

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**“ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΤΟ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ
ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ, ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ 3-ΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ”**

ΕΙΡΗΝΗ ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΕΝΕΔ 03ΕΔ-169, 2003:



ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Η Δικτατορική Διατριβή “Μελέτη της επίδρασης διακριτών πηγών ρύπανσης στο τροποσφαιρικό όζον και στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας στον Ελλαδικό χώρο με χρήση παρατηρήσεων εδάφους, δορυφορικών παρατηρήσεων και 3-διάστατων μαθηματικών προσομοιώσεων” εκπονήθηκε στα πλαίσια του Γενικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Η δημόσια παρουσίαση, εξέταση και αξιολόγηση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής έγινε ενώπιον της Εφταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης στις 26 Μαρτίου 2010.

Επιστημονικά Υπεύθυνη Καθηγήτρια:

Κανακίδου Μαρία, Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Κανακίδου Μαρία, Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Παπαγιάννης Αλέξανδρος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας Φυσικής,

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Επιστημονικός Υπεύθυνος ΠΕΝΕΔ)

Μιχαλόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Τα άλλα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Ευριπίδης Στεφάνου, Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Ευάγγελος Γερασόπουλος, Ερευνητής Β βαθμίδας, Αστεροσκοπείο Αθηνών

Δημήτριος Μπαλής, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Γεώργιος Φρουδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια της μελέτης μου, κυρία Μαρία Κανακίδου για την υποστήριξη και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της Διδακτορικής μου Διατριβής, αλλά και για την κατανόηση της.

Ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής για την εποικοδομητική τους συμβολή στην ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης: τον κύριο Αλέξανδρο Παπαγιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή Τομέα Φυσικής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τον Κύριο Νίκο Μιχαλόπουλο, Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης, τον κύριο Ευριπίδη Στεφάνου, Καθηγητή Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης, τον κύριο Ευάγγελο Γερασόπουλο, Ερευνητή Β βαθμίδας στο Αστεροσκοπείο Αθηνών, τον κύριο Δημήτρη Μπαλή, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής, στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και τον κύριο Γεώργιο Φρουδάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Ευχαριστώ τον Διδάκτορα του τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης κύριο Γεώργιο Κουβαράκη και τον Υποψήφιο Διδάκτορα κύριο Νίκο Δασκαλάκη για την εποικοδομητική συνεργασία και τη μεγάλη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής, αλλά και την Διδάκτορα Αναστασία Ρισάνου για την πολύτιμη βοήθεια της κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Ευχαριστώ θερμά όλους τους Δασκάλους μου για το μεγάλο παράδειγμα ζωής που μου έδωσαν, ξεκινώντας από την κυρία Ευαγγελία στο Νηπιαγωγείο- που το επίθετο της έχει χαθεί μέσα στο χρόνο- και φθάνοντας στον κύριο Στέφανο Τραχανά, Πρόεδρο των Πανεπιστημιακών Εκδόσεων Κρήτης, τον κύριο Γεώργιο Γραμματικάκη και τον κύριο Λευτέρη Οικονόμου, Καθηγητές του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας για τη χρηματοδότηση του εγχειρήματος αυτού μέσα στα πλαίσια του προγράμματος ΠΕΝΕΔ 2003.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου, στους γονείς μου Βασίλη και Χρυσή που χωρίς την συμπαράσταση τους η μελέτη αυτή δεν θα είχε ολοκληρωθεί, στον σύζυγο μου Μπάστιαν, τον αδερφό μου Γιώργο και την νονά μου Εύα.

Την εργασία μου αυτή την αφιερώνω στα παιδιά μου Βασίλη και Μανόλη που γεννήθηκαν κατά τη διάρκεια της.

Ειρήνη Δερμιτζάκη,
Ηράκλειο- Άνοιξη 2010

\

Το έργο συγχρηματοδοτήθηκε από:

75% της δημόσιας δαπάνης από της Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

25% της δημόσιας Δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας στο πλαίσιο του Μέτρου 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα – Γ΄ Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

Βιογραφικό Σημείωμα

Προσωπικά Στοιχεία

Όνοματεπώνυμο: Ειρήνη Δερμιτζάκη

Ημερομηνία γέννησης: 16 Νοεμβρίου 1972

Τόπος γέννησης: Ηράκλειο Κρήτης

Διεύθυνση Κατοικίας: Κάτω Καλέσσα, Ηράκλειο, Κρήτη

Τηλέφωνο επικοινωνίας: 2810542716

e-mail: eirini@chemistry.uoc.gr

Εκπαίδευση

2004-2010: Διδακτορική φοιτήτρια στο Τμήμα Χημείας- Πανεπιστημίου Κρήτης (ΠΚ) με αντικείμενο τις φυσικοχημικές διεργασίες της κατώτερης ατμόσφαιρας.

2000-2002: Μεταπτυχιακό δίπλωμα ειδίκευσης (στη Φυσική της Ατμόσφαιρας) – Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης

2001: Συμμετοχή στο πρόγραμμα ERASMUS-SOKRATES με τρίμηνη παραμονή στη Βαρσοβία και σπουδή με αντικείμενο τη Μετεωρολογία.

1999: Παρακολούθηση του 11^{ου} θερινού σχολείου που διοργάνωσε το τμήμα φυσικής του ΠΚ, και απόκτηση του 1^{ου} βραβείου μετά από επιτυχή συμμετοχή στις εξετάσεις.

1998: Παρακολούθηση μαθημάτων για πτυχιούχους στα ΠΣΕ με θέμα Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1997: Μαθητεία στην αδιαβάθμητη σχολή καλών τεχνών της Τήνου.

1995: Παρακολούθηση του 7^{ου} θερινού σχολείου που διοργάνωσε το τμήμα φυσικής του ΠΚ.

1991-1996: Πτυχίο Φυσικής από το Πανεπιστημίου Κρήτης.

1990: Αποφοίτηση από το 2^ο γενικό Λύκειο Ηρακλείου.

Ξένες γλώσσες :

Αγγλικά-Lower

Γερμανικά-Zertifikat

Βραβεία

Πρώτη θέση κατά την εισαγωγή στο τμήμα Φυσικής του ΠΚ το 1991.

Πρώτη θέση κατά την εισαγωγή στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Φυσικής του ΠΚ.

Επαγγελματική Εμπειρία

2007-2010: Διορισμός και εργασία στη μέση εκπαίδευση, κατόπιν επιτυχούς συμμετοχής στο διαγωνισμό του ΑΣΕΠ για τους εκπαιδευτικούς, που πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2007.

2003-2006 : Εργασία σαν εργαστηριακός συνεργάτης στο ΤΕΙ Κρήτης (τμήμα ΘΕΚΑ. Μαθήματα : Θεωρία Μετεωρολογίας, Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας.

2000-2004 : Εργασία στο πρόγραμμα της πρόσθετης διδακτικής στήριξης στο 10^ο ενιαίο Λύκειο Ηρακλείου, στο 1^ο και στο 2^ο ΤΕΕ Ηρακλείου.

Οικογενειακή κατάσταση

2008 : Γέννηση 2^{ου} παιδιού

2005: Γάμος, Γέννηση 1^{ου} παιδιού.

Δημοσιεύσεις

A.Ladstätter-Weissenmayer, M.Kanakidou, J.Meyer-Arnek, E.V.Dermizaki, A.Richter, M. Vrekoussis, F.Wittrock, and J.P.Burrows: "Pollution events over the East Mediterranean: Synergistic use of GOME, ground based and sonde observations and models" *J.atmosenv.* doi:10.1016, 2007.

A.Ladstätter-Weissenmayer , E.V.Dermizaki, T. Dinter, A. Heckel, W. v. Hoynigen-Huene, M. Kanakidou, J. Meyer-Arnek, A. Richter, M. Sfakianaki, F. Wittrock, M. Vrekoussis, and J. P. Burrows: "Greek forest fires in summer 2007 as observed from MERIS and SCIAMACHY" (δημοσίευση σε προετοιμασία).

Παρουσιάσεις σε συνέδρια

Dermizaki E. V., Ladstätter-Weissenmayer A., Kouvarakis G., Richter A, Tsigaridis K., Burrows J.P., Kanakidou M. Impact of biomass burning on ozone and nitrogen dioxide budgets over the east Mediterranean during summer 2000, ACCENT Symposium, Urbino, 12-16 Sept. 2005. (poster)

E.V. Dermitzaki, M. Vrekoussis, S. Myriokefalitakis, A. Ladstätter-Weissenmayer, M. Kanakidou, N. Mihalopoulos, Spatial and temporal variability of O₃, CO, NO₂, HCHO inferred from satellite, ground based observations and modeling above South East Europe: Role of pollution sources, to be presented at the IAMAS, MOCA 2009 Conference (poster).

Δημοσιεύσεις σε Συνέδρια

E.V., Dermitzaki, M. Kanakidou, A. Ladstaetter-Weissenmayer, J.P. Burrows, Biomass burning impact on ozone budget over the East Mediterranean during summer 2000, in the Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium, Kos, 1-8 June, ISBN 960-630-103-6, pp. 325-326,2004.

Kanakidou M., Sfakianaki M., Myriokefalitakis S., Dermitzaki E., Tsigaridis K., Vrekoussis M., Burrows JP, Ladstaetter-Weissenmayer A., Richter A., von Hoyningen-Huene W., Synergistic use of Satellite Data, Ground Based Observations, Back Trajectory Analysis and Global CTM Results for Studies of Tropospheric Trace Gases and Aerosols over the Mediterranean, in Measuring Tropospheric Trace Constituents from Space, ACCENT-TROPOSAT-2 in 2005-2006, Report 1.2007, (editors) J. Burrows, P. Borrell, printed by Keele Univ., Staffordshire, UK, 238-241, 2006.

Kanakidou M., Sfakianaki M., Myriokefalitakis S., Dermitzaki E.V., Tsigaridis K., Burrows JP, Ladstaetter-Weissenmayer A., Vrekoussis M., Richter A., von Hoyningen-Huene W., Synergistic use of Satellite Data, Ground Based Observations, Back Trajectory Analysis and Global CTM Results for Studies of Tropospheric Trace Gases and Aerosols over the Mediterranean, in Measuring Tropospheric Trace Constituents from Space, ACCENT-TROPOSAT-2 in 2005-2006, Report 2008, (editors) J. Burrows, P. Borrell, printed by Keele Univ., Staffordshire, UK, 250-253, 2007

Kanakidou, M., E. Dermitzaki, S. Myriokefalitakis, M. Sfakianaki, K. Tsigaridis, J. Burrows, A. Ladstätter-Weissenmayer, A. Richter, W. von Hoyningen-Huene and M. Vrekoussis, Synergistic Use of Satellite Data, Ground Based Observations, Back Trajectory Analysis and Global CTM Results for Studies of Tropospheric Trace

Gases and Aerosols with focus on the Mediterranean, A contribution to ACCENT-TROPOSAT-2, Task group 2, Final report, 2008.

Dermitzaki E.V., M. Vrekoussis, S. Myriokefalitakis, N. Mihalopoulos, A. Ladstätter-Weissenmayer, A. Richter, F. Wittrock, J.P. Burrows, M. Kanakidou, Spatial and temporal variability of O₃, CO, NO₂, HCHO inferred from satellite, ground based observations and modeling above South-East Europe: Role of pollution sources, in the proceedings of First International Conference on Space Technology, Thessaloniki, 24-26 August 2009

Kanakidou M., Dermitzaki E.V., M. Sfakianaki, A. Ladstaetter-Weissenmayer and J. P. Burrows Air Pollution in The East Mediterranean Atmosphere From Biomass Burning, paper submitted for presentation at the 10th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Patras, 25-28 May, 2010.

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται στη μελέτη της επίδρασης διακριτών πηγών ρύπανσης στο τροποσφαιρικό όζον (O_3) και στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας στον Ελλαδικό χώρο και στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Σαν διακριτές πηγές ρύπανσης χαρακτηρίζονται τόσο οι φυσικές καταστροφές όπως είναι οι πυρκαγιές δασικών και καλλιεργήσιμων εκτάσεων όσο και τα αστικά κέντρα όπου συσσωρευμένη ανθρωπογενής δραστηριότητα συντελεί στην παραγωγή ανθρωπογενούς ρύπανσης.

Η σημασία της μελέτης του τροποσφαιρικού όζοντος είναι τεράστια καθώς αυτό αποτελεί ένα από τα κύρια οξειδωτικά της τροπόσφαιρας, συμμετέχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι τοξικό για τη βλάστηση. Για τη μελέτη αυτή κρίθηκε αναγκαία η παράλληλη μελέτη των πρόδρομων αυτού ενώσεων, του διοξειδίου του αζώτου (NO_2), της φορμαλδεΐδης ($HCHO$) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των παραπάνω χημικών ενώσεων στηρίχθηκε στη χρήση παρατηρήσεων εδάφους, δορυφορικών παρατηρήσεων και 3-διάστατων μαθηματικών προσομοιώσεων του τρισδιάστατου μοντέλου χημείας και μεταφοράς παγκόσμιας κλίμακας TM4.

Συλλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα και προσδιορίστηκαν τα επίπεδα των τροποσφαιρικών στηλών αυτών των αερίων ενώσεων στην περιοχή του Ελλαδικού χώρου και της ευρύτερης ανατολικής Μεσογείου καθώς και σχετιζόμενα μετεωρολογικά δεδομένα. Τα δεδομένα αφορούν το O_3 από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS για την χρονική περίοδο 1979-2005, το NO_2 και τη $HCHO$ από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για την χρονική περίοδο 2000-2007 καθώς επίσης και το CO από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT για την χρονική περίοδο 2000-2008.

Με βάση τις υπολογισθείσες οπισθοπορείες αέριων μαζών ταξινομήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα και έτσι προσδιορίστηκαν τα επίπεδα των NO_2 , $HCHO$ και CO για επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και προσδιορίστηκε το ποσοστό της τροποσφαιρικής στήλης του O_3 που οφείλεται σε ρύπανση από διακριτές πηγές, δηλαδή είτε από μεταφορά στην περιοχή μας είτε από τοπικές εκπομπές.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου TM4 με τα δορυφορικά δεδομένα επέτρεψε την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του μοντέλου στη προσομοίωση των διαχρονικών τάσεων των αερίων ρύπων στη περιοχή μας.

Παρατηρήθηκε, προσομοιώθηκε και εκτιμήθηκε η επίδραση των εκτεταμένων καύσεων βιομάζας, που συντελέστηκαν στον Ελλαδικό χώρο τα καλοκαίρια του 2000 και του 2007, στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, της φορμαλδεύδης και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Τέλος εκτιμήθηκε η ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας της Ανατολικής Μεσογείου λόγω των αερολυμάτων και του όζοντος με τη χρήση τόσο των αποτελεσμάτων του TM4 όσο και παρατηρήσεων κατανομών O₃ στη περιοχή μας.

Summary

The current thesis focuses on the study of the influence of distinct pollution sources on the tropospheric ozone and the radiation balance of the atmosphere throughout Greece and the extended East Mediterranean region. Forest and arable areas fires and urban centers, where accumulative human activities generate pollution, can be characterized as distinct pollution sources.

The study of tropospheric ozone (O_3) is of great interest because it constitutes one of the main oxidants of the troposphere, it is a greenhouse gas and toxic for ecosystems. For better understanding of tropospheric ozone behavior and sources, O_3 precursors, mainly, nitrogen dioxide (NO_2), formaldehyde (HCHO) and carbon monoxide (CO) have been studied in parallel.

The quantitative determination of the above chemical compounds was accomplished by the use of ground and satellite based observations and 3-dimensional numerical simulations using the 3-dimensional chemical - transport model, TM4.

Satellite- derived data have been collected and the levels for the tropospheric columns of these trace gases have been determined together with meteorological data throughout Greece and the more extensive region of East Mediterranean. The data concern tropospheric columns of O_3 from the satellite sensor TOMS during the period 2000-2005, of NO_2 and HCHO from the satellite sensors GOME and SCIAMACHY during the period 2000-2007, as well as data total column of CO from the satellite sensor MOPITT during the period 2000-2008.

Backward trajectories of air masses have been computed and used for the classification of satellite data and the determination of the levels of NO_2 , HCHO and CO for selected locations of the East Mediterranean and the contribution to the tropospheric column of O_3 of pollution sources due to long range transport or local sources has been evaluated.

The observations have been compared with the TM4 model results to evaluate the ability of the model to simulate the observed seasonality and interannual variability in the studied trace gases.

The effect of intensive biomass burning events, which occurred throughout Greece during the summer of 2000 and 2007, on the levels of atmospheric pollution due to O_3 , NO_2 , HCHO and CO has been observed and simulated.

The radiative forcing of the atmosphere due to aerosols and ozone levels in the area based on TM4 simulations or on profile measurements by Lidar has been estimated.

<u>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</u>	15
1.1 Το ενδιαφέρον του θέματος	17
1.2 Ανατολική Μεσόγειος	21
1.3. Χημεία του O ₃ και των πρόδρομων αυτού ενώσεων στην τροπόσφαιρα.....	28
1.3.1 Χημεία του O ₃ στην τροπόσφαιρα.....	28
1.3.2 Τα ρεζερβουάρ των NO _x	35
1.3.4 Πηγές της HCHO	36
1.3.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πηγές και μεταφορά στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.....	38
1.4 Ολική κολώνα του όζοντος και μετεωρολογικές περιοχές.....	40
<u>Κεφάλαιο 2: Σκοπός της μελέτης</u>	42
<u>Κεφάλαιο 3: Μετρήσεις</u>	44
3.1 Μετρήσεις Εδάφους.....	44
3.2 Δορυφορικοί αισθητήρες	46
3.2.1 Εισαγωγή / δορυφορικές παρατηρήσεις	46
3.2.2 Γεωμετρίες Limb, Nadir και Occultation	47
3.2.3 Αισθητήρας GOME-1 (Global Ozone Monitoring Experiment)	49
3.2.4 Δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY	51
(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartographY) 51	
3.2.5 Δορυφορικός αισθητήρας MOPITT	55
(Measurements Of Pollution In The Troposphere).....	55
3.2.6 Δορυφορικός αισθητήρας TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) ..	58
3.2.7 Ανάλυση Δορυφορικών δεδομένων.....	61
3.2.8 Πηγές σφαλμάτων.....	62
3.2.9 Προσδιορισμός σφαλμάτων.....	63
3.3 Μοντέλο TM4.....	65
3.3.1 Δομή του μοντέλου TM4.....	66
3.3.2 Εκπομπές.....	67
3.3.3 Μέσες κινήσεις αέριων μαζών.....	68
3.3.4 Χημεία και επίλυση της	68
<u>Κεφάλαιο 4: Συλλογή δορυφορικών δεδομένων και ανάλυση τους</u>	71
4.1 Εποχική διακύμανση, διαχρονική μεταβλητότητα ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ανατολική Μεσόγειο.	73
4.1.1 Ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος, GOME, 2000-2002.....	73
4.1.2 Τροποσφαιρική στήλη του όζοντος από τον TOMS, 1979-2005.	74
4.1.3 Τροποσφαιρική στήλη του διοξειδίου του αζώτου, NO ₂ , στην περιοχή ...	94
της Ανατολικής Μεσογείου 1996-2007.....	94
4.1.4 Τροποσφαιρική στήλη της HCHO στην περιοχή	109
της Ανατολικής Μεσογείου, 1996-2007.....	109
4.1.5. Ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα, CO, 2000-2008.....	123
4.2 Ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων με βάση τις κύριες πηγές ρύπανσης στην ΝΑ Μεσόγειο.....	133
4.3 Συμπεράσματα από την ταξινόμηση των δορυφορικών παρατηρήσεων.....	141
<u>Κεφάλαιο 5: Σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων και των άλλων παρατηρήσεων με υπολογισμούς του 3-διάστατου μοντέλου TM4.</u>	143
5.1 Σύγκριση δορυφορικών παρατηρήσεων με αποτελέσματα προσομοιώσεων του 3-διάστατου μοντέλου TM4.....	143
5.1.1 Τροποσφαιρικό όζον O ₃ : Σύγκριση TM4 και TOMS, 2000-2005.....	146

5.1.2. Διοξείδιο του αζώτου NO ₂ : Σύγκριση TM4 και GOME-SCIAMACHY, 2000-2007	155
5.1.3. Φορμαλδεΐδη HCHO: Σύγκριση TM4 και GOME-SCIAMACHY, 2000-2007.....	162
5.1.4 Μονοξείδιο του άνθρακα CO: Σύγκριση TM4 και MOPITT, 2000-2007	170
5.2 Σύγκριση αριθμητικών προσομοιώσεων με μετρήσεις εδάφους.....	177
5.2.1 Όζον	177
5.3 Γενικά συμπεράσματα	180
5.3.1 Όζον	180
5.3.2 Πρόδρομες ενώσεις του όζοντος	181
<u>Κεφάλαιο 6: Μελέτη συμμετοχής των καύσεων βιομάζας στα παρατηρούμενα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης</u>	<u>184</u>
6.1. Καύσεις βιομάζας –Ιούλιος 2000	185
6.2. Καύσεις βιομάζας, Αύγουστος 2007	193
6.3 Αριθμητικές προσομοιώσεις.....	196
6.3.1 Όζον	197
6.3.2 Διοξείδιο του αζώτου.....	199
6.3.3 Φορμαλδεΐδη.....	200
6.3.4 Μονοξείδιο του άνθρακα	201
6.4 Ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας.....	202
6.4.1. Σωματίδια.....	203
6.4.2 Όζον	207
6.5 Συμπεράσματα και προοπτικές	210
<u>Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία</u>	<u>212</u>
Πίνακας Εικόνων και πινάκων	219
<u>Παράρτημα.....</u>	<u>22192</u>
Παράρτημα Ι.....	232
Παράρτημα ΙΙ.....	233

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Ο πλανήτης γη είναι ένα ζωντανό σύστημα που περιβάλλεται από ένα εξαιρετικά πολύπλοκο σύστημα αερίων, την ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα, που παρεμβάλλεται μεταξύ της γης και του ήλιου, χαρακτηρίζεται από αέναη κίνηση και βρίσκεται σε μια αδιάκοπη δυναμική ισορροπία τόσο με την βιόσφαιρα της γης όσο και με την εισερχόμενη ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία και ύλη.

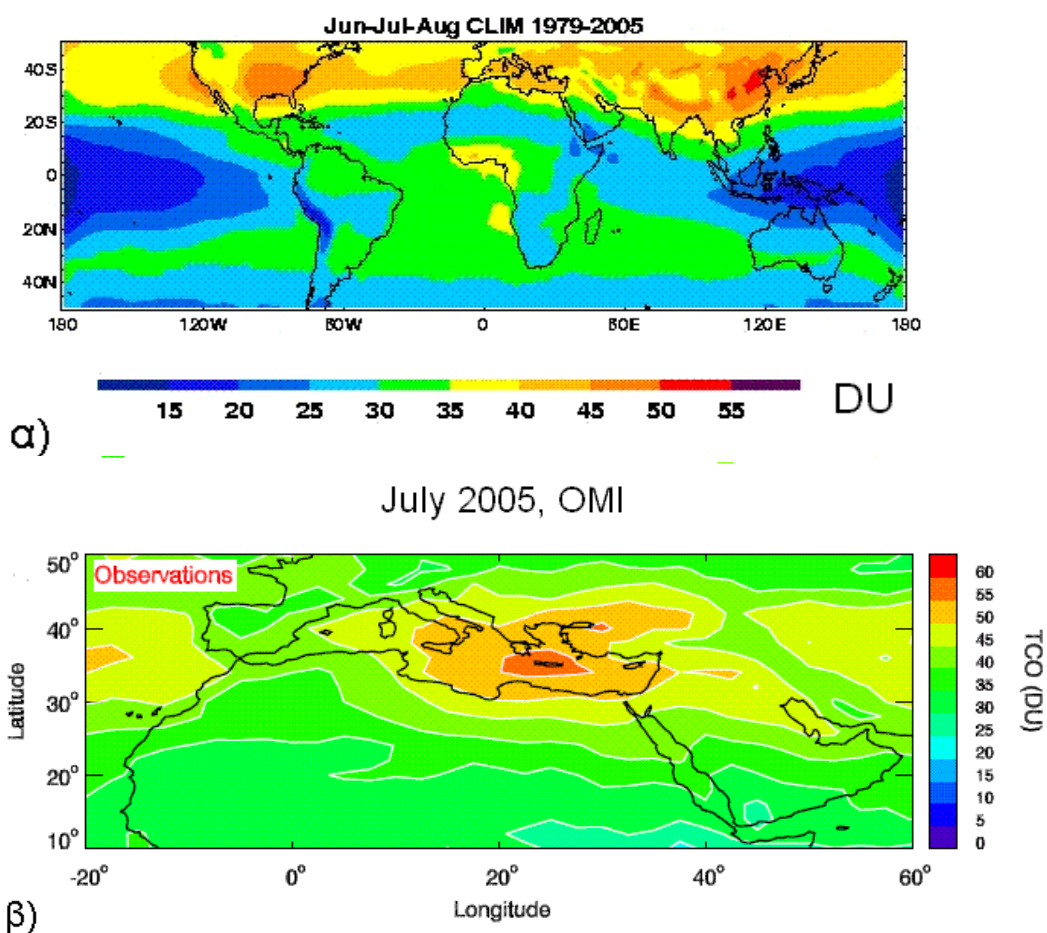
Αναφορικά με τη χημική σύσταση του, ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από 78.1% άζωτο (N_2), 20.9% οξυγόνο (O_2), κάποια ευγενή αέρια (κυρίως αργό (Ar)) 0.9% και το υπόλοιπο 0.1% διαφοροποιείται σημαντικά ως προς την σύνθεση του και επηρεάζει δραματικά τις ατμοσφαιρικές διεργασίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που ενώ αποτελεί μόνο το 0.035% της γήινης ατμόσφαιρας είναι σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου και ρυθμιστής του ενεργειακού ισοζυγίου της ατμόσφαιρας.

Η ατμόσφαιρα παρουσιάζει έντονη διαστρωμάτωση που καθορίζεται από την κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας και μπορεί να διακριθεί στην τροπόσφαιρα, την στρατόσφαιρα, την μεσόσφαιρα, τη θερμόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Η τροπόσφαιρα-η σφαίρα του ενδιαφέροντος μας - στην οποία παρατηρείται συνεχής μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψόμετρου, εκτείνεται από περίπου 0-8 km στους πόλους και από 0-16km στον Ισημερινό, σε αυτήν περιέχονται τα 3/4 της μάζας του ατμοσφαιρικού αέρα και σχεδόν όλη η μάζα των υδρατμών και ατμοσφαιρικών αιωρημάτων. Επίσης σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας εκδηλώνονται τα περισσότερα των μετεωρολογικών φαινομένων όπως τα νέφη, η ομίχλη, η βροχή, το χαλάζι και οι κεραυνοί.

Στο κατώτερο αυτό τμήμα της ατμόσφαιρας εκπέμπονται εκατοντάδες ενώσεις ανθρωπογενείς και βιογενείς από την επιφάνεια της γης, οι οποίες αντιδρούν χημικά μεταξύ τους και μεταβάλλουν τη χημική σύσταση της ατμόσφαιρας. Πολλές από τις ανθρωπογενείς εκπομπές που είναι συνυφασμένες με την προσπάθεια του ανθρώπου για μία πιο εύκολη ζωή επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα τόσο ώστε παρά τους ρυθμιστικούς μηχανισμούς άμυνας που διαθέτει η φύση, αυτές να επιφέρουν μεταβολές στην σύσταση της ατμόσφαιρας αλλά και της υπόλοιπης βιόσφαιρας που πλήττουν το οικοσύστημα και δημιουργούν μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα,

όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος, το φωτοχημικό νέφος, η όξινη βροχή και ο ευτροφισμός των θαλασσών.

Η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου είναι ένα σταυροδρόμι συνάντησης αέριων μαζών που μεταφέρουν τόσο ενώσεις από ανθρωπογενείς εκπομπές από την αναπτυγμένη βιομηχανικά Ευρώπη, λόγω της συχνής βορειοδυτικής τους προέλευσης αλλά και από τα Βαλκάνια ή την Μαύρη Θάλασσα καθώς επίσης και εκπομπές από καύσεις βιομάζας, όσο και βιογενείς εκπομπές από την χλωρίδα, από την θάλασσα και σκόνη από τη Σαχάρα. Στο σταυροδρόμι αυτό παρατηρούνται αυξημένες τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως είναι το τροποσφαιρικό όζον που αποτελεί και αντικείμενο της μελέτης μας (εικ. 1.1α και 1.1β).



Εικόνα 1.1: α) Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες, 1979-2005, όπως προσδιορίζεται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS (http://asd-www.larc.nasa.gov/TOR/TOR_Data_and_Images.html), β) Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος τον Ιούλιο του 2005 (Duncan et al., 2008)

1.1 Το ενδιαφέρον του θέματος

Το όζον είναι ένα τριατομικό μόριο που αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και είναι μια αλλότροπη μορφή του οξυγόνου πολύ λιγότερο σταθερή από το διατομικό οξυγόνο (O_2). Μία περιγραφή της ηλεκτρονικής του δομής κατά Lewis θα ήταν η εξής: Το κεντρικό άτομο του μορίου συνδέεται με ένα απλό και με ένα διπλό δεσμό με καθένα από τα δύο άλλα άτομα. Ωστόσο αυτό θα σήμαινε ότι οι δύο δεσμοί θα έπρεπε να έχουν διαφορετικά μήκη, πράγμα που δεν συμβαίνει. Το ίδιο μήκος των δεσμών οδηγεί στην παραδοχή ότι τα ηλεκτρόνια του ενός από τους δύο δεσμούς στο διπλό δεσμό βρίσκονται σε κατάσταση κβαντικής υπέρθεσης και βρίσκονται ισοπίθανα σε κάθε έναν από τους δύο δεσμούς (εικ. 1.2). Η δομή αυτή ονομάζεται δομή συντονισμού και το μόριο του όζοντος παρουσιάζει το φαινόμενο της συμμετρίας. Η μοριακή συμμετρία στη χημεία περιγράφει μια συμμετρία που παρατηρείται στο μόριο και προβλέπει ή εξηγεί κάποιες από τις χημικές ιδιότητες του μορίου, όπως είναι η διπολική ροπή, οι ηλεκτρονικές μεταβάσεις, η τοξικότητα και άλλες.



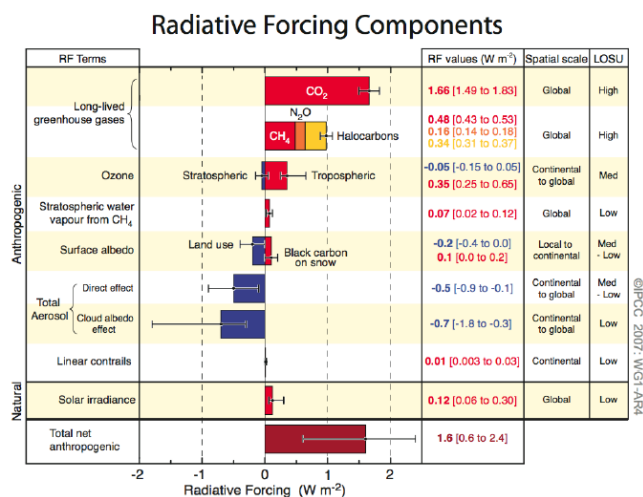
Εικόνα 1.2: Η συμμετρική δομή του μορίου του όζοντος

Γιατί μελετούμε το όζον (O_3) στη Μεσόγειο;

Το τροποσφαιρικό όζον (O_3) είναι μία από τις σημαντικότερες ενώσεις της τροποσφαιρικής χημείας και ένα από τα κύρια οξειδωτικά της τροπόσφαιρας καθώς από αυτό παράγονται σχεδόν αποκλειστικά όλες οι ρίζες $HO\cdot$ και NO_3 που είναι κύριες υπεύθυνες για την οξείδωση σχεδόν όλων των ενώσεων της αέριας φάσης στην ατμόσφαιρα, ως εκ τούτου είναι υπαίτιο για τη δημιουργία τοξικών ενώσεων με επιπτώσεις στην υγεία και στο οικοσύστημα (Cristofanelli and Bonasoni, 2008), (εικ.1.4)

Η συγκέντρωση του παρουσίασε μεγάλη αύξηση τον τελευταίο αιώνα πράγμα που αποτελεί συνέπεια της βιομηχανοποίησης και της ανθρωπογενούς ρύπανσης (Seinfeld et al., 1998). Ωστόσο ενώ ο ρυθμός αύξησης του ήταν πολύ μεγάλος ως τα μέσα της

δεκαετίας του 1980 μετριάστηκε δραστικά κατόπιν (Gerasopoulos et al., 2005). Αυτό κυρίως οφείλεται στη μείωση των εκπομπών των προδρόμων ενώσεων του O₃ κυρίως οξειδίων του αζώτου, (NO_x) σε Ευρώπη και Βόρειο Αμερική (European Environmental Agency, 2004).



Εικόνα 1.3: Μέση ετήσια παγκόσμια εκτίμηση της διαταραχής του ενεργειακού ισοζυγίου της ατμόσφαιρας για το 2005 για ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου (CH₄), πρωτοξειδίου του αζώτου (N₂O), αερολυμάτων και άλλων σημαντικών παραγόντων και μηχανισμών, σε συνδυασμό με τη γεωγραφική έκταση (χωρική κλίμακα) της διαταραχής και το εκτιμώμενο επίπεδο επιστημονικής κατανόησης του φαινομένου. Παρουσιάζεται επίσης η καθαρή διαταραχή του ενεργειακού ισοζυγίου από ανθρωπογενείς πηγές σε W m⁻² (IPCC, 2007).

Σε πολλούς σταθμούς του Βόρειου ημισφαιρίου το O₃ παρουσιάζει μέγιστες τιμές την άνοιξη που ενδεχομένως οφείλονται σε ανταλλαγές τροπόσφαιρας στρατόσφαιρας και στη φωτοχημική παραγωγή του από ενώσεις που συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα. (Gerasopoulos et al., 2005).

Η νοτιοανατολική Ευρώπη και η ανατολική Μεσόγειος όπου βρίσκεται και η Ελλάδα είναι μια περιοχή μεγάλου ενδιαφέροντος καθώς παρουσιάζει μεταξύ των πιο υψηλών επιπέδων τροποσφαιρικού όζοντος σε όλη την γη (Zerefos et al., 2002) των οποίων οι τιμές μεγιστοποιούνται το καλοκαίρι (Hudson et al., 2003). Πράγματι εξ αιτίας των ανέφελων συνθηκών και της υψηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι, η περιοχή της Μεσογείου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην ατμοσφαιρική ρύπανση, τόσο τοπική όσο και μεταφερόμενη καθώς παρουσιάζει λόγω μετεωρολογικών συνθηκών αυξημένη φωτοχημεία και είναι σταυροδρόμι αέριων μαζών ρυπασμένων και μη (Lelieveld et al., 2002), (Kouvarakis et al., 2000), (Kouvarakis et al., 2001).

Αυτά τα υψηλά επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων, έχουν επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, των οικοσυστημάτων αλλά και το κλίμα του πλανήτη μας (IPCC, 2007).

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τους θερμούς μήνες τα επίπεδα όζοντος στην Ελλάδα υπερβαίνουν τόσο το επιθυμητό όριο των $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 2006), όσο και τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ή 60ppbv , που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Οδηγία 2008/50/EK) ως μέγιστη ημερήσια μέση 8-ωρη έκθεση των πληθυσμών. Υπερβαίνουν περιστασιακά επίσης και το Όριο Ενημέρωσης Πληθυσμού, που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (ωριαία έκθεση άνω των $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - Οδηγία 2008/50/EK).

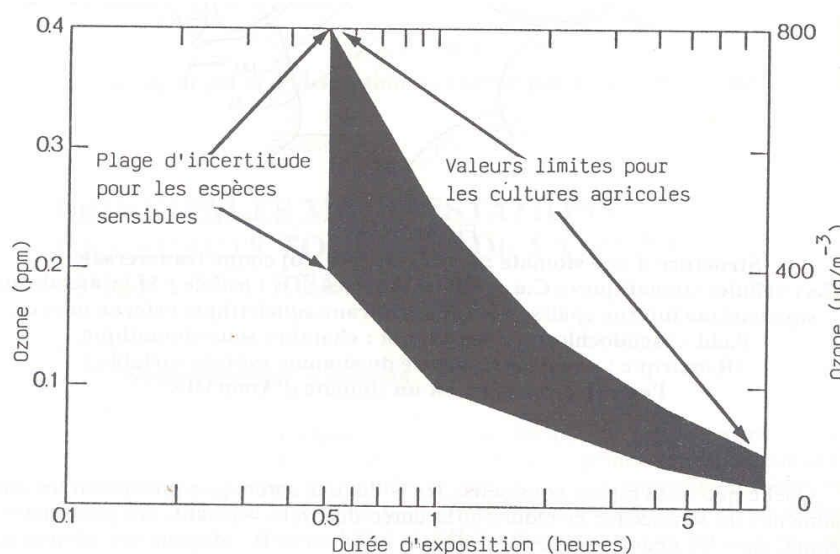


Figure VII-4
Valeurs limites pour l'apparition de dégâts d'ozone sur les cultures agricoles
(d'après Jacobson, 1977)

Εικόνα 1.4: Οριακές τιμές για εμφάνιση καταστροφών από το O_3 σε γεωργικές καλλιέργειες συναρτήσει του χρόνου έκθεσης των ειδών στο όζον.

Αυτό διαφαίνεται από μετρήσεις όζοντος σε περιφερειακούς σταθμούς γύρω από την πόλη των Αθηνών (Kalabokas and Repapis, 2004), σε σταθμούς απομακρυσμένους από πηγές όπως η Φινοκαλιά, Κρήτη (Kouvarakis et al., 2000) καθώς και σε δεδομένα πειραματικών εκστρατειών πάνω από το Αιγαίο (Kourtidis et al., 2002).

Αξίζει επίσης να τονιστεί ότι η πρόσφατη κοινοτική οδηγία 2008/50/EK αναγνωρίζει ότι ο κίνδυνος που αντιμετωπίζει η βλάστηση και τα φυσικά οικοσυστήματα από την ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνεται και μακριά από τα αστικά κέντρα. Η σημασία των υπερβάσεων του επιφανειακού τροποσφαιρικού όζοντος σε σχέση με τις ανάγκες του πληθυσμού έγκειται στις συνέπειες που έχει τόσο στον άνθρωπο όσο και στο φυτικό βασίλειο.

Όσον αφορά στις επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο η συνεχής έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές τιμές όζοντος μπορεί να του προκαλέσει μια σειρά από προβλήματα υγείας όπως πόνους στο στήθος, βήχα, ερεθισμό του λαιμού, συμφόρηση, και να επιδεινώσει καρδιακά προβλήματα, βρογχίτιδα, εμφύσημα και άσθμα, μειώνοντας τη λειτουργία των πνευμόνων (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 2006). Καθώς το όζον είναι ισχυρό οξειδωτικό μπορεί να αντιδράσει με ένα ευρύ φάσμα κυτταρικών συστατικών και βιολογικών υλικών, μέσω διαφόρων μηχανισμών, παραδείγματος χάρι αντιδρώντας: α) με σουλφιδικές ομάδες, με αλδεΐδες, καθώς και με αμινομάδες χαμηλού μοριακού βάρους, β) με αντι-οξειδωτικά όπως οι βιταμίνες E και C και γ) με πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Αυτές οι αντιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό ελεύθερων ριζών οι οποίες προκαλούν πιθανόν τα παραπάνω βιολογικά αποτελέσματα αφού το ίδιο το όζον δεν μπορεί να διαπεράσει κυτταρικές μεμβράνες (Leikauf et al., 1992)

Όπως αναφέρει ο WHO (2006) διαχρονικές μελέτες έδειξαν αύξηση σε ημερήσια θνησιμότητα της τάξης του 0.3-0.5% για κάθε 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ επαύξηση στις μέσες 8-ωρες τιμές έκθεσης πληθυσμών σε όζον πάνω από το όριο των 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Εκτιμήσεις των Duncan et al., (2008), δείχνουν ότι 50000 θάνατοι ετησίως οφείλονται στις αυξημένες τιμές του όζοντος που παράγεται από ρύπανση Ευρωπαϊκής προέλευσης.

Τα αρνητικά αποτελέσματα του όζοντος στις καλλιέργειες είναι γνωστά τα τελευταία πενήντα χρόνια, αλλά τις τελευταίες δεκαετίες το όζον έχει αρχίσει να γίνεται σοβαρός παράγοντας ανησυχίας τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Ως αναφορά στις επιπτώσεις του όζοντος στο φυτικό βασίλειο, το όζον είναι από μόνο του ένα οξειδωτικό μέσο και είναι φυτο-τοξικό στοιχείο που σημαίνει ότι όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις γίνεται επικίνδυνο για τα φυτά και δάση καθώς το πιο εμφανές αποτέλεσμα του όζοντος στην βλάστηση είναι η επίσπευση της γήρανσης (Fangmeier et al., 2002) και το ότι επηρεάζει την ικανότητα τους να παράγουν και να αποθηκεύουν τροφή κάνοντας τα έτσι πιο ευάλωτα στις αρρώστιες, τα έντομα και τις άσχημες καιρικές συνθήκες (Mégie et al., 1993).

Ακόμα το τροποσφαιρικό όζον (O_3) είναι τοξικό αέριο του θερμοκηπίου. Οπότε όπως προσδιορίζεται ποσοτικά στην εικόνα 1.3, μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας απορροφώντας γήινη υπεριώδη ακτινοβολία και εμποδίζοντας την να διαφύγει προς το διάστημα, συντελώντας στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Πράγματι λόγω της τριγωνικής δομής του δημιουργεί ηλεκτρικό δίπολο και απορροφάει στα 240 και στα 320nm στην περιοχή της

υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C και UV-B αντίστοιχα, και στην περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα 9.6μm. Το μόριο του όζοντος είναι περίπου 1200 φορές πιο αποτελεσματικό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από το μόριο του μεθανίου. Η συμμετοχή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από το 1750-1990 εκτιμάται ότι ήταν περίπου 18% (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 1995).

Η γνώση και η κατανόηση της χωρικής κατανομής του όζοντος, των παραγόντων που τη ρυθμίζουν καθώς και της εποχικότητάς του θα μπορούσε να χρησιμεύσει στη λήψη μέτρων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

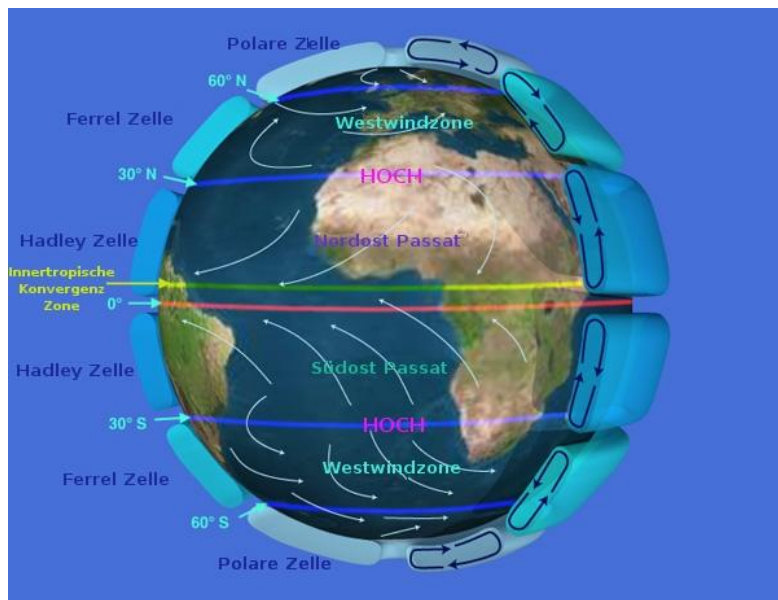
1.2 Ανατολική Μεσόγειος

Οι κύριοι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές παράγονται φωτοχημικά στην ατμόσφαιρα από εκπομπές που προέρχονται από την κυκλοφορία των μέσων συγκοινωνίας, από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, γενικότερα τη βιομηχανία και τις δασικές πυρκαγιές αλλά και των απορριμάτων. Η φωτοχημική παραγωγή του O_3 , πραγματοποιείται στην κατώτερη ατμόσφαιρα όπου το όζον προκύπτει σαν δευτερεύον προϊόν της οξειδωσης του CO και των μη μεθανικών υδρογονανθράκων, αντιδράσεις των οποίων η πορεία καθορίζεται από την ποσότητα των οξειδίων του αζώτου, NO_x ($=NO+NO_2$), στην ατμόσφαιρα, όπως θα αναλύσουμε πιο κάτω.

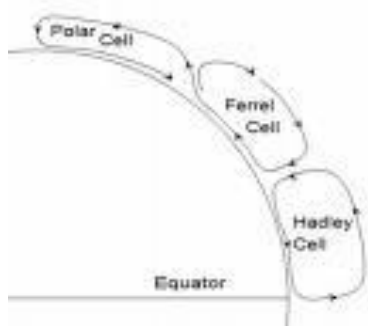
Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία το καλοκαίρι στην Μεσόγειο επηρεάζεται από τον καθοδικό κλάδο της κυψελίδας του Hadley που υποκινείται από την μεταφορά θερμότητας στη ζώνη του τροπικού, με αποτέλεσμα την ξηρασία, επιδρώντας στα οικοσυστήματα, την γεωργία, και την ποσότητα πόσιμου νερού. Λόγω της έλλειψης νεφών και της έντονης ηλιοφάνειας η περιοχή γίνεται ιδιαίτερα ευαίσθητη στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Μοντέλα χημείας και μεταφοράς εκτιμούν ότι το όζον παρουσιάζεται αυξημένο στην περιοχή της Μεσογείου συνεισφέροντας στην ενεργειακή διαταραχή του ισοζυγίου της ατμόσφαιρας (Lelieveld et al. 2002), ενώ παράλληλα λειτουργεί σαν ισχυρό οξειδωτικό της ατμόσφαιρας καθώς κατά τη φωτόλυση του ελευθερώνει ρίζες υδροξυλίου (OH).

Το Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από υγρούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Η κατά μέσο όρο θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στη βόρεια και στην νότια πλευρά της Μεσογείου μπορεί να φτάσει τους 25° C, οι βροχοπτώσεις στις ακτές της Αδριατικής Θάλασσας μπορεί να φτάσουν τα 1000mm ανά έτος ενώ στα

βουνά της Βαλκανικής χερσονήσου ξεπερνούν τα 2000mm ανά έτος. Όμως στη Βόρεια Αφρική η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου μία τάξη μεγέθους μικρότερη (Lelieveld et al., 2002).



Εικόνα 1.5: Παγκόσμια κυκλοφορία αέριων μαζών.
(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Global_Circulation-DE.xcf.jpg)

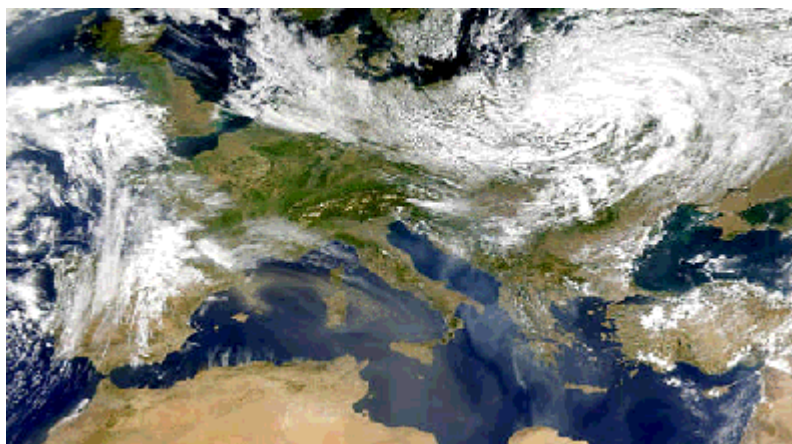


Εικόνα 1.6: Θερμός αέρας από τον Ισημερινό κινείται αναβατικά και κινείται προς τον πόλο, ψύχεται και εκτελεί καταβατική κίνηση σε περίπου 30° N, δημιουργώντας εκεί κέντρα υψηλών πιέσεων και στις περιοχές του Ισημερινού κέντρα χαμηλών πιέσεων, εκτελώντας μια κυκλοφορία γνωστή σαν κυψελίδα του Hadley. (<http://facweb.bhc.edu>)

Το μεσογειακό κλίμα επηρεάζεται καθοριστικά από το βαρομετρικό υψηλό που εκτείνεται πάνω από τις Αζόρες και από το βαρομετρικό χαμηλό που εκτείνεται πάνω από την Ισλανδία.

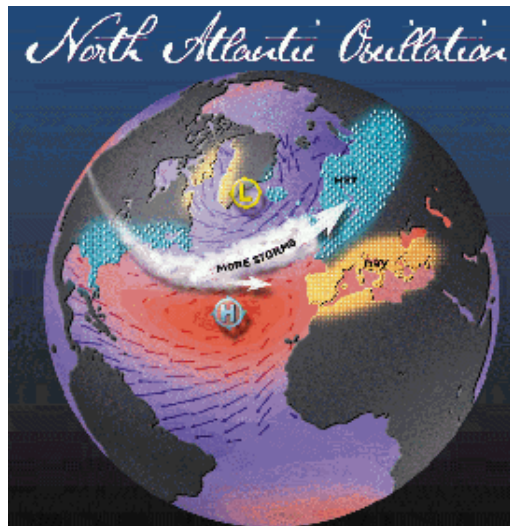
Όταν τα δύο βαρομετρικά συστήματα είναι ανεπτυγμένα στην περιοχή, και εξαιτίας αυτών η βαθμίδα της πίεσης κατά μήκος του Μεσημβρινού είναι μεγάλη, τότε σχετικά υγρές αέριες μάζες μεταφέρονται από τον Ατλαντικό προς την Ευρώπη (εικ.

1.8), στην αντίθετη περίπτωση η ζωνική ροή είναι φτωχή και τα καιρικά συστήματα που αναπτύσσονται στην Κεντρική Ευρώπη την εμποδίζουν.

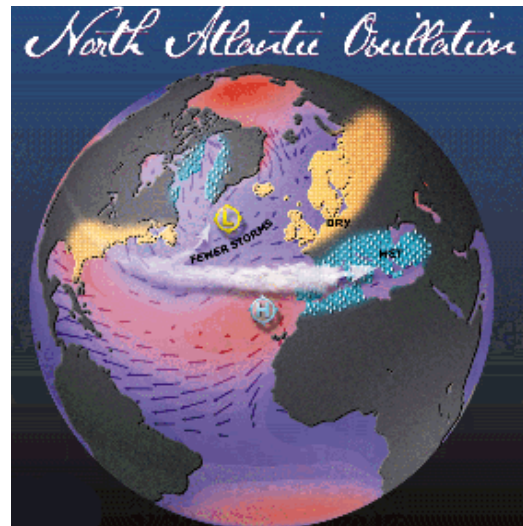


Εικόνα 1.7:Εικόνα του δορυφορικού αισθητήρα Seawifs, 25 Αυγούστου 2000.

Η εποχική μεταβολή της βαθμίδας της πίεσης ανάμεσα στο βαρομετρικό χαμηλό της Ισλανδίας και στο βαρομετρικό υψηλό των Αζόρων ονομάζεται North Atlantic Oscillation (NAO). Η θετική φάση της NAO (εικ.1.8α) φαίνεται να σηματοδοτεί εντονότερα προσανατολισμένη και γρηγορότερη ζωνική ατμοσφαιρική ροή από την Αμερική προς την βόρεια και κεντρική Ευρώπη που φαίνεται να μεταφέρει τροποσφαιρικό όζον. Οι συνέπειες της παραπάνω μεταφοράς εκδηλώνονται στις περιοχές καθοδικών ανέμων. Η θετική φάση της NAO σχετίζεται ακόμα με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των συνηθισμένων στη Δυτική Ευρώπη και βροχοπτώσεις λιγότερες από τις κανονικές στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη. (Creison et al. 2003). Το καλοκαίρι το υποτροπικό ρεύμα ροής (ICTZ) και ο αντικυκλώνας των Αζόρων ανεβαίνουν σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη και σε συνδυασμό με τα προς ανατολάς κινούμενα χαμηλά βαρομετρικά συστήματα πάνω από την Κεντρική Ευρώπη, οδηγούν ένα δυτικό ρεύμα ροής στην χαμηλότερη και στην μέση τροπόσφαιρα πάνω από την περιοχή της Μεσογείου. Η δυτική αυτή ροή καθώς συναντά τις υψηλές πιέσεις πάνω από την επιφάνεια της ηπειρωτικής Ευρώπης εξασθενεί και αναγκάζεται να εκτελέσει δεξιόστροφη κίνηση με αποτέλεσμα τελικά να έχουμε το σχηματισμό βόρειων ανέμων πάνω από την Μεσόγειο θάλασσα που μεταφέρουν τον αέρα της Ευρώπης προς την Μεσόγειο. Στην ανώτερη ωστόσο τροπόσφαιρα οι αέριες μάζες μεταφέρονται ακολουθώντας το δυτικό ρεύμα ροής (Mihalopoulos 2007).



α)



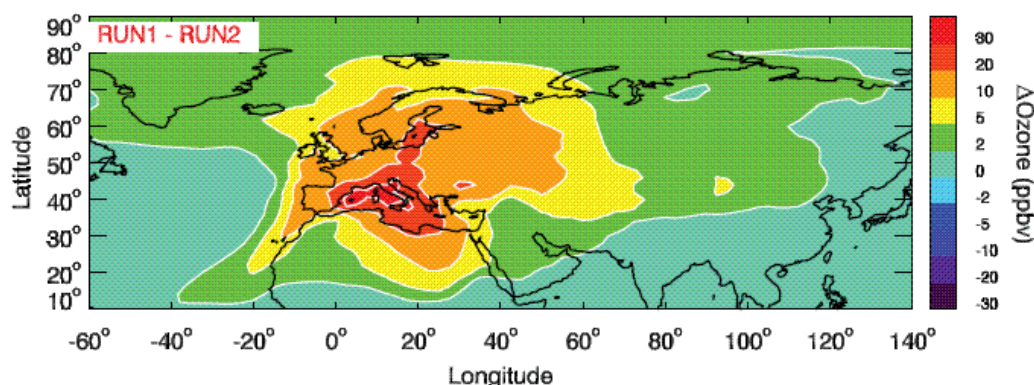
β)

Εικόνα 1.8: α) Θετική φάση της NAO με ιδιαίτερα ανεπτυγμένο το βαρομετρικό υψηλό των Αζόρων και το βαρομετρικό χαμηλό της Ισλανδίας, β) Αρνητική φάση της NAO, τα βαρομετρικά συστήματα δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα (<http://www.ldeo.columbia.edu/NAO> by Martin Visbeck).

Οι βόρειοι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε συνδυασμό με την έλλειψη βροχοπτώσεων προάγουν τη μεταφορά ρύπων από την Ευρώπη προς τη Μεσόγειο. Με τον τρόπο αυτό φωτο-οξειδωτικές ενώσεις και σωματίδια Ευρωπαϊκής προέλευσης καταλήγουν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου επιβαρύνοντας την ατμόσφαιρα και προκαλώντας ενεργειακή διαταραχή στο ισοζύγιο της. Με βάση αριθμητικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους Duncan et al. (2008), από την κύρια προσομοίωση (RUN-1) παγκόσμιου μοντέλου χημείας και μεταφοράς και από μία δεύτερη προσομοίωση του ίδιου μοντέλου (RUN-2), όπου όλες οι Ευρωπαϊκές ανθρωπογενείς εκπομπές απομακρύνονται, εκτιμάται ότι η περιοχή της Μεσογείου επιβαρύνεται κατά 30-20ppbv όζοντος από την Ευρωπαϊκή μεταφερόμενη ρύπανση το καλοκαίρι (εικ.1.9).

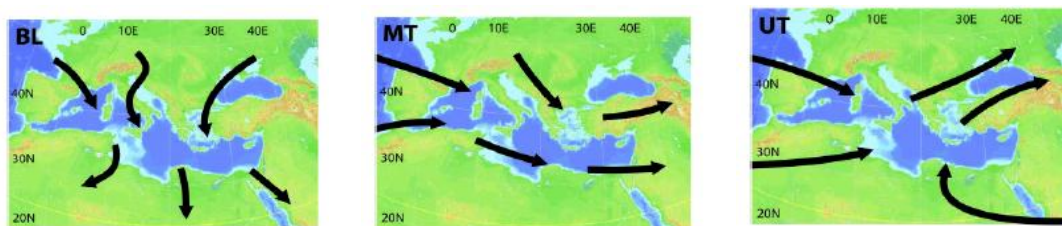
Παράλληλα πηγές παραγωγής ρύπων εδράζονται στα παράλια της Μεσογείου. Οι ρύποι που παράγουν αυτές οι πηγές, μπορούν χάρη στα συστήματα θαλάσσιας Αύρας να διασχίσουν μέχρι και 100Km προς την ενδοχώρα ημερησίως. Καθώς η Μεσόγειος θάλασσα περιβάλλεται από βουνά η τοπική μετεωρολογία επηρεάζεται από ορογραφικούς ανέμους, οι οποίοι συχνά εκτελούν ημερήσιους κύκλους. Οι άνεμοι αυτοί μπορούν να παρασύρουν τους ρύπους που μεταφέρουν οι θαλάσσιες αύρες προς την ενδοχώρα και να τους οδηγήσουν στην κατώτερη ελεύθερη τροπόσφαιρα από όπου και μπορούν να ταξιδέψουν.

July 2001



Εικόνα 1.9 Εκτιμήσεις για την επίδραση των Ευρωπαϊκών ανθρωπογενών εκπομπών στα επίπεδα του επιφανειακού όζοντος τον Ιούλιο του 2001 (Duncan et al., 2008).

Με ανάλογο τρόπο επηρεάζουν την αέρια κυκλοφορία και οι Άλπεις, καθώς λόγω της ορογραφικής ροής οι αέριοι ρύποι που παράγονται γύρω από τις Άλπεις μπορούν να μεταφερθούν στην κατώτερη ελεύθερη τροπόσφαιρα.



Εικόνα 1.10: Πορείες αέριων μαζών που αναφέρονται σε χρονικό διάστημα τριών ημερών κατά τη διάρκεια της καμπάνιας MINOS (Αύγουστος 2001), όπου σαν BL παρουσιάζεται το κατώτερο στρώμα της τροπόσφαιρας, MT η μέση τροπόσφαιρα και UT η ανώτερη. (Lelieveld et al. 2002)

Κατά τη διάρκεια της Άνοιξης και του Καλοκαιριού καθώς η Ασιατική ήπειρος θερμαίνεται και το δυτικό ρεύμα αέριας ροής υποχωρεί σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, με τον κύριο κλάδο του να εκτείνεται βόρεια του Θιβέτ, επιτρέπεται στο ανατολικό ρεύμα ροής να επεκταθεί με τη σειρά του σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη συγκριτικά με αυτά που κινείται κατά τη διάρκεια του χειμώνα δημιουργώντας έτσι έναν κατά το ήμισυ του έτους μόνιμο αντικυκλώνα γύρω από το Θιβέτ στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Τα όρια του αντικυκλώνα αυτού προσδιορίζονται περίπου στις 40°N από το δυτικό ρεύμα ροής, νότια από το ανατολικό ρεύμα περίπου στα 10°N και από 20°E Έως 120°E (Barret et al., 2008). Το τροπικό ανατολικό ρεύμα αέριας ροής είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό του καλοκαιρινού Ινδικού μουσώνα, έτσι μια ζώνη με δυνατούς ανατολικούς ανέμους αναπτύσσεται νότια του αντικυκλώνα του Θιβέτ στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας. Ανάμεσα σε

πιέσεις 100 και 200hPa μεταφέρονται αέριες μάζες από την Ασία προς την Βόρεια Αφρική και υπό την επίδραση του Αραβικού αντικυκλώνα, αυτές οι αέριες μάζες οδηγούνται τελικά και προς την Ανατολική Μεσόγειο όπου όταν συναντήσουν το δυτικό ρεύμα ροής αναγκάζονται να εκτραπούν δεξιόστροφα και να στραφούν προς την Ασιατική ήπειρο.

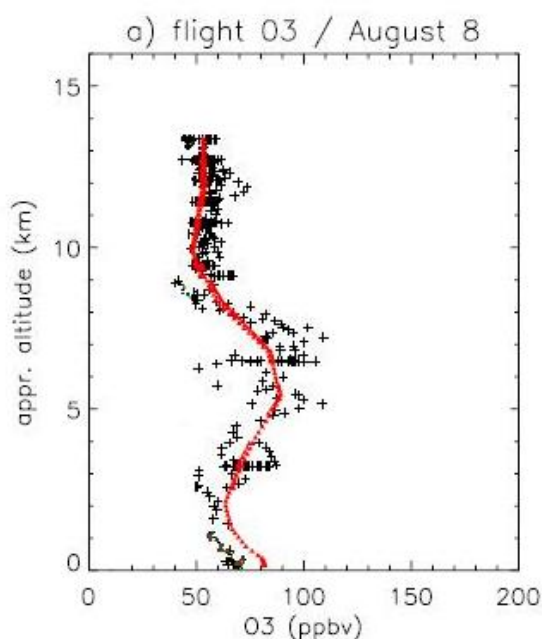
Τα καταιγιδοφόρα νέφη που αναπτύσσονται στην περιοχή του ισημερινού πάνω από τη νότια Ασία μεταφέρουν υγρασία και ρύπους από την επιφάνεια της γης προς τα ανώτερα υψόμετρα σε χρονικά διαστήματα της τάξης των μερικών ωρών, διοχετεύοντας ρύπους στην περιοχή του αντικυκλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας. Οι ρύποι αυτοί ακολουθούν την πορεία που αναφέρθηκε παραπάνω προς την Βόρεια Αφρική και την Ανατολική Μεσόγειο.

Κατά την διάρκεια του πειράματος MINOS τον Αύγουστο του έτους 2001 ανιχνεύθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις CO, ως τα 100ppbv, πάνω από την Κρήτη και το Αιγαίο Πέλαγος σε υψόμετρα από 6-8Km στην μέση τροπόσφαιρα μέχρι τα 15 Km στην τροπόπαυση. Η Ασιατική ρύπανση περιέχει λιγότερα οξείδια του αζώτου συγκριτικά με τη Ευρωπαϊκή ρύπανση, είναι όμως πιο πλούσια σε ακετυλένιο C₂H₂, περοξυακετυλονιτρίδιο, PAN, μεθυλοκυάνιο, CH₃CN, χλωρομεθάνιο, CH₃Cl, και μεθάνιο, CH₄, υποδεικνύοντας τη συνεισφορά στη ρύπανση των καύσεων βιομάζας και των καλλιεργειών ρυζιού (Lelieveld et al., 2002).

Αριθμητικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους Roelofs et al., (2003) οι οποίες βασίζονται στις μετρήσεις του πειράματος MINOS, υπολογίζουν 40-55ppbv όζοντος σε ένα στρώμα εύρους από 9-15Km, από τα οποία τα 20 ppbv φαίνεται να οφείλονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς εκπομπές από την Νότια και Νοτιοανατολική Ασία.

Παρά το ότι οι αέριες μάζες στην ανώτερη ατμόσφαιρα, που μεταφέρουν ρύπους από την Νότια Ασία προς την Μεσόγειο δεν είναι πολύ πλούσιες σε όζον, σε χαμηλότερα υψόμετρα στη μέση τροπόσφαιρα της Μεσογείου, ο λόγος ανάμειξης του όζοντος φαίνεται να είναι υψηλότερος. Σύμφωνα με την ανάλυση φαινομένων φωτοχημείας και μεταφοράς που πραγματοποίησαν οι Roelofs et al., (2003), στην Μεσόγειο φαίνεται να διακρίνεται ένα στρώμα από τα 3-8Km όπου το όζον παίρνει τιμές από 65 ως 100ppbv. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, από αυτά, 25-60 ppbv φαίνεται να έχουν στρατοσφαιρική προέλευση, 8-10ppbv αποδίδονται σε υπερατλαντική μεταφορά από την Βόρεια Αμερική και 10-20ppbv φαίνεται να σχετίζονται με τους

κεραυνούς και τις αστραπές, που θεωρούνται σημαντική πηγή του όζοντος σε αυτό το στρώμα (1.11).



Εικόνα 1.11: Κατακόρυφη κατανομή τροποσφαιρικού όζοντος όπως μετρήθηκε από το πείραμα MINOS το 2001(+) και προσομοιώθηκε υπολογιστικά (κόκκινη γραμμή) από τους Roefols et al., 2003.

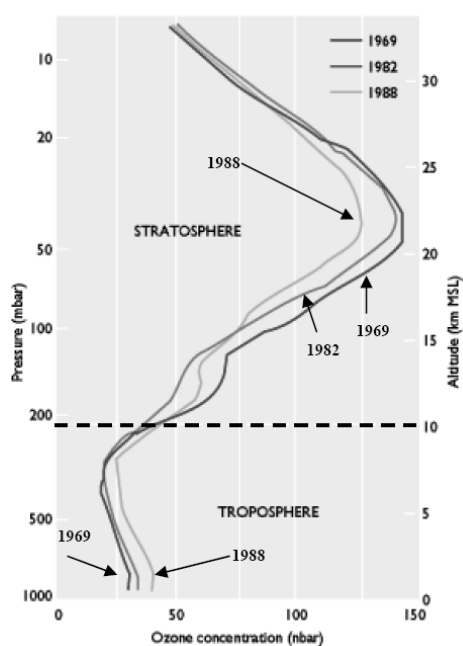
Σαν συμπέρασμα πάνω από το 30% του τροποσφαιρικού όζοντος πάνω από τη Μεσόγειο το καλοκαίρι και περισσότερο το χειμώνα, φαίνεται να έχει στρατοσφαιρική προέλευση (Lelieveld).

Παρά τα φαινόμενα που συντελούνται στην ανώτερη και μέση τροπόσφαιρα όμως το επιφανειακό όζον είναι ως επί το πλείστον αποτέλεσμα φωτοχημικής παραγωγής. Λόγω της σταθερής στρωματοποίησης της Μεσογειακής τροπόσφαιρας η ανταλλαγή αέριων μαζών μεταξύ οριακού στρώματος και ελεύθερης τροπόσφαιρας είναι περιορισμένη, έτσι εκτιμάται ότι το 90% του επιφανειακού όζοντος είναι αποτέλεσμα φωτοχημικής παραγωγής και το 80% από αυτό ανθρωπογενούς προέλευσης. Σύμφωνα με την καμπάνια MINOS οι τιμές του όζοντος στο οριακό στρώμα της Ανατολικής Μεσογείου φαίνεται να είναι περίπου 2.5-3 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στον Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό και οι τιμές του όζοντος στην ελεύθερη τροπόσφαιρα περίπου 1.5-2 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του Βόρειου Ειρηνικού Ωκεανού. Παρόμοια συμπεράσματα προέκυψαν για το CO ενώ για τα NO_x και τη HCHO η τροπόσφαιρα της Μεσογείου φαίνεται να είναι ακόμα πιο επιβαρημένη.

1.3. Χημεία του O₃ και των πρόδρομων αυτού ενώσεων στην τροπόσφαιρα

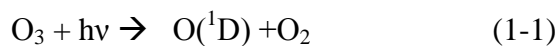
1.3.1 Χημεία του O₃ στην τροπόσφαιρα

Το τροποσφαιρικό όζον ανακαλύφθηκε από τον C.F. Schonbein κατά την ηλεκτρόλυση του H₂O, ως ένα αέριο με χαρακτηριστική οσμή και ανιχνεύθηκε από τον ίδιο στην ατμόσφαιρα στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Το όνομα του όζοντος οφείλεται στην αρχαία ελληνική λέξη 'όζειν' που σημαίνει 'αυτό που μυρίζει'. Η ακριβής του χημική σύσταση δόθηκε το 1874 από την Andrews και το 1921 οι Farby και Buisson διαπίστωσαν ότι το μέγιστο του όζοντος στην ατμόσφαιρα βρίσκεται στην στρατόσφαιρα. Περίπου το 90% του όζοντος βρίσκεται στη στρατόσφαιρα όπου παίζει έναν ευεργετικό ρόλο απορροφώντας την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (UV-A, UV-B, $\lambda < 315\text{nm}$), (εικ. 1.12).



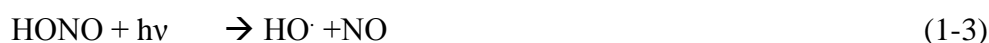
Εικόνα 1.12: Μεταβολή του όζοντος με το υψόμετρο.

Το ενδιαφέρον για τη μελέτη του τροποσφαιρικού όζοντος ξεκίνησε από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 όταν ο Levy μελέτησε τη φωτόλυση του. Ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από 315nm δίνει διεγερμένα άτομα οξυγόνου O(¹D) που στη συνέχεια αντιδρούν με τους υδρατμούς δίνοντας ρίζες υδροξυλίου (OH).



Οι ρίζες αυτές παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τροποσφαιρική χημεία αφού η οξειδωση σχεδόν όλων των αέριων ενώσεων στην ατμόσφαιρα γίνεται κυρίως μέσω αυτών των ριζών. Ο χρόνος ζωής των περισσότερων αερίων καθορίζεται από την συγκέντρωση των ριζών OH και την αντίστοιχη σταθερά αντίδρασης. Έτσι οι χρόνοι ζωής τους διακυμαίνονται από μερικές ώρες (ισοπρένιο, NO_x), σε μήνες (1-2 μήνες για το CO) και σε χρόνια (περίπου 10 για το CH₄). Οι αντιδράσεις (1-1) και (1-2) είναι ο κύριος τρόπος παραγωγής των ριζών OH στην ατμόσφαιρα αλλά όχι ο μοναδικός. Άλλοι τρόποι παραγωγής ριζών OH περιγράφονται στις αντιδράσεις φωτόλυσης του νιτρώδους οξέος (HNO₂) και της φορμαλδεΐδης (HCHO):

Φωτόλυση HONO



Φωτόλυση HCHO



Η βασική αντίδραση παραγωγής του O₃ πραγματοποιείται ανάμεσα σε ένα άτομο και σε ένα μόριο οξυγόνου και κύρια πηγή προέλευσης του ατόμου οξυγόνου θεωρείται η φωτοδιάσπαση του διοξειδίου του αζώτου (NO₂),



Η οποία ακολουθούμενη από αντίδραση με το οξυγόνο (O₂) παράγει O₃. Όμως το NO₂ είναι κυρίως δευτερογενής ρύπος παραγόμενο από το NO το οποίο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από καύσεις, εδάφη και αστραπές. Το NO μετατρέπεται σε NO₂ μέσω της αντίδρασης του με το O₃.



Όμως το NO αντιδρά άμεσα με το όζον δίνοντας ξανά NO₂ και O₂.



(Το M μπορεί να είναι N₂ ή O₂ ή άλλο μόριο που απορροφά ενέργεια δονητικά)

Σύμφωνα με την προσέγγιση ευσταθούς κατάστασης:

$$[O_3] = J_{NO_2+h\nu} [NO_2] / k_{O_3+NO} [NO] \quad (1.1)$$

Όμως αν υπερίσχυε αποκλειστικά ο παραπάνω φωτοχημικός κύκλος του NO₂, του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και του O₃ στη χημεία του O₃ δεν θα μπορούσαν να εξηγηθούν οι υψηλές τιμές των συγκεντρώσεων του όζοντος που παρατηρούνται καθόσον ο κύκλος αυτός έχει μηδέν αποτέλεσμα στο όζον. Σε αυτό το σημείο εμπλέκεται το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC).

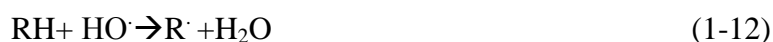
Για να γίνει ο μηχανισμός παραγωγικός σε όζον θα πρέπει η μετατροπή του NO σε NO₂ να γίνεται μέσω χημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες δεν θα καταστρέφεται το όζον. Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι η αντίδραση του NO με RO₂· ρίζες:



Η αντίδραση (1-11) ανταγωνίζεται την αντίδραση (1-10), ωστόσο επειδή

$$K_{1-11} * [RO_2] > K_{1-10} * [O_3]$$

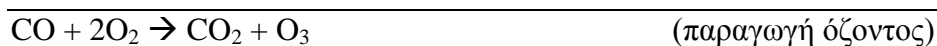
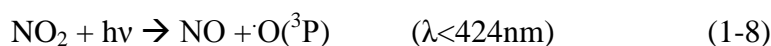
η αντίδραση (1-11) είναι αυτή που κυριαρχεί. Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η (1-10) αναστέλλοντας έτσι την καταστροφή του όζοντος. Η δημιουργία των ριζών RO₂· γίνεται από τους υδρογονάνθρακες (κυρίως τους πτητικούς όπως το CH₄ αλλά και από το CO) μέσω των ριζών HO·, σύμφωνα με τις αντιδράσεις (1-12) και (1-13)



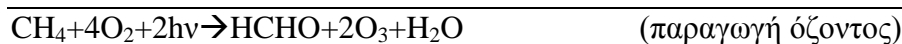
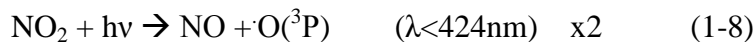
Με τη δημιουργία των ριζών HO· γίνεται το πρώτο βήμα για πολλές οξειδωτικές πορείες στην τροπόσφαιρα. Όμως η πορεία των αντιδράσεων είναι διαφορετική αν το περιβάλλον είναι πλούσιο ή φτωχό σε NO_x.

Έτσι αν το περιβάλλον είναι πλούσιο σε NOx οι αντιδράσεις παίρνουν τη μορφή:

A) για το CO

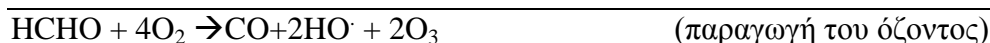


B) για το CH₄



Στη συνέχεια ακολουθεί η οξείδωση της HCHO σε CO.

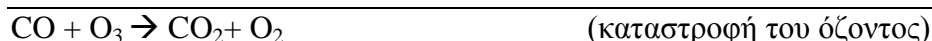
Γ) Για την HCHO



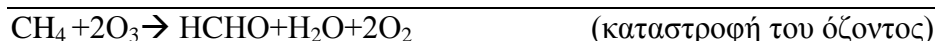
Από την οξείδωση του CO παράγεται ένα ακόμη μόριο όζοντος, έτσι συνολικά από την οξείδωση ενός μορίου μεθανίου μπορεί να γίνει παραγωγή έως και 5 μορίων όζοντος σε περιβάλλον πλούσιο σε NOx.

Όμως αν το περιβάλλον είναι φτωχό σε NO_x, όλες οι παραπάνω αντιδράσεις έχουν διαφορετική πορεία.

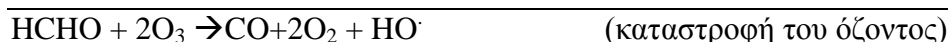
Έτσι για το CO έχουμε:



Για το CH₄



Για την φορμαλδεΐδη HCHO:

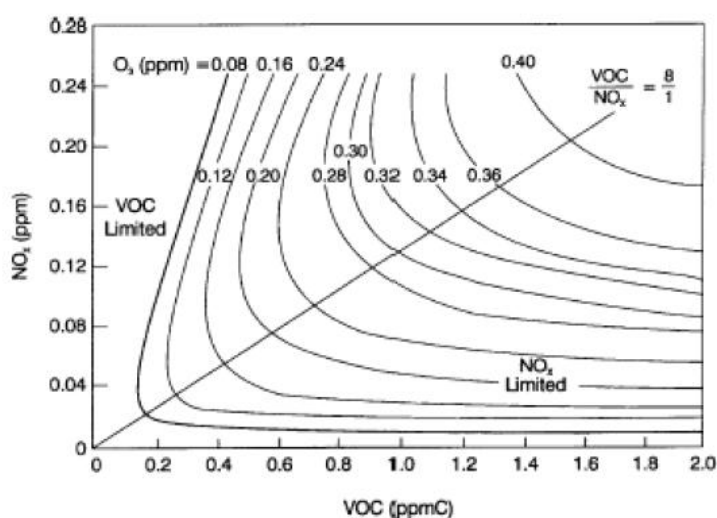


Και με την περαιτέρω οξείδωση του CO καταστρέφεται ακόμα ένα μόριο όζοντος. Έτσι το αποτέλεσμα είναι ότι από την οξείδωση ενός μορίου CO καταστρέφεται ένα μόριο όζοντος ενώ για την οξείδωση ενός μορίου μεθανίου καταστρέφονται μέχρι πέντε μόρια όζοντος.

Το επίπεδο των NO_x είναι καθοριστικό αφού σε αυτό οφείλεται αν ένα περιβάλλον έχει την ικανότητα να παράγει ή να καταστρέφει όζον. Η αντίδραση (1-16) είναι 4000 φορές πιο γρήγορη από την αντίδραση (1-24), οπότε η (1-16) γίνεται σημαντική και όταν οι συγκεντρώσεις των NO_x είναι πολύ μικρές. Ταυτόχρονα, η αντίδραση (1-16) καταναλώνει το NO μετατρέποντας το σε NO₂, εμποδίζοντας το έτσι να καταστρέψει

το όζον (1-10). Έτσι ακόμα και μικρές συγκεντρώσεις NOx είναι ικανές να μετατρέψουν το περιβάλλον ικανό για την παραγωγή όζοντος.

Εκτός από τα NOx ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την παραγωγή ή την καταστροφή του όζοντος, είναι τα επίπεδα των υδρογονανθράκων, κυρίως των πτητικών (VOC). Αν τα NOx είναι λιγότερα από τα απαιτούμενα τότε η παραγωγή όζοντος οριοθετείται από τα NOx (NOx limited), αν όμως τα VOC είναι λιγότερα από τα απαιτούμενα τότε η παραγωγή οριοθετείται από τα VOC (VOC limited), (Seinfeld and Pandis, 1998). Για να υπάρχει μέγιστη παραγωγή όζοντος θα πρέπει η αναλογία VOC/ NOx να είναι 8:1.



Εικόνα 1.13: Η επίδραση στη συγκέντρωση του όζοντος από τα επίπεδα των NOx και των VOC.

Σε περιβάλλον απουσίας NOx όπως είναι οι ανοιχτοί ωκεανοί το όζον καταστρέφεται κυρίως από τις ρίζες



Ένα δεύτερο μέρος της επίδρασης που έχει το όζον στη χημεία της τροπόσφαιρας είναι ότι ευθύνεται για την παραγωγή νιτρικών ριζών, που αποτελούν ένα άλλο σημαντικό οξειδωτικό της ατμόσφαιρας (1-28).



Η παρουσία των νιτρικών ριζών γίνεται σημαντική κατά τη διάρκεια της νύχτας καθώς τη μέρα καταστρέφονται έντονα λόγω φωτοδιάσπασης από την ηλιακή ακτινοβολία.



Η κατακόρυφη κατανομή όζοντος είναι σχεδόν σταθερή στην τροπόσφαιρα, μέσα στην στρατόσφαιρα αυξάνει απότομα παρουσιάζοντας το μέγιστο της συγκέντρωσης του στα 20-25Km. Το τροποσφαιρικό όζον παρουσιάζει σημαντική εποχιακή διακύμανση (WMO 1998), η οποία οφείλεται κυρίως στους παρακάτω παράγοντες: 1) Μεταφορά αερίων μαζών πλούσιων σε όζον από τη στρατόσφαιρα προς την τροπόσφαιρα, 2) Φωτοχημική παραγωγή και καταστροφή του όζοντος στην τροπόσφαιρα, 3) Μεταφορά αερίων μαζών μέσα στην τροπόσφαιρα και 4) Εναπόθεση όζοντος σε επιφάνειες.

Μεγάλα γεγονότα φωτοχημικής παραγωγής όζοντος συνδέονται με αργά κινούμενα υψηλά βαρομετρικά τα οποία χαρακτηρίζονται από καταβυθίσεις αερίων μαζών από την ανώτερη προς την κατώτερη τροπόσφαιρα προκαλώντας θερμοκρασιακή αναστροφή που παγιδεύει το όζον και τις πρόδρομες ενώσεις του στο στρώμα ανάμειξης.

Γεγονότα υψηλού όζοντος που συνδέονται με εισροή στρατοσφαιρικών μαζών σχετίζονται με χαμηλά βαρομετρικά συστήματα που προκαλούν αναδίπλωση της τροπόσφαιρας. Τα σύννεφα και οι θύελλες παίζουν ένα σπουδαίο ρόλο στην κατακόρυφη μεταφορά ρυπαντών από το στρώμα ανάμειξης στην κατώτερη, μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα.

Ο χρόνος ζωής του όζοντος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και την εποχή. Το καλοκαίρι είναι μικρότερος από τον χειμώνα λόγω αυξημένης φωτοχημικής καταστροφής ενώ σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη του χειμερινού ημισφαιρίου αυξάνεται λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας. Κοντά στην επιφάνεια της γης είναι επίσης μικρότερος από ότι σε μεγάλο υψόμετρο λόγω αυξημένης συγκέντρωσης υδρατμών.

1.3.2 Οι «αποθήκες» των NO_x

Σε μια πρώτη προσέγγιση φαίνεται ότι τα NO_x έχουν ένα χρόνο ζωής τόσο μικρό που δεν μπορούν μεταφερθούν μακριά και κατ' επέκταση να επηρεάσουν την συγκέντρωση υποβάθρου του όζοντος.

