

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
<<ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ>>

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πλανητική κατανομή και χρονική μεταβλητότητα της  
λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων βάσει  
δορυφορικών δεδομένων OMI (Ozone Monitoring Instrument)**

**Δρακούσης Περικλής**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **ΧΑΤΖΗΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ** (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)



**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2021**



## Περιεχόμενα

---

Περιεχόμενα .....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	7
Περίληψη .....	9
Abstract .....	11
ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ -ΑΚΡΟΝΥΜΩΝ.....	13
Εισαγωγή.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ιδιότητες των Αερολυμάτων .....	19
1.1 Ορισμός Αερολυμάτων και γενικά χαρακτηριστικά .....	19
1.2 Κατηγοριοποίηση αερολυμάτων .....	20
1.2.1 Με βάση τον τρόπο που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα .....	20
1.2.2 Με βάση το μέγεθος.....	21
1.3 Πηγές και είδη αερολυμάτων .....	22
1.3.1 Θαλάσσια αερολύματα (Θαλάσσιο άλας, Sea Salt) .....	23
1.3.2 Αερολύματα Σκόνης (Mineral Dust).....	23
1.3.3 Θεικά αερολύματα (Sulfate Aerosol).....	24
1.3.4 Νιτρικά αερολύματα (Nitrate aerosols).....	25
1.3.5 Αερολύματα (Μαύρου και Οργανικού) Άνθρακα (Carbonaceous particles) .....	25
1.4 Περιοχικός διαχωρισμός των αερολυμάτων .....	26
1.4.1 Αερολύματα αστικών (βιομηχανικών) περιοχών .....	26
1.4.2 Αερολύματα αγροτικών περιοχών.....	27
1.4.3 Αερολύματα θαλάσσιων περιοχών.....	27
1.4.4 Αερολύματα ερημικών περιοχών .....	27
1.5 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αερολυμάτων από την ατμόσφαιρα .....	28
1.5.1 Ξηρή εναπόθεση.....	28
1.5.2 Υγρή εναπόθεση.....	29
1.6 Οπτικές Ιδιότητες Αερολυμάτων .....	29
1.6.1 Ορισμοί Εξασθένησης - Απορρόφησης - Σκέδασης της Ακτινοβολίας και Νόμος BEER-LAMBERT .....	29
1.6.2 Οπτικό βάθος (και πάχος) των αερολυμάτων .....	31
1.6.3 Λευκαύγεια Μεμονωμένης Σκέδασης (Single Scattering Albedo).....	31
1.6.4 Εκθετικός Παράγοντας Ångström.....	32

Κεφάλαιο 2. Περιγραφή Δεδομένων και Μεθοδολογία.....	33
2.1 Δεδομένα.....	33
2.1.1 Δορυφορικά Δεδομένα OMI (Ozone Monitoring Instrument).....	33
2.1.2 Δεδομένα από επίγειους σταθμούς Aerosol Robotic NETwork (AERONET) .....	35
2.2 Μεθοδολογία.....	37
2.2.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων OMI με τα επίγεια δεδομένα του AERONET .....	37
2.2.2 Κλιματολογική ανάλυση .....	39
2.3 Περιοχές ενδιαφέροντος μελέτης.....	41
Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	43
3.1 Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων OMI με τα επίγεια δεδομένα AERONET.....	43
3.1.1 Διαθεσιμότητα δορυφορικών και επίγειων δεδομένων SSA για σύγκριση OMI-AERONET .....	43
3.1.2 Σύγκριση συνόλου δεδομένων SSA OMI – AERONET σε ετήσια βάση.....	45
3.1.3 Σύγκριση συνόλου δεδομένων SSA OMI – AERONET σε εποχική βάση.....	47
3.1.4 Σύγκριση δεδομένων SSA OMI – AERONET για μεμονωμένους σταθμούς .....	50
3.1.5 Σύγκριση δεδομένων SSA OMI – AERONET για μεμονωμένους σταθμούς σε εποχική βάση.....	58
3.2 Κλιματολογία λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων δορυφορικών δεδομένων OMI (Ozone monitoring Instrument) .....	61
3.2.1 Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε ετήσια βάση .	61
3.2.2 Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε μηνιαία και εποχική βάση.....	63
3.2.3 Απόλυτη και Σχετική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης.....	73
3.2.4 Απόλυτη και σχετική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε εποχική βάση.....	74
3.3 Αποτελέσματα σε περιοχικό επίπεδο .....	77
3.3.1 Σαχάρα .....	78
3.3.2 Περιοχή Κεντρικής Αφρικής.....	79
3.3.3 Περιοχή νότιας Αφρικής .....	81
3.3.4 Αραβική Χερσόνησος .....	82
3.3.5 Περιοχή του Βορείου Τροπικού Ατλαντικού .....	84
3.3.6 Νότιο-Ανατολικός Ατλαντικός .....	85
3.3.7 Λεκάνη του Αμαζονίου .....	87
3.3.8 Ευρώπη.....	89
3.3.9 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	90



3.3.10 Κίνα.....	92
3.3.11 Ινδία.....	93
3.3.12 Έρημος Τακλαμακάν.....	95
3.3.13 Έρημος Γκομπη.....	97
3.3.14 Έρημος Ταρ.....	98
3.3.15 Ινδονησία-Μαλαισία .....	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Σύνοψη – Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	102
Παραρτήματα .....	105
Βιβλιογραφία.....	114



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΠΜΣ) «Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον» του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικολάου Χατζηαναστασίου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Επιπρόσθετα, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Υποψήφιο Διδάκτορα Μάριο-Bruno Korras-Carraca, που συνέβαλε πολύ σημαντικά ώστε η παρούσα εργασία να ολοκληρωθεί και ήταν πάντα πρόθυμος να βοηθήσει και να μου μεταδώσει τις γνώσεις του.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου, τους φίλους, συμμαθητές και συναδέλφους που μου στάθηκαν και που με τη στήριξη, την κατανόηση και τις συμβουλές τους κατάφερα να ανταπεξέλθω σε όσες δυσκολίες προέκυψαν κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.



## Περίληψη

---

Οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων είναι απαραίτητες για τη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου του κλίματος και του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας, δεδομένου ότι καθορίζουν ποιοτικά και ποσοτικά την αλληλεπίδραση μεταξύ αερολυμάτων και ακτινοβολίας. Η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης, η οποία ποσοτικοποιεί την ικανότητα σκέδασης/απορρόφησης των αερολυμάτων, είναι παράγοντας καθοριστικής σημασίας για την επίδραση των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο και το κλίμα του Πλανήτη μας.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας είναι η κλιματολογική μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης (Single Scattering Albedo, SSA) των αερολυμάτων σε παγκόσμια κλίμακα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα δορυφορικών προϊόντων του Ozone monitoring Instrument (OMI). Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα μέσα ημερήσια δεδομένα (OMAERUVd L3 PGE Version V1.8.9.1) που είναι διαθέσιμα σε γεωγραφική ανάλυση  $1^\circ \times 1^\circ$  γεωγραφικό πλάτος και μήκος και σε δύο μήκη κύματος στο υπεριώδες φάσμα (OMAERUV) στα 354 και 388 nm. Τα δεδομένα είναι επίσης διαθέσιμα και για ένα μήκος κύματος στο ορατό φάσμα στα 500nm που αποτελεί εξαγόμενο προϊόν.

Στο πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση και αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του OMI σε δύο κοινά μήκη κύματος του ορατού φάσματος, στα 440 (ή 443 nm που εξαρτάται από το μήκος κύματος που πραγματοποιεί μετρήσεις ο εκάστοτε σταθμός AERONET) και τα 500 nm. Οι τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στα 440nm(443nm) του OMI, καθώς και στα 500nm για το AERONET υπολογίστηκαν μέσω του εκθετικού παράγοντα Ångström χρησιμοποιώντας τις τιμές του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 388nm, 500nm και 440nm(443nm), 667nm(675nm) αντίστοιχα. Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν σε επίπεδο κελιού για πεντακόσιους σαράντα ένα (541) Σταθμούς AERONET για τους οποίους υπήρχαν τουλάχιστον δύο ζεύγη τιμών στην περίοδο μελέτης. Η σύγκριση πραγματοποιείται σε ετήσια αλλά και εποχιακή βάση τόσο συγκεντρωτικά για το σύνολο των δεδομένων όσο και για κάθε σταθμό μεμονωμένα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 58% (81%) των δεδομένων OMI-AERONET συμφωνούν εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  ( $\pm 0.05$ ) για τα 440 (ή 443)nm. Το αντίστοιχο ποσοστό μειώνεται σε 54% (77%) για τη σύγκριση στα 500nm. Διαπιστώθηκε επίσης ότι, το OMI τείνει κυρίως να υπερεκτιμά τις τιμές SSA για κάτω του 0.8 (σε σύγκριση με το AERONET) και στις δύο συγκρίσεις 440 (443)nm και 500nm. Σε εποχιακή βάση, βρέθηκε ότι το OMI τείνει να υπερεκτιμά το SSA σε περιοχές όπου εμφανίζονται αερολύματα καύση βιομάζας και σκόνης ενώ υποεκτιμά τις τιμές για περιοχές που εμφανίζουν αερολύματα θεικών ενώσεων.

Στο δεύτερο στάδιο της εργασίας, πραγματοποιήθηκε η κλιματολογική μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων για την περίοδο 15 ετών 2005-2019. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε και στα τρία διαθέσιμα μήκη κύματος (354nm, 388nm και 500nm) των δεδομένων OMI (OMAERUVd Level 3). Σε πρώτη φάση παρουσιάστηκαν τόσο τα μέσα ετήσια και μέσα μηνιαία αποτελέσματα όσο και τα αποτελέσματα σε εποχιακή βάση, δίνοντας έμφαση στη γεωγραφική κάλυψη και την πιθανή εξήγηση των τιμών που παρουσιάζονται. Σε δεύτερη φάση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απόλυτης καθώς και της σχετικής μεταβολής της δεκαπενταετής (15) περιόδου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι χαμηλότερες τιμές δείχνουν να εμφανίζονται στις περιοχές της Κεντρική και Νότια Αφρική με τιμές 0.85/0.88/0.89 για τα 354nm, 388nm και 500nm αντιστοίχως και δείχνουν να συμφωνούν πλήρως με τις εποχιακές εκπομπές αερολυμάτων καύσης βιομάζας. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και για τις ερημικές περιοχές (Βόρεια Αφρική (Σαχάρα), Αραβική Χερσόνησο, Κεντρική Ασία (περιοχές Taklamakan, Gobi, Thar)) με τις τιμές να κυμαίνονται περί τα 0.85/0.87/0.94 χωρίς να εμφανίζουν κάποια έντονη εποχιακή μεταβλητότητα. Τέλος οι υψηλότερες τιμές δείχνουν να εμφανίζονται πάνω από τις βιομηχανικές (αστικές) περιοχές (Ευρώπη, ΗΠΑ, Ανατολική Κίνα) με τις τιμές να κυμαίνονται περί τα 0.91/0.93/0.94 για τα τρία μήκη κύματος αντιστοίχως.

## Abstract

---

Aerosol optical properties are necessary for radiation transfer and climate model computations, which are used for determining the aerosol effects on climate and reducing the associated uncertainties. Single Scattering Albedo (SSA), which quantifies the scattering/absorption ability of aerosols, is a key parameter for the net effect of aerosols on the Earth's radiation budget and climate.

In this study, a global climatology of aerosol SSA for the 15-year period (2005-2019) is presented. The climatology is consisted of Ozone Monitoring Instrument satellite data. More precisely OMAERUVd (PGE Version V1.8.9.1) daily L3 (1° x 1° latitude-longitude) aerosol SSA data, which are based on the enhanced two-channel OMAERUV algorithm that essentially uses the ultraviolet radiance data from Aura/Ozone Monitoring Instrument (OMI) are being used in this study.

In the first part of this study two wavelengths in the visible spectrum, 500nm and 440nm (or 443nm (depending to AERONET station wavelength measurements)), were compared to evaluate the OMI data. OMI 440nm (or 443 nm) and Aeronet 500 nm were interpolated through the Ångström exponent by using 388nm and 500nm, 440nm (or 443nm) and 667nm (or 675nm) AOD/ AAOD respectively. The comparisons were performed on a pixel level for 541 stations that met the availability standards of at least two common pairs in the 15-year study period. The comparison was performed on an annual and seasonal basis in order to reveal possible climatological or seasonal dependent patterns. Statistical metrics, such as Coefficient of Correlation (R) and Bias, were as well computed for each individual AERONET station.

The results showed that approximately 58% (81%) of the OMI-AERONET matches agree within the absolute difference of  $\pm 0.03$  ( $\pm 0.05$ ) for the 440 (or 443) nm. The corresponding percentage is reduced to 54% (77%) for the 500nm. It was also found that OMI mainly tends to overestimate SSA values below 0.8 compared to AERONET in both 440 (443) nm and 500nm comparisons resulting in a low correlation coefficient and slope being calculated. On a seasonal basis, it is found that OMI tends to overestimate SSA in areas where biomass combustion occurs, as opposed to underestimating SSA values in other types of aerosols.

In the second part the global climatology of aerosol SSA for the 15-year period (2005-2019) is being examined. The study was performed on all three available wavelengths (354nm, 388nm and 500nm) of SSA OMI data (OMAERUVd Level 3). Firstly, average annual, average monthly as well as seasonal basis results were presented emphasize given on the geographical coverage as well to the possible explanation. Secondly the 15-year slope and relative change for each individual pixel was calculated using the linear regression method.

According to the results, the lowest values seem to appear in the regions of Central and South Africa with values of 0.85 / 0.88 / 0.89 for the 354 nm, 388nm and 500nm respectively and seem to fully agree with the seasonal emissions of biomass-burning aerosols. Similar results appear for desert regions, namely North Africa (Sahara), Arabian Peninsula, Central Asia (Taklamakan, Gobi, Thar regions) with values around 0.85 / 0.87 / 0.94 without showing any strong seasonal variability. The highest SSA results seem to appear over industrial (urban) areas (Europe, USA, East China) with values of 0.91 / 0.93 / 0.94 at 354 nm/388 nm/500 nm respectively.



## ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ -ΑΚΡΟΝΥΜΩΝ

---

$\alpha$	Ångström exponent
AERONET	AERosol RObotic NETwork
AOD, $\tau$	Aerosol Optical Depth
AOT	Aerosol Optical Thickness
BC	Black Carbon
CCN	Cloud Condensation Nuclei
DSR	Downward Surface Radiation
EOS	Earth Observing System
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
OC	Organic Carbon
OMI	Ozone Monitoring Instrument
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IN	Ice nuclei
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDSR	Net Downward Surface Radiation
NIR	near-infrared
RTMs	Radiation Transfer Models
SSA, $\omega$	Single Scattering Albedo

## Εισαγωγή

---

Η ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από αέρια, αλλά επίσης περιλαμβάνει σωματίδια υγρής και στερεής φάσης. Τα σωματίδια αυτά συνηθίζεται να διαχωρίζονται με βάση το μέγεθός τους, τη χημική τους σύσταση, τη διαλυτότητά τους καθώς και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Παρά τη μικρή τους μάζα και όγκο, τα αερολύματα στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν σημαντικά τη μεταφορά της ηλιακής ενέργειας δημιουργώντας τοπικές θερμάνσεις που έχουν αντίκτυπο στον καιρό και το κλίμα (Boucher, et al, 2013).

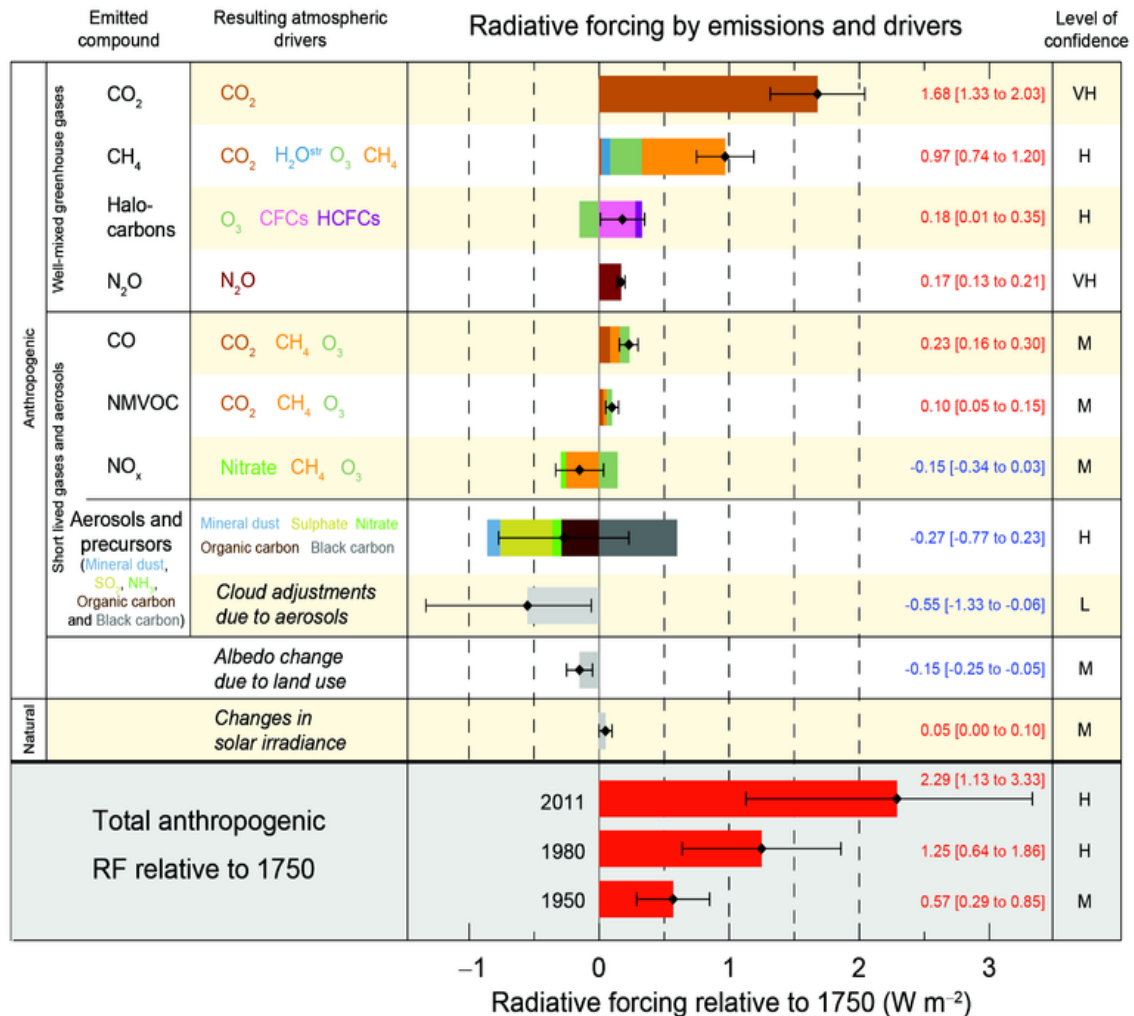
Τα αερολύματα αλληλεπιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία, μέσω της απορρόφησης και της σκέδασης που προκαλούν. Τα αερολύματα είναι απαραίτητα για το σχηματισμό των νεφών, καθώς λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης (cloud condensation nuclei, CCN) και πυρήνες δημιουργίας παγοκρυστάλλων (Ice nuclei, IN). Μπορούν είτε να προέρχονται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (πρωτογενή αερολύματα), είτε να μετασχηματίζονται από αέριες χημικές ενώσεις (gas-to-particle conversion) απευθείας στην ατμόσφαιρα (δευτερογενή αερολύματα). Το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται συγκεντρωμένο στα κατώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας, κοντά στις πηγές προέλευσής τους (Penner, et al, 2018).

Η ποσοτικοποίηση της συμβολής των αερολυμάτων στην τροποποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου Γης – Ατμόσφαιρας είναι πιο πολύπλοκη από την αντίστοιχη ποσοτικοποίηση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ιδιότητες των αερολυμάτων, όπως για παράδειγμα η μάζα και η συγκέντρωσή τους, παρουσιάζουν ισχυρή μεταβλητότητα τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Προκειμένου να εκτιμηθεί αξιόπιστα η συμβολή των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο Γης – Ατμόσφαιρας, είναι απαραίτητη η ύπαρξη/εκτίμηση δεδομένων που αφορούν τις φυσικές παραμέτρους των αερολυμάτων (το μέγεθος, το πως μεταβάλλεται το μέγεθος και το σχήμα σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, ο δείκτης διάθλασης, και η διαλυτότητα) καθώς και των οπτικών ιδιοτήτων τους.

Οι οπτικές ιδιότητες που είναι σημαντικές και λαμβάνονται υπ όψιν στους υπολογισμούς είναι η εξασθένηση, η σκέδαση, η απορρόφηση και η πόλωση (polarization) της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μείωση της έντασης της ακτινοβολίας κατά τη διάδοσή της μέσω ενός στρώματος από αερολύματα προσδιορίζεται από δύο ταυτόχρονες διαδικασίες, την απορρόφηση και τη σκέδαση. Το άθροισμα της σκέδασης και της απορρόφησης αποτελεί τη συνολική εξασθένηση της ακτινοβολίας. Αν και η διαδικασία της σκέδασης κυριαρχεί έναντι της απορρόφησης στο ορατό φάσμα, η διαδικασία της απορρόφησης επηρεάζει σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο και δεν μπορεί να αγνοηθεί (Kokhanovsky, 2008).

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το μέγεθος της επίδρασης των αερίων του θερμοκηπίου, των αερολυμάτων, καθώς και κάποιων άλλων παραγόντων, στη διαταραχή του

ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας σε σχέση με την προ-βιομηχανικής επανάστασης εποχή (1750). Σύμφωνα με το Σχήμα, η διαταραχή του ενεργειακού ισοζυγίου, που συνίσταται σε ένα πλεόνασμα ακτινοβόλου ενέργειας, οφείλεται κυρίως στο διοξείδιο του άνθρακα και στο μεθάνιο, που είναι υπεύθυνα για την υπερθέρμανση του πλανήτη.



**Σχήμα 1.** Οι μέσες πλανητικές τιμές της διαταραχής της ακτινοβολίας (radiative forcing, RF) που προκαλείται από τους κύριους παράγοντες διαμόρφωσης του κλίματος της Γης, καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών τους (error bars), σε σχέση με την προ-βιομηχανικής επανάστασης εποχή, το 1750. (πηγή, IPCC, 2013)

Αντίθετα, παρατηρείται ότι τα αερολύματα στο σύνολό τους προκαλούν πλανητική ψύξη, αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό παράγοντα αντιστάθμισης της πλανητικής υπερθέρμανσης. Αν και η σημασία της επίδρασης των αερολυμάτων στο κλίμα και τον καιρό θεωρείται δεδομένη, το επίπεδο της επιστημονικής κατανόησης της επίδρασής τους παραμένει ακόμη χαμηλό. Για το λόγο αυτό καθίσταται αναγκαία η βελτίωση της θεωρητικής γνώσης, των εκτιμήσεων και υπολογισμών σε ότι αφορά στις πηγές προέλευσής τους, τους μηχανισμούς εναπόθεσης, τις συγκεντρώσεις και τις οπτικές

ιδιότητες των αερολυμάτων. Για το σκοπό αυτό διεξάγονται μετρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, με τη χρήση οργάνων σε επίγειους Σταθμούς (π.χ. δίκτυο AERONET, Aerosol Robotic Network, Holben et al., 1998; Dubovik et al., 2000; Koch et al., 2009; Lee et al., 2010) εναέριους (με αεροπλάνα, πυραύλους, drones) αλλά κυρίως με τη χρήση δορυφορικών οργάνων που παρέχουν, μέσω της χρήσης αλγορίθμων ανεύρεσης ή ανάκτησης (retrieval algorithms) δεδομένα σε εκτεταμένη, έως και πλήρη, γεωγραφική κάλυψη (π.χ πάνω από ωκεανούς, ερήμους ή μεγάλους ορεινούς όγκους).

Για τη μείωση της αβεβαιότητας της επίδρασης των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο και στο κλίμα, είναι απαραίτητα τα δεδομένα για τις οπτικές τους ιδιότητες. Με τη χρήση μοντέλων διάδοσης ακτινοβολίας (Radiation Transfer Models, RTMs) καθώς και κλιματικών μοντέλων, η επίδραση των αερολυμάτων στο κλίμα μπορεί να μελετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης, η οποία ποσοτικοποιεί την ικανότητα σκέδασης και απορρόφησης των αερολυμάτων, είναι μία ζωτικής σημασίας παράμετρος για τον καθορισμό της επίδρασης των αερολυμάτων στο κλίμα. Μελέτες ευαισθησίας των RTMs (Hatzianastassiou et al., 2004; Hatzianastassiou et al., 2005) έχουν δείξει ότι μία αύξηση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά 10% μπορεί να επιφέρει αύξηση στην ένταση της μικρού μήκους κύματος (Short Wave (SW)) ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος (downward surface radiation (DSR)) ίση με  $0.58 \text{ Wm}^{-2}$  και μία αύξηση στη καθαρή κατερχόμενη ακτινοβολία (ή απορροφώμενη) (net downward (or absorbed)) ίση με  $0,44 \text{ Wm}^{-2}$ . Δεδομένης της σημασίας αυτής της παραμέτρου, μελέτες οι οποίες εξετάζουν πιθανές διαχρονικές αλλαγές της, είναι πολύ μεγάλης σημασίας.

Οι οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα της γης μετρώνται ή ανακτώνται από πολυάριθμες πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων διαστημικών/δορυφορικών, αερομεταφερόμενων και επιφανειακών οργάνων. Η τηλεπισκόπηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων πραγματοποιείται και από τους τρεις αυτούς τύπους οργάνων, ενώ οι τοπικές μετρήσεις πραγματοποιούνται μόνο από όργανα που βρίσκονται σε αεροσκάφη ή σταθμούς επιφάνειας. Για την πλήρη κατανόηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων είναι απαραίτητες οι μετρήσεις και από τις τρεις αυτές κατηγορίες σε συνδυασμό με τη λειτουργία/χρήση μοντέλων (RTMs και κλιματικών). Αν και οι μετρήσεις από δορυφόρους (Πολικής και Γεωστάσιμης τροχιάς) με ταυτόχρονη χρήση αλγορίθμων, είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση της απαραίτητης εκτεταμένης, έως πλήρους, χωρικής κάλυψης, οι αλγόριθμοι και τα εξαγόμενα αποτελέσματά τους (οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων) ενέχουν πάντοτε κάποια αβεβαιότητα. Για τον παραπάνω λόγο, οι μετρήσεις και τα δεδομένα των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων από επίγειους σταθμούς είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση, διόρθωση και βελτίωση των δορυφορικών αλγορίθμων (Sinyuk, et al, 2020)

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία μίας κλιματολογικής βάσης δεδομένων της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων σε παγκόσμια χωρική κάλυψη, καθώς και η μελέτη του εποχικού κύκλου και των διαχρονικών

τάσεων μεταβολής της οπτικής παραμέτρου σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά και πάνω από περιοχές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η δυσκολία στη μέτρηση της οπτικής παραμέτρου, η μεγάλη σημασία της στο ενεργειακό ισοζύγιο αλλά και η περιορισμένη διαθέσιμη βιβλιογραφία καθιστά τη μελέτη της αναγκαία.

