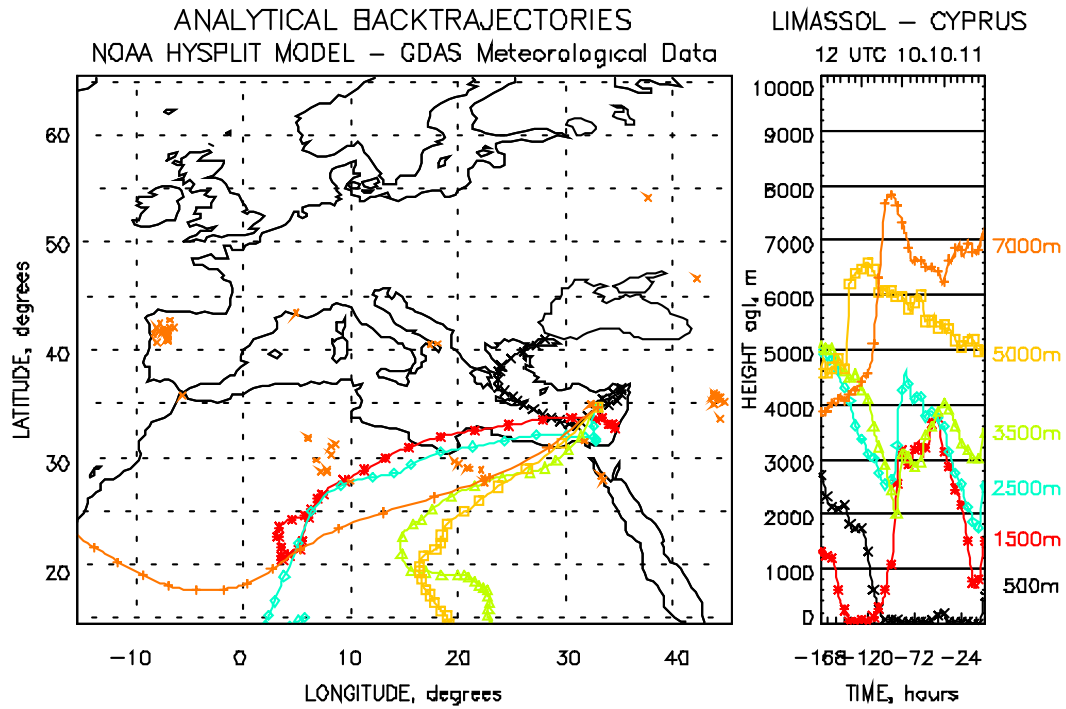
A/A	Ημερομηνία	Συνολικό AOT 500nm	Fine_Mode AOD 500nm	Έλεγχος	Coarse_Mode AOD 500nm	$AS_{10}$
1	11/4/2010	0,353702	0,105323	<	0,248379	42,8882
2	20/4/2010	1,279742	0,09059	<	1,189152	43,3418
3	29/4/2010	0,358007	0,197161	~	0,160846	38,2620
4	7/5/2010	0,379943	0,135295	<	0,244648	43,1422
5	9/5/2010	0,664644	0,117974	<	0,546671	38,4434
6	10/5/2010	0,385976	0,086103	<	0,299873	58,0370
7	14/5/2010	0,387179	0,072412	<	0,314767	50,6350
8	16/5/2010	1,154745	0,090456	<	1,06429	67,5617
9	27/5/2010	0,467928	0,076583	<	0,391346	35,0327
10	28/5/2010	1,05377	0,114897	<	0,938873	47,0247
11	2/6/2010	0,697804	0,050646	<	0,647159	17,2351
12	11/6/2010	0,561101	0,187031	<	0,374069	38,7700
13	12/6/2010	0,45041	0,079305	<	0,371105	62,2460
14	13/6/2010	0,448397	0,06466	<	0,383738	29,8803
15	15/6/2010	0,464532	0,145427	<	0,319104	48,7845
16	16/7/2011	0,32413	0,282157	>	0,041973	.....
17	19/7/2011	0,303342	0,235608	>	0,067734	.....
18	20/7/2011	0,357374	0,267222	>	0,090152	.....
19	21/7/2011	0,338417	0,221226	>	0,117191	.....
20	23/7/2011	0,32224	0,226816	>	0,095424	.....
21	24/7/2011	0,408318	0,273337	>	0,134981	.....

22	30/7/2011	0,321293	0,239338	>	0,081956	.....
23	5/8/2011	0,351968	0,30819	>	0,043777	.....
24	18/8/2011	0,308802	0,260637	>	0,048165	.....
25	4/9/2011	0,326889	0,291307	>	0,035583	.....
26	10/9/2011	0,364329	0,316923	>	0,047406	.....
27	11/9/2011	0,382638	0,353104	>	0,029534	.....
28	21/9/2011	0,438087	0,403867	>	0,03422	.....
29	28/9/2011	0,314966	0,239575	>	0,075391	.....
30	29/9/2011	0,527714	0,218841	>	0,308873	.....
31	30/9/2011	0,360556	0,215743	>	0,144813	.....
32	10/10/2011	0,326057	0,13996	~	0,186097	.....
33	11/10/2011	0,435906	0,099207	<	0,3367	.....
34	23/10/2011	0,354729	0,101193	<	0,253536	.....
35	24/10/2011	0,49215	0,120755	<	0,371395	.....
36	25/10/2011	0,304431	0,160531	~	0,1439	.....
37	26/10/2011	0,349207	0,172716	~	0,176491	.....

#### 4.3 Συσχέτιση δεδομένων με βάση το Μοντέλο HYSPLIT

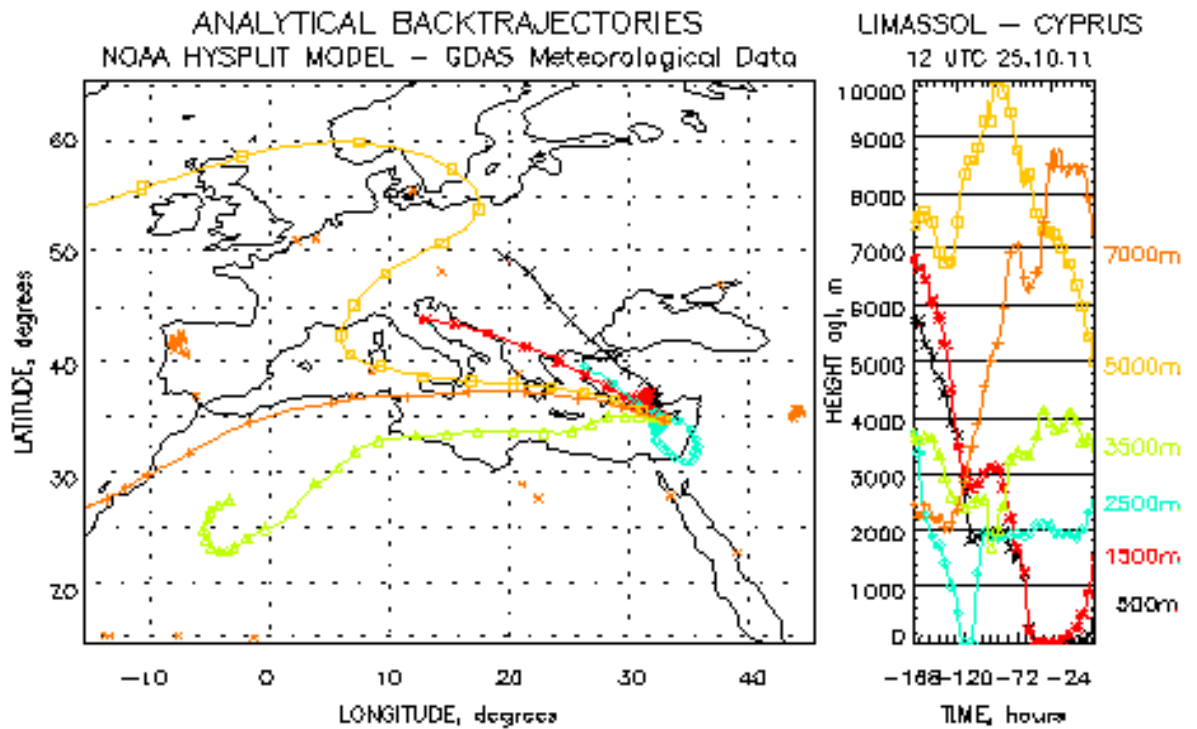
Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο παρέχει ένα αρχείο για κάθε μέρα στις 12:00 UTC. Με τη βοήθεια του αρχείου αυτού που βασίζεται στο μοντέλο HYSPLIT υπάρχει δυνατότητα να παρακολουθήσουμε τις τροχιές των αέριων μαζών ώστε να μπορέσουμε να τις χαρακτηρίσουμε αλλά και να κάνουμε διάφορες εκτιμήσεις αναφορικά με την πηγή προέλευσης των μαζών.

Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια μέσα από τη βοήθεια γραφημάτων του μοντέλου αυτού να γίνουν συσχετίσεις και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό επιλέγονται ενδεικτικά τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις ανάλογα με την επίδραση των fine ή coarse στο συνολικό AOT σε συνδυασμό με την πηγή προέλευσης των αέριων μαζών.



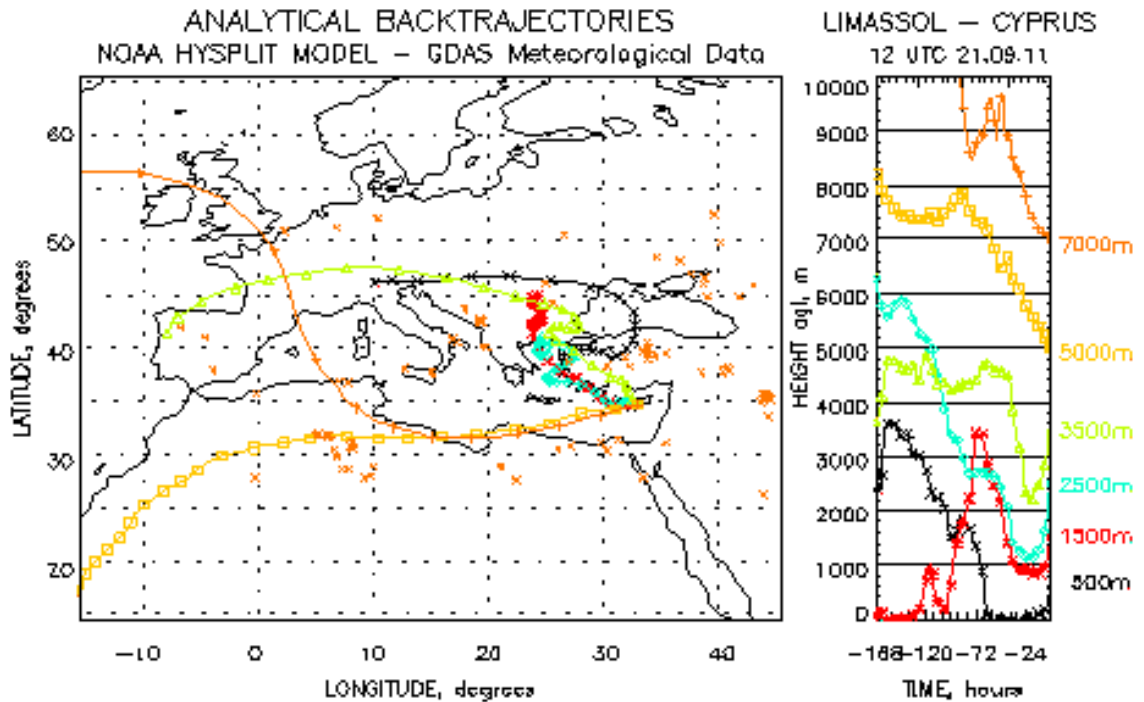
**Εικόνα 14: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για την 10/10/2010**

Από την εικόνα 14 παρατηρείται η προέλευση των αέριων μαζών να είναι κυρίως από τις περιοχές της Αφρικής. Παράλληλα, η τιμή του Fine Mode σε σχέση με του Coarse Mode παρατηρείται να είναι μικρότερη, σύμφωνα τον πίνακα 4. Συσχετίζοντας τα δυο αυτά στοιχεία μπορούμε να πούμε πως για περιόδους όπου οι αέριες μάζες στα διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας περνούν μέσω της περιοχής της Αφρικανικής Ηπείρου και καταλήγουν στην περιοχή της Λεμεσού και γενικά της Κύπρου φθάνουν συγκεντρώσεις με κύριο συστατικό τα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρούμενα σωματίδια όπου στην παρούσα εργασία αντιπροσωπεύονται από το Coarse Mode.



Εικόνα 15: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 25/10/2010

Από την εικόνα 15 παρατηρείται η προέλευση των αέριων μαζών να είναι κυρίως από τις περιοχές της Μεσογείου. Ανατρέχοντας στον πίνακα 4, για την συγκεκριμένη μέρα, εντοπίζεται το ότι η τιμή του AOT οφειλόμενη στα Fine είναι σχεδόν ίση με τα Coarse. Συμπεραίνεται πώς όταν οι αέριες μάζες που περνούν στην πλειονότητα τους πάνω από θαλάσσιες περιοχές επηρεάζουν μεν το συνολικό AOT συνεισφέροντας εξίσου σε αιωρούμενα σωματίδια μικρής και μεγαλύτερης διαμέτρου.



Εικόνα 16: Αναπαράσταση οπισθοτροχιών για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για την 21/9/2011

Με βάση την εικόνα 16 παρατηρείται η προέλευση της πορείας των αέριων μαζών να είναι από την περιοχή κυρίως της Τουρκίας. Για την συγκεκριμένη μέρα (βλέπε πίνακα 4) η συνεισφορά των Fine Mode, στο συνολικό AOT, εντοπίζεται να είναι μεγαλύτερη από εκείνη των Coarse Mode. Επίσης, παρατηρείται η εμφάνιση πυρκαγιών (σταυροί με πορτοκαλί χρώμα) στις περιοχές μέσα από τις οποίες περνούν οι αέριες αυτές μάζες. Ένα γεγονός που σίγουρα επηρεάζει τις υψηλές τιμές του AOT.

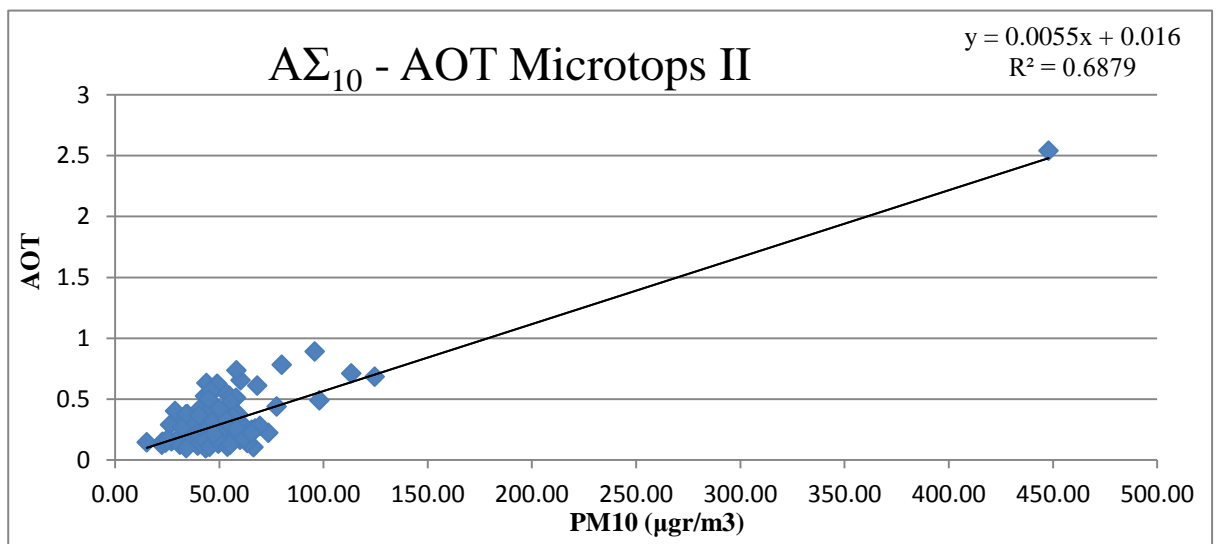
Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις των δεδομένων αυτών συνδυασμένα με ολόκληρη τη σειρά για τις μέρες με AOT πέραν του 0,3 (βλέπε Παράρτημα 4.7) εξάγεται το συμπέρασμα πως η πορεία που ακολουθεί η αέρια μάζα καθώς και το ύψος που περνά καθορίζει το μέγεθος των σωματιδίων που μεταφέρει. Συνοψίζοντας, βλέπουμε πως το παράδειγμα τις Λεμεσού οι αέριες μάζες που προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Αφρικής συνεισφέρουν στην ύπαρξη μεγάλων σωματιδίων - Coarse Mode, ενώ αέριες μάζες που φθάνουν στην περιοχή μέσω των περιοχών της Τουρκίας μεταφέρουν μικρότερα σωματίδια - Fine Mode. Πιθανόν λόγω καύσης βιομάζας, συχνό φαινόμενο της περιοχής. Παράλληλα αέριες μάζες που περνούν πάνω από θαλάσσιες περιοχές, πχ Μεσόγειος, μεταφέρουν σωματίδια άλατος που σε συνδυασμό με το υπόβαθρο της περιοχής της Λεμεσού δίνουν τιμές AOT οφειλόμενο σε fine και coarse της ίδιας τάξης μεγέθους.