Πράγματι αν το NO₂ απομακρύνεται λόγω της αντίδρασης με την ρίζα ·OH, για τυπικές τιμές της ο χρόνος ζωής του είναι μία μέρα



Το νιτρικό οξύ στη συνέχεια απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω υγρής ή ξηρής εναπόθεσης. Αν όμως το NO₂ και το NO, που δεν είναι υδατοδιαλυτά, μεταφερθούν από ανοδικούς ανέμους στην ανώτερη τροπόσφαιρα η παραπάνω αντίδραση πραγματοποιείται και εκεί, μόνο που εκεί το νιτρικό οξύ δεν μπορεί να απομακρυνθεί λόγω εναπόθεσης με αποτέλεσμα να έχει χρόνο ζωής της τάξης των 20 ημερών για υψόμετρο 10Km, πριν η φωτόλυση του το μετατρέψει σε NO₂ και OH·. Έτσι το νιτρικό οξύ μπορεί τελικά να λειτουργήσει σαν «αποθήκη» για τα NO_x, να μεταφέρεται πολύ μακριά και εκεί να φωτολύεται συντελώντας στην παραγωγή του όζοντος.

Άλλη αποθήκη για το NO₂ αποτελεί το PAN (RC(O)OONO₂).

Το πρώτο μέλος της σειράς CH₃C(O)OONO₂ παράγεται από την ακεταλδεΐδη με επίδραση ριζών υδροξυλίου.



Το PAN είναι λιγότερο ευδιάλυτο στο νερό από το νιτρικό οξύ οπότε δεν μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα λόγω υγρής εναπόθεσης, ακόμα απορροφά ακτινοβολία σε μήκη κύματος μικρότερα από 290nm. Η διάσπαση του PAN γίνεται θερμικά σύμφωνα με την (1-33) και σε θερμοκρασίες της ανώτερης τροπόσφαιρας θεωρείται πρακτικά σταθερό.

Τα παραπάνω συνηγορούν ότι το PAN έχει ένα μεγάλο χρόνο ζωής, κατά τη διάρκεια του οποίου μπορεί να ταξιδέψει έως ότου καταλήξει σε θερμές περιοχές όπου και θα διασπαστεί σύμφωνα με την (1-33). Τη νύχτα, σε περιβάλλον με σχετικά υψηλό NO

(για παράδειγμα 10ppb) η θερμική διάσπαση του PAN ακολουθείται από τις αντιδράσεις:



Έχουμε δηλαδή τη μετατροπή του NO σε NO₂ και την δημιουργία της μεθυλοπερόξυ ρίζας που ενδεχομένως να οδηγήσει στο σχηματισμό της φορμαλδεΐδης σύμφωνα με τις (1-25) και (1-26), η οξείδωση της οποίας μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή όζοντος.

1.3.4 Πηγές της HCHO

Όπως είδαμε στο υποκεφάλαιο 1.3.1 η HCHO αποτελεί πρόδρομη ένωση του όζοντος και για το λόγο αυτό η γνώση και η κατανόηση των ανθρωπογενών και βιογενών πηγών της καθώς επίσης της εποχικής διακύμανσης και της διαχρονικής μεταβλητότητας της, αποτελούν αντικείμενο της μελέτης μας. Η HCHO είναι συστατικό τόσο της ρυπασμένης όσο και της καθαρής ατμόσφαιρας. Ανάλογα με τον τρόπο εκπομπής της στην ατμόσφαιρα μπορεί να είναι πρωτογενής ή δευτερογενής ένωση. Η HCHO αποτελεί πρωτογενή ένωση όταν εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα από διάφορες φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές και δευτερογενής όταν σχηματίζεται έμμεσα από αντιδράσεις φωτοχημικής οξείδωσης του μεθανίου και των μη μεθανικών υδρογονανθράκων.

Άμεσες εκπομπές HCHO στην ατμόσφαιρα:

A) Φυσικές πηγές της HCHO

Υπάρχουν ενδείξεις ότι ορισμένα είδη βλάστησης (π.χ. αραβόσιτος) συνεισφέρουν στην εκπομπή της στην ατμόσφαιρα (Zimmerman et al., 1978, Benning and Wahner 1998). Επίσης μπορεί μέσω της διαδικασίας της εξαέρωσης να διαφύγει από το θαλάσσιο περιβάλλον στο οποίο παράγεται από ορισμένα είδη αλγών μέσω βιολογικών διεργασιών, προς την ατμόσφαιρα (Nuccio et al., 1995). Έχει επίσης ανιχνευθεί σε ίχνη σε εκπομπές ηφαιστειών (Stoiber et al., 1975)

B) Ανθρωπογενείς πηγές

Σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές οι άμεσες εκπομπές από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι οι κύριες πηγές της HCHO. Οι σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνουν τα αυτοκίνητα, τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, τις εγκαταστάσεις παραγωγής θέρμανσης και διάφορες βιομηχανίες. Οι καύσεις ορυκτών καυσίμων όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο συντελούν στην εκπομπή της στην ατμόσφαιρα καθώς επίσης χημικές διεργασίες κατά την βιομηχανική παραγωγή πλαστικών και άλλων οργανικών προϊόντων (Carlier 1986). Σημαντικές ποσότητες HCHO πηγάζουν επίσης άμεσα ή έμμεσα από την καύση ξύλου και γενικότερα την καύση βιομάζας (Lee et al., 1998).

Έμμεσες εκπομπές της HCHO στην ατμόσφαιρα:

A) Οξείδωση του CH₄

Το μεθάνιο είναι ένας υδρογονάνθρακας που υπάρχει άφθονος στην ατμόσφαιρα. Έχει τόσο βιογενείς πηγές, σημαντικότερη των οποίων θεωρούνται οι υγροβιότοποι όπου παράγεται λόγω αναερόβιας μικροβιακής αποικοδόμησης οργανικής ύλης, όσο και ανθρωπογενείς, όπως είναι οι διάφορες καύσεις (άνθρακα, βιομάζας, φυσικού αέριου), η βιομηχανία πετρελαίου αλλά και τα οικιακά και ζωικά απόβλητα, η εντερική ζύμωση καθώς επίσης και η καλλιέργεια ρυζιού.

B) Οξείδωση των μη μεθανικών υδρογονανθράκων (NMHCs)

Τα αλκένια τα οποία μπορεί να έχουν ανθρωπογενή προέλευση (εξατμίσεις αυτοκινήτων) ή βιογενή προέλευση (βλάστηση, ωκεανοί), αλλά και τα τερπένια που είναι βιογενείς υδρογονάνθρακες και εκπέμπονται λόγω βλάστησης, οξειδώνονται κυρίως από ρίζες OH με αποτέλεσμα το σχηματισμό HCHO. Παράλληλα στο σχηματισμό της οδηγεί και η οξείδωση κετονών, αλκοολών, και οργανικών θειούχων ενώσεων. Το ισοπρένιο (CH₂=C(CH₃)CH=CH₂) είναι ο πιο σημαντικός βιογενής υδρογονάνθρακας στην ατμόσφαιρα που η οξείδωση του οδηγεί, μεταξύ άλλων, στο σχηματισμό HCHO. Στον μετεωρολογικό σταθμό της Φινοκαλιάς οι επιφανειακές συγκεντρώσεις του ισοπρενίου ποικίλουν από 5 μέχρι 2000ppbv, από τον Φεβρουάριο ως τον Οκτώβριο του 2004, παίρνοντας τις μέγιστες τιμές τους το καλοκαίρι (Liakakou et al., 2006).

Κύριες καταβόθρες για την φορμαλδεΐδη αποτελούν η φωτόλυση της και η αντίδραση της με ρίζες υδροξυλίου (·OH). Τα προϊόντα της οξείδωσης της HCHO

περιλαμβάνουν ρίζες HO_x που επηρεάζουν το τροποσφαιρικό O₃ και συνεπώς την οξειδωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας.

Οι συγκεντρώσεις της HCHO διακυμαίνονται σε κάποια επίπεδα που σε περιοχές απομακρυσμένες από πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης ερμηνεύονται από την οξείδωση του CH₄ όμως στο ηπειρωτικό στρώμα ανάμειξης η οξείδωση των βιογενών και ανθρωπογενών NMVOCs υπερισχύει σαν πηγή έναντι του CH₄ και συνεισφέρει σημαντικά στην τροποσφαιρική στήλη της HCHO. Λόγω του ότι ο χρόνος ζωής της, που εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ριζών ·OH, είναι σχετικά μικρός – της τάξεως των μερικών ωρών το καλοκαίρι- η HCHO μπορεί να αποτελέσει δείκτη των πεδίων εκπομπών VOCs (Dufour et al., 2009). Δραστικοί ανθρωπογενείς υδρογονάνθρακες VOCs συνεισφέρουν στην μεταβλητότητα της HCHO κοντά στις πηγές παραγωγής τους, τα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα (Curci et al., 2002), ενώ βιογενείς πηγές της HCHO φαίνεται να υπερισχύουν μακριά από τα μεγάλα αστικά κέντρα κυρίως την περίοδο της βλάστησης των φυτών. Το βιογενές ισοπρένιο πιστεύεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην τοπική και χρονική μεταβλητότητα της HCHO λόγω της μεγάλης του δραστηριότητας και του γεγονότος ότι αποτελεί ένωση πρόδρομη της HCHO (Palmer et al., 2006, Wiedinmyer et al., 2005). Στην περιοχή του Po Valley και στην δυτική πλευρά της Ιταλίας φαίνεται να υπερισχύουν οι ανθρωπογενείς πηγές της HCHO ενώ στην Ελλάδα η κύρια πηγή της φαίνεται να είναι η οξείδωση του ισοπρενίου (Dufour et al., 2009).

1.3.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πηγές και μεταφορά στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου

Από μετρήσεις σε πάγους πολικών περιοχών που έχουν πραγματοποιηθεί διαφαίνεται ότι η ποσότητα του CO στην ατμόσφαιρα μειωνόταν σταδιακά τις προηγούμενες δύο χιλιετίες υποδεικνύοντας έτσι μείωση στις εκπομπές του από καύσεις βιομάζας. Ωστόσο τα τελευταία 100 χρόνια η φθίνουσα αυτή πορεία της συγκέντρωσης του CO αναστράφηκε και το CO φαίνεται να αυξάνεται (Shindell et al., 2006).

Το μονοξείδιο του άνθρακα παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην τροποσφαιρική χημεία. Είναι κατά κύριο λόγο ένας ανθρωπογενής ρύπος που παράγεται σε χημικές διαδικασίες ατελούς καύσης από βιομηχανίες, μεταφορές και καύσεις βιομάζας, ενώ

δευτερογενώς παράγεται από την οξείδωση διαφόρων υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών πτητικών ενώσεων.

Όπως περιγράψαμε στο υποκεφάλαιο 1.1.3 αποτελεί πρόδρομη ένωση του όζοντος, ενώ παράλληλα επηρεάζει την συγκέντρωση των ριζών OH και συνεπώς την οξειδωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας. Απορροφά ακτινοβολία στο θερμικό υπέρυθρο στα 4.7μm και στο υπεριώδες μικρού μήκους κύματος στα 2.3μm. Η παραπάνω ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας του CO καθιστά δυνατή την παρατήρηση του από το διάστημα.

Πρόσφατη μελέτη δορυφορικών δεδομένων τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας από τους δορυφορικούς αισθητήρες MOPITT, AIRS, SCIAMACHY και TES σχετικά με την εκτίμηση του μεγέθους των εκπομπών και των πηγών του CO στην ατμόσφαιρα έδειξε ότι σε παγκόσμιο επίπεδο οι εκπομπές CO κυμαίνονται γύρω στα 1350Tg a⁻¹ και ότι μέχρι σήμερα γινόταν υποεκτίμηση τους (Koracz et al., 2010). Μεγάλο μέρος της υποεκτίμησης αυτής σχετίζεται με υποεκτίμηση του μεγέθους των εκπομπών του CO, των σχετικών με τις μεταφορές και την θέρμανση, στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου το χειμώνα.

Πίνακας 1.1: Παγκόσμιες εκπομπές CO όπως προσδιορίζονται από αριθμητικές προσομοιώσεις βασισμένες σε ανάλυση δορυφορικών δεδομένων τηλεπισκόπησης από τους αισθητήρες MOPITT, AIRS, SCIAMACHY και TES (Koracz et al., 2010).

Table 1. Annual CO emissions¹.

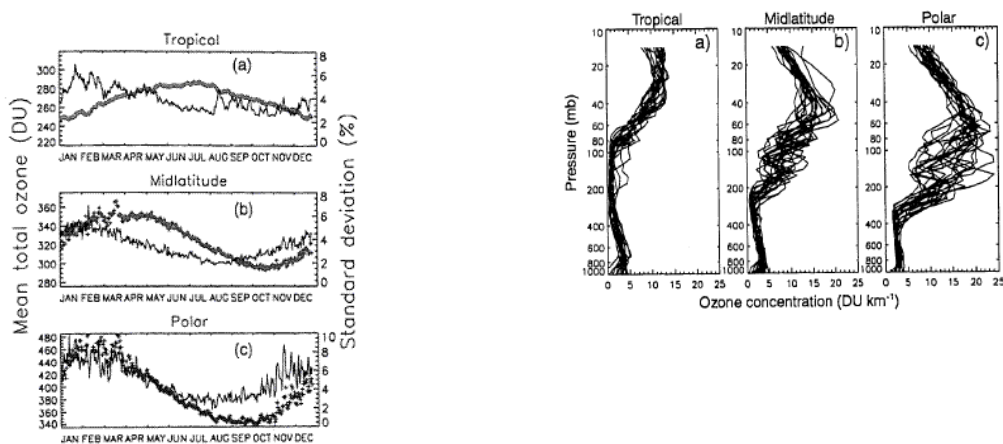
Region	Fossil fuel	Best prior estimates ²		Inverse model results ³	
		Biofuel	Biomass burning	Total	Total
US ⁴	35.2	2.5	2.6	40.2	49.5
Alaska and Canada ⁵	1.4	0.4	15.4	17.2	21.4
Europe ⁶	60.4	15.2	2.5	78.1	94.7
E Asia ⁷	136	67.1	12.8	216	354
SE Asia ⁸	43.6	45.7	83.4	173	306
S. America	15.8	16.6	86.6	119	183
Africa ⁹ (NH)	27.4	21.4	74.9	124	175
Africa ⁹ (SH)	6.48	10.1	74.0	90.3	168
Australia	4.1	1.3	17.2	22.6	40.5
Global	319	160	379	858	1350

Σε μεγάλα ύψη της τροπόσφαιρας που αντιστοιχούν σε πιέσεις πάνω από τα 150hPa η κατανομή του μονοξειδίου του άνθρακα πάνω από την Βόρεια Αφρική χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ μέγιστο που ελέγχεται από την μεγάλης κλίμακας κυκλοφορία στην ανώτερη τροπόσφαιρα η οποία οδηγείται από τον Ασιατικό καλοκαιρινό μουσώνα (Barret et. al., 2008). Συνεπώς αέριες μάζες πλούσιες σε CO, οι οποίες ξεκινούν από την Ινδία και γενικότερα την Νοτιοανατολική Ασία και οδηγούμενες από τον Ασιατικό καλοκαιρινό μουσώνα, καταλήγουν στην περιοχή της

βόρειας Αφρικής και της Ανατολικής Μεσογείου αυξάνοντας τα επίπεδα του CO στην περιοχή μας (Lelieveld et al., 2002).

1.4 Ολική στήλη του όζοντος και μετεωρολογικές περιοχές

Οι Hudson et al. (2003), έδειξαν ότι το βόρειο ημισφαίριο χωρίζεται σε περιοχές (εικ.1.14α) στην καθεμία από τις οποίες η τιμή υποβάθρου της ολικής στήλης του όζοντος είναι περίπου σταθερή, (παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξης του 8%). Φυσικά όρια των περιοχών αυτών αποτελούν το υποτροπικό και το πολικό μέτωπο καθώς επίσης και ο πολικός στρόβιλος που σχηματίζεται το χειμώνα. Κάθε περιοχή προσδιορίζεται επίσης από ένα διακριτό ύψος τροπόπαυσης. Η εποχιακή εξάρτηση των μέσων ημερήσιων τιμών του όζοντος φαίνεται να επηρεάζεται καθοριστικά από το γεωγραφικό πλάτος (εικ.1.14β). Συγκεκριμένα στις τροπικές περιοχές η ολικής ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος παρουσιάζει μέγιστες τιμές τον Ιούλιο και ελάχιστες το Δεκέμβριο, στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη οι μέγιστες τιμές φαίνεται να σημειώνονται τον Απρίλιο, ενώ οι ελάχιστες τον Οκτώβριο και τέλος στις πολικές περιοχές-βόρειου ημισφαιρίου-οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τον Φεβρουάριο και οι ελάχιστες τον Σεπτέμβριο.



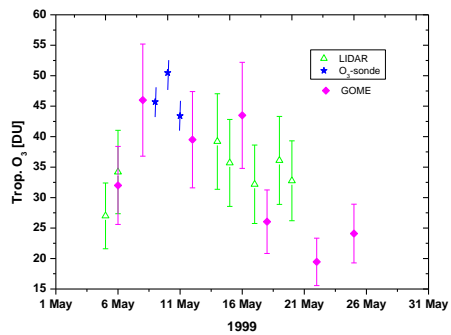
α)

β)

Εικόνα 1.14: α) Μέσες τιμές του ολικού όζοντος στα τροπικά, μέσα, πολικά γεωγραφικά πλάτη βόρειου ημισφαιρίου το μήνα Μάρτιο (Hudson et al., 2003), β) Κατακόρυφες κατανομές του όζοντος από ραδιοβολίσεις που πραγματοποιήθηκαν Μάρτιο μεταξύ 1985 και 1990 (Hudson et al. 2003).

Μεγάλες διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν στην τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος στη περιοχή της Κρήτης το Μάιο του 1999 (Ladstaetter-Weissenmayer et al., 2007). Οι διακυμάνσεις αυτές αποδίδονται στη γεωγραφική θέση της Κρήτης που την

τοποθετεί στα όρια μεταξύ υποτροπικών και μέσων γεωγραφικών πλατών, όπου λόγω της εποχικής μετακίνησης του υποτροπικού μετώπου προκαλούνται διακυμάνσεις στο τροποσφαιρικό ύψος.



Εικόνα 1.15: Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος σύμφωνα με μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα GOME, ραδιοβολίσεις και Lidar, στα Νοπήγια της Κρήτης (Ladstaetter-Weissenmayer et al., 2007).

Κεφάλαιο 2: Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής διαδικασίας είναι η μελέτη της επίδρασης διακριτών πηγών ρύπανσης στο τροποσφαιρικό όζον και στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας στον Ελλαδικό χώρο με τη χρήση παρατηρήσεων εδάφους, δορυφορικών παρατηρήσεων και 3-διάστατων μαθηματικών προσομοιώσεων. Με τον όρο διακριτές πηγές ρύπανσης εννοούμε τα μεγάλα αστικά κέντρα, βιομηχανικές περιοχές ή γεγονότα φυσικών καταστροφών όπως είναι οι καύσεις βιομάζας.

Η συλλογή παρατηρήσεων και η ταξινόμησή τους θα μας επιτρέψει να προσδιορίσουμε σε ποια επίπεδα βρίσκεται η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος (O_3), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2), της φορμαλδεΐδης (HCHO) και η ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στην περιοχή του Ελλαδικού χώρου και της ευρύτερης ανατολικής Μεσογείου. Όπως αναδεικνύεται από την τροποσφαιρική χημεία του όζοντος ο ρόλος της χωρικής και χρονικής κατανομής των πρόδρομων ενώσεων του, είναι πολύ σημαντικός καθώς αυτές είναι που ρυθμίζουν την παραγωγή του.

Η ανάλυση οπισθοτροχιών αέριων μαζών σε συνδυασμό με την εποχική ταξινόμηση των δορυφορικών παρατηρήσεων θα συντελέσει στην κατανόηση του ποσοστού της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου (NO_2), και της φορμαλδεΐδης (HCHO) που οφείλεται σε ρύπανση που μεταφέρεται από άλλες περιοχές στην περιοχή μας και ποιο ποσοστό σε τοπικές εκπομπές.

Η σύγκριση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος (O_3), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2), της φορμαλδεΐδης (HCHO), και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), μεταξύ δορυφορικών μετρήσεων και αριθμητικών προσομοιώσεων από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 σε ανάλυση $6^\circ \times 4^\circ$ (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος) για 14 σταθμούς της Ανατολικής Μεσογείου, και η σύγκριση των αποτελεσμάτων του πρώτου επιπέδου του TM4 με μετρήσεις εδάφους όζοντος, και οξειδίων του αζώτου για σταθμούς του EMEP της Ανατολικής Μεσογείου (<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/>) θα μας επιτρέψουν να διαπιστώσουμε πόσο καλά συμφωνούν οι υπολογιστικές προσομοιώσεις του μοντέλου χημείας και μεταφοράς TM4 με τις δορυφορικές μετρήσεις και με τις μετρήσεις εδάφους

Λαμβάνοντας υπόψη μας τα αποτελέσματα της παραπάνω σύγκρισης θα μπορούσαμε να κάνουμε προτάσεις για την βελτίωση των αποτελεσμάτων του TM4.

Ακόμα θα πραγματοποιήσουμε διαφοροποιήσεις στις παραμετροποιήσεις του μοντέλου μας TM4 που θα αφορούν τις εκπομπές ιχνοενώσεων από καύσεις βιομάζας, για να προσδιορίσουμε πόσο επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου από της καύσεις βιομάζας.

Η μελέτη των γεγονότων εκτεταμένων καύσεων βιομάζας που συντελέστηκαν στον Ελλαδικό χώρο τα καλοκαίρια του 2000 και του 2007, τα οποία αποτέλεσαν φυσικές και πολιτισμικές καταστροφές για την χώρα μας, θα πραγματοποιηθεί με την ανάλυση των μέσων ημερήσιων τιμών των μετρήσεων εδάφους του όζοντος και των μέσων ημερήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ και της HCHO κάνοντας χρήση των δορυφορικών δεδομένων των αισθητήρων GOME και SCIAMACHY για τις καύσεις του 2000 και των μέσων ημερήσιων τιμών των δορυφορικών μετρήσεων του CO από τον αισθητήρα MORITT για τις μέρες καύσεων του 2007.

Επίσης θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε την ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας λόγω μεταβολών του όζοντος στην περιοχή μας κάνοντας χρήση δεδομένων κατακόρυφης κατανομής του τροποσφαιρικού όζοντος από το σύστημα τηλεπισκόπησης laser (τεχνική Lidar) καθώς και αποτελεσμάτων αριθμητικών προσομοιώσεων σε προγνωστικά και διαγνωστικά μοντέλα κλιματικής αλλαγής για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

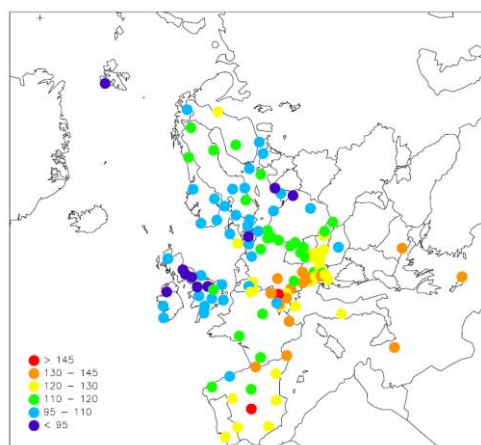
Κεφάλαιο 3: Μετρήσεις

Στην παρούσα μελέτη συλλέξαμε μετρήσεις εδάφους, μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από δορυφορικούς αισθητήρες και επεξεργαστήκαμε τα αποτελέσματα αριθμητικών προσομοιώσεων, με στόχο από την συνδυαστική χρήση των παραπάνω μετρήσεων και προσομοιώσεων να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τα επίπεδα του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου αλλά και να κατανοήσουμε τους παράγοντες που το επηρεάζουν.

3.1 Μετρήσεις Εδάφους

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μας ενδιαφέρουν οι μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος, αλλά και πρόδρομων αυτού ενώσεων από μετεωρολογικούς σταθμούς της Ανατολικής Μεσογείου που μετρούν το όζον συνεχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα, ούτως ώστε να σχηματίσουμε μία εικόνα για τις διαχρονικές τάσεις του επιφανειακού όζοντος στην περιοχή, αλλά και να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις μετρήσεις εδάφους με τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου μοντέλου χημείας και μεταφοράς TM4.

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν αρκετοί σταθμοί συνεχούς μέτρησης του όζοντος (monitoring stations), στην Ανατολική Μεσόγειο.



Εικόνα 3.1: Δίκτυο σταθμών ατμοσφαιρικών μετρήσεων του EMEP για το έτος 2006. (<http://tarantula.nilu.no/projects/cccr/reports/cccr2-2006.pdf>)

Εμείς χρησιμοποιήσαμε μετρήσεις από την Φινοκαλιά στην Κρήτη (25.67E, 35.32N), το Giordan Lighthouse στο Gozo-Malta (14.20E, 36.10N), την Αγία Μαρίνα στην Κύπρο (33.32E, 33.22N) και το Sarachane (29E, 41N) στην Κωνσταντινούπολη. Για

την Φινοκαλιά η συλλογή μετρήσεων επιφανειακού όζοντος αφορά το χρονικό διάστημα από το έτος 2000 έως και το 2007, για το Giordan Lighthouse το χρονικό διάστημα από το έτος 2001 έως το 2006, για την Αγία Μαρίνα το χρονικό διάστημα από το έτος 2003 έως το 2006 ενώ για το Sarachane η σύγκριση πραγματοποιείται για τα έτη από 2001 έως και 2004, αλλά οι μετρήσεις εδάφους αναφέρονται στους μήνες από τον Απρίλιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο. Από το σταθμό υποβάθρου της Φινοκαλιάς πήραμε επίσης μετρήσεις διοξειδίου του αζώτου (NO_2) που πραγματοποιήθηκαν από τον Ιούνιο του 2001 έως τον Σεπτέμβριο του 2003. Επίσης χρησιμοποιήσαμε μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα, CO , μονοξειδίου του αζώτου, NO , που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2000 (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα) και φορμαλδεΐδης, HCHO (Οικονόμου, 2001).



α)

β)

Εικόνα 3.2: α) Ο σταθμός της Φινοκαλιάς. β) Ο σταθμός του Giordan Lighthouse στο Gozo.

Οι μετρήσεις εδάφους από την Κρήτη προέρχονται από το σταθμό της Φινοκαλιάς (εικ.3.2α) (Ερευνητική ομάδα Ν. Μιχαλόπουλου), ενώ οι μετρήσεις από το Giordan Lighthouse (εικ.3.2β) και την Αγία Μαρίνα προέρχονται από το δίκτυο σταθμών του EMEP (<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/reports.html>). Όμως οι μετρήσεις που αναφέρονται στα ημερήσια δεδομένα επιφανειακού όζοντος του Giordan Lighthouse τον Αύγουστο του 2007 προέρχονται από τον Raymond Ellul (αδημοσίευτα δεδομένα). Οι μετρήσεις από το Sarachane αναφέρονται στα δεδομένα των Ulas İm et al. (2008).

Η Φινοκαλιά βρίσκεται σε υψόμετρο 150m, το Giordan Lighthouse στα 160m η Αγία Μαρίνα στα 532m και το Sarachane στα 40m.

3.2 Δορυφορικοί αισθητήρες

3.2.1 Εισαγωγή / δορυφορικές παρατηρήσεις

Η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων δεκαετιών επέτρεψε την κατασκευή και την αποστολή στα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας (στο διάστημα) οπτικών αισθητήρων οι οποίοι παρατηρούν και καταγράφουν την σκεδαζόμενη ηλιακή ακτινοβολία και τη γήινη υπέρυθη ακτινοβολία. Η επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων μας δίνει πληροφορίες για ποσοτικούς προσδιορισμούς της κατανομής των συστατικών της ατμόσφαιρας καθώς επίσης για το ποια στοιχεία απορροφούν ή σκεδάζουν το φως αλλά και για την ανακλαστικότητα (albedo) της γης.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των δορυφορικών αισθητήρων είναι ότι παρέχουν μια παγκόσμια εικόνα των συστατικών της γήινης ατμόσφαιρας η οποία συντελεί καταλυτικά στην κατανόηση των φαινομένων που επηρεάζουν τις μεταβολές και τις χημικές αντιδράσεις στην τροπόσφαιρα. Επιπλέον μας βοηθούν να καταλάβουμε καλύτερα τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ στεριάς και ωκεανών, βιόσφαιρας, ατμόσφαιρας και κρυόσφαιρας. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις σε μέση ή παγκόσμια γεωγραφική κλίμακα μπορούν να επιτρέψουν τη διαχρονική παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Richter et al., 2005) και των διαταραχών που αυτή επιφέρει στο ισοζύγιο της ατμόσφαιρας και να συντελέσουν στον προσδιορισμό μέτρων για τον περιορισμό τους. Συνεπώς η διαχρονική καταγραφή της φυσικοχημικής κατάστασης της ατμόσφαιρας χρίζει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και είναι πολύ μεγάλης σημασίας.

Στην προσπάθεια μας να κατανοήσουμε τη χωρική μεταβολή της τροποσφαιρικής ποσότητας του όζοντος στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Μεσογείου αλλά και την εποχική διακύμανση στις τιμές του καθώς επίσης να προσδιορίσουμε αν υπάρχει αυξητική τάση με την πάροδο του χρόνου πάνω από τα μεγάλα αστικά κέντρα ή τις απομακρυσμένες περιοχές από εστίες παραγωγής ρύπανσης, της Ανατολικής Μεσογείου, επιλέξαμε να συλλέξουμε δορυφορικά δεδομένα που αναφέρονται στις τροποσφαιρικές ποσότητες ή στην ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος αλλά και των πρόδρομων αυτού ενώσεων, όπως είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), η φορμαλδεΰδη (HCHO) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

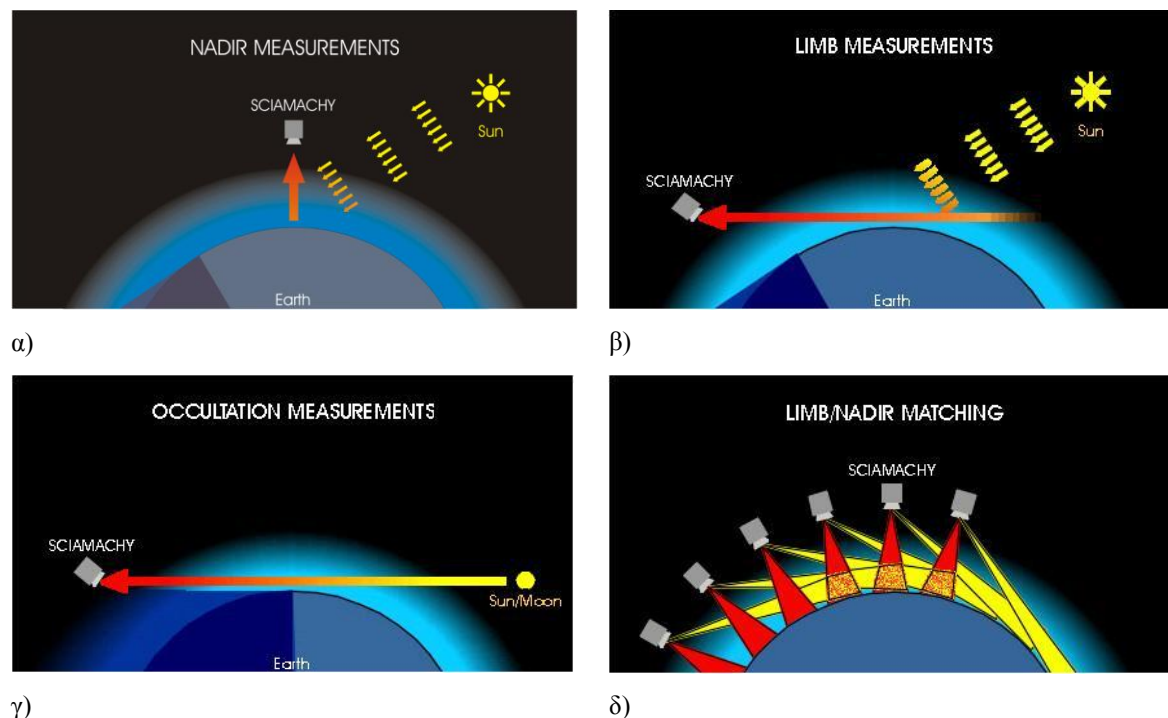
Οι δορυφορικοί αισθητήρες από τους οποίους προέρχονται τα δεδομένα είναι ο TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), (<http://toms.gsfc.nasa.gov>), για την

τροποσφαιρική ποσότητα του όζοντος, οι GOME-1 (Global Ozone Monitoring Experiment), (<http://www.iup.physik.uni-bremen.de/gome/gomeinst.html>) και SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartographY), (<http://www.iup.physik.uni-bremen.de/sciamachy/>) που εκτιμούν διαδοχικά τις τροποσφαιρικές ποσότητες του NO₂ και της HCHO και ο MOPITT (Measurements Of Pollution In The Troposphere), (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/>), για την ολική ατμοσφαιρική στήλη του CO. Από τον GOME-1 έχουμε ακόμα συλλέξει δεδομένα που αναφέρονται στην ολική ατμοσφαιρική ποσότητα του O₃.

Η περίοδος της συλλογής μας είναι από το 1979 ως το 2005 για το τροποσφαιρικό όζον, από το 2000 ως το 2002 για το ολικό ατμοσφαιρικό όζον, από το 2000 έως το 2007 για τη τροποσφαιρική ποσότητα του NO₂ και την τροποσφαιρική ποσότητα της HCHO και από το 2000 έως το 2008 για το ολικό ατμοσφαιρικό CO.

3.2.2 Γεωμετρίες Limb, Nadir και Occultation

Οι δορυφορικοί αισθητήρες μετρούν την ακτινοβολία των άνω στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Από διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας συνάγονται διαφορετικές πληροφορίες.

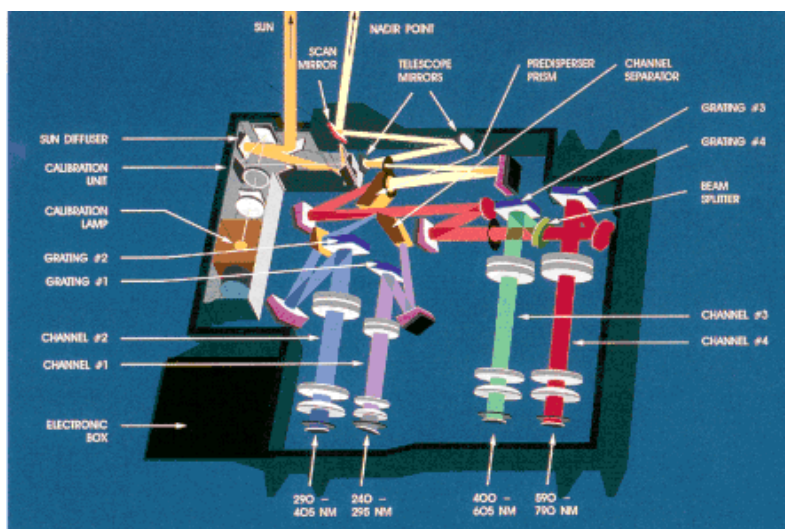


Εικόνα 3.3: Τρεις διαφορετικοί τρόποι δορυφορικής τηλεπισκόπησης με τη μέθοδο: α) ναδίρ (nadir mode), β) εφαπτομένης (limb mode), γ) έκλειψης (occultation mode) και δ) συνδυαστική χρήση των γεωμετριών limb και nadir από τον δορυφορικό αισθητήρα SCIAMACHY (<http://www.iup.physik.uni-Bremen.de/SCIAMACHY/instrument/modes/index.html>).

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι παρατήρησης (σάρωσης) με τους οποίους είναι δυνατόν να λειτουργήσει ένας δορυφορικός αισθητήρας (εικ.3.3).

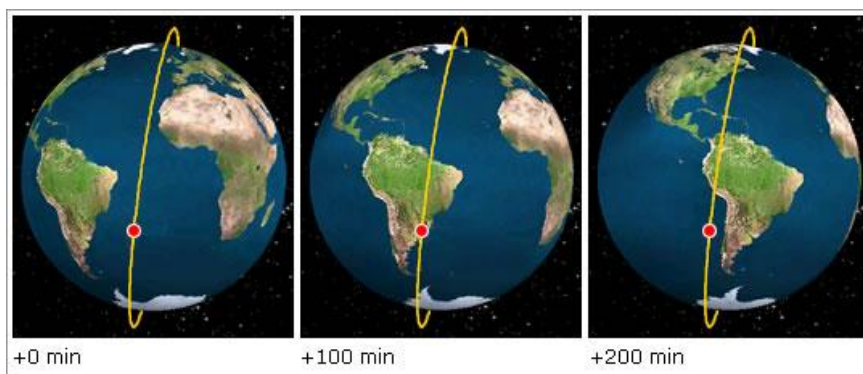
Με την γεωμετρία ναδίρ (Nadir mode) παρατηρείται η ατμόσφαιρα ακριβώς κάτω από το όργανο κατά μήκος της τροχιάς του. Στην γεωμετρία εφαπτομένης (Limb mode) η σχισμή του φασματόμετρου κοιτά την «κόψη» του ορίζοντα και το όργανο παρατηρεί την ατμόσφαιρα σε μια διεύθυνση εφαπτομενική στην επιφάνεια της γης και μετρά τη σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας για διαφορετικές οπτικές γωνίες εφαπτόμενες σε αυτήν. Στη γεωμετρία που βασίζεται στη μέθοδο έκλειψης (Occultation mode) η παρατήρηση γίνεται με τρόπο παρόμοιο με τη μέθοδο εφαπτομένης, με τη διαφορά ότι τώρα ο αισθητήρας βλέπει απευθείας μέσω της ατμόσφαιρας της γης μια φωτεινή πηγή όπως είναι ο ήλιος και η σελήνη. Έτσι από τη σύγκριση της διαταδιδόμενης ακτινοβολίας με την ακτινοβολία της πηγής, (του ήλιου ή της σελήνης) υπολογίζεται η ατμοσφαιρική πυκνότητα.

3.2.3 Αισθητήρας GOME-1 (Global Ozone Monitoring Experiment)



Εικόνα 3.4: Ο αισθητήρας GOME, (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>).

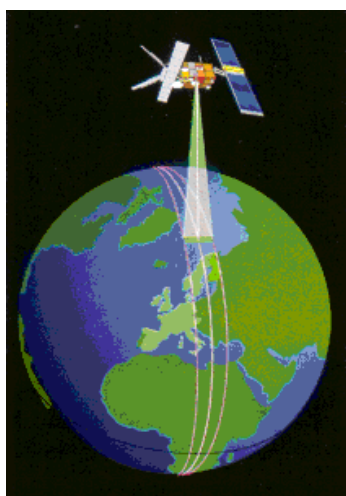
Ο GOME-1 (εικ.3.5), τέθηκε σε τροχιά σύγχρονη με τον ήλιο τον Απρίλιο 1995 στον Ευρωπαϊκό δορυφόρο ERS-2 από την ESA (European Space Agency), (Burrows et al., 1999).



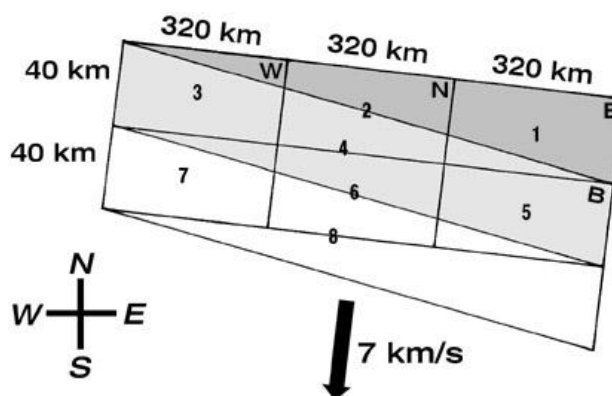
Εικόνα 3.5: Τροχιά του GOME σύγχρονη με τον ήλιο. (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>)

Ηλιοσύγχρονη τροχιά πρακτικά σημαίνει ότι ο δορυφόρος περνά κάθε μέρα την ίδια ώρα περίπου από τον ισημερινό (εικ.3.5). Βρίσκεται σε ύψος περίπου 800km και χρειάζεται 100min για μια περιστροφή, κατά τη διάρκεια της μέρας κινείται από βορρά προς νότο. Η περιστροφή της γης δείχνει το δορυφόρο να κινείται από ανατολή προς δύση με ταχύτητα ως προς το έδαφος 7km/s, καλύπτει όλη την επιφάνεια της γης περίπου σε τρεις μέρες μετά από 43 τροχιές και διασχίζει τον Ισημερινό 10:30π.μ. τοπική ώρα. Μια σάρωση του GOME αποτελείται από τέσσερις βασικούς τύπους pixel, East (E), Nadir (N), West (W) και Back scan (B). Κάθε φάσμα που

ολοκληρώνεται σε 1.5sec καλύπτει μια περιοχή στο έδαφος περίπου $40 \times 960 \text{Km}^2$ (Burrows et al., 1999) (εικ.3.6 και εικ.3.7).



Εικόνα 3.6: Ο GOME πάνω στον δορυφόρο ESA (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>).



Εικόνα 3.7: Δύο επιτυχείς σαρώσεις του GOME. Η προς τα εμπρός σάρωση αποτελείται από ένα ανατολικό (E), ένα ναδίρ (N) και ένα δυτικό (W) pixels και ακολουθείται από οπισθοσάρωση (B). (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>)

Είναι ένα Nadir φασματόμετρο, δηλαδή κοιτά την ατμόσφαιρα ακριβώς κάτω από το όργανο, παρατηρεί από το υπεριώδες ως το κοντινό υπέρυθρο, με φασματικό εύρος από 240nm ως 790nm, πράγμα που του επιτρέπει να κάνει παγκόσμιες παρατηρήσεις για το O_3 και άλλα αέρια (διοξείδιο του αζώτου (NO_2), μονοξείδιο του βρώμιου (BrO), διοξείδιο του χλωρίου (OCIO), διοξείδιο του θείου (SO_2) και υδρατμούς (H_2O)) μεγάλης σημασίας για την χημεία της τροπόσφαιρας. Επιπροσθέτως ο GOME-1 μπορεί να προσδιορίσει παραμέτρους όπως η γήινη ανακλαστικότητα, το ύψος της κορυφής των νεφών, την επιφάνεια των νεφών δηλαδή την κάλυψη από τα νέφη και οπτικές παραμέτρους των αερολυμάτων της ατμόσφαιρας.

Ο GOME-1 είναι ένας διπλός μονοχρωμάτορας που συνθέτει ένα πρίσμα και ένα ολογραφικό φράγμα περίθλασης, σε καθένα από τα τέσσερα οπτικά κανάλια του, για να διαχωρίσουν το φως. Η ηλιακή και η γήινη ακτινοβολία ανιχνεύονται από 4 πίνακες φωτοδίοδων που ο καθένας περιλαμβάνει 1024 εικονοστοιχεία. Η ανάλυση φάσματος που κάνει ο GOME-1 ποικίλει από 0.2nm για το UV στο κανάλι 1 ως 0.4nm στο κανάλι 4 για το ορατό. Ένα μέρος από το φως που πέφτει στο πρίσμα διαμοιράζεται σε τρεις συσκευές που καταγράφουν την πόλωση και προσεγγιστικά καλύπτουν το φάσμα των καναλιών 2 (300-400nm), 3 (400-600nm) και 4 (600-800nm). Αυτές οι συσκευές μετράνε την ποσότητα του φωτός σε μια καθορισμένη από το όργανο γωνία πόλωσης.

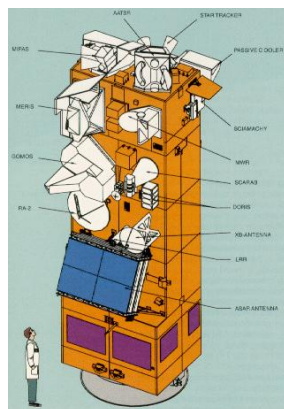
Η ακρίβεια μίας απλής μέτρησης του GOME για την τροποσφαιρική στήλη του NO₂ είναι περίπου $2.5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm² (Richter and Burrows, 2002) και για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO περίπου $6.0 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² (Wittrock, 2006).

3.2.4 Δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY

(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography)

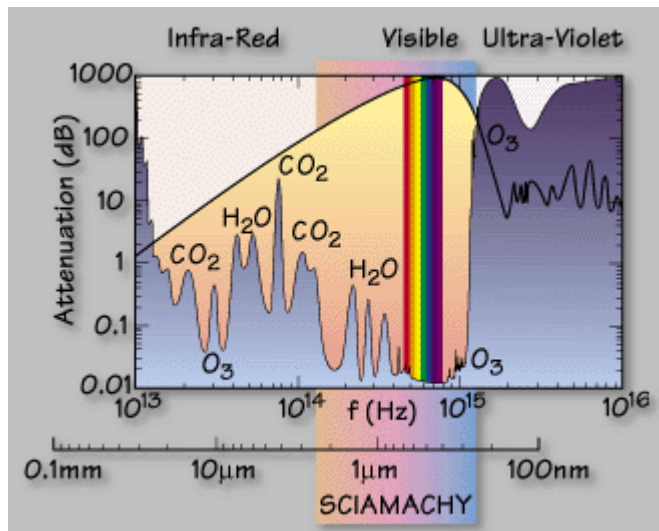


Εικόνα 3.8: Ο δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY επιβασμένος στον δορυφόρο Envisat (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/images/envisat2esrin.gif>)



Εικόνα 3.9: Ο δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/images/envisat2esrin.gif>)

Ο SCIAMACHY (εικ. 3.8 και 3.9), σχεδιάστηκε για να μετρήσει την ακτινοβολία, που εκπέμπεται, ανακλάται και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα της γης ή την επιφάνεια της, στο υπεριώδες, το ορατό και το κοντινό υπέρυθρο (εικ. 3.10) από 240nm ως 2380nm με ανάλυση φάσματος από 0.2nm ως 1.5nm. Ο λόγος της ηλιακής εισερχόμενης ακτινοβολίας προς την ακτινοβολία που προέρχεται από την ατμόσφαιρα της γης χρησιμοποιείται για να δώσει πληροφορίες για την κατανομή στην ατμόσφαιρα των O₃, BrO, OCIO, ClO, SO₂, HCHO, NO₂, CO, CO₂, CH₄, H₂O, N₂O, αερολυμάτων, καθώς επίσης για κάποια φυσικά φαινόμενα όπως είναι οι ανταλλαγές τροπόσφαιρας στρατόσφαιρας.



Εικόνα 3.10: Το φάσμα απορρόφησης της γήινης ατμόσφαιρας όπως παρατηρείται από τον SCIAMACHY. (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/instrument/introduction/index.html>)

Ο αισθητήρας SCIAMACHY τέθηκε σε τροχιά το 2002 στο δορυφόρο ENVISAT .

Οι παράμετροι της τροχιάς του παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικές παράμετροι της τροχιάς του δορυφόρου Envisat (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/instrument/mode/index.html>)

ENVISAT-1 Orbit

Τοπική ώρα	10:00
Inclination [deg]	98.55
Ακτίνα τροχιάς [km]	7159.5
Τροχιακή ταχύτητα [km/s]	7.45
Μέσο ύψος [km]	799.8
Τροχιές ανά μέρα [1/days]	14 11/35
Repeat cycle [days]	35
Περίοδος τροχιάς [min]	100.59

Το χαρακτηριστικό του SCIAMACHY που του δίνει πολύ μεγάλες δυνατότητες στις παραπάνω μετρήσεις είναι ότι χρησιμοποιεί συνδυασμό των γεωμετριών limb, nadir και occultation (εικ.3.3).

Με τη γεωμετρία nadir προσδιορίζεται η ολική ποσότητα κάποιου αερίου ή αερολύματος στην κολώνα καθώς επίσης και διάφορες παράμετρος της φυσικής νεφών. Το όργανο κοιτάζει κάτω από το δορυφόρο προς το έδαφος, όπως ο GOME και παίρνει μετρήσεις από το φως που σκεδάζεται από τη γήινη ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης, ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά, χρειάζεται και αυτός 100min για μια πλήρη περιστροφή και φαίνεται να κινείται από ανατολή προς δύση σε σχέση με την επιφάνεια της γης και επιτυγχάνει παγκόσμια κάλυψη σε 6 ημέρες. Κάθε σάρωση καλύπτει μια περιοχή 30Km x 960Km με ανάλυση 30Km x 60Km. Ο χρόνος

διάρκειας μίας σάρωσης είναι 4s και ακολουθείται από μία οπίσθια σάρωση που διαρκεί 1s.

Για να προσδιοριστεί η κατακόρυφη κατανομή του αερίου χρησιμοποιείται η γεωμετρία limb. Σε αυτή τη γεωμετρία εκτελεί scan 960Km κατά πλάτος και 3Km ύψος, ξεκινώντας από την επιφάνεια της γης ως το ύψος των 100Km.

Η εκτιμώμενη ακρίβεια της μίας μέτρησης στον προσδιορισμό της τροποσφαιρικής ποσότητας του NO₂ είναι $1.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² (Richter et al., 2002, Ladstätter-Weibenmayer et al., 2010, article in preparation) και για την HCHO περίπου $1.0 \cdot 10^{16}$ molecules/cm² (Wittrock, 2006).

Τόσο ο SCIAMACHY όσο και ο GOME χρησιμοποιούν την τεχνική της διαφορικής οπτικής φασματικής απορρόφησης, DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο DOAS που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Βρέμης (IUP Bremen DOAS algorithm).

Όταν η ακτινοβολία περνάει μέσα από ένα αέριο απορροφάται με τρόπο που καθορίζεται από το μήκος κύματος της σύμφωνα με το νόμο των Beer-Lambert.

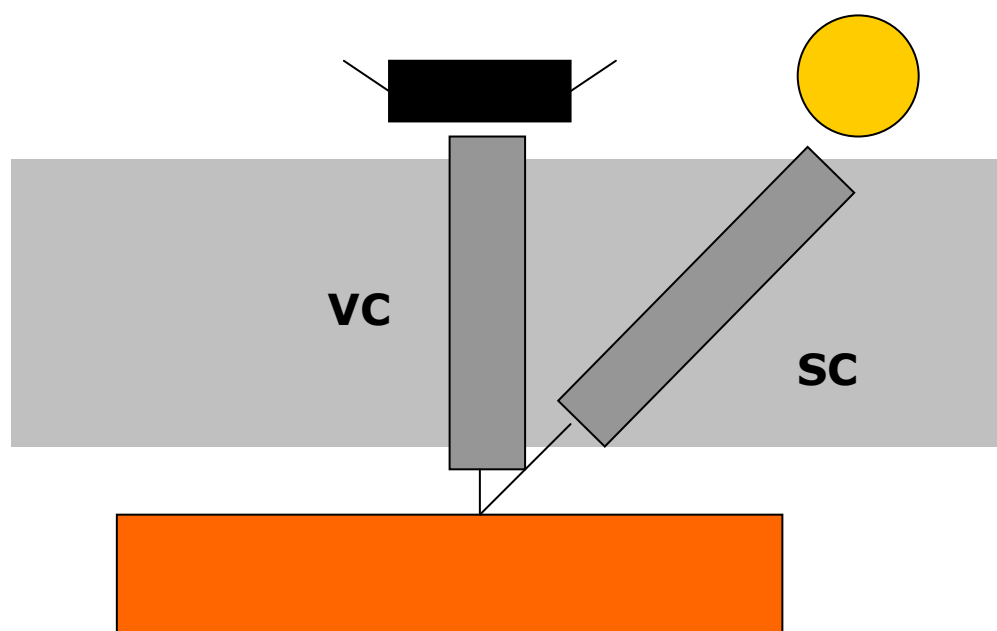
$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp(-s \rho \sigma(\lambda))$$

όπου I₀ είναι η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, s είναι το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας, ρ η αριθμητική πυκνότητα των μορίων που απορροφούν την ακτινοβολία και σ είναι η ενεργός διατομή απορρόφησης ακτινοβολίας σε ένα ορισμένο μήκος κύματος.

Η τεχνική DOAS λαμβάνει υπόψη της μόνο τις περιοχές του φάσματος που υφίστανται γραμμική απορρόφηση η οποία μεταβάλλεται ακαριαία με το μήκος κύματος, με σκοπό την αποφυγή συνυπολογισμού φαινομένων όπως η σκέδαση Rayleigh (σκέδαση ανάλογη του λ⁻⁴) και η σκέδαση Mie (σκέδαση ανάλογη του λ⁻¹). Το κλειδί της τεχνικής είναι ότι χωρίζει την ενεργό διατομή απορρόφησης σε ένα κομμάτι σ_i^B που αντιπροσωπεύει τα γενικά χαρακτηριστικά του φάσματος και μεταβάλλεται αργά καθώς το μήκος κύματος μεταβάλλεται και σε ένα άλλο κομμάτι σ_i^A που αντιπροσωπεύει τα ειδικά χαρακτηριστικά του φάσματος απορρόφησης του αερίου που μελετάται και μεταβάλλεται ραγδαία με τη μεταβολή του μήκους κύματος. Η τεχνική DOAS δεν χρησιμοποιεί την απόλυτη τιμή της απορρόφησης για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος αλλά την διαφορά ή το πηλίκο ανάμεσα σε απορροφήσεις γειτονικών μηκών κύματος θεωρώντας ότι γειτονικά μήκη κύματος παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά στη σκέδαση και στην τύρβη.

Τελικά προσδιορίζεται η πυκνότητα του απορροφητή κατά μήκος της διαδρομής του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα, η οποία όμως δεν είναι η κατακόρυφη ατμοσφαιρική στήλη αλλά η στήλη υπό γωνία (Slant Column)(Ladstätter-Weissenmayer et al., 2007, Wittrock, 2006).

Η επεξεργασία των μετρήσεων τόσο του GOME και του SCIAMACHY για τον προσδιορισμό της τροποσφαιρικής στήλης του NO_2 όσο και του GOME για τον προσδιορισμό της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO , από τις μετρήσεις συνολικής (στρατοσφαιρικής + τροποσφαιρικής) στήλης βασίζεται στην Tropospheric excess method (TEM),(Richter and Burrows, 2002, Richter et al., 2005). Η TEM βασίζεται στην παραδοχή ότι η στρατοσφαιρική στήλη του NO_2 είναι σχεδόν ανεξάρτητη του γεωγραφικού πλάτους και προσδιορίζει την τροποσφαιρική στήλη αφαιρώντας από την ολική ατμοσφαιρική στήλη του NO_2 στην περιοχή αναφοράς (π.χ. στην ανατολική Λεκάνη της Μεσογείου) την ολική στήλη του ίδιου αερίου μετρημένη στον Ατλαντικό ή στον Ειρηνικό σε περιοχή ίδιου γεωγραφικού πλάτους, θεωρώντας αυτή τη δεύτερη στήλη σαν χαρακτηριστική της ποσότητας του αερίου στη στρατόσφαιρα, προσανυξημένη με τις τιμές υποβάθρου της τροπόσφαιρας (Ladstätter-Weissenmayer et al., 2007).



Εικόνα 3.11: Η διαδρομή του φωτός κατά μήκος της SC (slant column) και κατακόρυφη ατμοσφαιρική στήλη VC (vertical column).

Κατόπιν ο προσδιορισμός της κατακόρυφης στήλης(εικ. 3.12), γίνεται με εφαρμογή του AMF (air mass factor), (Rozanov et al., 1997, Rozanov et al., 2000, Wittrock, 2006). Ο AMF προσδιορίζεται από υπολογισμούς μεταφοράς ακτινοβολίας που εμπεριέχουν πληροφορίες για τα ατμοσφαιρικά αερολύματα, την ανακλαστικότητα της γήινης επιφάνειας και την κατακόρυφη κατανομή του απορροφητή. Σε συνθήκες νέφωσης η δορυφορική ανίχνευση και καταγραφή των ενώσεων που μετρά ο κάθε αισθητήρας είναι αδύνατη οπότε επιλέγεται ένα κατώφλι νεφοκάλυψης περίπου γύρω στα 20% όπως προσδιορίζεται από τον αλγόριθμο FRESCO (Koelemeijer et al., 2001).

Ο υπολογισμός της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO από τις μετρήσεις του SCIAMACHY γίνεται μέσω του προσδιορισμού της κατακόρυφης κατανομής της όπως αναλυτικά περιγράφεται στην Διδακτορική Διατριβή του Wittrock, (2006).

3.2.5 Δορυφορικός αισθητήρας MOPITT (Measurements Of Pollution In The Troposphere)

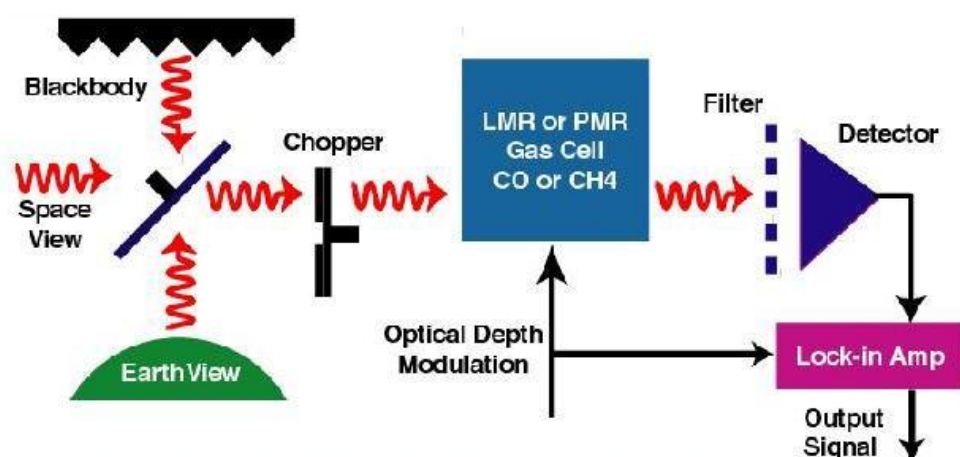


Εικόνα 3.12: Ο TERRA τοποθετείται στον πύραυλο
(<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>)

Ο MOPITT είναι ένας από τους πέντε δορυφορικούς αισθητήρες που έχουν επιβιβασθεί πάνω στο δορυφόρο TERRA της NASA το Δεκέμβριο του 1999, όμως ξεκίνησε να συλλέγει μετρήσεις μόλις τον Μάιο του 2000. Ο TERRA (εικ.3.12) ανήκει σε μία σειρά δορυφόρων που σκοπό τους έχουν να μελετήσουν την επιφάνεια της γης και τη γήινη ατμόσφαιρα, εκτελεί τροχιά από τους πόλους προς τον

ισημερινό, τον οποίο διασχίζει στις 10:30 πμ και επιτυγχάνει παγκόσμια κάλυψη σε τρεις μέρες. Ο MOPITT μετράει την χρονική και χωρική κατανομή του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και του μεθανίου (CH₄) στην ατμόσφαιρα ενώ παράλληλα έχει τη δυνατότητα να μετρήσει την κατακόρυφη κατανομή τους.

Ο αισθητήρας MOPITT είναι ένα φασματομέτρο συσχέτισης που χρησιμοποιεί γεωμετρία nadir και μετράει τρία μήκη κύματος της ακτινοβολίας που κατευθύνεται από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα. Το θερμικό κανάλι που μετράει στα 4.7μm προσδιορίζει την ποσότητα του CO σε κάθε στρώμα της ατμόσφαιρας, ενώ τα δύο ηλιακά κανάλια στα 2.3 μm και 2.2 μm (εικ.3.14) προσδιορίζουν τις τροποσφαιρικές στήλες των CO και CH₄ αντίστοιχα. Η οριζόντια χωρική ανάλυση του οργάνου είναι 22x22km ενώ η κατακόρυφη κυμαίνεται από 3km έως 5km. Η αναμενόμενη ακρίβεια στις μετρήσεις του MOPITT είναι περίπου 10% για την ατμοσφαιρική στήλη του CO και 1% για τη στήλη του CH₄ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/mopitt/mopitt.html>).



Εικόνα 3.13: Η διαδρομή την οποία ακολουθεί η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από ένα κελί το οποίο περιέχει CO ή CH₄. Το μήκος ή η πίεση του κελιού αυξομειώνονται κατάλληλα πράγμα που οδηγεί σε αυξομείωση της αδιαφάνειας του κελιού στις συχνότητες απορρόφησης του υπό μελέτη αερίου. (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>)

Το σήμα περνά μέσα από ένα κελί που περιέχει CO ή CH₄(εικ.3.13). Η πίεση ή το μήκος του κελιού αυξομειώνονται κατάλληλα πράγμα που οδηγεί σε αυξομείωση της αδιαφάνειας του κελιού στις συχνότητες απορρόφησης του υπό μελέτη αερίου.

Ο MOPITT χρησιμοποιεί ραδιομετρία συσχέτισης για την ανίχνευση του CO και του CH₄

Pressure Modulated Radiometer (PMR):

Αυτά τα κελιά λειτουργούν αλλάζοντας την πίεση του αερίου στο κελί χρησιμοποιώντας ένα πιστόνι. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι διαθέτουν λίγα κινητά

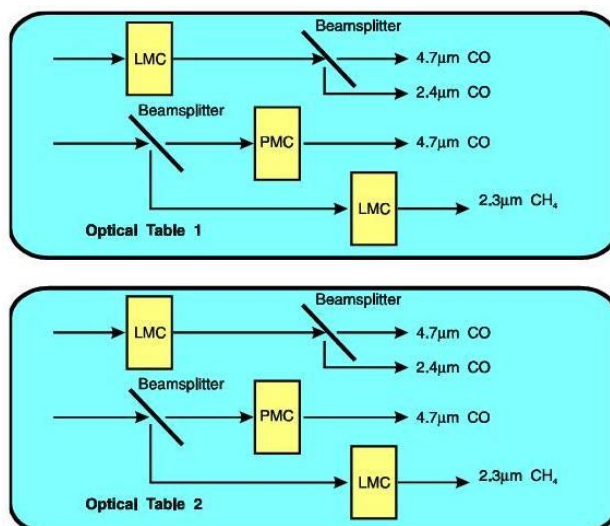
μέρη αλλά έχουν σαν μειονέκτημα ότι οι μεταβολές της πίεσης επιφέρουν μεταβολές θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την ευαισθησία του οργάνου στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Length Modulated Radiometer (LMR):

Αυτού του τύπου τα κελιά χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στον MOPITT, η λειτουργία τους βασίζεται στην αλλαγή του μήκους της διαδρομής που διασχίζει η ακτινοβολία μέσα στο αέριο αυξομειώνοντας την ποσότητα του αερίου.

Πλεονεκτήματα: Η συμπεριφορά της πίεσης, της θερμοκρασίας και του χρόνου είναι απλή και η πίεση μπορεί να πάρει υψηλότερες τιμές από ότι στα PMR.

Μειονέκτημα: Οπτικοί παράγοντες μεταβάλλονται και σε συνδυασμό με την μεταβολή της ποσότητας του αερίου το σύστημα οδηγείται σε δυναμικές ‘ανισορροπίες’.



Εικόνα 3.14: Ο MOPITT έχει 8 κανάλια που χωρίζονται σε δύο οπτικές ζώνες (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>).

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά των 8 καναλιών του MOPITT, (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>).

Κανάλι #	Ένωση	Τύπος διαμορφωτή	Πίεση κελιού (mb)	Θερμοκρασία κελιού (K)	Μήκος κελιού (mm)	Φασματική Ζώνη	Κεντρικός κυματαριθμός (cm ⁻¹)
1	CO	LMC1	200	300	2-10	CO thermal	2166
2	CO	LMC1	200	300	2-10	CO solar	4285
3	CO	PMC1	50-100	300	10	CO thermal	2166
4	CH ₄	LMC2	800	300	2-10	CH ₄ solar	4430
5	CO	LMC3	800	300	2-10	CO thermal	2166
6	CO	LMC3	800	300	2-10	CO solar	4285
7	CO	PMC2	25-50	300	10	CO thermal	2166
8	CH ₄	LMC4	800	300	2-10	CH ₄ solar	4430

Χρησιμοποιώντας PMR, LMR με διαφορετικές πιέσεις τελικά παίρνουμε πληροφορίες για την κατακόρυφη κατανομή του CO. Από τα σήματα υψηλής και χαμηλής αδιαφάνειας υπολογίζεται τόσο ο μέσος όρος όσο και η διαφορά, για κάθε κανάλι. Οι μέσοι όροι δίνουν πληροφορίες για το θόρυβο. Οι διαφορές των σημάτων δίνουν πληροφορίες για το υπό μελέτη αέριο.

3.2.6 Δορυφορικός αισθητήρας TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)

Οι μετρήσεις ολικού όζοντος διατίθενται από διάφορους δορυφόρους της NASA από το Νοέμβριο του 1978. Ο δορυφόρος Nimbus-7 μπήκε σε τροχιά από το Νοέμβριο του 1978 ως τον Απρίλιο του 1993, ο Meteor-3 από τον Αύγουστο του 1991 ως τον Νοέμβριο του 1994, ο Earth Probe από τον Ιούλιο του 1996 ως τον Δεκέμβριο του 2005 και ο OMI από τον Αύγουστο του 2004 έως σήμερα.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούμε δορυφορικά δεδομένα από το 1979 μέχρι το 2005, που προέρχονται από τον Nimbus-7 τον Meteor-3 και τον Earth Probe, ο τρόπος προσδιορισμού του τροποσφαιρικού όζοντος είναι κοινός για τους αισθητήρες TOMS που ευρίσκονται στους παραπάνω δορυφόρους.

Θα αναφερθούμε στον δορυφόρο Earth Probe που αρχικά τέθηκε σε τροχιά στα 540 Km υψόμετρο ως τον Δεκέμβριο του 1997 με σκοπό να παράγει αποτελέσματα υψηλής χωρικής ανάλυσης, ενώ από το Δεκέμβριο του 1997 λόγω της πτώσης του ADEOS ανέβηκε σε τροχιά 740 Km με στόχο την παγκόσμια κάλυψη.

Ο TOMS που ευρίσκεται στον δορυφόρο Earth Probe μετράει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την σκεδαζόμενη υπεριώδη ακτινοβολία. Αποτελείται από έναν σταθερό μονοχρωμάτορα με έξι σχισμές σε έξι μήκη κύματος του κοντινού υπεριώδους. Οι σχισμές είναι τριγωνικές με εύρος 1nm. Μετρήσεις σε διαφορετικά μήκη κύματος επιτυγχάνονται με τη βοήθεια ενός οδοντωτού τροχού. Καθώς αυτός περιστρέφεται, ανοίγματα που έχουν διαφορετικές αποστάσεις από το κέντρο του τροχού περνούν διαδοχικά μπροστά από τις σχισμές. Για να προσδιοριστεί το ολικό ατμοσφαιρικό όζον ο δορυφορικός αισθητήρας σαρώνει σε μια διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της τροχιάς του από 51° αριστερά έως 51° δεξιά της κατεύθυνσης του οργάνου, σε γεωμετρία nadir. Στο τέλος της σάρωσης ο καθρέπτης γρήγορα επανέρχεται στην αρχική του θέση χωρίς να σαρώνει στην επιστροφή. Η χρονική διάρκεια κάθε σάρωσης είναι 7.8 s.

Η περίοδος της τροχιάς του είναι 99.6 λεπτά και η κλίση του (inclination) 98.385° και το πεδίο όρασης στο nadir είναι 39km γεωγραφικού μήκους x 39km γεωγραφικού πλάτους. Επιτυγχάνει σχεδόν παγκόσμια κάλυψη σε μια μέρα και διασχίζει τον Ισημερινό στις 11:15 πμ. Η γεωγραφική ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι 1° γεωγραφικό πλάτος x 1.25° γεωγραφικό μήκος. Έχει έξι οπτικές ζώνες που η καθεμία αντιστοιχεί στα παρακάτω μήκη κύματος:

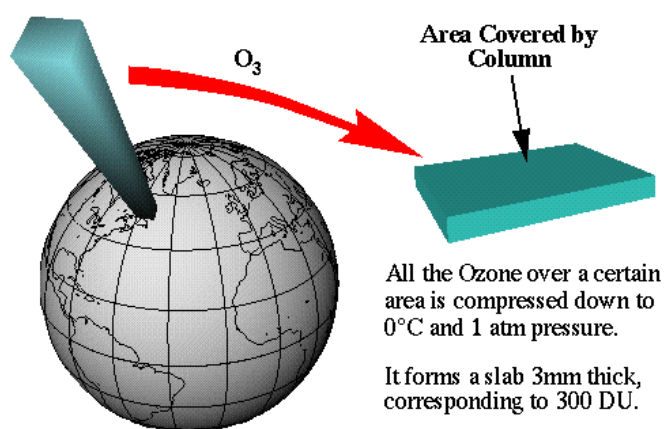
Zώνη 1	(360+/-0.2nm)
Zώνη 2	(331+/-0.1nm)
Zώνη 3	(322.3+/- 0.1nm)
Zώνη 4	(317.5+/-0.1nm)
Zώνη 5	(312.5+/-0.1nm)
Zώνη 6	(308.6+/-0.1nm)

Προσδιορισμός τροποσφαιρικού όζοντος:

Χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις ολικού όζοντος που πραγματοποιούνται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και προφίλ στρατοσφαιρικού όζοντος όπως αυτά προσδιορίζονται από τα όργανα SBUV (Solar Backscattered Ultra Violet) που μετρούν την ηλιακή οπισθοσκεδαζόμενη υπεριώδη ακτινοβολία, μπορεί να προσδιοριστεί το τροποσφαιρικό όζον σε ημερήσια βάση. Η δυσκολία της μεθόδου έγκειται στο ότι το τροποσφαιρικό όζον αποτελεί το 5 ως 15% του ολικού όζοντος με

αποτέλεσμα ένα μικρό λάθος στον προσδιορισμό του στρατοσφαιρικού όζοντος να προκαλέσει μεγάλη διαφοροποίηση στην εκτίμηση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος. Το σφάλμα του δορυφόρου είναι της τάξεως του 13% μια τις μέσες μηνιαίες τιμές (Fishmann et al., 2003) που πρακτικά αντιστοιχεί περίπου σε 4DU. Κατακόρυφες κατανομές όζοντος πραγματοποιούνται από όργανα οπισθοσκεδαζόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας όπως τα BUUV, SBUV, SBUV/2 από το 1970 ως σήμερα. Τα όργανα αυτά ακολουθούν γεωμετρία nadir και πραγματοποιούν μετρήσεις ακτινοβολίας σε δώδεκα μήκη κύματος και εκτελώντας 14 τροχιές κάθε μέρα, παρέχουν παγκόσμια κάλυψη σε 5 μέρες.

Τα αποτελέσματα των δορυφορικών μετρήσεων αναφορικά με το όζον δίνονται σε μονάδες Dobson. Η μονάδα Dobson (εικ.3.15) ορίζεται ως εξής: Αν όλο το όζον της ατμοσφαιρικής στήλης συμπιεζόταν σε κανονικές συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία 0°C και πίεση μία ατμόσφαιρα θα είχε ύψος περίπου 3mm. Έτσι 1Dobson Unit είναι το όζον που αντιστοιχεί σε στρώμα πάχους 0.01mm, ($1DU=2.69 \cdot 10^{16}$ molecules/cm²)



Εικόνα 3.15: Η εικόνα δείχνει μια στήλη αέρα 10°x5°, στον Καναδά. Αν όλη η ατμοσφαιρική στήλη συμπιεστεί σε κανονικές συνθήκες δημιουργεί μια πλάκα ύψους 3mm που αντιστοιχεί περίπου σε 300DU όζοντος.

3.2.7 Ανάλυση Δορυφορικών δεδομένων

Στην παρούσα μελέτη πήραμε τα δορυφορικά δεδομένα στην υψηλότερη ανάλυση που ήταν διαθέσιμα και μετατρέψαμε την ανάλυσή τους σε άλλες χαμηλότερες που εξυπηρετήσαν τους σκοπούς μας.

Για να γίνουμε πιο σαφείς, αναφορικά με τα δεδομένα τηλεπισκόπησης του NO₂ και της HCHO από τους αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, αρχικά ανακτήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές τους λόγω της συνεργασίας μας με το Πανεπιστήμιο της Βρέμης σε ανάλυση ανά 0.125° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 0.125° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση 0.125° x 0.125°). Η ανάλυση αυτή μετατράπηκε σε 0.25° x 0.25° και σε 6° x 4° (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος). Η ανάλυση 0.25° x 0.25° στο εξής θα καλείται υψηλή ανάλυση και η ανάλυση 6° x 4° θα καλείται χαμηλή ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων του NO₂ και της HCHO. Αναφερόμαστε στα δορυφορικά δεδομένα α) GOME-NO₂, version 2, b) GOME-HCHO, version 0.9, c) SCIAMACHY –NO₂, version 0.7, d) SCIAMACHY-HCHO, version 1.0.

Αντίστοιχα τα δορυφορικά δεδομένα για την ολική ατμοσφαιρική στήλη του CO από τον MOPITT (Version 3), είναι δημοσιευμένα στο δια-δίκτυο (<ftp://14ftl01.larc.nasa.gov/MOPITT/MOP03M.003/>), με ανάλυση μέσω μηνιαίων τιμών ανά 1° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 1° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση 1° x 1°), που στο εξής θα καλείται από εμάς υψηλή ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων του CO την οποία μετατρέψαμε επίσης σε ανάλυση 6° x 4° (χαμηλή ανάλυση). Σαν υψηλή ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων όζοντος από τον TOMS (http://asd-www.larc.nasa.gov/TOR/TOR_Data_and_Images.html) χρησιμοποιήσαμε τα δορυφορικά δεδομένα TOMS/SBUV TOR DATA PRODUCTS που ήταν διαθέσιμα στο διαδίκτυο σε ανάλυση ανά 1.25° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 1° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση 1.25° x 1°), την οποία μετατρέψαμε επίσης στην χαμηλή ανάλυση 6° x 4°.

Χρησιμοποιήσαμε τα δορυφορικά δεδομένα στις υψηλές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της εποχικής διακύμανσης, της διαχρονικής μεταβλητότητας και των διαχρονικών τάσεων των τροποσφαιρικών ποσοτήτων του NO₂, της HCHO, του O₃ και της ολικής ατμοσφαιρικής ποσότητας του CO, όπως αναλύονται στο Κεφάλαιο 4. Η χαμηλή ανάλυση χρησίμευσε στην σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με το

τριδιάστατο μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.

3.2.8 Πηγές σφαλμάτων

Κατά των προσδιορισμό των τροποσφαιρικών ποσοτήτων NO₂ και HCHO και O₃ η της ολικής ατμοσφαιρικής ποσότητας CO, υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα, των οποίων θα δώσουμε συνοπτική περιγραφή.

A) Τα τυχαία σφάλματα προσδιορίζονται από την ένταση του σήματος και το σθένος της απορρόφησης της ακτινοβολίας, είναι τα μικρότερα δυνατά σφάλματα και η αβεβαιότητα που εισάγουν μικραίνει αθροίζοντας στο χώρο και στο χρόνο.

B) Τα σφάλματα που εισάγει ο AMF (air mass factor) στην τεχνική DOAS, ο παράγοντας που συντελεί στη μετατροπή των στηλών που αντιστοιχούν στη διαδρομή του φωτός σε κατακόρυφες στήλες. Αυτά σχετίζονται με τα δεδομένα εισόδου στην αριθμητική προσομοίωση που εκτελεί τη μετατροπή και όχι τόσο με τις εκτιμήσεις του μήκους της φωτεινής διαδρομής, δηλαδή με πληροφορίες σχετικές με την επιφάνεια της γης, με την ανακλαστικότητα, με τη νέφωση, τη συνολική ποσότητα και το προφίλ των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων, καθώς επίσης και με το προφίλ του ίδιου του απορροφητή. Τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα είναι συστηματικά οπότε αθροίζοντας στο χώρο και στο χρόνο δεν εξαλείφονται.

Γ) Τα σφάλματα που σχετίζονται με την αδυναμία προσδιορισμού της απόλυτης τιμής του απορροφητή (offset errors). Αντιμετωπίζονται με κανονικοποίηση της ατμοσφαιρικής ή της τροποσφαιρικής στήλης σε σχέση με μία άλλη της οποίας η τιμή θεωρείται γνωστή από μετρήσεις.

Δ) Σφάλματα συσχέτισης που προκύπτουν για παράδειγμα από τις συσχετίσεις του φάσματος απορρόφησης του απορροφητή του ενδιαφέροντος μας με τη βαθμονόμηση του οργάνου και τις ενεργούς διατομές απορρόφησης άλλων ενώσεων.

E) Άλλα συστηματικά σφάλματα, όπως είναι η θερμοκρασιακή εξάρτηση της ενεργού διατομής απορρόφησης και οι ανακρίβειες που υπεισέρχονται στον προσδιορισμό της απόλυτης τιμής της καθώς επίσης μεταβολές της πίεσης που επιφέρουν μεταβολές θερμοκρασίας. Οπτικοί παράγοντες που μεταβάλλονται και σε συνδυασμό με την μεταβολή της ποσότητας του αερίου οδηγούν τα κελιά LMR του MOPITT σε δυναμικές ‘ανισοροπίες’.

ΣΤ) Η Ανατολική Μεσόγειος είναι μια περιοχή μεταξύ μέσων και τροπικών γεωγραφικών πλατών, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα έντονες διακυμάνσεις του ύψους της τροπόσφαιρας. Αυτό καθιστά πιο δύσκολη την εφαρμογή της μεθόδου τροποσφαιρικής περίσσειας TEM (Tropospheric excess method) στην περιοχή συγκριτικά με άλλες περιοχές όπου το ύψος της τροπόσφαιρας δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις.

3.2.9 Προσδιορισμός σφάλματων

Θα δώσουμε ένα παράδειγμα πώς υπολογίζουμε το εύρος του σφάλματος για τα δορυφορικά δεδομένα χαμηλής ανάλυσης.

Για ένα εικονοστοιχείο (pixel) μέτρησης $30 \times 60 \text{ km}^2$ του δορυφορικού αισθητήρα SCIAMACHY το όριο ανίχνευσης στην μέτρηση της HCHO είναι περίπου 10^{16} molecules/cm². Κάνοντας μια χονδρική εκτίμηση του σφάλματος των μέσων μηνιαίων τιμών στην τροποσφαιρική στήλη της HCHO σε μια περιοχή γεωγραφικής ανάλυσης $6^\circ \times 4^\circ$ το σφάλμα αυτό θα γίνει σημαντικά μικρότερο, περίπου $5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm². Πράγματι αν θεωρήσουμε ότι μία περιοχή γεωγραφικής ανάλυσης ανά 6° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 4° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση $6^\circ \times 4^\circ$) καταλαμβάνει έκταση περίπου $600 \text{ km} \times 400 \text{ km}$ (γεωγραφικό μήκος \times γεωγραφικό πλάτος) μέσα σε αυτήν χωράνε γύρω στις 130 σαρώσεις του SCIAMACHY, αν επιπρόσθετα λάβουμε υπόψη μας ότι κατά μέσο όρο ο SCIAMACHY εκτελεί περίπου 4 περάσματα τον μήνα πάνω από μία τοποθεσία στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, τότε στην περιοχή της γεωγραφικής ανάλυσης του ενδιαφέροντος μας έχουμε περίπου 520 μετρήσεις σε μηνιαία βάση. Διαιρώντας το σφάλμα της μίας μέτρησης δια την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε ένα μήνα παίρνουμε το σφάλμα των μέσων μηνιαίων τιμών.

Το σφάλμα αυτό, περίπου $5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm², είναι γενικά μικρότερο από τις μετρούμενες τιμές στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και αυτός είναι ένας λόγος που συντέλεσε στην επιλογή της γεωγραφικής ευκρίνειας που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα μελέτη.

Ωστόσο δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι αυτός ο τρόπος προσδιορισμού σφάλματος είναι χονδρικός, δηλαδή δεν λαμβάνει υπόψη του παράγοντες που θα συντελέσουν στην αύξηση του σφάλματος όπως για παράδειγμα είναι τα σύννεφα. Αν υπάρχουν νεφώσεις αυτές θα επηρεάσουν τόσο τον αριθμό των αποδεκτών μετρήσεων όσο και την ποιότητα τους αυξάνοντας την πιθανότητα κάποιες από αυτές να μην είναι

αποδεκτές, οπότε οι 520 μετρήσεις που αναφέραμε σε μηνιαία βάση για τον SCIAMACHY μπορεί να γίνουν τελικά πολύ λιγότερες.

Χονδρικές εκτιμήσεις των σφαλμάτων των μέσων μηνιαίων τιμών των ποσοτήτων του ενδιαφέροντος μας, που υπολογίζονται με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, λαμβάνοντας υπόψη μας ότι ο GOME εκτελεί περίπου 10 περάσματα ανά μήνα πάνω από την περιοχή μας, φαίνονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Εκτιμήσεις των σφαλμάτων των μέσων μηνιαίων τιμών των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος, της φορμαλδεΐδης, του διοξειδίου του αζώτου και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, σε ανάλυση $6^{\circ} \times 4^{\circ}$ (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος).