Για τη μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης χρησιμοποιήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα του Ozone Monitoring Instrument (OMI) που εξάγονται από μετρήσεις δύο καναλιών στο υπεριώδες φάσμα (two-channel Ultraviolet OMI algorithm). Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα ημερήσια δεδομένα OMAERUVd-L3 του Collection 3 τα οποία παρέχουν πληροφορία σε παγκόσμιο επίπεδο και υψηλή χωρική ανάλυση ( $1^\circ \times 1^\circ$ ) για τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης (SSA) σε τρία μήκη κύματος στα 354nm, 388nm και 500nm. Τα 500nm αποτελούν προϊόν εξαγωγής μέσω του αλγορίθμου από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται στα 354nm και 388nm. Η επιλογή αυτών των δεδομένων έγινε λόγω της μεγάλης επιρροής των αερολυμάτων στην ένταση της μικρού μήκους (short wavelength) κύματος ανερχόμενης ακτινοβολίας (upwelling) σε αντίθεση με τη χαμηλότερη επιρροή της επιφάνειας του εδάφους, λόγω των χαμηλών τιμών ανάκλασης στην περιοχή του υπεριώδους φάσματος (Torres et al., 1998, 2007).

Στο πρώτο τμήμα της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η αξιολόγηση των ημερήσιων δορυφορικών δεδομένων SSA του Ozone Monitoring Instrument (OMI) μέσω συγκρίσεων με τα αντίστοιχα ημερήσια δεδομένα από το επίγειο δίκτυο σταθμών AERosol Robotic NETwork (AERONET) που παρέχουν δεδομένα της λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης σε τέσσερα (4) μήκη κύματος (440, 675, 870 και 1020nm) (Dubovic and King 2000). Τα συγκεκριμένα δεδομένα (AERONET) επιλέχθηκαν λόγω της μεγάλης χωρικής κάλυψης που εμφανίζει τα τελευταία χρόνια το δίκτυο σταθμών AERONET αλλά και της μεγάλης χρονικής διαθεσιμότητας σε αξιόπιστα δεδομένα στη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε σε κοινά μήκη κύματος, τα 440 nm (ή 443 nm που εξαρτάται από το μήκος κύματος που πραγματοποιεί μετρήσεις ο εκάστοτε σταθμός AERONET) και τα 500 nm. Η εξαγωγή των μετρήσεων σε κοινά μήκη κύματος πραγματοποιήθηκε υπολογίζοντας αρχικά τον εκθετικό παράγοντα του Ångström. Για τα δεδομένα του OMI χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του οπτικού πάχους (εξασθένησης, απορρόφησης) στα 388nm και 500nm. Δεχόμενοι ότι ο εκθετικός παράγοντας του Ångström παραμένει σταθερός εντός του φάσματος 388-500nm υπολογίστηκε το οπτικό πάχος εξασθένησης και απορρόφησης για τα 440 (443) nm και στη συνέχεια η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης για το συγκεκριμένο μήκος κύματος. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εξαγωγή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του AERONET στα 500 nm χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του οπτικού πάχους (εξασθένησης, απορρόφησης) στα 440 (443) nm και 667 (675) nm.

Στο δεύτερο τμήμα αυτής της εργασίας πραγματοποιείται μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο και κλιματολογική βάση για την 15-ετή περίοδο 2005-2019. Η μελέτη πραγματοποιείται και για τα τρία

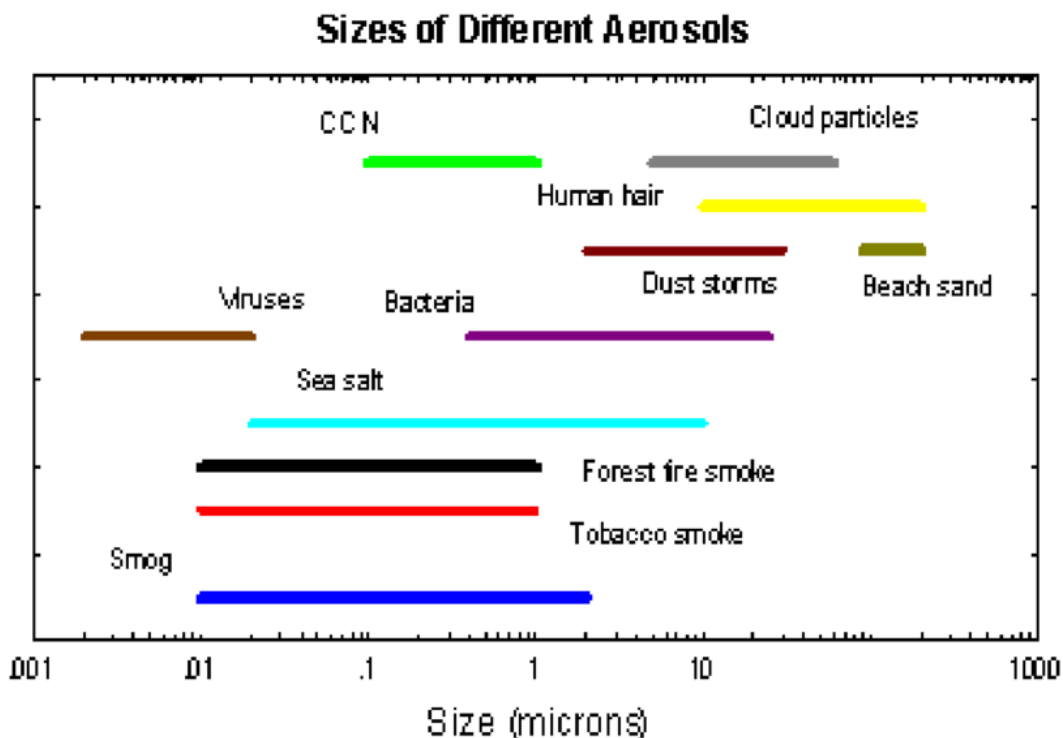
διαθέσιμα μήκη κύματος (354nm, 388nm και 500nm) του αλγορίθμου του OMI (OMAERUVd Level 3) εξετάζοντας γεωγραφικές και χρονικές (εποχικές και διαχρονικές) διακυμάνσεις, δίνοντας έμφαση στις διαφορές του SSA πάνω από περιοχές ανθρωπογενών και φυσικών αερολυμάτων. Ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε για κάθε κελί χωριστά εξετάζοντας την διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε πλανητική γεωγραφική κάλυψη. Τέλος, δεκαπέντε (15) περιοχές μελέτης μελετήθηκαν ξεχωριστά εξετάζοντας την ενδοετήσια κύμανση αλλά και τη διαχρονική μεταβολή τους σε όλη τη δεκαπενταετή περίοδο μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 1 δίνεται ένα συνοπτικό θεωρητικό υπόβαθρο και περιγράφονται εν συντομία οι βασικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των αερολυμάτων. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε κατά τη σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων SSA με τα επίγεια, καθώς και αυτή που εφαρμόστηκε στην κλιματική ανάλυση. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης (σε παγκόσμιο και περιοχικό επίπεδο). Τέλος, στο Κεφάλαιο 4 της εργασίας γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων της, εξάγονται τα κύρια συμπεράσματα και παρέχονται κάποιες προοπτικές επέκτασης της παρούσας εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Ιδιότητες των Αερολυμάτων

### 1.1 Ορισμός Αερολυμάτων και γενικά χαρακτηριστικά

Αερολύματα ορίζονται τα μικροσκοπικά σωματίδια υγρής ή στερεής φάσης που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα της Γης. Η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 10nm(μοριακής τάξης) έως 100μm ( τρίχα ανθρώπινου μαλλιού) και μπορούν να γίνουν ορατά μέσω της ικανότητάς τους να ελαττώνουν την ορατότητα, ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα.



**Σχήμα 1.1.** Μεγέθη αερολυμάτων διαφόρων τύπων στην ατμόσφαιρα της Γης.

Ενώ τα αέρια της ατμόσφαιρας, όπως το  $O_2$ ,  $N_2$ , οι υδρατμοί ( $H_2O$ ) ή το όζον ( $O_3$ ) χαρακτηρίζονται από την “ξεκάθαρη” χημεία τους, ο όρος “αερόλυμα” είναι γενικός και αναφέρεται σε μία ποικιλία σωματιδίων, όχι πάντοτε καλά ορισμένη. Ακόμη και οι όροι που αναφέρονται σε ειδικούς τύπους αερολυμάτων, όπως ο καπνός ή η σκόνη, είναι γενικοί και αντιστοιχούν σε συνδυασμούς ορυκτών ή οργανικών υλικών. Τα αερολύματα μπορούν να προέρχονται τόσο από φυσικές πηγές, οπότε αποκαλούνται φυσικά αερολύματα (natural aerosols, π.χ. ανυψούμενη σκόνη από ερήμους/έδαφος, θαλάσσιο άλας, ηφαιστειακά αερολύματα, καπνός από δασικές πυρκαγιές, βιογενείς εκπομπές) που αποτελούν το ποσοστό μεγαλύτερο από 85% της συνολικής μάζας των αερολυμάτων (Ramachandran, 2018) όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, οπότε αποκαλούνται ανθρωπογενή αερολύματα (anthropogenic aerosols, π.χ. βιομηχανικές εκπομπές, αστικές δραστηριότητες, σωματίδια καύσης βιομάζας για γεωργικούς

σκοπούς ή για θέρμανση) που αποτελούν μικρότερο ποσοστό από 15% (Ramachandran, 2018, Kokhanovsky, 2008). Το 80% της συνολικής μάζας

των αερολυμάτων είναι συγκεντρωμένο στα πρώτα 1000m της ατμόσφαιρας (στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, (Ramachandran, 2018)) καθώς παράγονται /εκπέμπονται κυρίως στην επιφάνεια της Γης. Ωστόσο, τα αερολύματα μπορούν να βρίσκονται και ψηλότερα στην ατμόσφαιρα, έως και στα 4-6km ή και στη στρατόσφαιρα (τα ηφαιστειακά) καθώς και να μεταφέρονται σε μακρινές αποστάσεις από τις πηγές τους (Tomasi et al, 2017).

Τα αερολύματα αποτελούν μόλις το  $10^{-9}$  της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας, όμως είναι πολύ σημαντικά, κυρίως εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, την ακτινοβολία, ενώ δε πρέπει να παραβλέπεται η επιρροή τους στην ανθρώπινη υγεία (Dockery, et al, 1996). Πιο συγκεκριμένα, είναι πολύ σημαντικά εξαιτίας του καθοριστικού ρόλου που παίζουν στο σχηματισμό των νεφών, όπου χρησιμεύουν ως πυρήνες συμπύκνωσής τους (cloud condensation nuclei, CCN). Η αλληλεπίδραση τους με την ηλιακή (κυρίως) και τη γήινη ακτινοβολία, τα καθιστά ένα σημαντικό παράγοντα στο ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας και το κλίμα.

## **1.2 Κατηγοριοποίηση αερολυμάτων**

### **1.2.1 Με βάση τον τρόπο που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα**

Η κατηγοριοποίηση των αερολυμάτων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι ο τρόπος με τον οποίο τα αερολύματα εισέρχονται μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης.

Τα αερολύματα, ανάλογα με την προέλευσή τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (Kokhanovsky et al. , 2008):

(α) αυτά που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από την επιφάνεια της Γης (π.χ. σκόνη, γύρη ή θαλάσσιο άλας)

(β) αυτά που παράγονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα, μέσω χημικών αντιδράσεων και

(γ) αυτά που εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα από το διάστημα (κοσμικά αερολύματα)

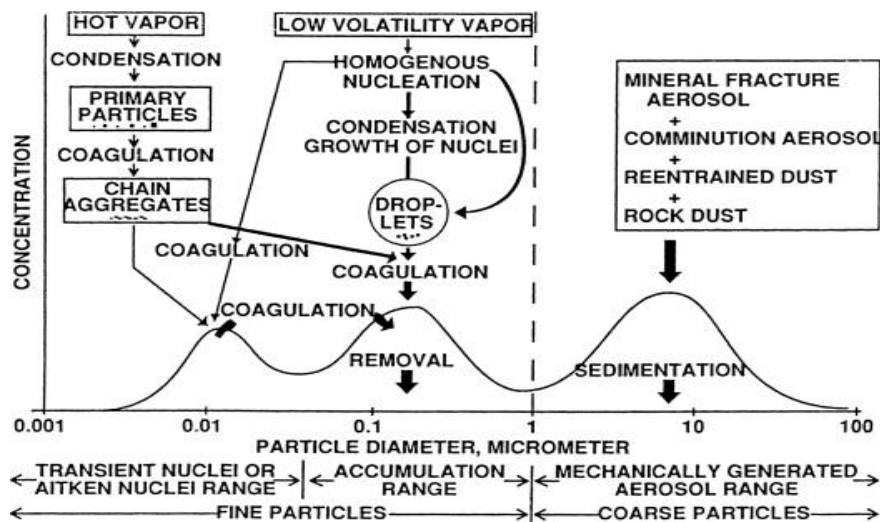
Η τρίτη κατηγορία δεν αναφέρεται συνήθως στη βιβλιογραφία και τα αερολύματα που περιλαμβάνει είναι αυτά με το μικρότερο ποσοστό συμμετοχής στο φορτίο των αερολυμάτων και έχουν αμελητέα επίδραση στη Τροπόσφαιρα (Kokhanovsky et al. , 2008).



### 1.2.2 Με βάση το μέγεθος

Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού των αερολυμάτων βασίζεται στο μέγεθός τους (Σχήμα 1.1). Έτσι, τα αερολύματα διαχωρίζονται ανάλογα με τη διάμετρό τους σε:

1. Λεπτόκκοκα ή Λεπτής Υφής ή Λεπτά αερολύματα (Fine aerosols) με διάμετρο  $d < 2.5 \mu\text{m}$ , που διαχωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:
  - α) αερολύματα περιοχής πυρήνωσης (nucleation mode), στα οποία περιλαμβάνονται σωματίδια με διάμετρο  $0.005 < d < 0.02 \mu\text{m}$  (ή και σωματίδια, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, με διάμετρο έως και  $0.2 \mu\text{m}$ ) και στα αερολύματα τύπου Aitken με διάμετρο  $0.005 - 0.2 \mu\text{m}$
  - β) αερολύματα περιοχής συσσώρευσης (accumulation mode) στα οποία περιλαμβάνονται σωματίδια με διάμετρο  $0.2 < d < 2.5 \mu\text{m}$
2. Χονδρόκοκκα ή Χονδρής Υφής ή Χονδρά αερολύματα (coarse aerosols) με διάμετρο  $d > 2.5 \mu\text{m}$ .