Σημαντική παράμετρος σχετικά με το μέγεθος των σωματιδίων που καταλήγουν στην Κύπρο παίζει η ύπαρξη πυρκαγιών στο πέρασμα των αέριων μαζών. Ανάλογα με την απόσταση ως προς την περιοχή μελέτης και το είδος της πυρκαγιάς καθορίζεται το είδος των σωματιδίων που καταλήγουν σε αυτή

#### 4.4 Συσχέτιση ΑΣ<sub>10</sub> με ΑΟΤ

Έγινε χρήση μετρήσεων ΑΟΤ και ΑΣ<sub>10</sub> για τις ίδιες μέρες και κοινές ώρες. Εδώ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ΑΟΤ από το ηλιακό φωτόμετρο MICROTOPS II και οι συγκεντρώσεις των ΑΣ<sub>10</sub> που παραχωρήθηκαν από το σταθμό στη Λεωφόρο Μακαρίου στη Λεμεσό (εικόνα 7) του Τμήματος Επιθεώρησης Εργασίας.

Για την περίοδο Ιανουαρίου του 2010 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2010 έχουν χρησιμοποιηθεί από το αρχείο του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης τα "ΑΟΤ" από το ηλιοφωτόμετρο Microtops για την περιοχή του αστικού κέντρου της Λεμεσού. Το δείγμα των μετρήσεων αποτελείται από σύνολο 125 μετρήσεων. Έγινε συσχέτιση μεταξύ του ΑΟΤ και των ΑΣ<sub>10</sub> όπως φαίνεται στην εικόνα 17 με χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης.



Εικόνα 17: Συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με ΑΟΤ

Από το γράφημα (Συσχέτιση των ΑΣ<sub>10</sub> με ΑΟΤ) προκύπτει η εξής σχέση

$\boxed{ΑΟΤ = 0,0055 * ΑΣ_{10} + 0,016}$  έχοντας συντελεστή συσχέτισης  $R = 0,829$ . Στη σχέση αυτή η εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  αντιπροσωπεύει το ΑΟΤ ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  αντιπροσωπεύει τα ΑΣ<sub>10</sub>.

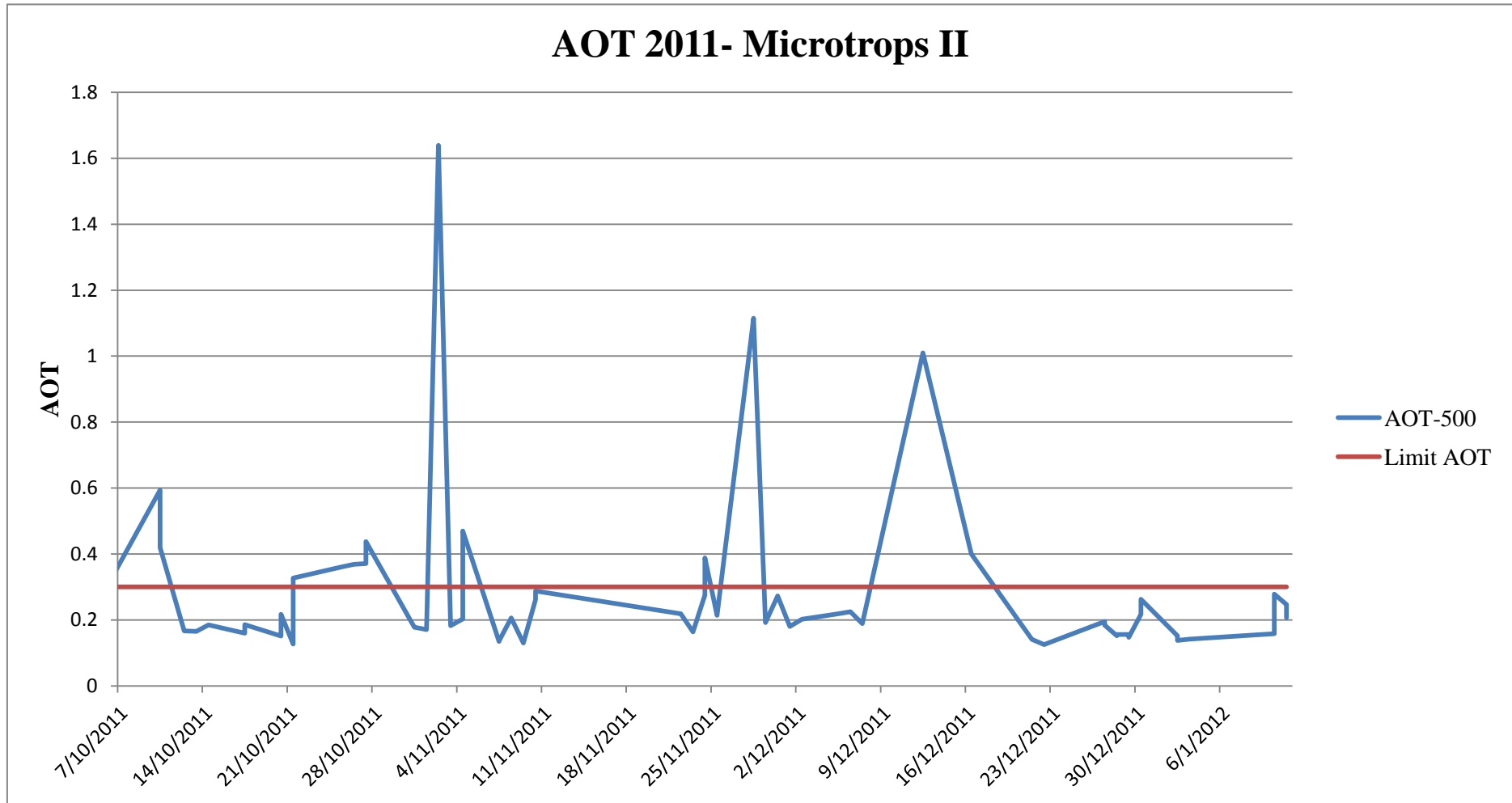


Για την περίοδο 10/2011 – 12/2011 έχουν ληφθεί στην ίδια περιοχή μετρήσεις ΑΟΤ με τη χρήση του ηλιοφωτόμετρου Microtrops όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 6).

**Πίνακας 6: Τιμές ΑΟΤ που λήφθηκαν στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTROPS II από 10/2011 έως 1/2012 .**

A/A	DATE	AOT-500	A/A	DATE	AOT-500
1	3/10/2011	0,617	34	22/11/2011	0,219
2	3/10/2011	0,827	35	23/11/2011	0,164
3	5/10/2011	0,216	36	24/11/2011	0,275
4	6/10/2011	0,262	37	24/11/2011	0,388
5	6/10/2011	0,327	38	25/11/2011	0,214
6	7/10/2001	0,259	39	28/11/2011	1,115
7	10/10/2011	0,594	40	29/11/2011	0,192
8	10/10/2011	0,42	41	30/11/2011	0,273
9	12/10/2011	0,167	42	1/12/2011	0,18
10	13/10/2011	0,165	43	2/12/2011	0,202
11	14/10/2011	0,185	44	5/12/2011	0,219
12	17/10/2011	0,16	45	6/12/2011	0,225
13	17/10/2011	0,186	46	7/12/2011	0,189
14	20/10/2011	0,151	47	12/12/2011	1,01
15	20/10/2011	0,217	48	16/12/2011	0,4
16	21/10/2011	0,127	49	21/12/2011	0,141
17	21/10/2011	0,327	50	22/12/2011	0,125
18	25/10/2011	0,361	51	27/12/2011	0,195
19	26/10/2011	0,369	52	27/12/2011	0,184
20	27/10/2011	0,371	53	28/12/2011	0,152
21	27/10/2011	0,438	54	28/12/2011	0,156
22	31/10/2011	0,178	55	29/12/2011	0,156
23	1/11/2011	0,171	56	29/12/2011	0,147
24	2/11/2011	1,639	57	30/12/2011	0,217
25	3/11/2011	0,183	58	30/12/2011	0,263
26	4/11/2011	0,203	59	2/1/2012	0,152
27	4/11/2011	0,47	60	2/1/2012	0,138
28	7/11/2011	0,135	61	3/1/2012	0,142
29	7/11/2011	0,136	62	10/1/2012	0,158
30	8/11/2011	0,206	63	10/1/2012	0,278
31	9/11/2011	0,13	64	11/1/2012	0,247
32	10/11/2011	0,262	65	11/1/2012	0,207
33	10/11/2011	0,288			

Το γράφημα της εικόνας 18 παρουσιάζει τη διακύμανση των τιμών του ΑΟΤ, με βάση τις μετρήσεις από το ηλιοφωτόμετρο Microtrops II, για την περίοδο 10/2011 έως και 1/2012. Η γενική εικόνα της κατανομής αυτής δικνύει ότι στις περισσότερες των ημερών το ΑΟΤ έχει τιμή μικρότερη ή τουλάχιστον πλησιάζει το όριο του 0,3. Σε τρεις περιπτώσεις η τιμή του ΑΟΤ ξεπερνά το όριο, στις 2/11/2011 με ΑΟΤ=1,64 στις 28/11/2011 με ΑΟΤ=1,15 και στις 12/12/2011 με ΑΟΤ=1,01.

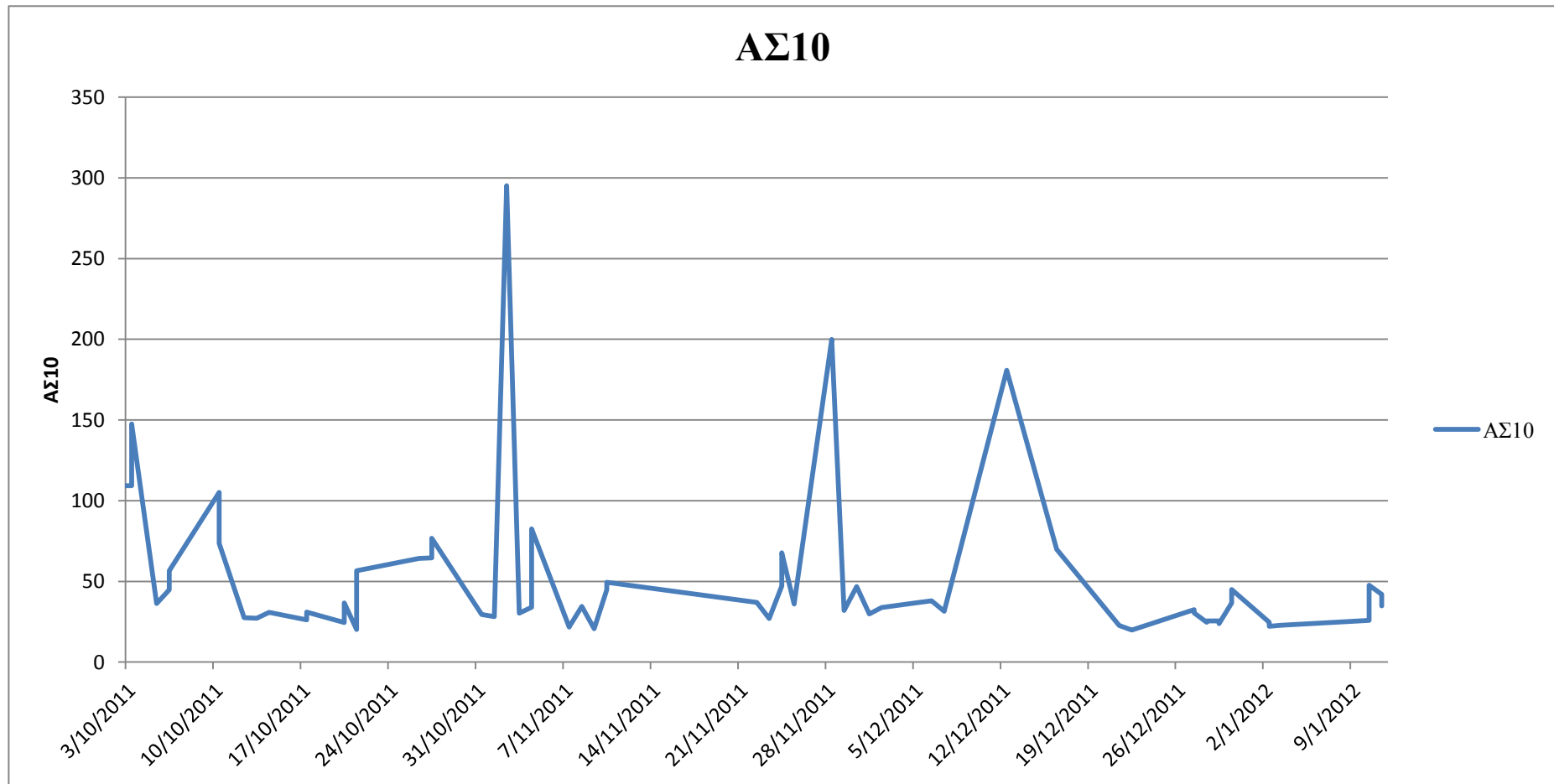


Εικόνα 18: AOT για στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTROPS II από 10/2011 εως 1/2012 .

Έχοντας υπόψη τη σχέση που αναπτύχθηκε προηγουμένως μπορεί κάποιος εμπειρικά χρησιμοποιώντας τις επίγειες μετρήσεις του ΑΟΤ, από κάποιο ηλιοφωτόμετρο, να εξάγει τις μετρήσεις των ΑΣ<sub>10</sub>. Αυτό μπορεί να γίνει το ίδιο εύκολα και με τις δορυφορικές απεικονίσεις που μπορούν να δώσουν καθημερινά μετρήσεις του ΑΟΤ, όπως για παράδειγμα ο δορυφόρος MODIS.

**Πίνακας 7: Τιμές ΑΣ<sub>10</sub> που υπολογίστηκαν βάση της σχέσης που αναπτύχθηκε από τη συσχέτιση ΑΟΤ και ΑΣ<sub>10</sub>**

A/A	DATE	ΑΟΤ-500	ΑΣ10	A/A	DATE	ΑΟΤ-500	ΑΣ10
1	3/10/2011	0,617	109,272727	34	22/11/2011	0,219	36,90909
2	3/10/2011	0,827	147,454545	35	23/11/2011	0,164	26,90909
3	5/10/2011	0,216	36,3636364	36	24/11/2011	0,275	47,09091
4	6/10/2011	0,262	44,7272727	37	24/11/2011	0,388	67,63636
5	6/10/2011	0,327	56,5454545	38	25/11/2011	0,214	36
6	7/10/2001	0,259	44,1818182	39	28/11/2011	1,115	199,8182
7	10/10/2011	0,594	105,090909	40	29/11/2011	0,192	32
8	10/10/2011	0,42	73,4545455	41	30/11/2011	0,273	46,72727
9	12/10/2011	0,167	27,4545455	42	1/12/2011	0,18	29,81818
10	13/10/2011	0,165	27,0909091	43	2/12/2011	0,202	33,81818
11	14/10/2011	0,185	30,7272727	44	5/12/2011	0,219	36,90909
12	17/10/2011	0,16	26,1818182	45	6/12/2011	0,225	38
13	17/10/2011	0,186	30,9090909	46	7/12/2011	0,189	31,45455
14	20/10/2011	0,151	24,5454545	47	12/12/2011	1,01	180,7273
15	20/10/2011	0,217	36,5454545	48	16/12/2011	0,4	69,81818
16	21/10/2011	0,127	20,1818182	49	21/12/2011	0,141	22,72727
17	21/10/2011	0,327	56,5454545	50	22/12/2011	0,125	19,81818
18	25/10/2011	0,361	62,7272727	51	27/12/2011	0,195	32,54545
19	26/10/2011	0,369	64,1818182	52	27/12/2011	0,184	30,54545
20	27/10/2011	0,371	64,5454545	53	28/12/2011	0,152	24,72727
21	27/10/2011	0,438	76,7272727	54	28/12/2011	0,156	25,45455
22	31/10/2011	0,178	29,4545455	55	29/12/2011	0,156	25,45455
23	1/11/2011	0,171	28,1818182	56	29/12/2011	0,147	23,81818
24	2/11/2011	1,639	295,090909	57	30/12/2011	0,217	36,54545
25	3/11/2011	0,183	30,3636364	58	30/12/2011	0,263	44,90909
26	4/11/2011	0,203	34	59	2/1/2012	0,152	24,72727
27	4/11/2011	0,47	82,5454545	60	2/1/2012	0,138	22,18182
28	7/11/2011	0,135	21,6363636	61	3/1/2012	0,142	22,90909
29	7/11/2011	0,136	21,8181818	62	10/1/2012	0,158	25,81818
30	8/11/2011	0,206	34,5454545	63	10/1/2012	0,278	47,63636
31	9/11/2011	0,13	20,7272727	64	11/1/2012	0,247	42
32	10/11/2011	0,262	44,7272727	65	11/1/2012	0,207	34,72727
33	10/11/2011	0,288	49,4545455				



**Εικόνα 19:** Τιμές  $AS_{10}$  βασισμένες στη εξίσωση συσχέτισης και τις μετρήσεις AOT για στην Περιοχή Λεωφόρο Μακαρίου από το ηλιοφωτόμετρο MICROTROPS II για τους 10/2011 έως 1/2012 .