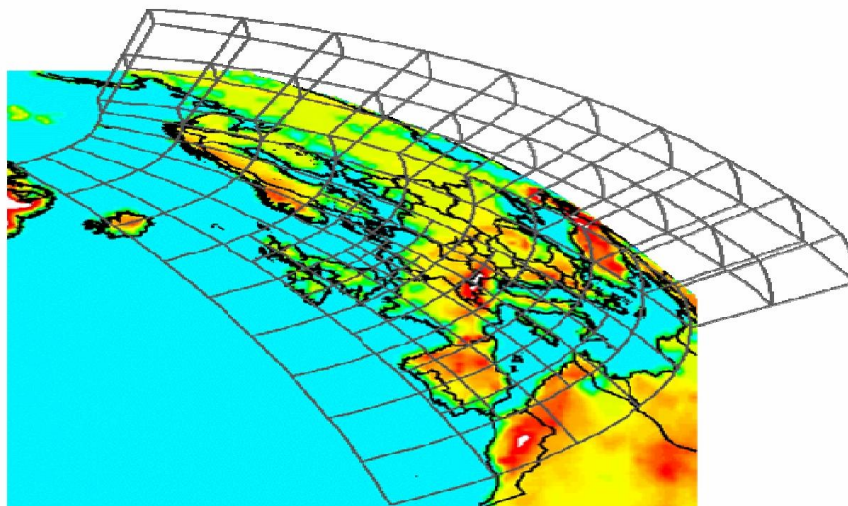
Ένωση / Αισθητήρας	Ακρίβεια μέσης μηνιαίας τιμής / Υψηλή Ανάλυση \leq	Ακρίβεια μέσης μηνιαίας τιμής / Χαμηλή Ανάλυση \leq
O ₃ / TOMS	13%	3%
CO / MOPITT	10%	2%
HCHO / GOME	$6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm ²	$5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm ²
HCHO / SCIAMACHY	10^{16} molecules/cm ²	$5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm ²
NO ₂ / GOME	$2.5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm ²	$2 \cdot 10^{14}$ molecules/cm ²
NO ₂ / SCIAMACHY	$1.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm ²	$7 \cdot 10^{13}$ molecules/cm ²

Για τα δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης τροποσφαιρικού όζοντος και ολικού ατμοσφαιρικού μονοξειδίου του άνθρακα, το σφάλμα που υπεισέρχεται στον προσδιορισμό των μέσων μηνιαίων τιμών τους έχει υπολογιστεί για το όζον γύρω στα 13% (Fischman et al., 2003) και για το μονοξείδιο του άνθρακα περίπου 10% όπως αναφέρεται στην βάση δεδομένων του MOPITT (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/data/index.html>), Βάση αυτών των σφαλμάτων προσδιορίζονται οι τιμές 3%, 2% -στην χαμηλή ανάλυση $6^{\circ} \times 4^{\circ}$ - που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3, αντίστοιχα.

Ωστόσο για την υψηλή ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων της HCHO και NO₂ που είναι $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ και γεωγραφικά καλύπτει μια έκταση της τάξεως των 25Km x 25Km το σφάλμα των μέσων μηνιαίων τιμών είναι μεγάλο, καθώς η γεωγραφική περιοχή αυτή είναι μικρότερη από το εμβάδόν που αντιστοιχεί στην μία σάρωση μέτρησης του αισθητήρα. Η περιοχή αυτή χονδρικά είναι 3 φορές μικρότερη από την περιοχή της μίας σάρωσης του SCIAMACHY και 15 φορές μικρότερη από την περιοχή της μίας σάρωσης του GOME. Ωστόσο ο SCIAMACHY εκτελεί περίπου 4 περάσματα από την περιοχή μας ανά μήνα ενώ ο GOME περίπου 10, οπότε δεν θα ήταν τεράστιο λάθος – στα πλαίσια μιας χονδρικής εκτίμησης- να αποδώσουμε σφάλμα στις μέσες μηνιαίες τιμές υψηλής ανάλυσης αντίστοιχο με το σφάλμα της

μίας μέτρησης. Ωστόσο για την HCHO παραμένει συγκρίσιμο με τις τιμές της στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

3.3 Το παγκόσμιο Μοντέλο TM4



Εικόνα 3.16: Διαχωρισμός της ατμόσφαιρας σε κουτιά στα Tracer Models (TM)

Το TM4 ανήκει στην οικογένεια των τρισδιάστατων παγκόσμιων μοντέλων χημείας και μεταφοράς (CTM-Chemistry Transport Model). Τα TM –Tracer Models- χαρακτηρίζονται ως ‘off-line’ μοντέλα γιατί δεν υπολογίζουν τη μετεωρολογία αλλά την εισάγουν από διαθέσιμα αρχεία, έτσι επιτυγχάνεται εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου. Τα μοντέλα χημείας και μεταφοράς επιλύουν ένα μεγάλο αριθμό διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, όπως εκπομπές ενώσεων από επιφανειακές πηγές, μετατροπή ενώσεων λόγω χημικών διεργασιών, απομάκρυνση λόγω υγρής ή ξηρής εναπόθεσης ή ακόμα και κατακρήμνισης, καθώς και μεταφοράς σε άλλες περιοχές της ατμόσφαιρας. Για τον υπολογισμό των παραπάνω διεργασιών το μοντέλο διαιρεί την ατμόσφαιρα σε κουτιά στα οποία η κάθε διεργασία υπολογίζεται ξεχωριστά, ενώ τα κουτιά επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της μεταφοράς αερίων μαζών (εικόνα3.16).

Το TM4 έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί υπολογισμούς σε δύο γεωγραφικές αναλύσεις (υψηλή και χαμηλή). Στην υψηλή ανάλυση το μοντέλο διαιρεί την ατμόσφαιρα σε κουτιά διάστασης ανά 3° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 2° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση $3^\circ \times 2^\circ$). Το χρονικό βήμα για την επίλυση των διεργασιών σε αυτή την ανάλυση είναι 30min. Η χαμηλή ανάλυση του μοντέλου είναι

ανά 6° στο γεωγραφικό μήκος και ανά 4° στο γεωγραφικό πλάτος (ανάλυση 6° x 4°) και χρησιμοποιεί χρονικό βήμα 60min. Τόσο στην υψηλή όσο και στην χαμηλή ανάλυση το TM4 διαχωρίζει την ατμόσφαιρα σε 31 κατακόρυφα επίπεδα. Το κέντρο του ψηλότερου κουτιού βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση 10hPa (1 hPa=10⁻³Atm). Οι παραπάνω αναλύσεις διαιρούν την ατμόσφαιρα σε 334800 κουτιά η υψηλή και 55800 η χαμηλή. Στους πόλους υπάρχει μόνο ένα κυκλικό κουτί με ακτίνα όση είναι η ανάλυση σε γεωγραφικό πλάτος. Τα κατακόρυφα επίπεδα δεν έχουν σταθερό ύψος αλλά είναι υβρίδια μεταξύ ισοβαρών και ισοϋψών επιπέδων και με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται υπόψη η ορογραφία της εκάστοτε περιοχής (Μυριοκεφαλιτάκης, Διδακτορική Διατριβή, 2009). Σε δεδομένο υψόμετρο το ύψος του κουτιού είναι μεγαλύτερο πάνω από θάλασσα συγκριτικά με το ύψος του πάνω από μία οροσειρά. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήσαμε την χαμηλή ανάλυση του μοντέλου. Ο κύριος λόγος αυτής της επιλογής είναι ότι καθώς τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων του TM4 συγκρίθηκαν με δορυφορικές μετρήσεις έπρεπε η ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων να είναι χαμηλή ώστε να επιτρέπει τον προσδιορισμό των τιμών τους με ικανοποιητική ακρίβεια όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.2.9.

3.3.1 Δομή του μοντέλου TM4

Το μοντέλο TM4 (Myriokefalitakis et al., 2008), τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του οποίου επεξεργαζόμαστε, είναι γραμμένο σε γλώσσα Fortran και αποτελεί εξέλιξη των προγενέστερων εκδόσεων του μοντέλου TM2 (Heinman, 1993) και του TM3 (Tsigaridis and Kanakidou, 2003). Οι προσομοιώσεις εκτελούνται για το διάστημα ενός μήνα στο τέλος του οποίου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα.

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης το μοντέλο ρυθμίζει τις παραμέτρους οι οποίες παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπως είναι η ανάλυση του μοντέλου, το χρονικό βήμα κατά το οποίο θα επαναλαμβάνει την κάθε υπολογιζόμενη διεργασία και άλλες πληροφορίες όπως είναι το ποσοστό επικάλυψης κάθε επιφανειακού κουτιού από στεριά, από πάγο, από δάση κ.α. Ακολούθως ρυθμίζονται οι χρονικές παράμετροι και το μοντέλο ανοίγει τα αρχεία τα οποία χρησιμοποιεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης όπως είναι τα μετεωρολογικά αρχεία και τα αρχεία εκπομπών. Κατά την έναρξη της προσομοίωσης εκτελείται ο υπολογισμός της κίνησης των αερίων μαζών και το μοντέλο διορθώνει την ποσότητα

της μάζας αέρα σε κάθε κουτί ώστε να μην εισάγονται ασυνέχειες στους υπολογισμούς. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται από μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς εξομοιωμένες από το μετεωρολογικό μοντέλο ECMWF (Gibson et al., 1997). Με βάση τα δεδομένα αυτά το TM4 υπολογίζει τη μάζα αέρα σε κάθε κουτί, την μεταφορά αέριων μαζών από ένα κουτί σε άλλο, τα όρια των νεφών, τις εκπομπές NO_x από κεραυνούς και την πυκνότητα του αέρα σε κάθε κουτί.

3.3.2 Εκπομπές

Το μοντέλο TM4 διαβάζει χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενες ανθρωπογενείς και φυσικές εκπομπές του μονοξειδίου (NO) και των οξειδίων (NO_x) του αζώτου, της αμμωνίας (NH₃), των οξειδίων του θείου (SO_x), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των ανθρωπογενών και βιογενών μη μεθανικών υδρογονανθράκων. Επίσης λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές θαλάσσιου άλατος και σκόνης. Οι εκπομπές επιδρούν στις συγκεντρώσεις των ενώσεων σε κάθε χρονικό βήμα.

Αναφορικά με τις εκπομπές αέριας φάσης, το μοντέλο διαβάζει εκπομπές για το έτος 2000 από τη βάση δεδομένων POET (Oliver et al., 2003). Η παραπάνω βάση δεδομένων παρέχει εκπομπές σε ανάλυση 1° x 1° για τα οξείδια του αζώτου (NO_x), για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), καθώς και εκπομπές μη μεθανικών πτητικών οργανικών ενώσεων (NMVOC) οι οποίες συμπεριλαμβάνουν αλκάνια (C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀ κ.α.), αλκένια (C₂H₄, C₃H₆), το ακετυλένιο (C₂H₂), αλκοόλες (CH₃OH, C₂H₅OH και βαρύτερες αλκοόλες), αρωματικές ενώσεις (βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο), αλδεΐδες (HCHO, CH₃CHO και βαρύτερες αλδεΐδες) και κετόνες (CH₃COCH₃, CH₃COC₂H₅ και βαρύτερες κετόνες), καθώς και βιογενείς εκπομπές του ισοπρενίου και των μονοτερπενίων.

Το μοντέλο διαβάζει επίσης την επιφανειακή κατανομή του μεθανίου (CH₄) όπως υπολογίστηκε για το έτος 1984 από τους Dentener et al. (2003), που αντιστοιχεί σε μέση επιφανειακή συγκέντρωση 1.69 ppm. Η επιφανειακή αυτή κατανομή αλλάζει ανάλογα με τη χρονιά προσομοίωσης ακολουθώντας τη μετρηθείσα αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα και χρησιμοποιώντας σαν έτος αναφοράς το 1984.

Ο χημικός κώδικας του TM4 επικεντρώνεται στη τροπόσφαιρα με αποτέλεσμα να μην περιγράφεται ικανοποιητικά η χημεία του στρατοσφαιρικού όζοντος. Για τον παραπάνω λόγο το όζον στα τρία ψηλότερα επίπεδα του μοντέλου ρυθμίζεται

σύμφωνα με τις μέσες μηνιαίες παρατηρήσεις των δορυφορικών οργάνων SCIAMACHY και GOME.

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές πρωτογενών ανθρακούχων σωματιδίων οι οποίες διαχωρίζονται σε πρωτογενείς εκπομπές οργανικών σωματιδίων (POA) και σωματιδίων μαύρου άνθρακα (BC). Οι ανθρωπογενείς εκπομπές των POA και BC, προέρχονται από την εργασία των Ito and Penner, (2005). Οι πηγές τους από καύσεις βιομάζας προέρχονται από το Global Fire Emissions Database version 2 (Van Der Werf et al., 2006).

Για την αναλυτική μελέτη της χημείας σε θαλάσσιο περιβάλλον λήφθηκαν υπόψη και οι εκπομπές από τη Θάλασσα, συμπεριλήφθηκαν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του αιθανίου (C₂H₆), του αιθενίου (C₂H₄), του προπανίου (C₃H₈), του προπενίου (C₃H₆), από τη βάση δεδομένων POET. Επίσης συμπεριλήφθηκαν οι εκπομπές του ακετυλενίου (C₂H₂), στη βάση της εργασίας των Kanakidou et al., (1998). Ακόμα λαμβάνονται υπόψη εκπομπές του διμεθυλοσοθλφιδίου (DMS), αλλά και ισοπρενίου και μονοτερπενίων τα οποία εκπέμπονται από τη θάλασσα λόγω θαλάσσιας παραγωγικότητας, η οποία παραμετροποιείται βάση των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης. Οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης εισάγονται στο μοντέλο από δορυφορικές παρατηρήσεις των αισθητήρων MODIS ή SeaWiFS, ενώ οι συγκεντρώσεις ισοπρενίου και μονοτερπενίων στο νερό της θάλασσας θεωρούνται ανάλογες των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης (Myriokefalitakis, 2009)

3.3.3 Μέσες κινήσεις αέριων μαζών

Η προσομοίωση της μεταφοράς των μαζών πραγματοποιείται με το διαχωρισμό της κίνησης τους σε τρεις διαστάσεις. Για τη διατήρηση του ισοζυγίου της μάζας, το μοντέλο μετά τον υπολογισμό της μεταφοράς των αέριων μαζών, υπολογίζει ξανά το ισοζύγιο της μάζας του αέρα σε κάθε κουτί. Αποδεκτή διαφορά μάζας στο ισοζύγιο κάθε κουτιού είναι μικρότερη από 0.01%.

3.3.4 Χημεία και επίλυση της

Αφού υπολογιστούν οι μέσες κινήσεις των αέριων μαζών για κάθε κουτί του μοντέλου, αρχίζει ο υπολογισμός της μεταβολής των συγκεντρώσεων των ενώσεων λόγω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνει υπόψη του το μοντέλο. Ο υπολογισμός της χημικής παραγωγής ή κατανάλωσης των ενώσεων πραγματοποιείται σε όλες τις φάσεις (αέρια, υγρή, σωματιδιακή).

Πριν υπολογιστεί η μεταβολή των συγκεντρώσεων λόγω χημείας, το μοντέλο υπολογίζει όλες εκείνες τις παραμέτρους που θα χρειαστούν για τον υπολογισμό της χημείας. Αρχικά υπολογίζονται οι σταθερές φωτοδιάσπασης για συγκεκριμένες ενώσεις. Για το συγκεκριμένο υπολογισμό απαιτείται να καθοριστούν διάφοροι παράγοντες που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, όπως το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας, η στήλη του όζοντος και η γωνία ζενίθ του ήλιου σε κάθε κουτί. Έπειτα, υπολογίζονται οι σταθερές των θερμικών αντιδράσεων βάση της θερμοκρασίας και της πίεσης κάθε κουτιού.

Κατόπιν γίνεται ο υπολογισμός των διαφόρων νέων συγκεντρώσεων λόγω της επίδρασης της χημείας, πρώτα λόγω αντιδράσεων στην υγρή φάση, έπειτα στην αέρια φάση και τέλος στη σωματιδιακή. Αμέσως μετά υπολογίζονται ξανά οι συγκεντρώσεις όλων των δραστικών αζωτούχων ενώσεων που λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο για την αποφυγή απώλειας μάζας αζώτου κατά τους υπολογισμούς. Τα οξείδια του αζώτου ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{N}_2\text{O}_5 + \text{HNO}_4$) λόγω του μικρού χρόνου ζωής τους και της γρήγορης αλληλομετατροπής τους θεωρούνται σαν μία χημική οικογένεια ενώσεων που μπορεί να μεταφερθεί από κουτί σε κουτί σαν ομάδα αλλά όχι καθένα ξεχωριστά.

Υπολογίζεται η ποσότητα στρατοσφαιρικού όζοντος σε κάθε κουτί. Στρατοσφαιρικό χαρακτηρίζεται το όζον που παράγεται μόνο από το οξυγόνο $\text{O}(^3\text{P})$ στην στρατόσφαιρα. Στα τρία ανώτερα επίπεδα του μοντέλου όλο το όζον χαρακτηρίζεται σαν στρατοσφαιρικό, ενώ στα άλλα επίπεδα στρατοσφαιρικό όζον χαρακτηρίζεται η ποσότητα του όζοντος που μεταφέρεται από την στρατόσφαιρα και παραμένει στην τροπόσφαιρα μετά από τη φωτοδιάσπαση μέρους του.

Μετά τον υπολογισμό της χημείας και συνεπώς των νέων συγκεντρώσεων το μοντέλο ελέγχει τις αρνητικές συγκεντρώσεις σε κάθε κουτί. Για μη μεταφερόμενες χημικές ενώσεις (ενώσεις με μικρό χρόνο ζωής) όπως είναι για παράδειγμα οι αλκόξυ ρίζες το μοντέλο απλώς μηδενίζει τις συγκεντρώσεις που πιθανόν να έχουν αρνητική τιμή αφού με αυτόν τον τρόπο δεν θα εισαχθεί ασυνέχεια στους υπολογισμούς, όμως για τις μεταφερόμενες χημικές ενώσεις έστω και μία αρνητική τιμή να υπολογιστεί η προσομοίωση τερματίζεται αμέσως.

Οι διαφορικές κινητικές εξισώσεις ενός χημικού συστήματος μπορούν να γραφούν ως:

$$\frac{dC_i}{dt} = P_i - L_i C_i \quad i=1, \dots, nc \quad (3-1)$$

όπου P_i και L_i αντιπροσωπεύουν τη χημική παραγωγή (συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών) και τη χημική κατανάλωση αντίστοιχα. Ο όρος nc δείχνει τον αριθμό των ενώσεων, ενώ ο C_i αντιπροσωπεύει την συγκέντρωση της αντίστοιχής ένωσης.

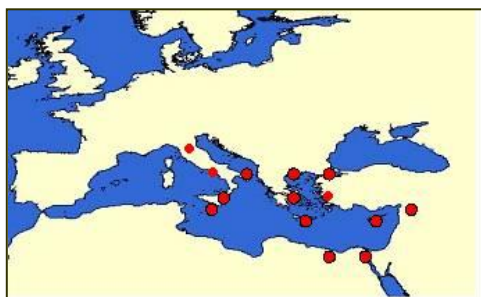
Η αριθμητική προσέγγιση που χρησιμοποιεί το TM4, βασίζεται στην επαναληπτική λύση της ανάστροφης προσέγγισης του Euler (Backward Euler Approximation) όπως περιγράφεται στους Hertel et al. (1993):

$$C_i^{n+1} = C_i^n + P_i^{n+1} \Delta t - L_i^{n+1} \Delta t C_i^{n+1} \quad (3-2)$$

όπου n είναι ο αριθμός των επαναλήψεων της παραπάνω σχέσης. Όσο αυξάνεται το n επιτυγχάνεται καλύτερη ακρίβεια αλλά μεγαλώνει το υπολογιστικό κόστος. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων του μοντέλου που έγινε στην παρούσα μελέτη συνίσταται στον υπολογισμό των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΰδης και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, με χρήση των προγραμμάτων υπολογισμού VCD.pro και get_column.f90, που είναι γραμμένα σε κώδικα IDL.

4 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων και ανάλυση τους

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης συλλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα τροποσφαιρικού όζοντος (O_3), TOMS/SBUV TOR DATA PRODUCTS, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS για την χρονική περίοδο 1979-2005 και όζοντος από τον δορυφορικό αισθητήρα GOME (2000-2002), διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και φορμαλδεΐδης (HCHO) από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για τις χρονικές περιόδους 1996-2002 και 2003-2007 αντίστοιχα, καθώς επίσης και μονοξειδίου του άνθρακα από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT, Version 3, για την χρονική περίοδο 2000-2008. Τα παραπάνω δεδομένα μελετήθηκαν για 14 επιλεγμένες τοποθεσίες της Ανατολικής Μεσογείου που εικονίζονται στην εικόνα 4.1 και οι συντεταγμένες τους παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.1. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2 ο χάρτης της πυκνότητας πληθυσμού στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.



Εικόνα 4.1. Οι τοποθεσίες της ανατολικής Μεσογείου για τις οποίες προσδιορίστηκαν η ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος και οι τροποσφαιρικές στήλες του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΐδης.



Εικόνα 4.2: Ενδεικτικός χάρτης πυκνότητας πληθυσμού, (http://veimages.gsfc.nasa.gov/116/pop_density.jpg).

Πίνακας 4.1 Οι τοποθεσίες της ανατολικής Μεσογείου για τις οποίες προσδιορίστηκαν η ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος (2000-2002) και του μονοξειδίου του άνθρακα (2000-2008), καθώς επίσης και οι τροποσφαιρικές στήλες του όζοντος (1979-2005), του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΐδης (1996-2007).

Τοποθεσίες	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος
Αθήνα	38.01N	23.73E
Θεσσαλονίκη	40.63N	22.97E
Φινοκαλιά	35.30N	25.70E
Κάιρο	30.05N	31.25E
Ματρούχ	31.50N	27.33E
Αλλέπο	36.18N	37.11E
Μεσσίνα	38.28N	15.86E
Μπρίντεζι	40.66N	17.94E
Μάλτα-Γκόζο	36.15N	14.25E
Κων/πολη	41.03N	28.95E
Λευκωσία	35.15N	33.35E
Σμύρνη	38.41N	27.16E
Ρώμη	41.88N	12.50E
Po Valley	45N	10.50E

4.1 Εποχική διακύμανση, διαχρονική μεταβλητότητα ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ανατολική Μεσόγειο.

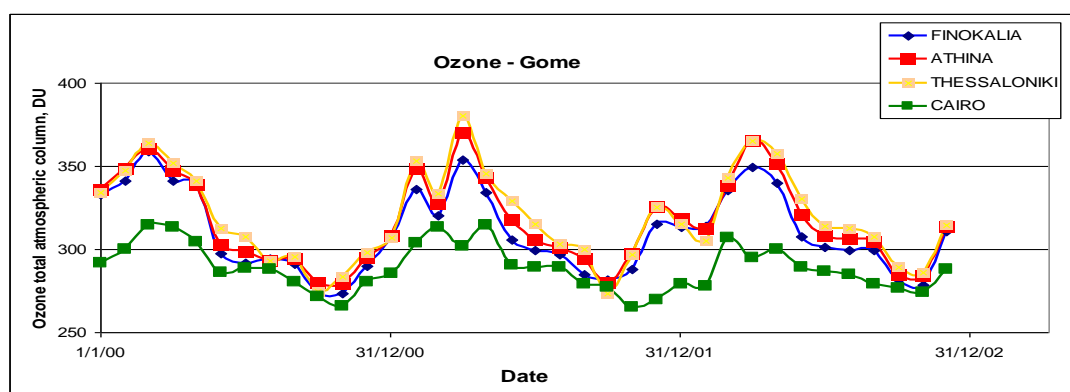
4.1.1 Ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος, GOME, 2000-2002.

Για τον υπολογισμό της ολικής ατμοσφαιρικής κολώνας του όζοντος τα δεδομένα από τον δορυφορικό αισθητήρα GOME που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ανάλυση 1° γεωγραφικό πλάτος x $1^\circ.25$ γεωγραφικό μήκος.

Οι μέγιστες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του όζοντος παρατηρούνται την άνοιξη (εικόνα 4.3), καθώς οι υπό μελέτη περιοχές ανήκουν στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Ενδεικτικά η μέγιστη τιμή της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του όζοντος είναι περίπου 380 DU για την Θεσσαλονίκη τον Απρίλιο του 2001 και 314 DU για το Κάιρο το Μάιο της ίδιας χρονιάς. Οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται το φθινόπωρο, 273 DU για την Θεσσαλονίκη τον Οκτώβριο του 2001 και 265 DU για το Κάιρο τον Νοέμβριο του 2000.

Ανάμεσα σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Φινοκαλιά δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές, όμως στο Κάιρο οι τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής κολώνας του O_3 , είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της Θεσσαλονίκης κατά ένα παράγοντα που κυμαίνεται από 1.05 ως 1.26 στις περισσότερες περιπτώσεις.

Οι τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του O_3 για τις υπόλοιπες περιοχές (Ματρούχ, Μεσσίνα, Μπρίντεζι, Μάλτα-Γκόζο, Κων/πολη, Αλλέπο, Λευκωσία), γίνονται μέγιστες την άνοιξη και ελάχιστες το φθινόπωρο χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές της Φινοκαλιάς.



Εικόνα 4.3: Η ολική ατμοσφαιρική κολώνα του όζοντος όπως παρατηρήθηκε από τον Gome στις υπό μελέτη περιοχές, 2000-2002.

4.1.2 Τροποσφαιρική στήλη του όζοντος από τον TOMS, 1979-2005.

Ο προσδιορισμός της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος βάσει δορυφορικών μετρήσεων είναι γενικά δύσκολος γιατί καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του όζοντος βρίσκεται στη στρατόσφαιρα όταν από την ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος αφαιρεθεί η μεγάλη στρατοσφαιρική συνιστώσα αυτού, η μικρότερη τροποσφαιρική συνιστώσα που απομένει δεν μπορεί να υπολογιστεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Στην παρούσα μελέτη οι μέσες μηνιαίες τροποσφαιρικές στήλες του όζοντος που χρησιμοποιούνται (http://asd-www.larc.nasa.gov/TOR/TOR_Data_and_Images.html) προσδιορίζονται με βάση τη μέθοδο TOR (Tropospheric Ozone Residual) (Fishmann et al. 2003) η οποία βασίζεται σε μετρήσεις ολικού όζοντος από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) και σε κατακόρυφη κατανομή του στρατοσφαιρικού όζοντος που προσδιορίζονται από τα όργανα SBUV (Solar Backscattered Ultraviolet Instruments) σε ανάλυση $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Το σφάλμα στο προσδιορισμό των μέσων μηνιαίων τροποσφαιρικών στηλών με την παραπάνω μέθοδο είναι περίπου 13% που πρακτικά για τις περισσότερες από τις περιοχές της μελέτης μας σημαίνει ότι είναι γύρω στις 4 DU.

Εποχική διακύμανση του τροποσφαιρικού όζοντος

Προσδιορίσαμε το μέσο όρο των μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για κάθε μήνα χωριστά σε κάθε επιλεγμένη τοποθεσία (εικ.4.4), κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1979-2005 με εξαίρεση: το έτος 1985, το χρονικό διάστημα από το Μάιο του 1993 έως τον Ιούλιο του 1997 και τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 1998 για τους οποίους δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS στο δια-δίκτυο. Οι μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος παρατηρούνται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο σε όλες τις επιλεγμένες τοποθεσίες. Την μεγαλύτερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει η Κωνσταντινούπολη 47.8 DU και την μικρότερη το Po Valley και είναι περίπου 41.1DU. Οι ελάχιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος παρατηρούνται το Δεκέμβριο και διακυμαίνονται από 25.7 DU στο Κάιρο ως 30.9DU στην Μεσσήνη, εκτός από την Σμύρνη που ο Ιανουάριος φαίνεται να έχει λίγο μικρότερη τιμή από τον Δεκέμβριο.

Αναλυτικότερα οι μέγιστες και ελάχιστες μέσες τιμές ανά μήνα, των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, το χρονικό διάστημα 1979-2005, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Τοποθεσίες	Μέγιστη μέση τιμή σε DU	Ελάχιστη μέση τιμή σε DU
Κωνσταντινούπολη	47.8	30.1
Θεσσαλονίκη	47.0	28.0
Σμύρνη	46.8	29.1
Λευκωσία	46.5	30.5
Φινοκαλιά	46.3	30.8
Αθήνα	45.8	30.5
Μπρίντεζι	45.7	28.7
Μεσσίνα	45.1	30.9
Αλλέπο	45.0	30.4
Μάλτα-Γκόζο	44.3	30.6
Ματρούχ	43.8	28.1
Ρώμη	43.2	28.1
Κάιρο	42.4	25.7
Po Valley	41.2	28.2

Πίνακας 4.2: Μέγιστες και ελάχιστες μέσες τιμές ανά μήνα, των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος σε κάθε μία από τις 14 υπό μελέτη περιοχές, από τον ΤΟΜΣ, κατά το χρονικό διάστημα 1979-2005

Στην εικόνα 4.4 φαίνεται η εποχική διακύμανση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος σε κάθε μία από τις επιλεγμένες περιοχές της ανατολικής Μεσογείου όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος που παρατηρείται τον Απρίλιο σχεδόν σε όλες τις περιοχές της μελέτης μας. Η αύξηση αυτή σχετίζεται είτε με το ανοιξιάτικο μέγιστο του στρατοσφαιρικού όζοντος και την εισροή στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα (Monks, 2000), είτε με την φωτοχημική παραγωγή του όζοντος στην Ανατολική Μεσόγειο από τις πρόδρομες του ενώσεις που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Gerasopoulos et al. 2005).

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση της εποχικής διακύμανσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου πραγματοποιήσαμε ανάλυση των

μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος σε εποχιακή βάση. Από αυτήν προέκυψε ότι κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, το Κάιρο φαίνεται να έχει τις χαμηλότερες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος που είναι γύρω στα 27.5 DU, ενώ η Αθήνα, η Λευκωσία, η Φινοκαλιά, η Κωνσταντινούπολη και η Μεσσήνη φαίνεται να έχουν τις μεγαλύτερες χειμερινές τιμές γύρω στα 31.5 DU (εικόνα 4.6α). Στον πίνακα 4.2α παρουσιάζονται οι μέσες χειμερινές τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος σε κάθε τοποθεσία καθώς επίσης οι τυπικές αποκλίσεις και οι διάμεσες τιμές εκφρασμένες σε DU, για το χρονικό διάστημα 1979-2005.

Πίνακας 4.2α: Η μέση χειμερινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005.

Τοποθεσία	Μέση χειμερινή τιμή του τροποσφαιρικού O ₃ σε DU	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος
Θεσσαλονίκη	31.5	3.1	31.3
Po Valley	29.6	3.0	29.6
Ματρούχ	29.3	1.7	29.3
Σμύρνη	29.9	2.6	30
Αλλέπο	30.6	3.7	31
Λευκωσία	31.4	1.8	31.3
Μπρίντεζι	29.8	2.7	29.5
Ρώμη	30.5	3.1	31
Μεσσήνη	31.4	1.8	31.3
Μάλτα	30.6	2.8	30
Κων/πολη	31.3	3.3	29
Φινοκαλιά	31.5	2.6	32
Κάιρο	27.7	2.2	28
Αθήνα	31.7	1.9	32

Την άνοιξη καταγράφονται από τον TOMS μέγιστες τροποσφαιρικές στήλες στην περιοχή της Φινοκαλιάς και της Λευκωσίας γύρω στα 40.5 DU (εικόνα 4.6β). Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα η Φινοκαλιά και η Λευκωσία έχουν περίπου ίδιες τιμές τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος με την Αθήνα και την Κωνσταντινούπολη, την άνοιξη ξεπερνούν την πρώτη κατά περίπου 2 DU και την δεύτερη κατά 1.5 DU (εικόνα 4.5), γεγονός που επιβεβαιώνει την έντονη φωτοχημική δραστηριότητα που εκδηλώνεται στην περιοχή της Κρήτης και της Κύπρου αλλά και την μεταφορά όζοντος και πρόδρομων ενώσεων αυτού από τις περιοχές παραγωγής τους προς την Κρήτη και την Κύπρο. Οι μέσες ανοιξιάτικες τιμές, οι τυπικές αποκλίσεις και οι διάμεσες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος εκφρασμένες σε DU παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2β. Στη Ρώμη και στο Κάιρο η

ανοιξιιάτικη τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος διακυμαίνεται γύρω στα 37 DU, που είναι από τις πιο χαμηλές τιμές στην περιοχή, ενώ στο Po Valley σημειώνει ακόμα μικρότερες τιμές, γύρω στα 35 DU που ενδεχομένως να οφείλεται στην πρωτογενή παραγωγή NO το οποίο αντιδρά με το όζον και το καταναλώνει.

Πίνακας 4.2β: Η μέση ανοιξιιάτικη τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005.

Τοποθεσία	Μέση ανοιξιιάτικη τιμή του τροποσφαιρικού O ₃ σε DU	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος
Θεσσαλονίκη	38.3	3.2	39.3
Po Valley	34.5	4.1	34.1
Ματρούχ	38.6	3.0	38.6
Σμύρνη	38.5	2.7	38.6
Αλλέπο	39.3	2.5	39.6
Λευκωσία	40.6	2.5	40.6
Μπρίντεζι	37.8	3.2	38.6
Ρώμη	37.1	2.7	37.6
Μεσσήνη	38.3	2.8	38.6
Μάλτα	38.3	2.8	38
Κων/πολη	39.7	3.8	40.5
Φινοκαλιά	40.5	2.6	41
Κάιρο	37.2	2.7	37
Αθήνα	38.2	2.7	38.3

Το καλοκαίρι (εικόνα 4.6γ), οι μεγαλύτερες τροποσφαιρικές στήλες του όζοντος καταγράφονται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS στην περιοχή της Κωνσταντινούπολης, γύρω στα 46 DU και στη Θεσσαλονίκη περίπου 45.5 DU. Από περίπου 44 έως 45 DU υπολογίζεται η τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος στην Φινοκαλιά, την Αθήνα την Σμύρνη και το Μπρίντεζι, ενώ οι μικρότερες τιμές καταγράφονται στο Κάιρο και στο Po Valley, γύρω στις 40 DU.

Οι μέσες καλοκαιρινές τιμές, οι τυπικές αποκλίσεις και οι διάμεσες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος εκφρασμένες σε DU παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2γ.

Ενώ οι μέσες φθινοπωρινές τιμές, οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις και οι διάμεσες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος εκφρασμένες σε DU παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2δ.

Πίνακας 4.2γ : Η μέση καλοκαιρινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005.

Τοποθεσία	Μέση καλοκαιρινή τιμή του τροποσφαιρικού O ₃ σε DU	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος
Θεσσαλονίκη	45.4	1.4	45.6
Po Valley	39.7	2.1	39.0
Ματρούχ	41.3	1.8	41.0
Σμύρνη	44.8	2.0	44.6
Αλλέπο	42.0	1.7	42.0
Λευκωσία	43.6	2.0	43.3
Μπρίντεζι	44.8	1.5	45.0
Ρώμη	41.6	2.0	41.0
Μεσσήνη	43.9	1.4	44.0
Μάλτα	43.0	1.5	43.0
Κων/πολη	46.1	1.3	45.6
Φινοκαλιά	44.1	1.5	43.6
Κάιρο	40.4	1.5	40.0
Αθήνα	44.3	1.8	43.6

Τέλος, την περίοδο του φθινοπώρου (εικόνα 4.6δ), οι μέγιστες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος παρατηρούνται πάλι στην Κωνσταντινούπολη, τη Θεσσαλονίκη και τη Φινοκαλιά γύρω στις 34.5 DU, ενώ οι ελάχιστες καταγράφονται στο Κάιρο και στο Αλλέπο περίπου 32 DU.

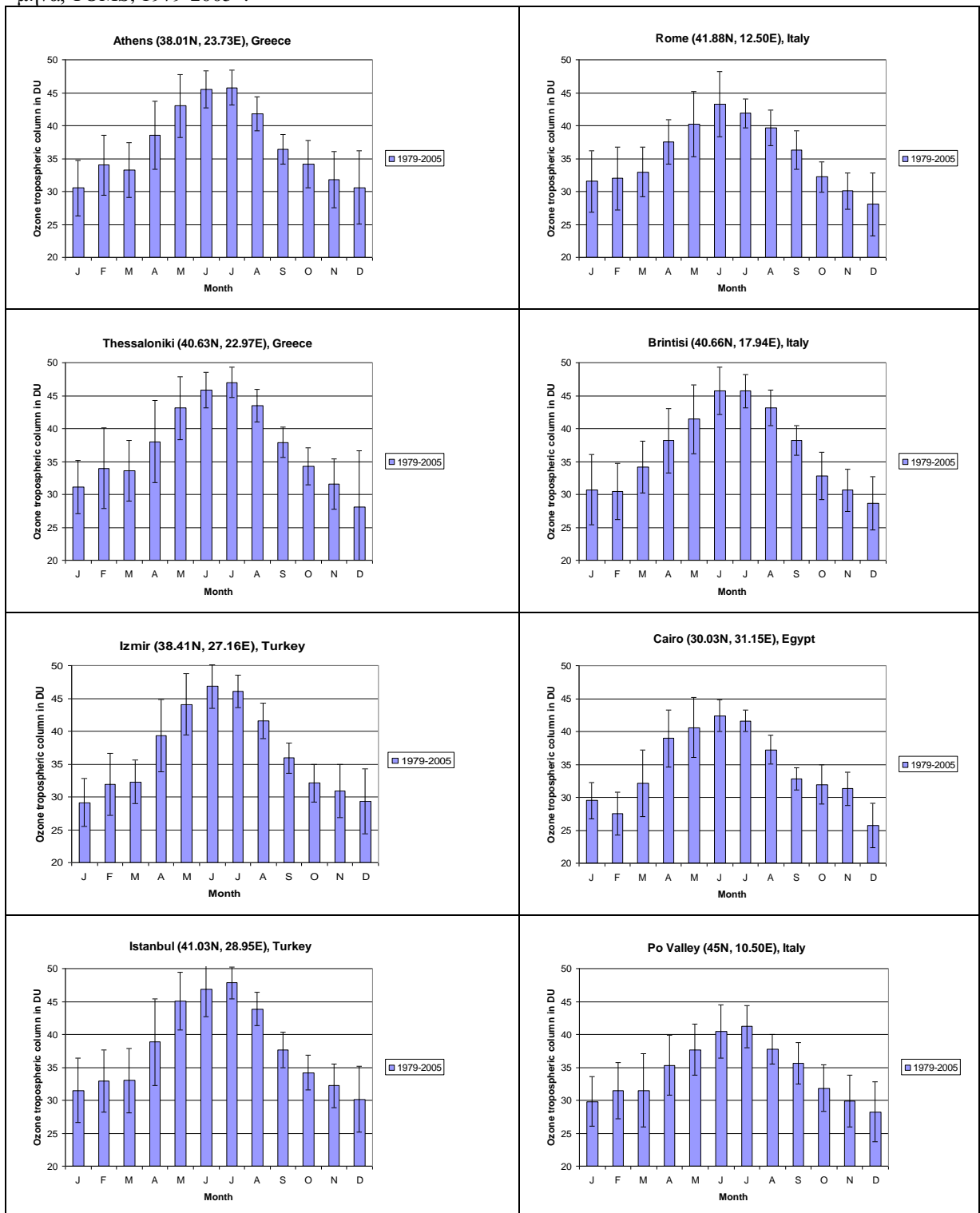
Πίνακας 4.2δ: Η μέση φθινοπωρινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005.

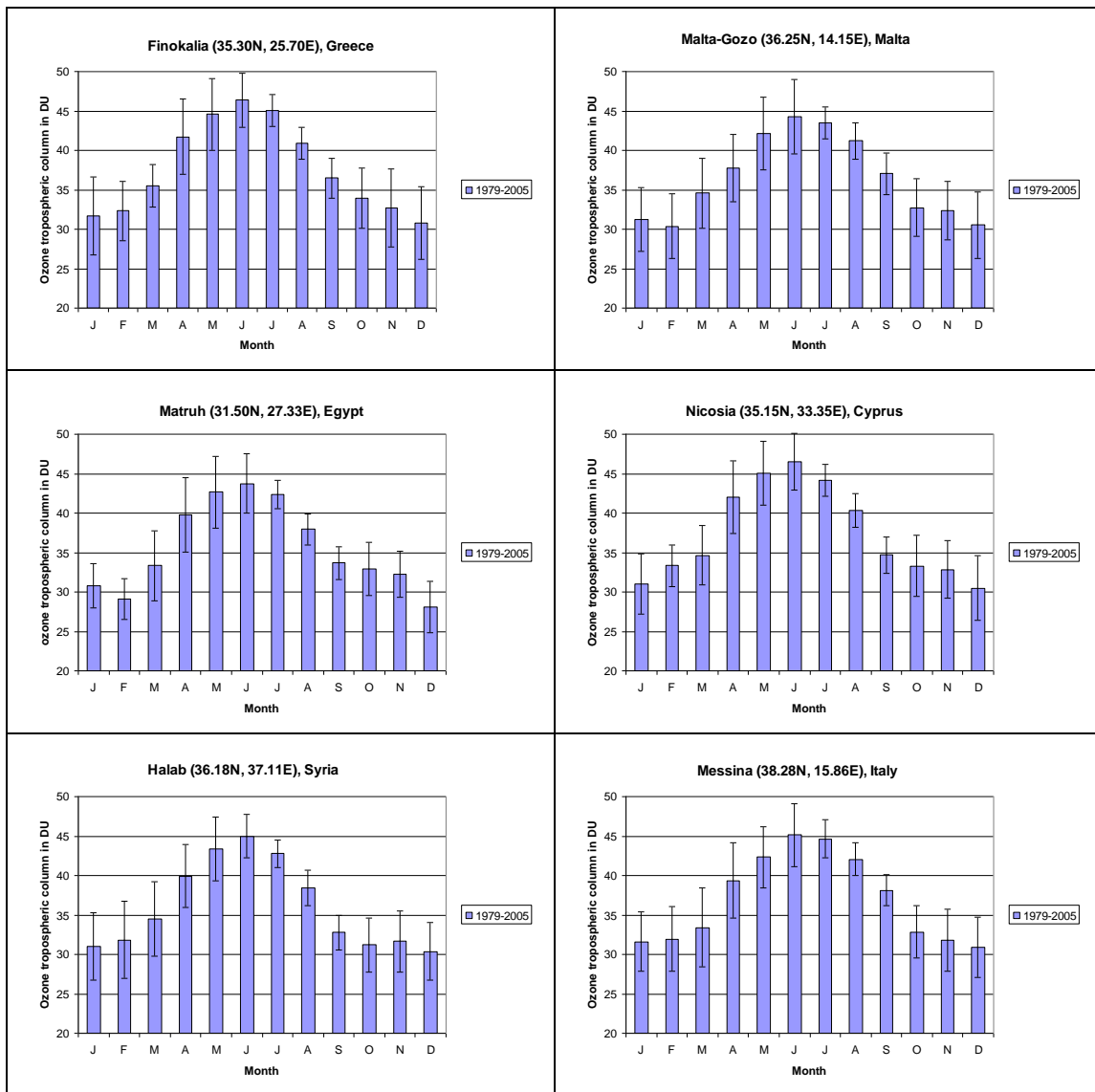
Τοποθεσία	Μέση φθινοπωρινή τιμή του τροποσφαιρικού O ₃ σε DU	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος
Θεσσαλονίκη	34.8	2.1	34.3
Po Valley	32.6	2.3	33
Ματρούχ	33	1.7	33
Σμύρνη	33.1	2.2	33.3
Αλλέπο	31.9	2.2	31.7
Λευκωσία	33.7	2.1	34
Μπρίντεζι	34.2	2.5	34.3
Ρώμη	33.1	2.0	32.7
Μεσσήνη	34.5	2.2	34.6
Μάλτα	34.3	2.2	34.3
Κων/πολη	34.8	1.5	35
Φινοκαλιά	34.5	2.8	34.7
Κάιρο	31.0	4.7	31.7
Αθήνα	34.3	2.3	34

Αν από το χρονικό διάστημα 1979-2005 εξαιρέσουμε τα έτη: 1985 και 1993-1997 για τα οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από τον TOMS στο δια-δίκτυο τα δορυφορικά δεδομένα του αισθητήρα TOMS τα οποία χρησιμοποιούμε αναφέρονται σε 21 έτη. Συνεπώς, ο διαθέσιμος αριθμός μηνιαίων τιμών τροποσφαιρικού όζοντος ανά εποχή θα είναι γύρω 63 ή μικρότερος, λόγω του ότι για κάποιους μήνες ίσως να μην υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Χονδρικός υπολογισμός της ακρίβειας των μέσων εποχιακών τιμών υποδεικνύει ότι θα είναι της τάξεως του 1.6%, που πρακτικά σημαίνει γύρω στις 0.5DU. Επομένως αν δύο περιοχές φαίνεται να έχουν διαφορές σε εποχική βάση περίπου 1DU ή 2DU τροποσφαιρικού όζοντος, αυτές θα είναι σημαντικές.

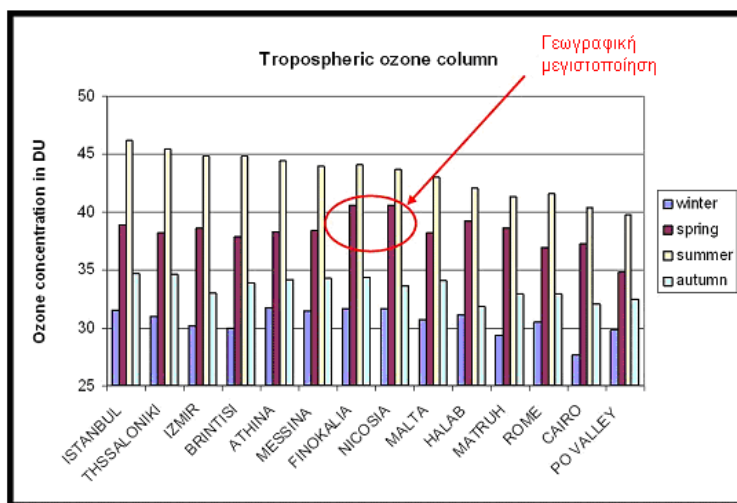
Συμπερασματικά λοιπόν στην Κωνσταντινούπολη φαίνεται να καταγράφονται οι μεγαλύτερες τιμές στην τροποσφαιρική στήλη του όζοντος από τον TOMS σε όλες τις εποχές εκτός από την άνοιξη. Στη Φινοκαλιά σημειώνονται μεγάλες ανοιξιάτικες, χειμερινές αλλά και φθινοπωρινές τιμές και στην Θεσσαλονίκη μεγάλες καλοκαιρινές και φθινοπωρινές τιμές, ενώ στο Κάιρο, το Po Valley και την Ρώμη καταγράφονται οι μικρότερες τιμές, με εξαίρεση την χειμωνική τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για την Ρώμη που διακυμαίνεται σε μέσα για την εποχή και την περιοχή επίπεδα γύρω στα 30.5 DU.

Εικόνα 4.4: Μέσοι όροι των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, ανά μήνα, TOMS, 1979-2005*.

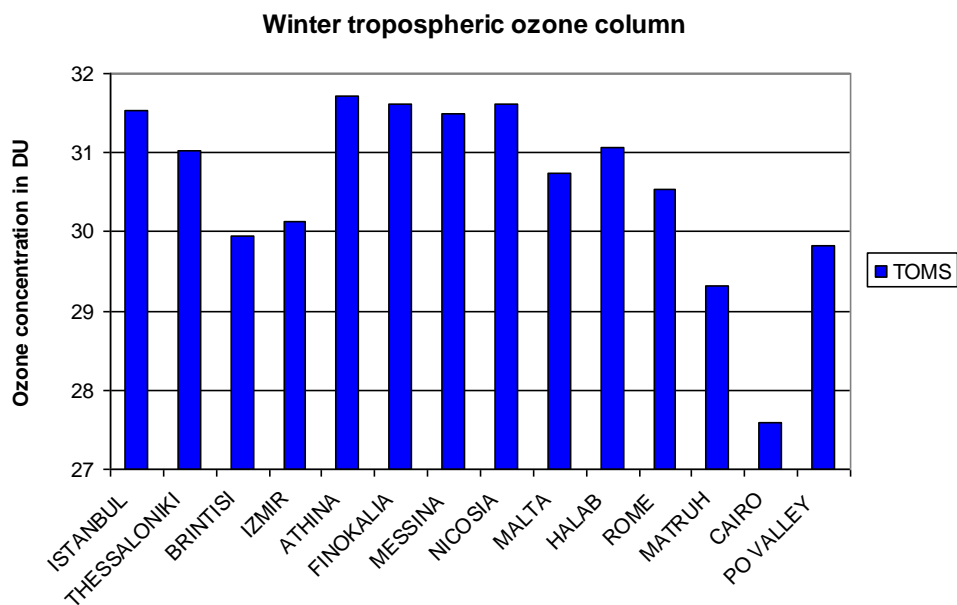




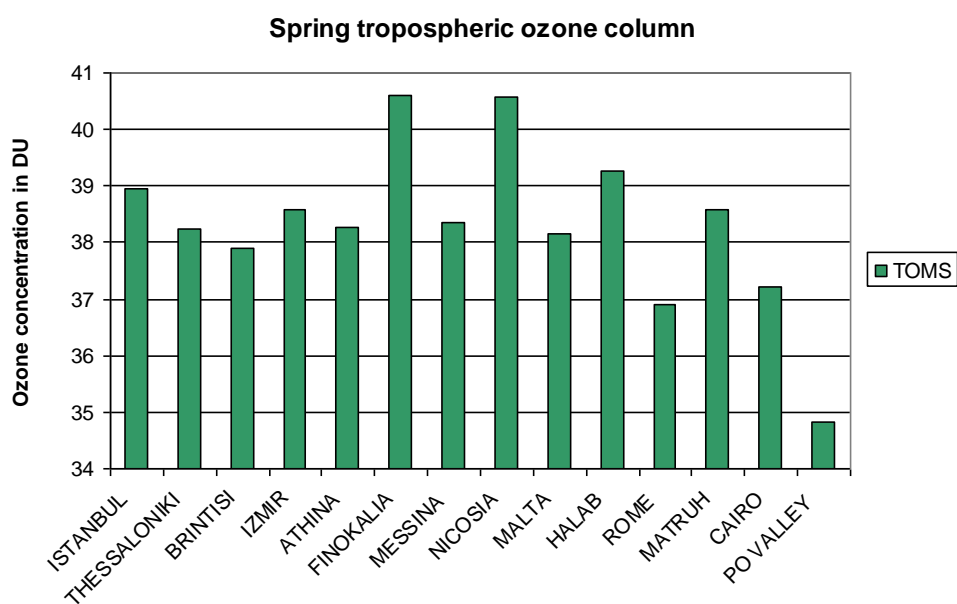
*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από τον μέσο όρο τους.



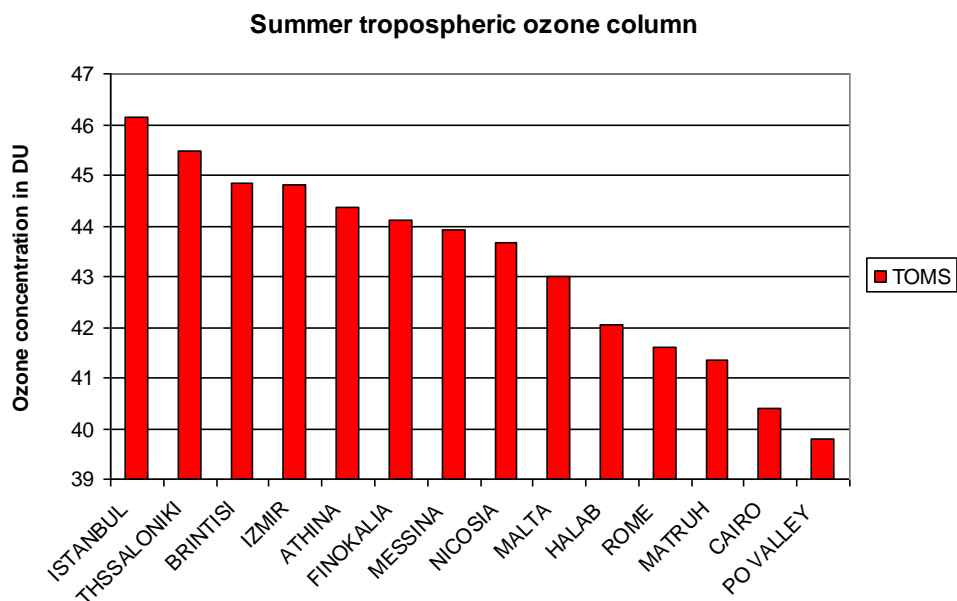
Εικόνα 4.5: Εποχική διακύμανση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένη βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005.



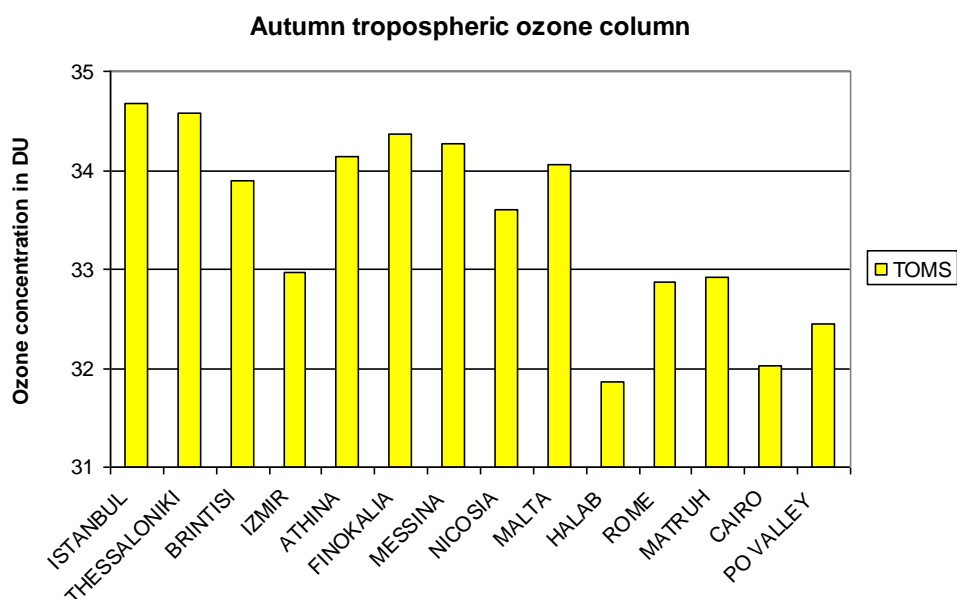
Εικόνα 4.6α: Μέσες χειμωνικές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, και Φεβρουαρίου, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005.



Εικόνα 4.6β: Μέσες ανοιξιάτικες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Μαρτίου, Απριλίου και Μαΐου, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005.



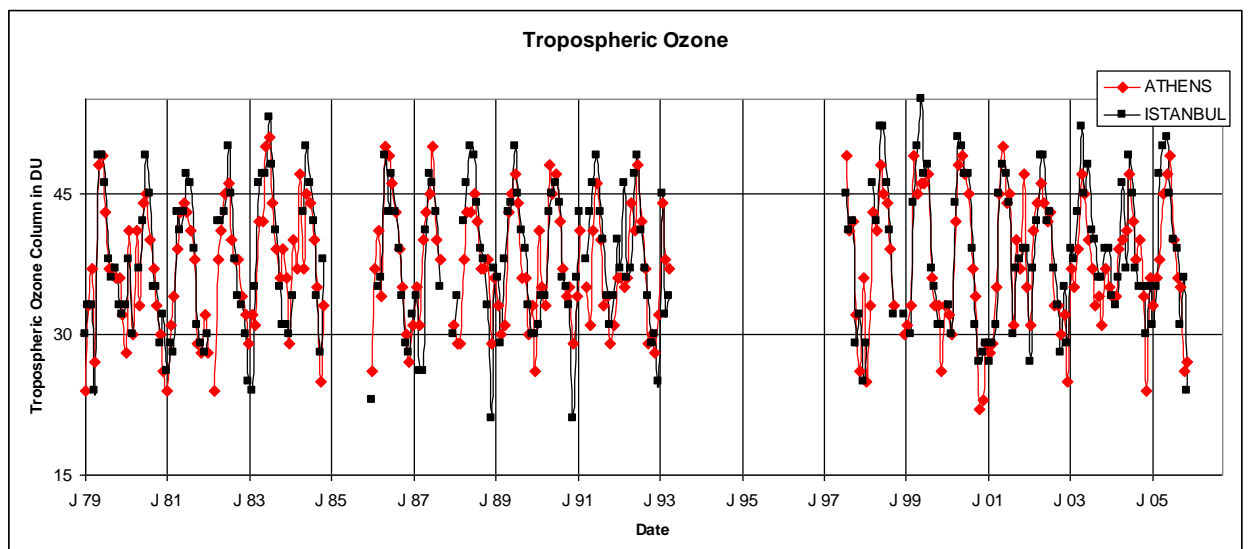
Εικόνα 4.6γ: Μέσες καλοκαιρινές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005.



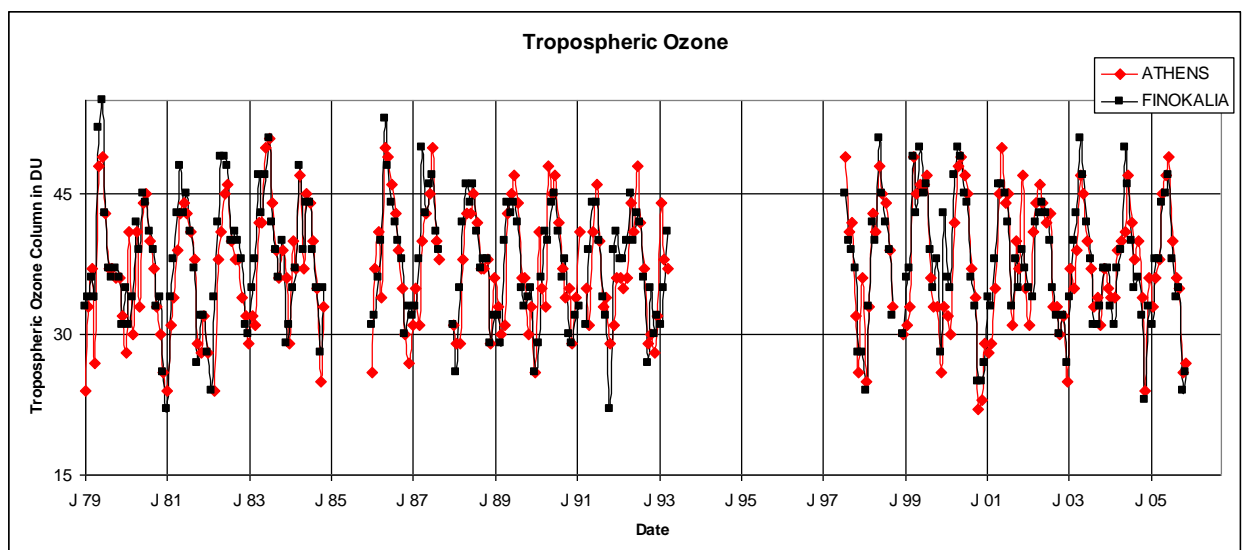
Εικόνα 4.6δ: Μέσες φθινοπωρινές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Σεπτεμβρίου, Οκτωβρίου και Νοεμβρίου σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005.

Στην εικόνα 4.7 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για την Αθήνα την Κωνσταντινούπολη, τη Φινοκαλιά, τη Ρώμη και το Κάιρο, κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1979-2005. Δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη διαχρονική μεταβλητότητα για τις περιοχές αυτές, ωστόσο αυτό που μπορούμε να επιβεβαιώσουμε χρησιμοποιώντας σαν μέτρο σύγκρισης την Αθήνα είναι ότι οι μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος στην Κωνσταντινούπολη- το καλοκαίρι-συχνά είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της Αθήνας, ενώ στην Φινοκαλιά δεν παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση συγκριτικά με την Αθήνα. Έως το 2002 η Ρώμη φαίνεται να έχει χαμηλότερες τροποσφαιρικές στήλες όζοντος σε σχέση με την Αθήνα ωστόσο από το 2003 έως και το 2005 φαίνεται να μην παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις τιμές τους. Στο Κάιρο οι τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος φαίνεται να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της Αθήνας.

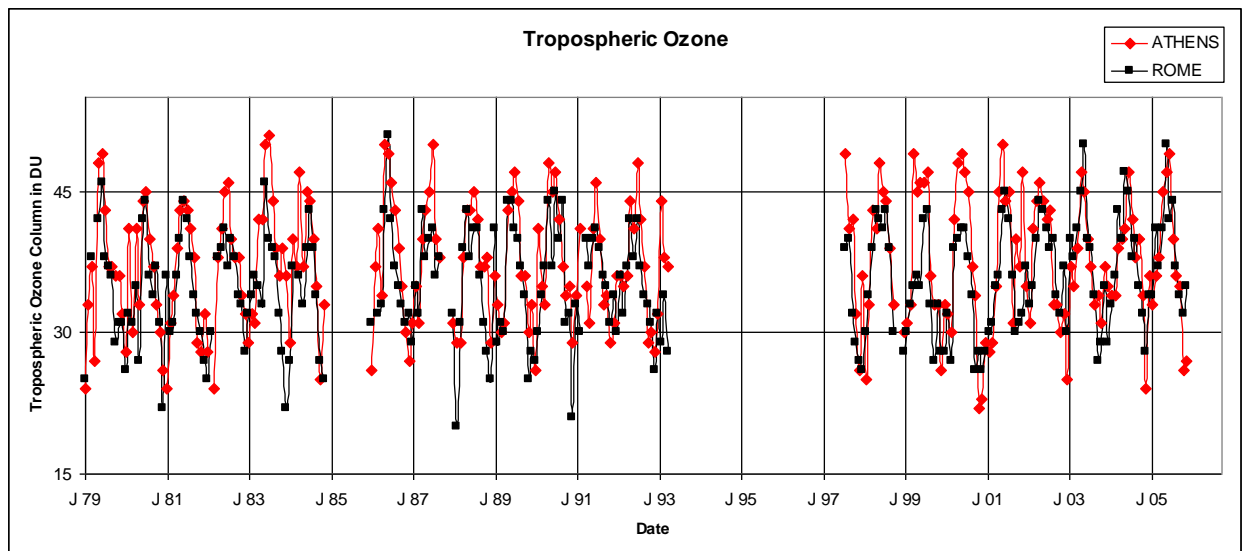
α)



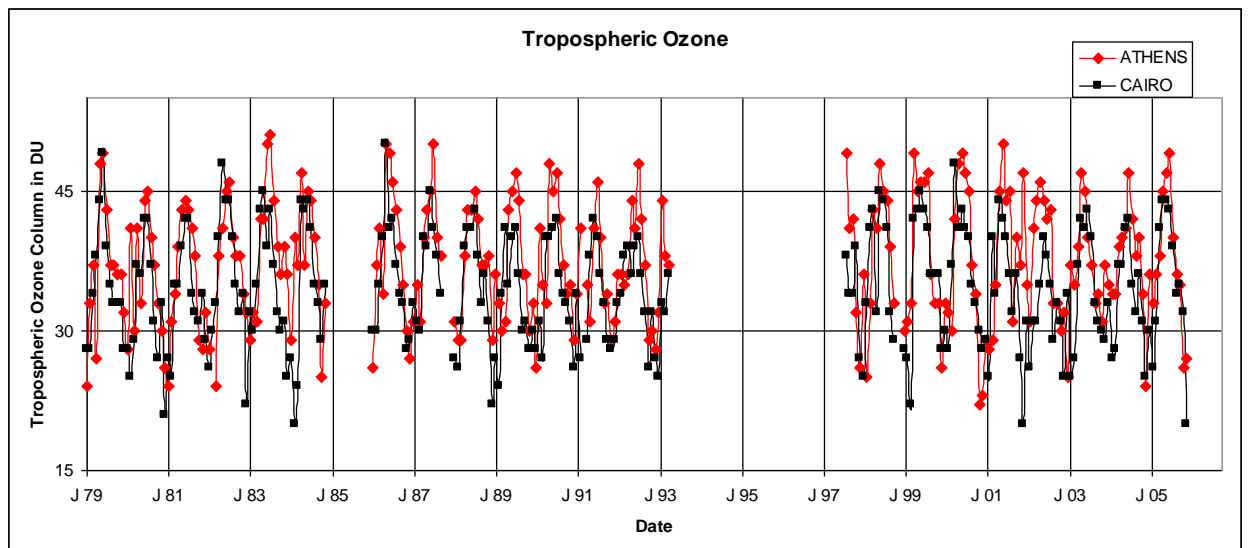
β)



γ)



δ)



Εικόνα 4.7 Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος σε DU όπως υπολογίζεται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS για: α) Αθήνα-Κωνσταντινούπολη, β) Αθήνα και Φινοκαλιά, γ) Αθήνα και Ρώμη, και δ) Αθήνα και Κάιρο, κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1979-2005.

Υπολογίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος (εικ. 4.8). Αναφορικά με αυτές τις τιμές στις υπό μελέτη περιοχές αξιοσημείωτες είναι οι πτωτικές τάσεις που παρατηρούνται στη Φινοκαλιά από το 1986 ως το 1991 και από το 1999 ως το 2005, χωρίς ωστόσο να συνιστούν πτωτική τάση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος. Αναφορικά με το δεύτερο χρονικό διάστημα, η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος φαίνεται να έχει μεγαλύτερη τιμή το 2003 συγκριτικά με το 2002. Αντίστοιχη πτωτική τάση έχει παρατηρηθεί στις επιφανειακές συγκεντρώσεις του όζοντος στη Φινοκαλιά από το 1998 ως το 2004 από τους Gerasopoulos et al. (2005), όπου και οι επιφανειακές συγκεντρώσεις του όζοντος παρουσιάζουν μια αύξηση το 2003, η οποία αποδίδεται στο ιδιαίτερα θερμό και ξηρό καλοκαίρι του 2003. Στην εικόνα 4.8 εικονίζεται η διαχρονική διακύμανση των μέσων ετήσιων τιμών της

τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για τις υπό μελέτη περιοχές, που υπολογίζονται με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος όπως αυτές προσδιορίζονται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS, 1979-2005..

Είναι σημαντικό να μελετήσουμε τις διαχρονικές τάσεις (trends) των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος προκειμένου να εκτιμήσουμε πως μεταβάλλονται οι τιμές του με την πάροδο του χρόνου στην κάθε υπό μελέτη περιοχή. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήσαμε κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών του τροποσφαιρικού όζοντος, ως προς το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών για όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα 1979-2005, με σκοπό να προσδιορίσουμε αν υπάρχουν διαχρονικές τάσεις μεταβλητότητας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω κανονικοποίησης φαίνονται στην εικόνα 4.9.

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι δεν φαίνεται αξιοσημείωτη μεταβλητότητα στις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για την Αθήνα, την Μεσσήνη, την Μάλτα, τη Λευκωσία, το Αλλέπο, το Κάιρο και τη Φινοκαλιά. Οι αυξητικές τάσεις της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για την Ρώμη, το Μπρίντεζι, την Θεσσαλονίκη, την Κωνσταντινούπολη, τη Σμύρνη και την κοιλάδα του Πο διακυμαίνονται από 0.13 έως 0.28 %y⁻¹. Στο Ματρούχ παρατηρείται μείωση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος της τάξεως του -0.17 %y⁻¹ (πίνακας 4.3).

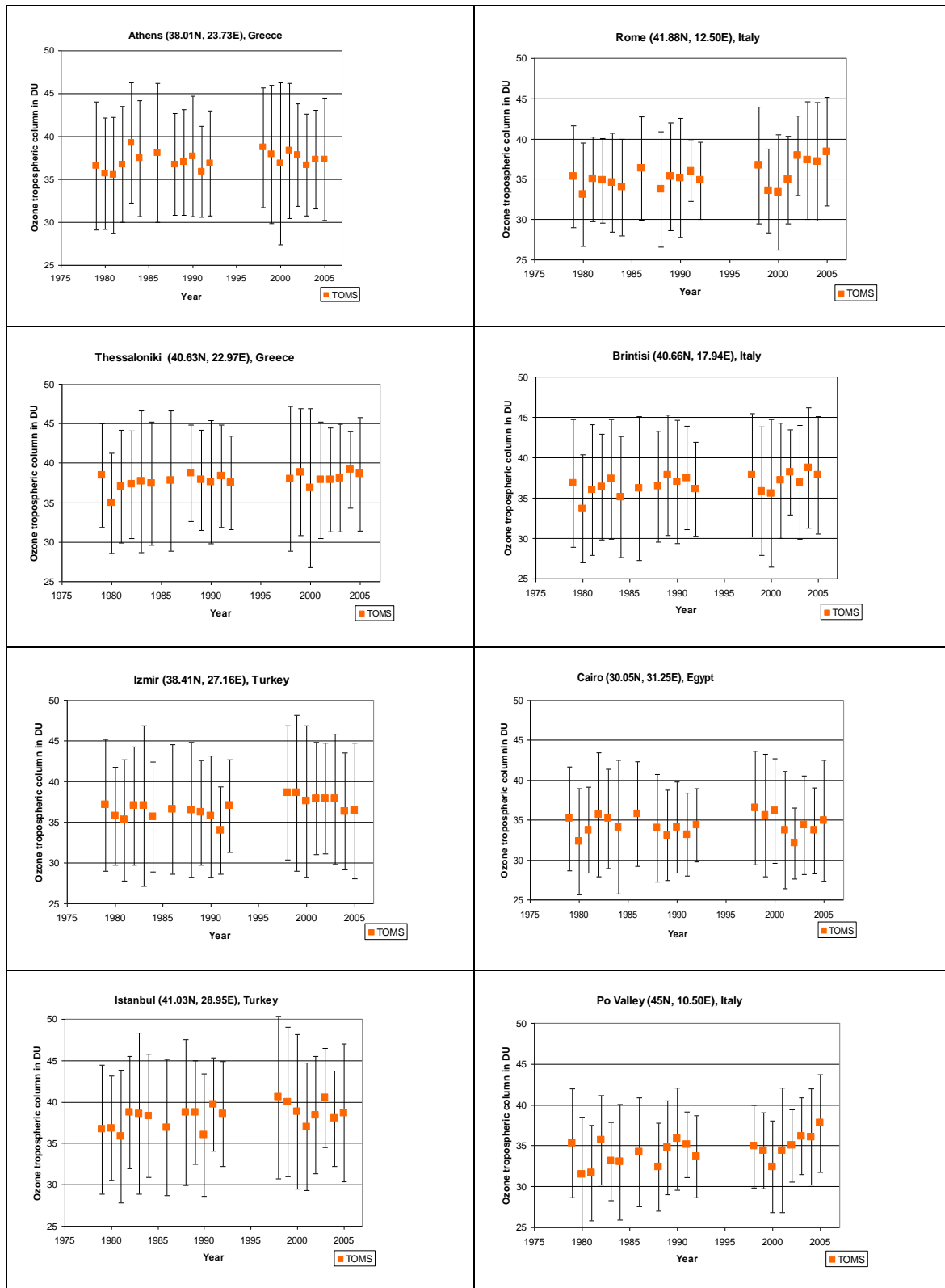
Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται το τυπικό σφάλμα που υπολογίζεται για τον προσδιορισμό της κάθε τάσης. Ο υπολογισμός του εν λόγω σφάλματος θα ήταν επαρκής για τον προσδιορισμό της ακρίβειας των τάσεων, αν οι μέσες κανονικοποιημένες ετήσιες τιμές ήταν πραγματικές μετρήσεις και όχι αποτέλεσμα άθροισης των μέσων μηνιαίων τιμών, που και οι ίδιες προκύπτουν από επεξεργασία απλών μετρήσεων. Είναι φανερό ότι λόγω της έντονης εποχικής διακύμανσης της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος (πίνακας 4.4) αλλά και των ποικίλων λαθών που υπεισέρχονται στον προσδιορισμό των μέσων μηνιαίων τιμών των δορυφορικών δεδομένων (παράγραφος 3.2.9), το τυπικό σφάλμα που σημειώνεται στον πίνακα 4.3 θα μπορούσε να αποτελέσει ένα κάτω όριο σφάλματος στον προσδιορισμό της διαχρονικής τάσης του τροποσφαιρικού όζοντος.

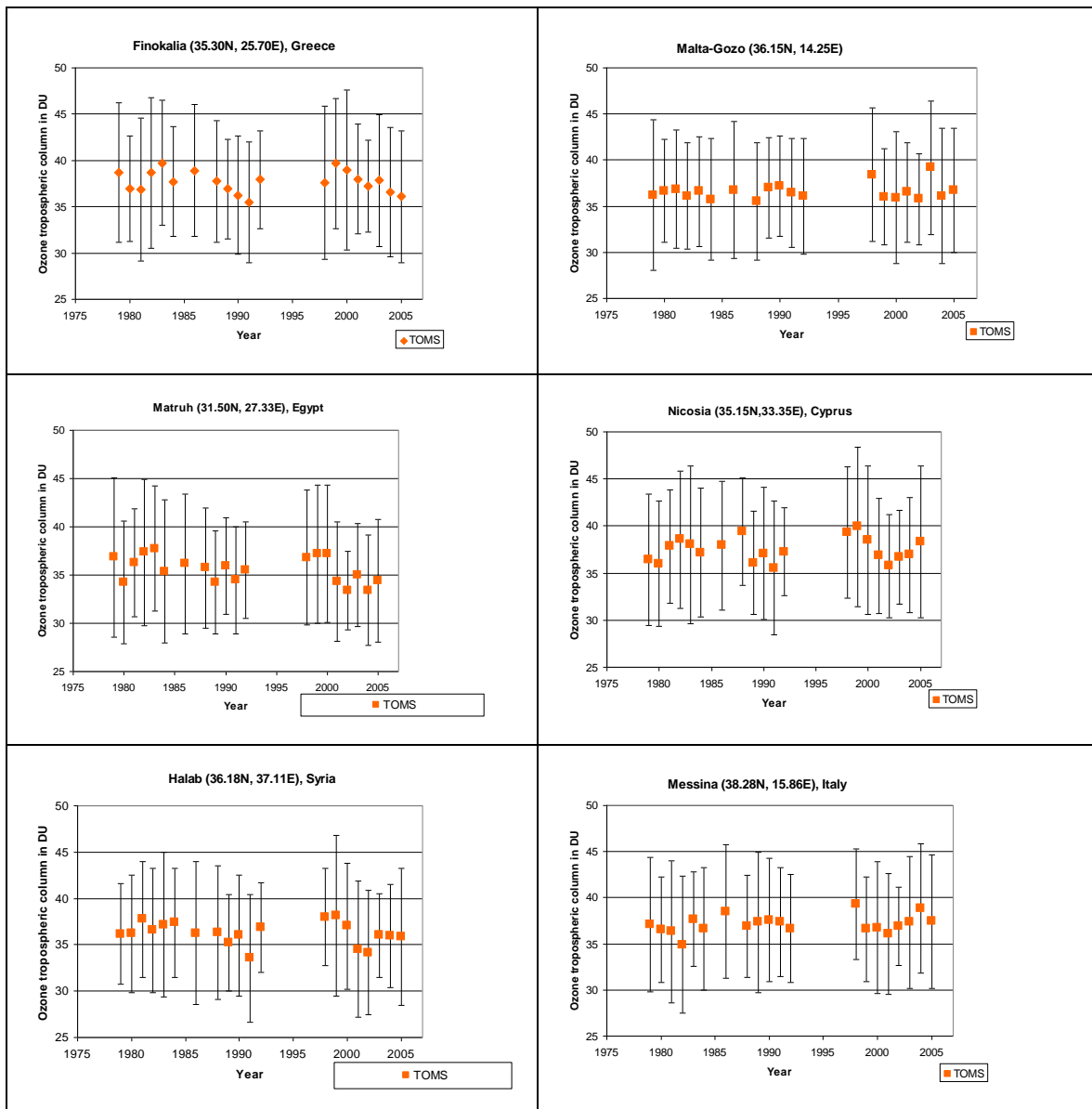
Κάναμε μια προσπάθεια εμβάθυνσης στην στατιστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας εξετάζοντας την ύπαρξη αυξητικών τάσεων στις καλοκαιρινές, στις ανοιξιάτικες, στις χειμερινές και στις φθινοπωρινές τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος, στις τοποθεσίες που αναφέρονται στον πίνακα 4.3 για το χρονικό διάστημα 1979-2005.

Αυτό που παρατηρήσαμε είναι ότι οι αυξητικές τάσεις στην τροποσφαιρική στήλη του όζοντος υπολογίζονται κατά την διάρκεια των χειμερινών και των ανοιξιάτικων μηνών, ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο χαρακτηρίζονται από μικρότερη διαχρονική μεταβλητότητα αναφορικά με την τροποσφαιρική στήλη του όζοντος για τις 6 από τις 7 τοποθεσίες του πίνακα 4.3, (εικόνα 4.9α). Η ερμηνεία των χειμερινών αυξητικών τάσεων θα μπορούσε να αναζητηθεί σε φαινόμενα μεταφοράς ή σε φαινόμενα ανταλλαγής τροπόσφαιρας-στρατόσφαιρας αλλά και φαινόμενα φωτοχημικής ρύπανσης και απαιτεί συνδυαστική χρήση αριθμητικών προσομοιώσεων υψηλής γεωγραφικής ευκρίνειας.

Στο Ματρούχ που βρίσκεται σε χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος και πιο κοντά στις τροπικές περιοχές από τους υπόλοιπους σταθμούς, η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος είναι πτωτική τόσο τους καλοκαιρινούς, τους φθινοπωρινούς αλλά και τους ανοιξιάτικους μήνες ενώ ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από σταθερότητα (εικόνα 4.9α).

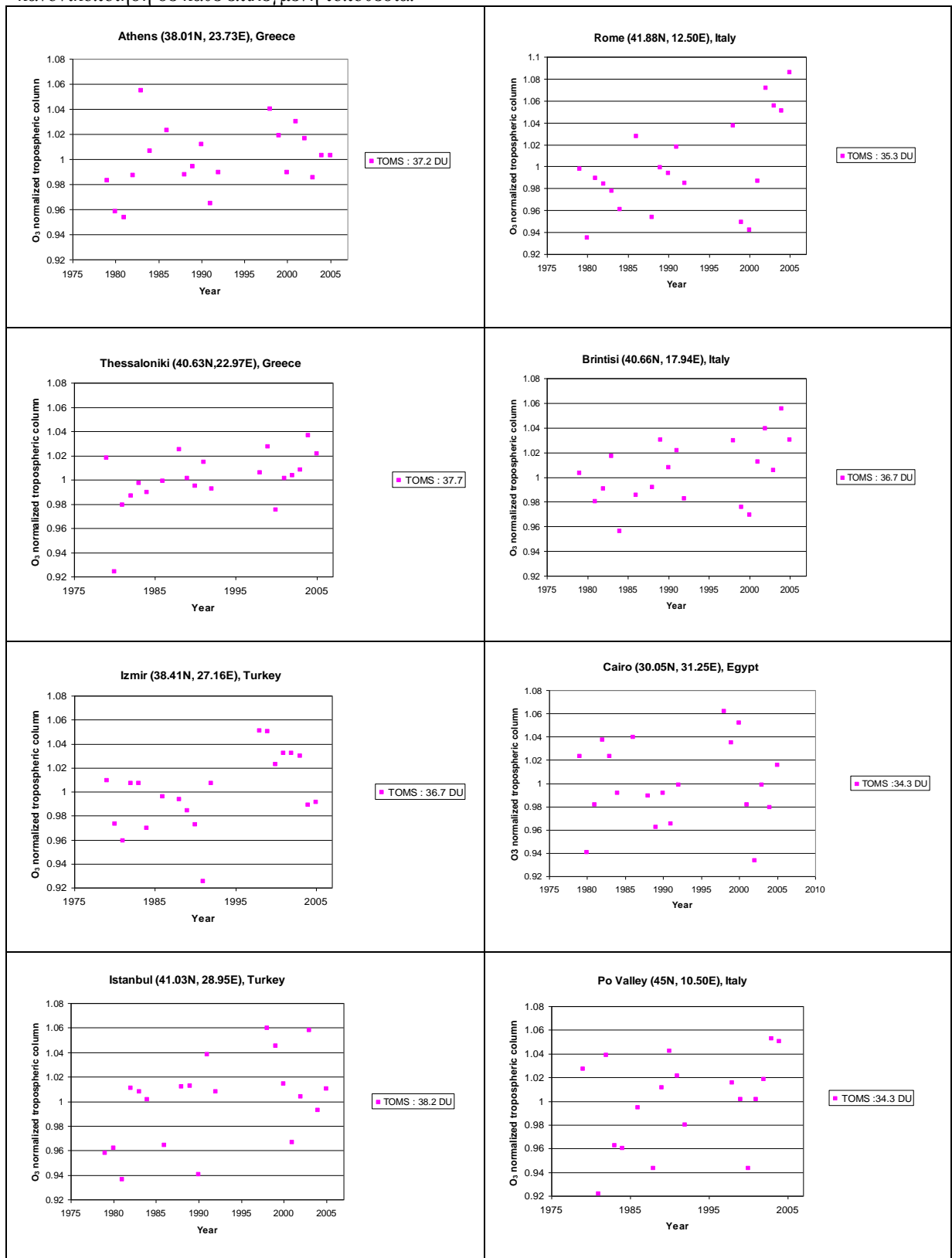
Εικόνα 4.8: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, TOMS, 1979-2005*.