**Σχήμα 1.2.** Κατανομή μεγέθους ατμοσφαιρικών αερολυμάτων (Whitby and Cantrell 1976) και πηγές και μηχανισμοί απομάκρυνσής τους (Πηγή: Seinfeld and Pandis, 1998).

Τα Λεπτόκκοκα και Χονδρόκοκκα αερολύματα, γενικά, προέρχονται από διαφορετικές πηγές, μετασχηματίζονται διαφορετικά, απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με διαφορετικούς μηχανισμούς, απαιτούν διαφορετικούς μηχανισμούς για την απομάκρυνση και τη μεταφορά τους από τις πηγές τους, έχουν διαφορετική χημική σύνθεση, έχουν διαφορετικές οπτικές ιδιότητες και διαφέρουν σημαντικά ως προς τα πρότυπα εναπόθεσής τους. Επομένως, η διάκριση μεταξύ Λεπτόκκοκων και Χονδρόκοκκων αερολυμάτων είναι θεμελιώδης σε οποιαδήποτε συζήτηση για τη φυσική, τη χημεία, τις μετρήσεις ή τις επιπτώσεις τους στην υγεία.

### 1.3 Πηγές και είδη αερολυμάτων

Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα μέσω τριών κύριων πηγών. Από την επιφάνεια της Γης (π.χ. σκόνη και θαλάσσιο άλας), από μετασχηματισμούς αερίων στην ατμόσφαιρα (gas-to-particle conversion).

Τα αερολύματα ταξινομούνται ως προς την προέλευσή και τη χημική τους σύνθεση. Οι κύριοι τύποι αερολυμάτων δίδονται στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζοντας το σύνολο των εκπομπών τους κατά τη διάρκεια του έτους. Τα θαλάσσια αερολύματα και τα αερολύματα από μετατροπή αερίων εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσά εκπομπών με τιμές από 500 έως 2000 και από 345 έως 2080 ( $\times 10^6$ ) τόνους το έτος αντιστοίχως. Η σκόνη εμφανίζει εκπομπές από 7 έως 1800 ( $\times 10^6$ ) τόνους το έτος. Με μικρότερα ποσά εκπομπών εμφανίζονται τα βιογενή αερολύματα, ο καπνός από δασικές πυρκαγιές, η ηφαιστειακή σκόνη και τα ανθρωπογενή αερολύματα με ποσά περί τους 80, από 5 έως 150, 4 έως 90 και 481 έως 396 ( $\times 10^6$ ) τόνους το έτος αντιστοίχως.

**Πίνακας 1.1.** Παγκόσμιες εκπομπές κύριων τύπων αερολυμάτων (Kokhanovsky, 2008, Landolt-Bornstein, 1988)

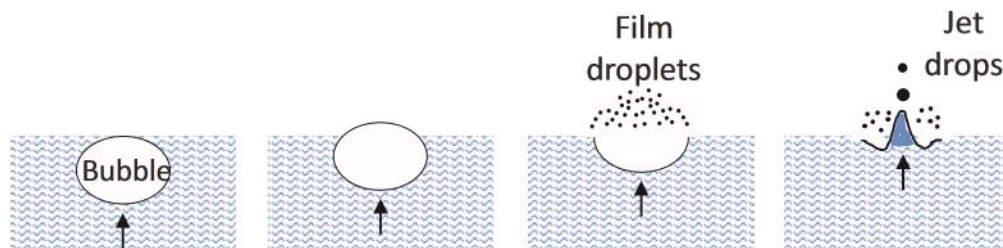
<b>Τύπος αερολύματος</b>	<b>Εκπομπές (<math>10^6</math> τόνοι /έτος)</b>
Θαλάσσιο άλας	500-2000
Αερολύματα από μετατροπή αερίων (gas-to-particle conversion)	345–2080
Σκόνη	7–1800
Βιογενή αερολύματα	80
Καπνός από δασικές πυρκαγιές	5-150
Ηφαιστειακή σκόνη	4-90
Ανθρωπογενή	181-396

Παρακάτω παρέχεται μία συνοπτική περιγραφή των κύριων ιδιοτήτων των βασικών τύπων αερολυμάτων της ατμόσφαιρας της Γης.

### 1.3.1 Θαλάσσια αερολύματα (Θαλάσσιο άλας, Sea Salt)

Τα θαλάσσια αερολύματα (θαλασσίου άλατος) εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από τους ωκεανούς. Η επίδραση των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας σχηματίζει κύματα, τα οποία με τον παφλασμό τους απελευθερώνουν αερολύματα θαλάσσιου άλατος στην ατμόσφαιρα (θαλάσσιο ψεκασμό, sea-salt) (Lewis and Schwartz 2004). Τα μεγαλύτερα αερολύματα αυτού του τύπου εναποτίθενται κοντά στην περιοχή προέλευσής τους. Μόνον τα μικρότερα θαλάσσια αερολύματα, με μεγέθη από περίπου 0.1 έως 1  $\mu\text{m}$ , μπορούν να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα οποία είναι και πρωταρχικής σημασίας για μελέτες μεγάλης κλίμακας.

Το σχήμα των αερολυμάτων αυτού του τύπου εξαρτάται από την υγρασία. Σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας έχουν σχήμα κυβικό, το οποίο προέρχεται από το σχήμα του χλωριούχου νατρίου (NaCl) δηλαδή του βασικού τους συστατικού. Το χλωριούχο νάτριο (NaCl), λόγω της υψηλής υδατοδιαλυτότητάς του, κάτω από συνθήκες υψηλής υγρασίας, οι οποίες επικρατούν συνήθως πάνω από ωκεανούς, μετατρέπεται σε αερόλυμα σφαιρικού σχήματος. Η διαφοροποίηση αυτή του σχήματός τους καθιστά πολύπλοκη τη μελέτη των θαλασσιών αερολυμάτων, η οποία δυσχεραίνεται επίσης και από τη μη ομοιογενή σύνθεσή τους. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση άλατος είναι μεγαλύτερη στο κέντρο του αερολύματος σε σχέση με την επιφάνειά του (Kokhanovsky et al., 2008). Τα θαλάσσια αερολύματα χαρακτηρίζονται από μικρές τιμές οπτικού βάθους και υψηλές τιμές λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης (Hatzianastassiou et al., 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σωματίδια αυτά να απορροφούν ελάχιστα ποσά ακτινοβολίας και να είναι εξαιρετικά σκεδαστικά, ενώ βάσει της χημικής τους σύστασης (υδρόφιλα) λειτουργούν ως καλοί πυρήνες συμπύκνωσης στη δημιουργία νεφών (CCN).



**Σχήμα 1.3.** Τρόποι απελευθέρωσης αερολυμάτων θαλάσσιου άλατος στην ατμόσφαιρα (Warneck, 1988).

### 1.3.2 Αερολύματα Σκόνης (Mineral Dust)

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα αερολύματα που προέρχονται από την επιφάνεια του εδάφους. Πρόκειται για στερεά σωματίδια, τα περισσότερα από τα οποία δεν είναι διαλυτά στο νερό. Ως εκ τούτου, διαφοροποιήσεις των σωματιδίων σκόνης, ως προς τη μορφή και τη δομή τους, σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, σε αντίθεση με τα αερολύματα θαλασσίου άλατος, είναι σπάνιες. Ωστόσο, η επιφάνειά τους μπορεί να καλυφθεί με νερό ή πάγο σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, τροποποιώντας έτσι τις

οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων σκόνης. Επομένως, οι επιπτώσεις της υγρασίας δεν μπορούν να παραμεληθούν πλήρως (Kokhanovsky, 2008). Τα αερολύματα σκόνης, παρά τη χαμηλή τους υγροσκοπικότητα (παράγοντας, hygroscopicity parameter,  $0.01 < \kappa < 0.08$  (Koehler et al., 2009)) μπορούν να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (CCN) σε συνθήκες υποκορεσμού. Επίσης, τα σωματίδια σκόνης αποτελούν την πιο σημαντική φυσική πηγή πυρήνων συμπύκνωσης πάγου των νεφών (Li et al., 2017). Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων σκόνης αλλάζουν.

Σε πλανητική κλίμακα, τα μεγαλύτερα ποσά αερολυμάτων σκόνης προέρχονται από την έρημο Σαχάρα (π.χ. Prospero et al., 2002; Washington et al., 2003) η οποία τροφοδοτεί την ατμόσφαιρα των γύρω περιοχών με τεράστια ποσά σκόνης. Από την άλλη πλευρά, έχει βρεθεί ότι ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 10% προέρχεται από αγροτικές περιοχές (Tegen et al., 2004). Με την επικράτηση κατάλληλων μετεωρολογικών συνθηκών, και πιο συγκεκριμένα τη δημιουργία κυκλωνικών συστημάτων ισχυρής έντασης στην οροσειρά του Άτλαντα στη Βόρεια Αφρική, τους γνωστούς κυκλώνες Sharav οι οποίοι την άνοιξη μετακινούνται προς τα ανατολικά κατά μήκος των ακτών της Β. Αφρικής (Alpert and Ziv, 1989) μεγάλα ποσά σκόνης μεταφέρονται στην Μεσόγειο, κυρίως τους ανοιξιάτικους μήνες δημιουργώντας έντονα επεισόδια σκόνης (Kubilay et al., 2000; Israelevich et al., 2002; Gkikas et al., 2013; Flaounas et al., 2015). Επίσης, αερολύματα σκόνης από τη Σαχάρα εξάγονται και μεταφέρονται προς τα δυτικά σε πολύ μεγάλες αποστάσεις πάνω από τον Ατλαντικό Ωκεανό φθάνοντας έως και την Καραϊβική (Prospero and Mayol-Bracero, 2013).

### **1.3.3 Θεϊκά αερολύματα (Sulfate Aerosol)**

Το μεγαλύτερο μέρος του θείου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα της Γης καταλήγει ως τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ) καθώς είναι η θερμοδυναμικά σταθερή μορφή του θείου παρουσία οξυγόνου. Τα θειικά αερολύματα μπορούν να προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές.

Εκτιμάται ότι το 50% των φυσικών ροών θείου στην ατμόσφαιρα προέρχονται από τη χερσαία βίота (terrestrial biota) και τη θαλάσσια χλωρίδα (marine flora) (Charlson et al., 1987). Τα ηφαίστεια αποτελούν την πιο σημαντική μη βιολογική πηγή θεικών αερίων, με ποσοστό που αντιστοιχεί στο 10-20% όλων των φυσικών ροών στην ατμόσφαιρα (d'Almeida et al., 1991).

Τα θειικά αερολύματα από ανθρωπογενείς πηγές προέρχονται κυρίως από εκπομπές διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και έχουν γενικά ψυκτικό αποτέλεσμα (cooling effect). Οι ανθρωπογενείς ροές προκύπτουν από διαδικασίες καύσης, όπως είναι η καύση άνθρακα, η καύση πετρελαίου, η διύλιση πετρελαίου και η κυκλοφορία με τις σχετικές συνεισφορές τους να είναι 70%, 8,4%, 21% και 0,6%, αντίστοιχα (d'Almeida et al., 1991).

### **1.3.4 Νιτρικά αερολύματα (Nitrate aerosols)**

Τα νιτρικά αερολύματα αποτελούν το τελικό προϊόν από μια σειρά αντιδράσεων που γίνονται στην ατμόσφαιρα αερίων που περιέχουν άζωτο τα οποία μπορούν να προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Παράγωγα του αζώτου σε αέρια φάση, όπως το υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ), το μονοξείδιο του Αζώτου ( $NO$ ), το διοξείδιο του αζώτου ( $NO_2$ ), πεντοξείδιο του αζώτου ( $N_2O_5$ ) και η αμμωνία ( $NH_3$ ) είναι οι κυριότερες χημικές ενώσεις που συμβάλουν στη δημιουργία των νιτρικών αερολυμάτων (d'Almeida et al., 1991).

Η πιο συχνή μορφή (στερεή μορφή) του αζώτου ως αερόλυμα στην ατμόσφαιρα είναι το νιτρικό αμμώνιο ( $NH_4NO_3$ ) το οποίο παράγεται μέσω της αντίδρασης του νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ), σε συγκεκριμένες συνθήκες και σε κατάλληλες ποσότητες, με την αμμωνία ( $NH_3$ ) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα (Harrison and Msibi, 1994). Σε μικρά ποσοστά εμφάνισης παρατηρούνται επίσης αερολύματα από θειικό αμμώνιο ( $(NH_4)_2SO_4$ ), χημικές ενώσεις που εμφανίζονται σε όξινο περιβάλλον όπου το θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ ) δεν έχει εξουδετερωθεί, (Pathak et al., 2009) καθώς και αερολύματα από νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ) που είναι παράγωγα από αντιδράσεις του διοξειδίου του αζώτου με τους υδρατμούς (d'Almeida et al., 1991).