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εν λόγω πτυχιακής συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Από τις μετρήσεις AOT, με τη χρήση του ηλιοφωτόμετρου, που έλαβαν χώρα στο αστικό κέντρο της Λεμεσού, έχει παρατηρηθεί πως η τιμή 0,3 που αποτελεί όριο για το AOT, υπερβαίνεται σε μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια των μηνών του καλοκαιριού καθώς και στις περιπτώσεις φαινομένων μεταφοράς διασυνοριακής ρύπανσης.
- Η πορεία των αέριων μαζών επηρεάζει άμεσα το μέγεθος των σωματιδίων που καταφθάνουν σε κάποια περιοχή. Έχοντας σαν παράδειγμα παρακολούθησης την ευρύτερη περιοχή της Λεμεσού και γενικά της Κύπρου παρατηρήθηκε διαφορά στο μέγεθος των αερολυμάτων ανάλογα με την προέλευση των αέριων μαζών. Οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται στα γραφήματα της διακύμανσης AOT οφείλονται στη διέλευση αέριων μαζών που μεταφέρουν κυρίως σκόνη από την περιοχή Αφρικανικής Ηπείρου.
- Κατά την περίοδο Ιουλίου 2011 – Σεπτεμβρίου 2011 παρατηρούμε τα Fine να υπερισχύουν των Coarse, ενώ κατά την περίοδο Απριλίου 2010 – Ιουνίου 2010 να αντιστρέφεται η κατάσταση και τα Coarse να υπερισχύουν των Fine.
- Από τη συσχέτιση των  $A\Sigma_{10}$  συναρτήσεϊ του AOT προέκυψε η εξίσωση:

$$AOT = 0,0055 * A\Sigma_{10} + 0,016$$

με συντελεστή συσχέτισης  $R = 0,829$ . Γεγονός που υποδεικνύει πως υπάρχει μια πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ  $A\Sigma_{10}$  και AOT. Η εξίσωση αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για τη συστηματική μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με συστήματα παρακολούθησης της ατμόσφαιρας όπως τα δορυφορικά δεδομένα, από τα οποία λαμβάνοντας το AOT θα μπορεί να γίνει υπολογισμός των ΑΣ. Εμπειρικά, κάποιος που έχει στη διάθεση του επίγειες ή δορυφορικές μετρήσεις του AOT είναι σε θέση να υπολογίσει τις τιμές των  $A\Sigma_{10}$ , εξοικονομώντας χρόνο, προσπάθεια αλλά και με μειωμένο κόστος. 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.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Chu, D. A., Kaufman, Y. J., Ichoku, C., Remer, L. A., Tanré, D., Holben, B. N. (2002). "Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land, *Geophys. Res. Lett.*," 29(12) 8007.

DOTSOFT. (2012). "ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ." <http://lap.physics.auth.gr/> (15/3, 2012).

Europa. (2005). "Europa - Σύνοψη της Νομοθεσίας της ΕΕ." [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/air\\_pollution/l28159\\_el.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28159_el.htm) (15/3, 2012).

Google Earth Inc. (2012). "Google Earth Inc." <http://www.google.com/earth/index.html> (27/10, 2011).

Hadjimitsis, D. G., Nisantzi, A., Themistocleous, K., Matsas A., Trigkas V. (2010). "Satellite remote sensing, GIS and sun-photometers for monitoring PM10 in Cyprus: issues on public health." *Rep. No. 7826, 78262C*, Cyprus.

Hadjimitsis, D. G. (2009). "Aerosol Optical Thickness (AOT) retrieval over land using satellite image-based algorithm, *Air Quality, Atmosphere & Health- An International Journal* " 2 (2)(10.1007/s11869-009-0036-0), 89-97.

Hadjimitsis, D.G., Clayton, C.R.I. (2009). "Determination of aerosol optical thickness through the derivation of an atmospheric correction for short-wavelength Landsat TM and ASTER image data: an application to areas located in the vicinity of airports at UK and Cyprus." *Applied Geomatics Journal.*, 31-40.

Hadjimitsis, D.G., Retalis A., Clayton, C.R.I. (2002). "The assessment of atmospheric pollution using satellite remote sensing technology in large cities in the vicinity of airports. *Water, Air & Soil Pollution: Focus*," *An International Journal of Environmental Pollution* 2, 631—640.

Holben, B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tame D., Buis J.P., Setzer A., Vermote, E., Reagan, J.A., Kaufman, Y., Nakajima, T., Lavenu F., Jankowiak, I., Smimov, A. (1998). "AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Rem. Sens. Environ.* " 66 1-16.

Kaufman, Y.J., Fraser, R.S., Ferrare, R.A. (1990). "Satellite measurements of large-scale air pollution: methods." *Journal of Geophysics Research*, 95 9895-9909.

KentroDomisis. (2012). "Επιπτώσεις στην υγεία από την εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων." <http://www.sigmahellas.gr/index.php?lang=1&thecatid=2&thesubcatid=330&thesubsubcatid=339> (14/2, 2012).

Lee, H. J., Liu, Y., Coull, B. A., Schwartz, J., and Koutrakis, P. (2011). "A novel calibration approach of MODIS AOD data to predict ΑΣ2.5 concentrations, *Atmos. Chem. Phys.*," 11(10.5194/acp-11-7991-2011, 2011.), 7991-8002.

S. K. NASA. (2011). "Goddard Earth Science Data and Information Services Center." [http://daac.gsfc.nasa.gov/data-holdings/PIP/aerosol\\_optical\\_thickness\\_or\\_depth.shtml](http://daac.gsfc.nasa.gov/data-holdings/PIP/aerosol_optical_thickness_or_depth.shtml) (2/12, 2011).

Nisantzi A., Hadjimitsis D.G., Aexakis D. (2011). "Estimating the relationship between aerosol optical thickness and AΣ10 using lidar and meteorological data in Limassol. Cyprus, Prague." *SPIE Remote Sensing 2011*, .

Retalis, A., Cartalis, C., Athanasiou, E. (1999). "Assessment of the distribution of aerosols in the area of Athens with the use of Landsat TM. pp. " *International Journal of Remote Sensing*, 20 939-945.

Sifakis, N., Deschamps, P.Y. (1992). "Mapping of air pollution using SPOT satellite data." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58 1433—1437.

SOLAR LIGHT©. (2012). "SOLAR LIGHT." <http://www.solarlight.com/products/sunphoto.html> (20/11, 2011).

Tang, J., Xue, Y., Yu, T., Guan, Y. (2004). "Aerosol optical thickness determination by exploiting the synergy of Terra and Aqua MODIS. " *Remote Sensing of Environment*, 94 327-334.

Themistocleous K., Nisantzi A., Hadjimitsis D.G., Retalis A., Paronis D., Michaelides S., Chrysoulakis N., Agapiou A., Giorgousis G., Perdikou S. (2010). "Monitoring air pollution in the vicinity of cultural heritage sites in Cyprus using remote sensing techniques." 3rd International Euro-Mediterranean Conference (EuroMed 2010), 8-13 November 2010, Limassol, Cyprus

Tsanev, V. I., Mather, T. A. (2008). "Microtops Inverse Software package for retrieving aerosol columnar size distributions using Microtops II data." *Users Manual*, .

Tulloch, M., Li, J. (2004). "Applications of Satellite Remote Sensing to Urban Air-Quality Monitoring: Status and Potential Solutions to Canada." *Environmental Informatics Archives*, 2 846-854.

Wald, L., Basly, L., Balleynaud, J.M. (1999). "Satellite data for the air pollution mapping. In: 18<sup>th</sup> EARseL symposium on operational sensing for sustainable development." *Enschede, Netherlands*, 133—139.

Wang, J., Christopher, S. A. (2003). "Intercomparison between satellite derived aerosol optical thickness and AΣ2.5 mass: Implications for air quality studies." *Geophys. Res. Lett.*, 30 (21) 2095.

Αντωνίου (1988). *Εγκυκλοπαίδεια Φιλόκουπρος*. Εκδοτική Εταιρεία ΛΤΔ, Λευκωσία - Κύπρος

Γεντεκάκης, Ι. (2010). *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ: επιπτώσεις & εναλλακτικές τεχνολογίες. 2η έκδοση*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Κρήτη, Χανιά.

Γιοβάνης, Χ. (1991). *Εγκυκλοπαίδεια Νόμπελ*. Αθήνα, Παγκόσμιος Εκδοτικός Οίκος.

Δινένογλου Αικατερίνη. (2008). Πτυχιακή Εργασία "Διασπορά των Αιωρούμενων Σωματιδίων στην περιοχή της Μεσογείου." Θεσσαλονίκη.

Κυπριακή Δημοκρατία. (2012). "Ποιότητα του Αέρα στην Κύπρο."

<http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Default.aspx?language=2d74f415-40b3-4b36-a16a-9ea14592d1a7&pageid=689> (12/1, 2012).



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 4.5 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

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.

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.

Τα ποσοτικά κριτήρια τα οποία έχουν οριστεί μέσω των Οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πιέσεων και των υπερβάσεων στον επιτρεπόμενο αριθμό υπερβάσεων των οριακών τιμών, οι οποίες επιτρέπονται για κάθε ρύπο σε κάθε ζώνη, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012)

Πίνακας 8: Οριακές τιμές για ΑΣ2.5, SO2, NO2, ΑΣ10, Pb, CO, Benzene, O3, As, Cd, Ni και PAHs, σύμφωνα με τις θυγατρικές οδηγίες

<i>Ρύπος</i>	<i>Οριακή Τιμή</i>	<i>Μέση Χρονική Περίοδος</i>	<i>Legal nature</i>	<i>Επιτρεπόμενα exceedences κάθε έτος</i>
<b>Αιωρούμενα Σωματίδια, (ΑΣ2.5)</b>	25 µg/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2010 Η οριακή τιμή τίθεται σε ισχύ 1.1.2015	n/a
<b>Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>)</b>	350 µg/m <sup>3</sup>	1 ώρα	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2005	24
	125 µg/m <sup>3</sup>	24 ώρες	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2005	3
<b>Διοξείδιο του Αζώτου (NO<sub>2</sub>)</b>	200 µg/m <sup>3</sup>	1 ώρα	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2010	18
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2010	n/a
<b>Αιωρούμενα Σωματίδια, ΑΣ10</b>	50 µg/m <sup>3</sup>	24 ώρες	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2005	35
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2005	n/a
<b>Μόλυβδος (Pb)</b>	0.5 µg/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2005 (or 1.1.2010) στην άμεση εγγύτητα των συγκεκριμένων , δηλωμένων βιομηχανικών πηγών; Και ένα όριο της τιμής 1.0 µg/m <sup>3</sup> με εφαρμογή 1.1.2005 to 31.12.2009)	n/a
<b>Μονοξείδιο του Άνθρακα</b>	10 mg/m <sup>3</sup>	Μέγιστη ημερήσια μέση	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ	n/a

<b>(CO)</b>		τιμή βάση 8 ωρών	1.1.2005	
<b>Βενζόλιο</b>	5 µg/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2010	n/a
<b>Όζον</b>	120 µg/m <sup>3</sup>	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή βάση 8 ωρών	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 1.1.2010	25 days averaged over 3 years
<b>Αρσενικό (As)</b>	6 ng/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 31.12.2012	n/a
<b>Κάδμιο (Cd)</b>	5 ng/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 31.12.2012	n/a
<b>Νικέλιο (Ni)</b>	20 ng/m <sup>3</sup>	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 31.12.2012	n/a
<b>Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρα κες</b>	1 ng/m <sup>3</sup> (εκφρασμένος ως συγκέντρωση Benzo(a)pyrene )	1 χρόνος	Η αξία στόχων τίθεται σε ισχύ 31.12.2012	n/a

(Κυπριακή Δημοκρατία, 2012)

Ο μέσος δείκτης έκθεσης (AEI) καθορίζεται ως μια μέση συγκέντρωση ΑΣ2.5 τριών ετών, σε ετήσια βάση, ο οποίος υπολόγισε κατά μέσο όρο πάνω από τους επιλεγμένους σταθμούς ελέγχου τις συσσωρεύσεις και τις μεγαλύτερες αστικές περιοχές, που τέθηκαν ως στόχος στις αστικές θέσεις ώστε να αξιολογήσουν καλύτερα την έκθεση ΑΣ2.5 στο γενικό πληθυσμό.

<b>Τίτλος</b>	<b>Μετρικός</b>	<b>Μέση Περίοδος</b>	<b>Νομική φύση/Legal nature</b>
<b>ΑΣ2.5 Υποχρέωση συγκέντρωσης έκθεσης</b>	20 µg/m <sup>3</sup> (AEI)	Μέσος όρος βάση 3 χρόνων	Δεσμευτικά νομικά μέσα 2015 (χρόνια 2013,2014,2015)
<b>ΑΣ2.5 Στόχος μείωσης έκθεσης</b>	Μείωση ποσοστού + όλες οι μετρήσεις να φθάσουν τα 18 µg/m <sup>3</sup>	Μέσος όρος βάση 3 χρόνων	Μείωση που επιτυγχάνεται όπου είναι δυνατόν μέσα 2020, καθορισμένος βάσει της αξίας του δείκτη έκθεσης μέσα 2010

Ανάλογα με την τιμή του ΑΕΙ το 2010, τίθεται στην οδηγία μια απαίτηση μείωσης ποσοστού (0.10.15, ή 20%). Εάν ΑΕΙ το 2010 αξιολογηθεί πάνω από 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , πρέπει να ληφθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα για να επιτύχουν 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  μέχρι το 2020.

#### 4.6 Κυπριακή Νομοθεσία

Ο περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα Νόμος του 2002 (Ν.188(Ι)/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 (Ν.188(Ι)/2002) τροποποιήθηκε με το Νόμο 161(Ι)/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/ΕΚ καθώς και η συμμετοχή του κοινού και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη σύμφωνα με την οδηγία 85/337/ΕΟΚ και 96/61/ΕΚ 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

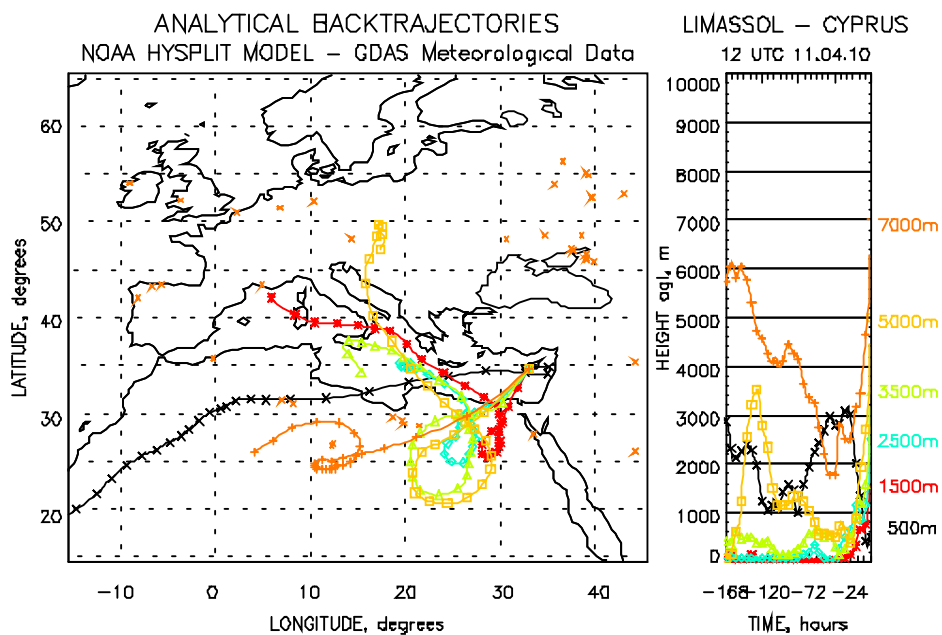
επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος. Επίσης, οι κανονισμοί αυτοί έχουν ως στόχο την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των αναφερθέντων ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα και την ενημέρωση του κοινού καθώς επίσης και τη διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα 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.

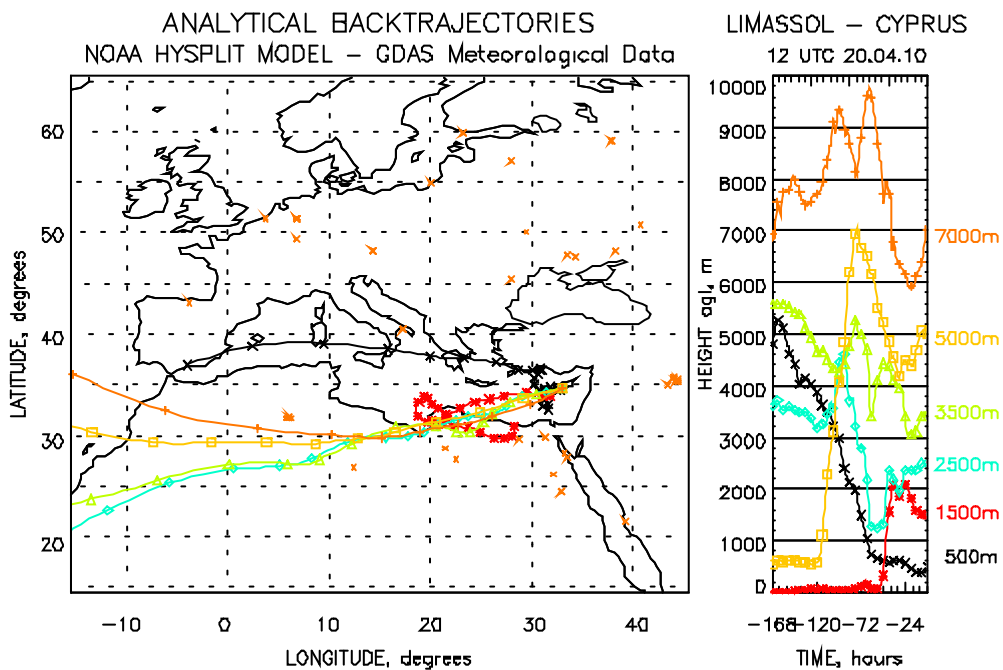
Επίσης η μεταφορά της οδηγίας 2004/107/ΕΚ έγινε με τη δημοσίευση των Περί της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (Αρσενικό, Κάδμιο, Υδράργυρος, Νικέλιο και Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες στον Ατμοσφαιρικό Αέρα) Κανονισμού, ΚΔΠ 111/2007 στην Επίσημη Εφημερίδα της 9.3.2007.