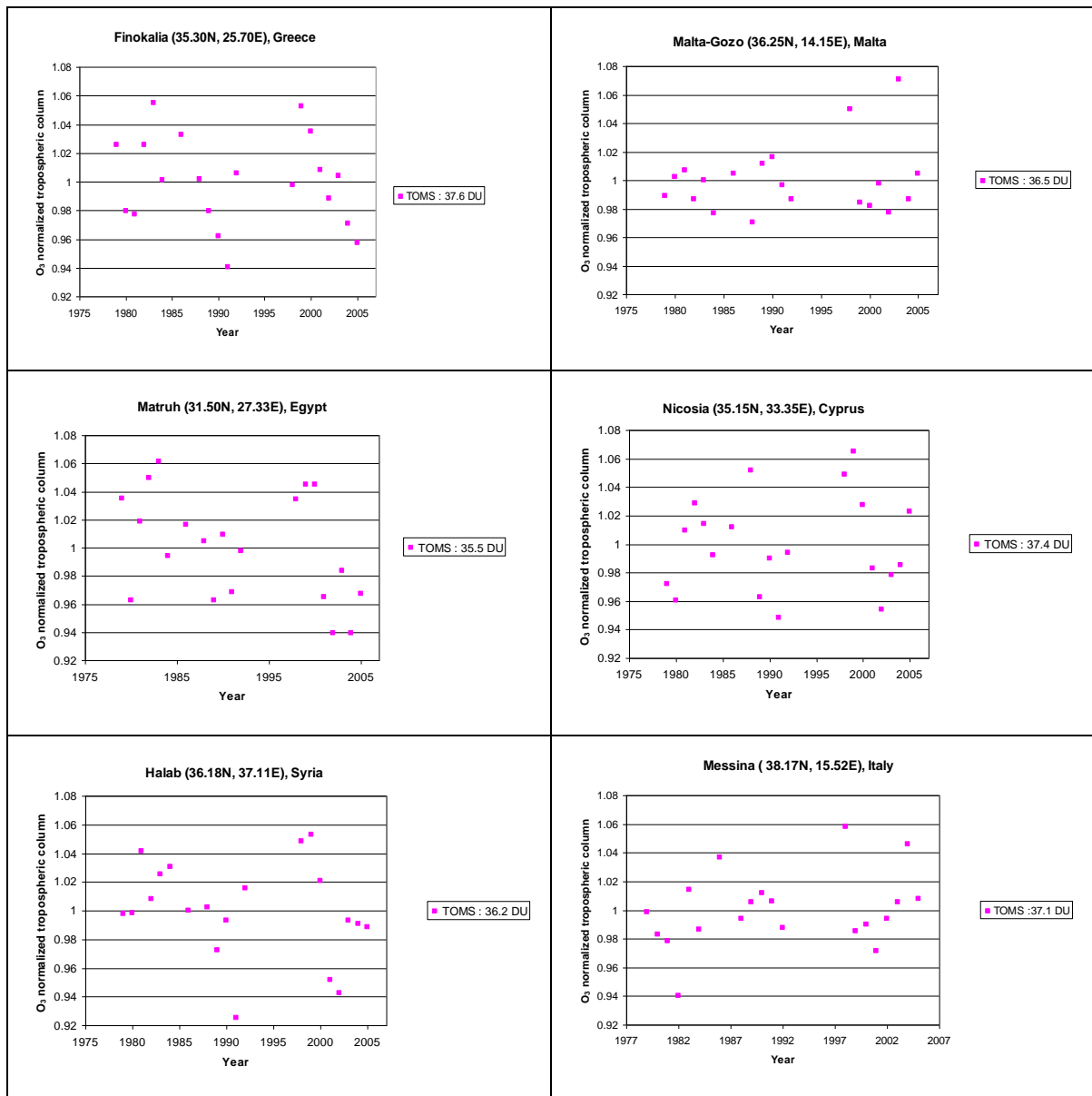




*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση ετήσια τιμή.

Εικόνα 4.9: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, TOMS, 1979-2005. Στις λεζάντες δεξιά, αναγράφεται ο μέσος όρος που χρησιμοποιήθηκε για την κανονικοποίηση σε κάθε επιλεγμένη τοποθεσία.

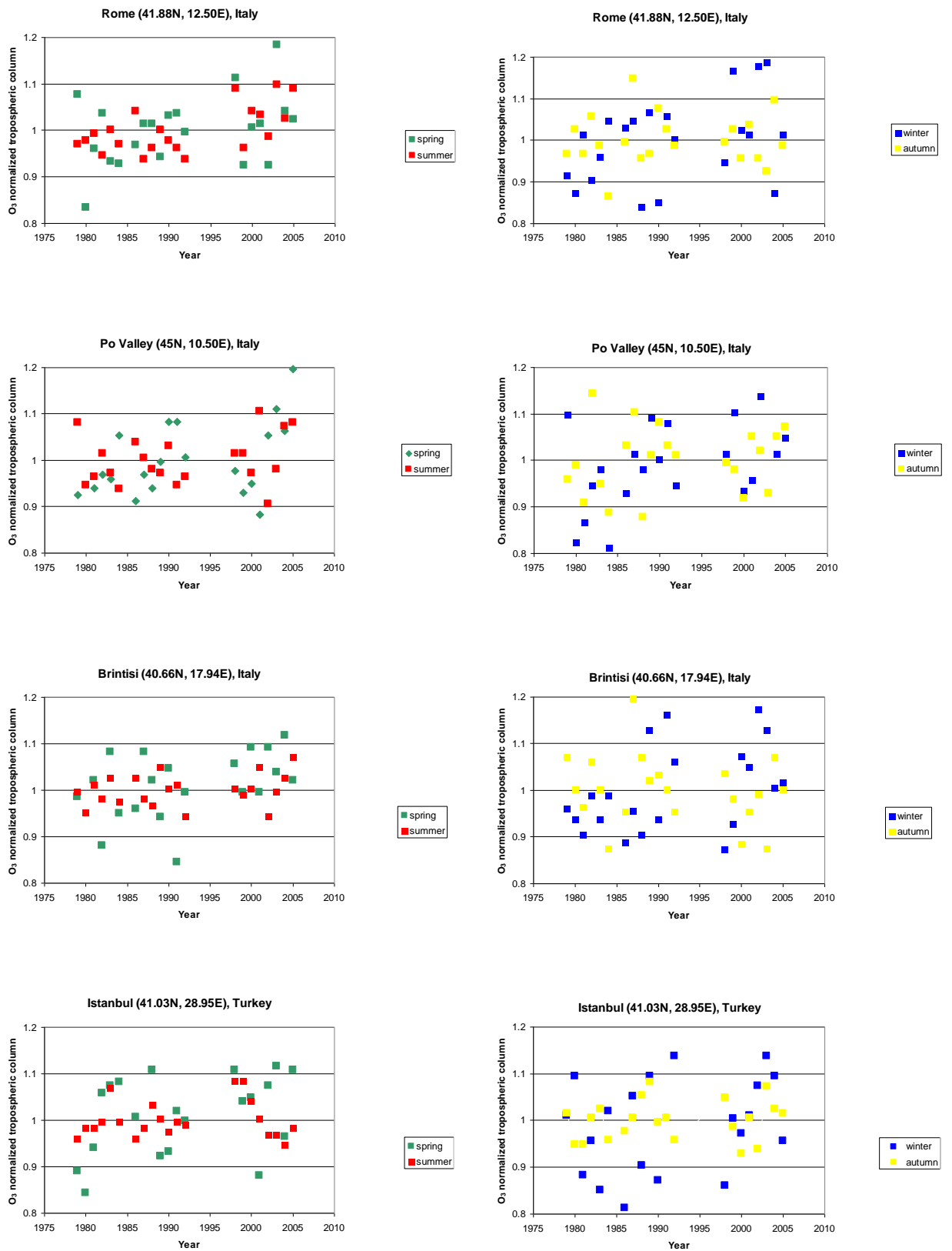


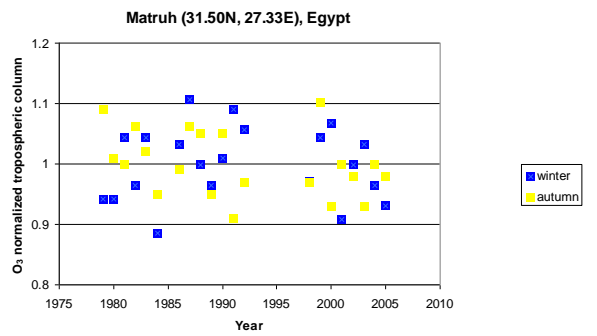
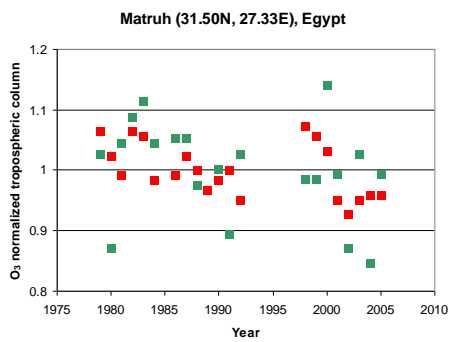
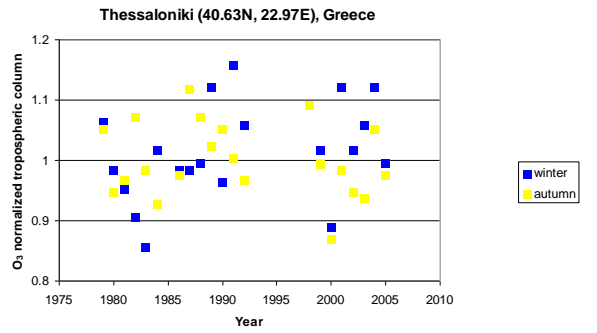
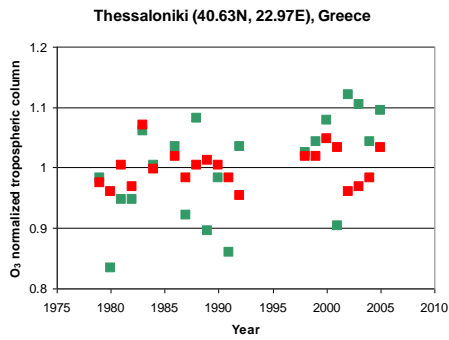
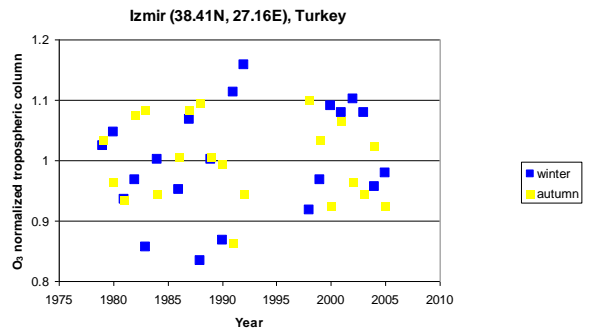
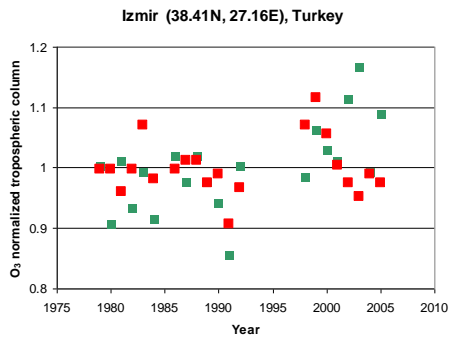


Πίνακας 4.3: Διαχρονικές τάσεις μεταβλητότητας των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, για την περίοδο 1979-2005 και τυπικό σφάλμα στον προσδιορισμό της τάσης.

Τοποθεσία	Τάση % y^{-1}	Τυπικό σφάλμα % y^{-1}
Ρώμη	0.26	0.11
Μπρίντεζι	0.19	0.08
Θεσσαλονίκη	0.13	0.06
Κων/πολη	0.19	0.09
Σμύρνη	0.17	0.08
Po Valley	0.28	0.12
Ματρούχ	-0.17	0.09

Εικόνα 4.9α: Κανονικοποιημένες μέσες εποχικές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, TOMS, 1979-2005.





4.1.3 Τροποσφαιρική στήλη του διοξειδίου του αζώτου, NO₂, στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου 1996-2007.

Προσδιορίσαμε τις μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου, καθώς επίσης τις μέσες ετήσιες και τις κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές με χρήση μετρήσεων που βασίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME (1996-2002) και SCIAMACHY(2003-2007). Για κάθε έναν από τους δύο δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY εργαστήκαμε ανεξάρτητα από τον άλλο.

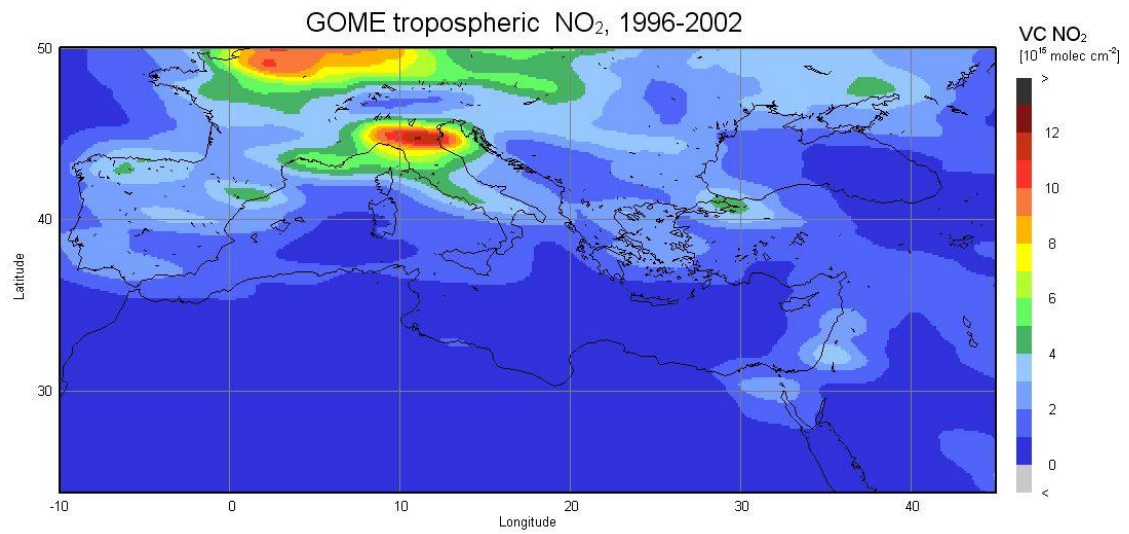
Ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, για χρονικό διάστημα 1996-2002, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τον GOME παρουσιάζεται στην εικόνα 4.10 και ο αντίστοιχος μέσος όρος όπως προσδιορίζεται από τον SCIAMACHY για το χρονικό διάστημα 2003-2007 παρουσιάζεται στην εικόνα 4.11.

Υπολογίσαμε το μέσο όρο των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ ανά μήνα και τα αποτελέσματα από τις δορυφορικές παρατηρήσεις του GOME παρουσιάζονται στην εικόνα 4.12, τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον SCIAMACHY παρουσιάζονται στο παράρτημα I, όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή ιστογράμματος για τις 14 επιλεγμένες τοποθεσίες στην εικόνα 4.13.

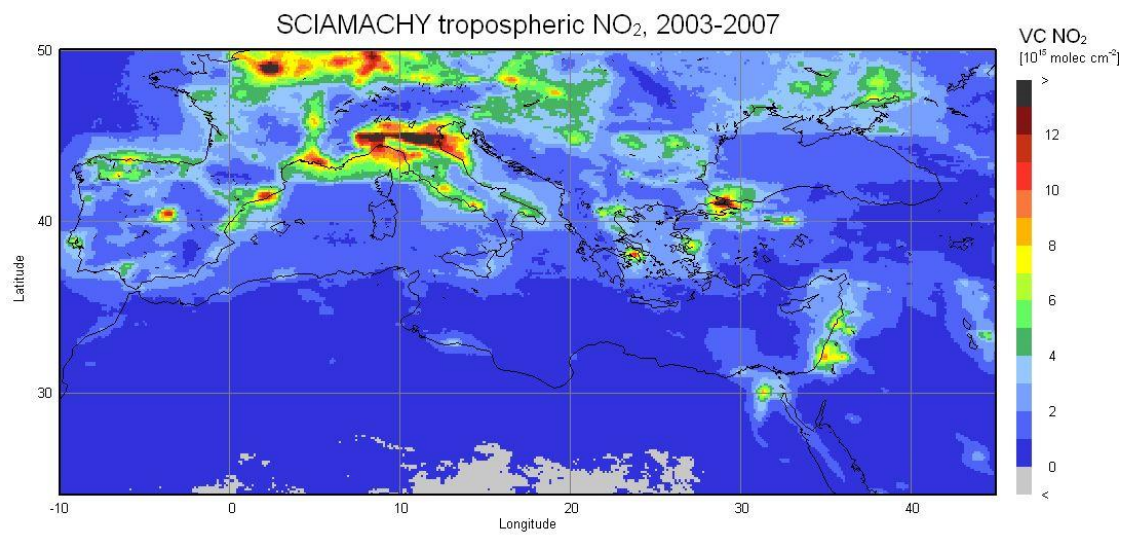
Για τα μεγάλα αστικά κέντρα όπως είναι η Κωνσταντινούπολη, η Αθήνα, η Ρώμη, η Σμύρνη, η Θεσσαλονίκη και το Κάιρο, οι μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ παρατηρούνται τους χειμωνικούς μήνες περιορισμένης ηλιοφάνειας, δηλαδή από Νοέμβριο έως Μάρτιο, τόσο από τον GOME όσο και από τον SCIAMACHY. Από τις περιοχές του ενδιαφέροντός μας η πιο πλούσια περιοχή σε NO₂ φαίνεται να είναι η Κωνσταντινούπολη όπου η τροποσφαιρική στήλη του NO₂ μεγιστοποιείται το μήνα Φεβρουάριο με τιμές που αγγίζουν τα $9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον GOME και τα $30 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον SCIAMACHY. Ακολουθεί η Ρώμη όπου η μέγιστη τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ παίρνει τις τιμές 10 και $15 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον GOME και για τον SCIAMACHY αντίστοιχα. Στην Αθήνα οι μέγιστες τιμές του NO₂ μετρούνται το Φεβρουάριο αλλά είναι σημαντικά μικρότερες από ότι στην Κωνσταντινούπολη, είναι γύρω στα $4.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον GOME και στα $14 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον SCIAMACHY. Στην Θεσσαλονίκη και

στο Κάιρο οι μέγιστες τιμές για τον GOME διακυμαίνονται γύρω στα $5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και γύρω στα $12 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον SCIAMACHY. Ανάλογη εικόνα παρουσιάζει η Σύμυρνη στην οποία οι μέγιστες τιμές καταγράφονται γύρω στα 4 και $9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για τον GOME και τον SCIAMACHY αντίστοιχα.

Η σημαντική αυτή διαφορά στις μετρήσεις των δύο δορυφόρων οφείλεται στο μέγεθος της επιφάνειας σάρωσης και στο είδος της σάρωσης που εκτελεί ο κάθε δορυφόρος. Για τον GOME κάθε σάρωση καλύπτει μια περιοχή στο έδαφος περίπου 40 Km x 960 Km με ανάλυση 40 Km x 320 Km, ενώ για τον SCIAMACHY κάθε σάρωση καλύπτει μια περιοχή 30Km x 960Km με ανάλυση 30Km x 60Km. Ακόμα, στην επεξεργασία μετρήσεων του GOME λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις που εκτελούνται κατά την οπισθοσάρωση (backscan) ενώ κατά την επεξεργασία των μετρήσεων του SCIAMACHY οι μετρήσεις που προκύπτουν από τις οπισθοσαρώσεις δεν συνυπολογίζονται.

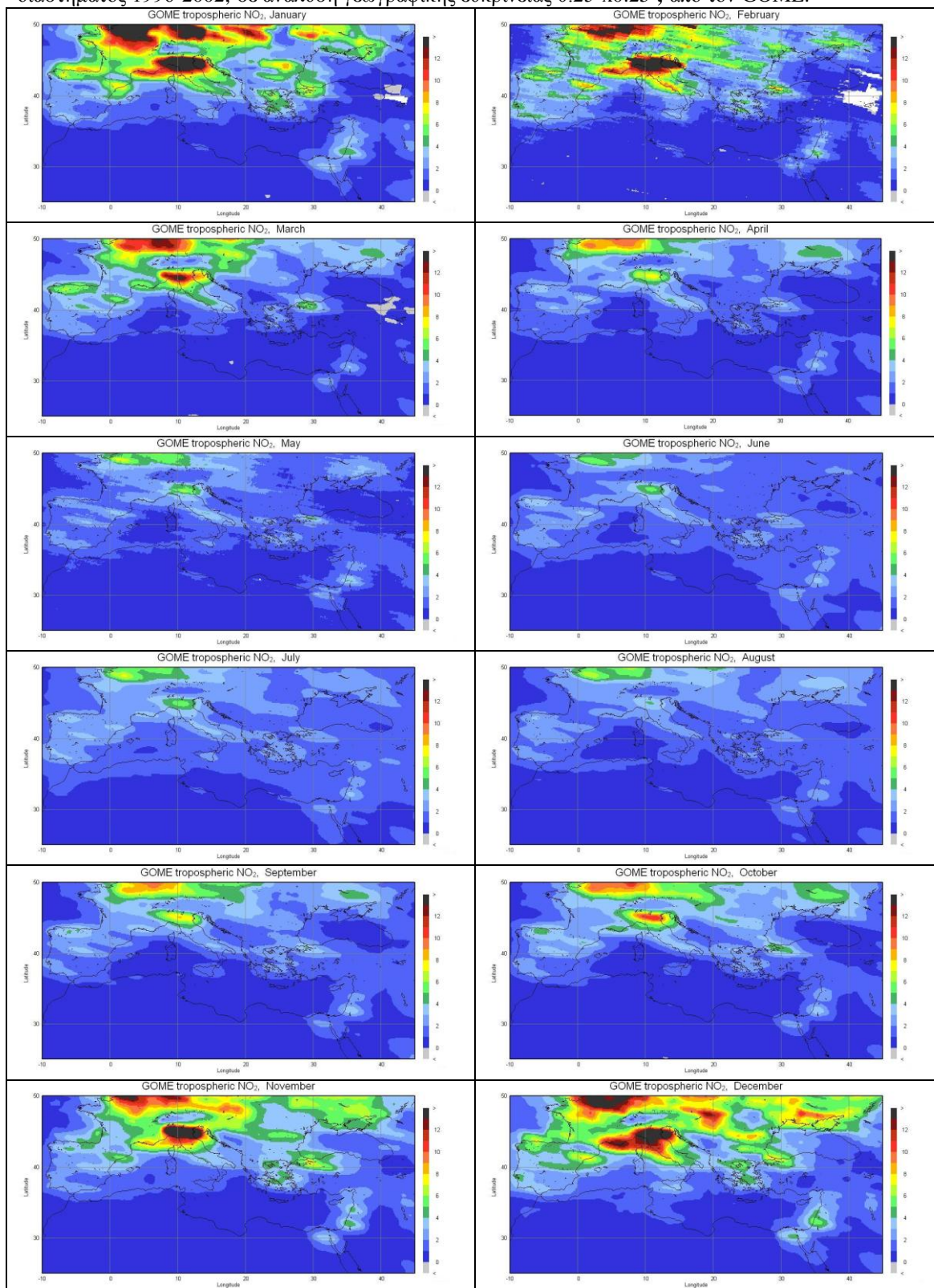


Εικόνα 4.10: Τροποσφαιρική στήλη του NO₂ από τον δορυφορικό αισθητήρα GOME, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, 1996-2002.

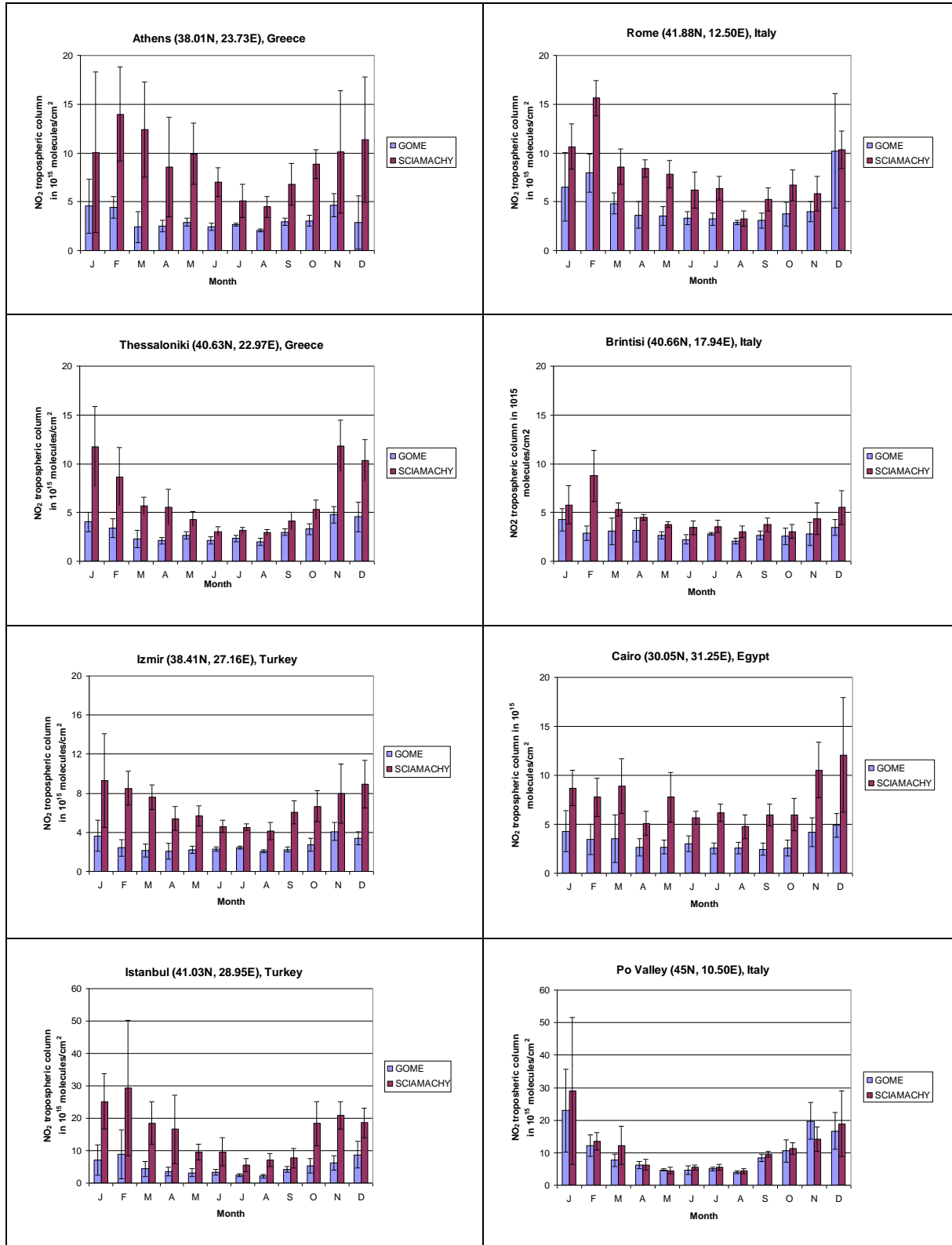


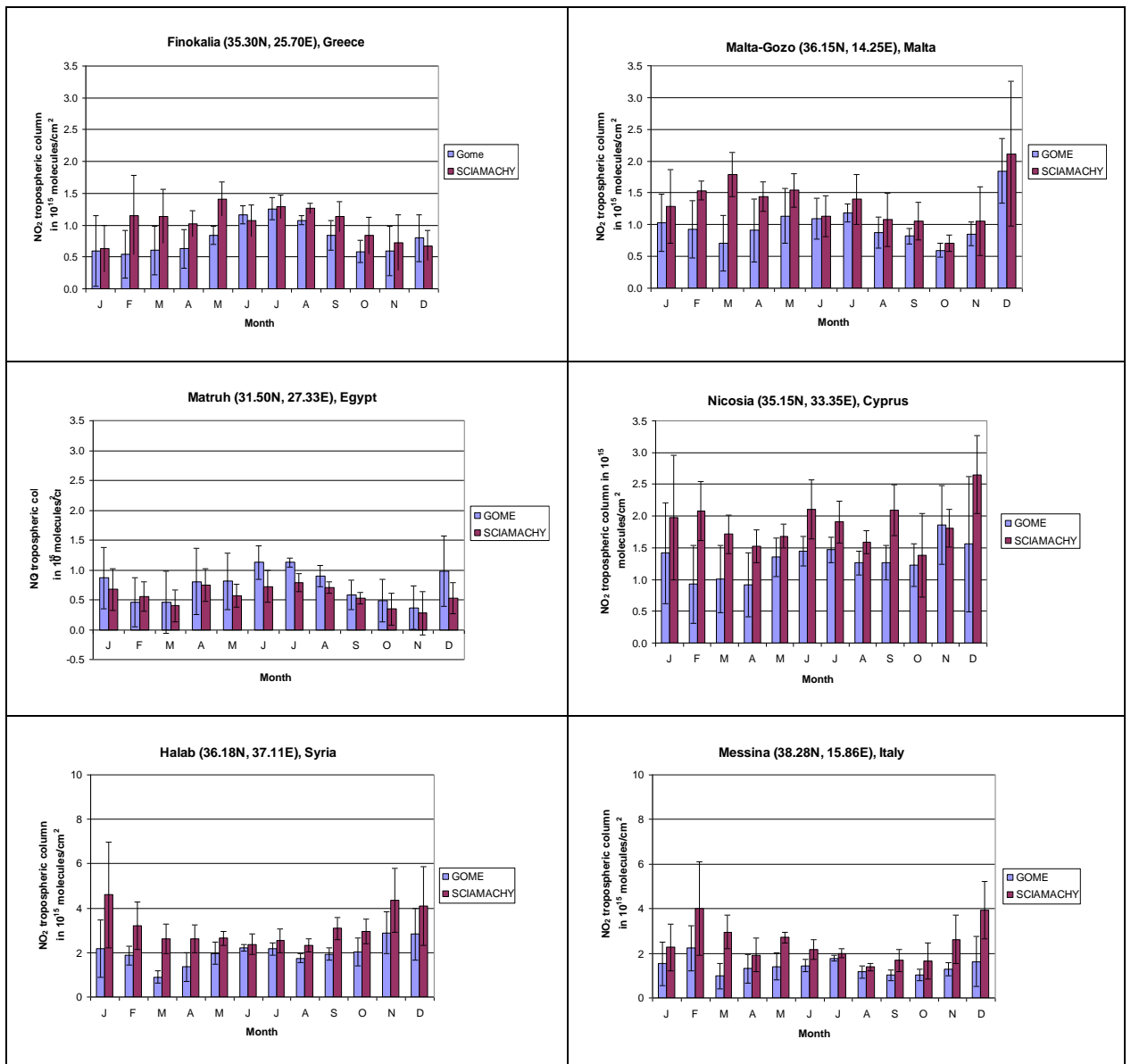
Εικόνα 4.11: Τροποσφαιρική στήλη του NO₂ από τον δορυφορικό αισθητήρα SCIAMACHY, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, 2003-2007.

Εικόνα 4.12: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη του NO₂ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, από τον GOME.



Εικόνα 4.13 Μέσοι όροι-ανά μήνα- των μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, από τον GOME και κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 2003-2007 από τον SCIAMACHY.*





*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση μηνιαία τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂.

Οι ελάχιστες τιμές καταγράφονται τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο και είναι κατά ένα παράγοντα που ποικίλει από περίπου 2 έως 4 φορές μικρότερες από τις αντίστοιχες μέγιστες. Αυτή η διαφορά στις τιμές της τροποσφαιρικής κολώνας του NO₂ υποδηλώνει πρωτογενή παραγωγή οξειδίων του αζώτου (NO_x=NO+NO₂) στις ρυπασμένες περιοχές των αστικών κέντρων, μειωμένη φωτοχημεία το χειμώνα και σημαντική συμμετοχή των NO_x σε φωτοχημικές αντιδράσεις κατά την καλοκαιρινή περίοδο έντονης ηλιοφάνειας, πχ.:



Το Μπρίντζι παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά αστικού κέντρου. Η μέγιστη τιμή του NO_2 καταγράφεται από τον GOME γύρω στα $4 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ τον Ιανουάριο και από τον SCIAMACHY γύρω στα $9 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ τον Φεβρουάριο, ενώ οι αντίστοιχες ελάχιστες τιμές σημειώνονται τον Αύγουστο και για τους δύο αισθητήρες και καταγράφονται γύρω στα 2 και $3 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τον GOME και τον SCIAMACHY αντίστοιχα.

Μια ανάλογη εικόνα παρουσιάζει το Po Valley, μεγάλες τιμές τους χειμωνικούς μήνες $12\text{-}23 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τον GOME και $14\text{-}29 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τον SCIAMACHY, ενώ οι καλοκαιρινές τιμές είναι μικρότερες και διακυμαίνονται από 4 ως $5 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ και από 4.5 ως $6 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY αντίστοιχα.

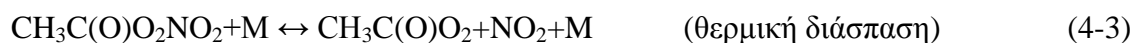
Για το Αλλέπο οι μετρήσεις του SCIAMACHY υποδεικνύουν ότι έχει τα χαρακτηριστικά αστικού κέντρου, σημειώνοντας τις μέγιστες τιμές τους χειμωνικούς μήνες, με μέγιστο τον Ιανουάριο περίπου $4 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες και είναι γύρω στα $2.5 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$. Ωστόσο σύμφωνα με τις μετρήσεις του GOME ενώ οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο γύρω στα $3 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ οι τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO_2 φαίνεται να διατηρούνται σχεδόν σταθερές κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους περίπου $2 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ με εξαίρεση το μήνα Μάρτιο.

Για την Φινοκαλιά, που θεωρείται περιοχή στην οποία οι μετρούμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι δεν οφείλονται σε τοπική παραγωγή αλλά σε μεταφορά από ρυπασμένες περιοχές βλέπουμε ότι οι τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO_2 είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερες τους καλοκαιρινούς μήνες, κυρίως Ιούλιο και Αύγουστο, μετρούνται γύρω στα $1.3 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ και από τους δύο δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, σε σχέση με τους χειμωνικούς μήνες που διακυμαίνονται από 0.5 ως $0.8 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τον GOME και 0.6 ως $0.7 \cdot 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ για τον SCIAMACHY.

Οι καλοκαιρινές τιμές είναι αποτέλεσμα της φωτοχημικής παραγωγής του NO_2 λόγω φωτοδιάσπασης των αποθηκών δραστικού αζώτου, του νιτρικού οξέος (HNO_3) και του νιτρικού εστέρα του υπεροξικού οξέος ($\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$).

Αυτές οι αποθηκευτικές ενώσεις παράγονται πάνω από ρυπασμένες περιοχές και μέσω μικρής ή μεγάλης κλίμακας μεταφοράς έρχονται στην περιοχή της Κρήτης, που

χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλη ηλιοφάνεια, όπου διασπώνται σύμφωνα με τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις :



Αντίθετα, το χειμώνα η μεταφορά δραστικών αζωτούχων ενώσεων προς την Κρήτη περιορίζεται από την υγρή εναπόθεση τους κοντά στις περιοχές σχηματισμού ή εκπομπών τους λόγω βροχόπτωσης.

Για την Μάλτα και για την Μεσσήνη παρατηρείται ένα διπλό μέγιστο από τον GOME στις μέσες μηνιαίες τιμές του NO_2 τους μήνες Ιούλιο περίπου $1.2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και Δεκέμβριο περίπου $1.8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και τους μήνες Ιούλιο γύρω στα $1.8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και Φεβρουάριο γύρω στα $2.2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται τους μήνες Μάρτιο και Οκτώβριο και για τις δύο περιοχές και διακυμαίνονται γύρω στο $1 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Για την Μάλτα ο SCIAMACHY καταγράφει τις μέγιστες τιμές τον μήνα Δεκέμβριο γύρω στα $2.1 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και για την Μεσσήνη τους μήνες Δεκέμβριο και Φεβρουάριο περίπου $4 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές του NO_2 στην Μάλτα παρατηρούνται τους μήνες από Αύγουστο μέχρι Νοέμβριο από τον SCIAMACHY και διακυμαίνονται από 0.7 έως $1 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ στην Μεσσήνη παρατηρούνται από Ιούνιο μέχρι Οκτώβριο και διακυμαίνονται από 1.6 ως $2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Συνολικά στη Μεσσήνη φαίνεται ότι η τροποσφαιρική στήλη του NO_2 παίρνει μεγαλύτερες τιμές από ότι στη Μάλτα.

Για την Λευκωσία παρατηρείται ένα διπλό μέγιστο στις μέσες μηνιαίες τιμές του NO_2 τους μήνες Ιούλιο γύρω στα $1.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και Νοέμβριο περίπου $1.9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² αντίστοιχα, από τον GOME. Οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο και είναι γύρω $0.9-1 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

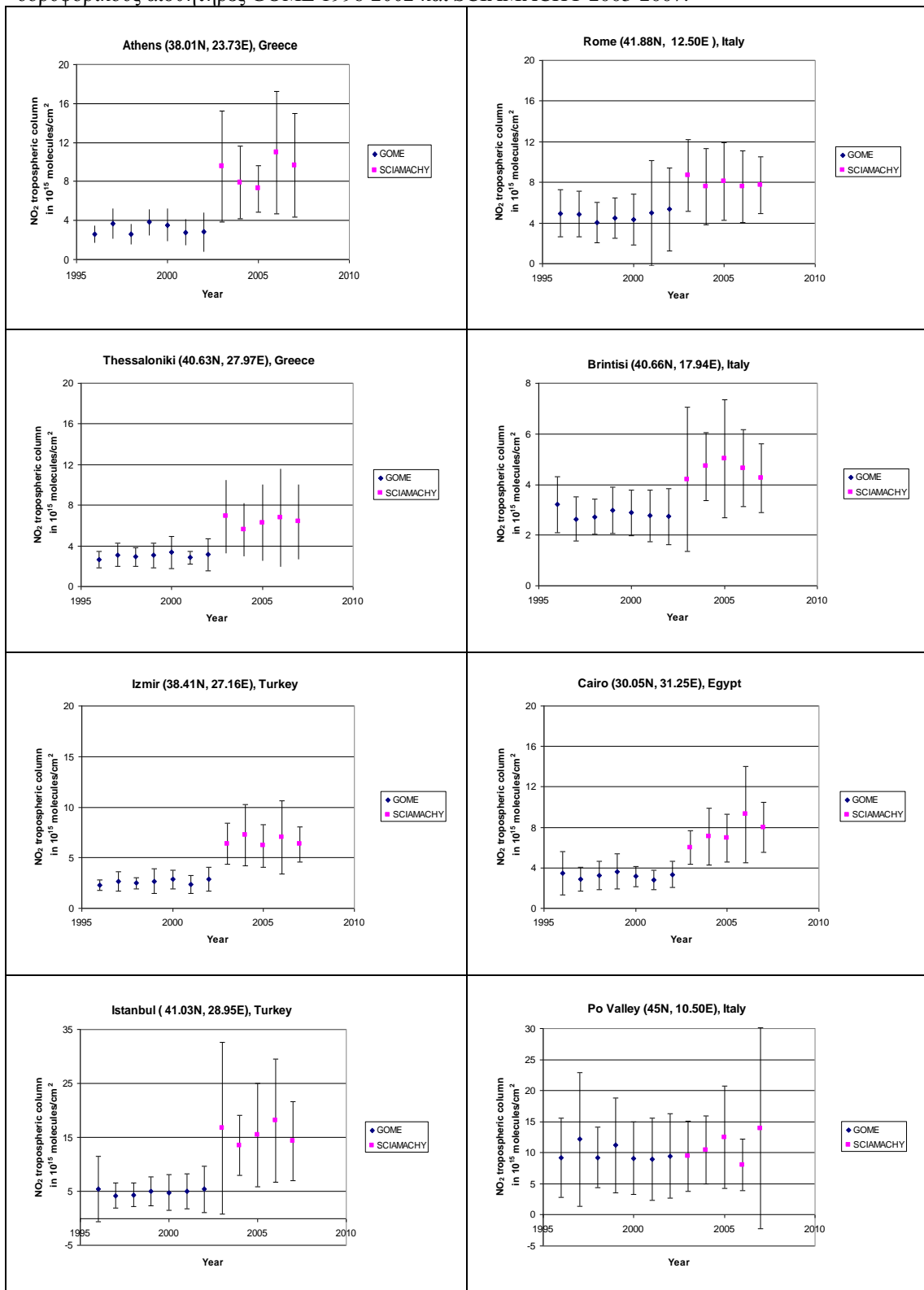
Για την Λευκωσία η μέγιστη τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του NO_2 καταγράφεται από τον SCIAMACHY γύρω στα $2.7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² τον Δεκέμβριο και η ελάχιστη γύρω στα $1.4 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² τον Οκτώβριο χωρίς ωστόσο να διακρίνεται εποχικότητα λόγω των διαδοχικών αυξομειώσεων των τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου. Η γεωγραφική θέση της Λευκωσίας υποδεικνύει ότι βρίσκεται πολύ κοντά σε περιοχές παραγωγής

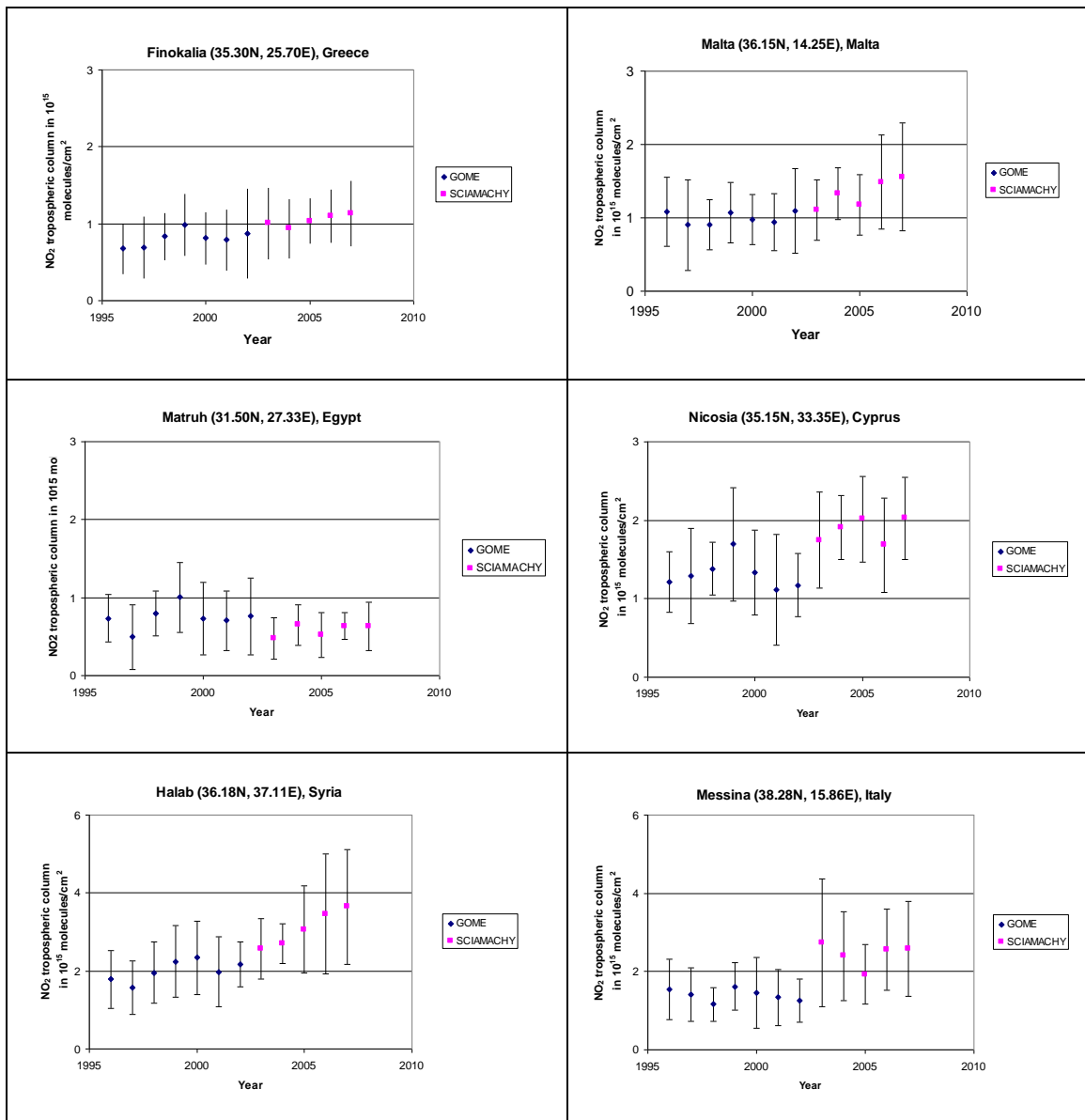
πρωτογενούς ρύπανσης στη Μέση Ανατολή, οπότε ενδεχομένως να γίνεται μεταφορά των οξειδίων του αζώτου που παράγονται στις πηγές αυτές ακόμα και το Χειμώνα πριν προλάβουν τα οξείδια του αζώτου να απομακρυνθούν λόγω υγρής εναπόθεσης. Ο GOME καταγράφει ένα διπλό μέγιστο και στο Ματρούχ τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο γύρω στα $1.1 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και τον Δεκέμβριο περίπου 10^{15} molecules/cm² και αντίστοιχα ένα διπλό ελάχιστο τους μήνες Οκτώβρη-Νοέμβρη και Φεβρουάριο-Μάρτη γύρω στα 0.4 με $0.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Αντίστοιχες αλλά λίγο μικρότερες είναι οι τιμές που καταγράφει ο SCIAMACHY για το Ματρούχ.

Προσδιορίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές της για κάθε μία από τις επιλεγμένες τοποθεσίες, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.14. Οι παραπάνω τοποθεσίες ταξινομούνται λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ όπως αυτό προσδιορίστηκε βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂, από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, στον πίνακα 4.4.

Για κάθε μία από τις υπό μελέτη περιοχές προσδιορίστηκε η μέση τιμή των μέσων ετήσιων τιμών για όλο το χρονικό διάστημα μέτρησης του GOME και SCIAMACHY, για τον κάθε αισθητήρα χωριστά. Βάσει αυτού του υπολογισμού κανονικοποιήθηκαν οι μέσες ετήσιες τιμές του NO₂. Όμως η παραπάνω κανονικοποίηση δεν υποδεικνύει σαφείς αυξητικές ή πτωτικές τάσεις για τις περισσότερες από τις υπό μελέτη περιοχές αναφορικά με τις μετρήσεις του GOME (εικόνα 4.15). Ωστόσο στο Κάιρο, στη Μάλτα και στο Αλλέπο διακρίνονται από τον SCIAMACHY αυξητικές τάσεις της τάξεως του 8-9 %y⁻¹, στο Po Valley περίπου 6%y⁻¹ και στην Φινοκαλιά γύρω στα 4%y⁻¹. Ο βαθμός εμπιστοσύνης αναφορικά με τις εκτιμήσεις των παραπάνω τάσεων είναι μικρός λόγω της πολύ μεγάλης αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στις δορυφορικές μετρήσεις των αισθητήρων όταν αυτές μελετούνται στην ανάλυση 0.25° x 0.25°.

Εικόνα 4.14: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ όπως καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007.*



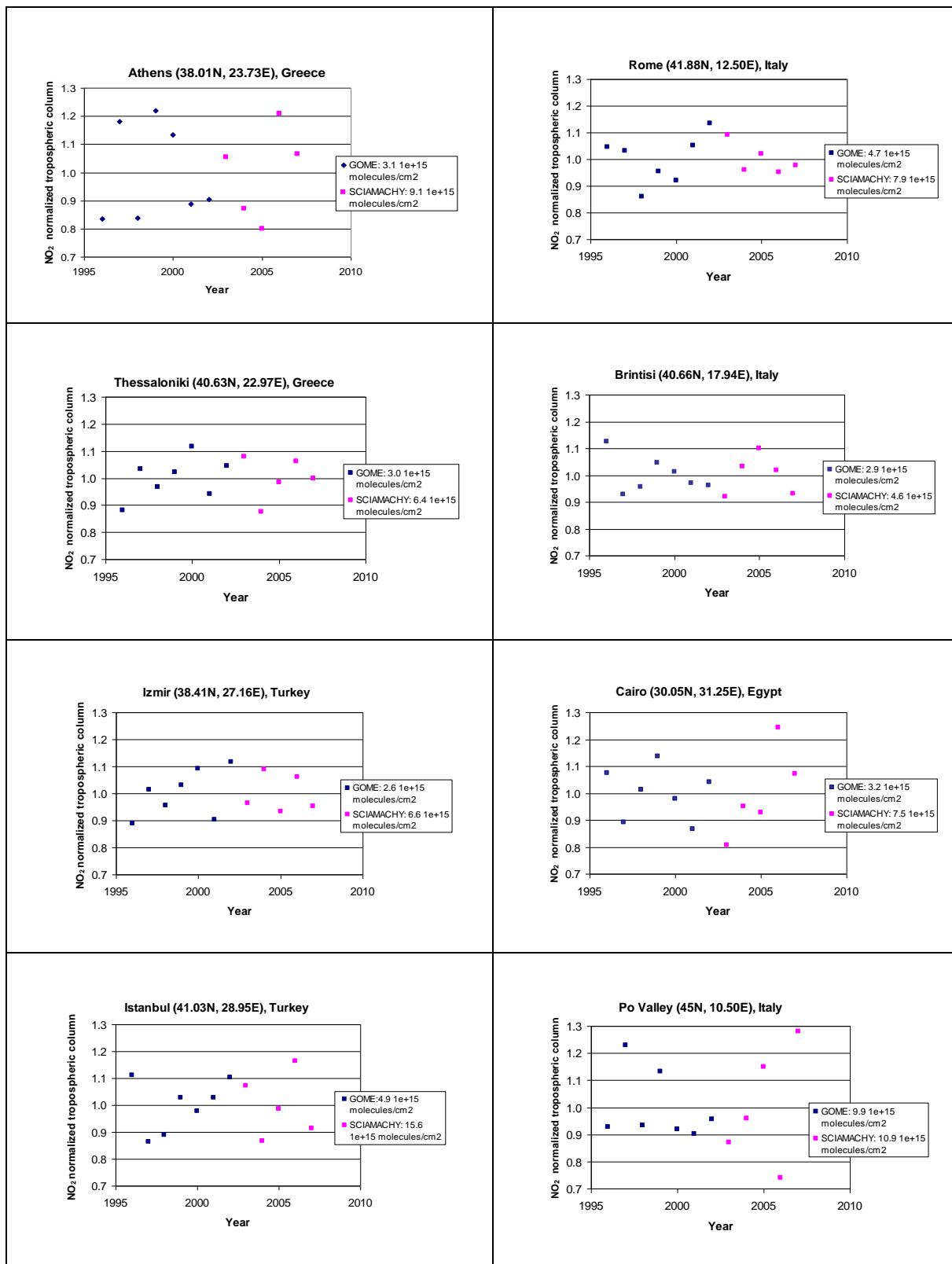


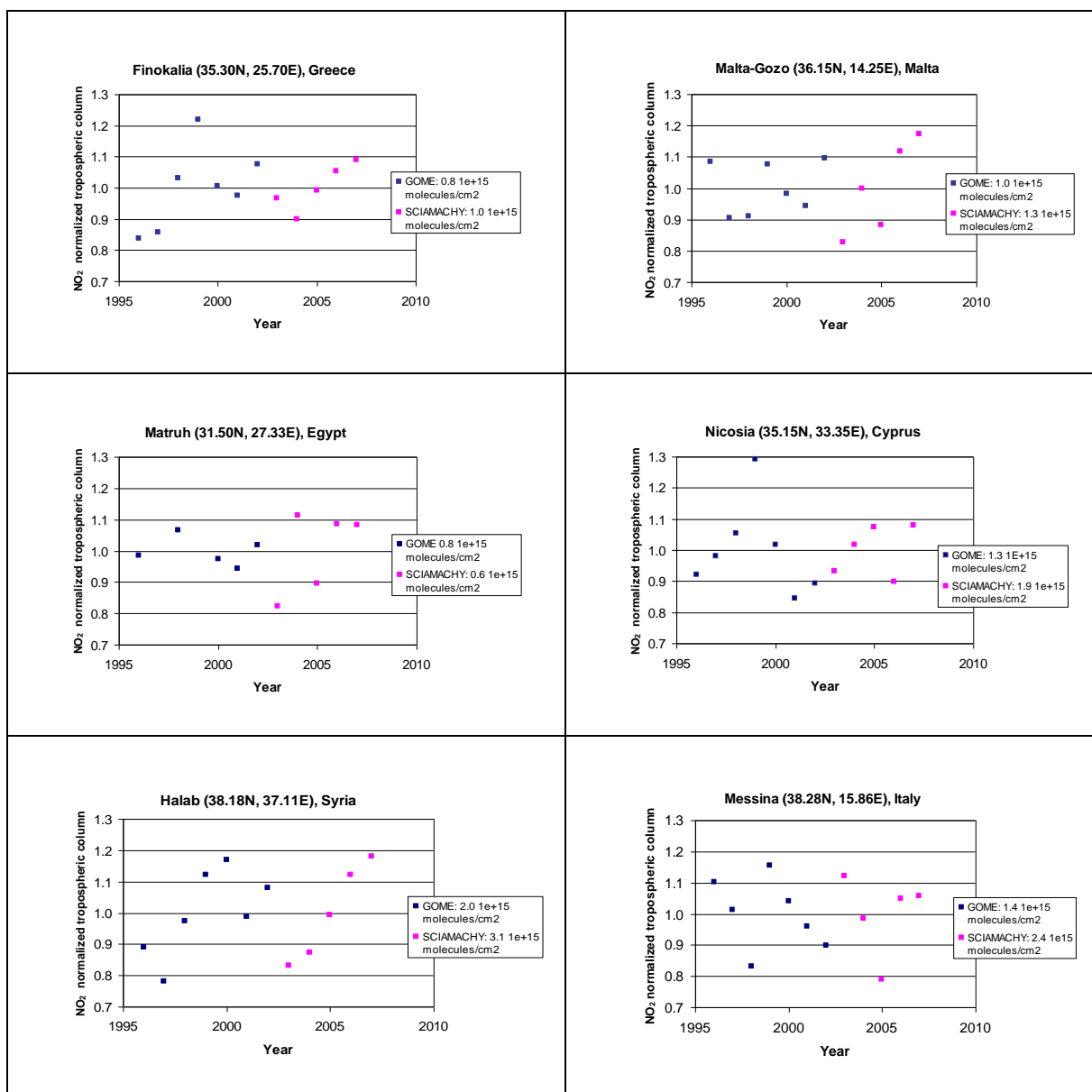
*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών κάθε έτους από την μέση ετήσια τιμή.

Πίνακας 4.4 Το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών του NO₂ σε 10¹⁵ molecules/cm², όπως αυτό προσδιορίστηκε βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY.

Τοποθεσίες	Εύρος μέσων ετήσιων τιμών κατά GOME	Εύρος μέσων ετήσιων τιμών κατά SCIAMACHY
Κων/πολη	4.2-5.4	13.4-18.1
Po Valley	9-12	8-14
Αθήνα	2.6-3	7.2-10.9
Κάιρο	2.8-3.5	6-9.2
Ρώμη	4-5.3	7.5-8.7
Σμύρνη	2.3-2.9	6.1-7.2
Θεσσαλονίκη	2.6-3.4	5.6-6.9
Μπρίντεζι	2.6-3.2	4.2-5
Αλλέπο	1.6-2.3	2.6-3.6
Μεσσήνη	1.1-1.6	1.9-2.7
Λευκωσία	1.1-1.7	1.7-2
Μάλτα-Γκόζο	0.9-1.1	1.1-1.6
Φινοκαλιά	0.7-1.0	0.9-1.1
Ματρούχ	0.5-1.0	0.5-0.6

Εικόνα 4.15: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME: 1996-2002 και SCIAMACHY: 2003-2007.





*Στις λεζάντες δεξιά αναγράφονται οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ που χρησιμοποιήθηκαν για την κανονικοποίηση, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σαν μέσος όρος των μέσων ετήσιων τιμών κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων 1996-2002 και 2003-2007 για τον GOME και για τον SCIAMACHY αντίστοιχα, στην κάθε μία επιλεγμένη τοποθεσία.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις μας για τις μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ για όλο το υπό μελέτη διάστημα συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τις εκτιμήσεις των Zygichidou et al. (2009), για τις περισσότερες από τις κοινές περιοχές της μελέτης μας (Θεσσαλονίκη, Σμύρνη, Λευκωσία και Φινοκαλιά), παρόλο που η ανάλυση που έχει χρησιμοποιηθεί είναι διαφορετική. Επίσης, υπάρχει συμφωνία στην εκτίμηση ότι η Κωνσταντινούπολη φαίνεται να είναι η πιο ρυπασμένη σε NO₂ τοποθεσία στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου πράγμα που μπορεί να ερμηνευτεί αν λάβουμε υπόψη μας ότι είναι μια από τις μεγαλύτερες πόλεις του

κόσμου με 12 εκατομμύρια κατοίκους και περισσότερα από 2 εκατομμύρια αυτοκίνητα, σύμφωνα με την απογραφή του 2007.

Για τις τοποθεσίες : Κωνσταντινούπολη, Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Κάιρο, Φινοκαλιά αντίστοιχες εκτιμήσεις για την τροποσφαιρική στήλη του NO₂ κατά το χρονικό διάστημα μέτρησης του SCIAMACHY, έχουν γίνει από τους Vrekoussis et al. (2009), σε ανάλυση 0.5° x 0.5° και υποδεικνύουν τιμές γύρω στα 1 10¹⁶ molecules/cm² για Αθήνα και Κωνσταντινούπολη, για την Θεσσαλονίκη, το Κάιρο, την Σμύρνη γύρω στα 5 10¹⁵ molecules/cm², και για την Φινοκαλιά γύρω στα 10¹⁵ molecules/cm².

4.1.4 Τροποσφαιρική στήλη της HCHO στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, 1996-2007.

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουμε τις μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, καθώς επίσης τις μέσες ετήσιες και τις κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές με χρήση μετρήσεων που βασίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME (1996-2002) και SCIAMACHY(2003-2007). Για κάθε έναν από τους δύο δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY εργαστήκαμε ανεξάρτητα από τον άλλο.

Η μελέτη της HCHO με τη χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων γενικά στην περιοχή της Ευρώπης παρουσιάζει δυσκολίες λόγω του ότι οι δορυφορικές παρατηρήσεις για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO είναι κοντά στο όριο ανίχνευσης των δορυφορικών αισθητήρων (Dufour et al., 2009). Στην περιοχή της Μεσογείου που οι τιμές της είναι αντίστοιχες ή ακόμα μικρότερες από τις τιμές της στην Ευρώπη οι δυσκολίες φαίνεται να είναι ακόμη μεγαλύτερες.

Ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου για χρονικό διάστημα 1996-2002, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τον GOME παρουσιάζεται στην εικόνα 4.16 και ο αντίστοιχος μέσος όρος όπως προσδιορίζεται από τον SCIAMACHY για το χρονικό διάστημα 2003-2007 παρουσιάζεται στην εικόνα 4.17.

Υπολογίσαμε το μέσο όρο των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO ανά μήνα και τα αποτελέσματα από τις δορυφορικές παρατηρήσεις του GOME παρουσιάζονται με μορφή εικόνων στον πίνακα 4.18, τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τον SCIAMACHY στο παράρτημα I, όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή ιστογράμματος για τις 14 επιλεγμένες τοποθεσίες στην εικόνα 4.19.

Η HCHO παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές της τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο σχεδόν σε όλες τις περιοχές της μελέτης μας τόσο σύμφωνα με τις μετρήσεις του GOME όσο και σύμφωνα με τις μετρήσεις του SCIAMACHY.

Αναφορικά με τις μετρήσεις του GOME:

Οι μέγιστες καλοκαιρινές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO στα μεγάλα αστικά κέντρα Κων/πολη, Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Σμύρνη, Ρώμη και Λευκωσία διακυμαίνονται από 7 μέχρι 8 10^{15} molecules/cm². Στο Po Valley η καλοκαιρινή τιμή

της φορμαλδεΐδης είναι γύρω στα $8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ωστόσο δεν είναι η μέγιστη τιμή της στην περιοχή αυτή. Στην Φινοκαλιά, το Μπρίντεζι, το Ματρούχ και την Μάλτα οι μέγιστες τροποσφαιρικές στήλες της HCHO καταγράφονται από 6 ως $7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², στο Αλλέπο και στη Μεσσήνη οι αντίστοιχες τιμές διακυμαίνονται γύρω στα $5-6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ την χαμηλότερη τροποσφαιρική στήλη HCHO φαίνεται να έχει το Κάιρο με τιμή περίπου $4.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στο Po Valley η μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO καταγράφονται από τον GOME τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο και είναι περίπου $10 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Στην Ρώμη, την Θεσσαλονίκη, την Αθήνα, τη Φινοκαλιά και την Μάλτα φαίνεται οι τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO να παρουσιάζουν ένα δευτερεύον μέγιστο τον Φεβρουάριο ή τον Μάρτιο, που παίρνει τιμές μεταξύ 5 και $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² για την Αθήνα και την Φινοκαλιά, ενώ για τις άλλες τρεις τοποθεσίες από 6 ως $7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Οι ελάχιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO όπως καταγράφονται από τον GOME παρουσιάζονται συνήθως την άνοιξη από τον Μάρτιο έως τον Μάη ή το φθινόπωρο από τον Οκτώβρη ως τον Δεκέμβριο. Διακυμαίνονται από περίπου $1.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² στο Κάιρο τον Απρίλιο έως περίπου $4.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² το Δεκέμβριο στο Po Valley.

Αναφορικά με τις μετρήσεις του SCIAMACHY ο οποίος κατέγραψε επίσης τις τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, για το χρονικό διάστημα 2003-2007 η ανάλυση των μέσων μηνιαίων τιμών έδειξε ότι για αρκετές από τις παραπάνω τοποθεσίες παρατηρούνται διπλά μέγιστα για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO, ένα εκ των οποίων σημειώνεται συνήθως το καλοκαίρι, κυρίως τον Ιούλιο ή τον Αύγουστο, ενώ το δεύτερο μέγιστο σημειώνεται συνήθως από τον Νοέμβριο μέχρι τον Φεβρουάριο.

Στην Αθήνα, τη Ρώμη, το Αλλέπο και την Θεσσαλονίκη οι μέγιστες τιμές της HCHO ακολουθούν την παραπάνω κατανομή και διακυμαίνονται περίπου από 8.5 ως $12 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στη Λευκωσία η μέγιστη τιμή του Ιουλίου της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO που καταγράφεται γύρω στα $10 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², συνοδεύεται από μία δεύτερη μεγαλύτερη μέγιστη τιμή τον Δεκέμβριο που όμως δεν μπορεί να χαρακτηρίσει τα πέντε χρόνια 2003-2007 γιατί προσδιορίζεται με βάση μία μόνο τιμή λόγω έλλειψης δεδομένων.

Στη Μάλτα σημειώνεται το διπλό μέγιστο μεταξύ Ιουλίου- περίπου $7.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² - και Απριλίου που είναι γύρω στα $9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ στο Μπρίντεζι τα δύο μέγιστα καταγράφονται Μάρτιο και Σεπτέμβριο και είναι γύρω στα $9-10 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στις υπόλοιπες περιοχές οι μέγιστες μηνιαίες τιμές της HCHO καταγράφονται ως εξής: στο Po Valley το Φεβρουάριο περίπου $16 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στο Κάιρο, το Ματρούχ, την Φινοκαλιά και την Μεσσήνη τον Ιούλιο ή τον Αύγουστο και διακυμαίνονται από περίπου $9.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² στη Φινοκαλιά έως περίπου $15 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² στη Μεσσήνη ενώ στο Κάιρο και στο Ματρούχ της Αιγύπτου οι αντίστοιχες τιμές καταγράφονται γύρω στα $12-14 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Τέλος στην Κων/πολη η μέγιστη τιμή σημειώνεται το Σεπτέμβριο και είναι γύρω στα $9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Για την Φινοκαλιά, την Κων/πολη, την Σμύρνη, τη Λευκωσία και το Αλλέπο οι ελάχιστες της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO καταγράφονται τον Απρίλιο, ενώ για την Αθήνα, τη Ρώμη, το Κάιρο, το Ματρούχ, το Μπρίντεζι, τη Μεσσήνη και τη Μάλτα καταγράφονται τους χειμωνικούς μήνες από Νοέμβριο μέχρι Φεβρουάριο. Τέλος η Θεσσαλονίκη και το Po Valley σημειώνουν τις ελάχιστες τιμές τους το Σεπτέμβριο.

Η ανάλυση των δεδομένων αυτών υποδεικνύει μέγιστες τροποσφαιρικές στήλες πάνω από την Ανατολική Μεσόγειο κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευτεί σαν αποτέλεσμα της φωτοχημικής παραγωγής της HCHO κατά τη διάρκεια αυτών των θερινών μηνών έντονης ηλιοφάνειας. Ωστόσο η εμφάνιση μεγίστων τροποσφαιρικών στηλών και κατά την διάρκεια του χειμώνα κυρίως τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο υποδηλώνει παραγωγή της HCHO που ενδεχομένως οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες κυρίως σε καύσεις όπως η θέρμανση ή η αυξημένη κυκλοφορία των μέσων συγκοινωνίας.

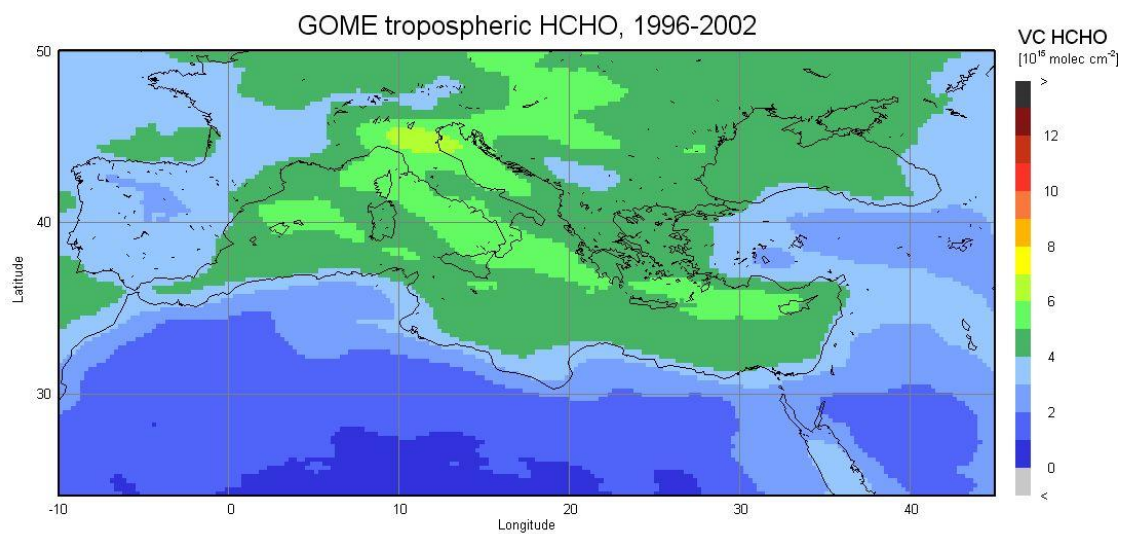
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του χειμωνικού μεγίστου της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO που παρατηρείται στο Po Valley το οποίο δεν συνοδεύεται από αντίστοιχο καλοκαιρινό μέγιστο αναφορικά με τις μετρήσεις του SCIAMACHY. Το Po Valley είναι μία περιοχή του Ιταλικού Βορά όπου υπερισχύουν οι ανθρωπογενείς εκπομπές έναντι των βιογενών.

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υψηλές καλοκαιρινές στήλες της HCHO πάνω από τη θαλάσσια περιοχή (εικόνα 4.18) τους καλοκαιρινούς μήνες υποδεικνύοντας αφενός φαινόμενα φωτοχημείας και μεταφοράς αφετέρου ενδεχόμενες βιογενείς πηγές παραγωγής υδρογονανθράκων των οποίων η οξείδωση συντελεί στην

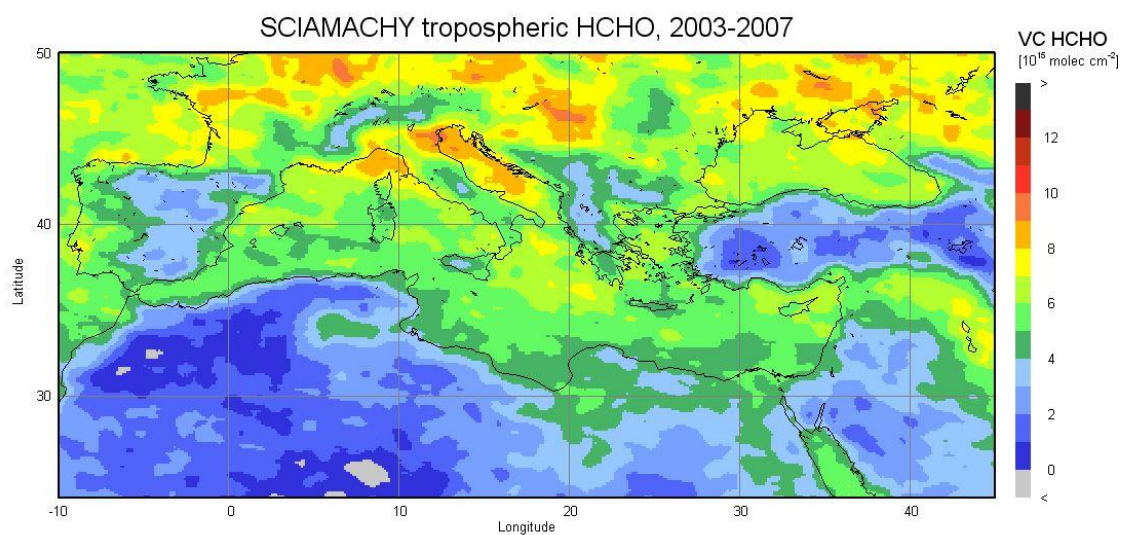
φωτοχημική παραγωγή της HCHO. Ο ρυθμός παραγωγής του ισοπρενίου, που είναι πρόδρομη ένωση της HCHO, εκτιμάται να είναι μεγαλύτερος το καλοκαίρι στο θαλάσσιο περιβάλλον της Μεσογείου συγκριτικά με τον χειμώνα (Gannt et al., 2009), λόγω της επίδρασης αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας στα θαλάσσια φυτά. Σημαντικό ρόλο στη φωτοχημική παραγωγή της HCHO φαίνεται να παίζουν οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις της ρίζας OH που παρατηρούνται πάνω από την θάλασσα.

Τα παραπάνω υποδηλώνουν έντονη φωτοχημική παραγωγή τις περιόδους έντονης ηλιοφάνειας, καθώς επίσης πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές HCHO και μεταφορά της HCHO στις υπό μελέτη περιοχές.

Οι μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO σε κάθε μία από τις υπό μελέτη τοποθεσίες, όπως καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY παρουσιάζονται στην εικόνα 4.20.

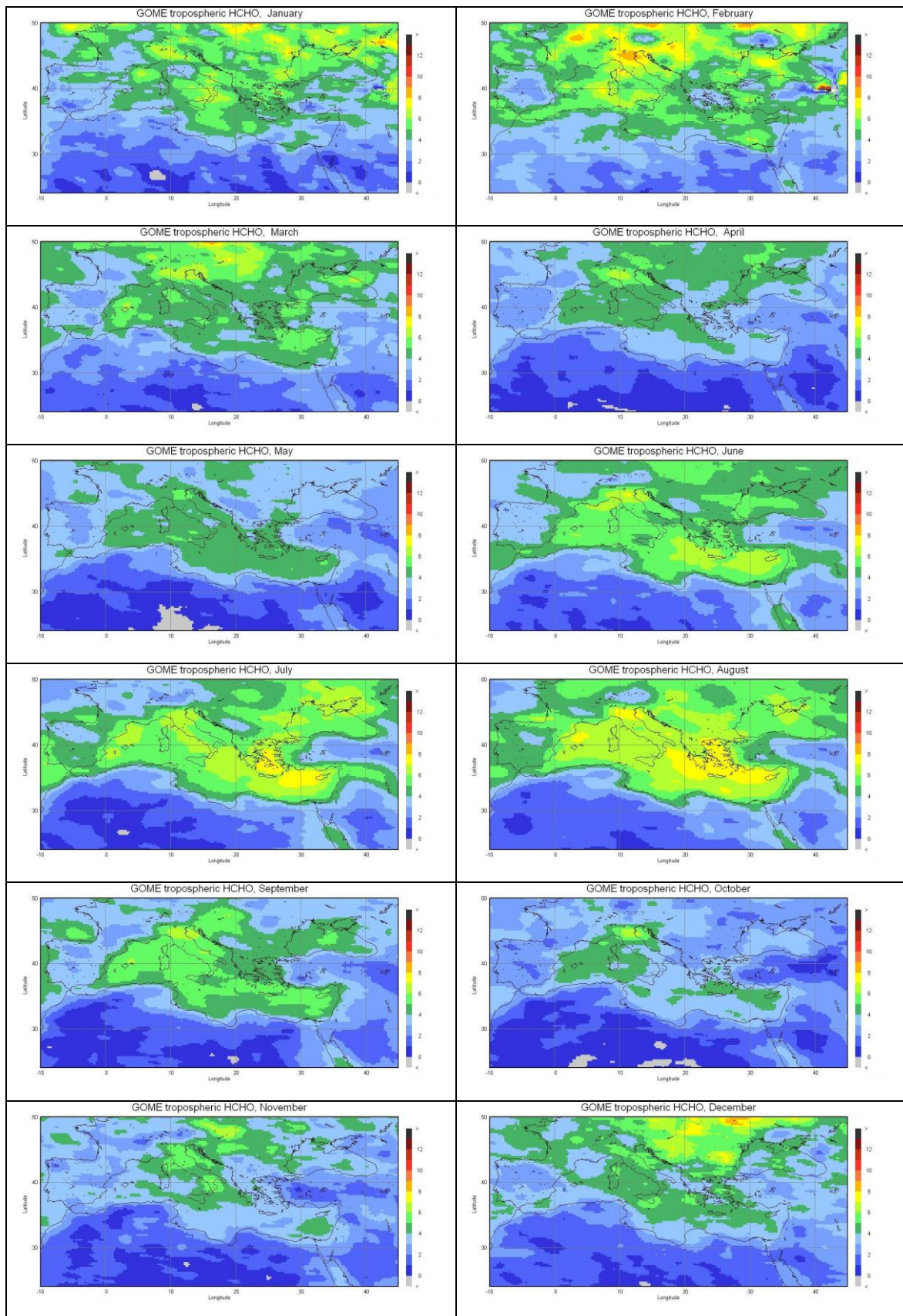


Εικόνα 4.16: Η τροποσφαιρική στήλη της HCHO από τον GOME, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 1996-2002.

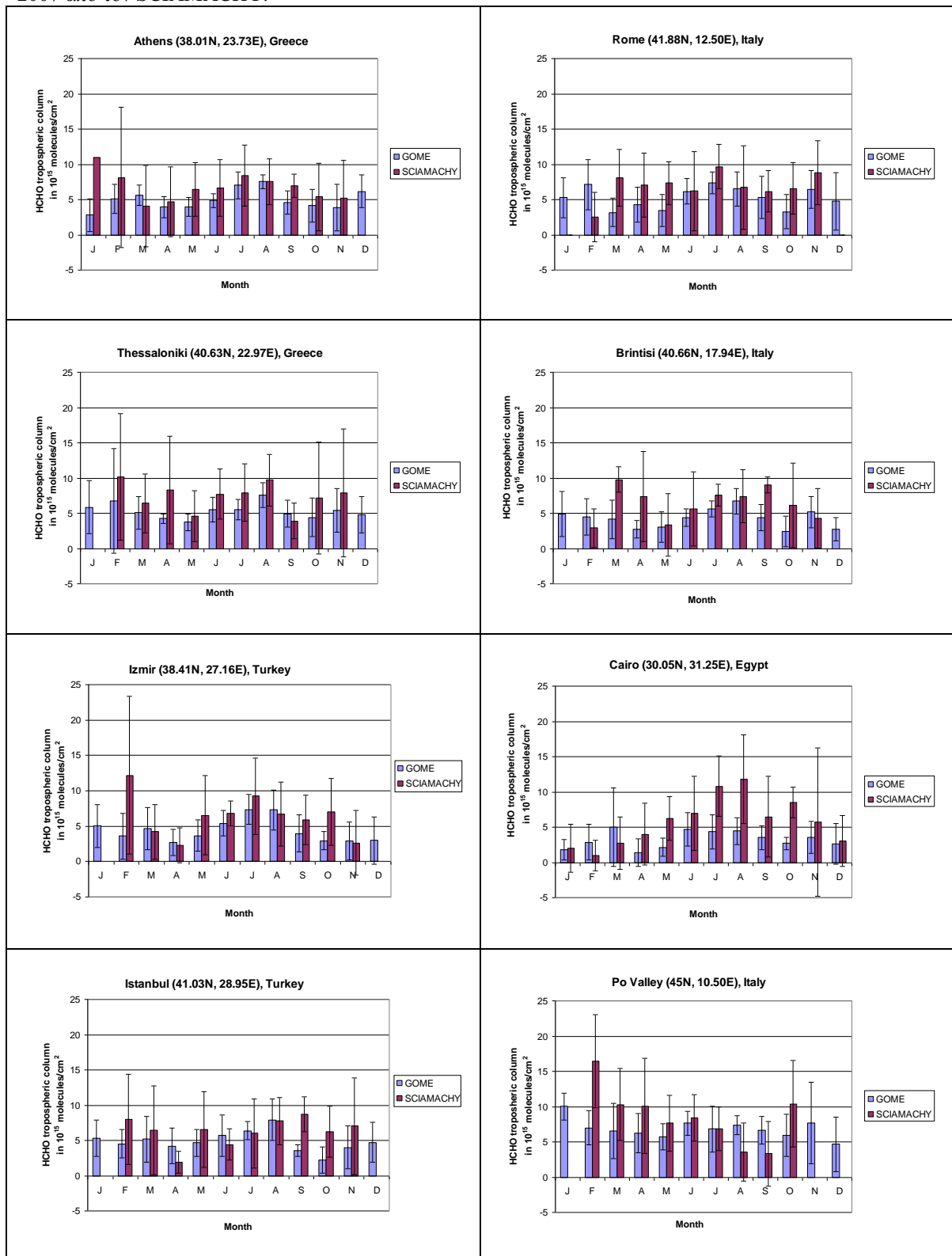


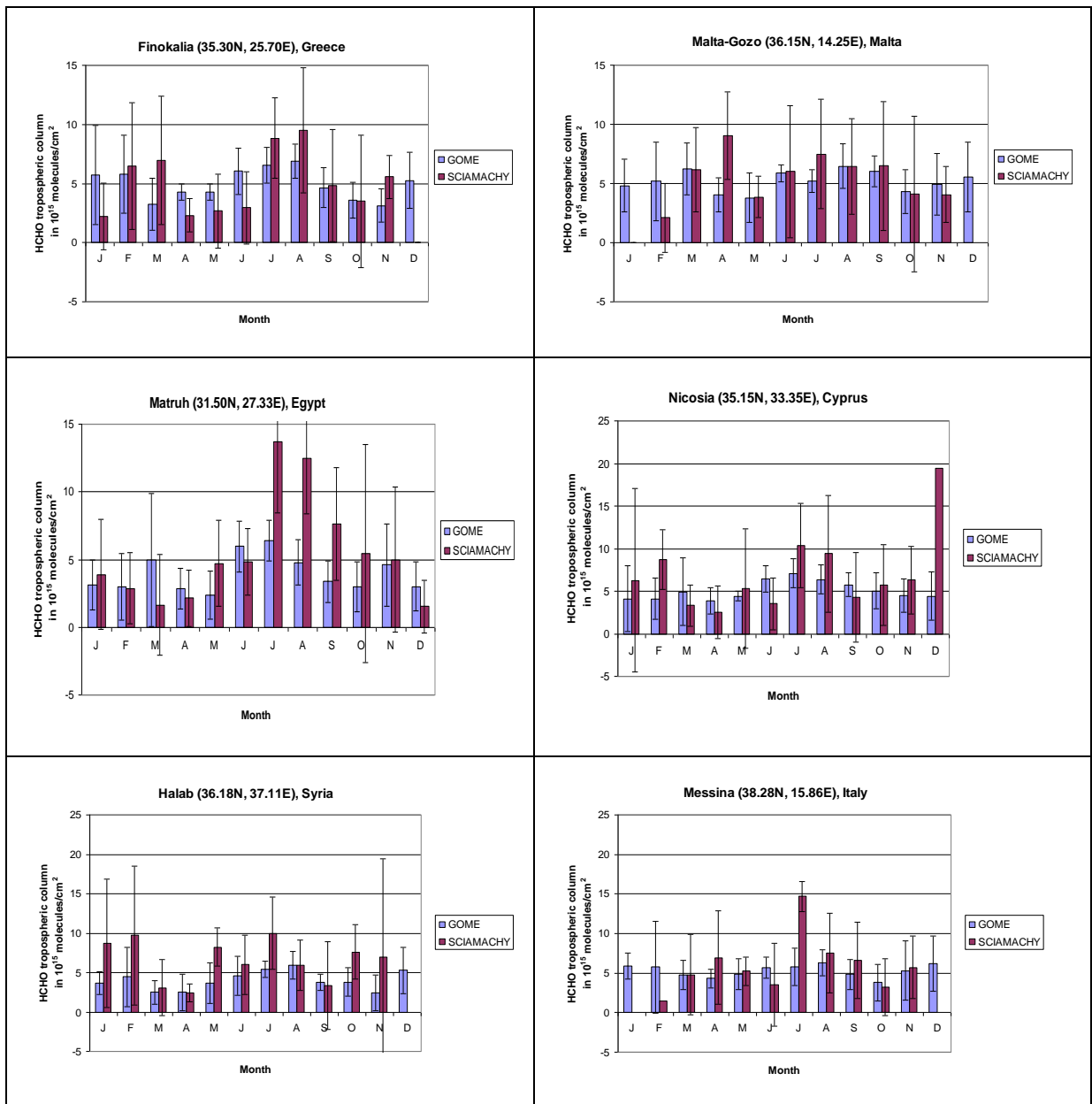
Εικόνα 4.17: Η τροποσφαιρική στήλη της HCHO από τον SCIAMACHY, ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 2003-2007.