### **1.3.5 Αερολύματα (Μαύρου και Οργανικού) Άνθρακα (Carbonaceous particles)**

Τα αερολύματα άνθρακα αποτελούνται από ένα σύνθετο μείγμα χημικών ενώσεων που μπορούν να προέρχονται είτε από φυσικά αίτια (δασικές πυρκαγιές, γεωργικές δραστηριότητες) είτε και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (οικιακή θέρμανση – καύση βιομάζας). Τα σωματίδια αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, εκείνα του μαύρου άνθρακα (Black Carbon, BC) και εκείνα του οργανικού άνθρακα (Organic Carbon, OC). Ο μαύρος άνθρακας είναι ένας ισχυρός απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας ο οποίος συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας (Jacobson, 2001). Αντίθετα, τα αερολύματα οργανικού άνθρακα αντιπροσωπεύουν ένα σύνολο εκατοντάδων μεμονωμένων ενώσεων, με ένα ευρύ φάσμα χημικών και θερμοδυναμικών ιδιοτήτων, καθιστώντας τις μετρήσεις συγκέντρωσης εξαιρετικά δύσκολες. (Turpin et al., 2000) Κύρια πηγή προέλευσης του μαύρου άνθρακα είναι οι διαδικασίες καύσης (IPCC, 2001) και συγκεκριμένα οι διαδικασίες ατελούς καύσης ορυκτών καυσίμων και βιοκαυσίμων, όπως το κάρβουνο ή το ξύλο, καθώς και οι μηχανές diesel. Τα αερολύματα οργανικού άνθρακα (OC) έχουν τις ίδιες πηγές προέλευσης με αυτά του μαύρου άνθρακα, ενώ διαφέρουν ως προς το ότι δεν είναι τόσο ισχυροί απορροφητές της ακτινοβολίας όπως τα πρώτα (Jacobson, 1998; 1999; Andreae and Gelencsér, 2006). Τα αερολύματα που προέρχονται από καύση βιομάζας μπορούν να δρουν άμεσα ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (π.χ. Bougiatioti et al., 2016), ενώ η ικανότητά τους αυτή να δρουν ως CCN αυξάνεται σε συνάρτηση με τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και τη γήρανσή (ageing) τους (Lohmann and Feichter, 2005). Η ιδιότητά τους να επηρεάζουν το σχηματισμό νεφών και νετού μέσω

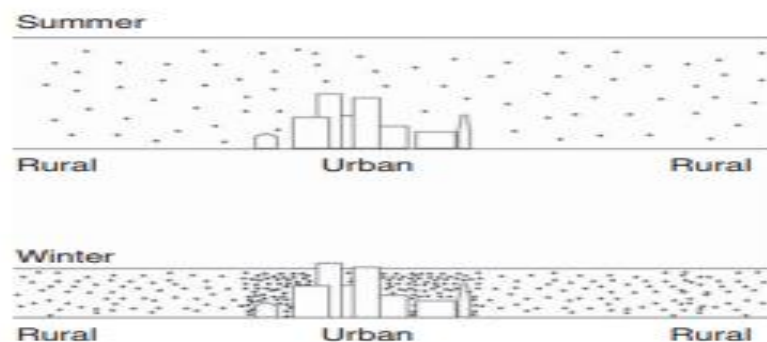
της δράσης τους ως CCN, αλλά και να απορροφούν ισχυρά την ηλιακή ακτινοβολία, έχει ως αποτέλεσμα να καθιστά τα αερολύματα αυτού του είδους έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου Γης-Ατμόσφαιρας.

#### **1.4 Περιοχικός διαχωρισμός των αερολυμάτων**

Τα αερολύματα εισέρχονται στην ατμόσφαιρα μέσω διαφόρων πηγών που βρίσκονται στην επιφάνεια, έτσι ο τύπος των αερολυμάτων πάνω από μία περιοχή έχει συχνά ισχυρή σχέση με τον τύπο του εδάφους όπου βρίσκεται. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί τύποι αερολυμάτων βάση του περιοχικού διαχωρισμού.

##### **1.4.1 Αερολύματα αστικών (βιομηχανικών) περιοχών**

Τα αερολύματα στις αστικές περιοχές αποτελούν ένα μίγμα από πρωτογενείς εκπομπές (πρωτογενή αερολύματα) από τις βιομηχανίες, την κυκλοφορία και την παραγωγή ενέργειας, από φυσικές πηγές, καθώς και αερολύματα από μετασχηματισμούς των αερίων (από ανθρώπινες δραστηριότητες) σε σωματίδια (Seinfeld and Pandis, 1998). Εξαιτίας του κυρίαρχου παράγοντα των ανθρωπογενών εκπομπών, τα αερολύματα στις αστικές ζώνες παρουσιάζουν μία σημαντική ποικιλομορφία στην πυκνότητα και εποχικότητα σε σχέση με τα αερολύματα στις αγροτικές περιοχές (Ramachandran, 2018, Kokhanovsky et al., 2017).



**Σχήμα 1.4.** Εποχιακή διακύμανση της διασποράς των αερολυμάτων σε αστικές και αγροτικές περιοχές

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του Χειμώνα και οφείλονται στις υψηλότερες εκπομπές που επικρατούν λόγω της οικιακής θέρμανσης κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής. Οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλότερες συγκεντρώσεις αερολυμάτων μαύρου άνθρακα, οργανικών αερολυμάτων (αερολύματα που περιέχουν άνθρακα) και σκόνης. Τα αερολύματα μαύρου άνθρακα και τα οργανικά αερολύματα παράγονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης ενώ η

ανόργανη σκόνη προέρχεται από την επαναιώρηση της σκόνης που βρίσκεται στο εδάφος ή από κατασκευές (Kokhanovsky et al., 2017).

#### **1.4.2 Αερολύματα αγροτικών περιοχών**

Τα αερολύματα στις αγροτικές περιοχές προέρχονται κυρίως από φυσικές πυγές (Seinfeld and Pandis, 1998). Οι συγκεντρώσεις των λεπτόκοκκων αερολυμάτων στις αγροτικές περιοχές κυμαίνονται από μερικά μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο έως  $20\mu\text{g m}^{-3}$  η χημική τους σύσταση μοιάζει με αυτή των αστικών αερολυμάτων με τις περισσότερες φορές μικρότερη συνεισφορά από αερολύματα μαύρου άνθρακα και μεγαλύτερη εμφάνιση οργανικών αερολυμάτων. Τα χονδρά αερολύματα κυμαίνεται μεταξύ μερικών μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο έως  $5\mu\text{g m}^{-3}$  και αποτελούνται κυρίως από οργανικά Αερολύματα (Kokhanovsky et al., 2017). Τα χονδρά αερολύματα στις αγροτικές περιοχές είναι κυρίως σωματίδια βιογενή προέλευσης που απελευθερώνονται απευθείας στην ατμόσφαιρα όπως είναι η γύρη, οι μύκητες, τα σπόρια, και τα βακτήρια. Τα μεγάλα μεγέθους βιογενή αερολύματα εναποτίθενται μέσω της ξηρής εναπόθεσης λόγω του μεγέθους τους ωστόσο, ορισμένα μπορούν να μεταφερθούν σε μεγαλύτερα ύψη όπου λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών και μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις.

#### **1.4.3 Αερολύματα θαλάσσιων περιοχών**

Στις θαλάσσιες περιοχές οι τύποι των αερολυμάτων που κυριαρχούν είναι το θαλάσσιο άλας, οι θεικές ενώσεις και τα οργανικά αερολύματα. Όπως προαναφέρθηκε το θαλάσσιο άλας εισέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω του παφλασμού των κυμάτων. Στις θαλάσσιες περιοχές τα αερολύματα θαλάσσιου άλατος εμφανίζονται τόσο σε λεπτή (fine), όσο και σε χονδρή υφή (coarse) (Kokhanovsky et al., 2017). Στην κατηγορία των λεπτόκοκκων αερολυμάτων τα πρωτογενή και δευτερογενή οργανικά αερολύματα είναι αυτά που βρίσκονται σε μεγαλύτερο ποσοστό πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές. Τα πρωτογενή οργανικά αερολύματα εισέρχονται στην ατμόσφαιρα μέσω της οργανικής ύλης που βρίσκεται στην επιφάνεια των θαλασσών ενώ τα δευτερογενή μέσω της οξείδωσης πτητικών οργανικών ενώσεων όπως του διμεθυλοσουλφιδίου ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ ) ή του ισοπρενίου ( $\text{C}_5\text{H}_8$ ) (Kokhanovsky et al., 2017).

#### **1.4.4 Αερολύματα ερημικών περιοχών**

Τα αερολύματα ερημικών περιοχών είναι σωματίδια σκόνης που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η μεγαλύτερη πηγή εκπομπής αερολυμάτων σκόνης είναι η έρημος Σαχάρα, που αντιπροσωπεύει το 51-69% των συνολικών εκπομπών. Η αυστραλιανή έρημος είναι η μεγαλύτερη πηγή σκόνης στο Νότιο Ημισφαίριο, με συνεισφορά που

κυμαίνεται μεταξύ 2,5% και 15% στις συνολικές εκπομπές (Kokhanovsky et al., 2017, Hess et al., 1998, Ramachandran, 2018).

Τα σωματίδια σκόνης απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα μέσω ξηρής και υγρής απόθεσης, συνεπώς η διάρκεια ζωής των σωματιδίων είναι περίπου 2 με 3 ημέρες. Η κατανομή μεγέθους των αερολυμάτων σκόνης κοντά στην περιοχή εκπομπής αποκτά μέγιστο περί τα 7  $\mu\text{m}$ , ενώ για τις πιο απομακρυσμένες από την πηγή περιοχές το μέγιστο εμφανίζεται περί τα 2 με 3  $\mu\text{m}$ . Η γρήγορη ξηρή εναπόθεση των μεγαλύτερων σωματιδίων σκόνης είναι υπεύθυνη για την διαφορετική κατανομή μεγέθους μεταξύ των δύο περιοχών (Kokhanovsky et al., 2017).

## **1.5 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αερολυμάτων από την ατμόσφαιρα**

Τα αερολύματα απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα μέσω δύο διαδικασιών, της ξηρής και της υγρής εναπόθεσης. Η ξηρή εναπόθεση περιλαμβάνει την καθίζηση των σωματιδίων με τη δράση της βαρύτητας ή καθοδικών ρευμάτων αέρα, ενώ η υγρή εναπόθεση με τη δράση των αερολυμάτων ως πυρήνων συμπύκνωσης (CCN, IN) ή με την παράσυρσή τους από τον υετό. Ο χρόνος παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα είναι συνάρτηση του μεγέθους τους, του ύψους στο οποίο βρίσκονται μέσα σε αυτή, καθώς και από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν.

### **1.5.1 Ξηρή εναπόθεση**

Η ξηρή εναπόθεση είναι η μεταφορά αερολυμάτων στερεής ή υγρής μορφής από την ατμόσφαιρα σε επιφάνειες χωρίς την παρουσία υετού. Οι παράγοντες που διέπουν την ξηρή εναπόθεση ενός αερολύματος είναι η ένταση (το μέγεθος) της ατμοσφαιρικής τύρβης, οι χημικές ιδιότητες του αερολύματος, καθώς και η ίδια η φύση της επιφάνειας που εναποτίθεται. Η ένταση της ατμοσφαιρικής τύρβης, ειδικά στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, καθορίζει τον ρυθμό καθίζησης του αερολύματος. Το μέγεθος, η πυκνότητα και το σχήμα των αερολυμάτων μπορούν να καθορίσουν το βαθμό συσσώρευσής τους στην επιφάνεια. Η ίδια η φύση της επιφάνειας είναι επίσης παράγοντας που επηρεάζει την ξηρή εναπόθεση. Σε μια τραχεία επιφάνεια, σε αντίθεση από μια λεία, μπορεί να συμβαίνει εναπόθεση ανεξάρτητα του προσανατολισμού της ίδιας της επιφάνειας. Η ξηρή εναπόθεση μπορεί να συμβεί στην κάτω πλευρά ενός φύλλου τόσο εύκολα όσο και στην πάνω επιφάνεια.

Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της ξηρής εναπόθεσης περιλαμβάνει τρία στάδια (Seinfeld and Pandis et al. 2006):

1. Τα αερολύματα διαμέσου ενός ατμοσφαιρικού στρώματος μεταφέρονται προς τα κάτω, μέσω αεροδυναμικής μεταφοράς προς ένα λεπτό και ευσταθές ατμοσφαιρικό στρώμα αέρα που εφάπτεται στην επιφάνεια της Γης.



2. Τα αερολύματα που βρίσκονται μέσα στο λεπτό ευσταθές επιφανειακό στρώμα αέρα μεταφέρονται προς της επιφάνεια της Γης μέσω της κίνησης Brown.

3. Τα αερολύματα εναποτίθενται στην επιφάνεια της Γης.

### **1.5.2 Υγρή εναπόθεση**

Η υγρή εναπόθεση αναφέρεται στις φυσικές διαδικασίες με τις οποίες τα αερολύματα μεταφέρονται μέσω του υετού στην επιφάνεια της γης, είτε αλλάζοντας ταυτότητα, μετατρέπόμενα (ή εισαγόμενα) σε νεφοσταγόνες ή κρυστάλλους (in cloud scavenging), είτε μέσω της υγρής απόπλυσης (below cloud scavenging).

Η πρώτη περίπτωση (in cloud scavenging) αναφέρεται στη δράση των αερολυμάτων ως πυρήνων συμπύκνωσης (CCN ή IN) για τη δημιουργία των νεφών και την απομάκρυνσή τους από την ατμόσφαιρα μέσω του υετού (βροχής, χιονιού).

Η δεύτερη περίπτωση (wet scavenging) αναφέρεται σε σωματίδια που παρεμβάλλονται στην πτώση σταγόνων και έτσι συμπαρασύρονται προς το έδαφος, απομακρυνόμενα από την ατμόσφαιρα.

Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της υγρής εναπόθεσης των σωματιδίων είναι το μέγεθος, το σχήμα και οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. σχετική υγρασία, ανοδικά ρεύματα αέρα) (Lewis and Schwartz, 2004).