Ο αρχικός νόμος περί ποιότητας αέρα έχει αντικατασταθεί από τον Νόμο του 2010 (Ν.77(Ι)/2010). (Κυπριακή Δημοκρατία, 2012)

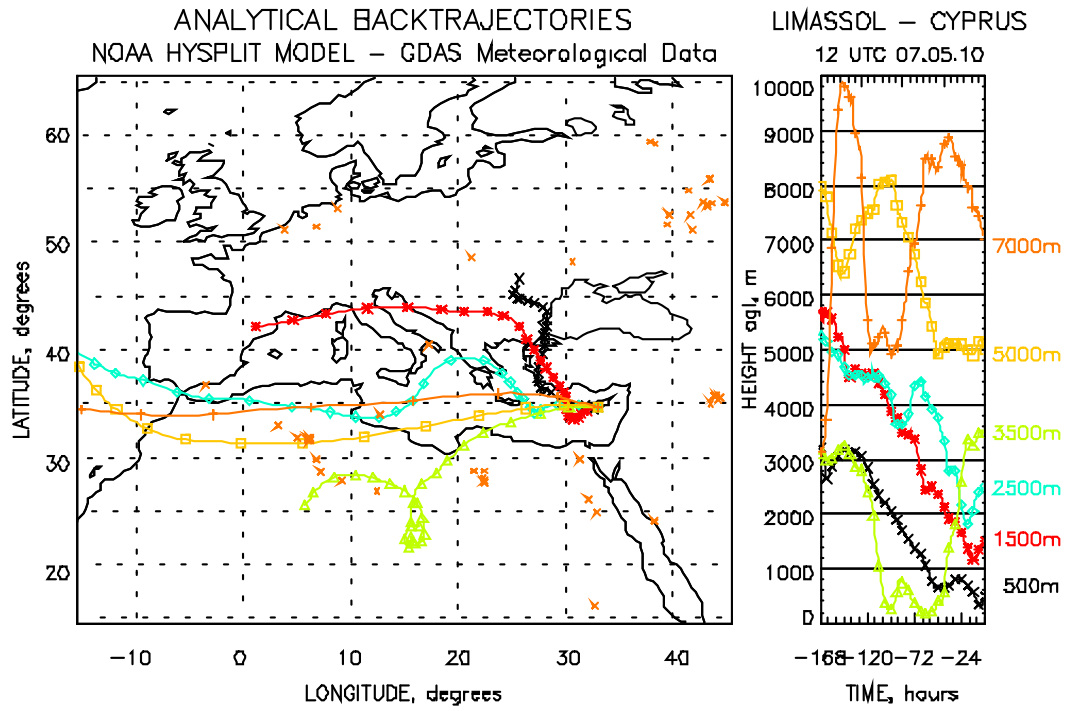
#### 4.7 Εικόνες από το μοντέλο HYSPLIT (Μέρες με AOT>0,3)



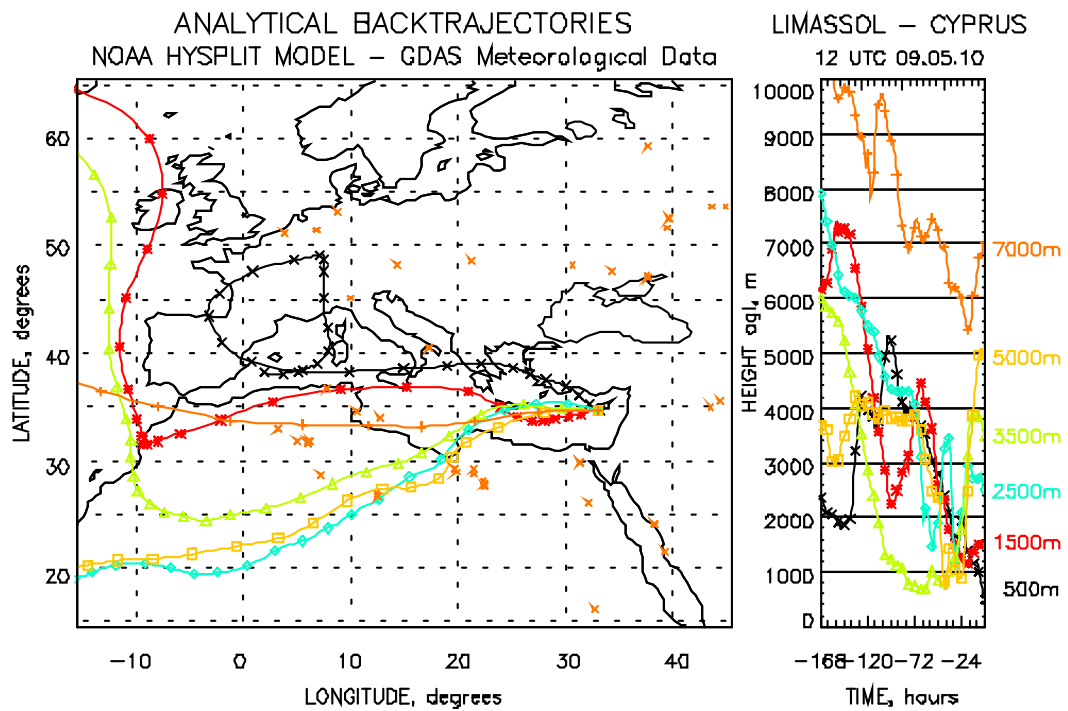
Εικόνα 20: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/4/2010



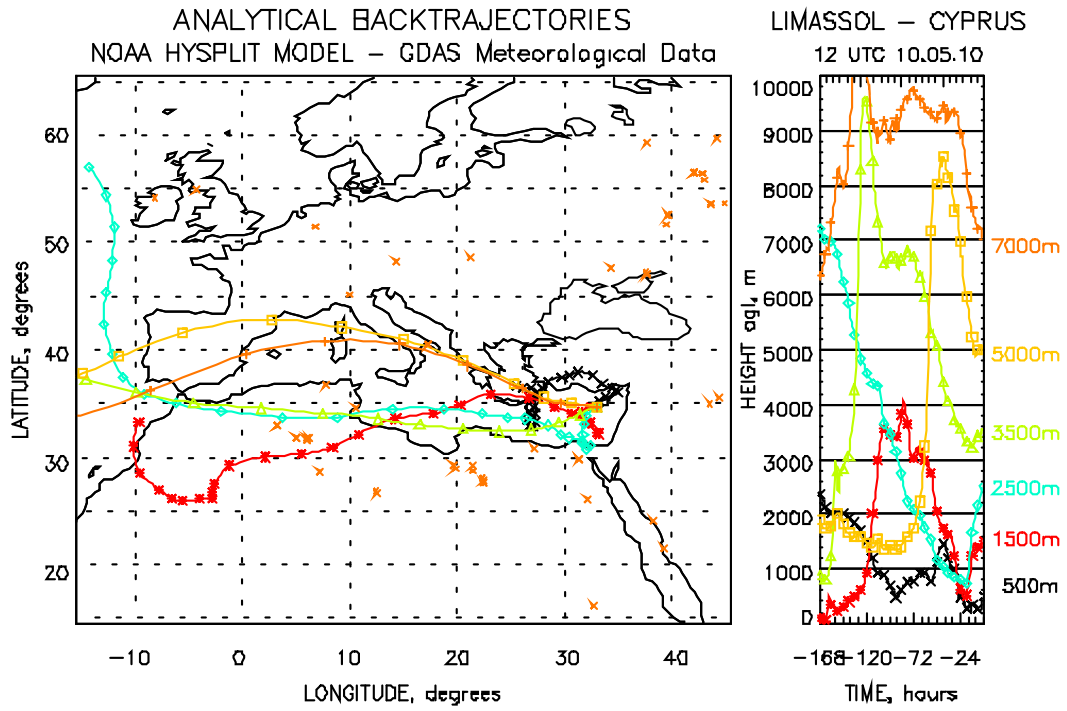
Εικόνα 21: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 20/4/2010



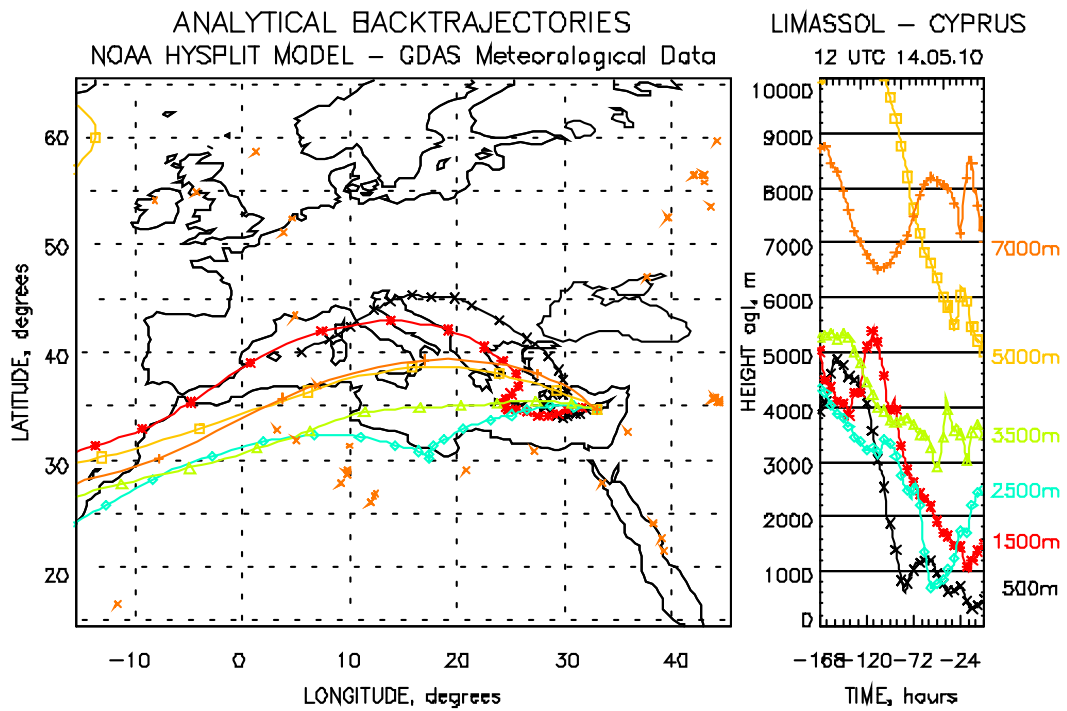
Εικόνα 22: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 7/5/2010