Πίνακας 4.18: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη της HCHO κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, από τον GOME.



Εικόνα 4.19: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, ανά μήνα, όπως προσδιορίζονται κατά μέσο όρο για το χρονικό διάστημα 1996-2002 από τον GOME και το χρονικό διάστημα 2003-2007 από τον SCIAMACHY. *





*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση μηνιαία τιμή.

GOME

Τις μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO καταγράφει ο GOME στο Po Valley της Ιταλίας περίπου από $6-8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στην Θεσσαλονίκη το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών είναι περίπου $5-7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και στην Μεσσήνη περίπου $4-7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Από 4 ως $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², διακυμαίνονται οι μέσες ετήσιες τιμές της HCHO στα μεγάλα αστικά κέντρα: Αθήνα, Κων/πολη, Ρώμη και Σμύρνη σημειώνοντας ότι στη Σμύρνη η διακύμανση είναι λίγο μεγαλύτερη από περίπου 3.5 ως $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Το ίδιο εύρος μέσων ετήσιων καταγράφεται από τον GOME και στην Φινοκαλιά, την Μάλτα και την Λευκωσία. Λίγο μικρότερες μέσες ετήσιες τιμές από $3-5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² παρατηρούνται στο Μπρίντεζι, το Αλλέπο της Συρίας και το Ματρούχ της Αιγύπτου, ενώ στο Κάιρο το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών είναι περίπου $1.5-5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

SCIAMACHY

Για το Po Valley οι μέσες ετήσιες τιμές της HCHO διακυμαίνονται από $5-11 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², για την Θεσσαλονίκη, το Μπρίντεζι και το Αλλέπο από περίπου 5 μέχρι $10 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ για την Μεσσήνη περίπου $5-9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Για την Αθήνα και την Ρώμη η μέση ετήσια τροποσφαιρική στήλη της HCHO καταγράφεται περίπου $6-8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ για την Κωνσταντινούπολη, το Κάιρο και το Ματρούχ το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών είναι μεγαλύτερο γύρω στα $4-8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Στη Σμύρνη και στην Λευκωσία οι μέσες ετήσιες τιμές όπως τις καταγράφει ο δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY διακυμαίνονται από 5 ως $8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ στην Φινοκαλιά και στην Μάλτα διακυμαίνονται από 3 ως $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², με εξαίρεση το 2004 στην Μάλτα όπου η μέση ετήσια τιμή της HCHO αγγίζει περίπου τα $8.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

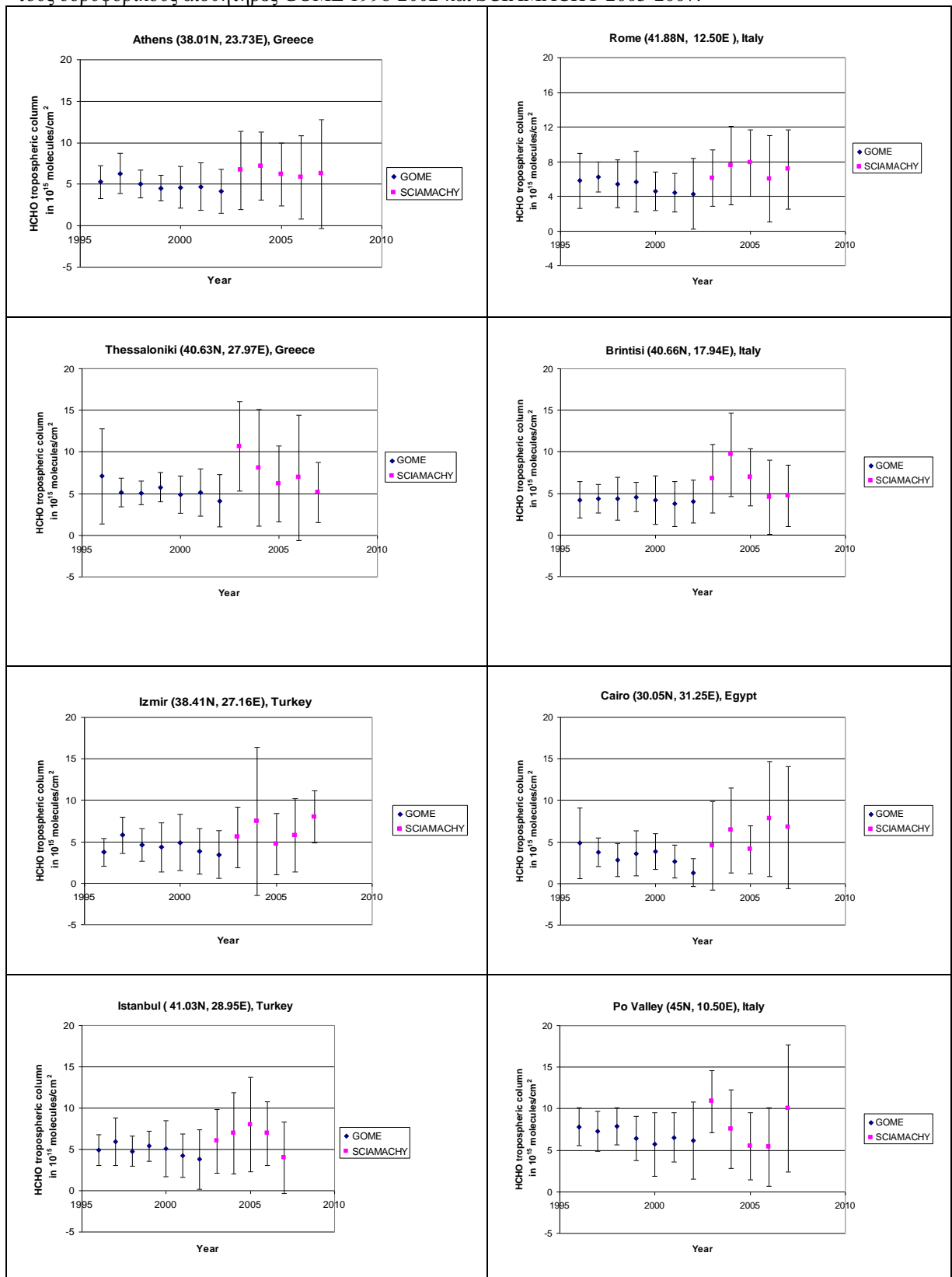
Προσδιορίσαμε τις κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, χρησιμοποιώντας σαν παράγοντα κανονικοποίησης το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών του χρονικού διαστήματος 1996-2002 αναφορικά με τον GOME και του χρονικού διαστήματος 2003-2007 αναφορικά με τον SCIAMACHY.

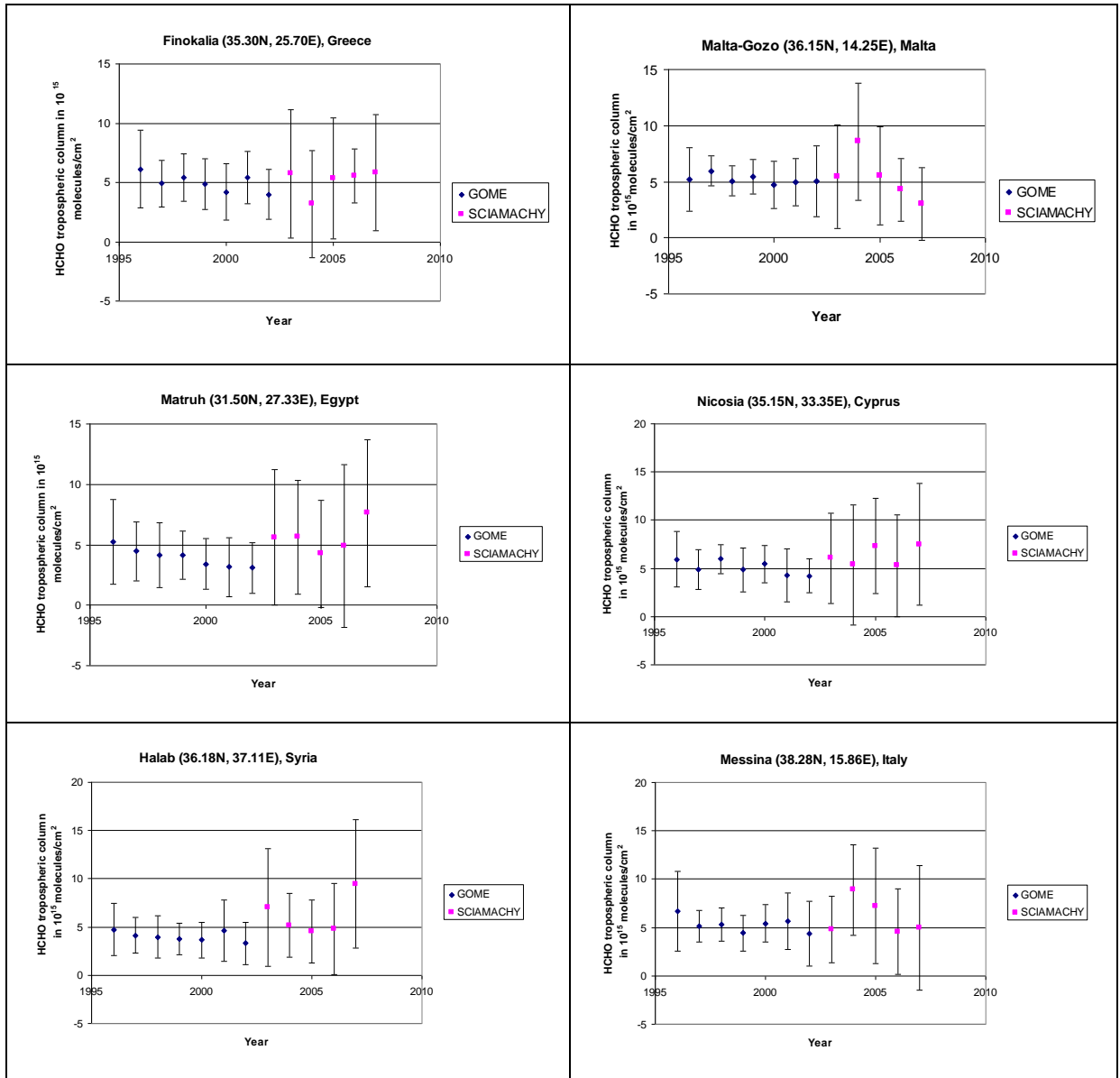
Στις περισσότερες από τις υπό μελέτη τοποθεσίες ο GOME υποδεικνύει πτωτικές τάσεις της μέσης ετήσιας τροποσφαιρικής στήλης της HCHO της τάξεως του -4 και -6% y^{-1} οι οποίες όμως αφενός μεν έχουν μικρό βαθμό εμπιστοσύνης λόγω του σφάλματος του δορυφορικού αισθητήρα GOME που είναι συγκρίσιμο με τις τιμές

HCHO στην περιοχή της Μεσογείου, αφετέρου στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν επαληθεύονται από τον SCIAMACHY.

Για την Αθήνα ωστόσο αυτή η πτωτική τάση υπολογίζεται από τον GOME γύρω στα $-5 \% y^{-1}$ και από τον SCIAMACHY γύρω στα $-4 \% y^{-1}$. Για την Θεσσαλονίκη η πτωτική τάση που προσδιορίζεται από τον GOME διακυμαίνεται γύρω στο $-6 \% y^{-1}$ και για τον SCIAMACHY γύρω στο $-16 \% y^{-1}$. Ωστόσο την μεγάλη τιμή της τελευταίας τάσης καθορίζει η πολύ μεγάλη τιμή μέση ετήσια τιμή της HCHO που καταγράφηκε το 2003 που ήταν χρονιά με ιδιαίτερα θερμό και ξηρό καλοκαίρι. Την μεγαλύτερη πτωτική τάση καταγράφει ο GOME στο Μαρούχ γύρω στα $-9 \% y^{-1}$.

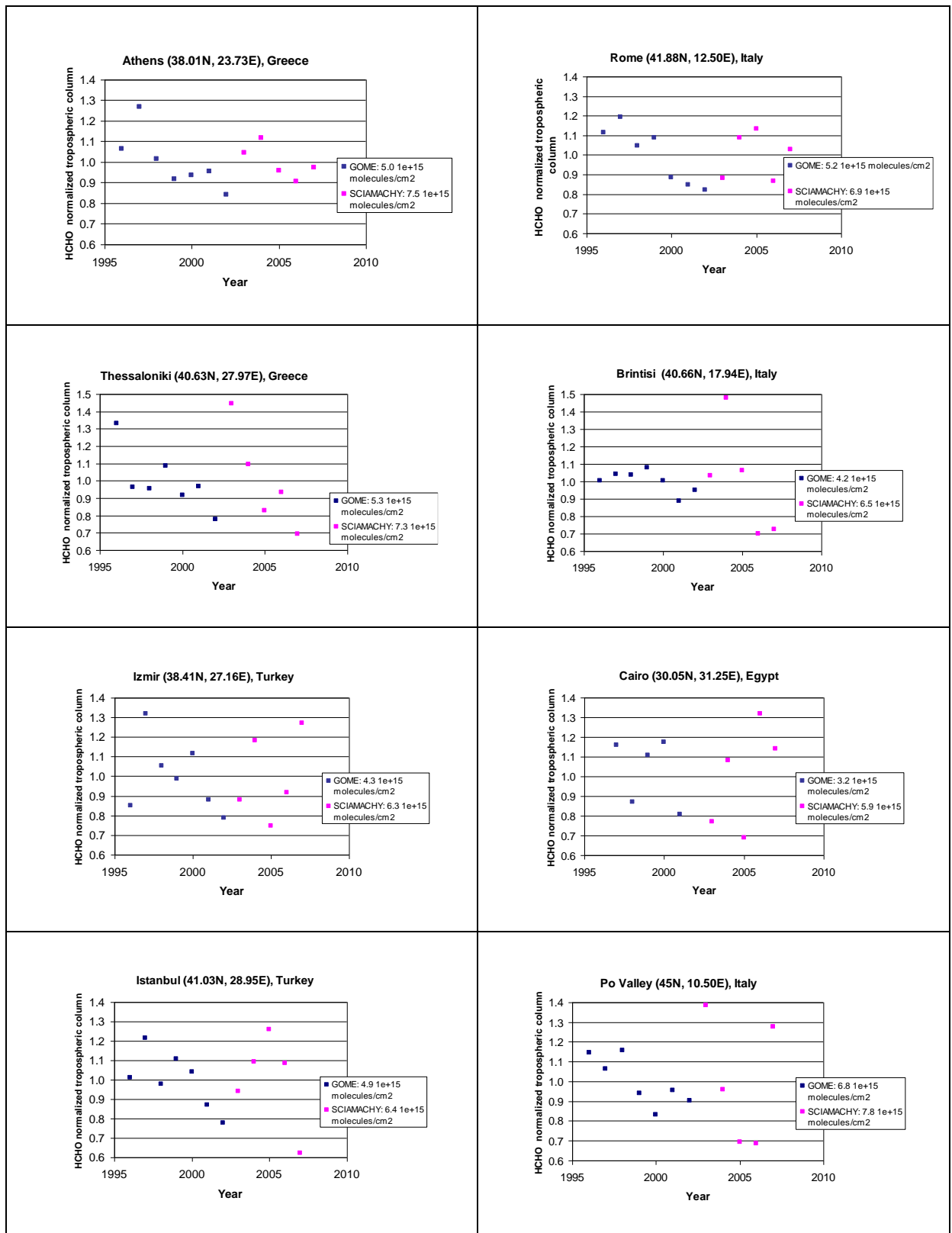
Εικόνα 4.20: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007.

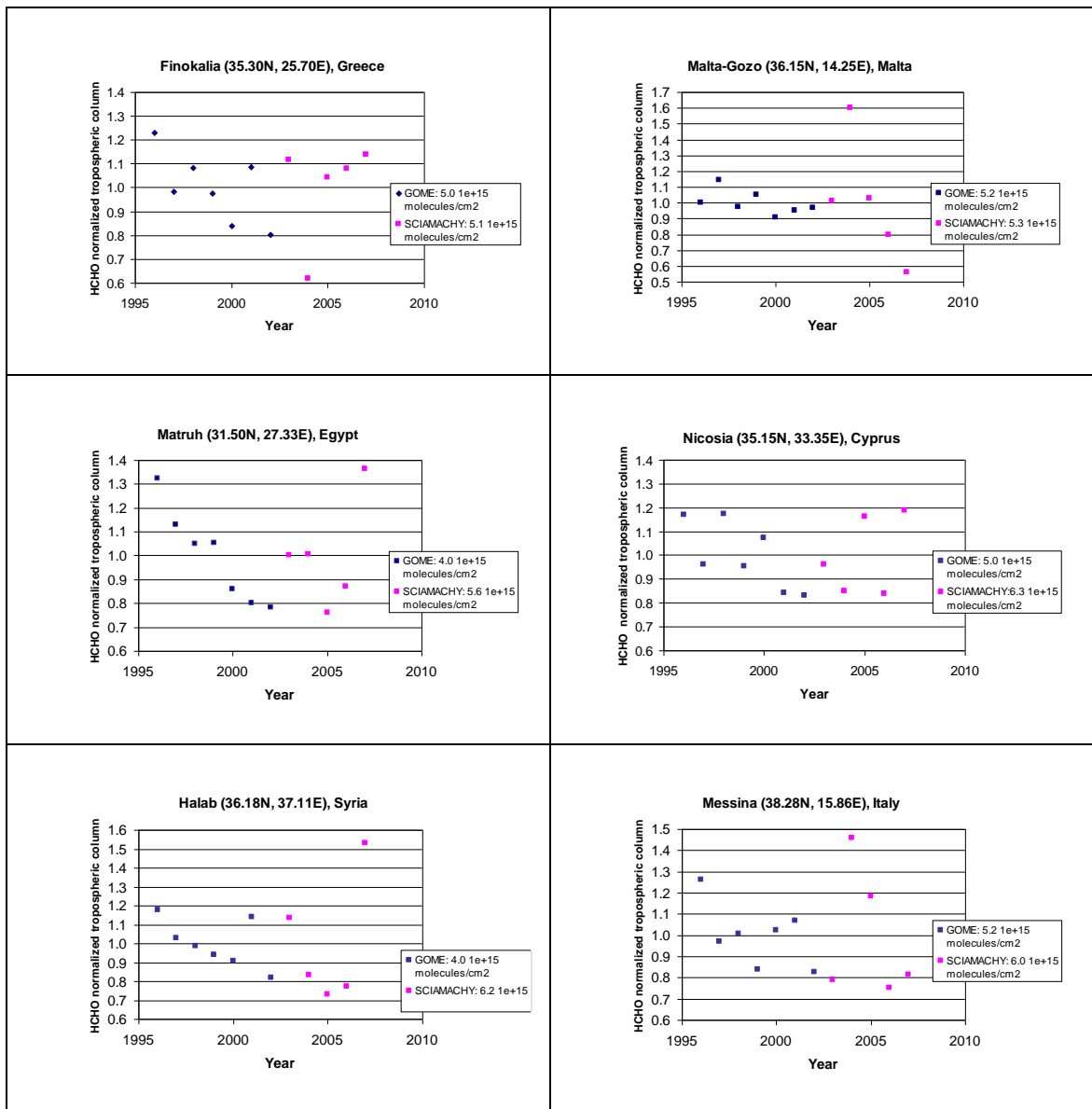




*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση ετήσια τιμή.

Εικόνα 4.21: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007.

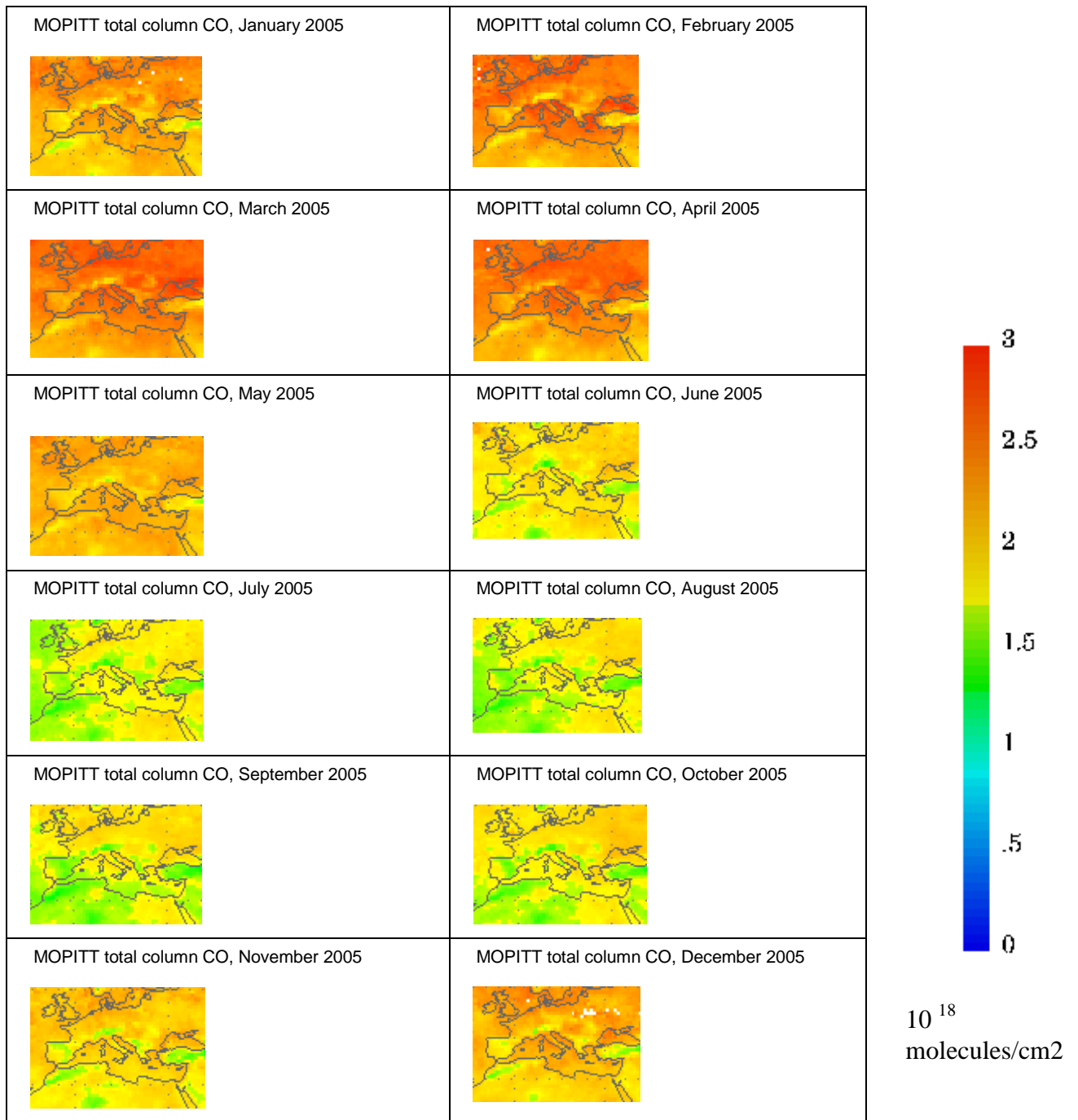




*Στις λεζάντες δεξιά αναγράφονται οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ που χρησιμοποιήθηκαν για την κανονικοποίηση, οι οποίες έχουν υπολογιστεί σαν μέσος όρος των μέσων ετήσιων τιμών κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων 1996-2002 και 2003-2007 για τον GOME και για τον SCIAMACHY αντίστοιχα, στην κάθε μία επιλεγμένη τοποθεσία.

4.1.5 Ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα, CO, 2000-2008.

Εικόνα 4.22: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO για τους μήνες του 2005, από τον MOPITT (http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/data/plots/maps_mon.html).



Προσδιορίσαμε τις μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO για τις 13 επιλεγμένες τοποθεσίες της μελέτης μας με χρήση των δορυφορικών δεδομένων του μονοξειδίου του άνθρακα CO (Version 3) που μετρούνται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT και είναι διαθέσιμα στο δια-δίκτυο (<ftp://14ftl01.larc.nasa.gov/MOPITT/MOP03M.003/>) σε ανάλυση $1^\circ \times 1$, κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 2000-2008. Το Κάιρο δεν συμπεριλαμβάνεται στις υπό μελέτη περιοχές γιατί δεν υπήρχαν επαρκή δορυφορικά δεδομένα αναφορικά με την παραπάνω ανάλυση.

Η ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζει εποχική διακύμανση στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου παίρνοντας τις μέγιστες τιμές της την Άνοιξη με έμφαση στον μήνα Απρίλιο, για όλες τις υπό μελέτη τοποθεσίες, όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζεται τόσο στην εικόνα 4.22 όπου εικονίζεται η εποχική διακύμανση του CO στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου όσο και στην εικόνα 4.23. Οι μέγιστες τιμές διακυμαίνονται από περίπου $24 \cdot 10^{17}$ molecules/cm² στο Αλλέπο της Συρίας μέχρι περίπου $27.5 \cdot 10^{17}$ molecules/cm² στο Μπρίντεζι της Ιταλίας. Στο Μπρίντεζι καταγράφονται οι μεγαλύτερες τιμές του CO από τον MOPITT, καθώς από τον Ιανουάριο έως και τον Μάιο φαίνεται ότι η τιμή της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO παραμένει πάνω από $25 \cdot 10^{17}$ molecules/cm². Ανάλογη εικόνα παρουσιάζουν η Κωνσταντινούπολη και η Ρώμη αλλά το χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου οι μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης ξεπερνούν τα $25 \cdot 10^{17}$ molecules/cm² φαίνεται να είναι μικρότερο.

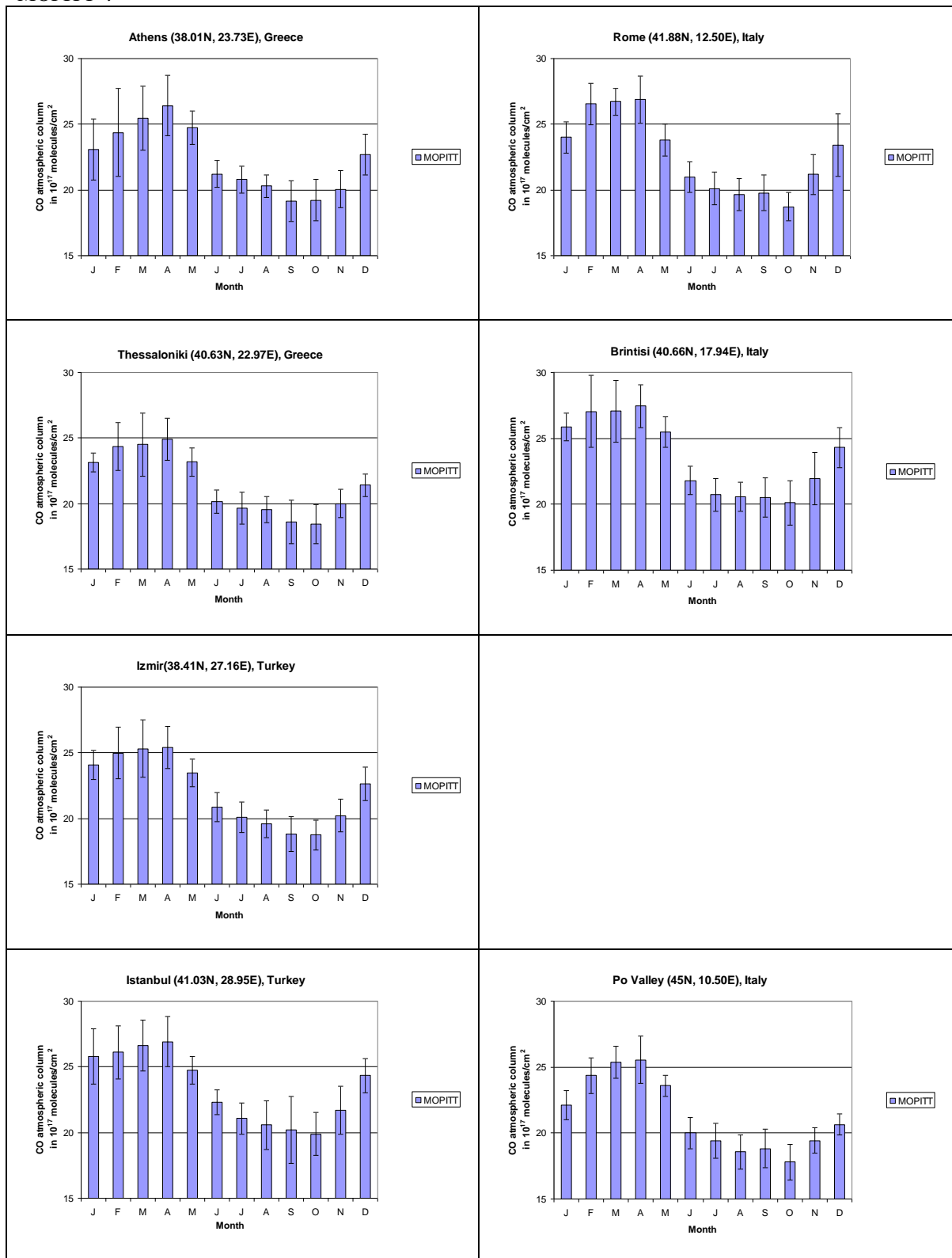
Οι ελάχιστες τιμές της ατμοσφαιρικής στήλης του CO καταγράφονται τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και διακυμαίνονται περίπου γύρω στα $18-20 \cdot 10^{17}$ molecules/cm².

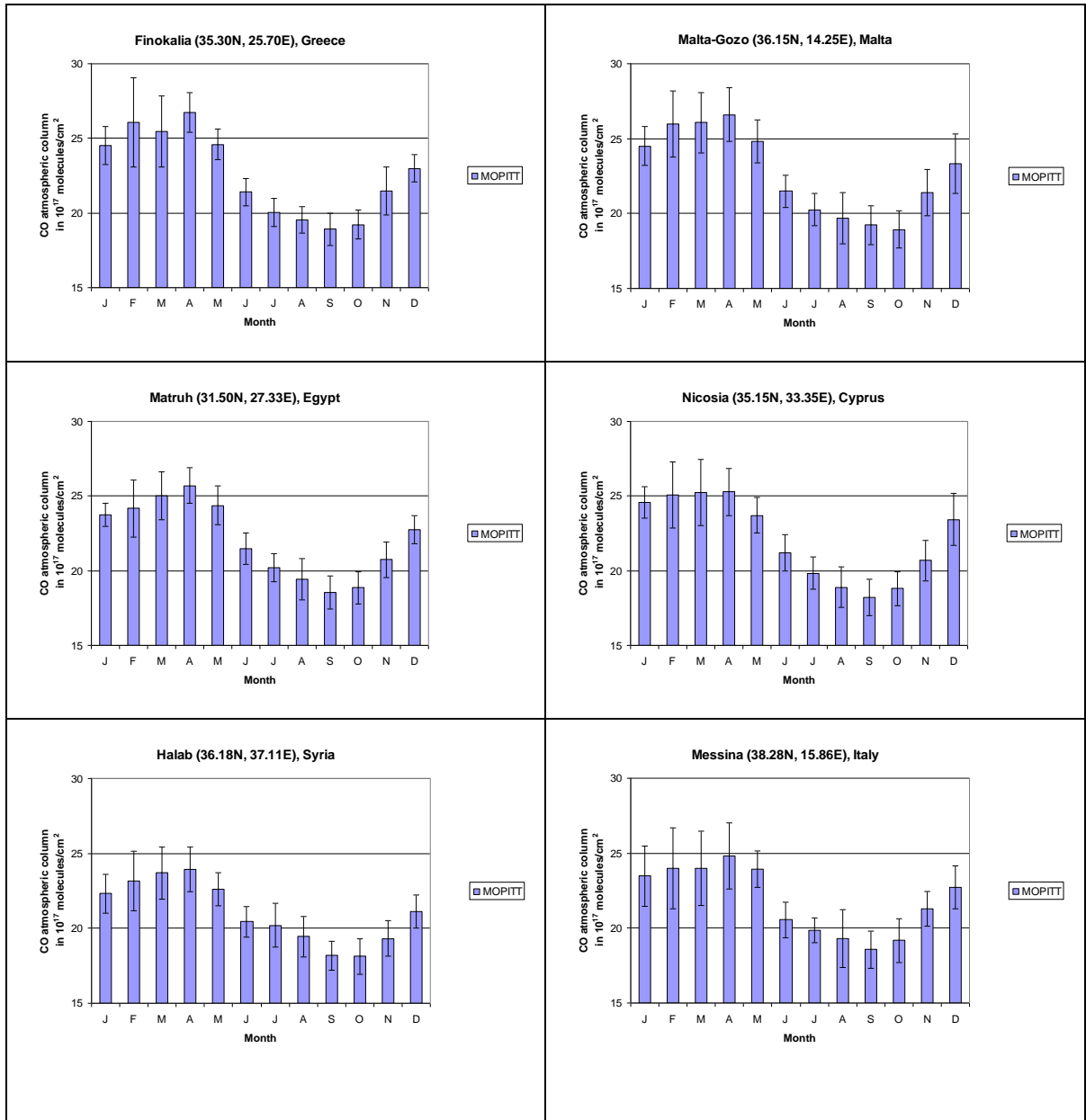
Υπολογίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές (εικόνα 4.24) σαν μέσο όρο των μηνιαίων τιμών της ατμοσφαιρικής στήλης του CO. Η ανάλυση των μέσων ετήσιων τιμών συνηγορεί στο ότι η πιο επιβαρημένη από τις υπό μελέτη περιοχές σε μονοξείδιο του άνθρακα είναι το Μπρίντεζι και η Κων/πολη στις οποίες ο μέσος όρος της στήλης του CO για όλα τα 9 χρόνια της μελέτης μας υπολογίζεται περίπου γύρω στα $23-23.5 \cdot 10^{17}$ molecules/cm². Στην Αθήνα και την Ρώμη που είναι μεγάλα αστικά κέντρα αλλά και στην Φινοκαλιά που χαρακτηρίζεται σαν περιοχή απομακρυσμένη από πηγές παραγωγής ρύπανσης, καθώς επίσης και στην Μάλτα, την Λευκωσία και το Ματρούχ, οι μέσες ετήσιες τιμές την ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO

διακυμαίνονται 22 ως 23 10^{17} molecules/cm². Στις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές είναι σε χαμηλότερα επίπεδα και η μικρότερη τιμή φαίνεται να καταγράφεται στο Αλλέπο και είναι γύρω στα 21 10^{17} molecules/cm².

Η κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών ως προς το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος(εικόνα 4.25), έδειξε αυξητικές τάσεις στην ατμοσφαιρική στήλη του CO στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου για το χρονικό διάστημα 2000-2008, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5. Οι αυξητικές τάσεις της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σύμφωνα με τα διαθέσιμα στο δια δίκτυο Version 3 MORITT δεδομένα διακυμαίνονται από περίπου από 1 ως 1.6 %y⁻¹. Ωστόσο σύμφωνα με τις δημοσιεύσεις των Yurganov et. al., (2009) και Emmons et al., (2009) τα δορυφορικά αυτά δεδομένα του MORITT παρουσιάζουν μια αυξητική παρέκκλιση της τάξεως του 1% y⁻¹ και συνίσταται η αναμονή των δεδομένων Version 4, για τον προσδιορισμό των διαχρονικών τάσεων.

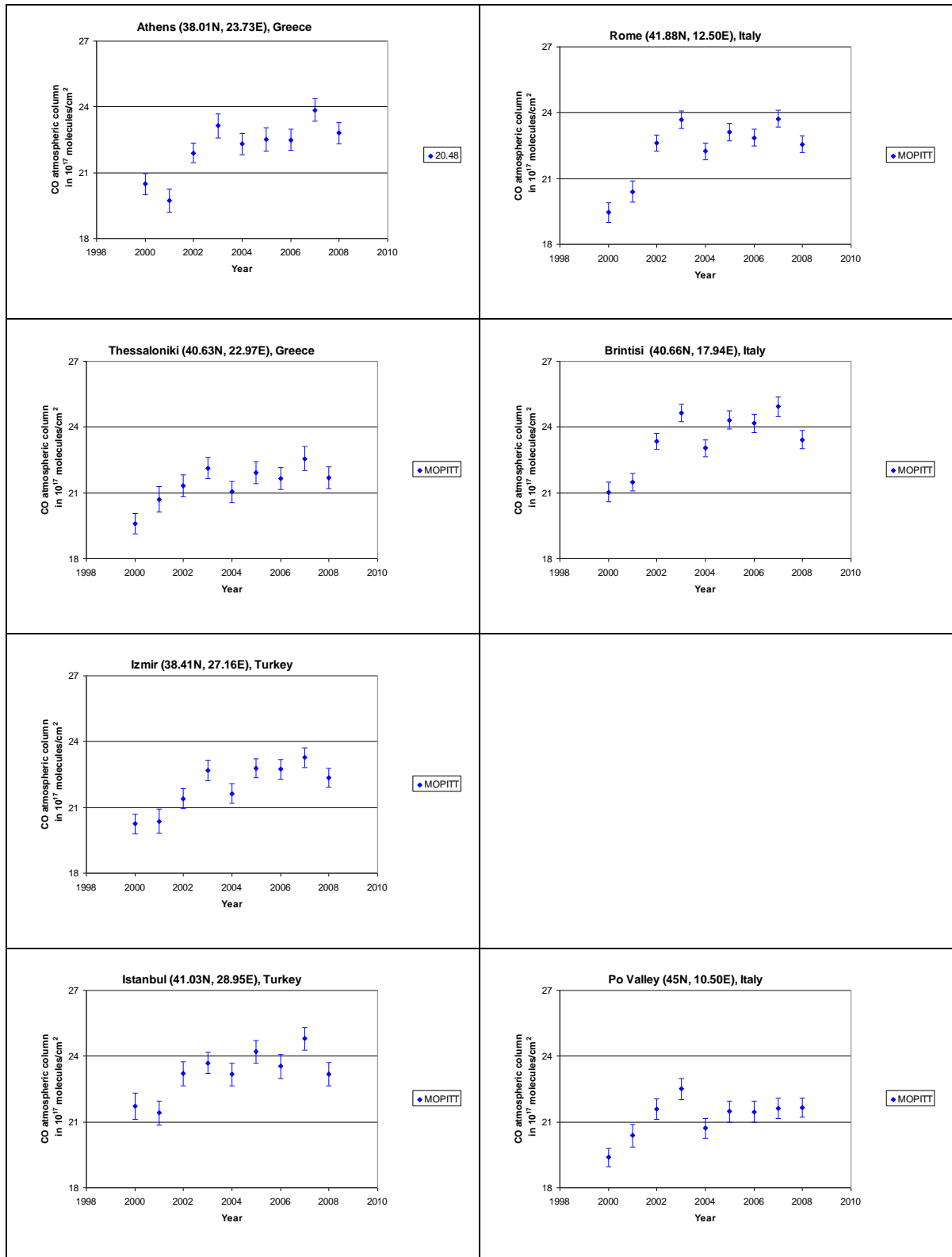
Εικόνα 4.23: Οι μέσες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO, ανά μήνα, όπως καταγράφονται κατά μέσο όρο για το χρονικό διάστημα 2000—2008 από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT*.

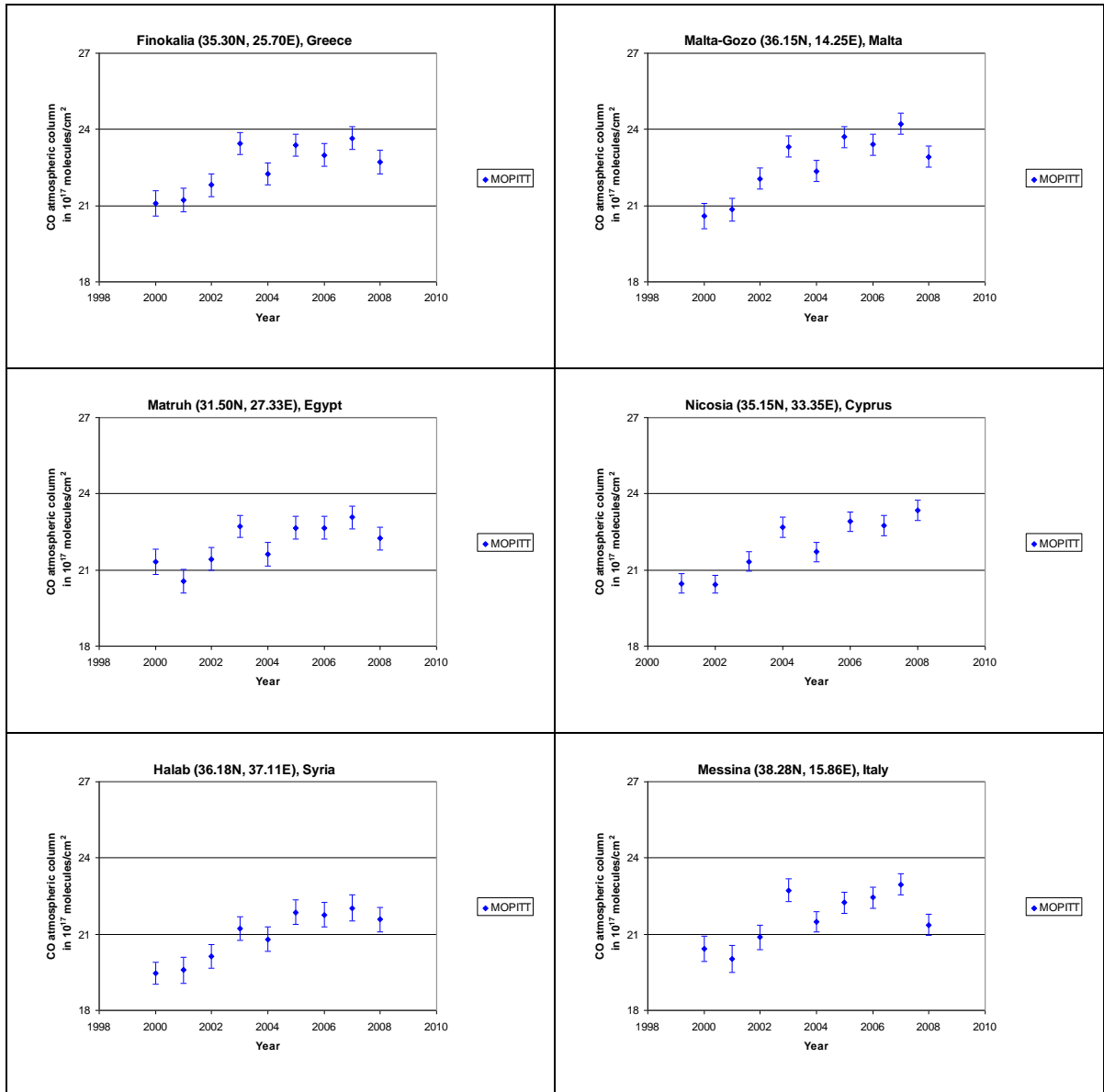




* Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση μηνιαία τιμή.

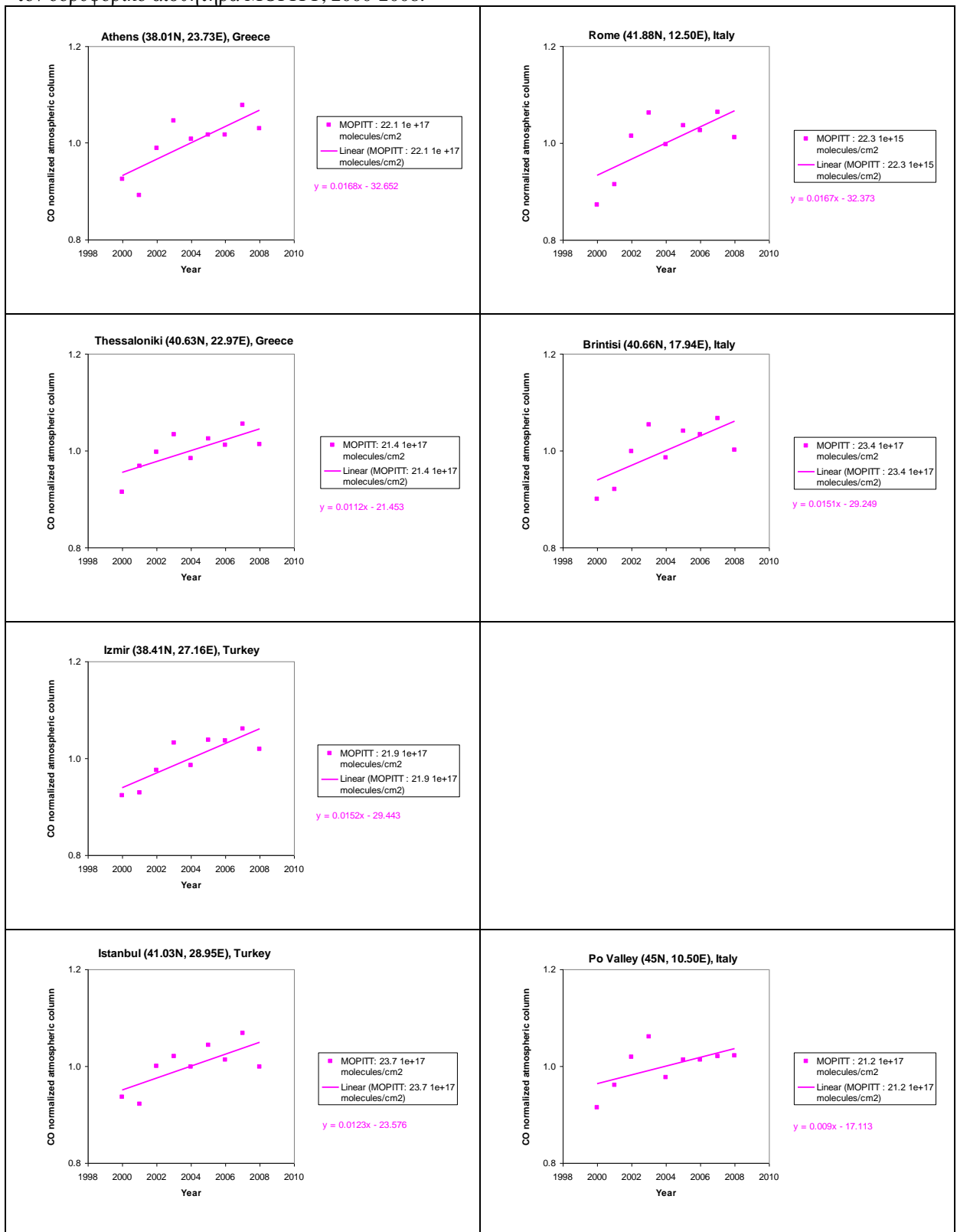
Εικόνα 4.24: Μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα σε επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως καταγράφονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT, 2000-2008*.

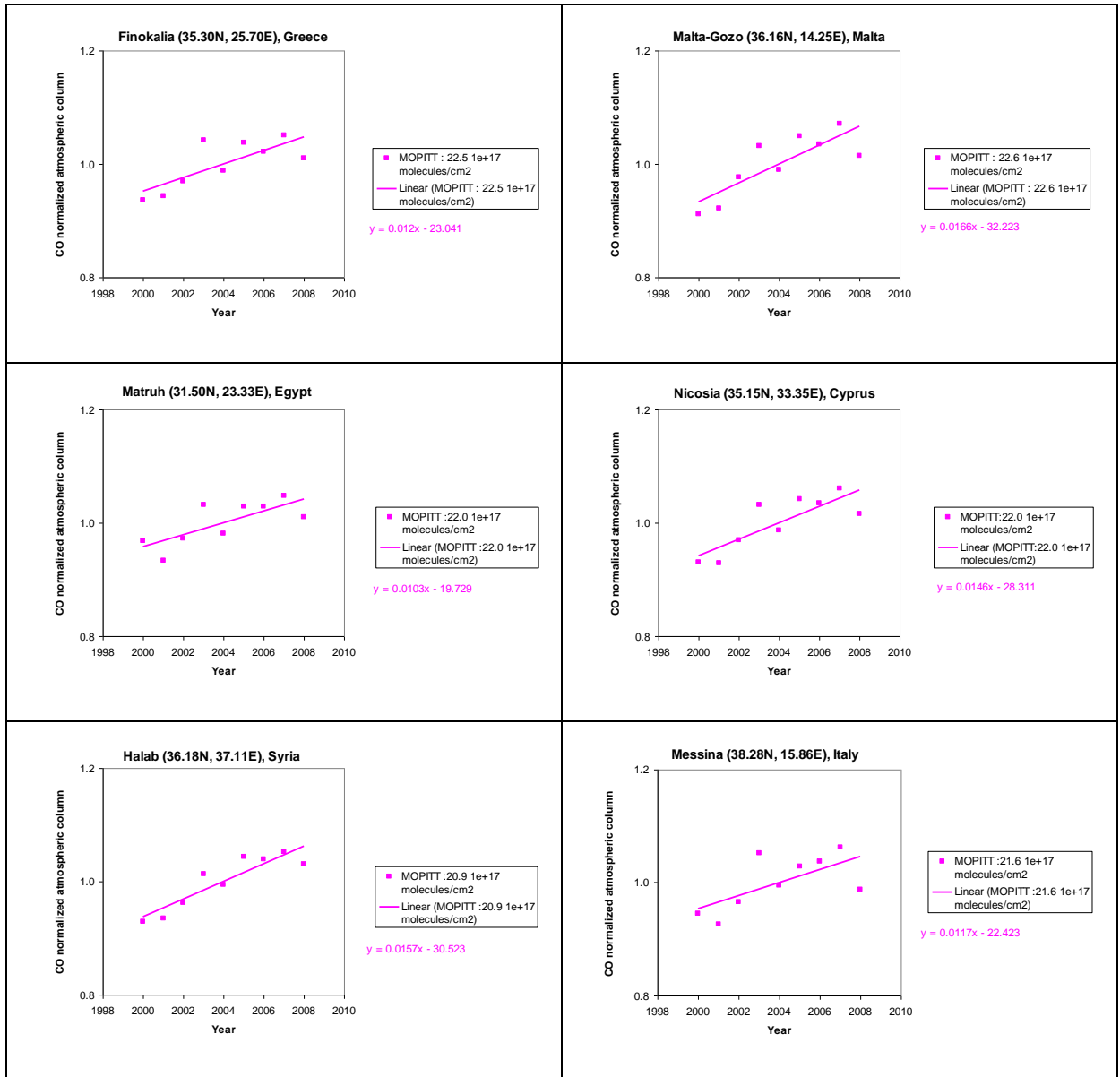




*Οι μάρκες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών κάθε έτους από την μέση ετήσια τιμή.

Εικόνα 4.25: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO, από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT, 2000-2008.





Στις λεζάντες δεξιά αναγράφεται η μέση τιμή της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO που χρησιμοποιήθηκε για την κανονικοποίηση, η οποία έχει υπολογιστεί σαν μέσος όρος των μέσων ετήσιων τιμών στην κάθε μία επιλεγμένη τοποθεσία.

Πίνακας 4.5: Διαχρονική τάση μεταβλητότητας της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, όπως αυτές υπολογίζονται από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης του δορυφορικού αισθητήρα MORITT, 2000-2008.

Τοποθεσίες	Τάση μεταβολής ατμοσφαιρικής στήλης CO %y ⁻¹
Αθήνα	1.6
Ρώμη	1.6
Μάλτα-Γκόζο	1.6
Μπρίντεζι	1.5
Αλλέπο	1.5
Σμύρνη	1.5
Λευκωσία	1.4
Κωνσταντινούπολη	1.2
Φινοκαλιά	1.2
Θεσσαλονίκη	1.1
Μεσσήνη	1.1
Ματρούχ	1.0
Po Valley	0.9

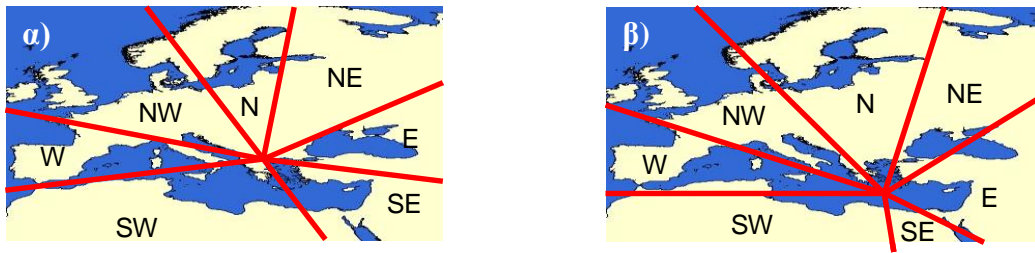
4.2 Ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων με βάση τις κύριες πηγές ρύπανσης στην ΝΑ Μεσόγειο.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης υπολογίστηκαν οι οπισθοτροχιές των αέριων μαζών, με χρήση του μοντέλου Hysplit 4 για δύο τοποθεσίες της νοτιοανατολικής Μεσογείου, που επιλέχθηκαν με βάση την παρατηρούμενη γεωγραφική διακύμανση των δορυφορικών δεδομένων. Οι αέριες μάζες και τα δορυφορικά δεδομένα διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και φορμαλδεΐδης (HCHO) του δορυφόρου GOME ταξινομήθηκαν ανάλογα με την προέλευση των αέριων μαζών και τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Οι οπισθοτροχιές των αέριων μαζών υπολογίστηκαν με χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων FNL που είναι ένα προϊόν του Global Data Assimilation System (GDAS), το οποίο χρησιμοποιεί το Global spectral Medium Range Forecast model (MRF) με σκοπό να εξομοιώσει μετρήσεις πολλών πηγών και προγνωστική μετεωρολογία.

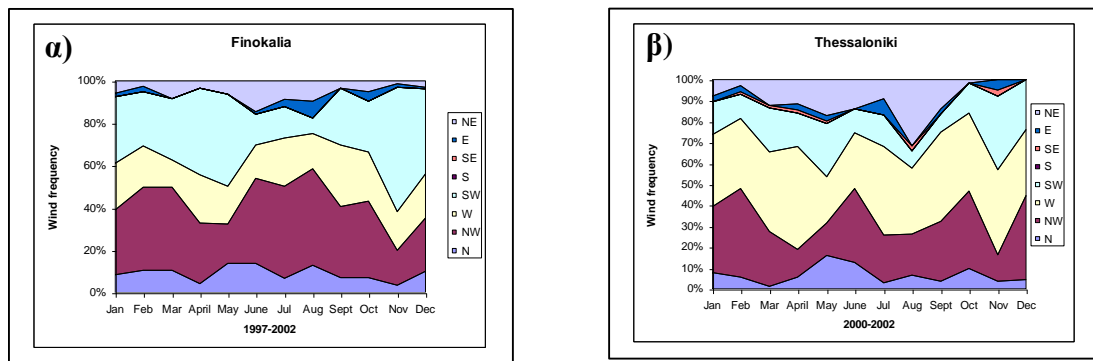
Οι υπολογισμοί έγιναν για δύο τοποθεσίες της νοτιοανατολικής Μεσογείου: i) την Φινοκαλιά (35.30N, 25.70E), που είναι παράκτια περιοχή απομακρυσμένη από πηγές παραγωγής ρύπων, βρίσκεται στην Κρήτη και απέχει 70 km από το κοντινότερο αστικό κέντρο, το Ηράκλειο και ii) για την Θεσσαλονίκη (40.63N, 22.97E) που βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα και είναι αστικό κέντρο. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο του 1996 ως τον Δεκέμβριο του 2002 για τη Φινοκαλιά και από τον Ιανουάριο του 2000 ως τον Δεκέμβριο του 2002 για τη Θεσσαλονίκη.

Οι τοποθεσίες αυτές επιλέχθηκαν με βάση την παρατηρούμενη γεωγραφική διακύμανση των δορυφορικών δεδομένων, η Φινοκαλιά φαίνεται να είναι καθαρή περιοχή ενώ η Θεσσαλονίκη φαίνεται να είναι ρυπασμένη. Σύμφωνα με τις πορείες των αέριων μαζών και στις δύο τοποθεσίες οριοθετήθηκαν τομείς προέλευσης αέριων μαζών (εικόνα 4.14) και οι οπισθοτροχιές ταξινομήθηκαν στους τομείς αυτούς. Η οριοθέτηση των τομέων προέλευσης των αέριων μαζών έγινε όπως παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



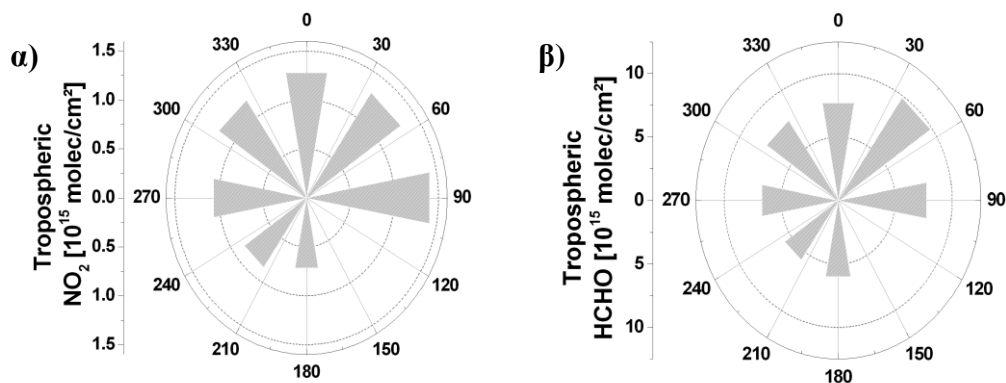
Εικόνα 4.26: α) Τομείς προέλευσης αέριων μαζών που φτάνουν στη Θεσσαλονίκη, β) Τομείς προέλευσης αέριων μαζών που φτάνουν στη Φινοκαλιά.

Οι υπολογισμοί οπισθοτροχιών αέριων μαζών έγιναν για αέριες μάζες που προσεγγίζουν την Φινοκαλιά και την Θεσσαλονίκη στα 3000m (εικόνα 4.26) και πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των οπισθοτροχιών των αέριων μαζών ανά τομέα προέλευσης και ανά μήνα (εικόνα 4.27).



Εικόνα 4.27: Ταξινόμηση οπισθοτροχιών των αέριων μαζών ανά τομέα προέλευσης και ανά μήνα, που προσεγγίζουν στα 3000m: α) την Φινοκαλιά, β) την Θεσσαλονίκη.

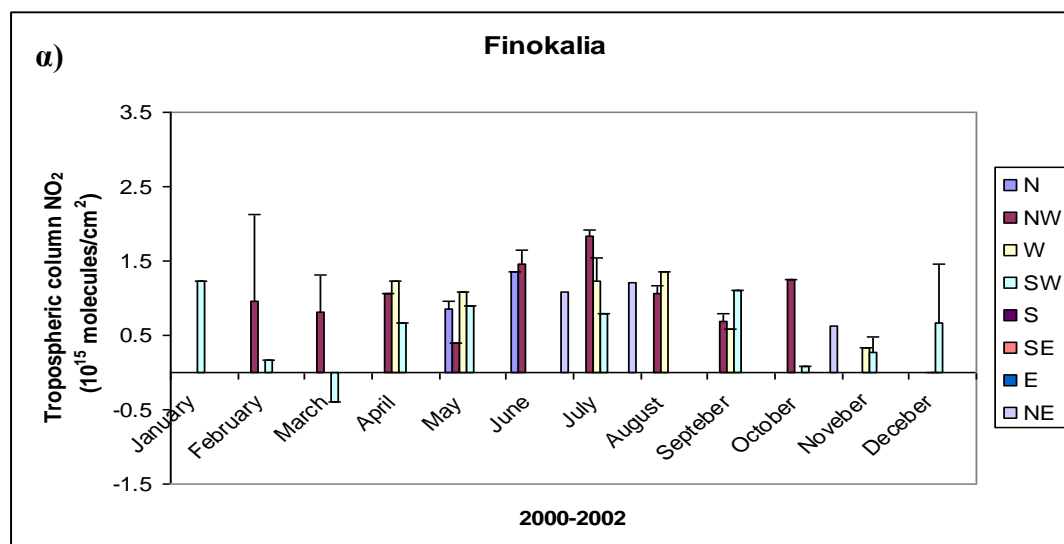
Σε μια πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων NO_2 , HCHO για την Φινοκαλιά για το χρονικό διάστημα 1996-2002 και μη λαμβάνοντας υπόψη μας την εποχιακή διακύμανση των παραπάνω ρύπων πήραμε τα εξής αποτελέσματα (εικόνα 4.28):

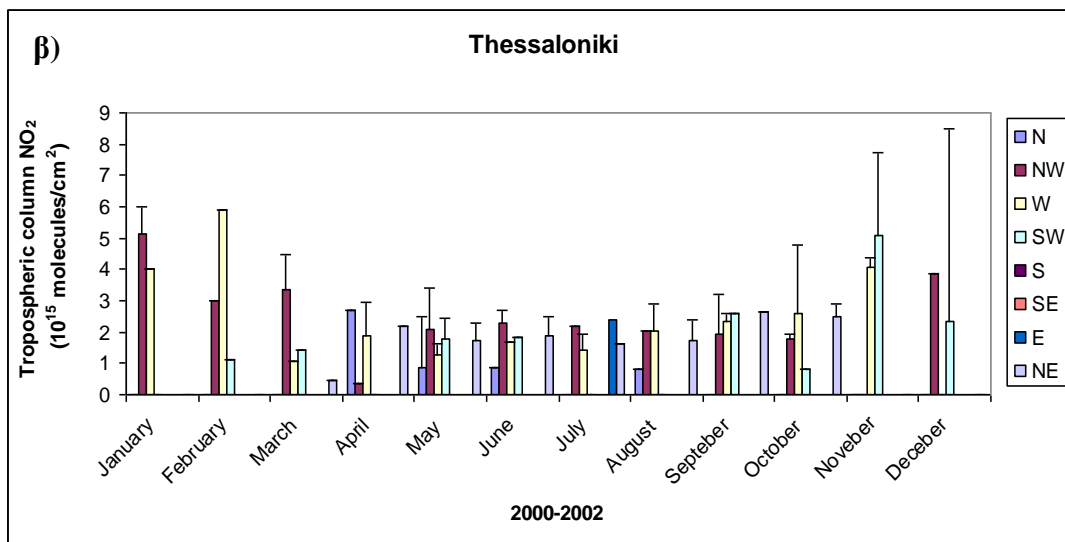


Εικόνα 4.28 : Η τροποσφαιρική στήλη: α) NO_2 και β) HCHO , στη Φινοκαλιά Κρήτης, από τον GOME για το χρονικό διάστημα 1996-2002, σαν συνάρτηση της κατεύθυνσης του ανέμου.

Στην παραπάνω ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν όλες οι δορυφορικές τιμές για το NO_2 και την HCHO στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται όταν οι οπισθοτροχίες των αέριων μαζών δηλώνουν άνεμο δυτικής, νοτιοδυτικής ή νότιας προέλευσης.

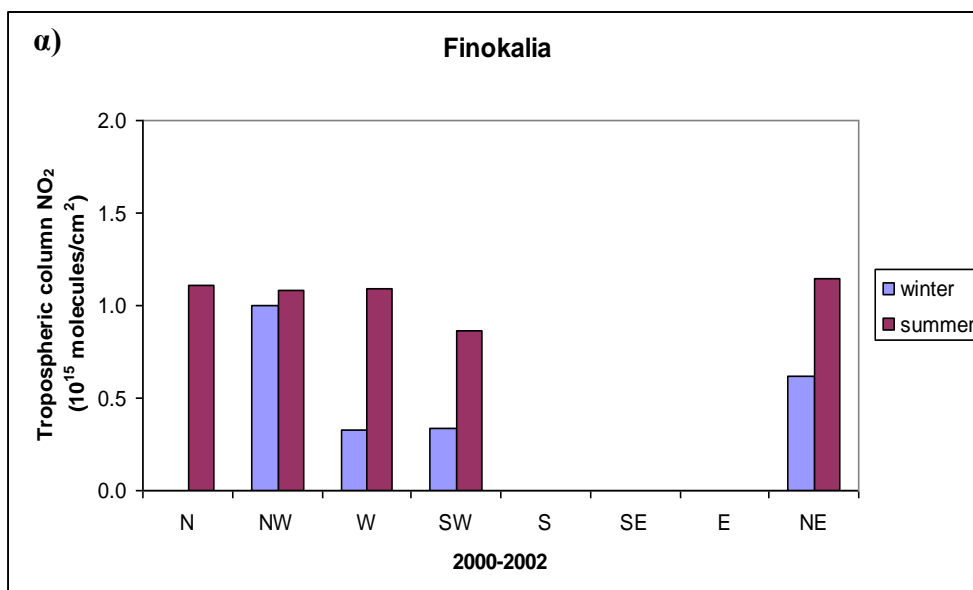
Στη συνέχεια σε μια πιο λεπτομερή ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων λάβαμε υπόψη μας μόνο τις δορυφορικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια χρονικών διαστημάτων μεγαλύτερων ή ίσων του τριημέρου με σταθερή την κατεύθυνση του ανέμου στην υπό μελέτη τοποθεσία. Η ανάλυση αυτή αφορά την τριετία 2000-2002 και πραγματοποιήθηκε για κάθε μήνα χωριστά (εικόνα 4.29).

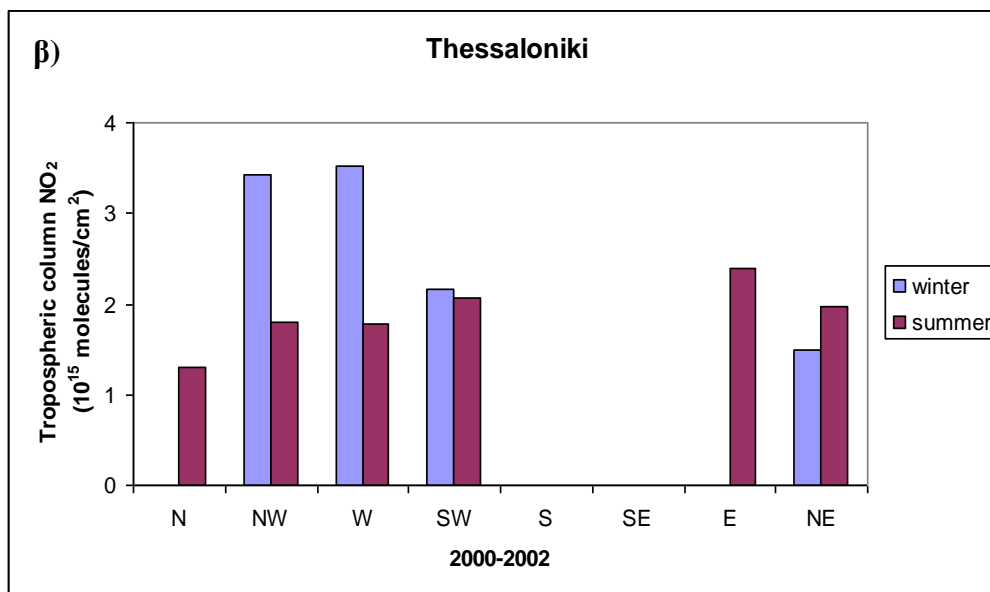




Εικόνα 4.29: Τροποσφαιρική στήλη NO₂ όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά μήνα και ανά τομέα προέλευσης του ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη. Οι μπάρες δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις. (Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια).

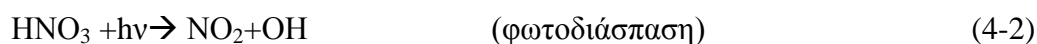
Για την διερεύνηση της επίδρασης της φωτοχημείας στις κολώνες των πρόδρομων αυτών ενώσεων του όζοντος ταξινομήσαμε τις παραπάνω δορυφορικές μετρήσεις σε δύο διαστήματα. Το ένα διάστημα που διερευνήσαμε χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιοφάνεια και διαρκεί από τον Απρίλιο ως και τον Σεπτέμβριο και το δεύτερο χρονικό διάστημα χαρακτηρίζεται από περιορισμένη ηλιοφάνεια και διαρκεί από τον Οκτώβριο ως και τον Μάρτιο. Παρακάτω για ευκολία χρησιμοποιούμε τους όρους καλοκαίρι για το πρώτο διάστημα και χειμώνα για το δεύτερο.





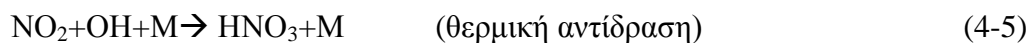
Εικόνα 4.30: Τροποσφαιρική κολώνα NO₂, όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά τομέα προέλευσης του ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη. (Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια).

Για την Φινοκαλιά, στην οποία οι ατμοσφαιρικοί ρύποι οφείλονται σε μεταφορά από ρυπασμένες περιοχές και όχι σε τοπική παραγωγή, βλέπουμε ότι οι τιμές της τροποσφαιρικής κολώνας του NO₂ είναι μεγαλύτερες το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα (εικόνα 4.30α). Στο δυτικό τομέα η καλοκαιρινή τιμή είναι 3.33 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή του χειμώνα, ενώ στο βορειοδυτικό τομέα η καλοκαιρινή τιμή είναι μόλις 1.08 φορές μεγαλύτερη από την χειμωνική. Οι καλοκαιρινές τιμές είναι αποτέλεσμα της φωτοχημικής παραγωγής του NO₂ λόγω φωτοδιάσπασης των αποθηκών δραστικού αζώτου, του νιτρικού οξέος (HNO₃) και του νιτρικού εστέρα του υπεροξικού οξέος (CH₃C(O)O₂NO₂). Αυτές οι αποθηκευτικές ενώσεις παράγονται πάνω από ρυπασμένες περιοχές και μέσω μικρής ή μεγάλης κλίμακας μεταφοράς έρχονται στην περιοχή της Κρήτης, που χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλη ηλιοφάνεια, όπου διασπώνται σύμφωνα με τις αντιδράσεις :

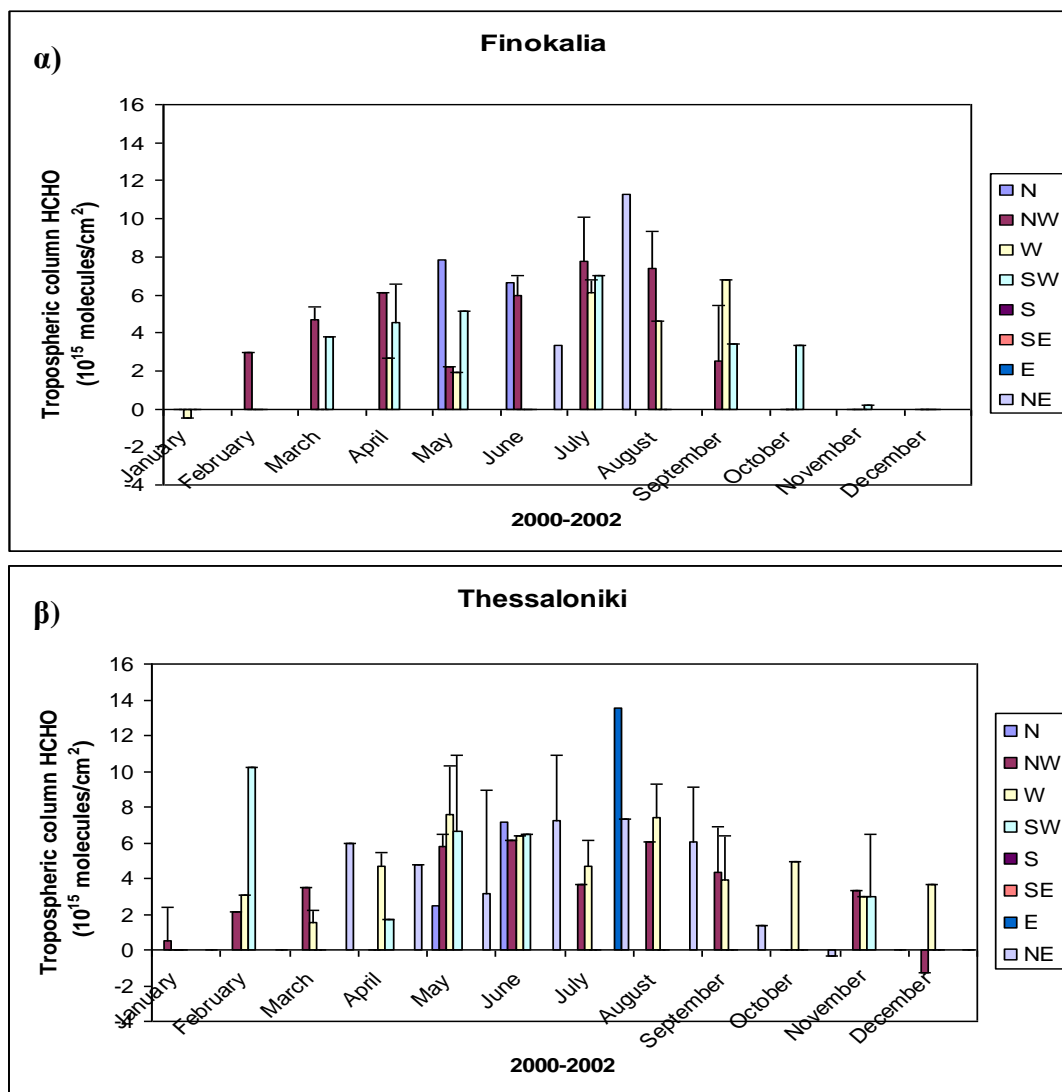


Αντίθετα το χειμώνα η μεταφορά δραστικών αζωτούχων ενώσεων προς την Κρήτη περιορίζεται από την υγρή εναπόθεση τους κοντά στις περιοχές σχηματισμού ή εκπομπών τους λόγω βροχόπτωσης.

Για την Θεσσαλονίκη παρουσιάζεται μια διαφορετική εικόνα (εικόνα 4.30β), με μεγαλύτερες τιμές τροποσφαιρικής κολώνας του NO₂ το χειμώνα συγκριτικά με το καλοκαίρι. Στον βορειοδυτικό και τον δυτικό τομέα, η τιμή της τροποσφαιρικής κολώνας του NO₂ τον χειμώνα είναι περίπου 2 φορές μεγαλύτερη από την καλοκαιρινή τιμή, ενώ στον νοτιοδυτικό τομέα η χειμωνική τιμή της τροποσφαιρικής κολώνας του NO₂ είναι μόλις 1.04 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη καλοκαιρινή. Αυτό δηλώνει πρωτογενή παραγωγή οξειδίων του αζώτου (NO_x=NO+NO₂) στην ευρύτερη ρυπασμένη περιοχή της Θεσσαλονίκης ή οποία αναφορικά με τον βορειοδυτικό τομέα ενδεχομένως να επηρεάζεται από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Πτολεμαΐδα. Τα παραπάνω υποδηλώνουν ακόμα μειωμένη φωτοχημεία το χειμώνα και σημαντική συμμετοχή των NO_x σε φωτοχημικές αντιδράσεις κατά την καλοκαιρινή περίοδο έντονης ηλιοφάνειας, πχ.:



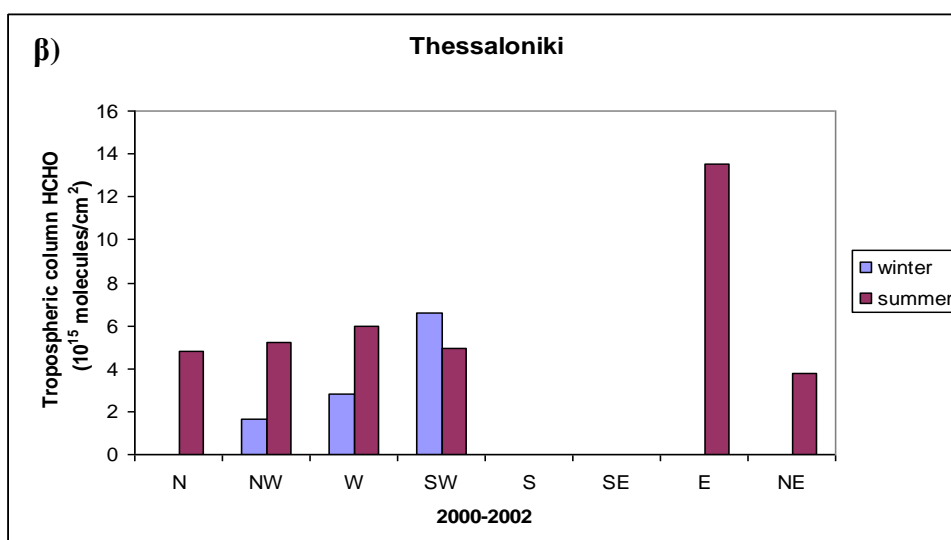
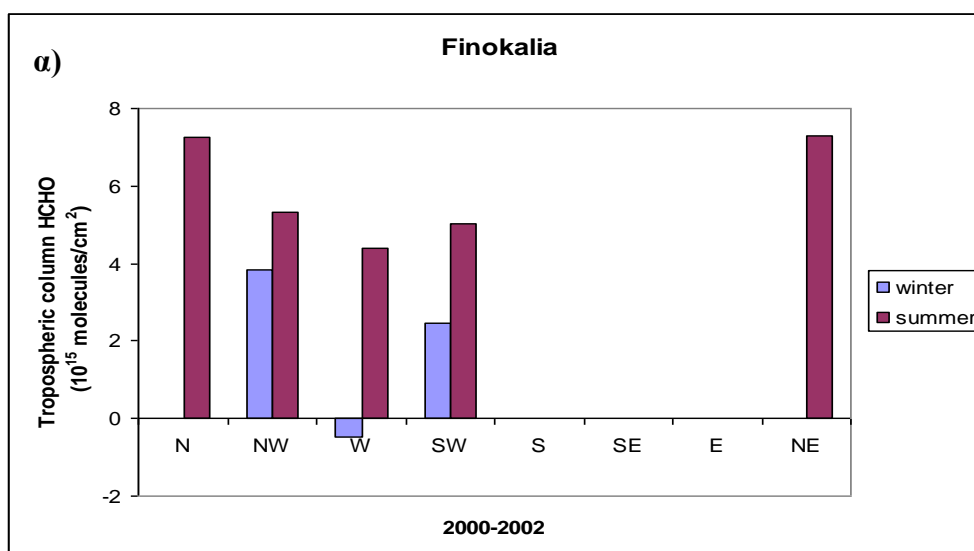
Για την HCHO η ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων ανά μήνα και ανά τομέα κατεύθυνσης ανέμου μας έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα(εικόνα 4.31), που φανερώνουν μέγιστες τροποσφαιρικές κολώνες πάνω από την Φινοκαλιά κατά τους ανοιξιιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες και πάνω από τη Θεσσαλονίκη επίσης από Μάιο ως Αύγουστο:



Εικόνα 4.31 Τροποσφαιρική στήλη HCHO όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά μήνα και ανά τομέα προέλευσης ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002: α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη. Οι μπάρες δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις.

*Οι μπάρες αναφέρονται στην τυπική απόκλιση των μηνιαίων τιμών από την μέση μηνιαία τιμή.

Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις ο χωρισμός της τριετίας 2000-2002, σε διάστημα έντονης φωτοχημείας από Απρίλιο ως και Σεπτέμβριο, καλοκαίρι, και σε διάστημα μειωμένης φωτοχημείας, από Οκτώβριο ως και Μάρτιο, χειμώνα, οδήγησε στις παρακάτω απεικονιζόμενες χρονικές διακυμάνσεις (εικόνα 4.32) της τροποσφαιρικής κολόνας της HCHO, ανά τομέα προέλευσης ανέμου.



Εικόνα 4.32: Τροποσφαιρική κολώνα HCHO, όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά τομέα προέλευσης ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α)πάνω από την Φινοκαλιά, β)πάνω από την Θεσσαλονίκη.(Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια).

Τόσο για την Φινοκαλιά όσο και για την Θεσσαλονίκη οι μεγαλύτερες τιμές HCHO παρουσιάζονται το καλοκαίρι, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί σαν αποτέλεσμα της φωτοχημικής παραγωγής της HCHO κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών.