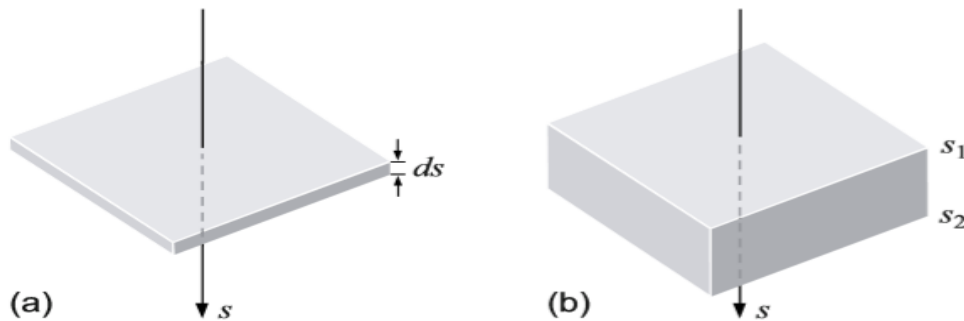
## **1.6 Οπτικές Ιδιότητες Αερολυμάτων**

Τα σωματίδια επηρεάζουν σημαντικά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα όταν το μέγεθος τους είναι παρόμοιο με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (Chandrasekhar, 1950). Τα αερολύματα, λόγω του μεγέθους τους, είναι σημαντικά στη μελέτη της διάδοσης της ακτινοβολία και του κλίματος. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα αερολύματα μπορεί να απορροφηθεί ή να σκεδαστεί (άμεση επίδραση). Η κατανόηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, της θέσης τους, του μεγέθους και της μορφής τους, και της σύνθεσής τους, είναι παράγοντας υψίστης σημασίας για τη μείωση της αβεβαιότητας της άμεσης επίδρασης των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας στη μεταβολή του κλίματος. (Leach et al, 2008)

### **1.6.1 Ορισμοί Εξασθένησης - Απορρόφησης - Σκέδασης της Ακτινοβολίας και Νόμος BEER-LAMBERT**

Ας υποθέσουμε ένα μέσο, για παράδειγμα ένα ατμοσφαιρικό στρώμα πάχους  $ds$ , στο οποίο προσπίπτει κάθετα από πάνω μία παράλληλη δέσμη ακτινοβολίας. Η

ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από ένταση  $I$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) καθώς αυτή εισέρχεται στο στρώμα και από ένταση  $I+dI$  καθώς αυτή εξέρχεται από αυτό. Η μεταβολή  $dI$  της ακτινοβολίας είναι ανάλογη του γινομένου των  $I$  και  $ds$  (Σχήμα 1.5α).



**Σχήμα 1.5.** Ορισμός Εξασθένησης

$$dI = -\sigma_e I ds \quad (1.1)$$

όπου  $\sigma_e$  (σε  $\text{m}^{-1}$ ) είναι ο συντελεστής εξασθένησης της ακτινοβολίας.

Κατά τη μελέτη της αλληλεπίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλεκτρομαγνητικά κύματα) με τα αερολύματα, τα τελευταία θεωρούνται, για λόγους απλοποίησης, σφαιρικά.

Η συνολική εξασθένηση της ακτινοβολίας πραγματοποιείται εξαιτίας δύο διαφορετικών φαινομένων. Της απορρόφησης, κατά την οποία η ακτινοβολία μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας και της σκέδασης, κατά την οποία ένα τμήμα της αρχικής ακτινοβολίας αλλάζει διεύθυνση διάδοσης και χάνεται από την αρχική ένταση. Ο συνολικός συντελεστής εξασθένησης της ακτινοβολίας είναι το άθροισμα του συντελεστή σκέδασης και του συντελεστή απορρόφησης (Jacqueline et al. 2013)

$$\sigma_e = \sigma_a + \sigma_s \quad (1.2)$$

Διαιρώντας την εξίσωση 1.1 με  $ds$ , αυτή γίνεται:

$$\frac{dI}{ds} = -\sigma_e I \quad (1.3)$$

$$\frac{dI}{I} = -\sigma_e ds \quad (1.4)$$

που είναι γνωστή ως νόμος Beer-Lambert (Seinfeld and Pandis et al. 2006)

### **1.6.2 Οπτικό βάθος (και πάχος) των αερολυμάτων**

Το οπτικό βάθος (και πάχος) των αερολυμάτων (aerosol optical depth, AOD ή  $\tau$ , aerosol optical thickness, AOT) περιγράφει και ποσοτικοποιεί τη συνολική εξασθένηση (είτε λόγω απορρόφησης είτε λόγω σκέδασης) που υφίσταται η ακτινοβολία όταν διέρχεται από ένα στρώμα το οποίο περιέχει αερολύματα. Πιο αναλυτικά, σε συνέχεια του παραδείγματος (Σχήμα 1b) εάν θεωρήσουμε ότι η διαδρομή είναι πεπερασμένη μεταξύ δύο σημείων  $s_1$  και  $s_2$  και ολοκληρώσουμε τη σχέση (1.1) ως προς  $s$ , τότε ισχύει:

$$\ln \frac{I_2}{I_1} = - \int_{s_1}^{s_2} \sigma_e ds \quad (1.5)$$

Στη συνέχεια, λύνοντας ως προς  $I_2$  η εξίσωση γίνεται:

$$I_2 = I_1 e^{-\tau} \quad (1.6)$$

όπου  $\tau$  το οπτικό βάθος (ή πάχος):

$$\tau = \int_{s_1}^{s_2} \sigma_e ds \quad (1.7)$$

Το συνολικό οπτικό πάχος (βάθος) είναι το άθροισμα του οπτικού πάχους που προήλθε λόγω σκέδασης και του οπτικού πάχους που προήλθε λόγω απορρόφησης.

$$\tau_{ext} = \tau_{abs} + \tau_{sca} \quad (1.8)$$

### **1.6.3 Λευκαύγεια Μεμονωμένης Σκέδασης (Single Scattering Albedo)**

Η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που χάνεται από τη διαδιδόμενη ακτινοβολία λόγω σκέδασης όταν αυτή διέρχεται από ένα στρώμα το οποίο περιέχει αερολύματα ως προς τη συνολική εξασθένηση (λόγω σκέδασης και απορρόφησης) που υφίσταται η ένταση της ακτινοβολίας

$$(SSA) = \frac{\tau_{sca}}{\tau_{ext}} \quad (1.9)$$

Επειδή ισχύει ότι η συνολική μείωση είναι το άθροισμα της μείωσης λόγω σκέδασης και λόγω απορρόφησης, η εξίσωση γράφεται και:

$$(SSA) = 1 - \frac{\tau_{abs}}{\tau_{ext}} \quad (1.10)$$

Οι τιμές του SSA κυμαίνονται από 0 (καθαρός απορροφητής) έως 1 (καθαρός σκεδαστής). Το SSA θεικού και θαλασσίου άλατος είναι ίσο με 1 σε μήκος κύματος  $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ , ενώ στο ίδιο μήκος κύματος το SSA μαύρου άνθρακα είναι ίσο με 0.21 (Ramachandran, 2018). Το SSA για υδατοδιαλυτή, αδιάλυτη και μεταλλική σκόνη για ίδιο μήκος κύματος  $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$  είναι 0.96, 0.73 και 0.88, αντίστοιχα (Ramachandran,

2018). Το SSA κυμαίνεται από 0.94 (καθαρές περιοχές), 0.84 (μέσος όρος), 0.78 (μολυσμένες περιοχές) έως 0.67 για τα αστικά αερολύματα. Οι μέγιστες τιμές του SSA στα αστικά αερολύματα μειώνεται λόγω της αύξησης της ποσότητας αερολυμάτων μαύρου άνθρακα, των κυριότερων απορροφητικών αερολυμάτων αναλόγως με την μόλυνση που επικρατεί. Το SSA για τα αερολύματα ερημικών περιοχών είναι 0.88 (Ramachandran, 2018). Το SSA για θαλάσσια (από καθαρά ύδατα) αερολύματα σε μήκος κύματος ( $\lambda$ ) = 0.55  $\mu\text{m}$  είναι 0.99 και μειώνεται σε 0.93 για τα θαλάσσια αερολύματα από μολυσμένα ύδατα (Ramachandran, 2018).

#### **1.6.4 Εκθετικός Παράγοντας Ångström**

Η φασματική μεταβολή του οπτικού βάθους των αερολυμάτων μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας τον εκθετικό παράγοντα Ångström ( $\alpha$ ):

$$\tau_{(\lambda)} = \beta \lambda^{-\alpha}, \quad (1.11)$$

όπου  $\tau(\lambda)$  είναι το οπτικό βάθος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος  $\lambda$ ,  $\beta$  είναι η τιμή του οπτικού βάθους για μήκος κύματος 1 $\mu\text{m}$  και  $\alpha$  είναι ο εκθετικός παράγοντας Ångström.

Η τιμή του  $\alpha$  εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή του μήκους κύματος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της. Αρνητικές τιμές του  $\alpha$  μπορούν επίσης να εμφανιστούν για στενές ζώνες μήκους κύματος στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο φάσμα, όπου τα οπτικά πάχη αυξάνονται με το μήκος κύματος, γεγονός που δείχνει μια αντίστροφη φασματική εξάρτηση (Cachorro et al., 2001, Adeyewa and Balogun, 2003).

Ο υπολογισμός του εκθετικού παράγοντα μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε ζεύγος μήκους κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$

$$\tau_{(\lambda_1)} = \beta \lambda_1^{-\alpha}, \quad (1.12)$$

$$\tau_{(\lambda_2)} = \beta \lambda_2^{-\alpha}. \quad (1.13)$$

Θεωρώντας τα  $\alpha$  και  $\beta$  σταθερά ανάμεσα στα δύο μήκη κύματος και διαιρώντας κατά μέλη η εξίσωση γίνεται ως εξής:

$$\alpha = - \frac{d \ln \tau}{d \ln \lambda} = - \frac{\ln \frac{\tau_{(\lambda_1)}}{\tau_{(\lambda_2)}}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}. \quad (1.14)$$

## **Κεφάλαιο 2. Περιγραφή Δεδομένων και Μεθοδολογία**

---

### **2.1 Δεδομένα**

Οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα της γης μετρώνται ή ανακτώνται από όργανα (π.χ. ραδιόμετρα, φασματοφωτόμετρα) που βρίσκονται πάνω σε πολυάριθμες πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων διαστημικών, αερομεταφερόμενων σταθμών και επιφανειακών οργάνων. Η τηλεπισκόπηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων πραγματοποιείται και από τους τρεις αυτούς τύπους οργάνων, ενώ οι τοπικές μετρήσεις πραγματοποιούνται μόνο από όργανα που βρίσκονται σε αεροσκάφη ή σταθμούς στην επιφάνεια της Γης. Για την πλήρη κατανόηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων και την επιρροή τους στην αλλαγή του κλίματος είναι απαραίτητες οι μετρήσεις και από τις τρεις αυτές κατηγορίες οργάνων, σε συνδυασμό με τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης της ατμόσφαιρας. Αν και οι μετρήσεις από δορυφόρους (Πολικής και Γεωστάσιμης τροχιάς) σε συνδυασμό με τη χρήση αλγορίθμων ανάκτησης, είναι απαραίτητες και πολύτιμες για την εξασφάλιση της εκτεταμένης χωρικής κάλυψης, οι δορυφορικοί αλγόριθμοι και τα προϊόντα τους (οπτικές ιδιότητες αερολυμάτων) κρύβουν κάποια αβεβαιότητα. Για το λόγο αυτό, μετρήσεις και δεδομένα από επίγειους σταθμούς είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση και βελτίωση/αναπροσαρμογή των δορυφορικών αλγορίθμων (Sinyuk et al., 2020).

Στη παρούσα εργασία έχοντας ως στόχο τη δημιουργία μίας κλιματολογικής βάσης με παγκόσμια γεωγραφική κάλυψη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα του OMI που βρίσκεται στον ηλιοσύγχρονο δορυφόρο Aura. Τα δεδομένα συγκρίθηκαν/αξιολογήθηκαν για όλη την περίοδο μελέτης με τα δεδομένα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης που ανακτώνται από το δίκτυο σταθμών AERONET. Λεπτομερέστερη αναφορά για τα δορυφορικά δεδομένα του OMI καθώς και των επίγειων δεδομένων του δικτύου σταθμών AERONET παρατίθεται στις ενότητες 2.1.1 και 2.1.2 αντίστοιχα.

#### **2.1.1 Δορυφορικά Δεδομένα OMI (Ozone Monitoring Instrument)**

Το OMI είναι ένα φασματόμετρο το οποίο καταγράφει την ανακλώμενη από τη Γη (επιφάνεια και ατμόσφαιρα) ηλιακή ακτινοβολία στο υπεριώδες και ορατό φάσμα. Είναι εγκατεστημένο στον ηλιοσύγχρονο πολικής τροχιάς δορυφόρο Aura της NASA (Σχήματα 2.1 και 2.2). Πιο συγκεκριμένα, το OMI καταγράφει την οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από 264 έως 504nm, με μία φασματική ανάλυση μεταξύ 0.42nm και 0.63nm, παρέχοντας σχεδόν παγκόσμια κάλυψη σε μια μέρα, με χωρική ανάλυση 13 km x 24 km (normal mode) (Torres et al., 2002). Διαθέτει επίσης λειτουργία μεγέθυνσης, κατά την οποία η χωρική ανάλυση αυξάνεται σε 13km x 12km (zoom mode) (Torres et al., 2002).

Ο “πρόγονος” του OMI είναι το όργανο TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) της NASA, το οποίο σε διαφορετικές εκδόσεις λειτούργησε πάνω σε διάφορες δορυφορικές πλατφόρμες από το 1978 ως τ 2006. Το TOMS πραγματοποιούσε μετρήσεις σε 8 ζώνες μηκών κύματος και επέτρεπε τη μέτρηση της κατακόρυφης στήλης όζοντος της ατμόσφαιρας, παρέχοντας σχετικά υψηλή χωρική ανάλυση (50km × 50km) και καθημερινή παγκόσμια κάλυψη. Μεταγενέστερα όργανα του OMI είναι τα Ευρωπαϊκά όργανα Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) και SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY (SCIAMACHY) τα οποία ήταν τα πρώτα που εισήγαγαν την ιδέα των μετρήσεων στο υπεριώδες, ορατό, και κοντινό υπέρυθρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με ταυτόχρονα υψηλή φασματική ανάλυση (<http://projects.knmi.nl/omi/research/instrument/index.php>).