Εικόνα 23: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 9/5/2010

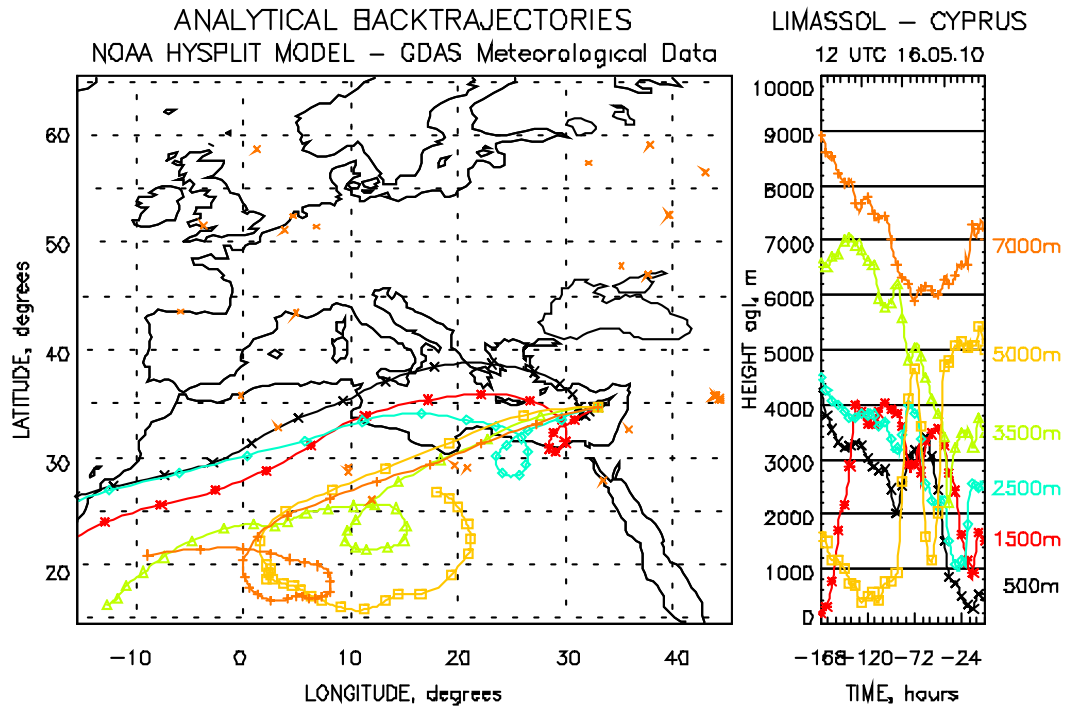


Εικόνα 24: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/5/2010

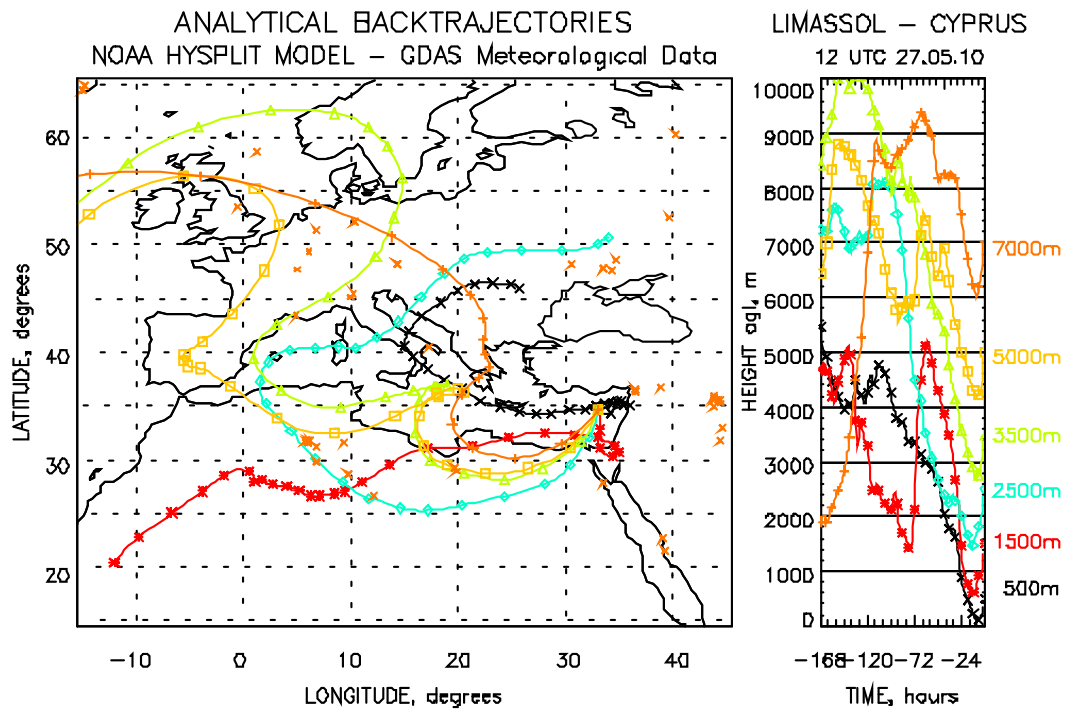


Εικόνα 25: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 14/5/2010

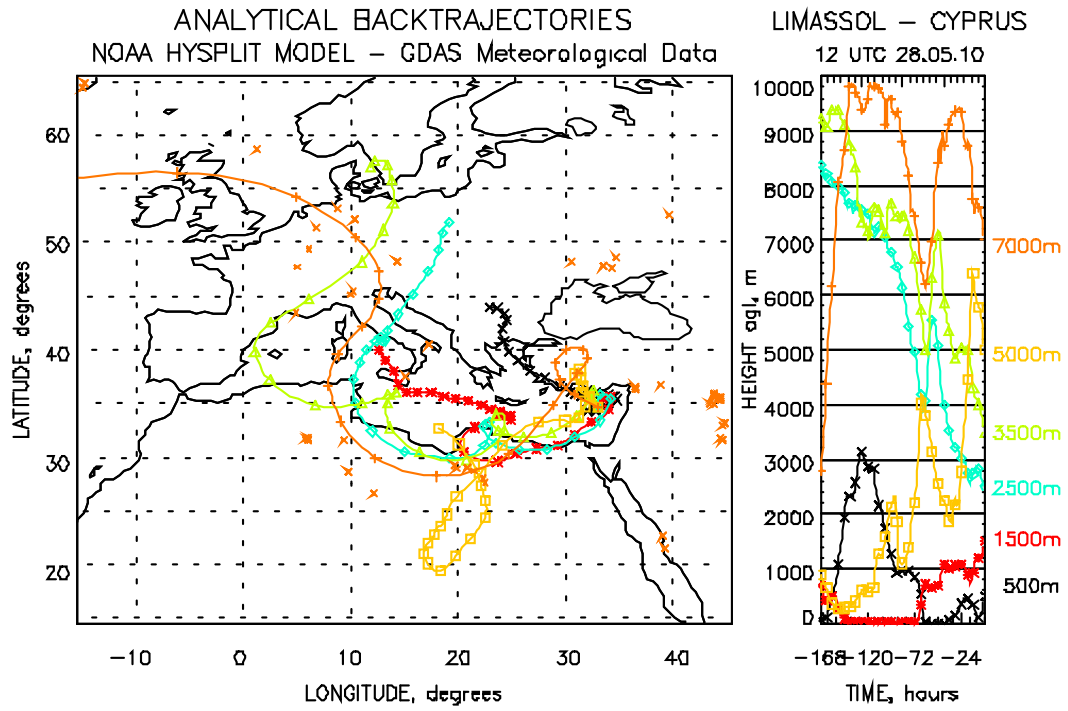




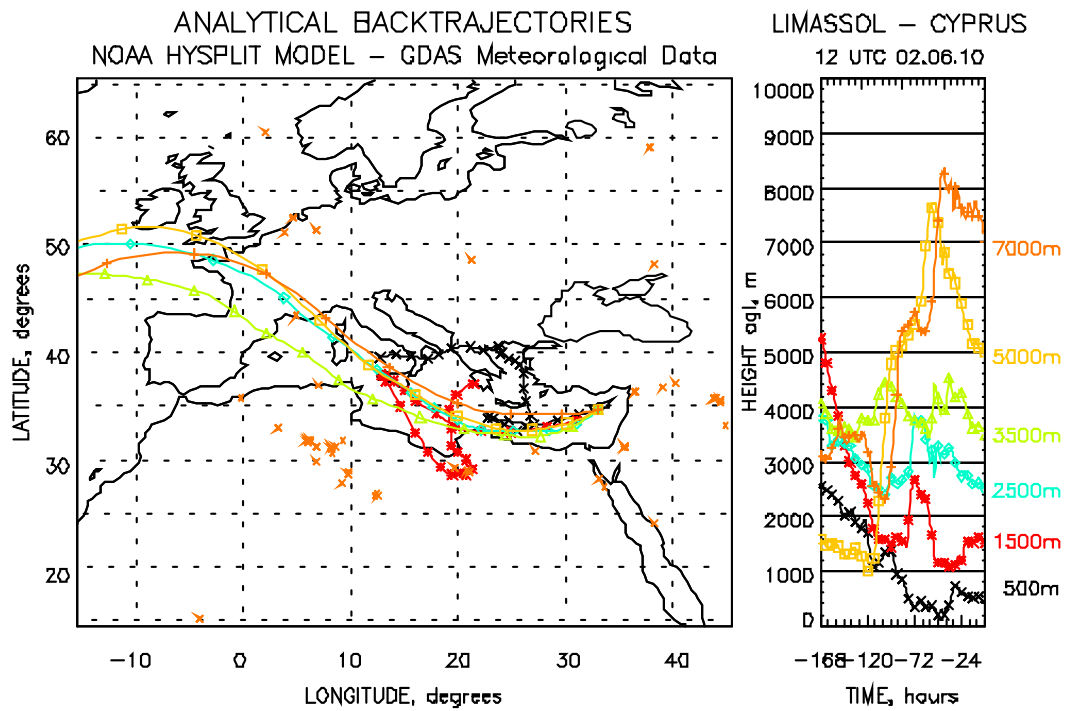
Εικόνα 26: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 16/5/2010



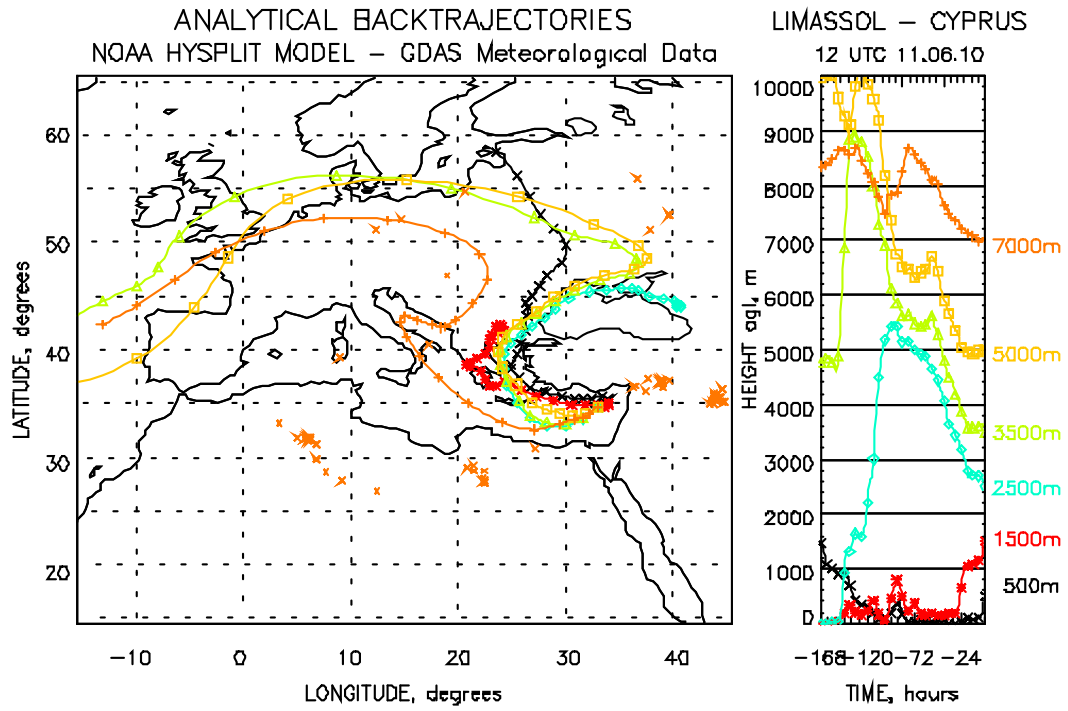
Εικόνα 27:: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 27/5/2010



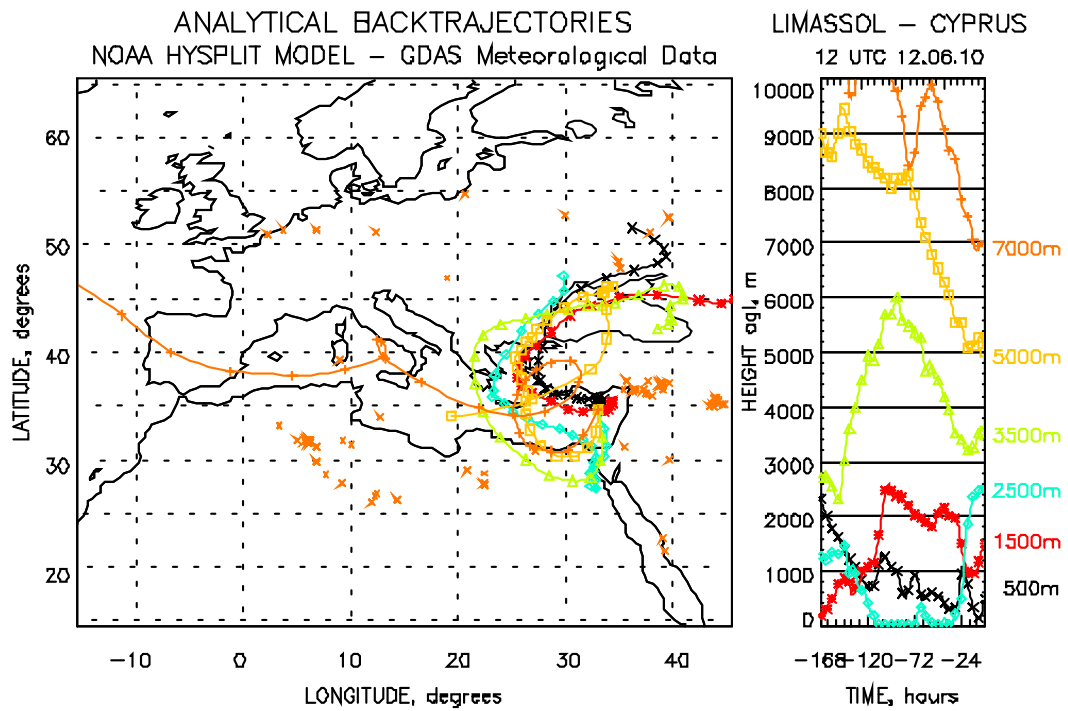
Εικόνα 28: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 28/5/2010



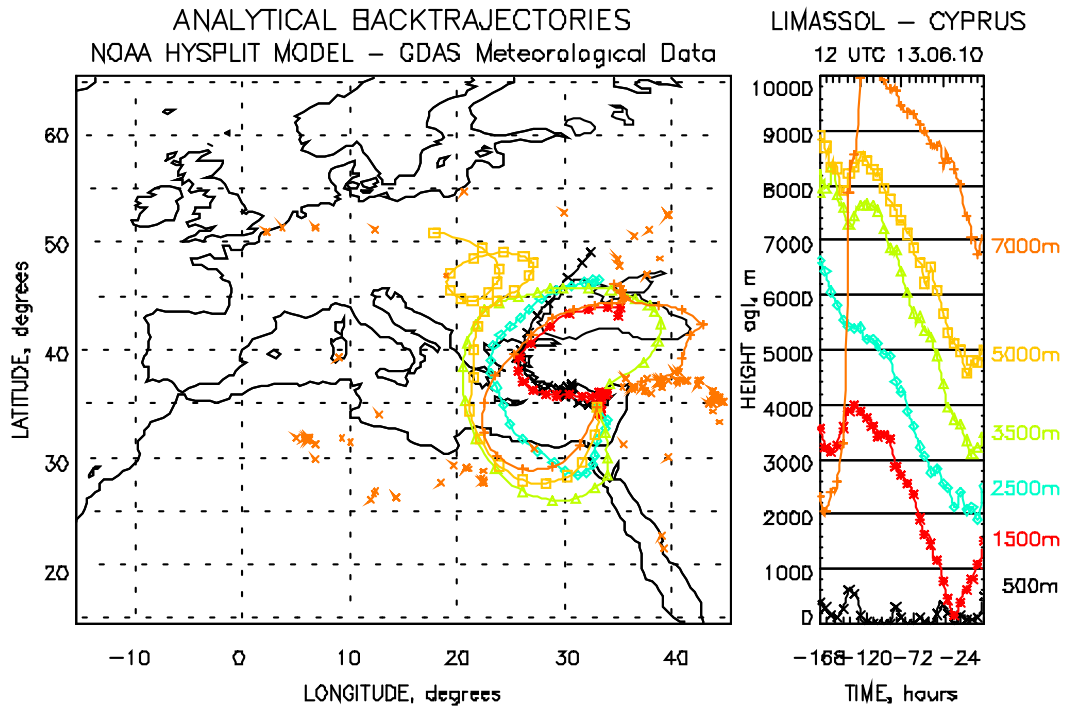
Εικόνα 29: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 2/6/2010



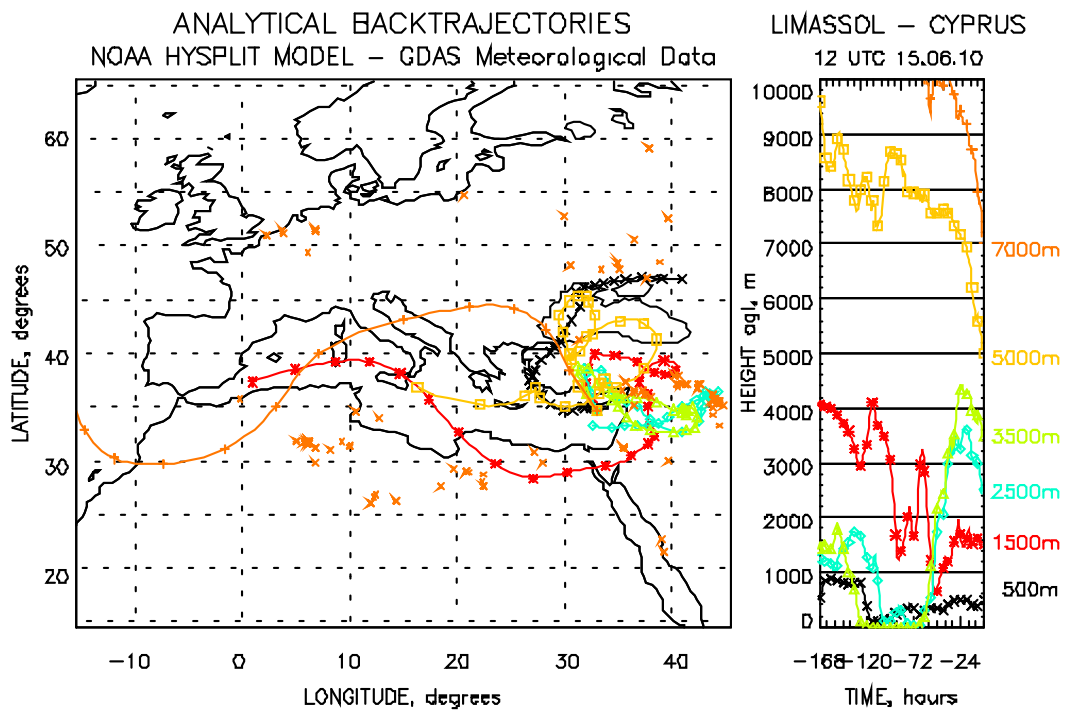
Εικόνα 30: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/6/2010



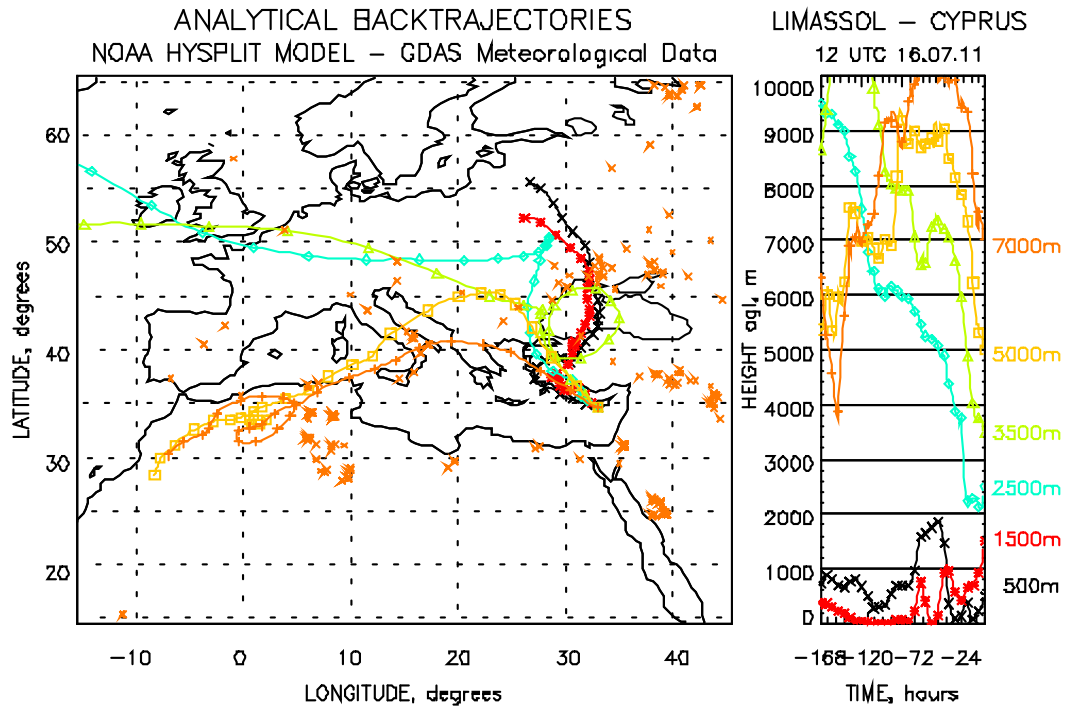
Εικόνα 31: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 12/6/2010