Το καλοκαίρι στην Φινοκαλιά, που είναι περιοχή απομακρυσμένη από αστική ρύπανση, οι τιμές της τροποσφαιρικής κολώνας της HCHO δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές όταν η προέλευση του ανέμου είναι βορειοδυτική, δυτική ή νοτιοδυτική. Αυξημένες περίπου κατά 30% παρουσιάζονται οι τιμές της HCHO όταν ο άνεμος είναι βόρειας ή βορειανατολικής προέλευσης.

Αντίθετα το χειμώνα στη Φινοκαλιά φαίνεται καθαρά ότι η τιμή της τροποσφαιρικής κολώνας της HCHO είναι σημαντικά μεγαλύτερη, κατά ένα παράγοντα 1.5, όταν οι αέριες μάζες προσεγγίζουν την περιοχή από βορειοδυτικά σε σχέση με τις τιμές που παρατηρούνται όταν οι αέριες μάζες προέρχονται από το νοτιοδυτικό ή το δυτικό τομέα.

Για την Θεσσαλονίκη που είναι ένα από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της χώρας μας, παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι ο ανατολικός τομέας, πιθανόν σχετιζόμενος με μεταφερόμενη ρύπανση από την Κωνσταντινούπολη ή από τις πυρκαγιές που σημειώνονται γύρω από τη μαύρη Θάλασσα, δίνει τιμές μεγαλύτερες κατά ένα παράγοντα 2.5 συγκριτικά με τους άλλους τομείς, για την HCHO.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα προκύπτει από τις δορυφορικές μετρήσεις πάνω από τη Θεσσαλονίκη, ότι οι αέριες μάζες οι προερχόμενες από το νοτιοδυτικό τομέα παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές τροποσφαιρικής κολώνας της HCHO, περίπου $6.6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², μεγαλύτερες ακόμα και από τις αντίστοιχες καλοκαιρινές, που είναι $4.9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², δηλώνοντας έτσι την ύπαρξη δευτερογενών αλλά και πρωτογενών πηγών HCHO στην ηπειρωτική Ελλάδα και μεταφορά της προς την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

4.3 Συμπεράσματα από την ταξινόμηση των δορυφορικών παρατηρήσεων

1) Συμπερασματικά, αναφορικά με την εποχική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων, στην Κωνσταντινούπολη φαίνεται να καταγράφονται οι μεγαλύτερες τιμές στην τροποσφαιρική στήλη του όζοντος από τον TOMS σε όλες τις εποχές εκτός από την άνοιξη. Στη Φινοκαλιά σημειώνονται μεγάλες ανοιξιάτικες, χειμερινές αλλά και φθινοπωρινές τιμές και στην Θεσσαλονίκη μεγάλες καλοκαιρινές και φθινοπωρινές τιμές, ενώ στο Κάιρο, το Po Valley και την Ρώμη καταγράφονται οι μικρότερες τιμές σχεδόν σε όλες τις εποχές.

2) Αναφορικά με τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, στις περισσότερες περιοχές δεν φαίνεται να παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές. Μικρές αυξητικές τάσεις φαίνεται να παρατηρούνται για την Ρώμη, το Μπρίντεζι, την Θεσσαλονίκη, την Κωνσταντινούπολη, τη Σμύρνη και το φαράγγι του Πο από 0.13 έως 0.28 %y⁻¹. Στο Ματρούχ παρατηρείται μείωση της μέσης ετήσιας τιμής της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος της τάξεως του -0.17 %y⁻¹.

3) Στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου, NO_2 , παρατηρούνται στην Κωνσταντινούπολη και στο Po Valley σύμφωνα με τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, ενώ οι μικρότερες στην Φινοκαλιά και στο Ματρούχ.

4) Γενικά δεν παρατηρούνται αυξητικές τάσεις του NO_2 στην περιοχή αναφορικά με τις μετρήσεις του GOME. Στις τοποθεσίες: Κάιρο, Μάλτα, Po Valley, Αλλέπο και Φινοκαλιά σημειώνονται αυξητικές τάσεις από τον SCIAMACHY.

5) Στις περισσότερες από τις υπό μελέτη τοποθεσίες ο GOME υποδεικνύει πτωτικές τάσεις της μέσης ετήσιας τροποσφαιρικής στήλης της HCHO της τάξεως του -4 και $-6\% \text{ y}^{-1}$ οι οποίες όμως αφενός μεν έχουν μικρό βαθμό εμπιστοσύνης λόγω του σφάλματος του δορυφορικού αισθητήρα GOME που είναι συγκρίσιμο με τις τιμές HCHO στην περιοχή της Μεσογείου, αφετέρου στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν επαληθεύονται από τον SCIAMACHY.

Για την Αθήνα ωστόσο αυτή η πτωτική τάση υπολογίζεται από τον GOME γύρω στα $-5\% \text{ y}^{-1}$ και από τον SCIAMACHY γύρω στα $-4\% \text{ y}^{-1}$. Την μεγαλύτερη πτωτική τάση καταγράφει ο GOME στο Ματρούχ γύρω στα $-9\% \text{ y}^{-1}$.

6) Οι μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου παρατηρούνται τον Απρίλιο. Η κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών έδειξε αυξητικές τάσεις στην ατμοσφαιρική στήλη του CO για το χρονικό διάστημα 2000-2008 από περίπου από 1 ως $1.6\% \text{ y}^{-1}$.

7) Αναφορικά με την ανάλυση ανά τομέα προέλευσης των ανέμων, φαίνεται ότι η χειμωνική τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του NO_2 στη Φινοκαλιά, είναι σημαντικά μεγαλύτερη όταν ο άνεμος είναι βορειοδυτικής ή βορειοανατολικής προέλευσης συγκριτικά με την τιμή της όταν ο άνεμος είναι δυτικής ή νοτιοδυτικής προέλευσης. Ενώ για την Θεσσαλονίκη οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται το χειμώνα, όταν έχουμε δυτικούς ή βορειοδυτικούς ανέμους. Για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται το καλοκαίρι στη Φινοκαλιά, όταν πνέουν βόρειοι ή βορειοανατολικοί άνεμοι και στη Θεσσαλονίκη όταν οι άνεμοι είναι ανατολικής προέλευσης.

5 Σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων και των άλλων παρατηρήσεων με υπολογισμούς του 3-διάστατου μοντέλου TM4.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκαν 3-διάστατες αριθμητικές προσομοιώσεις της αέριας σύστασης της ατμόσφαιρας με το μοντέλο TM4 σε χαμηλή γεωγραφική ευκρίνεια $6^\circ \times 4^\circ$ (γεωγραφικό μήκος \times γεωγραφικό πλάτος) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με μετρήσεις εδάφους του όζοντος και με τις τροποσφαιρικές ποσότητες όζοντος (O_3), διοξειδίου του αζώτου (NO_2), φορμαλδεύδης (HCHO), που προκύπτουν από τις δορυφορικές μετρήσεις των αισθητήρων: TOMS (<http://toms.gsfc.nasa.gov>), GOME-1 (<http://www.iup.physik.uni-bremen.de/gome/>) και SCIAMACHY (<http://www.iup.physik.uni-bremen.de/sciamachy/>). Επίσης πραγματοποιήθηκε σύγκριση της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) όπως αυτή προσομοιώθηκε από το TM4, με τις δορυφορικές παρατηρήσεις του αισθητήρα MOPITT (<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/>).

Για να μπορέσουμε να έχουμε αμεσότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα δορυφορικά δεδομένα μετατρέψαμε την μεγάλη γεωγραφική ευκρίνεια των τελευταίων σε μικρότερη γεωγραφική ευκρίνεια ίδια με αυτή του μοντέλου. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση των διαχρονικών τάσεων του τροποσφαιρικού όζοντος και των προδρόμων ενώσεων σε σχέση με αυτές που υπολογίζονται με μεγαλύτερης ευκρίνειας δορυφορικά δεδομένα. Αυξητικές τάσεις των μέσων ετήσιων τιμών των τροποσφαιρικών ποσοτήτων του NO_2 και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO παρατηρήθηκαν από τους δορυφορικούς αισθητήρες και υπολογίστηκαν από το μοντέλο.

5.1 Σύγκριση δορυφορικών παρατηρήσεων με αποτελέσματα προσομοιώσεων του 3-διάστατου μοντέλου TM4

Οι 3-διάστατες αριθμητικές προσομοιώσεις της αέριας σύστασης της ατμόσφαιρας που πραγματοποιήθηκαν με το μοντέλο (Myriokefalitakis et al., 2008) χημείας και μεταφοράς TM4 μελετήθηκαν για δέκα περιοχές της ανατολικής μεσογείου, από το έτος 2000 έως και το 2007 (εικόνα 5.1). Η γεωγραφική αυτή ευκρίνεια προσαρμόστηκε στην ανάλυση του μοντέλου TM4. Κάποιες από τις περιοχές αυτές περιέχουν ένα μεγάλο αστικό κέντρο π.χ. την Κωνσταντινούπολη (περιοχή 6), ενώ κάποιες άλλες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν περιοχές απομακρυσμένες από

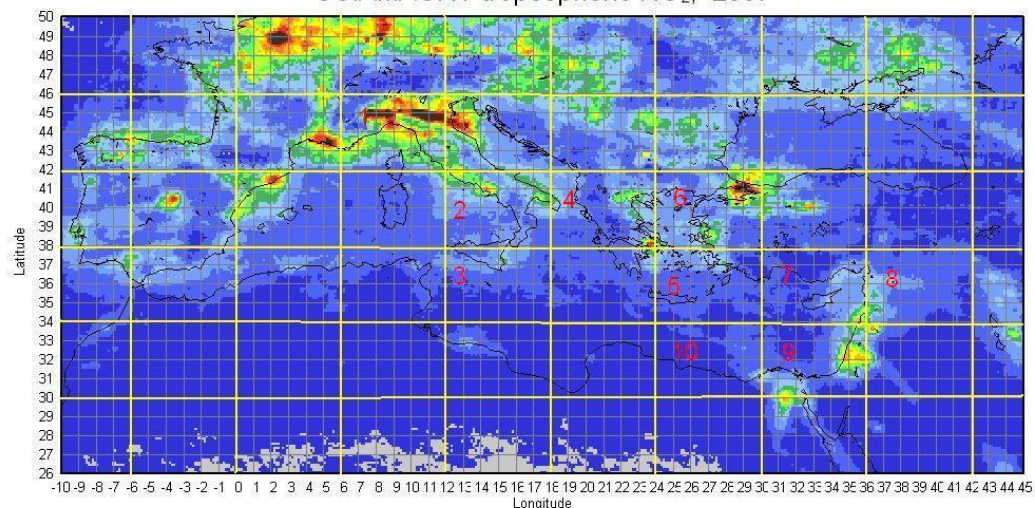
εστίες παραγωγής αέριων ή σωματιδιακών ρύπων π.χ. η περιοχή Κρήτης-Νοτιοανατολικού Αιγαίου που περιλαμβάνει και τον μετεωρολογικό σταθμό της Φινοκαλιάς (περιοχή 5). Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 και η κάθε μια παίρνει το όνομα της είτε από το όνομα ενός αστικού κέντρου είτε από το όνομα ενός σταθμού μετεωρολογικών μετρήσεων που περιλαμβάνει.

Στην παρούσα μελέτη έγιναν συγκρίσεις των μέσων μηνιαίων τιμών των τροποσφαιρικών στηλών O_3 , NO_2 , $HCHO$ και των μέσων μηνιαίων τιμών της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO , μεταξύ των αποτελεσμάτων των 3-διάστατων αριθμητικών προσομοιώσεων της σύστασης της ατμόσφαιρας από το μοντέλο TM4 και των μετρήσεων των δορυφορικών αισθητήρων για τις δέκα αυτές περιοχές. Θα παρουσιάσουμε παρακάτω αναλυτικά τα αποτελέσματα από τις περιοχές 4, 5, 6, 9.

Ως άνω όριο της τροπόσφαιρας για τον προσδιορισμό των τροποσφαιρικών στηλών από το μοντέλο επιλέχθηκε το εικοστό πρώτο επίπεδο του μοντέλου που αντιστοιχεί σε ένα άνω όριο πιέσεων περίπου 250hPa. Η περιοχή 4 περιέχει το αστικό κέντρο της Θεσσαλονίκης, την Θεσσαλία την Στερεά Ελλάδα και μέρος της Αθήνας, η περιοχή 6 περιέχει τα αστικά κέντρα Κωνσταντινούπολης και Σμύρνης, το βορειοανατολικό Αιγαίο πέλαγος και βορειοδυτικό τμήμα της Μικράς Ασίας, η περιοχή 9 περιέχει το αστικό κέντρο του Καΐρου, τμήμα της βορειοανατολικής Αφρικής αλλά και αστικά κέντρα της μέσης Ανατολής όπως είναι το Τελαβίβ, η Χάιφα στο Ισραήλ και η Βηρυτός στο Λίβανο, ενώ τέλος η περιοχή 5 περιέχει την Κρήτη με το μετεωρολογικό σταθμό της Φινοκαλιάς, το νότιο ανατολικό Αιγαίο και νοτιοδυτικό τμήμα της Μικράς Ασίας.

Οι δορυφορικές μετρήσεις NO_2 και $HCHO$ παρουσιάζονται από το έτος 2000 έως το έτος 2007. Κατά τη διάρκεια των ετών 2000, 2001, 2002 οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν από τον δορυφορικό αισθητήρα GOME ενώ από το 2003 έως και το 2007 οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον SCIAMACHY. Οι δορυφορικές μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος παρουσιάζονται από το έτος 2000 έως και 2005 και πραγματοποιήθηκαν από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS, ενώ οι μετρήσεις CO παρουσιάζονται από το 2000 έως και το 2007 και πραγματοποιήθηκαν από τον αισθητήρα MORITT.

SCIAMACHY tropospheric NO₂, 2007



Εικόνα 5.1 Οι υπό μελέτη περιοχές της ανατολικής Μεσογείου.

Πίνακας 5.1: Οι υπό μελέτη περιοχές της ανατολικής Μεσογείου.

Αύξων αριθμός	Περιοχές Ανατολικής Μεσογείου	Εύρος γεωγραφικού πλάτους	Εύρος γεωγραφικού μήκους
1	Po Valley	42N-46N	6E-12E
2	Νότια Ιταλία	38N-42N	12E-18E
3	Μάλτα	34N-38N	12E-18E
4	Κεντρική Ελλάδα	38N-42N	18E-24E
5	Κρήτη - Νότιο Αιγαίο πέλαγος	34N-38N	24E-30E
6	Κων/πολη - Βόρειο δυτικό Αιγαίο πέλαγος	38N-42N	24E-30E
7	Κύπρος	34N-38N	30E-36E
8	Συρία	34N-38N	36E-42E
9	Εκτεταμένη περιοχή Καΐρου	30N-34N	30E-36E
10	Εκτεταμένη περιοχή Ματρούχ	30N-34N	30E-36E

5.1.1 Τροποσφαιρικό όζον O3: Σύγκριση TM4 και TOMS, 2000-2005

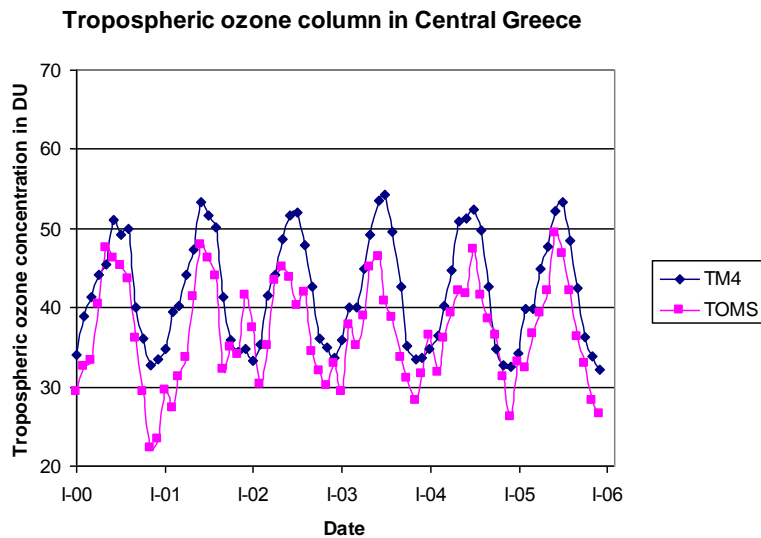
Θα επιχειρήσουμε την σύγκριση των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος μεταξύ των αριθμητικών προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν από το TM4 και των δορυφορικών παρατηρήσεων του δορυφορικού αισθητήρα TOMS.

Το τροποσφαιρικό όζον μπορεί να προσδιοριστεί σε ημερήσια βάση χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις ολικού όζοντος που πραγματοποιούνται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) και προφίλ στρατοσφαιρικού όζοντος όπως αυτά προσδιορίζονται από τα SBUV (Solar Backscattered Ultra Violet) όργανα που μετρούν την ηλιακή οπισθοσκεδαζόμενη υπεριώδη ακτινοβολία (Fischman et al., 2003).

Κεντρική Ελλάδα

Στην Κεντρική Ελλάδα (εικόνα 5.2) το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 υπολογίζει μέγιστες τιμές για το τροποσφαιρικό όζον περίπου από 51 DU ως 54 DU τον μήνα Ιούλιο, ενώ οι ελάχιστες τιμές υπολογίζονται για τους χειμωνικούς μήνες από Νοέμβριο ως Ιανουάριο και είναι περίπου από 32 ως 36 DU.

Για την ίδια περιοχή οι μέγιστες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος όπως αυτές μετρήθηκαν από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS, παρατηρούνται Μάιο Ιούνιο ή Ιούλιο και κυμαίνονται περίπου από 45 ως 49 DU και είναι μικρότερες συγκριτικά με τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων, ενώ οι ελάχιστες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος παρατηρούνται πάλι τους χειμωνικούς μήνες από Νοέμβριο ως Ιανουάριο από 22 ως 36 DU, με εξαίρεση το Δεκέμβριο του 2001 όπου παρατηρείται μια σχετικά υψηλή τιμή περίπου 41 DU.



Εικόνα 5.2: Μέσες μηνιαίες τιμές της στήλης του τροποσφαιρικού όζοντος από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα, από το έτος 2000 έως και το 2005.

Γενικά η σύγκλιση των αποτελεσμάτων του TM4 και των μετρήσεων του TOMS για την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ικανοποιητική αν λάβουμε υπόψη μας ότι το μοντέλο έχει μια αβεβαιότητα τουλάχιστον 20% ενώ το σφάλμα του δορυφόρου για κάθε κουτί γεωγραφικής ευκρίνειας $1.25^\circ \times 1^\circ$ (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος) είναι περίπου 13%, όμως λόγω του ότι μετατρέψαμε την ανάλυση των δορυφορικών μετρήσεων σε ανάλυση $6^\circ \times 4^\circ$ το σφάλμα αυτό κατέρχεται και γίνεται περίπου 3%.

Οι δύο κύριες πηγές του τροποσφαιρικού όζοντος είναι η μεταφορά του από την στρατόσφαιρα και η φωτοχημική παραγωγή του στην τροπόσφαιρα. Οι μεγαλύτερες τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος κατά την διάρκεια των θερμών καλοκαιρινών μηνών συγκριτικά με αυτές του χειμώνα, είναι προϊόν φωτοχημικών αντιδράσεων λόγω αυξημένης ηλιοφάνειας, όπως π.χ. η φωτοδιάσπαση του διοξειδίου του αζώτου:



(Το M μπορεί να είναι N_2 ή O_2 ή άλλο μόριο που απορροφά ενέργεια δονητικά).

Η δευτερεύουσα κορυφή που παρατηρείται τον Δεκέμβριο του 2001 τόσο για την περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας όσο και στις ευρύτερες περιοχές Κωνσταντινούπολης και Κρήτης σχετίζεται με την αύξηση της ολικής ατμοσφαιρικής κολώνας του όζοντος τον μήνα αυτόν σύμφωνα με τις μετρήσεις του GOME, στις

αντίστοιχες περιοχές. Η διακύμανση του όζοντος είναι εντονότερη τους χειμερινούς μήνες στην κατώτερη στρατόσφαιρα (Koch et al., 2002). Καθώς η στρατόσφαιρα είναι πολύ πλούσια σε όζον συγκριτικά με την τροπόσφαιρα οι τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος επηρεάζονται σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές του όζοντος στην κατώτερη στρατόσφαιρα (Terao et al., 2008) λόγω εισροής στρατοσφαιρικού αέρα.

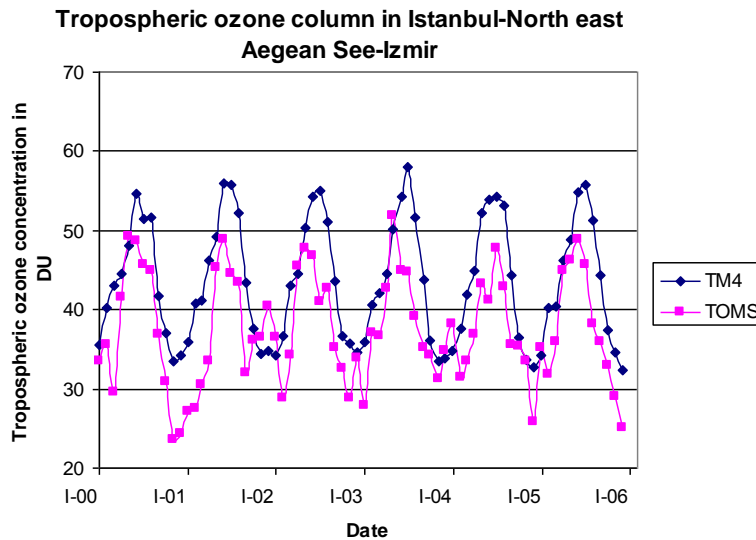
Κωνσταντινούπολη – Βόρειο ανατολικό Αιγαίο και Σμύρνη

Στην περιοχή της Κωνσταντινούπολης – Βόρειου ανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης (εικόνα 5.3) το μοντέλο TM4 προβλέπει μέγιστες τιμές όζοντος πάλι τον Ιούλιο από 54 ως 58 DU, και ελάχιστες τους χειμερινούς μήνες από 32 ως 35 DU. Κατά αντιστοιχία οι μέγιστες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος που μας δίνει ο TOMS παρατηρούνται από Μάιο ως Ιούλιο και κυμαίνονται από 48 ως 51 DU, ενώ οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται από Νοέμβριο έως και Μάρτιο και κυμαίνονται από 23 ως 31 DU.

Οι δευτερεύουσες κορυφές που παρατηρούνται συνήθως τον Δεκέμβριο σχετίζονται με ανθρωπογενείς καύσεις για θέρμανση. Τους ίδιους μήνες παρατηρείται ανάλογη αύξηση στην συγκέντρωση των σωματιδιακών ρύπων PM_{2.5} και PM₁₀ (Karaca et al., 2004), που οφείλονται κυρίως στην θέρμανση. Το κλίμα της Κων/πολης είναι Μεσογειακό με κρύους και βροχερούς χειμώνες και θερμά αλλά υγρά καλοκαίρια. Ως περίοδος έντονων βροχοπτώσεων χαρακτηρίζεται ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου πιθανόν συμβαίνει κατακρήμνιση των πρόδρομων ενώσεων του όζοντος και των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών του όζοντος και των σωματιδιακών συγκεντρώσεων τους αντίστοιχους μήνες.

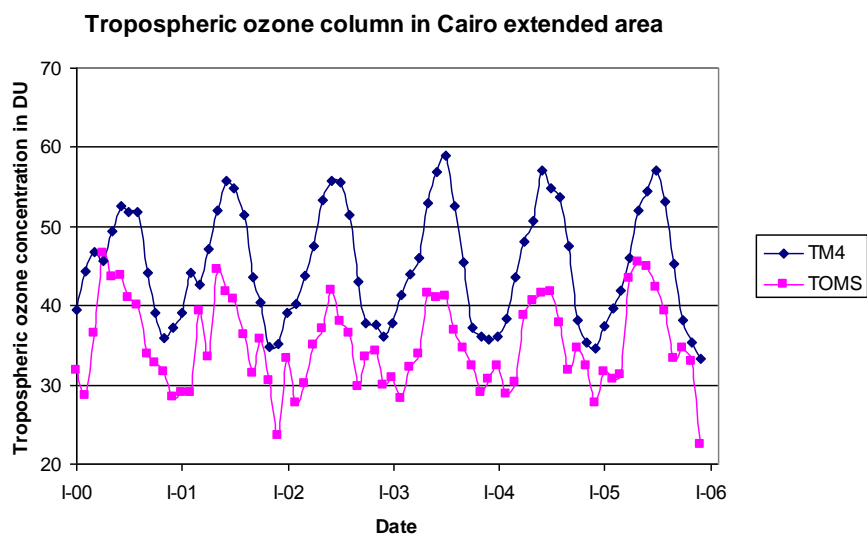
Ευρύτερη περιοχή Καΐρου

Στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου (εικόνα 5.4) οι μέγιστες τιμές του TM4 κυμαίνονται από 52 ως 59 DU τον Ιούνιο και τον Ιούλιο ενώ οι ελάχιστες από 33 ως 36 DU τον Νοέμβριο και τον Ιανουάριο. Οι μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα TOMS μεγιστοποιούνται για την περιοχή αυτή από τον Απρίλιο ως τον Ιούλιο από 41 ως 46 DU και ελαχιστοποιούνται από 22 ως 28 DU από τον Δεκέμβριο ως το Φεβρουάριο.



Εικόνα 5.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή Κων/πολης – Βορειοανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005.

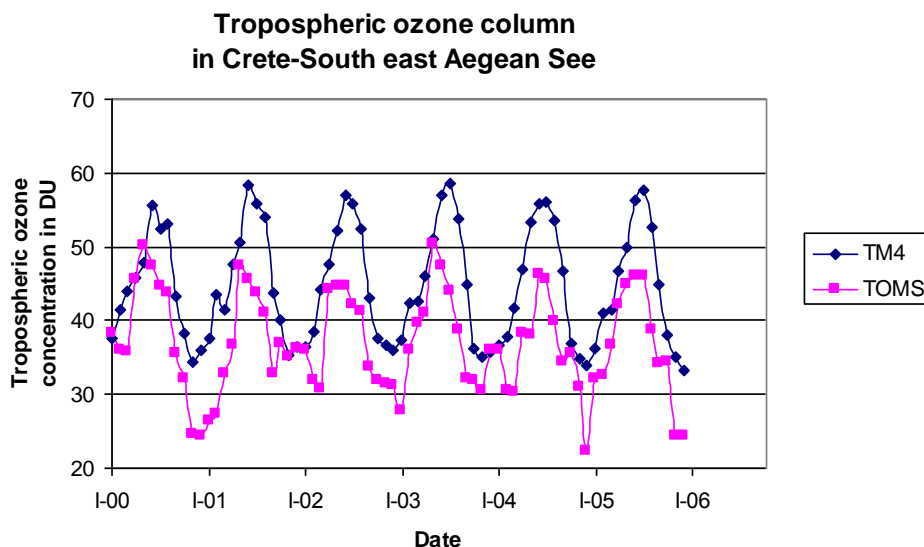
Οι πρωτεύουσες κορυφές μπορούν να χαρακτηριστούν προϊόν φωτοχημείας, οι δευτερεύουσες κορυφές όμως που παρατηρούνται τον Οκτώβριο σχετίζονται πιθανότατα με καύσεις βιομάζας των υπολειμμάτων των φυτών που καλλιεργούνται στο δέλτα του Νείλου (Hazianastasiou et al., 2009), κατά τις οποίες παράγονται πρόδρομες ενώσεις του όζοντος. Η ευρύτερη περιοχή του Καΐρου παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και των μετρήσεων του δορυφόρου TOMS, συγκριτικά με τις άλλες τρεις περιοχές που παρουσιάζουμε εδώ. Η ερμηνεία της απόκλισης αυτής θα μπορούσε να αναζητηθεί στο γεγονός ότι το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη του όλες τις ετερογενείς αντιδράσεις που καταστρέφουν το όζον πάνω σε σωματίδια σκόνης τα οποία αφθονούν στην περιοχή του Καΐρου.



Εικόνα 5.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005.

Κρήτη και νότιο ανατολικό Αιγαίο

Για την περιοχή 5, Κρήτη και νότιο ανατολικό Αιγαίο (εικόνα 5.5), τα αποτελέσματα του TM4 προσδιορίζουν τις μέγιστες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος από 55 ως 58 DU κατά τους θερινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, ενώ τις ελάχιστες τιμές από 33 ως 36 DU από τον Νοέμβριο ως τον Ιανουάριο. Οι μέγιστες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος όπως μετρούνται από τον TOMS είναι από 44 ως 50 DU τον Μάιο και τον Ιούνιο και οι ελάχιστες από 22 ως 35 DU από τον Δεκέμβριο ως τον Μάρτιο.



Εικόνα 5.5: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή της Κρήτης και του Νότιο ανατολικού Αιγαίου, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005.

Γραμμική συσχέτιση και τάσεις

Σε μια προσπάθεια να δώσουμε μια γενική εκτίμηση των τιμών του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου υπολογίσαμε τη μέση τιμή όλων των μέσων μηνιαίων τιμών κατά τη διάρκεια της 6-ετίας 2000-2005 (πίνακας 5.2). Σύμφωνα με το μοντέλο TM4 η εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου φαίνεται να παρουσιάζει το υψηλότερο τροποσφαιρικό όζον ενώ σύμφωνα με το δορυφόρο πιο ρυπασμένη περιοχή σε τροποσφαιρικό όζον εμφανίζεται να είναι η περιοχή της Κων/πολης, Β.Α. Αιγαίου και Σμύρνης.

Πίνακας 5.2: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, στις δύο πρώτες στήλες του πίνακα 2, αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2005, ενώ οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές αντίστοιχα αναφέρονται στη μέση τιμή των μεγίστων και των ελαχίστων μέσων μηνιαίων τιμών που σημειώθηκαν στο παραπάνω χρονικό διάστημα, σε DU.

Περιοχές	Μέση τιμή 2000-2005		Μέγιστη τιμή		Ελάχιστη τιμή	
	TM4	TOMS	TM4	TOMS	TM4	TOMS
Κεντρική Ελλάδα	42.1	36.8	52.7	47.2	33.1	26.8
Κων/πολη ΒΑ Αιγαίο, Σμύρνη	43.4	37.5	55.6	49.0	33.5	26.4
Εκτεταμένη περιοχή Καΐρου	45.0	35.0	56.2	43.6	35.1	26.3
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	44.7	36.9	57.2	47.4	34.6	25.9

Επιχειρήσαμε να πραγματοποιήσουμε γραμμική συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος από το TM4 και από τον TOMS σύμφωνα με την εξίσωση $Y=A*X+B$ (πίνακας 3). Όπου τα X,Y,A,B αναφέρονται στις μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος του TM4, του TOMS, την κλίση της ευθείας και την τεταγμένη σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων xy αντίστοιχα. Το Δ είναι η απόλυτη τιμή της επί τοις εκατό διαφοράς των δύο τροποσφαιρικών στηλών, $\Delta=|(X-Y)/X|*100\%$.

Η καλύτερη συσχέτιση (πίνακας 5.3) των μέσων ετήσιων τιμών με συντελεστή $r^2=0.73$ και η μικρότερη απόλυτη τιμή της επί τοις εκατό διαφοράς των δύο τροποσφαιρικών στηλών (Δ) με τιμή 13%, παρατηρούνται στην κεντρική Ελλάδα, ενώ η πιο φτωγή συσχέτιση με $r^2=0.62$ και το πιο μεγάλο Δ με τιμή 22%, σημειώνονται στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου.

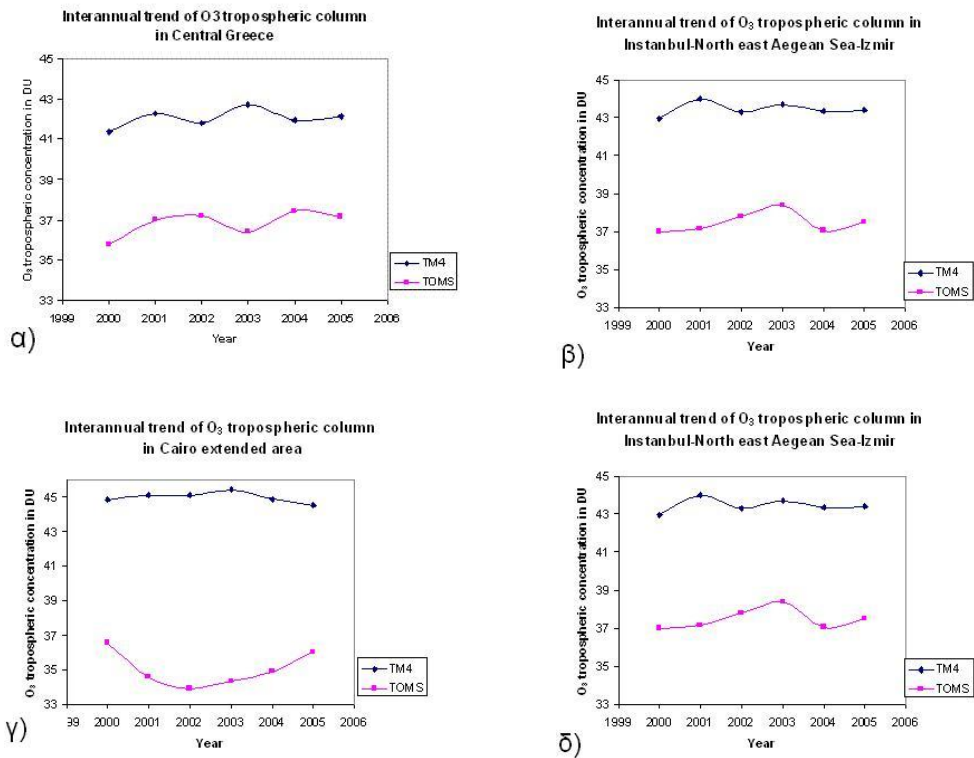
Πίνακας 5.3: Για την ευθεία συσχέτισης των μέσων μηνιαίων τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος από το TM4 και τον TOMS από το 2000 ως και το 2005 παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης, η κλίση της ευθείας συσχέτισης, το ύψος τομής του άξονα y'γ από την ευθεία συσχέτισης και η μέση απόλυτη επί τοις εκατό διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος στις υπό μελέτη περιοχές.

Περιοχές	Συντελεστής συσχέτισης r^2	Κλίση της ευθείας	B	Δ
Κεντρική Ελλάδα(4)	0.73	0.80	3.05	13
Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο, Σμύρνη(6)	0.65	0.74	5.52	15
Κάιρο (9)	0.62	0.60	8.07	22
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο (5)	0.66	0.72	4.83	17

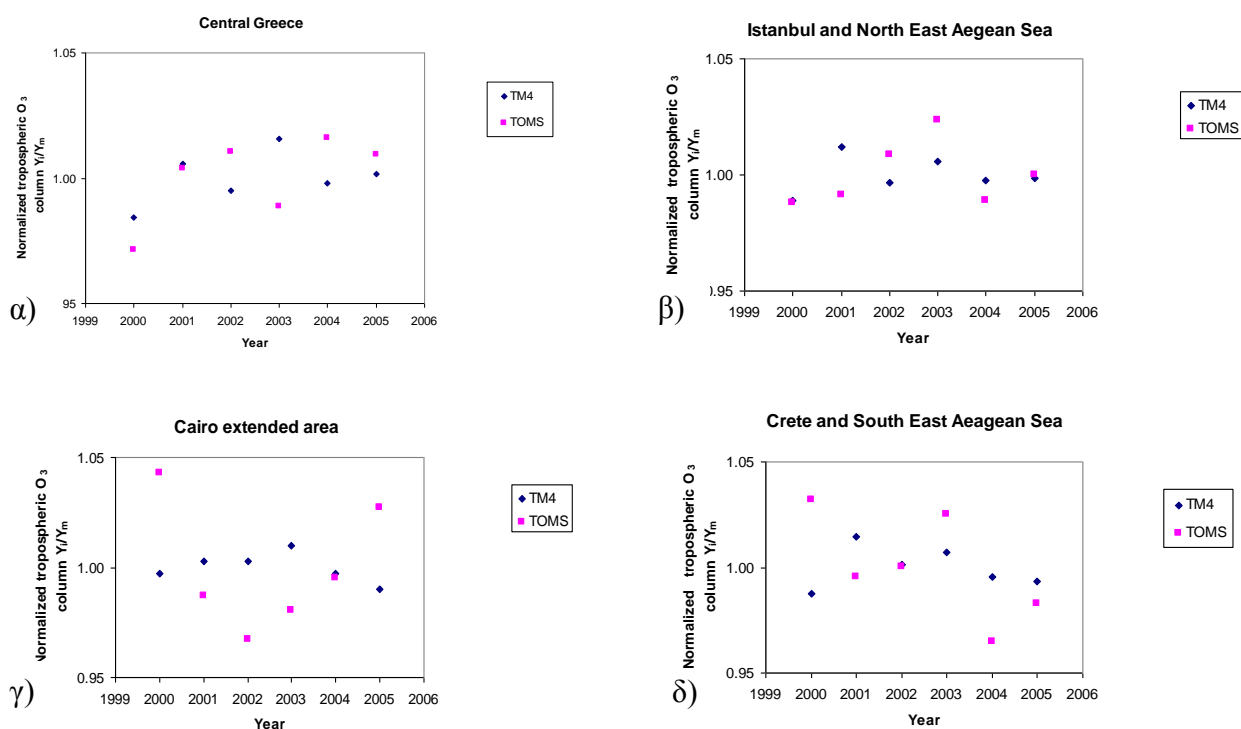
Στην εικόνα 5.6 παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος στην κάθε εκτεταμένη περιοχή, όπως αυτές υπολογίζονται από το μοντέλο TM4 και τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS, ενώ στην εικόνα 5.7 φαίνονται οι ίδιες

τάσεις κανονικοποιημένες, δηλαδή κάθε μέση ετήσια τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος έχει διαιρεθεί δια την μέση τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος ολόκληρου του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος 2000-2005.

Εικόνα 5.6: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του όζοντος από το TM4 και τον TOMS στην : α) Κεντρικής Ελλάδας, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο.



Εικόνα 5.7 Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές κολώνες του όζοντος όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2005.



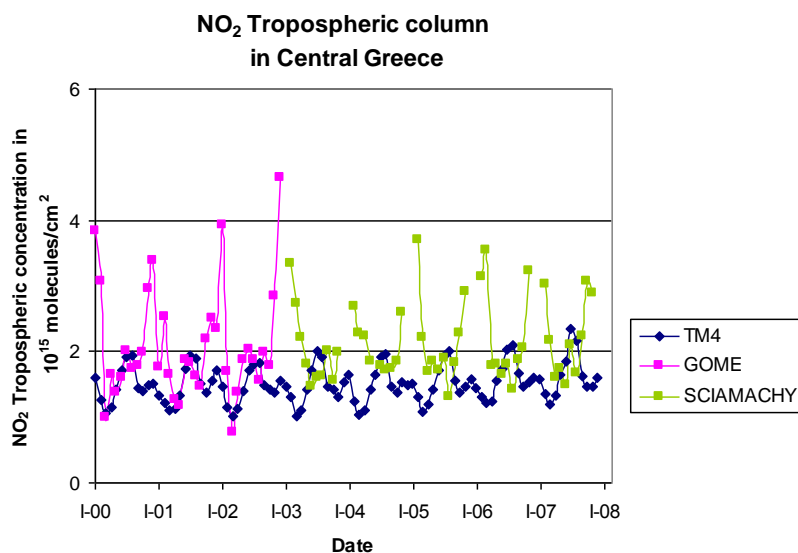
Οι μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος όπως προσομοιώνονται από το μοντέλο και όπως καταγράφονται από τον TOMS αναλυτικά παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος στην περιοχή της Κρήτης και του νοτιοανατολικού Αιγαίου μετρημένες σε Dobson Units (DU) όπως προβλέπονται από το μοντέλο TM4 και όπως μετρούνται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS.

Έτος	Κεντρική Ελλάδα		Κων/πολη BA Αιγαίο Σμύρνη		Ευρύτερη περιοχή Καΐρου		Κρήτη NA Αιγαίο	
	TM4	TOMS	TM4	TOMS	TM4	TOMS	TM4	TOMS
2000	41.4	35.8	43.0	37.0	44.8	36.5	44.1	38.1
2001	42.3	37.0	44.0	37.2	45.1	34.6	45.3	36.8
2002	41.8	37.2	43.3	37.8	45.1	33.9	44.7	37.0
2003	42.7	36.4	43.7	38.4	45.4	34.4	45.0	37.9
2004	42.0	37.4	43.3	37.1	44.8	34.9	44.5	35.6
2005	42.1	37.2	43.4	37.5	45.5	36.0	44.4	36.3

5.1.2. Διοξείδιο του αζώτου NO₂ : Σύγκριση TM4 και GOME-SCIAMACHY, 2000-2007

Κεντρική Ελλάδα



Εικόνα 5.8: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το αζώτου, NO₂, όπως αυτές παρατηρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Για την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας (εικ.5.8) οι δορυφορικές τιμές του διοξειδίου του αζώτου (Richter and Burrows, 2002) είναι υψηλότερες από τις θεωρητικά υπολογιζόμενες από το TM4. Αυτή η διαφορά πιθανόν σχετίζεται με το γεγονός ότι οι δορυφόροι μετρούν το NO₂ γύρω στις 10:00πμ που είναι θεωρητικά κοντά στην μέγιστη ημερήσια τιμή του ενώ το μοντέλο υπολογίζει μια μέση τιμή του ρύπου εκτελώντας χρονικά βήματα μίας ώρας. Με αυτόν τον τρόπο στα αποτελέσματα του μοντέλου συνεισφέρουν και οι νυχτερινές τιμές του NO₂ που σαφώς είναι μικρότερες συγκρινόμενες με τις ημερήσιες.

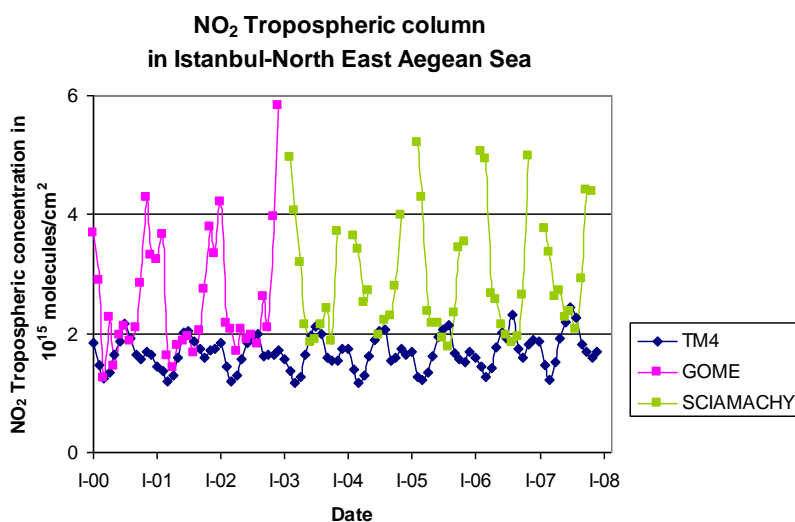
Σύμφωνα με το μοντέλο οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται Ιούλιο ή Αύγουστο και έχουν ένα εύρος από $1.8 \cdot 10^{15}$ ως $2.3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ το NO₂ ελαχιστοποιείται το μήνα Μάρτιο και παίρνει τιμές από $1 \cdot 10^{15}$ ως $1.2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Οι δορυφορικοί αισθητήρες GOME - SCIAMACHY παρατηρούν τις μέγιστες τιμές του NO₂ από Οκτώβριο έως και Μάρτιο από $2.5 \cdot 10^{15}$ ως $4.6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ τις ελάχιστες τιμές, $0.7 \cdot 10^{15}$ ως $1.7 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² από Μάρτιο μέχρι Αύγουστο.

Για την κεντρική Ελλάδα η συσχέτιση των μέσων μηνιαίων τιμών φαίνεται να είναι φτωχή όμως όταν οι δορυφορικές παρατηρήσεις και οι αριθμητικές προσομοιώσεις συγκριθούν σε ετήσια βάση τότε οι διαφορές αυτές μειώνονται και η μικρή αυξητική

τάση των μέσων ετήσιων τιμών είναι $1\%y^{-1}$ για το TM4 και $0.5\%y^{-1}$ για τους δορυφορικούς αισθητήρες.

Κωνσταντινούπολη – Βόρειο ανατολικό Αιγαίο και Σμύρνη

Για την περιοχή Κων/πολης, Βορειοανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης(εικ.5.9), οι μέγιστες τιμές διοξειδίου του αζώτου υπολογίζεται από το TM4 να κυμαίνονται από $2 \cdot 10^{15}$ ως $2.4 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ οι ελάχιστες τιμές γύρω στα $1.2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² τον Μάρτιο. Οι δορυφορικοί αισθητήρες GOME και SCIAMACHY δίνουν μέγιστες τιμές που κυμαίνονται από $4 \cdot 10^{15}$ ως $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², από τον Οκτώβριο μέχρι το Φεβρουάριο. Οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται από Μάρτιο μέχρι Αύγουστο και είναι από $1.2 \cdot 10^{15}$ ως $2 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².



Εικόνα 5.9: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το αζώτου, NO₂, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κων/πολης, Β.Α. Αιγαίου και Σμύρνης από το έτος 2000 έως και το 2007.

Ευρύτερη περιοχή Καΐρου

Για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου (εικ. 5.10), οι μέγιστες τιμές για την τροποσφαιρική στήλη του NO₂ από το TM4 υπολογίζονται για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο και είναι από $2.6 \cdot 10^{15}$ ως $2.8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ οι ελάχιστες από $1.5 \cdot 10^{15}$ ως $1.8 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², υπολογίζονται από τον Ιανουάριο ως τον Μάρτιο.

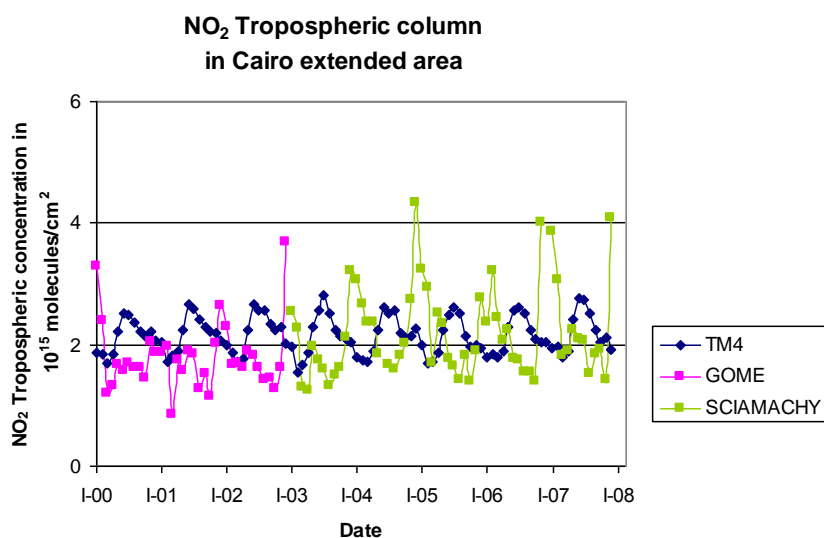
Αντίστοιχα, οι μέγιστες τιμές που καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY παρατηρούνται τους χειμωνικούς μήνες με έμφαση στον Δεκέμβριο και παρουσιάζουν διακύμανση από $2.6 \cdot 10^{15}$ ως $4.3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Οι ελάχιστες τιμές του NO₂ παρατηρούνται γενικά από Μάρτιο έως και Οκτώβριο και είναι περίπου από $0.8 \cdot 10^{15}$ ως $1.6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Οι μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂, όπως αυτές προβλέπονται από το TM4, δεν παρουσιάζουν χαρακτηριστική μεταβλητότητα.

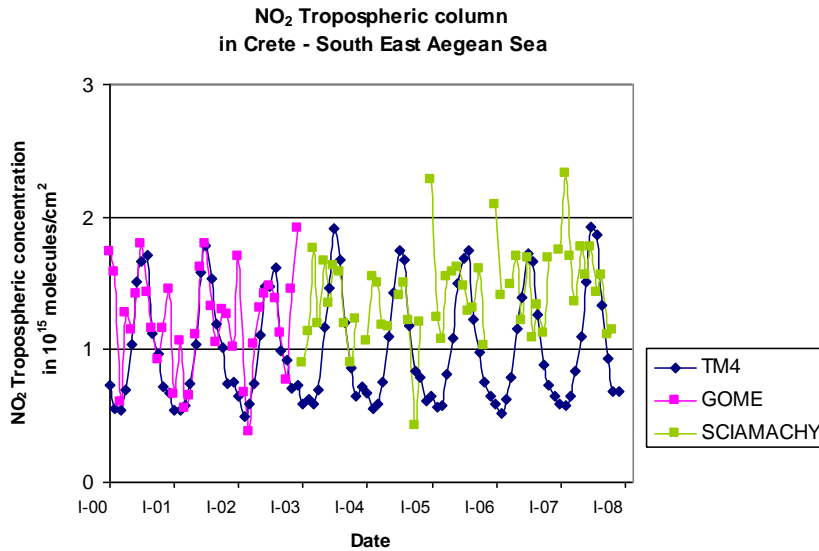
Κρήτη και νότιο ανατολικό Αιγαίο

Για την περιοχή 5, Κρήτης και Ν.Α. Αιγαίου (εικ. 5.11), το μοντέλο TM4 προβλέπει τις μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ Ιούλιο και Αύγουστο, από $1.6 \cdot 10^{15}$ ως $1.9 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και ελάχιστες τιμές από Ιανουάριο ως Μάρτιο περίπου από $5 \cdot 10^{14}$ ως περίπου $6 \cdot 10^{14}$ molecules/cm².

Οι δορυφορικοί αισθητήρες GOME-SCIAMACHY παρατηρούν τις μέγιστες τιμές από $1.5 \cdot 10^{15}$ ως $2.3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ οι ελάχιστες τιμές NO₂ παρατηρούνται από τον GOME-SCIAMACHY και συνολικά κυμαίνονται περίπου από $4 \cdot 10^{14}$ ως $11 \cdot 10^{14}$ molecules/cm².



Εικόνα 5.10: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το Αζώτου, NO₂, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και υπολογίζονται από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου.



Εικόνα 5.11: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το Αζώτου, NO₂, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην Κρήτη και το Ν.Α. Αιγαίο.

Η συσχέτιση των μέσων ετήσιων τιμών φαίνεται να είναι καλύτερη για την περίοδο παρατήρησης του GOME, 2000-2002, κυρίως τους μήνες που χαρακτηρίζονται από έντονη ηλιοφάνεια.

Για κάθε περιοχή της μελέτης μας υπολογίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ καθώς επίσης και το μέσο όρο όλων των μέσων ετήσιων τιμών, βασιζόμενοι στις μέσες μηνιαίες τιμές του όπως αυτές προσομοιώνονται από το μοντέλο και όπως καταγράφονται από τους αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 5.5 και 5.6 και στην εικόνα 5.12.

Επίσης πραγματοποιήσαμε κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ (εικόνα 5.13). Για την κανονικοποίηση των τιμών του μοντέλου διαιρέσαμε δια το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών του διαστήματος 2000-2007, ενώ για κάθε ένα από τους δορυφορικούς αισθητήρες διαιρέσαμε δια το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών που αναφέρονται στο διάστημα μέτρησης αυτού, στην εκάστοτε περιοχή. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.

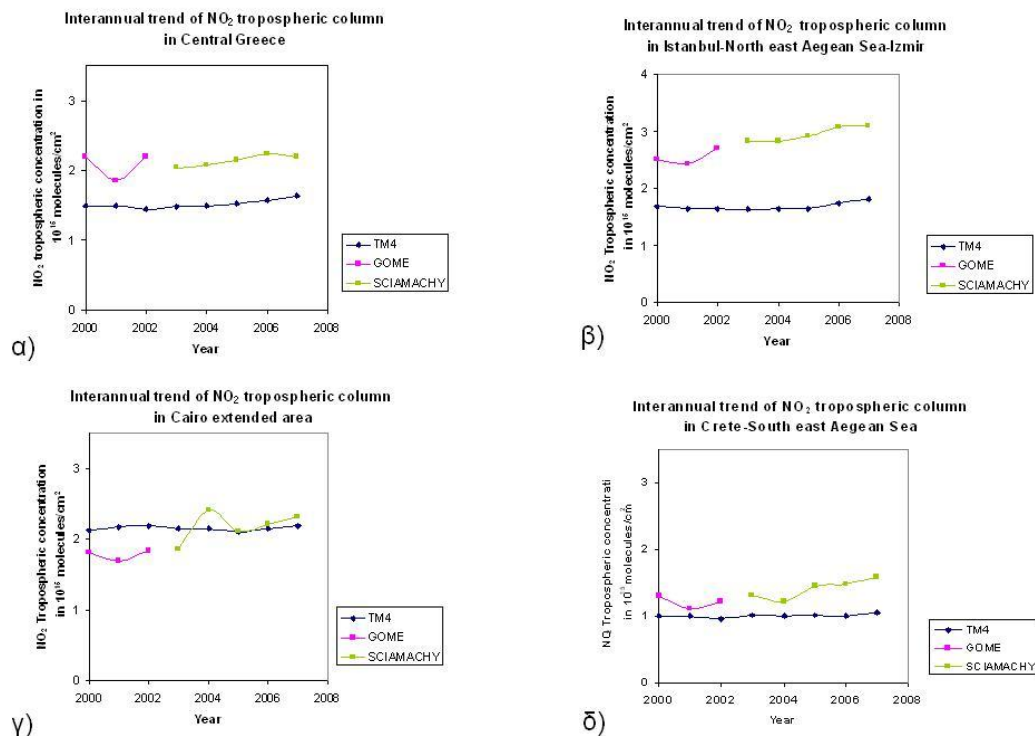
Πίνακας 5.5: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου μετρημένες σε 10^{15} molecules/cm² όπως προσομοιώνονται από το μοντέλο TM4 (200-2007) και όπως μετρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME (2000-2002) και SCIAMACHY (2003-2007).

Έτος	Κεντρική Ελλάδα			Κων/πολη BA Αιγαίο Σμύρνη			Ευρύτερη περιοχή Καΐρου			Κρήτη NA Αιγαίο		
	TM4	GOME	SCIA	TM4	GOME	SCIA	TM4	GOME	SCI A	TM4	GOME	SCIA
2000	1.5	2.2		1.7	2.5		2.1	1.8		1.0	1.3	
2001	1.5	1.9		1.6	2.4		2.2	1.7		1.0	1.1	
2002	1.4	2.2		1.6	2.7		2.2	1.8		1.0	1.2	
2003	1.5		2.0	1.6		2.8	2.2		1.9	1.0		1.3
2004	1.5		2.1	1.6		2.8	2.2		2.4	1.0		1.2
2005	1.5		2.1	1.7		2.9	2.1		2.1	1.0		1.5
2006	1.6		2.2	1.7		3.1	2.1		2.2	1.0		1.5
2007	1.6		2.2	1.8		3.1	2.2		2.3	1.1		1.6

Πίνακας 5.6: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ επί 10^{15} molecules/cm² αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007 για το TM4 και στα χρονικά υποδιαστήματα :2000-2002 για τον GOME και 2003-2007 για τον SCIAMACHY.

	Μέση τιμή 2000-2007	Μέση τιμή 2000-2002	Μέση τιμή 2003-2007
Περιοχές	TM4	GOME	SCIAMACHY
Κεντρική Ελλάδα	1.5	2.1	2.1
Κων/πολη, BA Αιγαίο, Σμύρνη	1.6	2.5	3.0
Κάιρο	2.1	1.8	2.2
Κρήτη, NA Αιγαίο	1.0	1.2	1

Εικόνα 5.12: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του αζώτου από το TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME-1 και SCIAMACHY στην :α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο.



Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι η περιοχή Κρήτης και Ν.Α. Αιγαίου εμφανίζει τις μικρότερες τιμές του διοξειδίου του αζώτου συγκριτικά με τις άλλες τρεις υπό μελέτη περιοχές σύμφωνα τόσο με τις αριθμητικές προσομοιώσεις όσο και με τις δορυφορικές παρατηρήσεις. Επίσης παρατηρείται σημαντική σύγκλιση των δορυφορικών παρατηρήσεων με τις αριθμητικές προσομοιώσεις του TM4 για αυτήν την απομακρυσμένη από τοπική ρύπανση περιοχή, κυρίως για το διάστημα μέτρησης του GOME. Ενώ η σύγκλιση των δορυφορικών δεδομένων των GOME και SCIAMACHY και των αριθμητικών προσομοιώσεων του TM4, σε επίπεδο μέσων ετήσιων τιμών φαίνεται να είναι καλύτερη για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου.

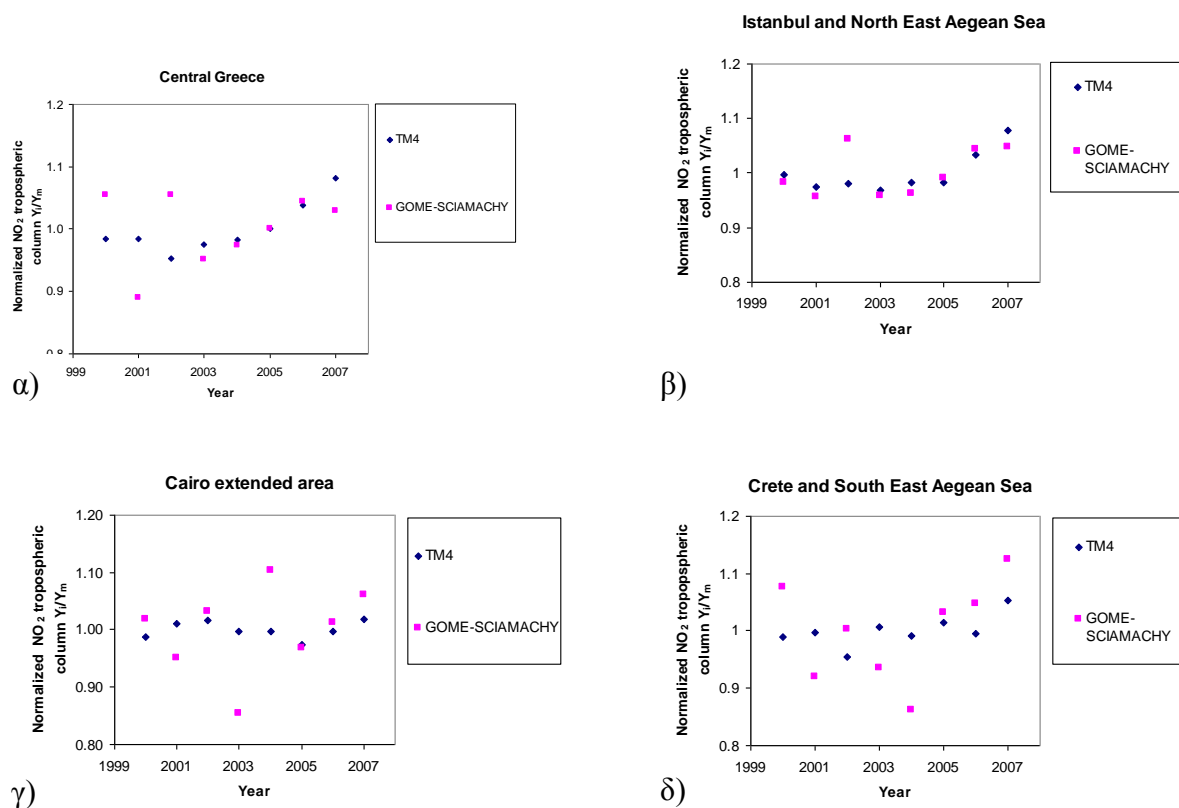
Η ευρύτερη περιοχή του Καΐρου που περιλαμβάνει και άλλες εστίες παραγωγής ρύπανσης στην Μέση Ανατολή (όπως Τελαβίβ, Χάιφα, Βηρυτό) φαίνεται να έχει σύμφωνα με τις αριθμητικές προσομοιώσεις τις υψηλότερες τιμές διοξειδίου του αζώτου, ωστόσο σύμφωνα με τις δορυφορικές παρατηρήσεις η περιοχή της Κων/πολης φαίνεται να είναι η πιο ρυπασμένη.

Γενικά, το μοντέλο TM4 δεν φαίνεται να προσομοιώνει ικανοποιητικά τον εποχιακό κύκλο του διοξειδίου του αζώτου σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές εκτός από την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης. Επίσης το μοντέλο TM4 προσομοιώνει χαμηλότερες τιμές από αυτές που παρατηρούν οι δορυφορικοί αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για την τροποσφαιρική στήλη του NO₂, στην Κεντρική Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή της Κων/πολης. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και η σύγκριση των μετρήσεων της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ από τον GOME με αριθμητικές προσομοιώσεις στην περιοχή της Κίνας (Jianzhong et al., 2005).

Όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι το μοντέλο TM4 υπολογίζει μέσες μηνιαίες τιμές που προκύπτουν από δεδομένα σε εικοσιτετράωρη βάση ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές που καταγράφουν οι δορυφορικοί αισθητήρες προκύπτουν από μετρήσεις που πραγματοποιούνται περίπου από 9:30 ως 10:30 πμ (τοπική ώρα). Ως γνωστόν οι τιμές του NO₂ παρουσιάζουν σημαντική ημερήσια διακύμανση με υψηλές τιμές τις πρωινές ώρες, δηλαδή όταν παρατηρεί ο δορυφόρος την ατμόσφαιρα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί αν κάνουμε δειγματοληψία των αποτελεσμάτων του μοντέλου τις ώρες που παρατηρεί ο δορυφόρος την ατμόσφαιρα.

Μια άλλη αιτία για τις διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου και τις μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα είναι ότι η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων πραγματοποιείται για μετρήσεις όπου το ποσοστό νέφωσης είναι μικρότερο από κάποια τιμή κατωφλίου, ούτως ώστε να έχουν καλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματά τους, ενώ τα μοντέλα δεν αφαιρούν από τους υπολογισμούς τους τις ημέρες υψηλής νεφοκάλυψης. Για την παρούσα μελέτη επεξεργαζόμαστε δορυφορικές μετρήσεις NO₂ που το ποσοστό νεφοκάλυψης είναι μικρότερο του 20%. Οι τιμές του NO₂ όπως τις υπολογίζει το TM4 επηρεάζονται από τον συντελεστή φωτοδιάσπασης του NO₂ που υπολογίζεται από το μοντέλο.

Εικόνα 5.13: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές στήλες του NO₂ όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τούς δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2007.

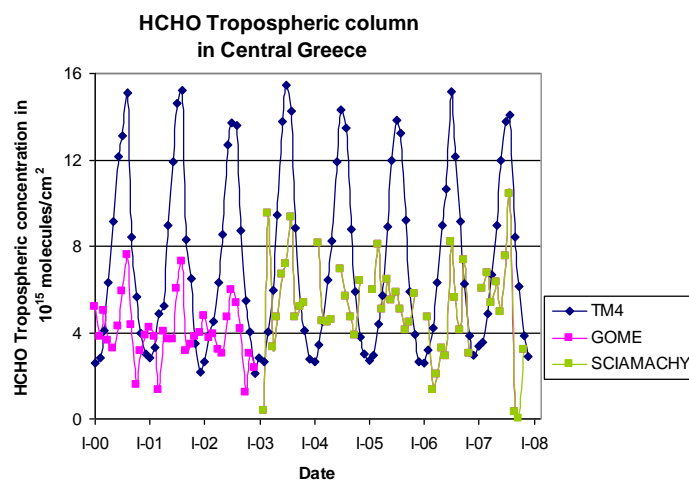


5.1.3. Φορμαλδεΰδη HCHO: Σύγκριση TM4 και GOME-SCIAMACHY, 2000-2007

Η φορμαλδεΰδη (HCHO) είναι μια χημική ένωση που παράγεται πρωτογενώς από ρύπους αυτοκινήτων ή από τη βιομηχανία, καθορίζεται όμως άμεσα από την αποικοδόμηση των οργανικών πτητικών ενώσεων (VOCs) στην τροπόσφαιρα έχοντας σαν βασική πηγή σε παγκόσμια κλίμακα το μεθάνιο. Η οξείδωση των VOCs από την ρίζα υδροξυλίου (OH) οδηγεί στο σχηματισμό οργανικών περόξυ ριζών που παράγουν HCHO είτε άμεσα είτε κατά την αποικοδόμηση ανώτερων καρβονυλικών ενώσεων. Σαν σημαντική δευτερογενής πηγή της μπορεί να θεωρηθεί το ισοπρένιο (Liakakou et al., 2006. Τον χειμώνα παρατηρείται αύξηση στις ανθρωπογενείς εκπομπές που σχετίζονται με καύσεις (θέρμανση), ενώ το καλοκαίρι έχουμε αύξηση κυρίως των βιογενών εκπομπών (VOCs) συμπεριλαμβανομένου και του ισοπρενίου

στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Οι αυξήσεις αυτές αντικατοπτρίζονται στην χημική παραγωγή της φορμαλδεΐδης.

Κεντρική Ελλάδα



Εικόνα 5.14: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Για την περιοχή 4 της κεντρικής Ελλάδας το TM4 (εικ. 5.14), εκτιμά τις μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO περίπου στα $15 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών Ιούλιο και Αύγουστο και ελάχιστες τιμές τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο περίπου 6 φορές χαμηλότερα γύρω στα $2.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

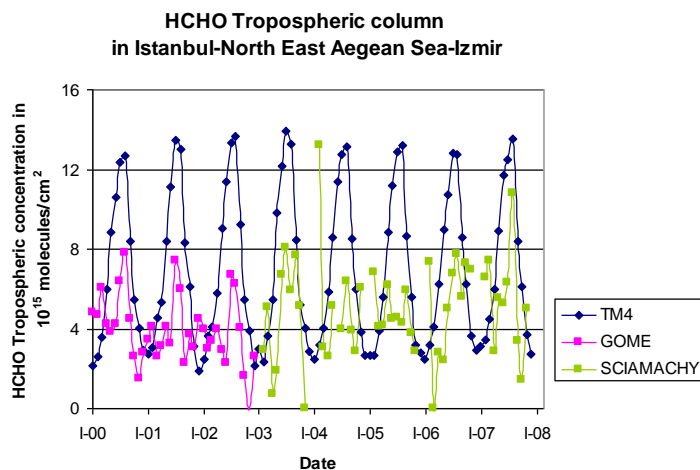
Οι δορυφορικοί αισθητήρες αντίστοιχα παρατηρούν τις μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO (Wittrock et al., 2006) συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο από $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² έως $10 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Όμως τις χρονιές 2003, 2004, 2005 τα μέγιστα παρατηρούνται Φεβρουάριο και Μάρτιο, ενώ οι ελάχιστες τιμές κυμαίνονται περίπου ως $4 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² και παρατηρούνται από Σεπτέμβριο έως και Μάρτιο.

Τα καλοκαιρινά μέγιστα της HCHO ερμηνεύονται από τη φωτοχημική παραγωγή της. Θα πρέπει όμως να αναζητήσουμε τις αιτίες των χειμωνικών κορυφών που παρατηρούν οι δορυφορικοί αισθητήρες. Στις περιοχές που περιέχουν μεγάλα αστικά κέντρα η προέλευση των χειμερινών μεγίστων θα πρέπει να αναζητηθεί στην τοπική παραγωγή ρύπων. Πιο ακριβή δεδομένα εκπομπών για την περιοχή μας θα μπορούσαν να αποφέρουν καλύτερη συμφωνία μοντέλου με τις δορυφορικές παρατηρήσεις.

Γενικά το TM4 εμφανίζεται να υπερεκτιμά τα καλοκαιρινά μέγιστα κατά ένα παράγοντα 1.4 ως 2.5.

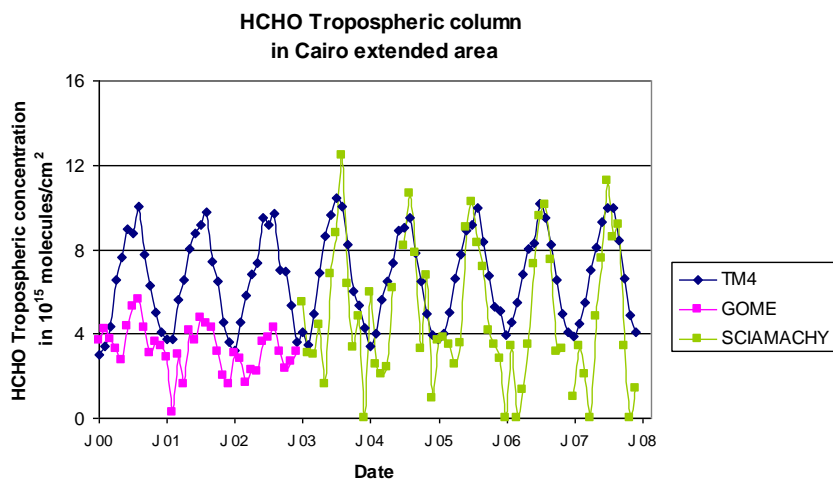
Κωνσταντινούπολη – Βόρειο ανατολικό Αιγαίο και Σμύρνη

Στην περιοχή 6 Κωνσταντινούπολης – Βόρειο ανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης (εικ. 5.15), οι μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO υπολογίζονται από το TM4 τον Ιούλιο και τον Αύγουστο γύρω στα $13 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ οι ελάχιστες τιμές τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο περίπου στα 2 με $2.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Με εξαίρεση τις χρονιές 2004 και 2005, οι GOME-SCIAMACHY παρατηρούν στην περιοχή μέγιστες τιμές για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO επίσης τον Ιούλιο και τον Αύγουστο που κυμαίνονται περίπου από $7.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ως περίπου $11 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Το Φεβρουάριο του 2004 παρατηρείται μια εξαιρετικά μεγάλη τιμή από τον SCIAMACHY περίπου $13 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² ενώ επίσης το 2005 η μέγιστη τιμή της τροποσφαιρικής στήλης παρατηρείται τον Φεβρουάριο και είναι πολύ μικρότερη (γύρω στα $6 \cdot 10^{15}$ molecules/cm²) αυτής του 2004. Οι ελάχιστες τιμές των δορυφόρων παρατηρούνται από το Σεπτέμβριο μέχρι τον Απρίλιο και διακυμαίνονται από 0 ως περίπου $3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².



Εικόνα 5.15: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κωνσταντινούπολης, ΒΑ Αιγαίου και Σμύρνης, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Ευρύτερη περιοχή Καΐρου



Εικόνα 5.16: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου.

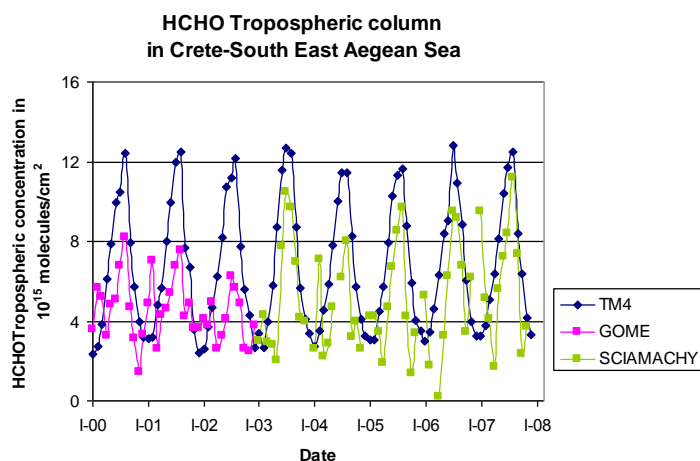
Για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου (εικ. 5.16), τόσο το μοντέλο όσο και οι δορυφορικοί αισθητήρες παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Για το χρονικό διάστημα από 2003 έως και 2007 οι τιμές αυτές είναι περίπου από $10 \cdot 10^{15}$ έως $12 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Ενώ για την πρώτη τριετία από 2000 ως 2002 το μοντέλο παρουσιάζει περίπου τα ίδια μέγιστα ετησίως ο δορυφορικός αισθητήρας GOME έχει χαμηλότερες μέγιστες τιμές από ότι την περίοδο 2003-2007.

Οι ελάχιστες τιμές του TM4 υπολογίζονται τους χειμερινούς μήνες από το Δεκέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο και είναι περίπου 3 ως $4 \cdot 10^{15}$ molecules/cm², ενώ οι ελάχιστες τιμές των δορυφορικών μετρήσεων καταγράφονται από το Νοέμβριο μέχρι το Μάιο και παίρνουν τιμές ως περίπου $3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².

Κρήτη και νότιο ανατολικό Αιγαίο

Στην περιοχή 6 Κρήτης και Νοτιοανατολικού Αιγαίου (εικ. 5.17), οι μέγιστες τιμές του TM4 και των GOME-SCIAMACHY για την τροποσφαιρική στήλη της HCHO παρουσιάζονται Ιούλιο και Αύγουστο. Το TM4 προσομοιώνει τιμές από 11.5 ως περίπου $13 \cdot 10^{15}$ molecules/cm² περίπου ενώ οι δορυφορικοί αισθητήρες από περίπου $6 \cdot 10^{15}$ ως $11 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Η σύγκλιση μοντέλου και δορυφόρων φαίνεται να είναι καλύτερη κατά το χρονικό διάστημα μέτρησης του SCIAMACHY όπως και για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου. Οι ελάχιστες τιμές υπολογίζονται από το μοντέλο

τους χειμερινούς μήνες όπως και στις προηγούμενες περιοχές και κυμαίνονται από περίπου $2 \cdot 10^{15}$ ως $3 \cdot 10^{15}$ molecules/cm². Αντίστοιχα οι δορυφορικοί αισθητήρες βλέπουν ελάχιστες τιμές από Οκτώβριο ως Μάιο από περίπου 0 ως $2.5 \cdot 10^{15}$ molecules/cm².



Εικόνα 5.17: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4, στην περιοχή Κρήτης και Νότιο ανατολικού Αιγαίου από το έτος 2000 έως και το 2007.

Για κάθε περιοχή της μελέτης μας υπολογίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO καθώς επίσης και το μέσο όρο όλων των μέσων ετήσιων τιμών, βασιζόμενοι στις μέσες μηνιαίες τιμές της όπως αυτές προσομοιώνονται από το μοντέλο και όπως καταγράφονται από τους αισθητήρες GOME και SCIAMACHY, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 5.7, 5.8 και στην εικόνα 5.18.

Επίσης πραγματοποιήσαμε κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.19. Για την κανονικοποίηση των τιμών του μοντέλου διαιρέσαμε δια το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών του διαστήματος 2000-2007, ενώ για κάθε ένα από τους δορυφορικούς αισθητήρες διαιρέσαμε δια το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών που αναφέρονται στο διάστημα μέτρησης αυτού, στην εκάστοτε περιοχή. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.

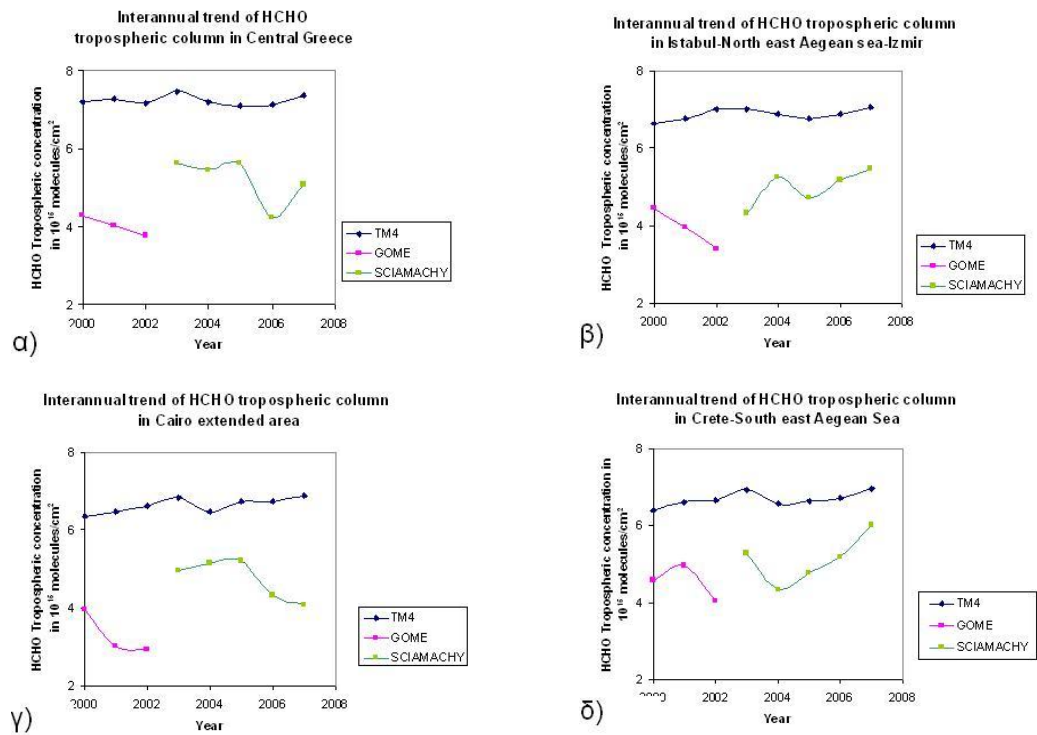
Πίνακας 5.7: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, HCHO, μετρημένες σε 10^{15} molecules/cm² όπως προσομοιώνονται από το μοντέλο TM4 και όπως ανακτώνται από τον δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY.

Έτος	Κεντρική Ελλάδα			Κων/πολη, BA Αιγαίο, Σμύρνη			Ευρύτερη περιοχή Καΐρου			Κρήτη NA Αιγαίο		
	TM4	GOME	SCIA	TM4	GOME	SCIA	TM4	GOME	SCIA	TM4	GOME	SCIA
2000	7.2	4.3		6.6	4.5		6.3	4.0		6.4	4.6	
2001	7.3	4.0		6.8	4.0		6.4	3.0		6.6	5.0	
2002	7.2	3.8		7.0	3.4		6.6	2.9		6.7	4.0	
2003	7.5		5.6	7.0		4.4	6.8		5.0	7.0		5.3
2004	7.2		5.5	6.9		5.2	6.4		5.1	6.6		4.3
2005	7.1		5.6	6.8		4.7	6.7		5.2	6.6		4.8
2006	7.1		4.2	6.9		5.1	6.7		4.8	6.7		5.2
2007	7.4		5.1	7.1		5.5	6.8		4.4	7.0		6.0

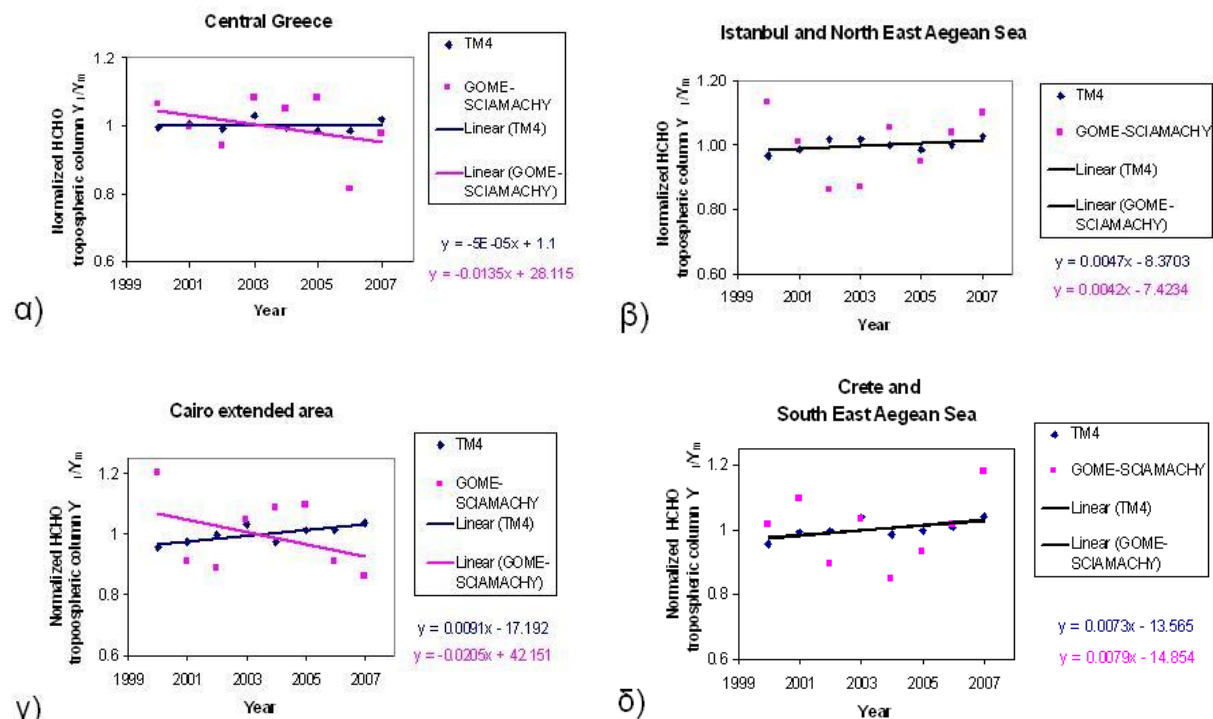
Πίνακας 5.8: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO επί 10^{15} molecules/cm² αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007 για το TM4 και στα χρονικά υποδιαστήματα :2000-2002 για τον GOME και 2003-2007 για τον SCIAMACHY.