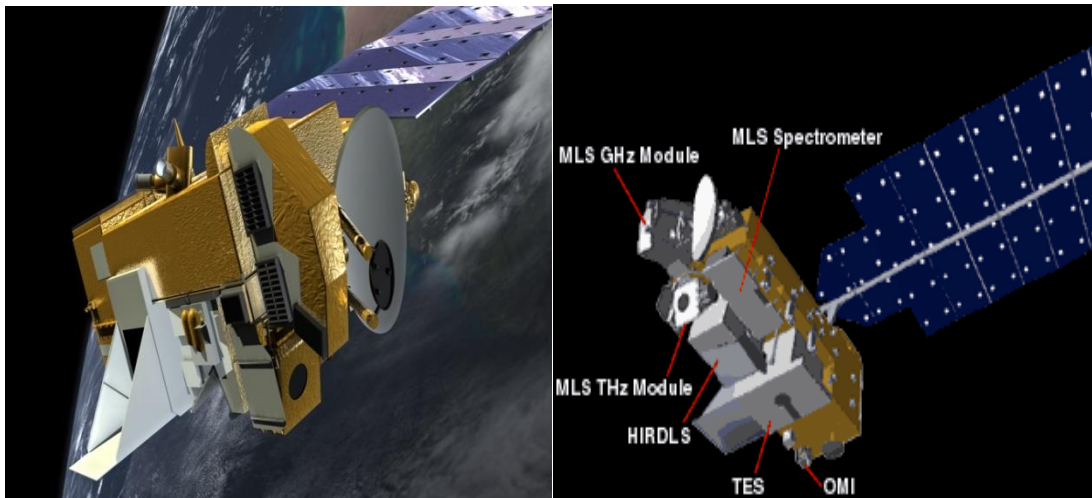
Τα προϊόντα που παρέχει το OMI για τα αερολύματα είναι το οπτικό πάχος ( $\tau$ ) και η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης ( $\omega$ ). Οι παράμετροι αυτοί παρέχονται πραγματοποιώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις (Torres et al, 2002):

α) Μία πολυφασματική μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί μετρήσεις από όλο το φάσμα από 330nm έως 500nm (OMAERO)

β) Μια μέθοδο που χρησιμοποιεί δύο μήκη κύματος στο κοντινό υπεριώδες (OMAERUV)

Αν και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται για όλη τη χωρική κάλυψη, η πολυφασματική μέθοδος είναι η κύρια τεχνική πάνω από τους ωκεανούς ενώ για πάνω από την ξηρά η κύρια μέθοδος που εφαρμόζεται είναι αυτή του κοντινού υπεριώδους. Ο λόγος είναι ότι μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε δεδομένα για όλους τους τύπους εδάφους ακόμα και πάνω από περιοχές όπου η ανακλαστικότητα του εδάφους είναι μεγάλη στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο αλλά μικρή στο υπεριώδες φάσμα (Torres et al, 2002).

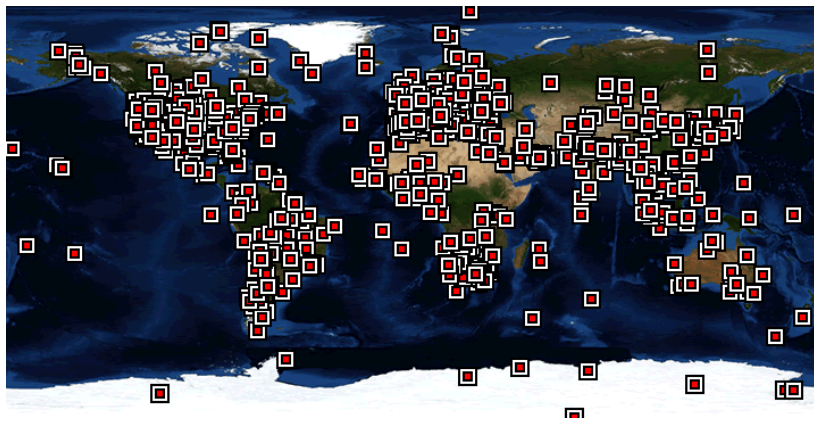
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον αλγόριθμο OMAERUV έχοντας ως στόχο τη μεγαλύτερη ακρίβεια, αξιοπιστία στα δεδομένα πάνω από τις χερσαίες περιοχές όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη χρονική και εποχιακή μεταβλητότητα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης από τα μέσα ημερήσια δεδομένα OMAERUVd L3, που είναι απαλλαγμένα από παρουσία νεφών με χωρική ανάλυση σε επίπεδο κυψελίδας (πλεγματική μορφή)  $1^\circ \times 1^\circ$ , δηλαδή περίπου 100Km x 100Km. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στα 354, 388 και 500nm. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα του οπτικού βάθους (Ολική Εξασθένηση) καθώς και του οπτικού βάθους απορρόφησης στα 388 και 500nm για να εξάγουμε τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης στα 440 (443) nm. Η μεθοδολογία με την οποία πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή των δεδομένων της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στα 440(443)nm περιγράφεται λεπτομερέστερα στην ενότητα 2.2.1.1.



**Σχήμα 2.1.** Ο Δορυφόρος EOS Aura της NASA και το ραδιόμετρο OMI.

### **2.1.2 Δεδομένα από επίγειους σταθμούς Aerosol Robotic NETwork (AERONET)**

Το Aerosol Robotic NETwork (AERONET) είναι ένα δίκτυο από επίγειους σταθμούς με κύριο όργανο ένα ραδιόμετρο (Σχήμα 2.4) το οποίο υπολογίζει το οπτικό βάθος (εξασθένησης, όχι απορρόφησης) των αερολυμάτων σε επτά μήκη κύματος (340, 380, 440, 500 670, 870 και 1020nm).



**Σχήμα 2.2.** Παγκόσμια κάλυψη σταθμών δικτύου AERONET στις 15-11-2020.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται περιλαμβάνει τη χρήση συγκεκριμένων φίλτρων και ενός ραδιομέτρου που μετρά την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, με βάση το νόμο Beer-Lambert-Bouguer (Εξίσωση 1.3). Το ραδιόμετρο πραγματοποιεί δύο βασικές μετρήσεις, μία στοχεύοντας απευθείας τον Ήλιο μετρώντας την ένταση της άμεσης ακτινοβολία και μια δεύτερη καταγράφοντας την διαχεόμενη (diffuse) ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα, μετρώντας την ένταση της ακτινοβολία υπό διάφορες γωνίες. Οι μετρήσεις της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας γίνονται και στις

επτά φασματικές περιοχές, μεταξύ 340nm και 1020nm, ενώ για τα μήκη κύματος 440nm, 670nm, 870nm, 940nm και 1020nm πραγματοποιούνται και οι μετρήσεις της διαχεόμενης ακτινοβολίας (diffuse) από την ατμόσφαιρα. Χρησιμοποιώντας τις δύο μετρήσεις, διαχεόμενης και άμεσης ακτινοβολίας, υπολογίζεται η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης στα τέσσερα μήκη κύματος (440, 675, 870 και 1020nm) (Dubovic and King, 2000). Οι Σταθμοί AERONET βρίσκονται σε πολλές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο (Σχήμα 2.3), σε ηπειρωτικές περιοχές, καθώς και σε ορισμένα νησιά στους ωκεανούς.

Τα δεδομένα του AERONET έχουν χρησιμοποιηθεί για την επιβεβαίωση πολλών δορυφορικών δεδομένων των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, όπως του οπτικού βάθους και του εκθετικού παράγοντα του Angstrom για το Collection 5 του MODIS (Levy et al, 2010), του οπτικού βάθους από τα δεδομένα του OMI (Changwoo et al, 2013), για τον εκθετικό παράγοντα του Angstrom και της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer) (Yidan et al, 2017), αλλά και της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του OMI (Torres et al, 2013).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης που εξάγει το AERONET στα 440(443)nm που είναι και τα πιο κοντινά στο υπεριώδες φάσμα όπου πραγματοποιεί τις μετρήσεις του το OMI. Η διάκριση σε 440nm και 443nm οφείλεται στα διαφορετικά μήκη κύματος που πραγματοποιούν μετρήσεις διαφορετικοί σταθμοί του AERONET. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα ημερήσια δεδομένα της Version 3 Almucantar Level 2.0 Inversion. Σημειώνεται ότι τα Version 3 Almucantar Level 2.0 Inversion είναι τα δεδομένα υψηλότερης ποιότητας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του οπτικού βάθους εξασθένηση καθώς και του οπτικού βάθους απορρόφησης στα 667(675)nm, για να εξάγουμε τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης του AERONET στα 500nm.



**Σχήμα 2.3.** Φασματόμετρο CIMEL των σταθμών AERONET



## 2.2 Μεθοδολογία

### 2.2.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων OMI με τα επίγεια δεδομένα του AERONET

Στο πρώτο τμήμα της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η σύγκριση και αξιολόγηση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων των δορυφορικών δεδομένων του OMI με τα αντίστοιχα επίγεια δεδομένα από το δίκτυο σταθμών AERONET. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για την χρονική περίοδο 2005 έως και 2019. Η συγκεκριμένη επιλογή της περιόδου έγινε με κριτήριο την ταυτόχρονη διαθεσιμότητα των δεδομένων OMI και AERONET. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για πεντακόσιους σαράντα ένα (541) Σταθμούς, οι οποίοι τηρούσαν την προϋπόθεση που τέθηκε, το να υπάρχουν δηλαδή τουλάχιστον δύο (2) συγκρίσιμα ζευγάρια στην εν λόγω περίοδο.

Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε σε διαχρονική και εποχιακή βάση, εφαρμόζοντας ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης και μέσω περιγραφικής στατιστικής για:

- όλα τα ζευγάρια του OMI με το AERONET συγκεντρωτικά
- κάθε σταθμό χωριστά (σύγκριση ανά Σταθμό)

Για το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή οι τιμές του AERONET και ως εξαρτημένη οι τιμές του OMI. Για τη σύγκριση/αξιολόγηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν από το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης οι τιμές της κλίσης (slope), του σφάλματος της κλίσης (slope\_err), του συντελεστή διακύμανσης (s) καθώς και του συντελεστή συσχέτισης (R). Μέσω της περιγραφικής στατιστικής η μέση τιμή των δεδομένων του AERONET (Mean\_Aeronet), η μέση τιμή των δεδομένων του OMI (Mean\_OMI), η διαφορά των δύο μέσων τιμών (Bias), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), καθώς και τα ποσοστά όπου τα δύο δεδομένα OMI-AERONET συμφωνούν εντός των διαφορών  $\pm .03$  και  $\pm .05$ . Επίσης τα ποσοστά που συμφωνούν εντός των ίδιων διαφορών που προαναφέρθηκαν υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται για τιμές του AERONET όπου η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης βρίσκεται κάτω από 0.8, ανάμεσα από 0.8 και 0.9, και πάνω από 0.9.

Ως Bias, ορίζεται η διαφορά της μέσης τιμής του AERONET από του OMI.

$$\text{Bias} = \text{Mean\_OMI} - \text{Mean\_AERONET}$$

Ως RMSE ορίζεται:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OMI}_{(\text{SSA})i} - \text{AERONET}_{(\text{SSA})i})^2}{n}}$$

Όπου  $n$  = ο αριθμός των ζευγαριών (N\_pairs)

Επίσης στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται ο αριθμός των ζευγών τιμών (N\_pairs), καθώς και ο αριθμός των σταθμών (N\_stations) που συμμετείχαν στη σύγκριση.

### **2.2.1.1 χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων**

Διευκρινίζεται ότι τα Level 3 δεδομένα του OMI είναι διαθέσιμα σε μορφή κυψελίδας με χωρική ανάλυση  $1^\circ \times 1^\circ$  (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) στην οποία αντιστοιχεί μία μεσοποιημένη τιμή που αναφέρεται στο κέντρο της κυψελίδας (pixel). Σε αντίθεση με τις δορυφορικές μετρήσεις του οπτικού βάθους των αερολυμάτων το οποίο αναφέρεται σε μια κατακόρυφη στήλη, τα δεδομένα του AERONET παράγονται μέσω μετρήσεων υπό διαφορετικές αζιμουθιακές γωνίες. Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις του AERONET αναφέρονται σε μία περιοχή ακτίνας περίπου πέντε χιλιομέτρων (5km) με κέντρο την περιοχή που είναι εγκατεστημένος ο σταθμός (T. Eck, NASA GSFC, personal communications, 2013).

Στην παρούσα εργασία, με δεδομένη τη χαμηλότερη χωρική ανάλυση των δεδομένων SSA του OMI (περίπου 100 km x 100 km) από εκείνη των AERONET, η σύγκριση έγινε ανάμεσα στα δεδομένα του AERONET και τα δεδομένα της κυψελίδας του OMI μέσα στην οποία βρίσκεται τοποθετημένος ο σταθμός. Π.χ. ένας σταθμός ο οποίος βρίσκεται σε  $38^\circ 34' N$  γεωγραφικό πλάτος (Latitude) και  $43^\circ 85' E$  γεωγραφικό μήκος (Longitude) συγκρίθηκε με τα δεδομένα του OMI στο pixel που έχει κέντρο τις συντεταγμένες  $38,5^\circ$  και  $43,5^\circ$ , αντιστοίχως. Στη σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα ημερήσια δεδομένα, δορυφορικά (OMI) και επίγεια (AERONET). Προϋπόθεση για τους Σταθμούς AERONET που συμπεριλήφθηκαν στη σύγκριση, ήταν να υπάρχουν δεδομένα τουλάχιστον για δύο ημέρες για σύγκριση.