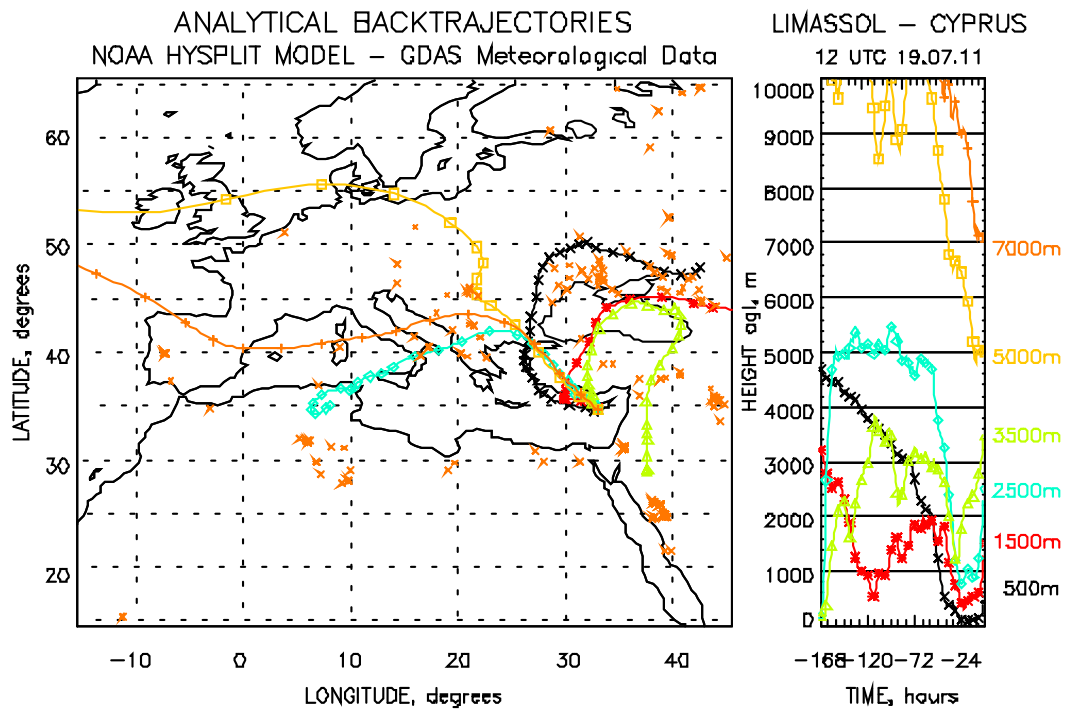
Εικόνα 32: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 13/6/2010



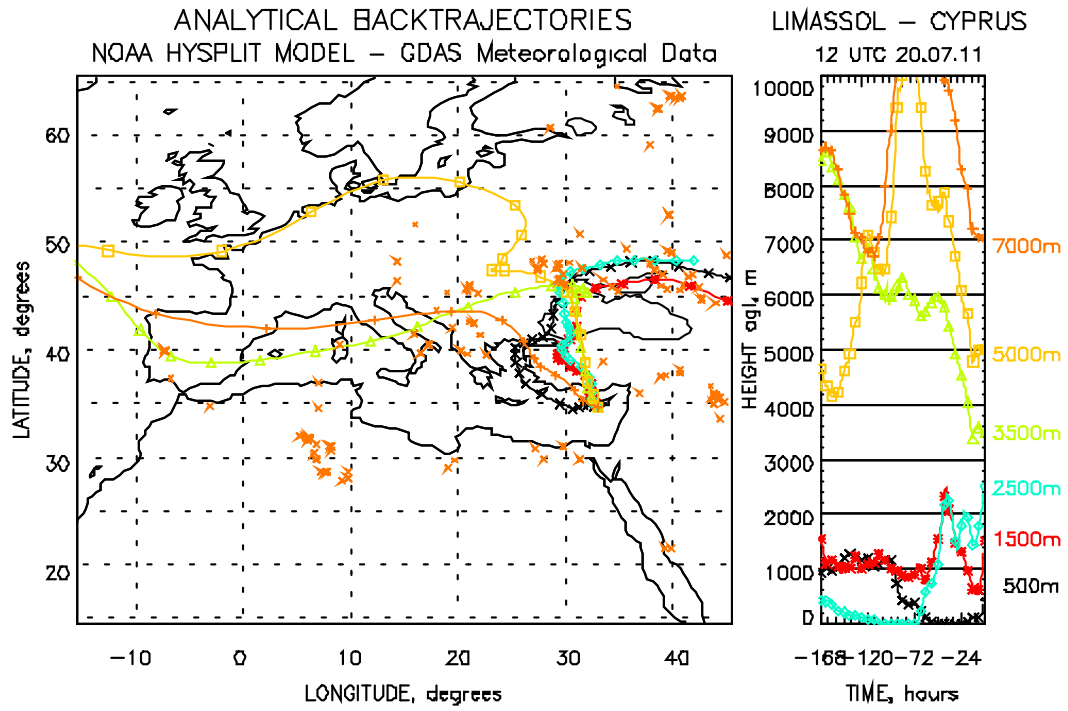
Εικόνα 33: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 15/6/2010



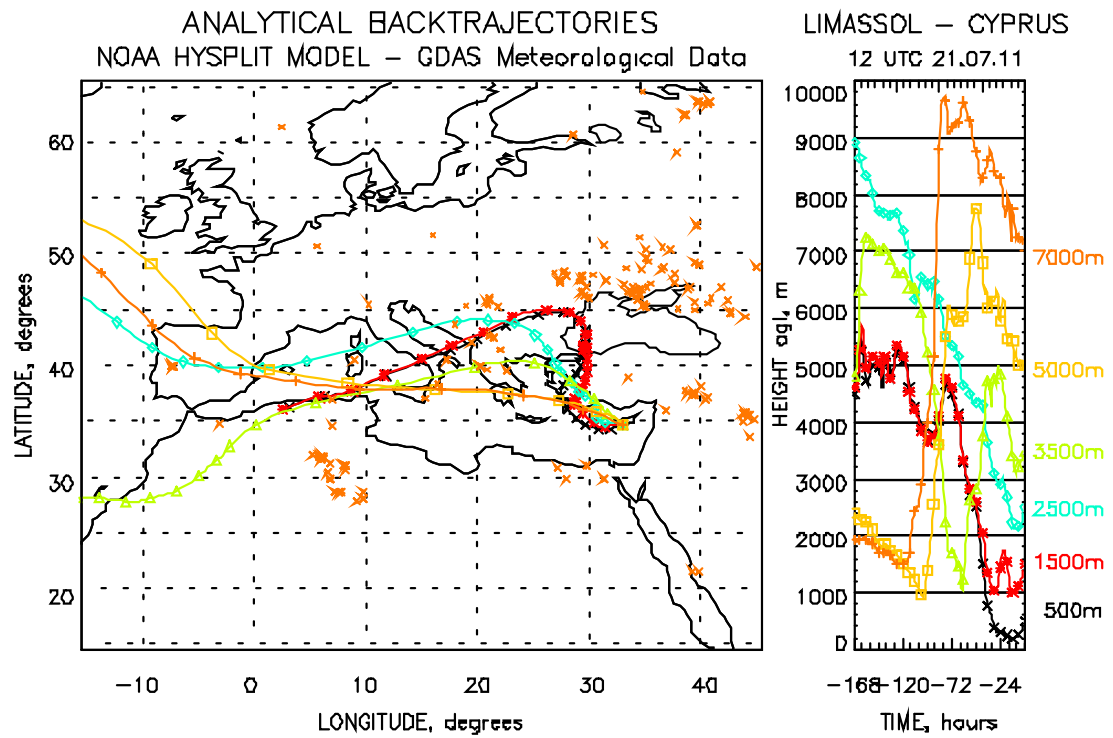
Εικόνα 34: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 16/7/2011



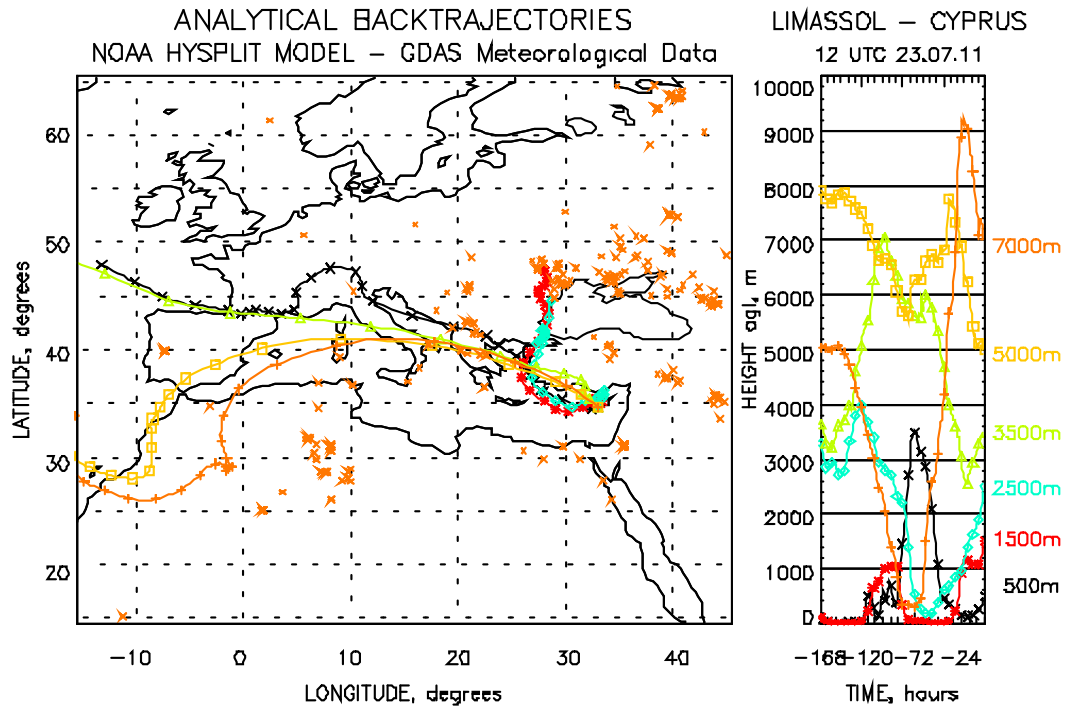
Εικόνα 35: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 19/7/2011



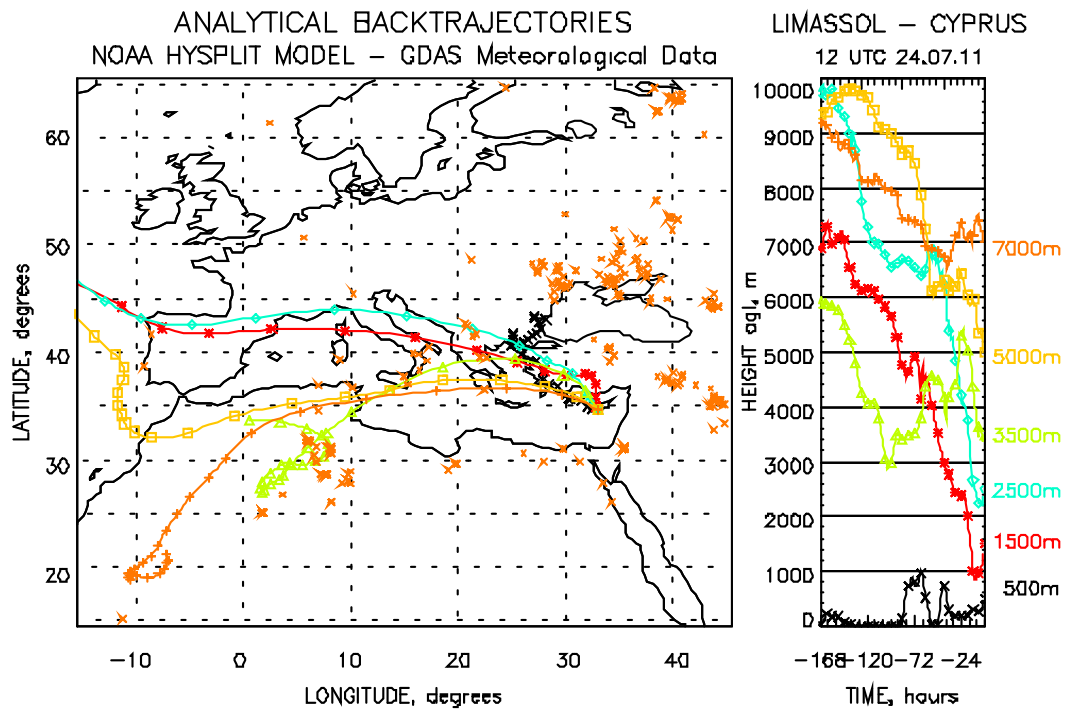
Εικόνα 36: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 20/7/2011



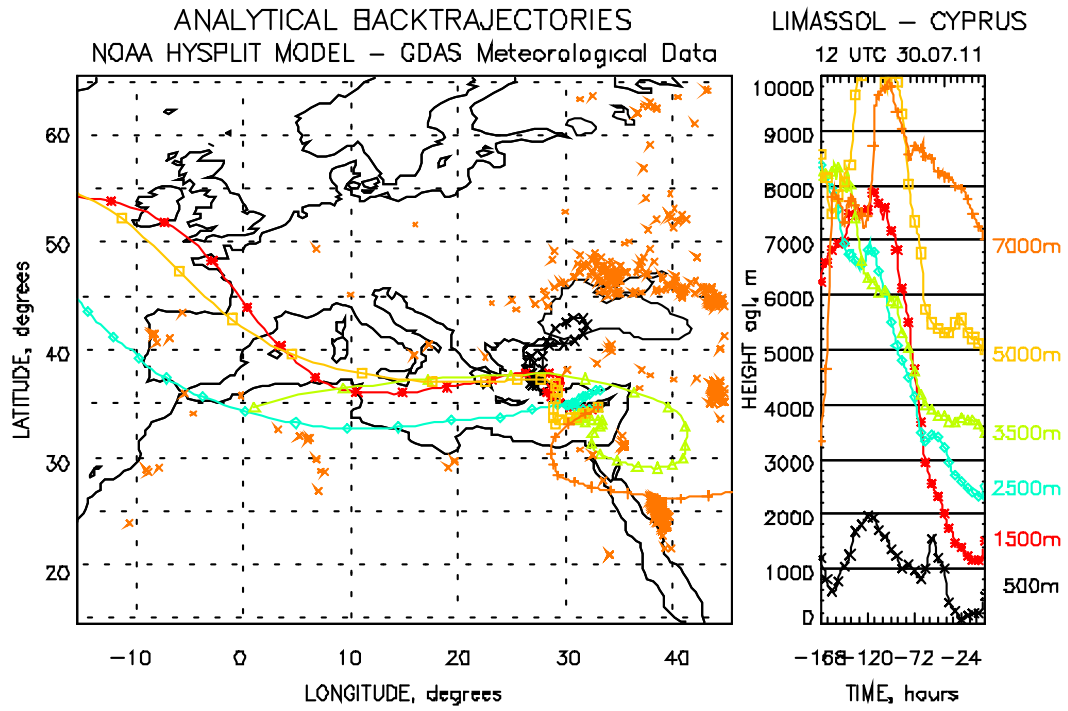
Εικόνα 37: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 21/7/2011



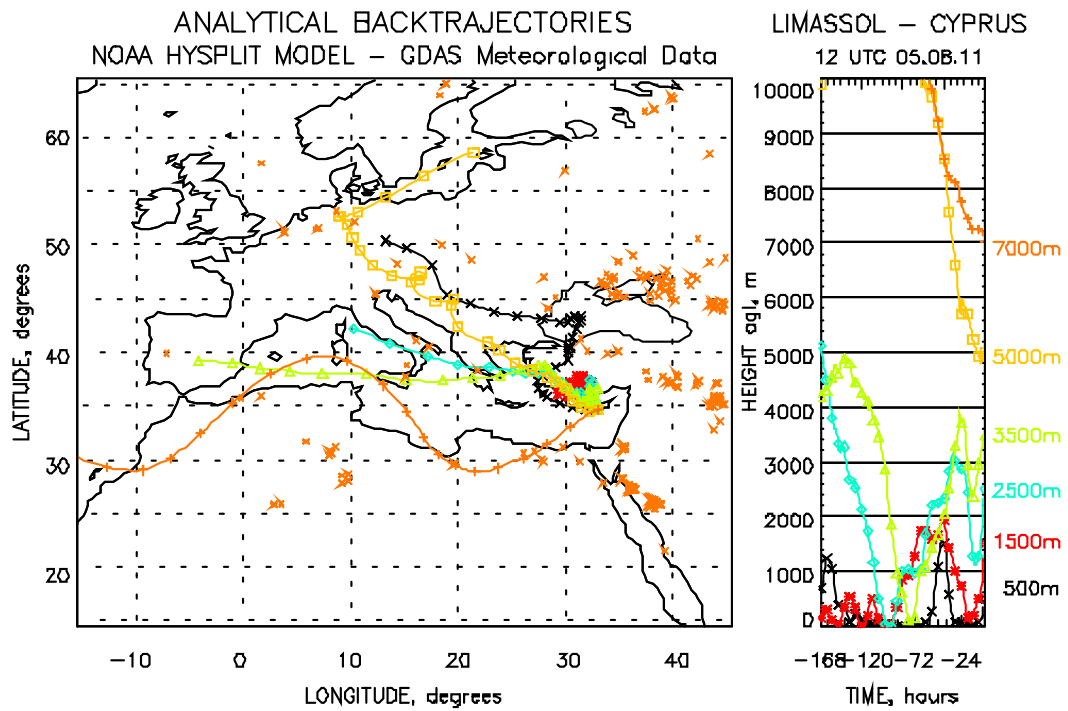
Εικόνα 38: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 23/7/2011