	Μέση τιμή 2000-2007	Μέση τιμή 2000-2002	Μέση τιμή 2003-2007
Περιοχές	TM4	GOME	SCIA
Κεντρική Ελλάδα	7.2	4.0	5.2
Κων/πολη, BA Αιγαίο, Σμύρνη	6.9	3.9	5.0
Κάιρο	6.6	3.3	4.8
Κρήτη, NA Αιγαίο	6.7	4.5	5.1

Εικόνα 5.18: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του αζώτου από το TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY στην : α) Κεντρικής Ελλάδα, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο.



Εικόνα 5.19: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές κολώνες της HCHO όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2007.

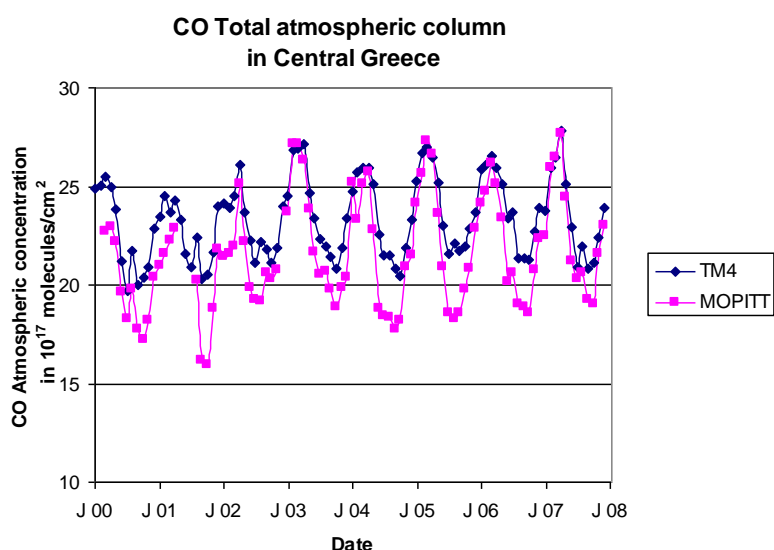


Το μοντέλο φαίνεται να προσομοιώνει ικανοποιητικά τον εποχιακό κύκλο της HCHO. Κυρίως στις περιοχές Κρήτης και Καΐρου η σύγκλιση αυτή φαίνεται να είναι καλύτερη κατά το διάστημα μέτρησης του SCIAMACHY.

5.1.4 Μονοξείδιο του άνθρακα CO: Σύγκριση TM4 και MORITT, 2000-2007

Πραγματοποιήσαμε σύγκριση της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα ανάμεσα στα αποτελέσματα του TM4 και στις μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα MORITT από 2000 ως και 2007.

Κεντρική Ελλάδα



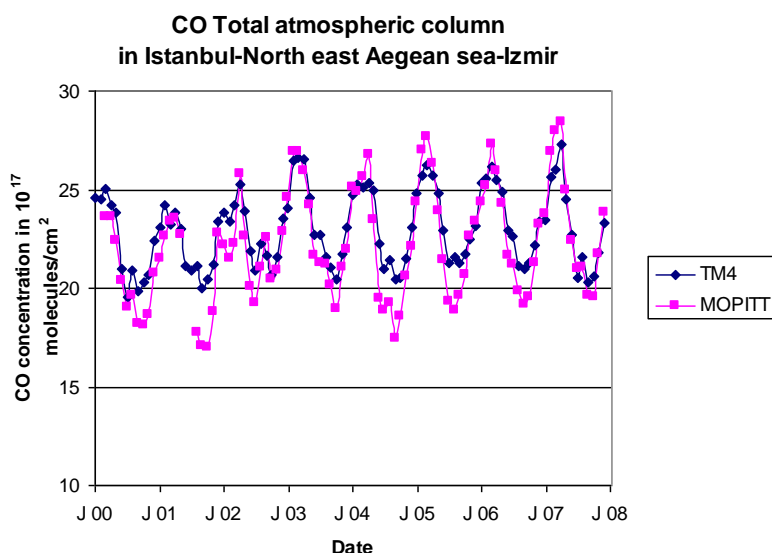
Εικόνα 5.20: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα CO, σε 10^{17} molecules/cm² όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Για την κεντρική Ελλάδα η εικόνα 5.20 δείχνει πως μεταβάλλονται οι τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO. Τόσο το μοντέλο TM4 όσο και ο MORITT εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα από τον Φεβρουάριο ως τον Απρίλιο. Οι ελάχιστες τιμές υπολογίζονται από τον Ιούλιο ως τον Οκτώβριο. Οι μέγιστες τιμές από τις προσομοιώσεις κυμαίνονται από περίπου 24 ως 27 10^{17} molecules/cm² ενώ του MORITT από περίπου 23 ως 27 10^{17} molecules/cm². Οι ελάχιστες τιμές από τις προσομοιώσεις κυμαίνονται από περίπου 20 ως 21 10^{17} molecules/cm² ενώ οι αντίστοιχες τιμές του δορυφορικού αισθητήρα από 16 ως 19 10^{17} molecules/cm².

Κωνσταντινούπολη – Βόρειο ανατολικό Αιγαίο και Σμύρνη

Η εικόνα που παρατηρείται στην περιοχή Κωνσταντινούπολης – Βόρειο ανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης είναι αντίστοιχη με αυτήν της Κεντρικής Ελλάδας(εικ. 5.21)

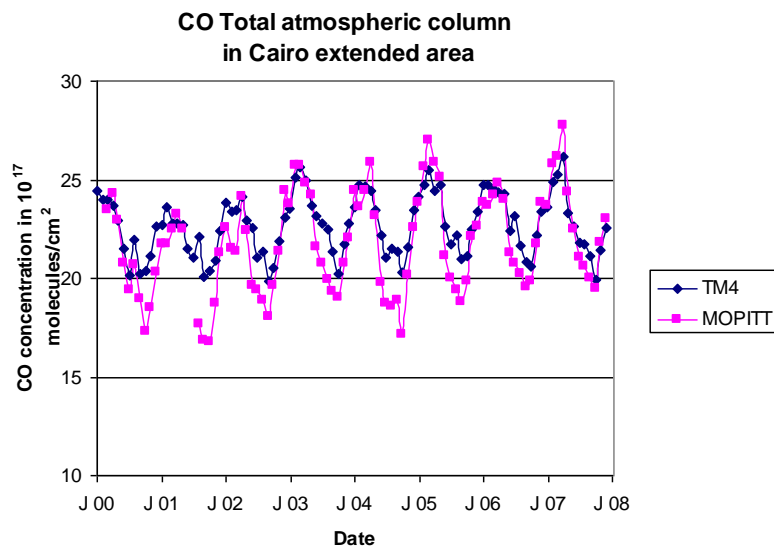
τόσο αναφορικά με τις περιόδους παρατήρησης μεγίστων και ελαχίστων τιμών όσο και με το εύρος των ελαχίστων τιμών. Οι μέγιστες τιμές από τις προσομοιώσεις κυμαίνονται από περίπου 24 ως 27 10^{17} molecules/cm² ενώ του MOPITT διακυμαίνονται από περίπου 23 ως 28 10^{17} molecules/cm².



Εικόνα 5.21: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κωνσταντινούπολης – Βόρειου ανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Ευρύτερη περιοχή Καΐρου

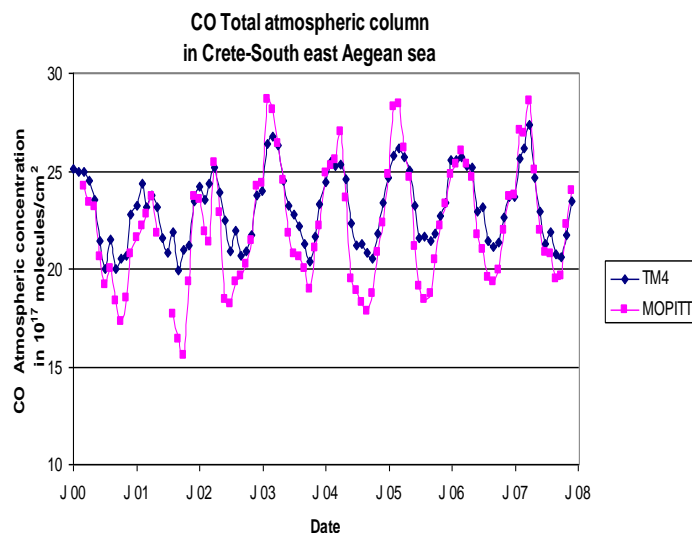
Για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου (εικ. 5.22), το TM4 υπολογίζει μέγιστες τιμές από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο περίπου από 23 ως 26 10^{17} molecules/cm² και ελάχιστες τιμές από τον Ιούλιο μέχρι τον Οκτώβριο γύρω στα 20 με 21 10^{17} molecules/cm². Ο MOPITT κατά αντιστοιχία καταγράφει τις μέγιστες τιμές του από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο από 23 ως 28 10^{17} molecules/cm² και τις ελάχιστες τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο περίπου από 17 ως 20 10^{17} molecules/cm².



Εικόνα 5.22: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου, από το έτος 2000 έως το 2007.

Κρήτη και Νότιο ανατολικό Αιγαίο

Στην περιοχή Κρήτης και Νότιο ανατολικού Αιγαίου (εικ. 5.23), οι μέγιστες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO υπολογίζονται από το TM4 από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο με ένα εύρος από περίπου 24 ως 27 10^{17} molecules/cm² και οι ελάχιστες από Ιούλιο ως Οκτώβριο γύρω στα 20 με 21 10^{17} molecules/cm². Αντίστοιχα ο δορυφορικός αισθητήρας MOPITT μετρά τα μέγιστα με ένα λίγο μεγαλύτερο εύρος τιμών από περίπου 24 10^{17} molecules/cm² ως περίπου 28 10^{17} molecules/cm² κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο.



Εικόνα 5.23: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, CO, σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην ευρύτερη περιοχή Κρήτης και Νοτιοανατολικού Αιγαίου, από το έτος 2000 έως και το 2007.

Η γραμμική συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών των ολικών ατμοσφαιρικών στηλών του μονοξειδίου του άνθρακα του TM4 και του MOPITT γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση $Y=A*X+B$. Όπου τα X,Y,A,B αναφέρονται στις μέσες μηνιαίες ολικές ατμοσφαιρικές στήλες του μονοξειδίου του άνθρακα του TM4, του MOPITT, την κλίση της ευθείας συσχέτισης και το ύψος του άξονα y'γ στο οποίο τον τέμνει η ευθεία συσχέτισης, σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων xy, αντίστοιχα. Το Δ είναι η μέση απόλυτη τιμή της επί τοις εκατό διαφοράς των δύο ολικών ατμοσφαιρικών στηλών, $\Delta=|(X-Y)/X|*100\%$, για το χρονικό διάστημα 2000-2007. Τα αποτελέσματα της παραπάνω συσχέτισης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.18.

Πίνακας 5.9: Για την ευθεία συσχέτισης των μέσων μηνιαίων ολικών ατμοσφαιρικών στηλών του μονοξειδίου του άνθρακα του TM4 και του MOPITT παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης, η κλίση της ευθείας συσχέτισης, το ύψος του άξονα y'γ στο οποίο τον τέμνει η ευθεία συσχέτισης και η μέση απόλυτη επί τοις εκατό διαφορά των ατμοσφαιρικών στηλών του CO στις υπό μελέτη περιοχές, από το 2000 ως και το 2007.

Περιοχές	Συντελεστής συσχέτισης R ²	Κλίση	B	Δ
Κεντρική Ελλάδα	0.90	1.3	-8.8	8
Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο, Σμύρνη	0.89	1.3	-9.1	5
Κάιρο	0.84	1.5	-12.58	6
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	0.88	1.5	-12.9	6

Προσδιορίσαμε τις μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σε κάθε περιοχή και το μέσο όρο των μέσων ετήσιων τιμών για όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα, όπως φαίνεται στους πίνακες 5.10 και 5.11 και στην εικόνα 5.25. Πραγματοποιήσαμε ακόμα κανονικοποίηση των μέσων ετήσιων τιμών διαιρώντας με το μέσο όρο τους αναφορικά με το υπό μελέτη χρονικό διάστημα, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 5.25

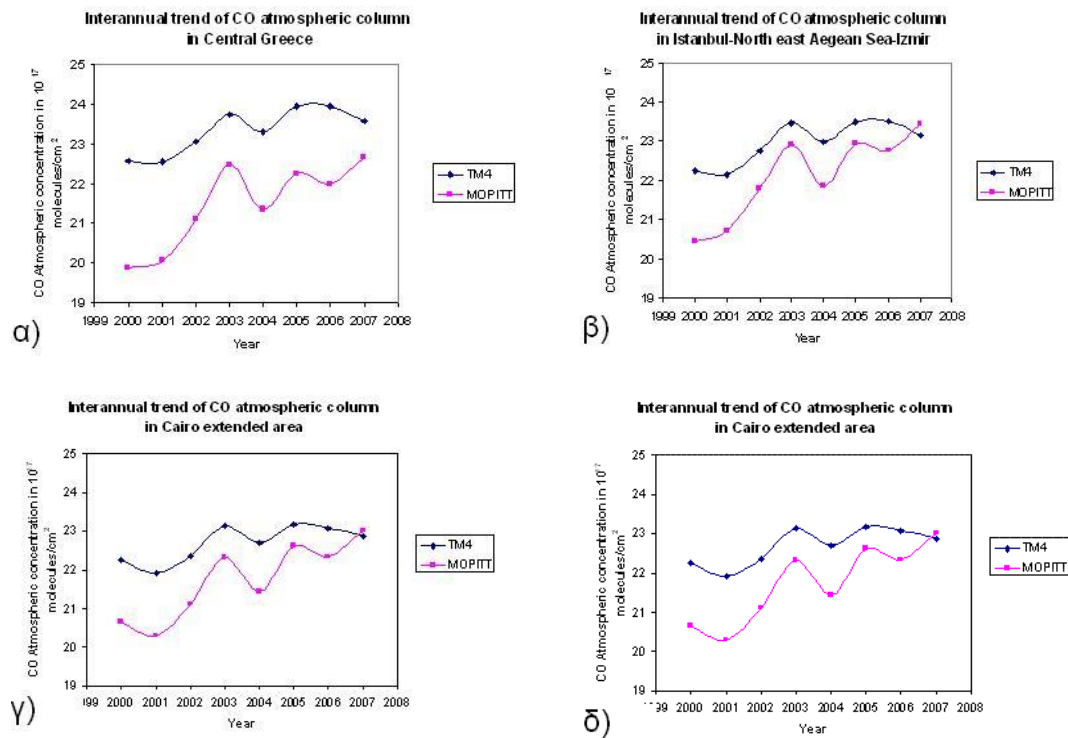
Πίνακας 5.10 Μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές υπολογίζονται από το TM4 και όπως αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT.

Έτος	Κεντρική Ελλάδα		Κων/πολη BA Αιγαίο Σμύρνη		Ευρύτερη περιοχή Καΐρου		Κρήτη NA Αιγαίο	
	TM4	MORITT	TM4	MORITT	TM4	MORITT	TM4	MORITT
2000	22.6	19.9	22.2	20.3	22.3	20.6	22.5	20.5
2001	22.6	20.1	22.1	20.7	21.9	20.3	22.2	20.4
2002	23.1	21.1	23.8	21.6	22.3	21.1	22.7	21.3
2003	23.8	22.5	23.5	22.9	23.1	22.1	23.5	23.1
2004	23.3	21.3	23.0	21.8	22.7	21.4	23.0	21.8
2005	24.0	22.3	23.5	22.9	23.2	22.6	23.5	22.8
2006	23.9	22.0	23.5	22.7	23.1	22.3	23.6	22.7
2007	23.6	22.7	23.1	23.4	22.9	23.0	23.1	23.5

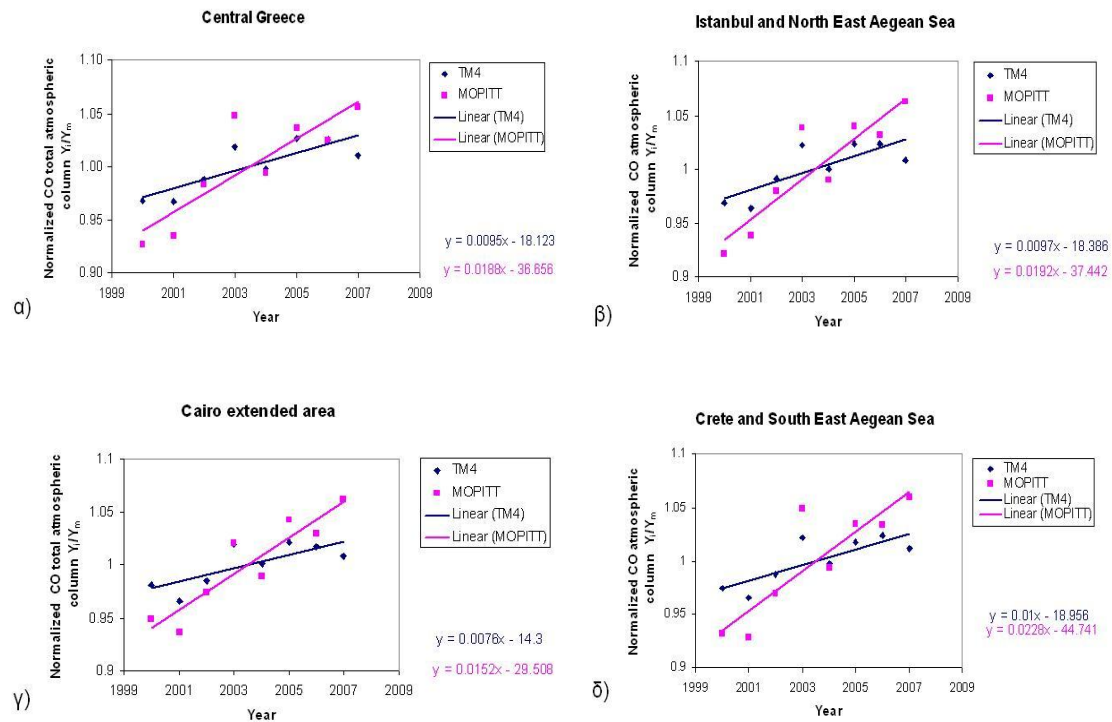
Πίνακας 5.11: Οι μέσες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σε 10^{17} molecules/cm², αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007.

Περιοχές	TM ₄ Μέση τιμή 2000-2007	MORITT Μέση τιμή 2000-2007
Κεντρική Ελλάδα	23.3	21.5
Κων/πολη, BA Αιγαίο, Σμύρνη	23.0	22.2
Κάρο	22.7	21.8
Κρήτη, NA Αιγαίο	23.0	22.1

Εικόνα 5.24: Οι μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε 10^{17} molecules/cm², όπως υπολογίζονται από το TM4 και όπως καταγράφονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT στην: α)Κεντρική Ελλάδα, β)Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ)Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ)Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο.



Εικόνα 5.25 Οι κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του (CO), από το TM4 και από τον δορυφορικό αισθητήρα MOPITT στην: α)Κεντρική Ελλάδα, β)Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ)Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ)Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο.



Το μοντέλο φαίνεται να προσομοιώνει ικανοποιητικά τον εποχικό κύκλο του CO, και να υπερεκτιμά την ολική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα κατά ένα παράγοντα της τάξης του 5-8% στις περιοχές του ενδιαφέροντός μας.

5.2 Σύγκριση αριθμητικών προσομοιώσεων με μετρήσεις εδάφους

5.2.1 Όζον

Πραγματοποιήσαμε σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου TM4 και των μετρήσεων εδάφους για το όζον. Η σύγκριση αυτή έγινε για τέσσερις σταθμούς μετρήσεων τιμών υποβάθρου, την Φινοκαλιά στην Κρήτη (25.67E, 35.32N), το Giordan Lighthouse στο Gozo-Malta (14.20E, 36.10N), την Αγία Μαρίνα στην Κύπρο (33.32E, 33.22N) και το Sarachane (29E, 41N) στην Κωνσταντινούπολη. Για την Φινοκαλιά η σύγκριση αυτή αφορά το χρονικό διάστημα από το έτος 2000 έως και το 2007, για το Giordan Lighthouse το χρονικό διάστημα από το έτος 2001 έως το 2006, για την Αγία Μαρίνα το χρονικό διάστημα από το έτος 2003 έως το 2006 ενώ για το Sarachane η σύγκριση πραγματοποιείται για τα έτη από 2001 έως και 2004 αλλά οι μετρήσεις εδάφους αναφέρονται στους μήνες από τον Απρίλιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο.

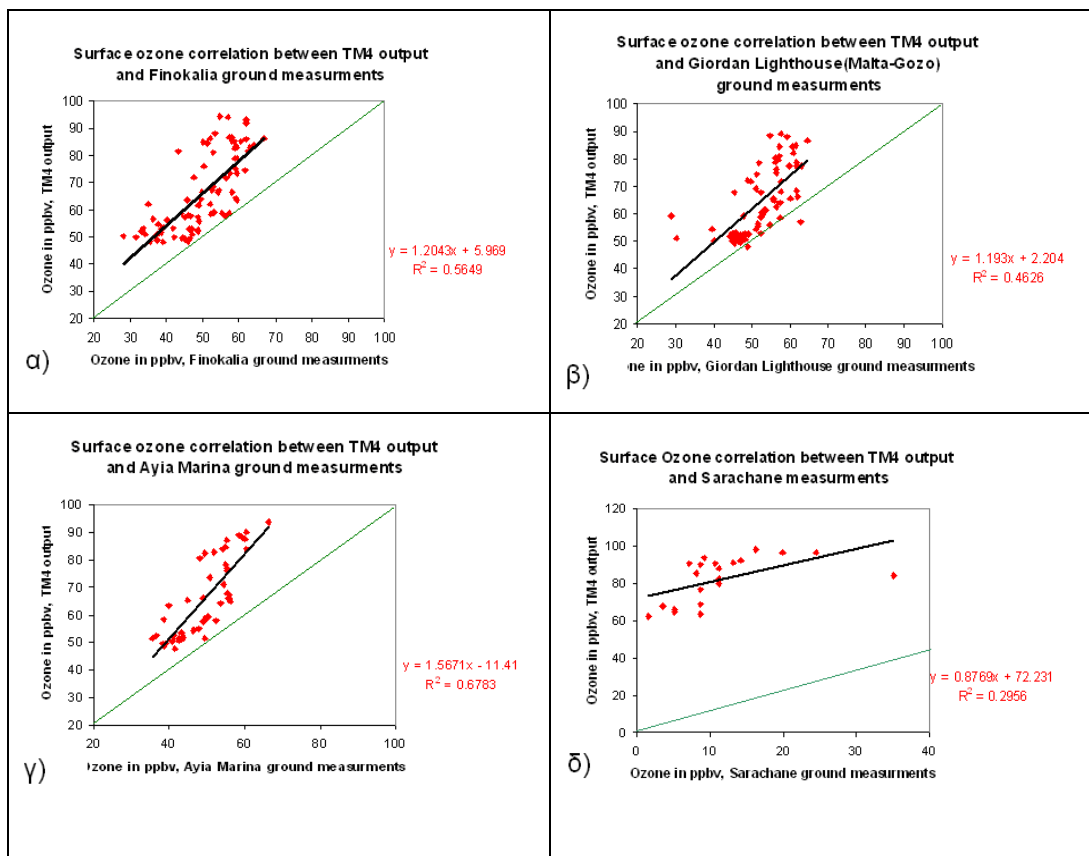
Μια πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων μας φαίνεται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις (εικόνα 5.26).

Γενικά και στις τέσσερις παραπάνω τοποθεσίες το μοντέλο TM4 υπερεκτιμά το επιφανειακό όζον συγκριτικά με τις μετρήσεις των επίγειων μετεωρολογικών σταθμών. Οι πιο μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ μοντέλου TM4 και μετρήσεων εδάφους παρατηρούνται στο Sarachane και είναι πιθανόν να σχετίζονται με την ποιότητα των μετρήσεων εδάφους οι οποίες εκτελούνται από τον μετεωρολογικό σταθμό του αντίστοιχου δήμου. Παράλληλα επειδή η περιοχή της Κωνσταντινούπολης είναι μια έντονα ρυπασμένη περιοχή περιμένουμε ότι το όζον αντιδρά χημικά με το μονοξειδίο του αζώτου και καταναλώνεται με αποτέλεσμα κοντά στο κέντρο της πόλης οι τιμές του όζοντος να είναι χαμηλότερες από ότι στην περιφέρεια της. Η γεωγραφική ευκρίνεια του μοντέλου είναι πολύ χαμηλή με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προσομοιώσει τις παραπάνω διακυμάνσεις του όζοντος.

Για τις άλλες τρεις τοποθεσίες, την Φινοκαλιά, την Αγία Μαρίνα και το Giordan Lighthouse, οι διαφορές μεταξύ του μοντέλου TM4 και των παρατηρήσεων κυμαίνονται από περίπου 20% στη Φινοκαλιά και στο Giordan Lighthouse έως 50% στην Αγία Μαρίνα και είναι μεγαλύτερες τους θερινούς μήνες και μικρότερες τους χειμωνικούς. Η μέγιστη μηνιαία διαφορά υπολογίζεται τον Ιούλιο του 2001 στη Φινοκαλιά και αγγίζει τα 39ppbv. Ο μεγαλύτερος συντελεστής γραμμικής συσχέτισης

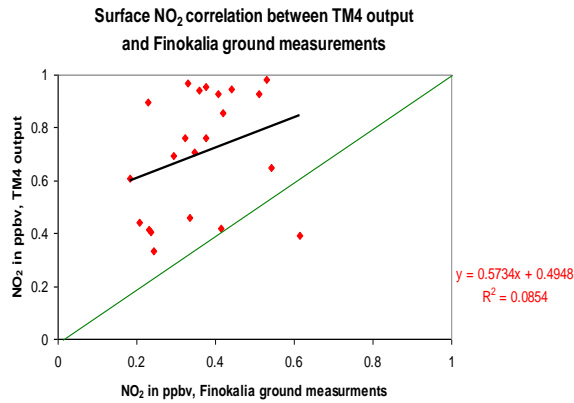
μεταξύ των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων του TM4 απαντάται στην Αγία Μαρίνα στην Κύπρο και είναι $R^2=0.6783$.

Εικόνα 5.26: Συσχέτιση μέσω μηνιαίων επιφανειακών τιμών όζοντος, μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και μετρήσεων εδάφους που πραγματοποιήθηκαν α)στη Φινοκαλιά, β) στο Giordan Lighthouse, γ) στην Αγία Μαρίνα και δ) στο Sarachane (Κωνσταντινούπολη Sarachane (Κωνσταντινούπολη).



5.2.2 Διοξείδιο του αζώτου

Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και των μετρήσεων εδάφους για το διοξείδιο του αζώτου (εικ. 5.27) πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Φινοκαλιάς από τον Ιούνιο του 2001 έως τον Σεπτέμβριο του 2003. Το μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά το NO_2 .



Εικόνα 5.27: Συσχέτιση μέσω μηνιαίων επιφανειακών τιμών NO₂, μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και μετρήσεων εδάφους που πραγματοποιήθηκαν στη Φινοκαλιά από τον Ιούνιο του 2001 ως τον Σεπτέμβριο του 2003.

Η ανάλυση 6^οx4^ο που έχει χρησιμοποιήσει το TM4 είναι χαμηλή με αποτέλεσμα πολλά από τα κουτιά του μοντέλου που περιέχουν απομακρυσμένες περιοχές να περιέχουν και πηγές ρύπανσης λόγω της μεγάλης γεωγραφικής έκτασης που καλύπτουν. Το παραπάνω έχει σαν συνέπεια την υπερεκτίμηση των συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου από το μοντέλο.

5.3 Γενικά συμπεράσματα

Τα γενικά συμπεράσματα των παραπάνω συγκρίσεων των αριθμητικών προσομοιώσεων του μοντέλου χημείας και μεταφοράς TM4 με τις δορυφορικές παρατηρήσεις των αισθητήρων TOMS, GOME, SCIAMACHY, MOPITT και με τις μετρήσεις εδάφους όζοντος των σταθμών μετρήσεων της Φινοκαλιάς στην Κρήτη, του Giordan Lighthouse στο Gozo, της Αγίας Μαρίνας στην Κύπρο και του Sarachane (Κων/πολη) θα μπορούσαν να συνοψιστούν παρακάτω ως εξής:

5.3.10ζον

- 1) Το μοντέλο προσομοιώνει ικανοποιητικά τον εποχιακό κύκλο του τροποσφαιρικού όζοντος καθώς τόσο το μοντέλο όσο και ο δορυφορικός αισθητήρας αποδίδουν μέγιστες τιμές στο όζον την θερμή περίοδο έντονης ηλιοφάνειας και ελάχιστες κατά τους χειμωνικούς μήνες σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές. Ωστόσο το μοντέλο δεν προσομοιώνει δευτερεύουσες χειμωνικές κορυφές του όζοντος όταν αυτές παρατηρούνται και όπως συνάγεται από την ανάλυση που κάναμε είναι αποτέλεσμα μεταφοράς όζοντος από τη στρατόσφαιρα.
- 2) Η απόκλιση μεταξύ δορυφορικών μετρήσεων και αριθμητικών προσομοιώσεων για την τροποσφαιρική στήλη του όζοντος είναι μικρότερη στην περιοχή της κεντρικής Ελλάδας συγκριτικά με τις περιοχές Κων/πολης και ΒΑ Αιγαίου, Κρήτης και ΝΑ Αιγαίου, καθώς και την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου. Στην κεντρική Ελλάδα το TM4 φαίνεται να υπερεκτιμά το τροποσφαιρικό όζον κατά ένα παράγοντα της τάξεως του 13% κατά μέσο όρο, αναφορικά με το χρονικό διάστημα από 2000 έως και 2005. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και φτάνουν τα 22% κατά μέσο όρο, για το ίδιο χρονικό διάστημα.
- 3) Η υπερεκτίμηση που κάνει το μοντέλο στην τροποσφαιρική στήλη του όζοντος θα μπορούσε να ερμηνευτεί από την υπερεκτίμηση της φορμαλδεΐδης, HCHO, που χαρακτηρίζεται σαν ένωση πρόδρομη του όζοντος.
- 4) Για τη στήλη του τροποσφαιρικού όζοντος ο TOMS καταγράφει μια μικρή αυξητική τάση των μέσων ετήσιων τιμών στην Κεντρική Ελλάδα την οποία προσομοιώνει το TM4. Όμως στην περιοχή Κρήτης και ΝΑ Αιγαίου το μοντέλο TM4 δεν προσομοιώνει την πτωτική τάση που καταγράφει ο δορυφορικός

αισθητήρας. Στις άλλες δύο ευρύτερες περιοχές Κων/πολης και Καΐρου δεν παρατηρείται μεταβλητότητα των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος ούτε από τον TOMS ούτε από το TM4.

5.3.2 Πρόδρομες ενώσεις του όζοντος

- 5) Ο εποχιακός κύκλος της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και της φορμαλδεΐδης (HCHO) προσομοιώνεται από το μοντέλο, ωστόσο το μοντέλο δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά τον εποχιακό κύκλο του διοξειδίου του αζώτου (NO₂), το οποίο καθώς είναι ιδιαίτερα δραστικός ρύπος έχει μικρό χρόνο ζωής.

Οι λόγοι της παραπάνω ασυμφωνίας θα μπορούσαν να αναζητηθούν στο ότι το μοντέλο TM4 υπολογίζει μέσες μηνιαίες τιμές που προκύπτουν από δεδομένα σε εικοσιτετράωρη βάση ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές που καταγράφουν οι δορυφορικοί αισθητήρες προκύπτουν από μετρήσεις που πραγματοποιούνται περίπου από 9:30 ως 10:30 πμ (τοπική ώρα). Ως γνωστόν οι τιμές του NO₂ παρουσιάζουν σημαντική ημερήσια διακύμανση με υψηλές τιμές τις πρωινές ώρες, δηλαδή όταν παρατηρεί ο δορυφόρος την ατμόσφαιρα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί αν κάνουμε δειγματοληψία των αποτελεσμάτων του μοντέλου τις ώρες που παρατηρεί ο δορυφόρος την ατμόσφαιρα.

Μια άλλη αιτία για τις διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου και τις μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα είναι ότι η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων πραγματοποιείται για μετρήσεις όπου το ποσοστό νέφωσης είναι μικρότερο από κάποια τιμή κατωφλίου, ούτως ώστε να έχουν καλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματά τους, ενώ τα μοντέλα δεν αφαιρούν από τους υπολογισμούς τους τις ημέρες υψηλής νεφοκάλυψης. Για την παρούσα μελέτη επεξεργαζόμαστε δορυφορικές μετρήσεις NO₂ που το ποσοστό νεφοκάλυψης είναι μικρότερο του 20%.

- 6) Η απόκλιση μεταξύ δορυφορικών μετρήσεων και αριθμητικών προσομοιώσεων για την ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα κυμαίνεται από 5% στην περιοχή της Κων/πολης ως 8% στην κεντρική Ελλάδα (πίνακας 5.12).

- 7) Για τις μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ στις περιοχές Καΐρου και Κρήτης φαίνεται να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις.
- 8) Για την ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και της Κρήτης η σύγκλιση δορυφορικών μετρήσεων και προσομοιώσεων για την HCHO φαίνεται να είναι καλύτερη για την περίοδο μέτρησης του SCIAMACHY (2003-2007) συγκριτικά με την περίοδο μέτρησης του GOME (2000-2002).

Πίνακας 5.12: Το (+) δηλώνει ότι το μοντέλο TM4 υπερεκτιμά τις μέσες ετήσιες τιμές για την υπό μελέτη ένωση συγκριτικά με το δορυφορικό αισθητήρα, το (-) δηλώνει ότι το TM4 υποεκτιμά, ενώ το μηδέν (0) δηλώνει ότι οι προσομοιώσεις του μοντέλου και οι δορυφορικές μετρήσεις διαφέρουν λιγότερο από 10%.

Ρύποι Περιοχές	O ₃	NO ₂	HCHO	CO
Κεντρική Ελλάδα	+	-	+	0
Κων/πολη, ΒΑ. Αιγαίο Σμύρνη	+	-	+	0
Κάιρο	+	0	+	0
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	+	-	+	0

Προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση του TM4:

- 1) Οι ανθρωπογενείς εκπομπές που χρησιμοποιεί το μοντέλο, προέρχονται από τη βάση δεδομένων POET για το έτος 2000, έχουν χαμηλή χωρική ανάλυση (1° x 1°), και φαίνονται να είναι ανεπαρκείς να υποστηρίξουν σημερινές μελέτες για την ποιότητα του αέρα στην περιοχή. Χρήση βελτιωμένων, πιο πρόσφατων και υψηλότερης ανάλυσης εκπομπών, καθώς επίσης και εκπομπών από την καύση βιομάζας αναμένεται να προάγει την καλύτερη κατανόηση μας για τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- 2) Βελτίωση της ανάλυσης του TM4 από 6° x 4° σε ανάλυση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης γεωγραφικής ευκρίνειας έτσι ώστε να μπορούν να μελετηθούν καλύτερα τόσο οι ρύποι που παράγονται από τα αστικά κέντρα όσο και μεμονωμένα γεγονότα ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως για παράδειγμα είναι οι καύσεις βιομάζας.

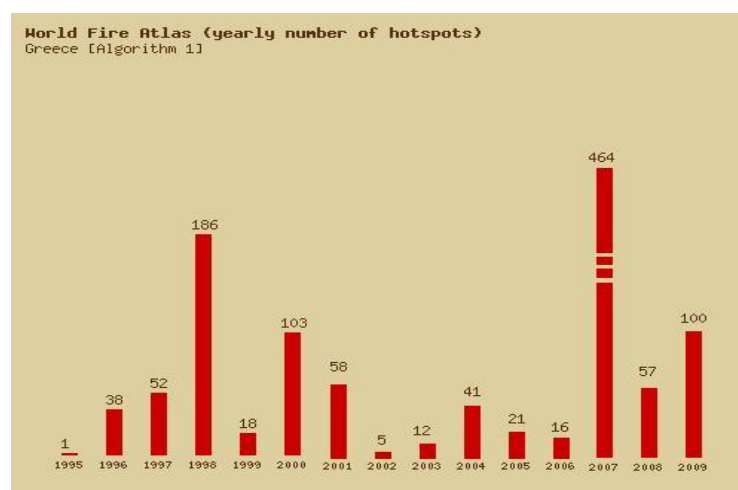
- 3) Να συμπεριληφθούν στο μοντέλο ετερογενείς αντιδράσεις οι οποίες αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στις υπό μελέτη περιοχές καθώς όλες οι υπό μελέτη περιοχές βρέχονται από θάλασσα.

6 Μελέτη συμμετοχής των καύσεων βιομάζας στα παρατηρούμενα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι δασικές πυρκαγιές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη διατήρηση των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Εκτιμάται ότι χωρίς τις εμπρηστικές δραστηριότητες του ανθρώπου, κάθε πευκοδάσος θα καιγόταν τουλάχιστον μία φορά κάθε 100 με 150 χρόνια από κεραυνό. Ωστόσο η συχνότητα με την οποία εκδηλώνονται οι πυρκαγιές, είναι τόσο μεγάλη τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και σε άλλες μεσογειακές χώρες, με αποτέλεσμα να μην προλαβαίνουν τα δάση να αναπτυχθούν ξανά.

Οι πυρκαγιές δασικών εκτάσεων, καλλιεργήσιμων περιοχών και γενικότερα οι καύσεις βιομάζας, ελευθερώνουν στο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες σωματιδίων, VOC, NO_x, CO και άλλες ενώσεις πρόδρομες του όζοντος που συνολικά επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα της ατμόσφαιρας (Crutzen and Andreae 1990), την ορατότητα, το ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας και το κλίμα.

Οι εκτεταμένες καύσεις βιομάζας που έγιναν στον Ελλαδικό χώρο τόσο τον Αύγουστο του 2007 όσο και τον Ιούλιο του 2000 επιβάρυναν της ατμόσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου, ιδιαίτερα του Αιγαίου Πελάγους και της θαλάσσιας περιοχής δυτικά και νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου. Οι παραπάνω λόγοι συνηγορούν στην μελέτη της επίδρασης των καύσεων βιομάζας στα παρατηρούμενα επίπεδα ρύπανσης, την οποία πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιώντας τόσο μετρήσεις εδάφους και δορυφορικές παρατηρήσεις όσο και αριθμητικές προσομοιώσεις.



Εικόνα 6.1: Αριθμός καύσεων βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο, ανά έτος, από τον World Fire Atlas (<http://wfaa-dat.esrin.esa.int/>).

Μελετήσαμε τις καύσεις βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο από το έτος 2000 έως το έτος 2007, με έμφαση στα έτη 2000 και 2007 λόγω των εκτεταμένων καύσεων δασικών και αγροτικών εκτάσεων. Προσδιορίσαμε την επίδραση των καύσεων βιομάζας στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, της φορμαλδεΐδης και του μονοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα πραγματοποιήσαμε σημαντικές βελτιώσεις στις παραμετροποιήσεις του μοντέλου μας, TM4, για την ακριβέστερη προσομοίωση των παρατηρήσεων αέριων και σωματιδιακών ρύπων. Αυτές αφορούν τόσο τις παραμέτρους παραγωγής σωματιδιακής ύλης όσο και τις ταχύτητες αντιδράσεων των ενώσεων με βάση τα πρόσφατα κινητικά δεδομένα (Myriokefalitakis et al., 2010 submitted in Advanced Meteorology), καθώς και τις εκπομπές ιχνοενώσεων ανθρωπογενούς προέλευσης από καύσεις βιομάζας (van der Werf et al., 2006). Μετά από αυτές τις βελτιστοποιήσεις, πραγματοποιήθηκαν 3-διάστατες προσομοιώσεις με κατάλληλα σενάρια εκπομπών για την εκτίμηση της συμμετοχής των καύσεων βιομάζας στα παρατηρούμενα επίπεδα ρύπων και τη θέρμανση / ψύξη της ατμόσφαιρας.

6.1. Καύσεις βιομάζας –Ιούλιος 2000

Τον Ιούλιο του 2000 σημειώθηκαν εκτεταμένες καύσεις στον Ελλαδικό χώρο (εικ. 6.2 και 6.3), κάηκαν συνολικά 626 Km² (Lazaridis et al., 2006) και υπήρξαν πολλές πυρκαγιές που διάρκεσαν περισσότερο από μία εβδομάδα. Στα πλαίσια της συνεργασίας μας με το πανεπιστήμιο της Βρέμης εργαστήκαμε με σκοπό τον προσδιορισμό των επιπτώσεων των παραπάνω καύσεων στο ισοζύγιο του όζοντος, με χρήση μετρήσεων εδάφους O₃, HCHO, NO_x, ραδιοβολίσεων και δορυφορικών μετρήσεων.

Υπολογίσαμε πόσα στρέμματα κάηκαν ανά μέρα (εικ.6.4), καθώς επίσης και τις μέσες ημερήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος στην Φινοκαλιά (35.3N, 25.7E) κατά τη διάρκεια του Ιουλίου του έτους 2000 οι οποίες κυμαίνονται από 25 ως 50DU (εικ. 6.5)).



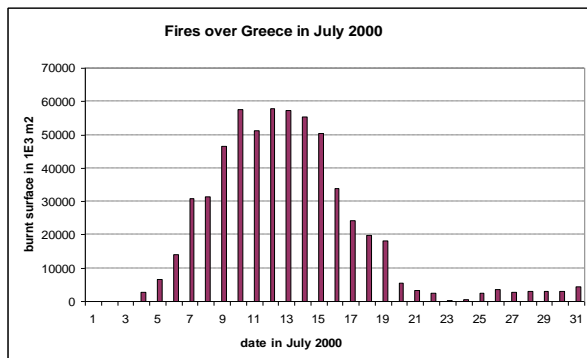
Εικόνα 6.2: Seawifs, 13/7/2000, Πυρκαγιά της Πελοποννήσου (visibleearth.nasa.gov/)



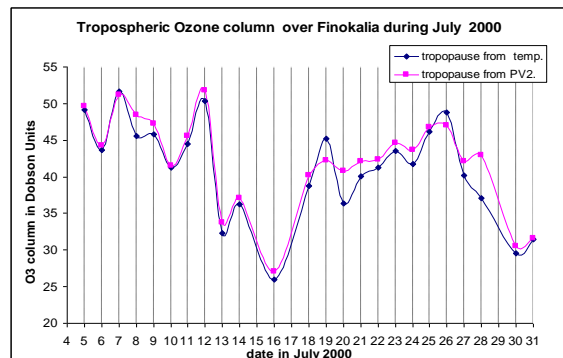
Εικόνα 6.3: Seawifs, 8/7/2000, Η πυρκαγιά της Σάμου (www.navis.gr/space/greece/10htm).

Ο υπολογισμός της ποσότητας του τροποσφαιρικού O_3 στην κολώνα βασίστηκε στις μετρήσεις της συγκέντρωσης εδάφους του όζοντος που πραγματοποιήθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό της Φινοκαλιάς και στον προσδιορισμό της βάσης του ύψους της τροπόπαυσης. Η συγκέντρωση του όζοντος θεωρήθηκε σχεδόν σταθερή με το ύψος σύμφωνα με τις καλοκαιρινές παρατηρήσεις του πειράμα MINOS (Lelieved et al., 2002). Το ύψος της τροπόσφαιρας προσδιορίστηκε με δύο τρόπους (εικ. 6.6), με ραδιοβολίσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Ηράκλειο και με χρήση αριθμητικών προσομοιώσεων για δυναμικό στροβιλισμό $PV=2$. Με βάση αυτούς τους υπολογισμούς η μέση μηνιαία τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος για τον Ιούλιο του 2000 προσδιορίστηκε γύρω στα 40.4DU.

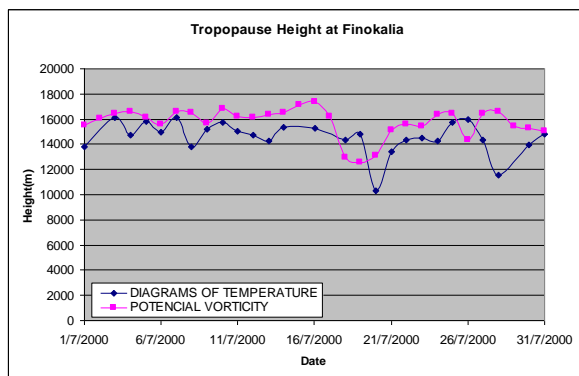
Η μέση μηνιαία τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος τον Ιούλιο του 2000 σύμφωνα με τις μετρήσεις του TOMS ήταν 45DU, περίπου ίση με το μέσο όρο των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος τον μήνα Ιούλιο από το έτος 1979 ως το έτος 2005 που υπολογίζεται 45.05DU από τον TOMS.



Εικόνα 6.4: Ο αριθμός των στρεμμάτων που κάηκαν συνολικά σε όλες τις πυρκαγιές που σημειώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο τον Ιούλιο του 2000.

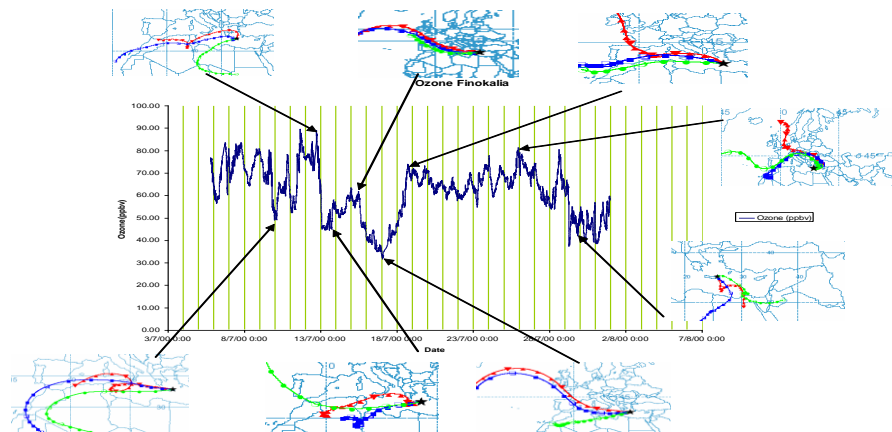


Εικόνα 6.5: Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος στην Φινοκαλιά κατά τη διάρκεια του Ιουλίου του 2000.

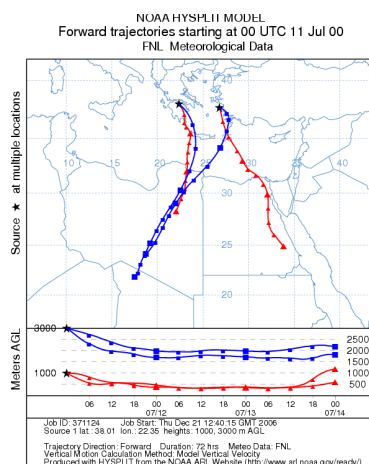


Εικόνα 6.6: Το τροποσφαιρικό ύψος στην περιοχή της Φινοκαλιάς όπως αυτό προσδιορίστηκε από ραδιοβολίσεις με χρήση διαγραμμάτων θερμοκρασίας και από αριθμητικές προσομοιώσεις.

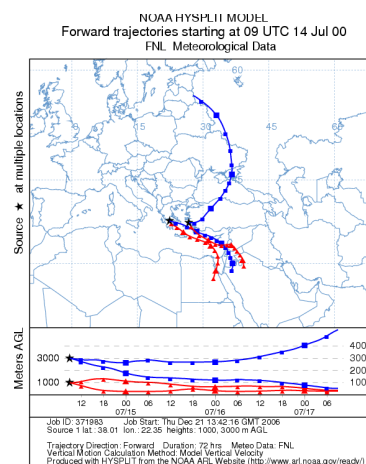
Με το πρόγραμμα HYSPLIT 4 (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) υπολογίσαμε τις οπισθοπορείες των αέριων μαζών που κατάληγαν στην Φινοκαλιά κάθε δώδεκα ώρες (εικ.6.7) και τις εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών -ανά 3 ώρες- που ξεκινούσαν από δύο μεγάλες εστίες καύσεων στην Κόρινθο(περίοδος καύσεων 9/7/2000-19/7/2000) και στη Σάμο (περίοδος καύσεων 6/7/2000-15/7/2000). Ο σκοπός μας ήταν να προσδιορίσουμε την προέλευση των ανέμων που έφθαναν στο νότιο Αιγαίο και να εξετάσουμε αν τα προϊόντα των καύσεων αυτών έφταναν στο νότιο Αιγαίο συμπεριλαμβανομένου και του σταθμού της Φινοκαλιάς. Στις εικόνες 6.8 και 6.9 φαίνονται οι εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών που ξεκινούσαν από τα σημεία των καύσεων, στην Πελοπόννησο και στη Σάμο, στα 3000m και στα 1000m, στις 11 και στις 14 Ιουλίου 2000. Οι εμπροσθοπορείες αυτές υποδεικνύουν ότι το νότιο Αιγαίο επηρεάζεται από αέριες μάζες πλούσιες σε καυσαέρια.



Εικόνα 6.7: Η συγκέντρωση εδάφους του όζοντος (ppbv) στην Φινοκαλιά και οι οπισθοπορείες της τροχιάς του ανέμου, σε ύψος 2, 3 και 5Km, τον Ιούλιο του 2000.



Εικόνα 6.8: Οι εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών που ξεκινούσαν από τα σημεία των καύσεων, στα 3000m και στα 1000m στις 11 Ιουλίου 2000



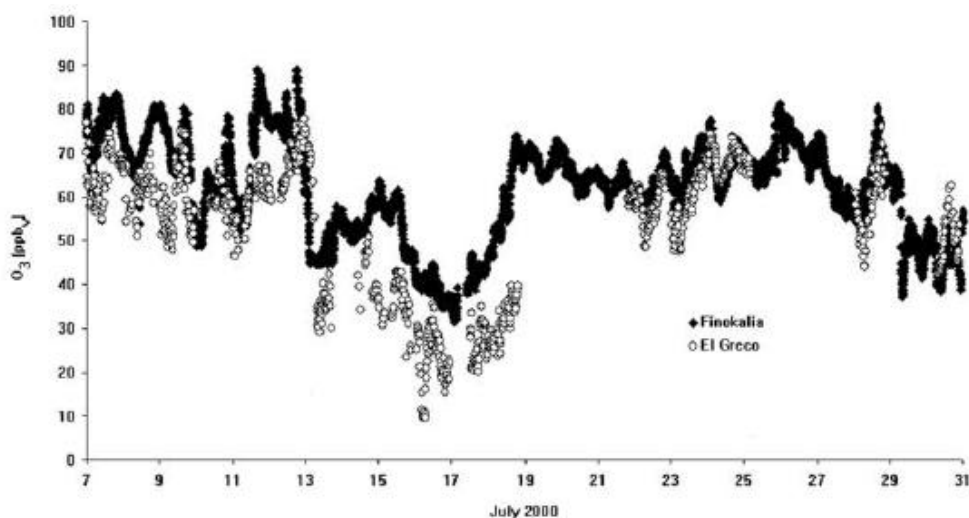
Εικόνα 6.9: Οι εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών που ξεκινούσαν από τα σημεία των καύσεων, στα 3000m και στα 1000m στις 14 Ιουλίου 2000.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 6.7 και 6.10 η συγκέντρωση του όζοντος στην Φινοκαλιά και στο πλοίο El Greco παρουσίασε έντονες μεταβολές κατά την διάρκεια του Ιουλίου του 2000.

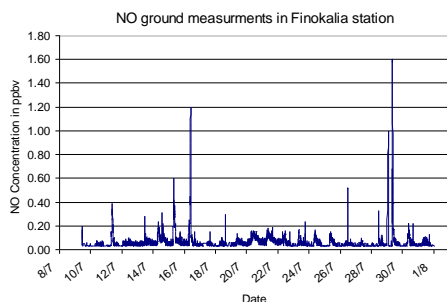
Με στόχο την κατανόηση των διαδοχικών μεταβολών της συγκέντρωσης του όζοντος το χρονικό διάστημα 8-31 Ιουλίου 2000 χωρίστηκε σε 4 υποδιαστήματα μελέτης. Στο πρώτο υποδιάστημα 8-12 Ιουλίου, ήταν μία περίοδος έντονης καύσης βιομάζας και η συγκέντρωση του όζοντος παρουσίασε υψηλές τιμές σύμφωνα με τις μετρήσεις εδάφους στην Φινοκαλιά, οι άνεμοι που επικρατούσαν στην περιοχή θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν δυτικοί – βορειοδυτικοί. Το δεύτερο διάστημα: από 13 ως 16 Ιουλίου, όπου οι καύσεις συνεχίζονται όμως η συγκέντρωση του όζοντος παρουσίασε απότομη πτώση. Η πτώση αυτή θα μπορούσε να σχετίζεται με καθαρούς δυτικούς ανέμους θαλάσσιας προέλευσης που επικρατούσαν αυτό το χρονικό διάστημα.

Ωστόσο αντίστοιχη πτώση στις τιμές του όζοντος παρατηρήθηκε και από το πλοίο EL GRECO, κατά την εκτέλεση του δρομολογίου μεταξύ Ηρακλείου-Θεσσαλονίκης όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην εικόνα 6.10 (Κουvarakis et al., 2002). Οι μετρήσεις εδάφους του μονοξειδίου του αζώτου και του διοξειδίου του αζώτου και φορμαλδεΰδης στον μετεωρολογικό σταθμό της Φινοκαλίας (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα), παρουσιάζονται στις εικόνες 6.11, 6.12 και 6.12α.

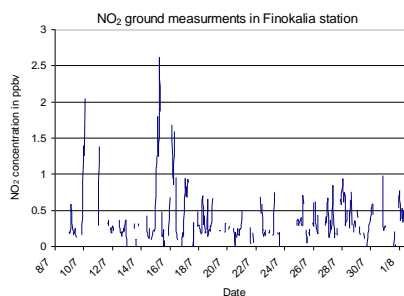
Οι αυξημένες τιμές των οξειδίων του αζώτου της ημέρες που το όζον παρουσιάζει πτώση οδηγούν στην εύλογη σκέψη ότι αφ ενός το μονοξείδιο του αζώτου είναι αυξημένο καθώς είναι ένα από τα προϊόντα της καύσης, αφετέρου όμως το διοξείδιο του αζώτου παράγεται από την αντίδραση(1-10) του NO με το O₃.



Εικόνα 6.10: Η συγκέντρωση του όζοντος σε ppb στην Φινοκαλιά και στο El Greco κατά την εκτέλεση του δρομολογίου Ηράκλειο-Θεσσαλονίκη τον Ιούλιο του 2000 (Κουvarakis et al., 2002)

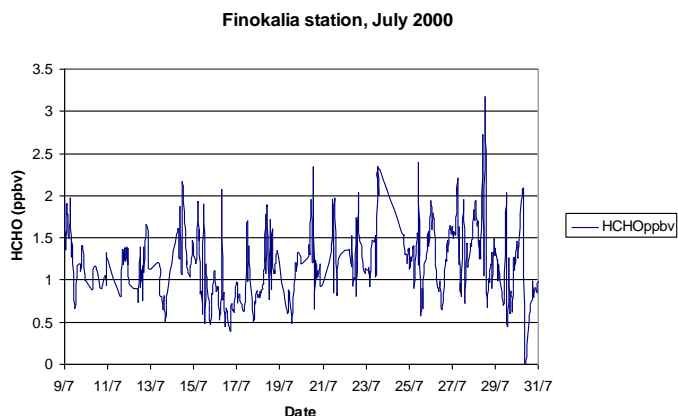


Εικόνα 6.11: Η συγκέντρωση εδάφους του μονοξειδίου του αζώτου σε ppbv όπως μετρήθηκε στην Φινοκαλιά τον Ιούλιο του 2000, (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα).



Εικόνα 6.12: Η συγκέντρωση εδάφους του διοξειδίου του αζώτου σε ppbv όπως μετρήθηκε στην Φινοκαλιά τον Ιούλιο του 2000, (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα).

Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO όπως μετρήθηκε στο σταθμό της Φινοκαλιάς παρουσιάζεται στην εικόνα 6.12α.

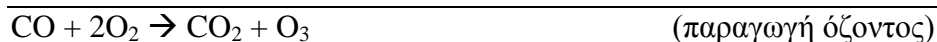


Εικόνα 6.12α: Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO στο σταθμό της Φινοκαλιάς του Ιούλιο του 2000.

Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων εδάφους του όζοντος με το μονοξείδιο του άνθρακα για το διάστημα 10-12 Ιουλίου είναι σημαντική με $r^2=0.89$, ενώ γενικότερα η συσχέτιση τους κατά το διάστημα μετρήσεων από 10 ως 31 Ιουλίου έχει συντελεστή $r^2=0.67$ (εικόνες 6.13, 6.14).

Ο ρόλος του CO στην παραγωγή του όζοντος έχει συζητηθεί στην παράγραφο 1.3.1 και όπως φαίνεται από τις παρακάτω αντιδράσεις σε περιβάλλον πλούσιο σε NOx η αύξηση του CO οδηγεί σε αύξηση του όζοντος.

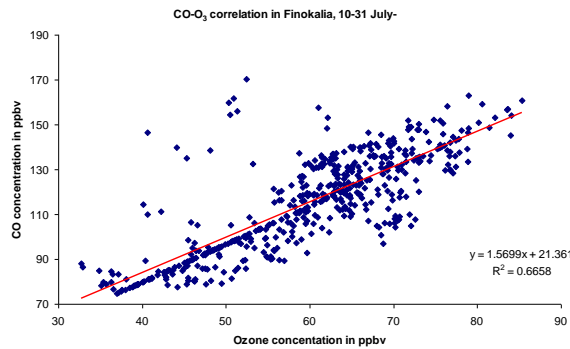




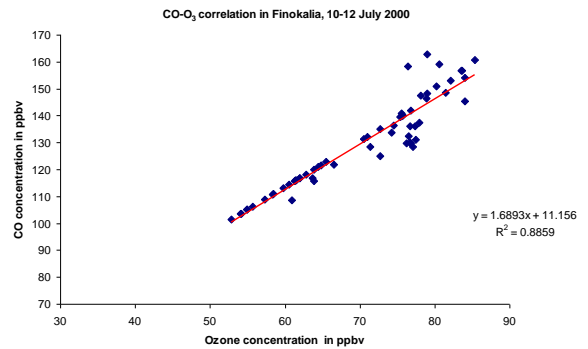
Στην εικόνα 6.15 α) φαίνεται η αυξημένη τιμή της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ πάνω από τις περιοχές των καύσεων δείχνοντας την πρωτογενή παραγωγή του από τις καύσεις και στην εικόνα 6.15 β) φαίνεται η αύξηση γενικότερα των τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ πάνω από το Αιγαίο πέλαγος, σύμφωνα με την ανάλυση μετρήσεων του GOME.

Το διάστημα αμέσως μετά τις πολύ έντονες καύσεις βιομάζας, από 18 ως 28 Ιουλίου του 2000, το όζον παρουσίασε πάλι υψηλές τιμές στην Φινοκαλιά και η διεύθυνση των ανέμων ήταν κυρίως βορειοδυτική-δυτική. Οι τιμές της HCHO (εικ.6.16α,β) όπως προσδιορίζονται από τον GOME ήταν αυξημένες πάνω από το Αιγαίο, υποδεικνύοντας την παραγωγή της. Τέλος το διάστημα 29-31 Ιουλίου οι τιμές του όζοντος παρουσίασαν ύφεση, συνδυασμένη με νότιους καθαρούς ανέμους.

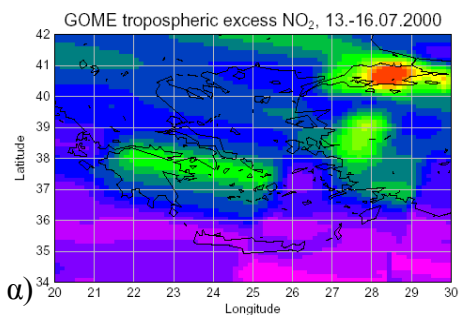
Υπολογίστηκαν οι τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου, NO₂, και της φορμαλδεΰδης, HCHO, από τον GOME-1 για τα παραπάνω χρονικά διαστήματα. Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι τιμές των τροποσφαιρικών στηλών των: O₃, NO₂, HCHO στην Φινοκαλιά κάτω από επιλεγμένες συνθήκες της προέλευσης των αέριων μαζών που φτάνουν στην Φινοκαλιά. Υψηλότερες τιμές παρατηρούνται όταν οι άνεμοι είναι βόρειας προέλευσης.



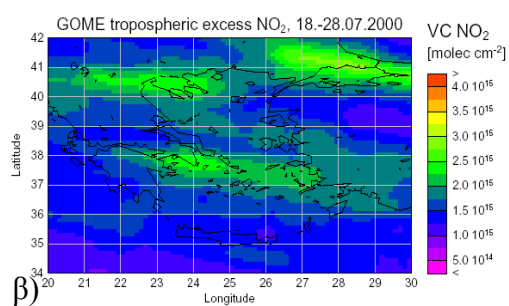
Εικόνα 6.13: Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και μονοξειδίου του άνθρακα στην Φινοκαλιά κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος έντονων καύσεων βιομάζας, 10-12 Ιουλίου 2000.



Εικόνα 6.14: Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και μονοξειδίου του άνθρακα στην Φινοκαλιά κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος 10-31 Ιουλίου 2000.

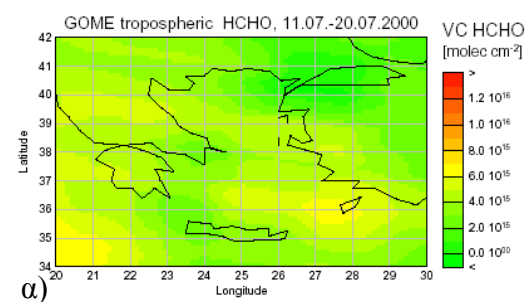


α)

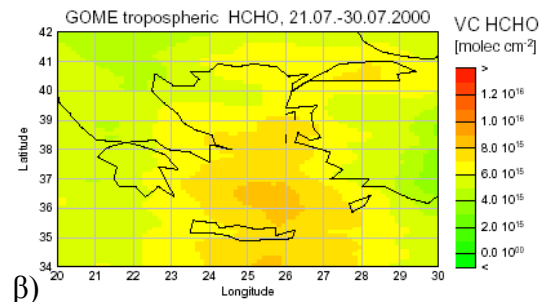


β)

Εικόνα 6.15: Τροποσφαιρική στήλη του διοξειδίου του αζώτου, όπως υπολογίζεται από τον GOME στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων καύσεων βιομάζας: α) 13-16 Ιουλίου και β) 18-28 Ιουλίου.



α)



β)

Εικόνα 6.16 Τροποσφαιρική στήλη της φορμαλδεύδης, όπως υπολογίζεται από τον GOME στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων καύσεων βιομάζας: α) 13-16 Ιουλίου και β) 18-28 Ιουλίου.

Πίνακας 6.1: Τροποσφαιρικές στήλες O₃, NO₂, HCHO στην Φινοκαλιά κάτω από επιλεγμένες συνθήκες της προέλευσης των αέριων μαζών που φτάνουν στην Φινοκαλιά. Υψηλότερες τιμές παρατηρούνται όταν οι άνεμοι είναι βόρειας προέλευσης.

Ημερομηνία Ιουλίου 2000	Κατεύθυνση ανέμου	O ₃ -DU	NO ₂ Molecules/cm ²	HCHO Molecules/cm ²
21	Βόρεια	40	2.4E15	1.2E16
30	Νότια	30	1.8E 15	3.7E15
31	Δυτική	31.5	1.7E15	8 E15

6.2. Καύσεις βιομάζας, Αύγουστος 2007



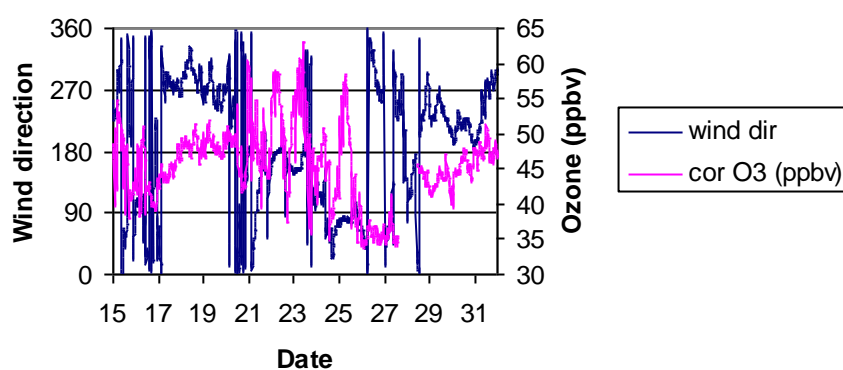
Εικόνα 6.17: Καύσεις βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο, 26 Αυγούστου 2007 (http://mreugenides.blogspot.com/2007_08_01_archive.html).

Το καλοκαίρι του 2007, συνέβη μία από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην ιστορία της σύγχρονης Ελλάδας. Συνέβησαν εκτεταμένες πυρκαγιές σε πολλά μέρη της χώρας, κυρίως το μήνα Αύγουστο, κυρίως στην Πελοπόννησο και την Εύβοια (εικ.6.17), κατά την διάρκεια των οποίων κάηκαν 2700Km² δασικής και καλλιεργήσιμης γης και 84 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους (Yang Liu et al., 2009). Το διάστημα κορύφωσης των πυρκαγιών ήταν από 23 έως 26 Αυγούστου. Μέχρι τις 30 Αυγούστου κάηκαν 1.500 σπίτια και έμειναν 6.000 άνθρωποι άστεγοι. Η φωτιά έκαψε 4,5 εκατομμύρια ελαιόδεντρα καθώς και 60.000 ζωντανά (πρόβατα και κατσίκες). Οι περιοχές οι οποίες επλήγησαν αφορούσαν τους νομούς Μεσσηνίας, Αρκαδίας, Ηλείας, Αχαΐας, Λακωνίας, Αργολίδας, Κορινθίας, Αττικής, Ευβοίας και Φθιώτιδας. (http://el.wikipedia.org/wiki/Δασικές_πυρκαγιές_στην_Ελλάδα_το_2007). Οι καύσεις αυτές παρόλο που ήταν εκτεταμένες δεν ανιχνεύθηκαν από το σταθμό μετρήσεων της Φινοκαλιάς λόγω της κατεύθυνσης βορειοανατολικών ανέμων που έπνεαν στην περιοχή των καύσεων. Οι επιπτώσεις των καύσεων της Εύβοιας, στην περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αττικής, φαίνεται πως ήταν συγκρίσιμες με τις τοπικές εκπομπές αναφορικά με τα σωματίδια PM₁₀ (Yang Liu et al., 2009).

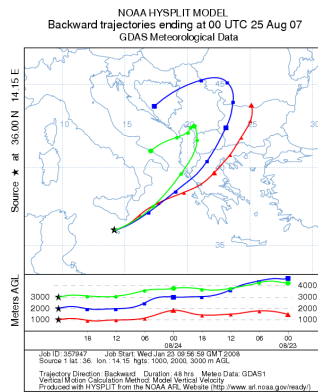
Διερευνήσαμε την ανίχνευση των καύσεων από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μάλτας στο Gozo. Στις μετρήσεις επιφανειακού όζοντος στο Giordan Lighthouse στο Gozo (Raymond Ellul, αδημοσίευτα δεδομένα), διακρίνεται η κορυφή στις 25 Αυγούστου στη γραφική παράσταση της συγκέντρωσης του όζοντος (εικ.6.18), που αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια τιμή 46ppbv. Διακρίνεται ακόμα μείωση του όζοντος μετά τις 26 Αυγούστου. Συγκεκριμένα η μέση ημερήσια τιμή του όζοντος στις 27 Αυγούστου είναι 36ppbv. Η μέση τιμή της επιφανειακής συγκέντρωσης του όζοντος στο Gozo για το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου 2007- που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα- είναι 45ppbv.

Από τις οπισθοπορείες των αέριων μαζών που κατάληγαν στο Gozo στις 25 Αυγούστου 2007 (εικ.6.19) φαίνεται ότι βορειανατολικοί άνεμοι που περνούσαν πάνω από τις περιοχές έντονης καύσης της Πελοποννήσου και της Αλβανίας, μετέφεραν τα καυσάερια από την περιοχή των καύσεων, προς την ευρύτερη περιοχή της Μάλτας.

**Ozone and wind direction in Gozo,
August 2007**

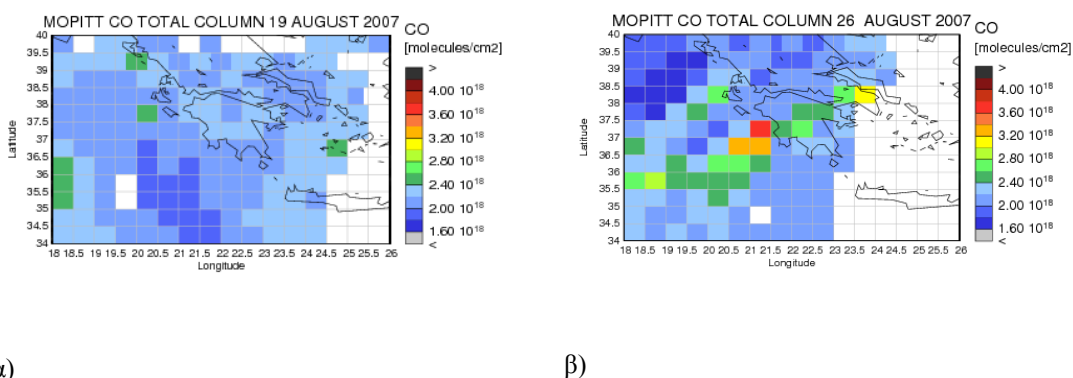


Εικόνα 6.18: Η συγκέντρωση εδάφους του όζοντος και η κατεύθυνση του ανέμου στο Gozo (Raymond Ellul, αδημοσίευτα δεδομένα) .



Εικόνα 6.19: Οπισθοπορείες αέριων μαζών που καταλήγουν στο Gozo στα 1000, 2000, 3000m, στις 25 Αυγούστου 2007.

Μελετήσαμε τα ημερήσια δορυφορικά δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα του δορυφορικού αισθητήρα MOPITT Level 2, V5.93.2 (<ftp://14ftl01.larc.nasa.gov/MOPITT/MOP03.004>), τα οποία αναφέρονται στις μετρήσεις του MOPITT για την στήλη του CO. Κάναμε αναγωγή των μετρήσεων αυτών σε ανάλυση $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος), για την γεωγραφική περιοχή των εκτεταμένων καύσεων του 2007, για δύο μέρες. Η μέρα του ενδιαφέροντος μας είναι η 26^η Αυγούστου 2007 που χαρακτηρίζεται από έντονη καύση βιομάζας τόσο στην Πελοπόννησο όσο και στην Εύβοια και η 19^η Αυγούστου της ίδιας χρονιάς όπου οι καύσεις δεν έχουν ακόμα ξεκινήσει στην Πελοπόννησο και στην Εύβοια.



Εικόνα 6.20: Ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα για α) Την 19^η Αυγούστου 2007 και β) Την 26^η Αυγούστου 2007.

Στην εικόνα 6.20 φαίνεται ότι ο δορυφορικός αισθητήρας MOPITT παρατήρησε τις καύσεις βιομάζας στην περιοχή της Πελοποννήσου και της Εύβοιας. Πραγματοποιήσαμε σύγκριση της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO πάνω από

την περιοχή των καύσεων της Εύβοιας και της Πελοποννήσου καθώς επίσης και της Θαλάσσιας περιοχής δυτικά και νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου. Αύξηση έως περίπου 40% στην ολική ατμοσφαιρική στήλη του CO καταγράφεται από τον MORITT στη σύγκριση μεταξύ της 19^{ης} Αυγούστου (μέρα χωρίς καύσεις) και της 26^{ης} Αυγούστου (μέρα έντονων καύσεων).

Πιο αναλυτικά παρουσιάζουμε την σύγκριση μεταξύ πέντε επιλεγμένων περιοχών γεωγραφικής ευκρίνειας 0.5° x 0.5° στον πίνακα 6.2 όπου για απλότητα αναφέρουμε τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των κέντρων των υπό μελέτη περιοχών.

Πίνακας 6.2: Μέσες ημερήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO την 19^η και την 26^η Αυγούστου, καθώς και η επί τοις 100 διαφορά τους.

Γεωγ.πλάτος \ Γεωγ. μήκος	Ολική ατμοσφαιρική στήλη CO σε molecules/cm ²		
	19 Αυγούστου 2007	26 Αυγούστου 2007	% Διαφορά
38.25\23.75	2.1e+18	3.1e+18	32.7
37.25\22.25	2.2e+18	2.6e+18	14.9
37.25\21.25	2.1e+18	3.6e+18	39.8
36.25\20.25	1.9e+18	2.6e+18	27.9
35.25\20.25	1.9e+18	2.5e+18	21.2

6.3 Αριθμητικές προσομοιώσεις

Η μελέτη της συμμετοχής των καύσεων βιομάζας στις τροποσφαιρικές στήλες του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΰδης καθώς επίσης και στην ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιήθηκε με χρήση των αριθμητικών προσομοιώσεων του μοντέλου TM4. Χρησιμοποιήσαμε την κύρια προσομοίωση του TM4 στην οποία λαμβάνονται υπόψη όλες οι εκπομπές και μια δεύτερη προσομοίωση στην οποία έχουμε αφαιρέσει τις καύσεις βιομάζας από τις εκπομπές. Η κύρια προσομοίωση θα αποκαλείται TM4, ενώ η δεύτερη TM4_without biomass burning emissions ή πιο απλά TM4_wbbe.

Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν για το έτος 2000. Θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της σύγκρισης του TM4 με το TM4_wbbe για τον μήνα Ιούλιο του 2000 σε τέσσερις επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου γεωγραφικής

ευκρίνειας 6° x 4° (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος), την Κεντρική Ελλάδα, την Κωνσταντινούπολη και Βόρειο Ανατολικό Αιγαίο, την Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και την Κρήτη – Νότιο Ανατολικό Αιγαίο, όπως αυτές ορίστηκαν στο κεφάλαιο 5.

Η επί τοις εκατό μεταβολή της τροποσφαιρικής στήλης των ρύπων υπολογίζεται από την απλή μαθηματική σχέση (6-1):

$$[(CTM4-CTM4-wbbe)/CTM4] \times 100\% \quad (6-1)$$

Όπου CTM4 και CTM4-wbbe αναφέρονται στις τροποσφαιρικές στήλες που προσδιορίζονται από την κύρια προσομοίωση και την προσομοίωση στην οποία έχουν αφαιρεθεί οι εκπομπές από τις καύσεις βιομάζας.

6.3.1 Όζον

Στον πίνακα 6.3 παρουσιάζεται, στις επιλεγμένες περιοχές, η συγκέντρωση του όζοντος όπως προσδιορίζεται από την κύρια προσομοίωση, η μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος αν από τα αποτελέσματα της κύριας προσομοίωσης αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe, η επί τοις εκατό μεταβολή αυτής της διαφοράς και η επί τοις εκατό μεταβολή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, για τον μήνα Ιούλιο του 2000.

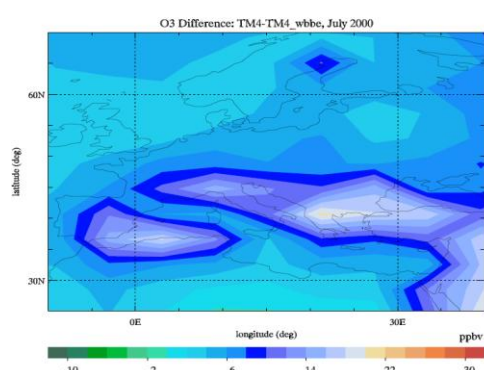
Πίνακας 6.3: Η επιφανειακή συγκέντρωση του όζοντος, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe.

Περιοχές	TM4 Συγκέντρωση του όζοντος (ppbv)	TM4-TM4_wbbe Μεταβολή στην συγκέντρωση του όζοντος (ppbv)	% Μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος	% Μεταβολή τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος
Κεντρική Ελλάδα	98.71	20.5	20	7.1
Κωνσταντινούπολη, ΒΑ Αιγαίο και Σμύρνη	99.6	18.2	18	6.9
Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου	80.9	4.7	5	8.2
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	92.0	8.3	9	7.4

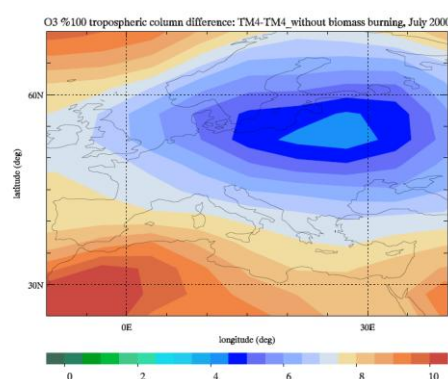
Παρουσιάζουμε ακόμα την μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος στην επιφάνεια του εδάφους (εικόνα 6.21) και την επί τοις εκατό μεταβολή της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος (εικόνα 6.22), όταν από τα αποτελέσματα της κύριας

προσομοίωσης του TM4 αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης TM4_wbbe, στην Ανατολική Μεσόγειο για τον μήνα Ιούλιο του 2000.

Τόσο το επιφανειακό όζον όσο και η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από τις καύσεις βιομάζας. Η κύρια προσομοίωση υπολογίζει περίπου 5-20% περισσότερο όζον στην επιφάνεια του εδάφους και 7-8% μεγαλύτερη τροποσφαιρική στήλη του όζοντος στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου συγκριτικά με την TM4-wbbe.



Εικόνα 6.21: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του όζοντος, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000.

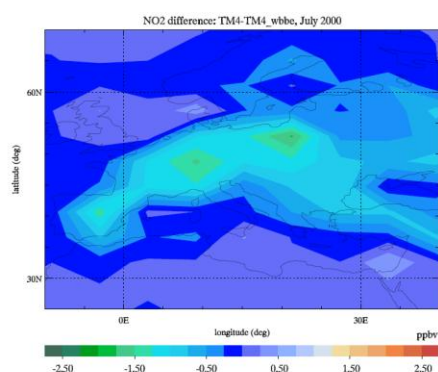


Εικόνα 6.22 Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4-without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000.

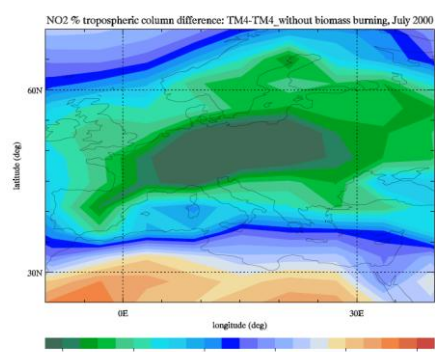
Στην επιφάνεια του εδάφους η μεγαλύτερη μείωση στη συγκέντρωση του όζοντος, περίπου 20%, παρατηρείται στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, συγκριτικά με τις ευρύτερες περιοχές της Κωνσταντινούπολης-BA Αιγαίου και Σμύρνης, του Καΐρου και της Κρήτης-NA Αιγαίου, όταν το μοντέλο θεωρήσει μηδενικές τις εκπομπές από τις καύσεις βιομάζας. Η μικρότερη μείωση παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου, περίπου 5%. Στο Κάιρο περιμένουμε ότι η επίδραση των καύσεων βιομάζας θα είναι εντονότερη τον Οκτώβριο καθώς τον μήνα αυτό συντελούνται καύσεις βιομάζας των υπολειμμάτων των φυτών που καλλιεργούνται στο Δέλτα του Νείλου (Hazianastasiou et al., 2009),

6.3.2 Διοξείδιο του αζώτου

Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζεται, στις επιλεγμένες περιοχές, η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου όπως προσδιορίζεται από την κύρια προσομοίωση, η μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου αν από τα αποτελέσματα της κύριας προσομοίωσης αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe, η επί τοις εκατό μεταβολή αυτής της διαφοράς και η επί τοις εκατό μεταβολή της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου, για τον μήνα Ιούλιο του 2000



Εικόνα 6.23: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000.



Εικόνα 6.24: Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του διοξειδίου του αζώτου μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000.

Πίνακας 6.4: Η επιφανειακή συγκέντρωση του NO₂, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών του NO₂, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe.