Εικόνα 39: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 24/7/2011

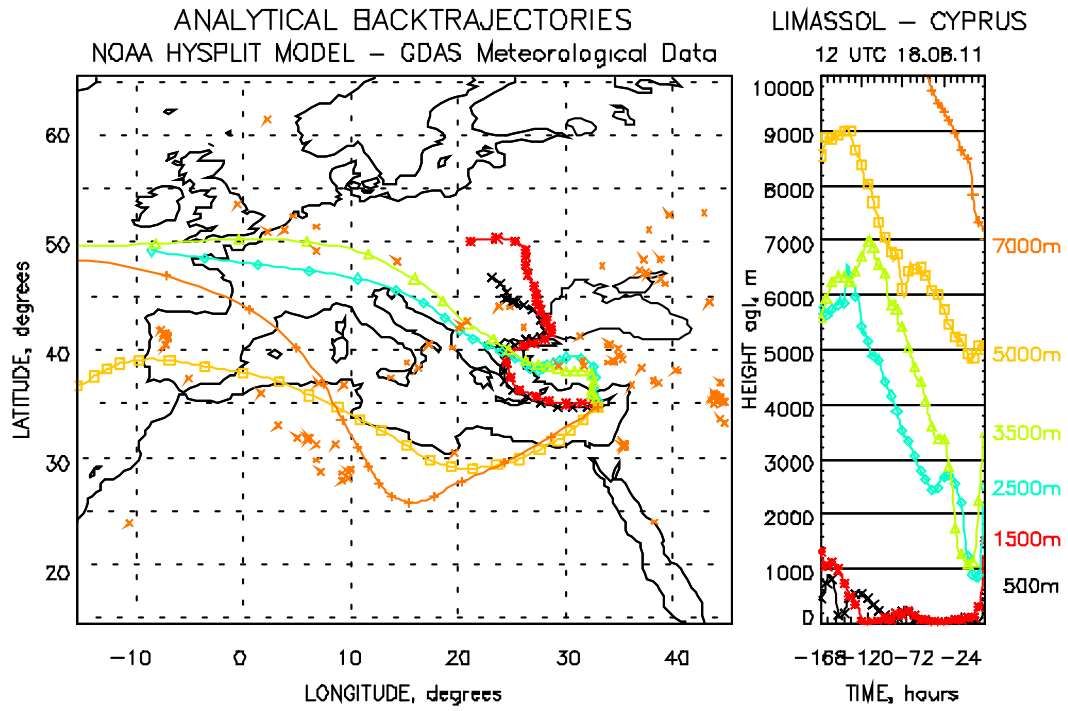


Εικόνα 40: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 30/7/2011

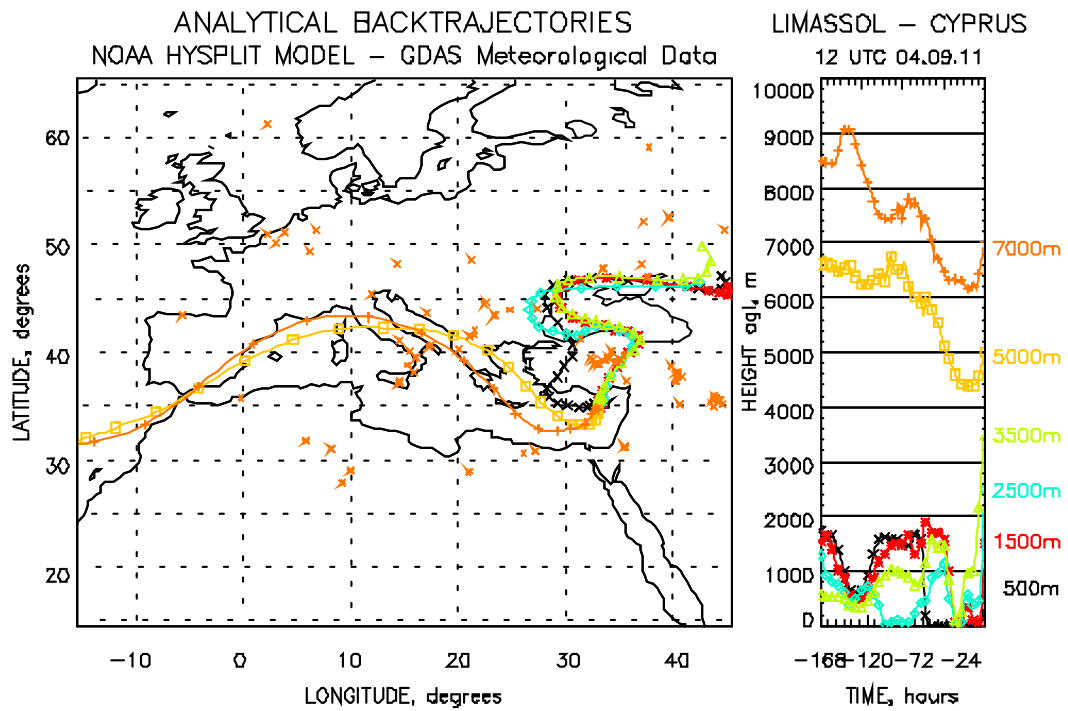


Εικόνα 41: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 5/8/2011

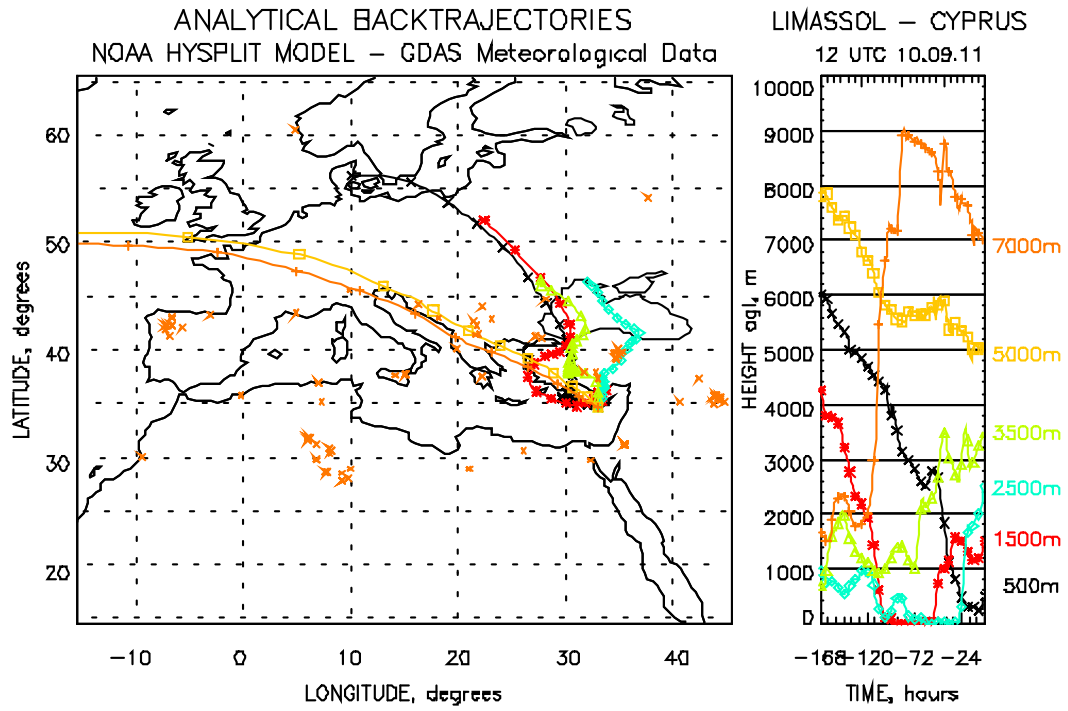




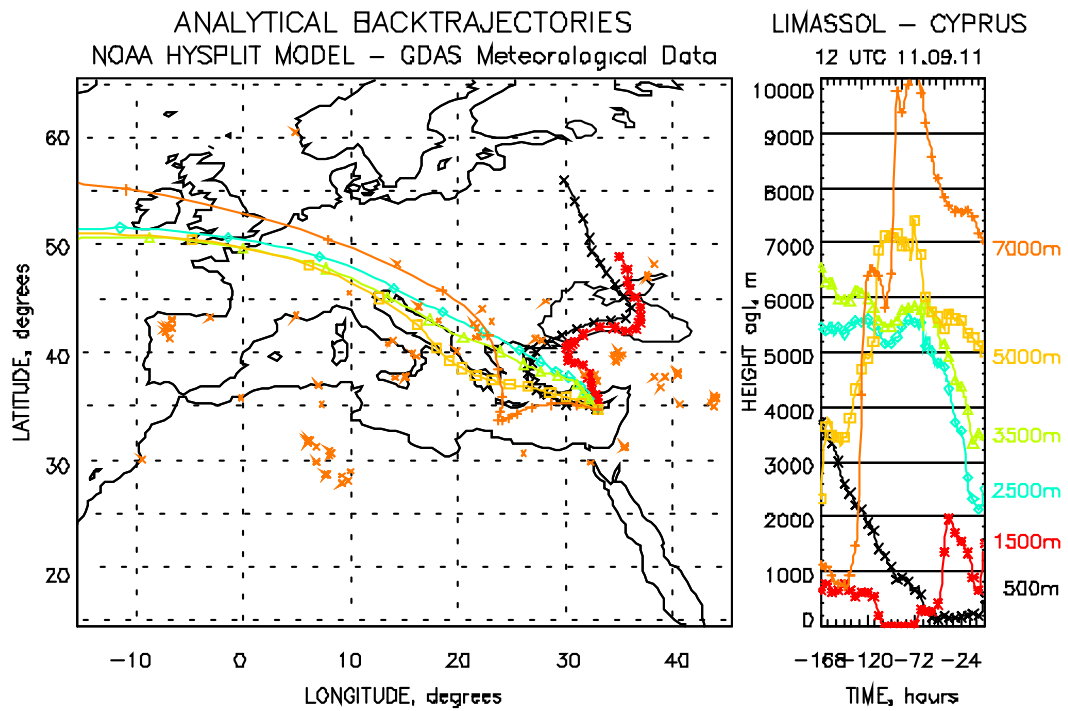
Εικόνα 42: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 18/8/2011



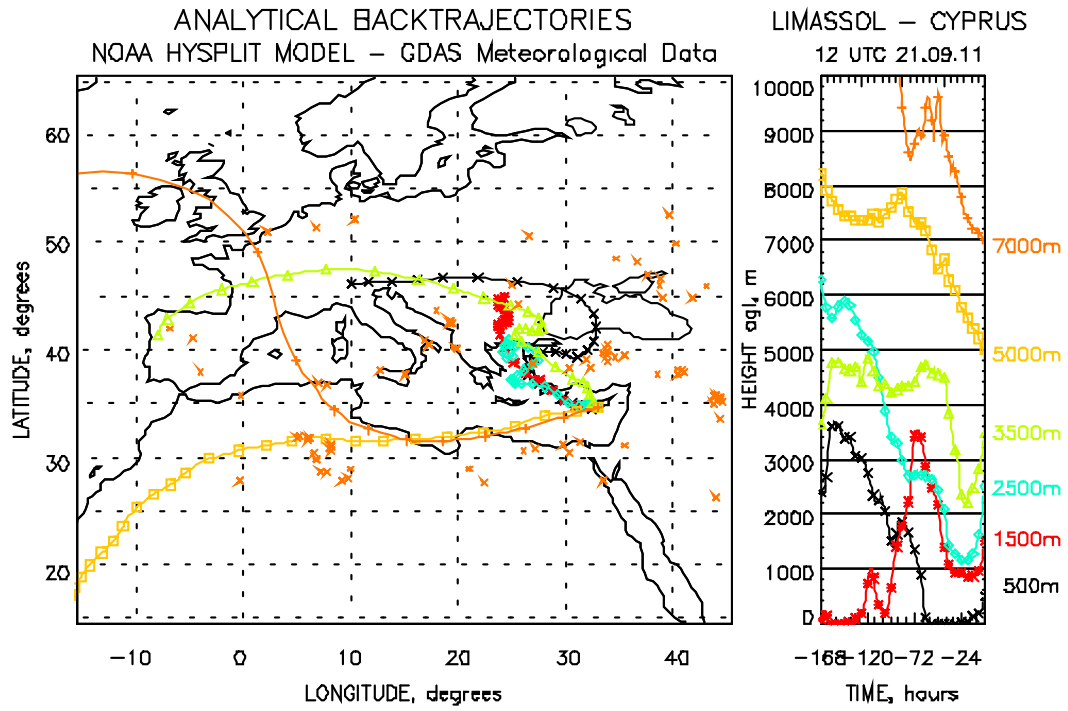
Εικόνα 43: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 4/9/2011



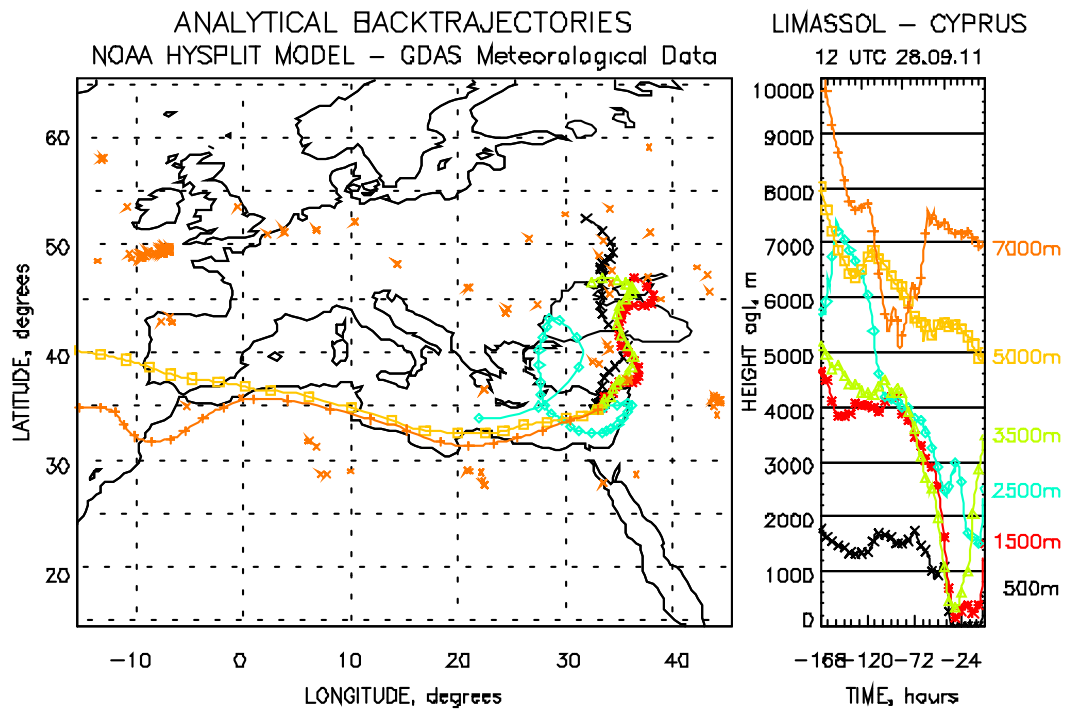
Εικόνα 44: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/9/2011



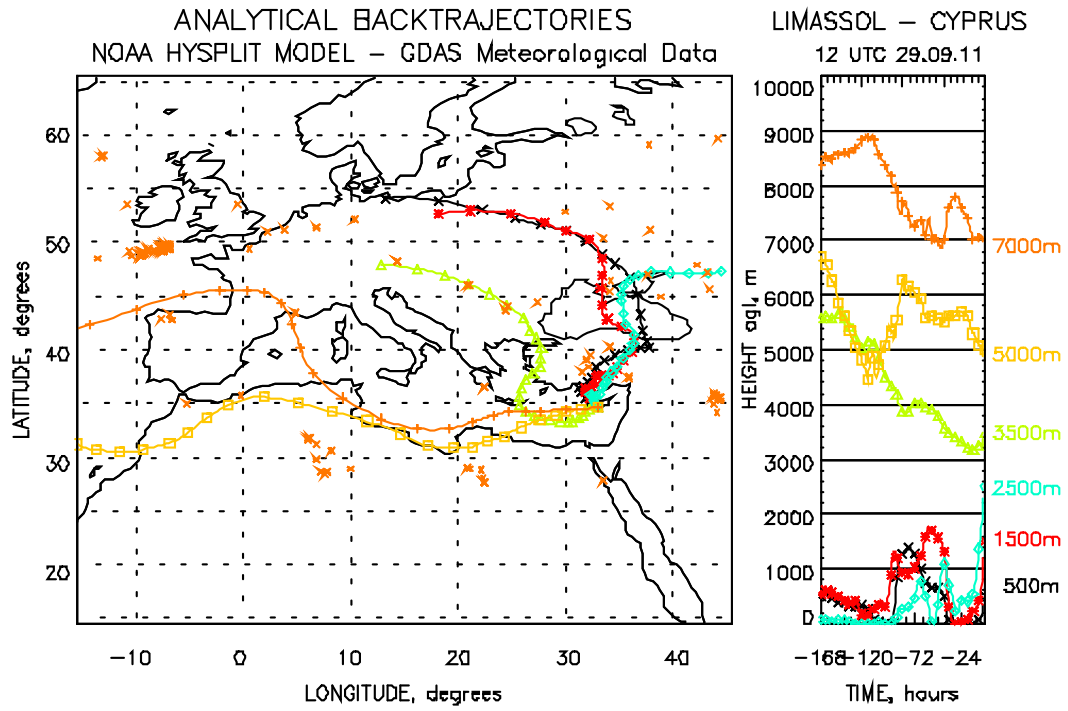
Εικόνα 45: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/9/2011



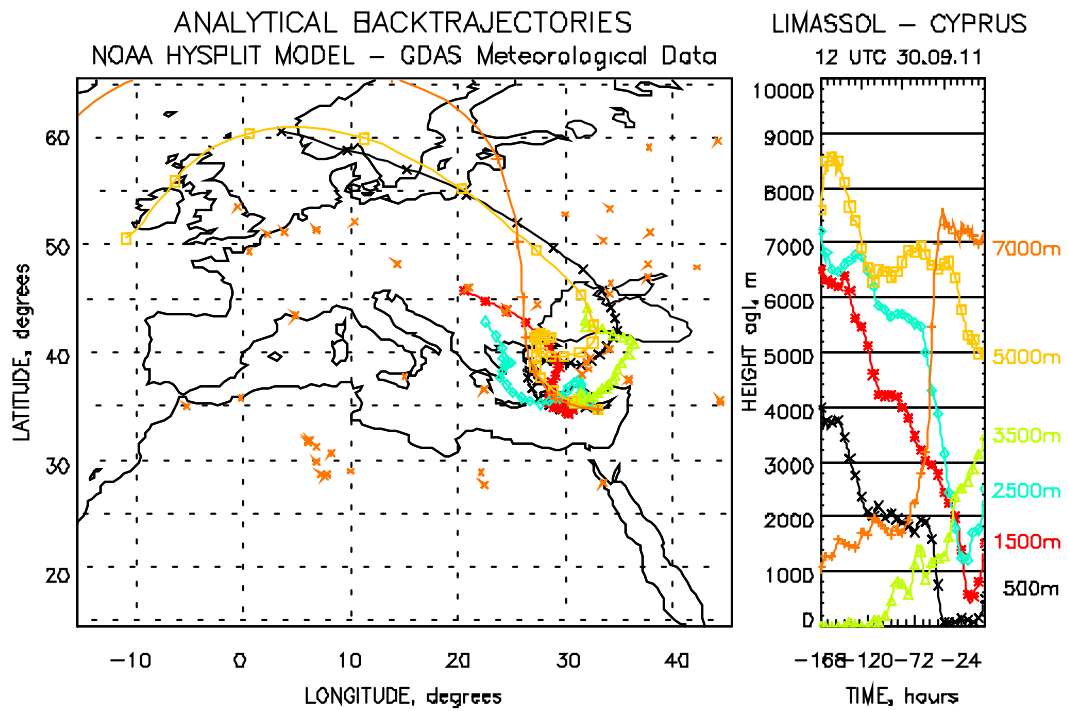
Εικόνα 46: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 21/9/2011



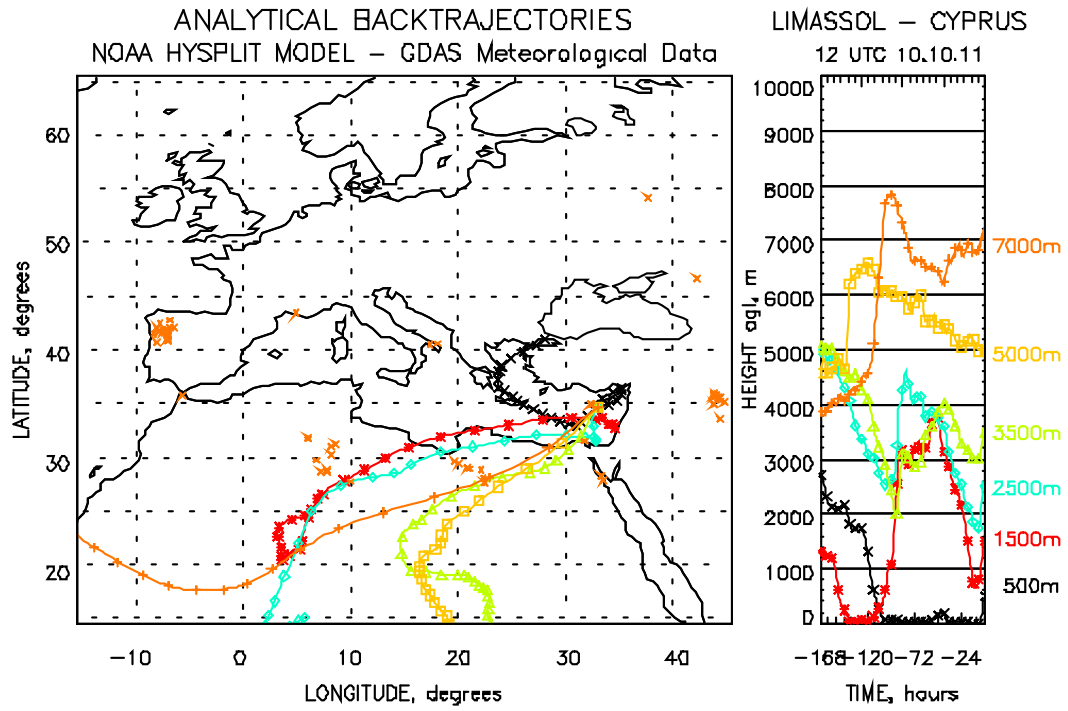
Εικόνα 47: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 28/9/2011



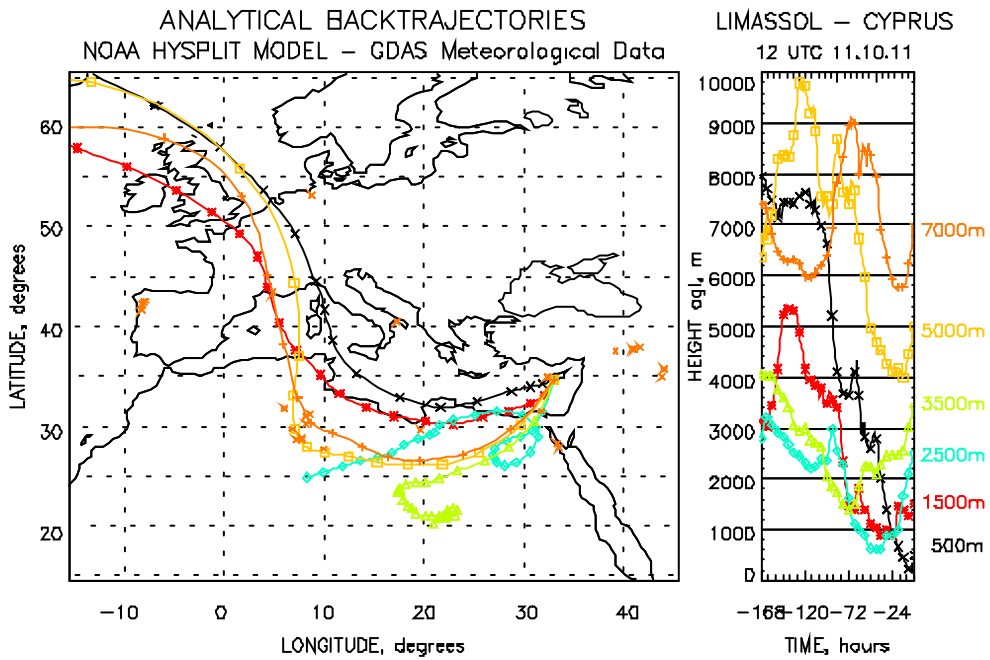
Εικόνα 48: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 29/9/2011



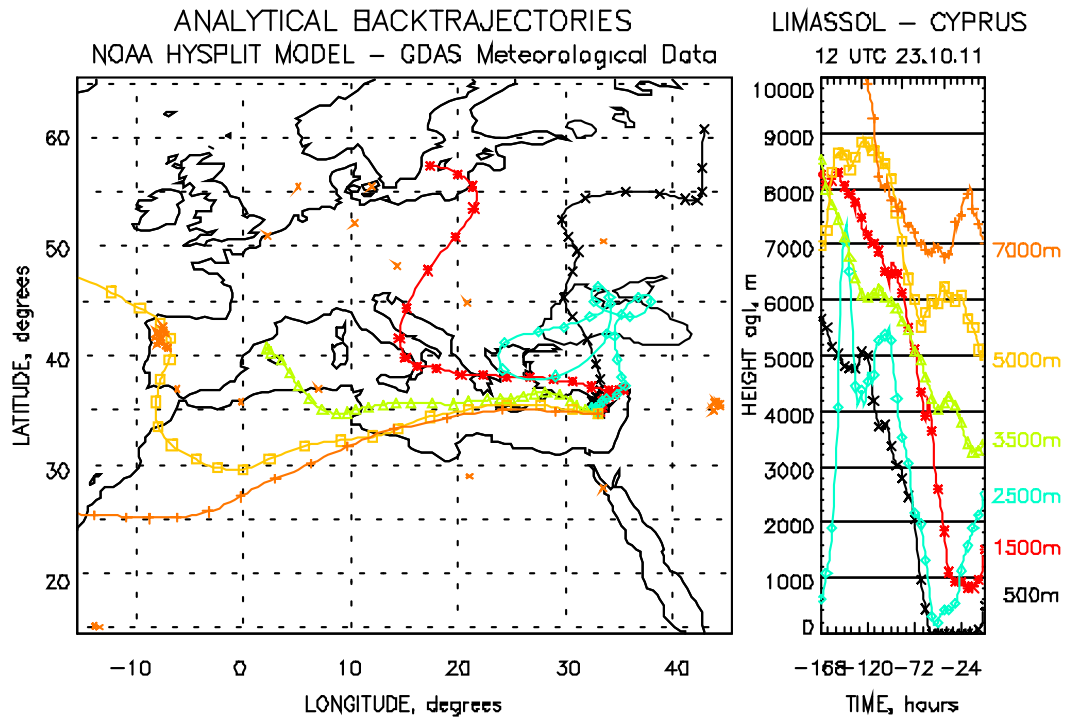
Εικόνα 49: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 30/9/2011



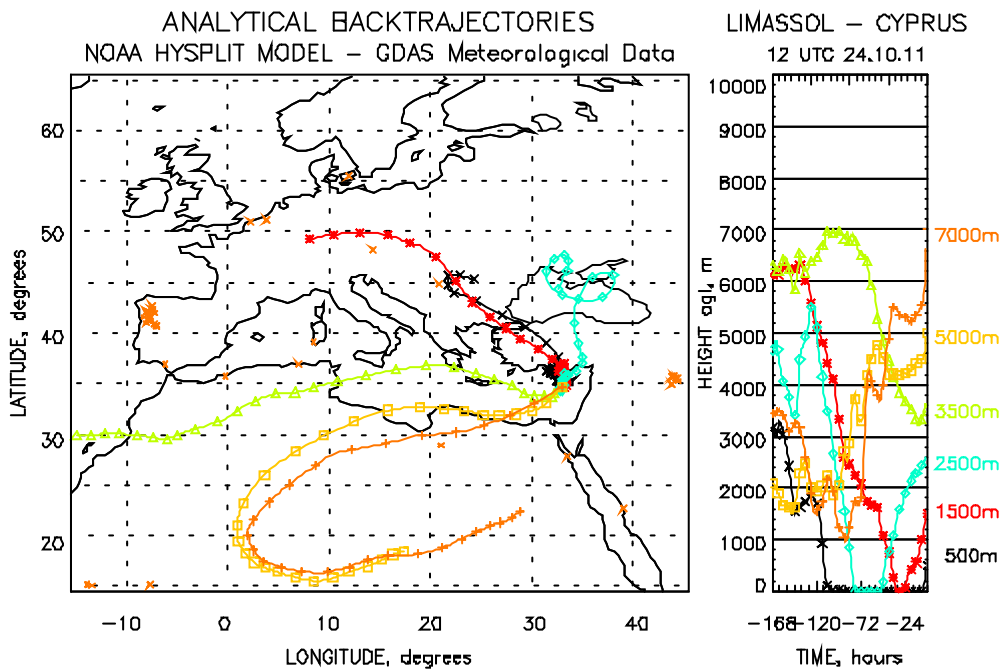
Εικόνα 50: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 10/10/2011



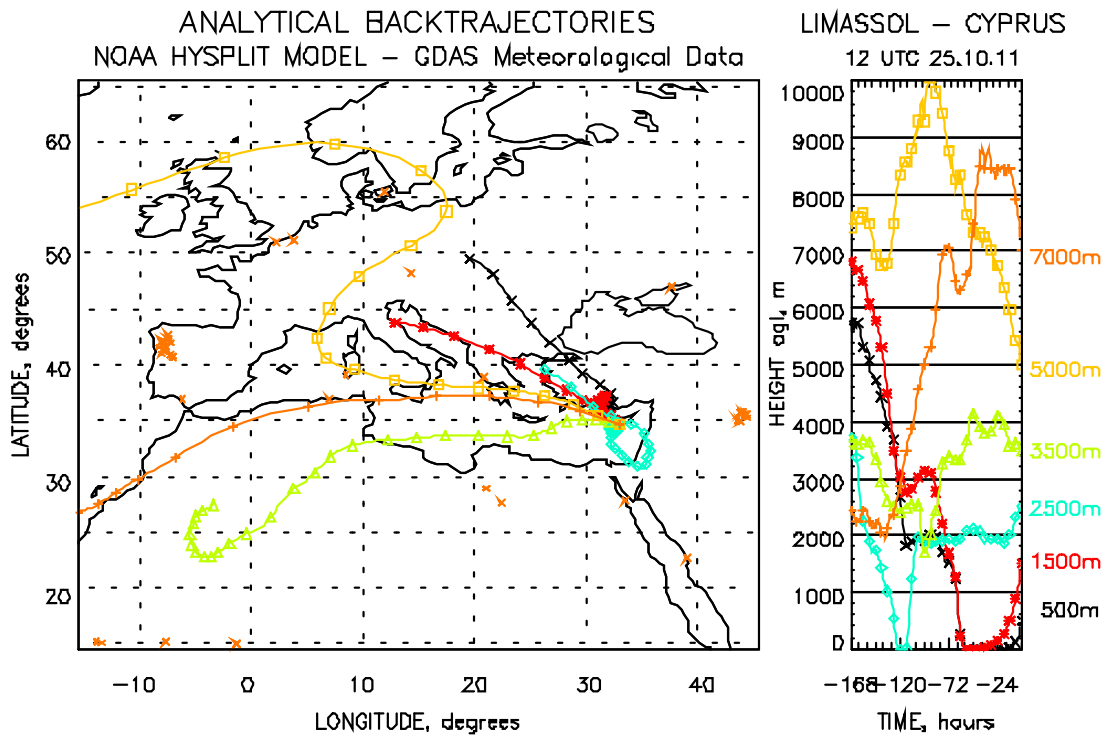
Εικόνα 51: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 11/10/2011



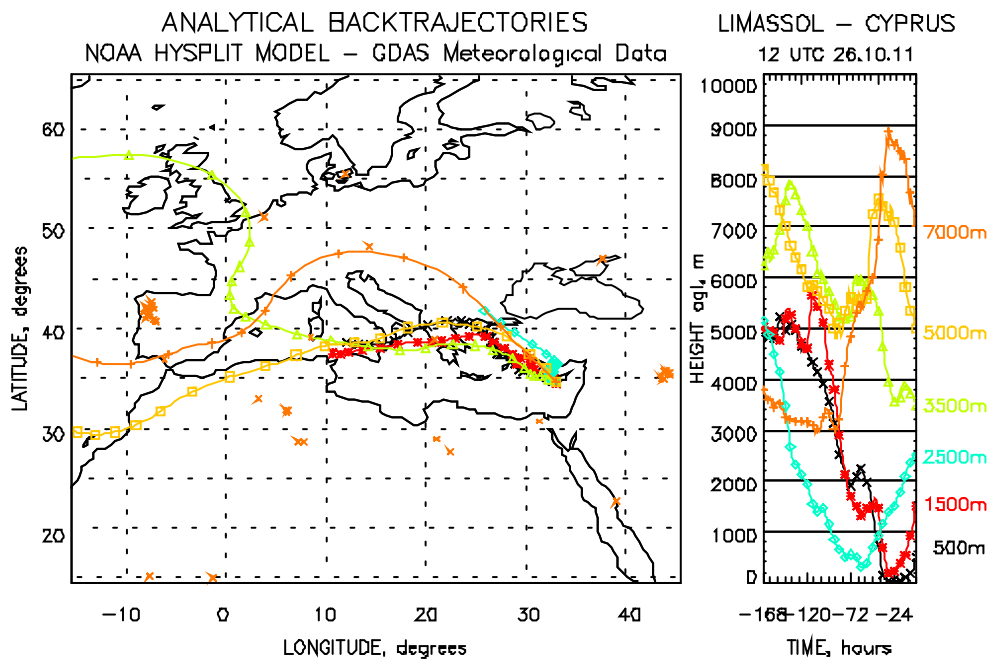
Εικόνα 52: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 23/10/2011



Εικόνα 53: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 24/10/2011



Εικόνα 54: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 25/10/2011



Εικόνα 55: Αναπαράσταση οπισθοτροχιάς για την Περιοχή της Λεμεσού – Κύπρος για τις 26/10/2011