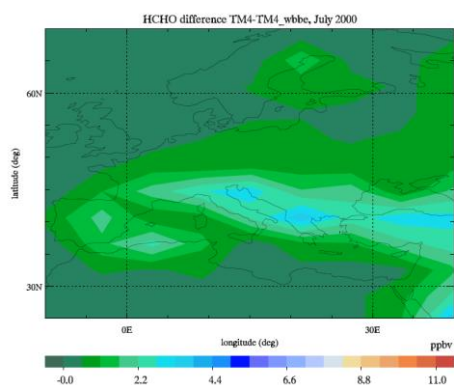
Περιοχές	TM4 Συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου (ppbv)	TM4-TM4_wbbe Μεταβολή στην συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου (ppbv)	% Μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου	% Μεταβολή τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου
Κεντρική Ελλάδα	2.9	-0.5	-16	0.2
Κωνσταντινούπολη, ΒΑ Αιγαίο και Σμύρνη	3.7	-0.8	-21	-3.9
Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου	5.7	+0.5	9	13.2
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	0.9	-0.09	-9	10.9

Στην Κεντρική Ελλάδα, την Κωνσταντινούπολη και την Κρήτη η προσομοίωση TM4_wbbe υπολογίζει περισσότερο NO₂ συγκριτικά με την κύρια προσομοίωση

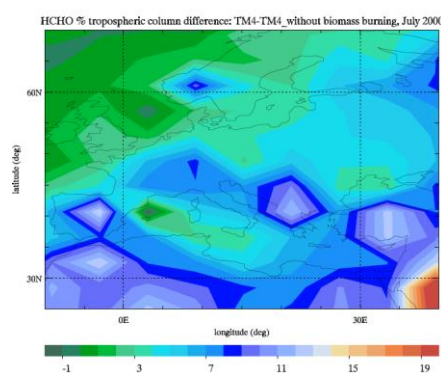
(εικ.6.23, πίνακας 6.4), αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί αν λάβουμε υπόψη μας ότι όταν δεν υπάρχουν εκπομπές από καύσεις βιομάζας τότε μειώνεται γενικά η ποσότητα των πτητικών υδρογονανθράκων (VOC) από την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η δέσμευση του NO₂ από τα προϊόντα της καύσης, πχ τις RO₂ ρίζες. Ακόμα όταν το όζον είναι χαμηλότερο όπως προσδιορίζεται από την TM4_wbbe αναμένουμε χαμηλότερες συγκεντρώσεις ριζών HO·, με αποτέλεσμα αυτές να δεσμεύουν λιγότερο NO₂.

6.3.3 Φορμαλδεΐδη

Κατά την αφαίρεση των εκπομπών από καύσεις βιομάζας από την κύρια αριθμητική προσομοίωση, η τροποσφαιρική στήλη της HCHO μειώνεται στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου κατά ένα παράγοντα από 5 μέχρι 15% περίπου (εικ.6.25). Από τις υπό μελέτη περιοχές η πιο μεγάλη μείωση στην τροποσφαιρική στήλη της HCHO (εικ.6.26), παρατηρείται στην κεντρική Ελλάδα και είναι περίπου 13.7%. Στο έδαφος η μείωση στη συγκέντρωση της HCHO είναι ακόμα πιο έντονη. Όταν το μοντέλο θεωρήσει μηδενικές τις καύσεις βιομάζας, στην Κεντρική Ελλάδα υπολογίζεται η μεγαλύτερη μείωση, περίπου 66%, και η μικρότερη μείωση υπολογίζεται στο Κάιρο, περίπου 16% (πίνακας 6.5).



Εικόνα 6.25: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης της HCHO, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000.



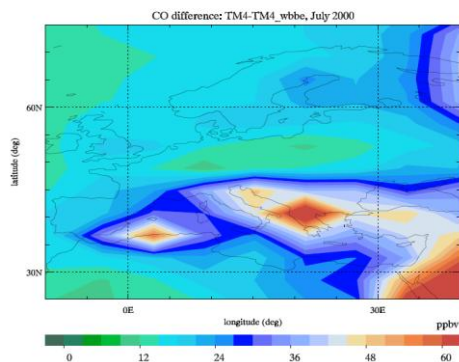
Εικόνα 6.26: Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών της HCHO μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000

Πίνακας 6.5: Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών της HCHO, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe.

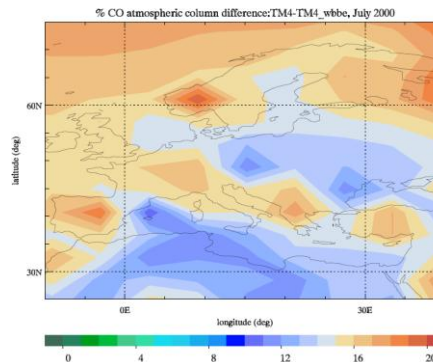
Περιοχές	TM4 Συγκέντρωση της HCHO (ppbv) στο έδαφος	TM4-TM4_wbbe Μεταβολή στην συγκέντρωση της HCHO (ppbv), στο έδαφος	% Μεταβολή της συγκέντρωσης της HCHO στο έδαφος	%Μεταβολή τροποσφαιρι- κής στήλης της Φορμαλδεΐ- δης
Κεντρική Ελλάδα	5.6	3.7	66	13.7
Κωνσταντινούπολη BA Αιγαίο και Σμύρνη	5.2	2.5	48	7.3
Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου	2.5	0.4	16	8.6
Κρήτη, Αιγαίο	NA 4.0	1.0	25	8.0

6.3.4 Μονοξείδιο του άνθρακα

Τα αποτελέσματα της δεύτερης αριθμητικής προσομοίωσης TM4_wbbe δείχνουν ότι η ολική ατμοσφαιρική στήλη του CO μειώνεται όταν οι εκπομπές από καύσεις βιομάζας τεθούν ίσες με το μηδέν. Για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου η μείωση της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO διακυμαίνεται από 12 μέχρι 18% περίπου (εικ.6.28). Οι υπό μελέτη περιοχές παρουσιάζουν μείωση από 13.4 ως 17.7% όπως φαίνεται στον πίνακα 6.6, χωρίς πολύ μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Στο έδαφος η επί τοις εκατό μείωση της συγκέντρωσης του CO κυμαίνεται περίπου από 20 ως 49% στις υπό μελέτη περιοχές (εικ.6.27).



Εικόνα 6.27 Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του CO, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000.



Εικόνα 6.28 Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του CO μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000.

Πίνακας 6.6: Η επιφανειακή συγκέντρωση του CO, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του CO μεταξύ κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions.

Περιοχές	TM4 Συγκέντρωση του CO (ppbv) στο έδαφος	TM4-TM4_wbbe Μεταβολή στην συγκέντρωση του CO (ppbv), στο έδαφος	% Μεταβολή της συγκέντρωσης του CO στο έδαφος	% Μεταβολή της ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα
Κεντρική Ελλάδα	146.9	72.3	48.2	17.7
Κωνσταντινούπολη, ΒΑ Αιγαίο και Σμόρνη	162.2	44.1	27.1	14.2
Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου	176.0	36.4	20.6	13.4
Κρήτη, ΝΑ Αιγαίο	152.3	35.0	22.9	14.7

6.4 Ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας

Για την παρούσα μελέτη πραγματοποιήσαμε 2 διαφορετικούς υπολογισμούς σε σχέση με την πολυπλοκότητα και την ακρίβειά τους. Παρακάτω τους παρουσιάζουμε με σειρά πολυπλοκότητας από τον πιο προσεγγιστικό προς τον πιο λεπτομερή.

6.4.1. Σωματίδια

Οι van Dorland et al.(1997) και οι IPCC-TAR υπολόγισαν την ενεργειακή διαταραχή λόγω του όζοντος και της συγκέντρωσης θεικών σωματιδίων, χρησιμοποιώντας τις προσομοιώσεις θεικών σωματιδίων και όζοντος από το τρισδιάστατο μοντέλο MOGUNTIA και ένα λεπτομερές μοντέλο ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα σε μια ευρεία περιοχή του φάσματος. Με βάση αυτούς τους υπολογισμούς ανέπτυξαν μια προσεγγιστική σχέση που δίνει την ενεργειακή διαταραχή ανά μεταβολή οπτικού πάχους των θεικών σωματιδίων. Στηριζόμενοι στην εργασία τους αυτή αναπτύξαμε υπολογιστικό κώδικα που να προσδιορίζει την ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας λόγω της επίδρασης των αερολυμάτων, στην περιοχή της Αθήνας(37.58N, 23.43E) χρησιμοποιώντας μετρήσεις AOD ή αποτελέσματα AOD από το τρισδιάστατο μοντέλο μας TM4 και με την προσέγγιση ότι όλα τα αερολύματα δρουν ως σφαιρικά θεικά. Με βάση την παραπάνω παραδοχή, για τον υπολογισμό της ενεργειακής διαταραχής χρησιμοποιήθηκε η προσεγγιστική μέθοδος (van Dorland et al., 1997):

$$\frac{\Delta F_{sw}}{\Delta SO_4} = -S_0 f_d k(4xy(y-x) - r) \quad (6-2)$$

όπου ΔF_{sw} είναι η διαταραχή του ενεργειακού ισοζυγίου σε Wm^{-2} που οφείλεται στη διαφορά του οπτικού πάχους ΔSO_4 θεικών σωματιδίων, S_0 είναι η ηλιακή σταθερά ($S_0=1370 W m^{-2}$), $f_d = 1$ κατά τη διάρκεια της ημέρας, k είναι μια εμπειρική σταθερά (ίση με $5.8 \cdot 10^{-2}$ ανά μονάδα οπτικού πάχους) και r είναι ένας διορθωτικός παράγοντας, για τις περιπτώσεις που η γωνία ζενίθ του ήλιου είναι μικρή, και ισούται με $5.8 \cdot 10^{-2}$ ακτίνια. Η τιμή του x ισούται με την τετραγωνική ρίζα του συνημίτονου της γωνίας ζενίθ του ήλιου και η τιμή του y ισούται με $(1-R_s)^{1/2}$, όπου R_s είναι το ποσοστό της ατμοσφαιρικής στήλης που είναι καλυμμένο με σύννεφα (albedo).

Με βάση την παραπάνω προσεγγιστική μέθοδο αναπτύχθηκε το πρόγραμμα υπολογισμού της ενεργειακής διαταραχής στην κορυφή της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων: Radiative Forcing v1 σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90. Ο προσδιορισμός της γωνίας ζενίθ βασίστηκε στους παρακάτω υπολογισμούς:

Αρχικά υπολογίστηκε η παράμετρος γ που αναφέρεται στο μέρος του έτους, σε ακτίνια:

$$\gamma = 2\pi/365 * (\text{Julian day} - 1 + (\text{hour} - 12/24)) \quad (6-3)$$

Από την παράμετρο γ προσδιορίστηκε μία εξίσωση για τη χρονική στιγμή του ενδιαφέροντος μας (eqtime), σε λεπτά και για την ηλιακή declination γωνία (decl):

$$\text{eqtime} = 229.18 \cdot (0.000075 + 0.001868 \cos \gamma - 0.032077 \sin \gamma - 0.014615 \cos 2\gamma - 0.040849 \sin 2\gamma) \quad (6-4)$$

$$\text{decl} = 0.006918 - 0.399912 \cos \gamma + 0.070257 \sin \gamma - 0.006758 \cos 2\gamma + 0.000907 \sin 2\gamma - 0.002697 \cos 3\gamma + 0.00148 \sin 3\gamma \quad (6-5)$$

Η πραγματική ηλιακή ώρα (tst), σε λεπτά, προσδιορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{time_offset} = \text{eqtime} - 4 \cdot \text{longitude} + 60 \cdot \text{timezone} \quad (6-6)$$

Η παράμετρος timezone είναι η ώρα της ημέρας σε UTC

$$\text{tst} = \text{hr} \cdot 60 + \text{mn} + \text{sc} / 60 + \text{time_offset} \quad (6-7)$$

Όπου hr είναι η ώρα (0 - 23), mn είναι το λεπτό (0 - 60), sc είναι το δευτερόλεπτο (0 - 60).

Η solar hour angle, σε μοίρες, είναι

$$\text{ha} = (\text{tst} / 4) - 180 \quad (6-8)$$

Η γωνία ζενίθ του ήλιου ϕ προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\cos \phi = \sin(\text{lat}) \sin(\text{decl}) + \cos(\text{lat}) \cos(\text{decl}) \cos(\text{ha}) \quad (6-9)$$

Τα δεδομένα οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων από το σύστημα Lidar της συνεργαζόμενης ομάδας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, αναφέρονται στα 440, 675, 870 και 1020nm. Προσδιορίσαμε το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων στα 550nm με χρήση του Angstrom coefficient (Voss et al., 2001). Ο Angstrom coefficient δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$-a = \frac{\ln\left(\frac{aod_{\lambda_1}}{aod_{\lambda_2}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (6-10)$$

όπου:

a είναι ο Angstrom coefficient

aod_{λ_1} είναι το οπτικό πάχος των αερολυμάτων σε μήκος κύματος λ_1

aod_{λ_2} είναι το οπτικό πάχος των αερολυμάτων σε μήκος κύματος λ_2

Με βάση τις μετρήσεις AOD στα προαναφερθέντα μήκη κύματος υπολογίσαμε τον συντελεστή Angstrom κάνοντας την υπόθεση ότι ο συντελεστής Angstrom δεν μεταβάλλεται σημαντικά στο εύρος μηκών κύματος που μας ενδιαφέρει (γύρω στα 550nm). Με τη χρήση του έτσι υπολογισμένου συντελεστή Angstrom υπολογίσαμε το AOD στα 550nm από παρατηρήσεις AOD στα 440 και στα 675nm και χρησιμοποιήσαμε την προσεγγιστική σχέση (6-2) για τον υπολογισμό της ενεργειακής διαταραχής στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας, όπως προαναφέραμε οι υπολογισμοί αυτοί προϋποθέτουν ότι τα σωματίδια συμπεριφέρονται σαν σφαιρικά θειικά, ενώ η ανακλαστικότητα τέθηκε ίση με 0.05.

Τα αποτελέσματα για την ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε Wm^{-2} λόγω των αερολυμάτων όπως αυτή υπολογίζεται από το Radiative Forcing v1 βάση του οπτικού πάχους απόσβεσης της ακτινοβολίας, στην κορυφή της ατμόσφαιρας στα 550nm στην περιοχή της Αθήνας, δίνονται στον πίνακα 6.7 για τις μέρες που είχαμε μετρήσεις από το σύστημα Lidar στην Αθήνα.

Πίνακας 6.7: Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε Wm^{-2} λόγω των αερολυμάτων, υπολογισμένη από το Radiative Forcing v1 και από το Radiative Forcing v2, στα 550nm στην περιοχή της Αθήνας.

Ημερομηνία	ΔF_{v1}	ΔF_{v2}
18/5/2008	-4.3208	-5.8202
19/5/2008	-7.3366	-9.8854
20/5/2008	-9.4880	-1.1502
21/5/2008	-7.0094	-8.5093
22/5/2008	-1.8614	-1.6824
23/5/2008	-1.5140	-0.2537
26/5/2008	-3.2256	-3.5678
27/5/2008	-5.1234	-2.8848
28/5/2008	-4.1534	-2.2787
29/5/2008	-4.4481	-2.4325
30/5/2008	-6.2838	-7.3284
18/6/2008	-4.1951	-2.0885
19/6/2008	-3.8642	-3.5871
14/7/2008	-5.0333	-4.6604

Κατόπιν με στόχο την βελτίωση των αποτελεσμάτων αναπτύξαμε το Radiative Forcing v2 σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90. Η βελτίωση των αποτελεσμάτων επιτεύχθηκε με τον ακριβέστερο υπολογισμό της γωνίας ζενίθ του ήλιου για την περιοχή μελέτης, την ημέρα του έτους και την ώρα της ημέρας, καθώς επίσης το γεγονός ότι το 2008 ήταν δίσεκτο έτος.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής διαταραχής λόγω των αερολυμάτων χρησιμοποιήσαμε την προσεγγιστική σχέση (6-11) που αναπτύχθηκε από τους Charlson et al. (1992), λαμβάνοντας υπόψη μας την εργασία των P. Chylek, and J. Wong, (1995):

$$\Delta F_R = -(S_0/4)T^2(1-N)(1-a)^2\beta\tau_{sc} \quad (6-11)$$

Όπου: ΔF_R είναι η ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων, S_0 είναι η ηλιακή σταθερά, T (transmittance) είναι η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας πάνω από το στρώμα των αερολυμάτων που τέθηκε ίση με 0.79 βάσει της εργασίας των Lesins et al. (2002), N είναι το μέρος του ουρανού που καλύπτεται με σύννεφα, a είναι το albedo της υποκείμενης επιφάνειας, β είναι το μέρος της ακτινοβολίας που σκεδάζεται από τα αερολύματα στην υπερκείμενη ατμόσφαιρα και τ_{sc} είναι η οπτική πυκνότητα του στρώματος των αερολυμάτων.

Η λευκαύγεια τέθηκε ίσο με 0.1.

Τα αποτελέσματα του Radiative Forcing v2 για την ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε Wm^{-2} λόγω των αερολυμάτων για τα μήκη κύματος 550nm παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 6.7.

6.4.2 Όζον

Η ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας η οφειλόμενη σε αέριες μάζες διαφορετικής προέλευσης που προκαλείται λόγω του όζοντος, στην περιοχή της Αθήνας, μπορεί να προσδιοριστεί σύμφωνα με την προσεγγιστική σχέση που προτείνεται από την αναφορά IPCC-TAR:

$$\Delta F = 0.042 \Delta \text{DU} \quad (6-12)$$

όπου ΔDU είναι η μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος σε μονάδες Dobson (Dobson Units).

Υπολογίσαμε την ενεργειακή διαταραχή στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας λόγω της μεταβολής του όζοντος στα πρώτα 10Km από της επιφάνεια της γης και λόγω της μεταβολής της συγκέντρωσης του όζοντος κατά την μετάβαση από αέριες μάζες νότιας προέλευσης σε αέριες μάζες βόρειας προέλευσης τόσο για το καλοκαίρι όσο και για το φθινόπωρο, στην περιοχή της Αθήνας. Οι μετρήσεις όζοντος που χρησιμοποιήσαμε προέρχονται από το σύστημα Lidar της συνεργαζόμενης ομάδας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου της Αθήνας.

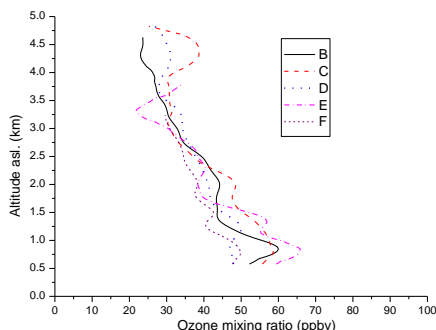
$$\Delta F_{\text{SUMMER}} = 0.042 (\text{OZONE}_{\text{SUMMER,SOUTH}} - \text{OZONE}_{\text{SUMMER,NORTH}}) \quad (6-13)$$

$$\Delta F_{\text{AUTUMN}} = 0.042 (\text{OZONE}_{\text{AUTUMN,SOUTH}} - \text{OZONE}_{\text{AUTUMN,NORTH}}) \quad (6-14)$$

Επειδή οι μετρήσεις από το Lidar εκτείνονται ως τα 4Km περίπου, θεωρήσαμε ότι από τα 4Km και ως τα 10Km η συγκέντρωση του όζοντος παραμένει σταθερή και ίση με την τιμή της μέτρησης του μεγαλύτερου ύψους. Οι υπολογισμοί αυτοί δείχνουν ότι για το καλοκαίρι η ενεργειακή διαταραχή στα πρώτα 10Km πάνω από την Αθήνα είναι περίπου 0.1Wm^{-2} κατά την μετάβαση των αέριων μαζών από αέριες μάζες νότιας προέλευσης σε αέριες μάζες βόρειας προέλευσης, ενώ η αντίστοιχη ενεργειακή διαταραχή για το φθινόπωρο περίπου 0.2Wm^{-2} .

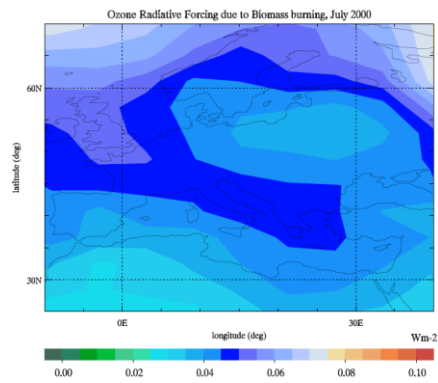
Τα παραπάνω συμφωνούν ποιοτικά με την εικόνα που παρουσιάζει το προφίλ του όζοντος όπως μετρήθηκε από το σύστημα Lidar της συνεργαζόμενης ομάδας του

Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, αναφορικά με την εποχή και την διεύθυνση προέλευσης των αέριων μαζών πάνω από την Αθήνα, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.29.

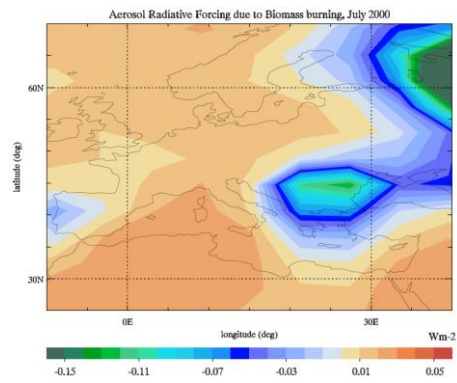


Εικόνα 6.29: Κατακόρυφες κατανομές του όζοντος όπως προσδιορίστηκαν από το Lidar πάνω από την περιοχή της Αθήνας αναφορικά με την Εποχή και με την κατεύθυνση προέλευσης των αέριων μαζών, όπου είναι :B) Καλοκαίρι, άνεμοι βόρειας προέλευσης, C) Καλοκαίρι, άνεμοι νότιας προέλευσης, D) Φθινόπωρο, άνεμοι βόρειας προέλευσης, E) Φθινόπωρο, άνεμοι Νότιας προέλευσης και F) Χειμώνας, άνεμοι βόρειας προέλευσης.

Η εκτέλεση προσομοιώσεων με την επίδραση και χωρίς την επίδραση των καύσεων βιομάζας από το μοντέλο TM4, όπως αναλυτικά αναφέρεται στην παράγραφο 6.3, μας επέτρεψε να προσδιορίσουμε την ενεργειακή διαταραχή από την καύση βιομάζας στην Ανατολική Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000 για τον όζον και για τα αερολύματα. Για το όζον κάναμε χρήση της προσεγγιστικής σχέσης (6-12). Στον Ελλαδικό χώρο η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας λόγω του όζοντος υπολογίζεται από 0.04 έως 0.05Wm⁻²(θέρμανση), ενώ η ενεργειακή διαταραχή λόγω των αερολυμάτων υπολογίζεται από περίπου από -0.06 μέχρι -0.01Wm⁻² (ψύξη), όπως φαίνεται στις εικόνες 6.30 και 6.31.



Εικόνα 6.30 Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίζεται από το TM4, η οποία προκαλείται από τις καύσεις βιομάζας και οφείλεται στο τροποσφαιρικό όζον, τον Ιούλιο του 2000.



Εικόνα 6.31: Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίζεται από το TM4, η οποία προκαλείται από τις καύσεις βιομάζας και οφείλεται στα σωματίδια, τον Ιούλιο του 2000.

6.5 Συμπεράσματα και προοπτικές

1) Τον Ιούλιο του 2000 οι εκτεταμένες καύσεις βιομάζας που συντελέστηκαν στον Ελλαδικό χώρο, προκάλεσαν αύξηση της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ τόσο πάνω από τις περιοχές των καύσεων όσο και στην ευρύτερη περιοχή του νότιου Αιγαίου Πελάγους. Στη συγκέντρωση εδάφους του όζοντος παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των καύσεων, από το σταθμό υποβάθρου της Φινοκαλιάς, αρχικά αύξηση και κατόπιν μείωση που φαίνεται να σχετίζεται με την αντίδρασή του με το μονοξείδιο του αζώτου που είναι προϊόν των καύσεων.

2) Οι εκτεταμένες καύσεις βιομάζας που συντελέστηκαν στην Πελοπόννησο και στην Εύβοια τον Αύγουστο του 2007 προκάλεσαν αύξηση στην ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα, στην περιοχή της Εύβοιας, της Πελοποννήσου και στην θαλάσσια περιοχή δυτικά και νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου που έφτασε ως τα 40%.

3) Σύμφωνα με τις αριθμητικές προσομοιώσεις που εκτελέσαμε, οι καύσεις βιομάζας φαίνεται να συνεισφέρουν στην αύξηση της συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος από 5 ως 20%, και κατά 7-8% στην αύξηση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, τους θερινούς μήνες στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Επίσης οι καύσεις βιομάζας συντελούν στην αύξηση της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης κατά ένα παράγοντα από 5 μέχρι 15% και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα από 12 ως 18%.

4) Η ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας λόγω των καύσεων τον Ιούλιο του 2000, προσδιορίζεται από τις αριθμητικές προσομοιώσεις που αναπτύξαμε, από 0.04 ως 0.05 W/m² για το όζον και -0.06 ως -0.01 W/m² για τα αερολύματα, στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

5) Παρά το ότι αναπτύξαμε δύο κώδικες λογισμικού με σκοπό τον υπολογισμό της ενεργειακής διαταραχής της ατμόσφαιρας λόγω των αερολυμάτων, στην περιοχή της Αθήνας, κάνοντας χρήση δεδομένων οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας που προέρχονται από σύστημα Lidar του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κρίνεται

αναγκαία η βελτιστοποίηση και η επέκταση του κώδικα ώστε να μπορεί να υπολογίζει την ενεργειακή διαταραχή της ατμόσφαιρας την οφειλόμενη στο όζον και στους υδρατμούς.

7 Βιβλιογραφία

van Aardenne J.A. F. J. Dentener, J. G. Oliver, C. G. M. Klein Goldewijk, J. Lelieveld, “ A 1°x1° resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990 “, *Global Biogeochemical Cycles*, 4, 909-928, 2001.

Aleksandropoulou, V., M. Lazaridis, “Spatial distribution of gaseous and particulate matter emissions in Greece”, *Water, Air and Soil Pollution*, 153, 15-34, 2004.

Atkinson R.: “Gas phase tropospheric chemistry of organic compounds”, *J. Phys. Chem. Ref. Data Monogr.*, 2, 13-46, 1994

Barret B., P. Ricaud, C. Mari, J.-L. Attié, N. Boussez, B. Josse, E. Le Flochmoën, N. J. Livesey, S. Massart, V.-H. Peuch, A. Piacentini, B. Sauvage, V. Thouret, and J.-P. Cammas “Transport pathways of CO in the African upper troposphere during the monsoon season: a study based upon the assimilation of spaceborne observations.” *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3231–3246, 2004

Burrows, J.P. M. Weber, M. Buchwitz, V. Rozanov, A. Ladstätter-Weissenmayer, A. Richter, R. DeBeek, R. Hoogen, K. Bramstedt, K. -U. Eichmann, M. Eisinger, and D. Perner : “The Global Ozone Monitoring Experiment (GOME): Mission Concept and First Scientific Results”, *J. Atm. Sciences*, 56, 151-175, 1999.

Conard, S.G., G.A. Ivanova, “Wildfire in Russian boreal forests-Potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates”, *Environmental Pollution*, 98, 305-313, 1997

Chylek, P., and J. Wong «Effect of absorbing aerosols on global radiation budget.”, *Geophysical Research Letters*, 22-8, 929, 1995.

Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, Ph., Koutrakis, P., Measurements of PM10 and PM2.5 particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment* 37, 649–660, 2003.

Crutzen P.J., Andreae M.O., Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250, 1669-1678, 1990.

Cristofanelli P. and Bonasoni P.: Background ozone in the southern Europe and Mediterranean area: Influence of the transport processes, *Science Direct*, doi 10.1016, 2008

Duncan B. N., West J.J., Yoshida Y., Fiore A.M., Ziemke J.R.: The influence of European pollution on ozone in the Near East and Northern Africa, *Atmospheric Chem. And Physics* 8, 2267-2283, 2008.

Deeter M. N. et al, “Evaluation of operational radiances for the Measurements of Pollution in the troposphere (MOPITT) instrument CO thermal band channels”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, D03308, doi:10.1029/2003JD003970 , 2004.

van Dorland, R., F. J. Dentener, J. Lelieveld, “ Radiative forcing due to anthropogenic ozone and sulphate aerosols”, *Journal of Geophysical Research* , D23, 28,079-28,100, 1997 .

Dufour, G., F. Wittrock, M. Camredon, M. Beekmann, A. Richter, J. Burrows, “SCIAMACHY formaldehyde observations: constrain for isoprene emissions over Europe?”, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1647-1664, 2009

Emmons L. K., D. P. Edwards, M. N. Deeter, J. C. Gille, T. Campos, P. Nedelec, P. Novelli, and G. Sachse, Atmospheric Chemistry and Physics Measurements of Pollution In The Troposphere (MOPITT) validation through 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1795–1803, 2009

Economou, C., N. Mihalopoulos, ‘Formaldehyde in the rainwater in the eastern Mediterranean: occurrence , deposition and contribution to organic carbon budget’, *Atmospheric Environment*, 36, 1337-1347, 2002.

European Environmental Agency (EEA), 2004, Air pollution in Europe 1990-2000, Top. Rep. 4/2003, Copenhagen, Denmark. (<http://www.eea.eu.int>)

Hauglustaine, D. A., J. Lathiere, and S. Szopa, and G. A. Folberth, Future tropospheric ozone simulated with a climate-chemistry biosphere model, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24807, doi:10.1029/2005GL024031, 2005.

Οικονόμου, μεταπτυχιακό δίπλωμα ειδίκευσης: ‘Μελέτη της φορμαλδεΐδης στην υγρή και αέρια φάση στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου’ Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2001

Fangmeier A., De Temmerman L., Black C., Persson K., Vorne V. : ‘Effects of elevated CO₂ and/or ozone on nutrient concentrations and nutrient uptake of potatoes’, *Europ. Journal Agronomy* 17, 353-368, 2002.

Fischman, M. J. , A.E. Wozniak, J.K. Creilson: “Global distribution of tropospheric ozone from satellite measurements using the empirically corrected tropospheric ozone residual technique: Identification of the regional aspects of air pollution”, *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 893-907, 2003.

Gerasopoulos E., Kouvarakis G., Vrekoussis M., Kanakidou M, Mihalopoulos N., Ozone variability in the marine boundary layer of the eastern Mediterranean based on 7 years observations, *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, D15309, doi:10.1029/ 2005JD005991, 2005.

Gerasopoulos, E., G. Kouvarakis, M. Vrekoussis , C. Donousis, N. Mihalopoulos , M. Kanakidou, “ Photochemical Ozone production in the Eastern Mediterranean”, *Atmospheric Environment*, 40, 4679-4690, 2006.

Giglio, L., G.R. van der Werf, J.T. Randerson, G.J. Collatz, P. Kasibhatla, “Global estimation of burned area using MODIS active fire observations”, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 5, 11091-11141, 2005.

Gregoire J.-M., S. Pinnock, E. Dwyer and Janodet, ‘ Satellite monitoring of vegetation fires for EXPRESSO: Outline of activity and relative importance of the study area in

the global picture of biomass burning', *Journal of Geophysical Research*, 104, 30691-30699, 1999.

Hatzianastassiou, A. Fotiadi, C. Matsoukas, K. G. Pavlakis, E. Drakakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas «Long-term global distribution of Earth's shortwave radiation budget at the top of atmosphere», *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1217,2004.

Hatzianastasiou, N., A. Gkikas, N.Mihalopoulos, O. Torres, B.D.Katsoulis: "Natural versus anthropogenic aerosols in the eastern Mediterranean basin derived from multi-year TOMS and MODIS satellite data", *J. Geophys. Res.* In press, 2009.

Hudson, R.D., A.D.Frolov, M.F.Andrade, M.B.Follette, The total ozone field separated into meteorological regimes, *Journal of the Atmospheric Science* 60,1669-1677,2003.

Jacob D. J., L. W. Horowitz, J. W. Munger, B. G. Heikes, R. R. Dickerson, R. S. Artz, W. C. Keene, "Seasonal transition from NO_x – to hydrocarbon – limited conditions for ozone production over the eastern United States in September", *J. Geophys. Res.*, D5, 9315-9324, 1995.

Jeuken, A., J.P. Veeffkind, F.Dentener, S. Metzger and C. R Gonzalez: "Simulation of the aerosol optical depth over Europe for August 1997 and a comparison with observations", *J. Geophys. Res.* 106, 28 295–28 311, 2001.

Jianzhong, M., A.Richter, J.P.Burrows, H. Nuss, J.A. van Aardenne: "Comparison of model-simulated tropospheric NO₂ over China with GOME-satellite", *Atmos. Env.*, 09, 029, doi:10.1016 1673-1683, 2005.

IPCC 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report, Climate Change 2007 Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (<http://www.ipcc.ch>)

Kalabokas, P.D.L.G.Viras, C.C.Repapis, "Analysis of the 11-year record(1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part I : Primary air pollutants", *Global Nest*, 3, 157-167, 1999.

Kalabokas, P. D. and C.C. Repapis. A climatological study of rural surface ozone in central Greece, *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 1139–1147, 2004.

Karaca F., O.Alagha, F.Ertürk: "Statistical characterization of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey", *J.chemosphere*. doi:10.10/2004.11.062,2004

Koch G., H. Wernli, J. Staehelin, and T. Peter: "A Lagrangian analysis of stratospheric ozone variability and long-term trends above Payerne (Switzerland) during 1970–2001", *J. Geophys. Res.*, 107(D19), 4373, doi:10.1029/2001JD001550,2002

Konovalov I. B., M. Beekmann, R. Vautard, J. P. Burrows, A. Richter, H. Nüß, N. Elansky, "Comparison and evaluation of modelled and GOME measurement derived tropospheric NO₂ columns over Western and Eastern Europe", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 169-190,2005.

Kouvarakis G., Tsigaridis K., Kanakidou M., and Mihalopoulos N., Temporal variations of surface background ozone over Crete Island in the South-East Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, 105 , 4399-4410, 2000.

Kouvarakis G., Vrekoussis M., Mihalopoulos N., Kourtidis K., Rappengluck B., Gelasopoulos E. and Zerefos C., Spatial and temporal variability of tropospheric ozone (O₃) in the boundary layer above the Aegean Sea (Eastern Mediterranean), *J. Geophys. Res.*, 107, 8137, 10.1029/2000JD000081, *J. Geophys. Res.*, 2001.

Kourtidis, K., et al., Regional Levels of Ozone in the Troposphere over Eastern Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, 107, D18, 8140, doi:10.1029/2000JD000140, 2002.

Kneizys, F.X, E.P Shettle, L.W., Abreu, J.H, Chetwynd, G.P., Anderson, W.O Gallery, J.E.A Selby., S.A Clough, , Users Guide to LOWTRAN7. Environmental Research Papers, No. 1010, AFGL-TR-88-0177, Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Massachusetts, 137 pp 1988.

Ladstätter-Weißmayer, A.J.Heland, R.Kormann, R.v.Kuhlmann, M.G.Lawrence, J.Meyer-Arnek, A.Richter, F.Wittrock, H.Ziereis, J.P.Burrows, 'Transport and built-up of tropospheric trace gases during MINOS campaign: Comparison of GOME , in situ aircraft measurements and MATCH-MPIC-data', *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 3, 3051-3094, 2003.

Ladstätter-Weißmayer, A., M.Kanakidou, J.Meyer-Arnek, E.V.Dermizaki, A.Richter, M. Vrekoussis, F.Wittrock, and J.P.Burrows: "Pollution events over the East Mediterranean: Synergistic use of GOME, ground based and sonde observations and models" *j.atmosenv*. doi:10.1016, 2007

Lauer, A., M. Dameris, A. Richter, J.P.Burrows, "Tropospheric NO₂ columns: a comparison between model and retrieved data from GOME measurements", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2, 67-78, 2002.

Leikauf et al., 'Ozonolysis products of membrane fatty acids activate eicosanoid metabolism in human airway epithelial cells' *American Journal of respiration and cell molecular biology*, 9:594-602 (1992)

Lelieveld J. et al., Global Air Pollution Crossroads over Mediterranean, *Science*, 298,794-799,2002.

Liakakou, E., M.Vrekoussis, B.Bonsang, Ch. Donousis, M. Kanakidou, N. Mihalopoulos, "Isoprene above the Eastern Mediterranean: Seasonal variation and contribution to the oxidation capacity of the atmosphere", *Atmospheric Environment* 41(2007)1002-1010, 2006.

Lioussé, C., J.E. Penner, C. Chuang, J.J. Walton, H. Eddleman and H. Cachier, "A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols", *J. Geophys. Res.*, 101, 19 411-19 432, 1996.

Martin R.V., A.M.Fiore, A.van Donkelaar, Space-based diagnosis of surface ozone sensitivity to anthropogenic emissions, *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L06120,doi 101029/2004GL019416,2004.

Megie, et al., Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère, Rapport de l'Académie des Sciences, Rapport n° 30, Institut de France, Octobre 1993, ISBN : 1159-5590, Technique & Documentation, Lavoisier, Paris, pp. 261, 1993.

Mihalopoulos, N.: Long-Range transport of pollutants above the Eastern Mediterranean: Implications for air quality and regional climate, in: Regional climate variability and its impacts in the Mediterranean Area, edited by: Mellouki, A., and Ravishankara, A.R., Springer Netherlands, Netherlands, Volume 79, 1–13, 2007

Monks P.S: A review of the observations and origins of the spring maximum, Atmospheric environment 34, 3545-3561, 2000.

Monks, P.S. “Gas-phase radical chemistry in the troposphere”, Chemical Society Reviews, 34,376-395,2005.

Myriokefalitakis, S., M.Vrekoussis, K.Tsigaridis, F. Wittrock, A.richter, C. Bruhl, R.Volkamer, J.P.Burrows, and M. Kanakidou: “The influence of natural and anthropogenic secondary sources on the glyoxal global distribution”, Atmos. Chem. Phys.,8, 4965-4981, 2008.

Myriokefalitakis S., Vignati E., Tsigaridis K., Papadimas C., Sciare J., Mihalopoulos N., Facchini M. C., Rinaldi M., Dentener F. J., Ceburnis D., Hatzianastasiou N., O’Dowd C.D., van Weele M., Kanakidou M.: ‘Global modelling of the oceanic source of organic aerosols’, submitted in Advanced Meteorology,2010.

Roelofs, G.J., J.Lelieveld, R.van Dorland, “ A three-dimensional chemistry/general circulation model simulation of anthropogenically derived ozone in the troposphere and its radiative climate forcing”, Journal of Geophysical Research, D19 ,23,389-23,401, 1997.

Richter, A.and J.P.Burrows: “Retrieval of tropospheric NO₂ from GOME measurements”, Adv. Space Res., 29, 11, 1673-1683,2002.

Richter, A., Burrows, J. P., N^ouß, H., et al.: Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space, Nature, 437, 129–132, doi:10.1038/nature04092, 2005.

Seinfeld J.H., S.N. Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, (J. Wiley and Sons Inc., NewYork, USA), 1998.

Salisbury G., J. Williams, R. Holzinger, V.Gros, N. Mihalopoulos, M. Vrekoussis, R. Sarda-Estève, H. Berresheim, R. von Kuhlmann, M. Lawrence,J. Lelieveld, “Ground-based PTR-MS measurements of reactive organic compounds during the MINOS Campaign in Crete”, July-August 2001”, Atmospheric Chemistry and Physics, 3, 925-940, 2003.

Samoli E, Peng R, Ramsay T, Pipikou M, Touloumi G, Dominici F, Rutnett R, Cohen A, Krewski D, Samet J, Katsouyanni K. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHEA study. Env Health Perspect, 116(11):1480- 1486, 2008.

Savage N. H., K. S. Law, A. Richter, H. Nüß, J. P. Burrows, "Using GOME NO₂ data to examine differences in TOMCAT model performance", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1895-1912, 2004.

Santer B.D., R.Sausen, T.M.L.Wigley, J.S.Boyle, K..ActutaRao, C.Doutriaux,J.E.Hansen, G.A.Meehl, E.Roeckner, Rruedy, G.Schmidt and K.E.Taylor, 'Behavior of tropopause height and temperature in models, reanalyses and observations : Decadal changes', *Journal of Geophysical Research*, 108, 4002, doi:10.1029/2002JD002258, 2003.

Stamnes K, S.C. Tsay, W. Wiscombe and I. Laszlo, «A General-Purpose Numerically Stable Computer Code for Discrete-Ordinate-Method Radiative Transfer in Scattering and Emitting Layered Media», DISORT Report v1.1. 2000.

Tegen, P., P. Hollrig, M. Chin, I. Fung, D. Jacob, and J. Penner, "Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results", *J. Geophys. Res.*, 102, 23 895–23 915, 1997.

Terao, J. Longan, A. R. Douglass, and R. S. Stolarski : "Contribution of stratospheric ozone to the interannual variability of tropospheric ozone in the northern extratropics" *J. Geophys. Res.*, 113, D18309, doi:10.1029/2008JD009854, 2008.

Toon O.B., C.P. McKay, and T.P. Ackerman, «Rapid calculation of radiative heating rates and photodissociation rates in inhomogeneous multiple scattering atmospheres». *J. Geophys. Res.*,94(D13), 16287-16301, 1989.

Tuinder O.N.E., R de Winter-Sorkina, P.J.H.Builtjes, 'Retrieval methods of effective cloud cover from the GOME instrument : an intercomparison', *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 255-273, 2004.

Tsay S.C, K. Stamnes and K. Jayaweera,: «Radiative energy budget in the cloudy and hazy Arctic» *J. Atmos. Sci.*, 46,1002-1018,1989

van der Werf G.R., J.T.Randerson, L.Giglio, G.J.Collatz, P.S.Kasibhalta and A.F.Arellano: Interannual variability in Global biomass burning emissions from 1997 to 2004, *Atmos.Chem.Phys.*,6, 3423-3241,2006 .

Wiedinmyer Christine, Jim Greenberg, Alex Guenther, Brian Hopkins, Kirk Baker, Chris Geron, Paul I. Palmer, Bryan P. Long, Jay R. Turner, Gabrielle Pe'tron, Peter Harley, Thomas E. Pierce, Brian Lamb,2Hal Westberg, William Baugh, Mike Koerber, and Mark Janssen, Ozarks Isoprene Experiment (OZIE): Measurements and modeling of 'the "isoprene volcano"', *Journal of Geophysical Reas.*, vol. 110, D18307, doi:10.1029/2005JD005800, 2005

Veefkind, P., " Aerosol satellite remote sensing", PhD Thesis, Utrecht University, Utrecht, Holland, 1999.

Voss, K. J., E. J. Welton, P. K. Quinn, R. Frouin, M. Miller, and R. M. Reynolds, «Aerosol optical depth measurements during the Aerosols99 experiment», *Journal of Geophysical Research*, 106, 20,811, 2001.

Vrekoussis M., E. Gerasopoulos, N. Mihalopoulos, U. Im, A. Richer, A. Hilboll, M. Petrakis, M. Kanakidou, S. Myriokefalitakis, O. Yenigun, T. Kindap, A. Ladstätter-Weissenmayer, A.F.A. Youssef, E.A Morsy, J.P Burrows, C. Zerefos, Spatial and temporal variability of NO₂ mixing ratios inferred from satellite and ground based observations above SE Europe: Role of Megacities, in the proceedings of the 7th International conference on Air quality – Science and application, 24-27 March 2009, Istanbul, ISBN: 978-1-905313-64-8, published by University of Hertfordshire, 2009

Wittrock F., A. Richter, H. Oetjen, J. P. Burrows, M. Kanakidou, S. Myriokefalitakis, R. Volkamer, S. Beirle, U. Platt, and T. Wagner, “Simultaneous global observations of glyoxal and formaldehyde From space”, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L16804, doi:10.1029/2006GL026310, 2006

Yurganov L. N. , W. McMillan, E. Grechko, and A. Dzhola
‘Analysis of global and regional CO burdens measured from space between 2000 and 2009 and validated by ground-based solar tracking spectrometers’, *Atmos. Chem. Phys.* 9, 24875-24911, 2009.

Zerefos C.S. et al., Photochemical Activity and Solar Ultraviolet Radiation (PAUR) Modulation Factors: An overview of the project, *J. Geophys. Res.*, 107(D18), 8134, doi:10.1029/2000JD000134, 2002.

Zyrichidou I., M. E. Koukouli, D. S. Balis, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou, I. Kioutsioukis, R.van der A, F. K. Boersma, M. van Roozendael, and A.Richter: Satellite observations and model simulations of tropospheric NO₂ columns over south-eastern Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, doi:10.5194, 6119-6134, 2009.

Πίνακας Πινάκων και Εικόνων

Εικόνα 17.1: α) Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες, 1979-2005, όπως προσδιορίζεται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS (http://asf-www.larc.nasa.gov/TOR/TOR_Data_and_Images.html), β) Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος τον Ιούλιο του 2005 (Duncan et al., 2008) σελ. 16

Εικόνα 1.2: Η συμμετρική δομή του μορίου του όζοντος σελ.17

Εικόνα 1.3: Μέση ετήσια παγκόσμια εκτίμηση της διαταραχής του ενεργειακού ισοζυγίου της ατμόσφαιρας για το 2005 για ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου (CH₄), πρωτοξειδίου του αζώτου (N₂O), αερολυμάτων και άλλων σημαντικών παραγόντων και μηχανισμών, σε συνδυασμό με τη γεωγραφική έκταση (χωρική κλίμακα) της διαταραχής και το εκτιμώμενο επίπεδο επιστημονικής κατανόησης του φαινομένου. Παρουσιάζεται επίσης η καθαρή διαταραχή του ενεργειακού ισοζυγίου από ανθρωπογενείς πηγές σε W m⁻² (IPCC, 2007). σελ.18

Εικόνα 1.4: Οριακές τιμές για εμφάνιση καταστροφών από το O₃ σε γεωργικές καλλιέργειες συναρτήσει του χρόνου έκθεσης των ειδών στο όζον. σελ.19

Εικόνα 1.5: Παγκόσμια κυκλοφορία αέριων μαζών. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Global_Circulation-DE.xcf.jpg) σελ.22

Εικόνα 1.6: Θερμός αέρας από τον Ισημερινό κινείται αναβατικά και κινείται προς τον πόλο, ψύχεται και εκτελεί καταβατική κίνηση σε περίπου 30° N, δημιουργώντας εκεί κέντρα υψηλών πιέσεων και στις περιοχές του Ισημερινού κέντρα χαμηλών πιέσεων, εκτελώντας μια κυκλοφορία γνωστή σαν κυψελίδα του Hadley. (<http://facweb.bhc.edu>) σελ.22

Εικόνα 1.7: Εικόνα του δορυφορικού αισθητήρα Seawifs, 25 Αυγούστου 2000. σελ.23

Εικόνα 1.8: α) Θετική φάση της NAO με ιδιαίτερα ανεπτυγμένο το βαρομετρικό υψηλό των Αζόρων και το βαρομετρικό χαμηλό της Ισλανδίας, β) Αρνητική φάση της NAO, τα βαρομετρικά συστήματα δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα (<http://www.ldeo.columbia.edu/NAO> by Martin Visbeck). σελ.24

Εικόνα 1.9: Εκτιμήσεις για την επίδραση των Ευρωπαϊκών ανθρωπογενών εκπομπών στα επίπεδα του επιφανειακού όζοντος τον Ιούλιο του 2001 (Duncan et al., 2008). σελ. 25

Εικόνα 1.10: Πορείες αέριων μαζών που αναφέρονται σε χρονικό διάστημα τριών ημερών κατά τη διάρκεια της καμπάνιας MINOS (Αύγουστος 2001), όπου σαν BL παρουσιάζεται το κατώτερο στρώμα της τροπόσφαιρας, MT η μέση τροπόσφαιρα και UT η ανώτερη. (Lelieveld et al. 2002) σελ.25

Εικόνα 1.11: Κατακόρυφη κατανομή τροποσφαιρικού όζοντος όπως μετρήθηκε από το πείραμα MINOS το 2001(+) και προσομοιώθηκε υπολογιστικά (κόκκινη γραμμή) από τους Roefols et al., 2003 σελ.27

Εικόνα 1.12: Μεταβολή του όζοντος με το υψόμετρο. σελ.28

Εικόνα 1.13: Η επίδραση στη συγκέντρωση του όζοντος από τα επίπεδα των NO_x και των VOC. σελ.33

Πίνακας 1.1: Παγκόσμιες εκπομπές CO όπως προσδιορίζονται από αριθμητικές προσομοιώσεις βασισμένες σε ανάλυση δορυφορικών δεδομένων τηλεπισκόπησης από τους αισθητήρες MOPITT, AIRS, SCIAMACHY και TES (Korac et al., 2010). σελ.39

Εικόνα 1.14: α) Μέσες τιμές του ολικού όζοντος στα τροπικά, μέσα, πολικά γεωγραφικά πλάτη βορείου ημισφαιρίου το μήνα Μάρτιο (Hudson et al., 2003), β) Κατακόρυφες κατανομές του όζοντος από ραδιοβολίσαις που πραγματοποιήθηκαν Μάρτιο μεταξύ 1985 και 1990 (Hudson et al. 2003). σελ.40

Εικόνα 1.15: Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος σύμφωνα με μετρήσεις του δορυφορικού αισθητήρα GOME, ραδιοβολίσαις και Lidar, στα Νοπήγια της Κρήτης (Ladstaetter-Weissenmayer et al., 2007). σελ.41

Εικόνα 3.1: Δίκτυο σταθμών ατμοσφαιρικών μετρήσεων του EMEP για το έτος 2006. (<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/reports/cccr2-2006.pdf>) σελ.44

Εικόνα 3.2: α) Ο σταθμός της Φινοκαλιάς. β) Ο σταθμός του Giordan Lighthouse στο Gozo. σελ.45

Εικόνα 3.3: Τρεις διαφορετικοί τρόποι δορυφορικής τηλεπισκόπησης με τη μέθοδο: α) ναδίρ (nadir mode), β) εφαπτομένης (limb mode), γ) έκλειψης (occultation mode) και δ) συνδυαστική χρήση των γεωμετριών limb και nadir από τον δορυφορικό αισθητήρα SCIAMACHY (<http://www.iup.physic.uni-bremen.de/SCIAMACHY/instrument/modes/index.html>). σελ.47

Εικόνα 3.4: Ο αισθητήρας GOME, (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>). σελ.49

Εικόνα 3.5: Τροχιά του GOME σύγχρονη με τον ήλιο. (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>) σελ.49

Εικόνα 3.6: Ο GOME πάνω στον δορυφόρο ESA (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>). σελ.50

Εικόνα 3.7: Δύο επιτυχείς σαρώσεις του GOME. Η προς τα εμπρός σάρωση αποτελείται από ένα ανατολικό (E), ένα ναδίρ (N) και ένα δυτικό (W) pixels και ακολουθείται από οπισθοσάρωση (B). (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/>) σελ.50

Εικόνα 3.8: Ο δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY επιβιβασμένος στον δορυφόρο Envisat (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/images/envisat2esrin.gif>) σελ.51

Εικόνα 3.9: Ο δορυφορικός αισθητήρας SCIAMACHY (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/images/envisat2esrin.gif>) σελ.51

Εικόνα 3.10: Το φάσμα απορρόφησης της γήινης ατμόσφαιρας όπως παρατηρείται από τον SCIAMACHY. (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/instrument/introduction/index.html>) σελ.52

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικές παράμετροι της τροχιάς του δορυφόρου Envisat (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/instrument/mode/index.html>) σελ.52

Εικόνα 3.11: Η διαδρομή του φωτός κατά μήκος της SC (slant column) και κατακόρυφη ατμοσφαιρική στήλη VC (vertical column). σελ.54

Εικόνα 3.12: Ο TERRA τοποθετείται στον πύραυλο
(<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>) σελ.55

Εικόνα 3.13: Η διαδρομή την οποία ακολουθεί η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από ένα κελί το οποίο περιέχει CO ή CH₄. Το μήκος ή η πίεση του κελιού αυξομειώνονται κατάλληλα πράγμα που οδηγεί σε αυξομείωση της αδιαφάνειας του κελιού στις συχνότητες απορρόφησης του υπό μελέτη αερίου.
(<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>) σελ.56

Εικόνα 3.14: Ο MOPITT έχει 8 κανάλια που χωρίζονται σε δύο οπτικές ζώνες
(<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>) σελ.57

Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά των 8 καναλιών του MOPITT,
(<http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MOPITT/instr/index.html>) σελ.58

Εικόνα 3.15: Η εικόνα δείχνει μια στήλη αέρα 10°x5°, στον Καναδά. Αν όλη η ατμοσφαιρική στήλη συμπιεστεί σε κανονικές συνθήκες δημιουργεί μια πλάκα ύψους 3mm που αντιστοιχεί περίπου σε 300DU όζοντος
σελ.60

Πίνακας 3.3 Εκτιμήσεις των σφαλμάτων των μέσων μηνιαίων τιμών των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος, της φορμαλδεΐδης, του διοξειδίου του αζώτου και της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, σε ανάλυση 6°x4° (γεωγραφικό μήκος x γεωγραφικό πλάτος)
σελ.64

Εικόνα 3.16: Διαχωρισμός της ατμόσφαιρας σε κουτιά στα Tracer Models (TM)
σελ.65

Εικόνα 4.1. Οι τοποθεσίες της ανατολικής Μεσογείου για τις οποίες προσδιορίστηκαν η ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος και οι τροποσφαιρικές στήλες του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΐδης
σελ.71

Εικόνα 4.2: Ενδεικτικός χάρτης πυκνότητας πληθυσμού,
(http://veimages.gsfc.nasa.gov/116/pop_density.jpg) σελ.71

Πίνακας 4.1: Οι τοποθεσίες της ανατολικής Μεσογείου για τις οποίες προσδιορίστηκαν η ολική ατμοσφαιρική στήλη του όζοντος (2000-2002) και του μονοξειδίου του άνθρακα (2000-2008), καθώς επίσης και οι τροποσφαιρικές στήλες του όζοντος (1979-2005), του διοξειδίου του αζώτου και της φορμαλδεΐδης (1996-2007)
σελ.72

Εικόνα 4.3: Η ολική ατμοσφαιρική κολώνα του όζοντος όπως παρατηρήθηκε από τον Gome στις υπό μελέτη περιοχές, 2000-2002
σελ.73

- Πίνακας 4.2: Μέγιστες και ελάχιστες μέσες τιμές ανά μήνα, των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος σε κάθε μία από τις 14 υπό μελέτη περιοχές, από τον ΤΟΜΣ, κατά το χρονικό διάστημα 1979-2005 σελ. 75
- Πίνακας 4.2α: Η μέση χειμερινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005 σελ.76
- Πίνακας 4.2β: Η μέση ανοιξιάτικη τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005 σελ.77
- Πίνακας 4.2γ : Η μέση καλοκαιρινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005 σελ.78
- Πίνακας 4.2δ: Η μέση φθινοπωρινή τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεσος τιμή του τροποσφαιρικού όζοντος, σε DU, 1979-2005 σελ.78
- Εικόνα 4.4: Μέσοι όροι των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, ανά μήνα, ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.80
- Εικόνα 4.5: Εποχική διακύμανση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένη βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.81
- Εικόνα 4.6α: Μέσες χειμωνικές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, και Φεβρουαρίου, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.82
- Εικόνα 4.6β: Μέσες ανοιξιάτικες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Μαρτίου, Απριλίου και Μαΐου, σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.82
- Εικόνα 4.6γ: Μέσες καλοκαιρινές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.83
- Εικόνα 4.6δ: Μέσες φθινοπωρινές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος υπολογισμένες βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών Σεπτεμβρίου, Οκτωβρίου και Νοεμβρίου σε 14 επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως αυτές καταγράφονται από το δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.83
- Εικόνα 4.7 Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος σε DU όπως υπολογίζεται από τον δορυφορικό αισθητήρα ΤΟΜΣ για: α) Αθήνα-Κωνσταντινούπολη, β) Αθήνα και Φινοκαλιά, γ) Αθήνα και Ρώμη, και δ) Αθήνα και Κάιρο, κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1979-2005 σελ.85
- Εικόνα 4.8: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, ΤΟΜΣ, 1979-2005 σελ.88
- Εικόνα 4.9: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, ΤΟΜΣ, 1979-2005. Στις λεζάντες δεξιά, αναγράφεται ο μέσος όρος που χρησιμοποιήθηκε για την κανονικοποίηση σε κάθε επιλεγμένη τοποθεσία σελ.90

- Πίνακας 4.3: Διαχρονικές τάσεις μεταβλητότητας των μέσων ετήσιων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, για την περίοδο 1979-2005 και τυπικό σφάλμα στον προσδιορισμό της τάσης σελ.91
- Εικόνα 4.9α: Κανονικοποιημένες μέσες εποχικές τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, TOMS, 1979-2005 σελ.92
- Εικόνα 4.10: Τροποσφαιρική στήλη του NO₂ από τον δορυφορικό αισθητήρα GOME, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, 1996-2002 σελ.96
- Εικόνα 4.11: Τροποσφαιρική στήλη του NO₂ από τον δορυφορικό αισθητήρα SCIAMACHY, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, 2003-2007 σελ.96
- Εικόνα 4.12: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη του NO₂ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25°x0.25°, από τον GOME σελ.97
- Εικόνα 4.13: Μέσοι όροι-ανά μήνα- των μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, από τον GOME και κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 2003-2007 από τον SCIAMACHY σελ.98
- Εικόνα 4.14: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ όπως καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007 σελ.103
- Πίνακας 4.4: Το εύρος των μέσων ετήσιων τιμών του NO₂ σε 10¹⁵ molecules/cm², όπως αυτό προσδιορίστηκε βάσει των μέσων μηνιαίων τιμών της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY σελ.105
- Εικόνα 4.15: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME: 1996-2002 και SCIAMACHY: 2003-2007 σελ.106
- Εικόνα 4.186: Η τροποσφαιρική στήλη της HCHO από τον GOME, σε ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25° x 0.25°, 1996-2002 σελ.113
- Εικόνα 4.17: Η τροποσφαιρική στήλη της HCHO από τον SCIAMACHY, ανάλυση γεωγραφικής ευκρίνειας 0.25° x 0.25°, 2003-2007 σελ.113
- Πίνακας 4.18: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη της HCHO κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1996-2002, από τον GOME σελ.114
- Εικόνα 4.19: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, ανά μήνα, όπως προσδιορίζονται κατά μέσο όρο για το χρονικό διάστημα 1996-2002 από τον GOME και το χρονικό διάστημα 2003-2007 από τον SCIAMACHY σελ.115
- Εικόνα 4.20: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως καταγράφονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007 σελ.119
- Εικόνα 4.21: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME 1996-2002 και SCIAMACHY 2003-2007 σελ.121

- Εικόνα 4.22: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO για τους μήνες του 2005, από τον MORITT (http://www.acd.ucar.edu/mopitt/MORITT/data/plots/maps_mon.html) σελ.123
- Εικόνα 4.23: Οι μέσες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO, ανά μήνα, όπως καταγράφονται κατά μέσο όρο για το χρονικό διάστημα 2000—2008 από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT σελ.126
- Εικόνα 4.24: Μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα σε επιλεγμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, όπως καταγράφονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT, 2000-2008 σελ.128
- Εικόνα 4.25: Μέσες ετήσιες κανονικοποιημένες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO, από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT, 2000-2008 σελ.130
- Πίνακας 4.5: Διαχρονική τάση μεταβλητότητας της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, όπως αυτές υπολογίζονται από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης του δορυφορικού αισθητήρα MORITT, 2000-2008 σελ.132
- Εικόνα 4.26: α) Τομείς προέλευσης αέριων μαζών που φτάνουν στη Θεσσαλονίκη, β) Τομείς προέλευσης αέριων μαζών που φτάνουν στη Φινοκαλιά σελ.134
- Εικόνα 4.27: Ταξινόμηση οπισθοτροχιών των αέριων μαζών ανά τομέα προέλευσης και ανά μήνα, που προσεγγίζουν στα 3000m: α) την Φινοκαλιά, β) την Θεσσαλονίκη σελ.134
- Εικόνα 4.28 :Η τροποσφαιρική στήλη:α) NO₂ και β) HCHO, στη Φινοκαλιά Κρήτης, από τον GOME για το χρονικό διάστημα 1996-2002, σαν συνάρτηση της κατεύθυνσης του ανέμου σελ.135
- Εικόνα 4.29: Τροποσφαιρική στήλη NO₂ όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά μήνα και ανά τομέα προέλευσης του ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη. Οι μπάρες δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις.(Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια) σελ.136
- Εικόνα 4.30: Τροποσφαιρική κολώνα NO₂, όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά τομέα προέλευσης του ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη.(Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια) σελ.137
- Εικόνα 4.31 Τροποσφαιρική στήλη HCHO όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά μήνα και ανά τομέα προέλευσης ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002: α) πάνω από την Φινοκαλιά, β) πάνω από την Θεσσαλονίκη. Οι μπάρες δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις σελ.139
- Εικόνα 4.32: Τροποσφαιρική κολώνα HCHO, όπως παρατηρήθηκε από τον GOME ανά τομέα προέλευσης ανέμου κατά την διάρκεια της τριετίας 2000-2002, α)πάνω από την Φινοκαλιά, β)πάνω από την Θεσσαλονίκη.(Η κλίμακα που έχει χρησιμοποιηθεί στις παραπάνω εικόνες δεν είναι ίδια) σελ.140
- Εικόνα 5.1 Οι υπό μελέτη περιοχές της ανατολικής Μεσογείου σελ.145
- Πίνακας 5.1: Οι υπό μελέτη περιοχές της ανατολικής Μεσογείου σελ.145
- Εικόνα 5.2: Μέσες μηνιαίες τιμές της στήλης του τροποσφαιρικού όζοντος από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα. από το έτος 2000 έως και το 2005 σελ.147

Εικόνα 5.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή Κων/πολης – Βορειοανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005 σελ.149

Εικόνα 5.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005

σελ.150

Εικόνα 5.5: Μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή της Κρήτης και του Νότιο ανατολικού Αιγαίου, από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2005 σελ.151

Πίνακας 5.2: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος, στις δύο πρώτες στήλες του πίνακα 2, αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2005, ενώ οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές αντίστοιχα αναφέρονται στη μέση τιμή των μεγίστων και των ελαχίστων μέσων μηνιαίων τιμών που σημειώθηκαν στο παραπάνω χρονικό διάστημα, σε DU σελ.152

Πίνακας 5.3: Για την ευθεία συσχέτισης των μέσων μηνιαίων τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος από το TM4 και τον TOMS από το 2000 ως και το 2005 παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης, η κλίση της ευθείας συσχέτισης, το ύψος τομής του άξονα y' από την ευθεία συσχέτισης και η μέση απόλυτη επί τοις εκατό διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος στις υπό μελέτη περιοχές

σελ.152

Εικόνα 5.6: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του όζοντος από το TM4 και τον TOMS στην : α) Κεντρικής Ελλάδα, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο σελ.153

Εικόνα 5.7 Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές κολώνες του όζοντος όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2005 σελ.154

Πίνακας 5.4: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του όζοντος στην περιοχή της Κρήτης και του νοτιοανατολικού Αιγαίου μετρημένες σε Dobson Units (DU) όπως προβλέπονται από το μοντέλο TM4 και όπως μετρούνται από τον δορυφορικό αισθητήρα TOMS σελ.154

Εικόνα 5.8: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το αζώτου, NO_2 , όπως αυτές παρατηρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα, από το έτος 2000 έως και το 2007 σελ.155

Εικόνα 5.9: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το αζώτου, NO_2 , όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κων/πολης, Β.Α. Αιγαίου και Σμύρνης από το έτος 2000 έως και το 2007 σελ.156

Εικόνα 5.10: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το Αζώτου, NO₂, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και υπολογίζονται από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου σελ.157

Εικόνα 5.11: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου το Αζώτου, NO₂, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην Κρήτη και το Ν.Α. Αιγαίο σελ.158

Πίνακας 5.5: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου μετρημένες σε 10¹⁵ molecules/cm² όπως προσομοιώνονται από το μοντέλο TM4 (200-2007) και όπως μετρούνται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME (2000-2002)και SCIAMACHY (2003-2007) σελ.159

Πίνακας 5.6: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης του NO₂ επί10¹⁵ molecules/cm² αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007 για το TM4 και στα χρονικά υποδιαστήματα :2000-2002 για τον GOME και 2003-2007 για τον SCIAMACHY σελ.159

Εικόνα 5.12: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του αζώτου από το TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME-1 και SCIAMACHY στην :α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο σελ.160

Εικόνα 5.13: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές στήλες του NO₂ όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2007 σελ.162

Εικόνα 5.14: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην Κεντρική Ελλάδα, από το έτος 2000 έως και το 2007 σελ.163

Εικόνα 5.15: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κωνσταντινούπολης, ΒΑ Αιγαίου και Σμύρνης, από το έτος 2000 έως και το 2007 σελ.164

Εικόνα 5.16: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 από το έτος 2000 έως και το 2007, στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου σελ.165

Εικόνα 5.17: Μέσες μηνιαίες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, όπως αυτές αποδίδονται από τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME - SCIAMACHY και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 , στην περιοχή Κρήτης και Νότιο ανατολικού Αιγαίου από το έτος 2000 έως και το 2007 σελ.166

Πίνακας 5.7: Μέσες ετήσιες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της φορμαλδεΐδης, HCHO, μετρημένες σε 10^{15} molecules/cm² όπως προσομοιώνονται από το μοντέλο TM4 και όπως ανακτώνται από τον δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY
σελ.167

Πίνακας 5.8: Οι μέσες τιμές της τροποσφαιρικής στήλης της HCHO επί 10^{15} molecules/cm² αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007 για το TM4 και στα χρονικά υποδιαστήματα :2000-2002 για τον GOME και 2003-2007 για τον SCIAMACHY
σελ.167

Εικόνα 5.18: Η τάση της τροποσφαιρικής στήλης του διοξειδίου του αζώτου όπως υπολογίζεται με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του αζώτου από το TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY στην : α) Κεντρικής Ελλάδας, β) Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ) Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ) Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο
σελ.168

Εικόνα 5.19: Κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τροποσφαιρικές κολώνες της HCHO όπως αυτές προσδιορίζονται από το μοντέλο TM4 και τους δορυφορικούς αισθητήρες GOME και SCIAMACHY για τις περιοχές: α) Κεντρική Ελλάδα, β) Κωνσταντινούπολη και ΒΑ Αιγαίο πέλαγος, γ) Εκτεταμένη περιοχή του Καΐρου, δ) Κρήτη και ΝΑ Αιγαίο, από 2000 ως και 2007
σελ.169

Εικόνα 5.20: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα CO, σε 10^{17} molecules/cm² όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, από το έτος 2000 έως και το 2007
σελ.170

Εικόνα 5.21: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην περιοχή Κωνσταντινούπολης – Βόρειου ανατολικού Αιγαίου και Σμύρνης, από το έτος 2000 έως και το 2007
σελ.171

Εικόνα 5.22: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην ευρύτερη περιοχή του Καΐρου, από το έτος 2000 έως το 2007
σελ.172

Εικόνα 5.23: Μέσες μηνιαίες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα, CO, σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT και από το μοντέλο χημείας και μεταφοράς TM4 στην ευρύτερη περιοχή Κρήτης και Νοτιοανατολικού Αιγαίου, από το έτος 2000 έως και το 2007
σελ.173

Πίνακας 5.9: Για την ευθεία συσχέτισης των μέσων μηνιαίων ολικών ατμοσφαιρικών στηλών του μονοξειδίου του άνθρακα του TM4 και του MORITT παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης, η κλίση της ευθείας συσχέτισης, το ύψος του άξονα y' y στο οποίο τον τέμνει η ευθεία συσχέτισης και η μέση απόλυτη επί τοις εκατό διαφορά των ατμοσφαιρικών στηλών του CO στις υπό μελέτη περιοχές, από το 2000 ως και το 2007
σελ.173

Πίνακας 5.10 Μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σε 10^{17} molecules/cm², όπως αυτές υπολογίζονται από το TM4 και όπως αποδίδονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT σελ.174

Πίνακας 5.11: Οι μέσες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO σε 10^{17} molecules/cm², αναφέρονται σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα από το έτος 2000 ως και το 2007 σελ.174

Εικόνα 5.24: Οι μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε 10^{17} molecules/cm², όπως υπολογίζονται από το TM4 και όπως καταγράφονται από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT στην: α)Κεντρική Ελλάδα, β)Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ)Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ)Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο σελ.175

Εικόνα 5.25 Οι κανονικοποιημένες μέσες ετήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του (CO), από το TM4 και από τον δορυφορικό αισθητήρα MORITT στην: α)Κεντρική Ελλάδα, β)Κων/πολη, ΒΑ Αιγαίο και στη Σμύρνη, γ)Ευρύτερη περιοχή του Καΐρου και δ)Κρήτη και στο Νότιο ανατολικό Αιγαίο σελ.176

Εικόνα 5.26: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων επιφανειακών τιμών όζοντος, μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και μετρήσεων εδάφους που πραγματοποιήθηκαν α)στη Φινοκαλιά, β) στο Giordan Lighthouse, γ) στην Αγία Μαρίνα και δ) στο Sarachane (Κωνσταντινούπολη Sarachane (Κωνσταντινούπολη) σελ.178

Εικόνα 5.27: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων επιφανειακών τιμών NO₂, μεταξύ των αποτελεσμάτων του TM4 και μετρήσεων εδάφους που πραγματοποιήθηκαν στη Φινοκαλιά από τον Ιούνιο του 2001 ως τον Σεπτέμβριο του 2003 σελ.179

Πίνακας 5.12: Το (+) δηλώνει ότι το μοντέλο TM4 υπερεκτιμά τις μέσες ετήσιες τιμές για την υπό μελέτη ένωση συγκριτικά με το δορυφορικό αισθητήρα, το (-) δηλώνει ότι το TM4 υποεκτιμά, ενώ το μηδέν (0) δηλώνει ότι οι προσομοιώσεις του μοντέλου και οι δορυφορικές μετρήσεις διαφέρουν λιγότερο από 10% σελ.182

Εικόνα 6.1: Αριθμός καύσεων βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο, ανά έτος, από τον World Fire Atlas (<http://wfaa-dat.esrin.esa.int/>) σελ.184

Εικόνα 6.2: Seawifs, 13/7/2000, Πυρκαγιά της Πελοποννήσου (visibleearth.nasa.gov/) σελ.186

Εικόνα 6.3: Seawifs, 8/7/2000, Η πυρκαγιά της Σάμου

(www.navis.gr/space/greece/10htm) σελ.186

Εικόνα 6.4: Ο αριθμός των στρεμμάτων που κάηκαν συνολικά σε όλες τις πυρκαγιές που σημειώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο τον Ιούλιο του 2000 σελ.187

Εικόνα 6.5: Η τροποσφαιρική στήλη του όζοντος στην Φινοκαλιά κατά τη διάρκεια του Ιουλίου του 2000 σελ.187

Εικόνα 6.6: Το τροποσφαιρικό ύψος στην περιοχή της Φινοκαλιάς όπως αυτό προσδιορίστηκε από ραδιοβολίσεις με χρήση διαγραμμάτων θερμοκρασίας και από αριθμητικές προσομοιώσεις σελ.187

Εικόνα 6.7: Η συγκέντρωση εδάφους του όζοντος (ppbv) στην Φινοκαλιά και οι οπισθοπορείες της τροχιάς του ανέμου, σε ύψος 2, 3 και 5Km, τον Ιούλιο του 2000

σελ.188

- Εικόνα 6.8: Οι εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών που ξεκινούσαν από τα σημεία των καύσεων, στα 3000m και στα 1000m στις 11 Ιουλίου 2000 σελ.188
- Εικόνα 6.9: Οι εμπροσθοπορείες των αέριων μαζών που ξεκινούσαν από τα σημεία των καύσεων, στα 3000m και στα 1000m στις 14 Ιουλίου 2000 σελ.188
- Εικόνα 6.10: Η συγκέντρωση του όζοντος σε ppbν στην Φινοκαλιά και στο El Greco κατά την εκτέλεση του δρομολογίου Ηράκλειο-Θεσσαλονίκη τον Ιούλιο του 2000 (Κουvarakis et al., 2002) σελ.189
- Εικόνα 6.11: Η συγκέντρωση εδάφους του μονοξειδίου του αζώτου σε ppbν όπως μετρήθηκε στην Φινοκαλιά τον Ιούλιο του 2000, (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα) σελ.190
- Εικόνα 6.12: Η συγκέντρωση εδάφους του διοξειδίου του αζώτου σε ppbν όπως μετρήθηκε στην Φινοκαλιά τον Ιούλιο του 2000, (Μιχαλόπουλος, αδημοσίευτα δεδομένα) σελ.190
- Εικόνα 6.12α: Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO στο σταθμό της Φινοκαλιάς του Ιούλιο του 2000 σελ.190
- Εικόνα 6.13: Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και μονοξειδίου του άνθρακα στην Φινοκαλιά κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος έντονων καύσεων βιομάζας, 10-12 Ιουλίου 2000 σελ.192
- Εικόνα 6.14: Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων όζοντος και μονοξειδίου του άνθρακα στην Φινοκαλιά κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος 10-31 Ιουλίου 2000 σελ.192
- Εικόνα 6.15: Τροποσφαιρική στήλη του διοξειδίου του αζώτου, όπως υπολογίζεται από τον GOME στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων καύσεων βιομάζας: α) 13-16 Ιουλίου και β) 18-28 Ιουλίου σελ.192
- Εικόνα 6.16 Τροποσφαιρική στήλη της φορμαλδεΐδης, όπως υπολογίζεται από τον GOME στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων καύσεων βιομάζας: α) 13-16 Ιουλίου και β) 18-28 Ιουλίου σελ.192
- Πίνακας 6.1: Τροποσφαιρικές στήλες O₃, NO₂, HCHO στην Φινοκαλιά κάτω από επιλεγμένες συνθήκες της προέλευσης των αέριων μαζών που φτάνουν στην Φινοκαλιά. Υψηλότερες τιμές παρατηρούνται όταν οι άνεμοι είναι βόρειας προέλευσης σελ.193
- Εικόνα 6.17: Καύσεις βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο, 26 Αυγούστου 2007 (http://mreugenides.blogspot.com/2007_08_01_archive.html) σελ.193
- Εικόνα 6.18: Η συγκέντρωση εδάφους του όζοντος και η κατεύθυνση του ανέμου στο Gozo (Raymond Ellul, αδημοσίευτα δεδομένα) σελ.194
- Εικόνα 6.19: Οπισθοπορείες αέριων μαζών που καταλήγουν στο Gozo στα 1000, 2000, 3000m, στις 25 Αυγούστου 2007 σελ.195
- Εικόνα 6.20: Ολική ατμοσφαιρική στήλη του μονοξειδίου του άνθρακα για α) Την 19^η Αυγούστου 2007 και β) Την 26^η Αυγούστου 2007 σελ.195
- Πίνακας 6.2: Μέσες ημερήσιες τιμές της ολικής ατμοσφαιρικής στήλης του CO την 19^η και την 26^η Αυγούστου, καθώς και η επί τοις 100 διαφορά τους σελ.196

Πίνακας 6.3: Η επιφανειακή συγκέντρωση του όζοντος, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe
σελ.197

Εικόνα 6.21: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του όζοντος, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000
σελ.198

Εικόνα 6.22 Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του όζοντος μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4-without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000
σελ.198

Εικόνα 6.23: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000
σελ.199

Εικόνα 6.24: Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του διοξειδίου του αζώτου μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000
σελ.199

Πίνακας 6.4: Η επιφανειακή συγκέντρωση του NO₂, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών του NO₂, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe
σελ.199

Εικόνα 6.25: Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης της HCHO, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000
σελ.200

Εικόνα 6.26: Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών της HCHO μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την ΜΠίνακας 6.5: Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών της HCHO, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe
σελ.200

Πίνακας 6.5: Η επιφανειακή συγκέντρωση της HCHO, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία μεταβολή των τροποσφαιρικών στηλών της HCHO, όταν από την κύρια προσομοίωση αφαιρεθούν τα αποτελέσματα της TM4_wbbe.
σελ.201

Εικόνα 6.27 Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του CO, TM4-TM4_wbbe, σε ppbv, τον Ιούλιο του 2000
σελ.202

Εικόνα 6.28 Ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του CO μεταξύ της κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions, πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο τον Ιούλιο του 2000
σελ.202

Πίνακας 6.6: Η επιφανειακή συγκέντρωση του CO, η μεταβολή της, η επί τοις εκατό μεταβολή της και η ποσοστιαία διαφορά των τροποσφαιρικών στηλών του CO μεταξύ κύριας προσομοίωσης του TM4 και της προσομοίωσης του TM4_without biomass burning emissions
σελ.202

Πίνακας 6.7: Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε Wm^{-2} λόγω των αερολυμάτων, υπολογισμένη από το Radiative Forcing v1 και από το Radiative Forcing v2, στα 550nm στην περιοχή της Αθήνας σελ.207

Εικόνα 6.29: Κατακόρυφες κατανομές του όζοντος όπως προσδιορίστηκαν από το Lidar πάνω από την περιοχή της Αθήνας αναφορικά με την Εποχή και με την κατεύθυνση προέλευσης των αέριων μαζών, όπου είναι :B) Καλοκαίρι, άνεμοι βόρειας προέλευσης, C) Καλοκαίρι, άνεμοι νότιας προέλευσης, D) Φθινόπωρο, άνεμοι βόρειας προέλευσης, E) Φθινόπωρο, άνεμοι Νότιας προέλευσης και F) Χειμώνας, άνεμοι βόρειας προέλευσης σελ.208

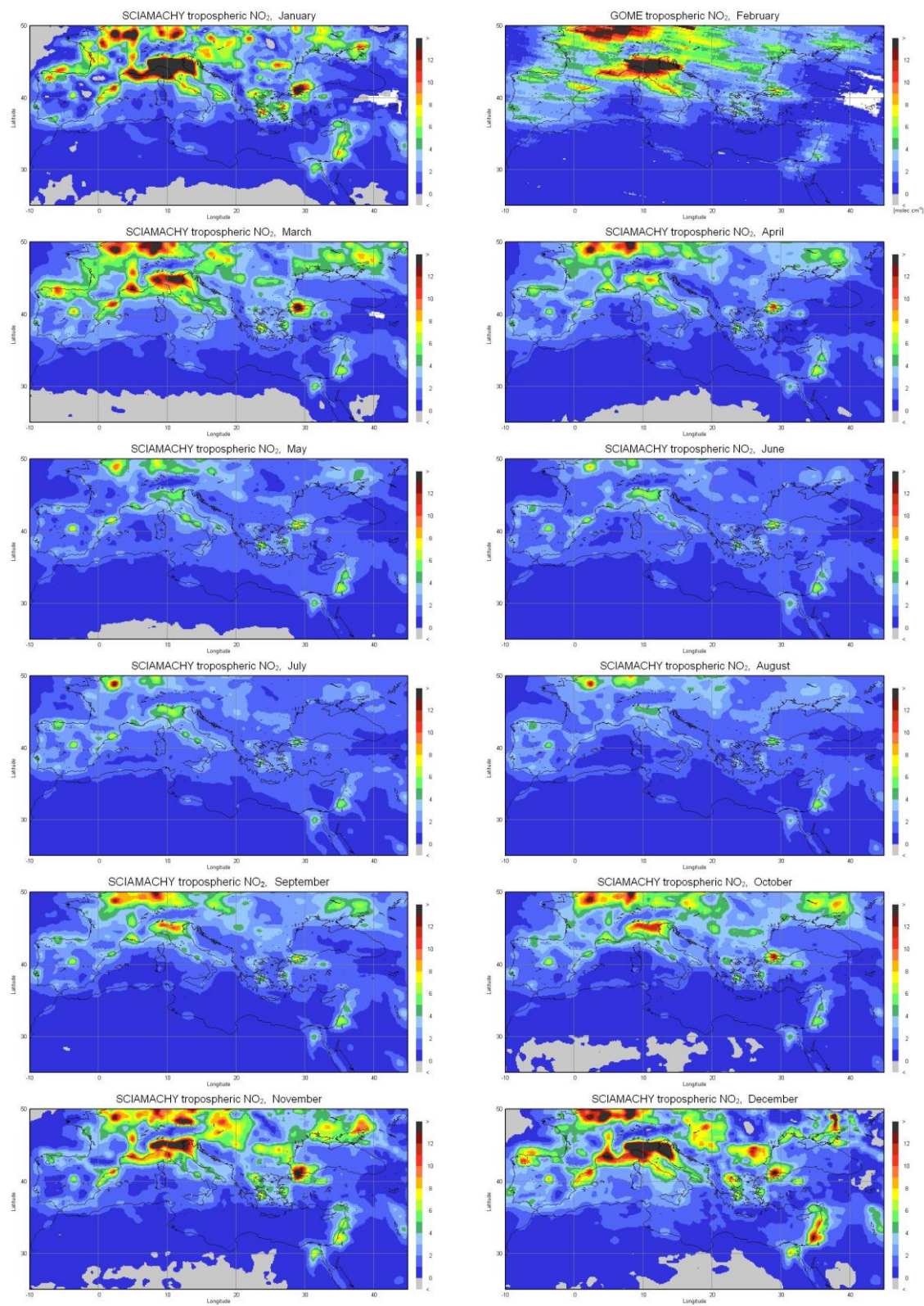
Εικόνα 6.30 Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίζεται από το TM4, η οποία προκαλείται από τις καύσεις βιομάζας και οφείλεται στο τροποσφαιρικό όζον, τον Ιούλιο του 2000 σελ.209

Εικόνα 6.31: Η ενεργειακή διαταραχή στην κορυφή της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίζεται από το TM4, η οποία προκαλείται από τις καύσεις βιομάζας και οφείλεται στα σωματίδια, τον Ιούλιο του 2000 σελ.209

Παράρτημα

Παράρτημα I

Πίνακας I: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη του NO₂ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 2003-2007, από τον αισθητήρα SCIAMACHY.



Παράρτημα II

Πίνακας II: Μέση μηνιαία τροποσφαιρική στήλη της HCHO κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 2003-2007, από τον αισθητήρα SCIAMACHY.