### **2.2.1.2 Επιλογή των μηκών κύματος**

Επισημαίνεται ότι οι Σταθμοί του AERONET δεν παρέχουν δεδομένα για τα αερολύματα σε κοινά μήκη κύματος με τα δεδομένα του OMI. Ενώ στο AERONET τα δεδομένα για το δείκτη διάθλασης και για τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης είναι διαθέσιμα στο οπτικό φάσμα, καθώς και στο κοντινό υπέρυθρο (440(ή 443)nm, 670(664 ή 675)nm, 860nm και 1020nm), τα δεδομένα του OMI παρέχονται στο κοντινό υπεριώδες (354nm και 388nm) και μόνο στα 500nm για το οπτικό φάσμα. Για την πιο ακριβή και σωστή σύγκριση και αξιολόγηση των δεδομένων, χρειάζεται οι τιμές και των δύο ειδών δεδομένων να είναι διαθέσιμα σε κοινά μήκη κύματος. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, ακολουθήθηκε διαδικασία εξαγωγής τους στα επιθυμητά μήκη κύματος.

Τα μήκη κύματος που επιλέχθηκαν για να γίνει η σύγκριση είναι τα 440(443)nm και 500nm.

Το μήκος κύματος των 440(443)nm που διατίθεται από τους σταθμούς του AERONET επιλέχθηκε ως το πιο κοντινό στα 388nm και 500nm , που είναι τα διαθέσιμα μήκη κύματος για τα δεδομένα του OMI. Για τους ίδιους λόγους αντιστοίχως επιλέχθηκε και το μήκος κύματος των 500nm, που διατίθεται από το OMI, για να γίνει σε αυτό η εξαγωγή των τιμών των δεδομένων AERONET χρησιμοποιώντας αυτά που είναι διαθέσιμα στα μήκη κύματος των 440(443)nm και 670(664 ή 675)nm.

Παλαιότερες μελέτες έχουν δείξει ότι το οπτικό βάθος (πάχος) εξασθένησης, καθώς και το οπτικό βάθος απορρόφησης, είναι μία συνεχής συνάρτηση εξαρτώμενη από το μήκος κύματος και μπορεί να υπολογισθεί (προσεγγιστικά) ως εκθετική με μόνο την τιμή εκθετικού παράγοντα του Angstrom (Kirchstetter et al., 2004, Russel et al. 2010).

Αρχικά λοιπόν, υπολογίστηκε ο εκθετικός παράγοντας Angstrom για το ζεύγος μηκών κύματος 388nm – 500nm, σύμφωνα με την Εξίσωση (1.14), που παρατίθεται ξανά πιο κάτω.

$$\alpha = - \frac{d \ln \tau}{d \ln \lambda} = - \frac{\ln \frac{\tau_{(388 \text{ nm})}}{\tau_{(500 \text{ nm})}}}{\ln \frac{388 \text{ nm}}{500 \text{ nm}}}$$

Χρησιμοποιώντας ξανά τον ίδιο τύπο, θεωρώντας τώρα ως σταθερό τον εκθετικό παράγοντα Angstrom, υπολογίστηκε το οπτικό βάθος των αερολυμάτων στα 440nm(443)nm. Αυτό έγινε τόσο για το οπτικό βάθος εξασθένησης όσο και το οπτικό βάθος απορρόφησης.

Στη συνέχεια, η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης (SSA) υπολογίστηκε στα 440(443)nm χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (1.10) και τα υπολογισμένα οπτικά βάρη εξασθένησης και απορρόφησης.

$$(SSA) \quad \omega = \frac{\tau_{sca}}{\tau_{ext}} = 1 - \frac{\tau_{abs}}{\tau_{ext}}$$

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για την εξαγωγή στα 500nm των δεδομένων AERONET, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα στα 440(443)nm και 670(664 ή 675)nm.

### **2.2.2 Κλιματολογική ανάλυση**

Οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων είναι απαραίτητες για τη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος Γης-ατμόσφαιρας, για τα μοντέλα διάδοσης ακτινοβολίας καθώς και τα κλιματικά μοντέλα, που σκοπό έχουν να καθορίσουν την επίδραση των αερολυμάτων στο κλίμα και να μειώσουν την αβεβαιότητα της επίδρασής τους σε αυτό. Η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης, η οποία ποσοτικοποιεί την ικανότητα σκέδασης και απορρόφησης των αερολυμάτων, είναι μία παράμετρος ζωτικής σημασίας για τον καθορισμό της επίδρασης των

αερολυμάτων στο κλίμα. Για το λόγο αυτόν, μελέτες της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων σε κλιματολογική βάση, οι οποίες εξετάζουν πιθανές αλλαγές της σε βάθος δεκαετίας, είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας.

Έτσι, στο δεύτερο τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε η κλιματολογική μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε παγκόσμιο επίπεδο, για την περίοδο 2005-2019. Αυτή η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα SSA και στα τρία διαθέσιμα μήκη κύματος (354nm, 388nm και 500nm) που προέρχονται από τον αλγόριθμο του OMI (OMAERUVd Level 3). Στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης, εξετάστηκαν γεωγραφικές και εποχιακές διακυμάνσεις της SSA, δίνοντας έμφαση στις διαφορές ανάμεσα στις περιοχές ανθρωπίνων και φυσικών πηγών αερολυμάτων.

Για τον υπολογισμό της κάθε μέσης μηνιαίας τιμής στο διάστημα μελέτης εφαρμόστηκε ο περιορισμός του κριτηρίου διαθεσιμότητας των περισσότερων από πέντε ημερήσιων τιμών ( $n > 5$ ) για τον κάθε μήνα. Ο περιορισμός αυτός επιλέχθηκε τελικά, έναντι των αντίστοιχων κριτηρίων των εικοσιπέντε και δεκαπέντε ημερών, ως ο περιορισμός που εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιόπιστα αποτελέσματα (αντιπροσωπευτικότητα μηνιαίων τιμών) και ικανοποιητική χωρική κάλυψη. Το παραπάνω κριτήριο εφαρμόστηκε εξ' αρχής στον υπολογισμό μηνιαίων τιμών από ημερήσιες για τα δεδομένα κάθε κυψελίδας και παρέμεινε για όλους του υπόλοιπους υπολογισμούς.

Στη συνέχεια, στα πλαίσια του υπολογισμού των μέσων μηνιαίων κλιματολογικών τιμών της 15-ετούς περιόδου 2005-2019, ελήφθη μέριμνα και πάλι για την αντιπροσωπευτικότητα των υπολογισθέντων τιμών. Έτσι, η μέση κλιματολογική μηνιαία τιμή υπολογίστηκε επιβάλλοντας το κριτήριο της διαθεσιμότητας των περισσότερων από επτά μέσων μηνιαίων τιμών στην περίοδο μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός της κλιματολογικής μηνιαίας τιμής SSA για κάθε κυψελίδα έγινε εφόσον ήταν διαθέσιμες περισσότερες από επτά από τις συνολικά 15 μέσες μηνιαίες τιμές. Οι μέσες εποχικές τιμές SSA υπολογίστηκαν αρχικά για κάθε έτος έχοντας ως κριτήριο τη διαθεσιμότητα τουλάχιστον δύο μηνιαίων τιμών, ενώ στη συνέχεια, στον υπολογισμό εποχικών κλιματολογικών τιμών, όπως και για τις αντίστοιχες μέσες ετήσιες τιμές, ζητήθηκε να υπάρχουν περισσότερες από επτά διαθέσιμες εποχικές τιμές. Για τον υπολογισμό των μέσων ετήσιων τιμών εφαρμόστηκε το κριτήριο διαθεσιμότητας τουλάχιστον ενός μήνα για κάθε εποχή ενώ για τον υπολογισμό της κλιματολογικής ετήσιας τιμής ζητήθηκε να υπάρχει τιμή για όλα τα έτη (πλήρης χρονοσειρά).

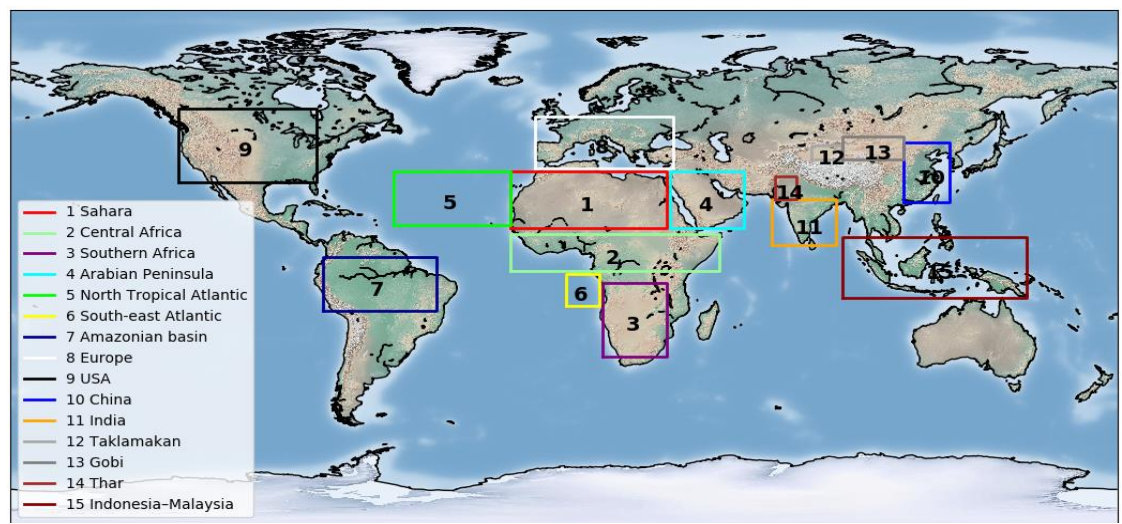
Σε δεύτερη φάση, ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε σε κάθε κελί (pixel) χωριστά χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες (όχι την συνολικά (κλιματολογική) μέση τιμή του μήνα) εξετάζοντας τη διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης. Τα κριτήρια διαθεσιμότητας που ορίστηκαν για αυτή τη μελέτη είναι το κάθε κελί να διαθέτει το ελάχιστο 70% του πλήθους τιμών της χρονοσειράς (126 μηνιαίες τιμές), 50% (6 μηνιαίες τιμές) διαθεσιμότητα τιμών στο

πρώτο (2005) και τελευταίο (2019) έτος και κριτήριο σημαντικότητας μεγαλύτερο του 95% έναντι τις εναλλακτικής υπόθεσης για μηδενική τάση μεταβολής.

Τέλος δεκαπέντε περιοχές μελέτης όπου τα κριτήρια επιλογής τους αναφέρονται στην επόμενη ενότητα (2.3) εξετάστηκαν ξεχωριστά. Παρουσιάζονται πρωτίστως τα αποτελέσματα της εποχικής διακύμανσης της περιοχής, ακολούθως η μέσες μηνιαίες τιμές της περιοχής (όλη η χρονοσειρά) μαζί με τα αποτελέσματα του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης από την εφαρμογή του στις μέσες περιοχικές τιμές του κάθε μήνα και τέλος παρουσιάζεται η ποσοστιαία χωρική κάλυψη από όπου υπολογίστηκε η κάθε μέση μηνιαία τιμή της περιοχής.

### **2.3 Περιοχές ενδιαφέροντος μελέτης**

Όπως έχει αναφερθεί, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου παρέχουν εκτεταμένη, σχεδόν πλήρη, γεωγραφική κάλυψη. Παρόλα αυτά, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν και συγκεκριμένες περιοχές για περαιτέρω μελέτη όπου εμφανίζονται είτε εποχιακά είτε διαχρονικά έντονη συγκέντρωση συγκεκριμένων τύπων αερολυμάτων. Στις περιοχές συμπεριλαμβάνονται βιομηχανικές περιοχές (Ευρώπη, ΗΠΑ, Ινδία, Κίνα), περιοχές καύσης βιομάζας (Κεντρική Αφρική, Νότια Αφρική, Κοιλάδα του Αμαζονίου, Νότιος Ατλαντικός), καθώς και περιοχές που υφίστανται επεισόδια ερημικής σκόνης (Βόρεια Αφρική, Σαουδική Αραβία, Βόρειος Ατλαντικός, Τακλαμακάν, Γκόμπι, Τάρ, Ινδονησία-Μαλαισία).



**Σχήμα 2.5.** Περιοχές ενδιαφέροντος μελέτης

**Πίνακας 2.1** Οι περιοχές ενδιαφέροντος που μελετώνται στην παρούσα εργασία, σε σχέση με την παράμετρο SSA και τα όρια των γεωγραφικών συντεταγμένων της περιοχής κάλυψής τους.

Region	Longitude (°)		Latitude (°)	
	West Limit (°)	East Limit(°)	North Limit(°)	South Limit(°)
Sahara	-17,5	33,5	33,5	13,5
Central Africa	-17,5	50,5	11,5	-1,5
Southern Africa	12,5	33,5	-5,5	-31,5
Arabian Peninsula	34,5	58,5	33,5	13,5
North Tropical Atlantic	-55,5	-17,5	33,5	14,5
South East Atlantic	0,5	11,5	-2,5	-13,5
Amazon Rainforest	-78,5	-41,5	3,5	-15,5
Europe	-9,5	35,5	52,5	34,5
USA	-125,5	-80,5	47,5	29,5
China	110,5	125,5	43,5	22,5
India	67,5	88,5	23,5	7,5
Taklamakan	80,5	90,5	42,5	37,5
Gobi	90,5	110,5	45,5	37,5
Thar	68,5	75,5	31,5	23,5
Indonesia-Malaysia	90,5	150,5	10,5	-11,5

## **Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα – Συζήτηση**

---

### **3.1 Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων OMI με τα επίγεια δεδομένα AERONET**

Στο πρώτο μέρος αυτού του Κεφαλαίου (Ενότητα 3.1) παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των δορυφορικών δεδομένων του OMI με τα επίγεια δεδομένα του AERONET. Η σύγκριση πραγματοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα (για 541 Σταθμούς του δικτύου AERONET) για δύο μήκη κύματος, 440(443)nm και 500nm, για όλη την περίοδο αναφοράς 2005-2019, ενώ πραγματοποιείται τόσο για το σύνολο των Σταθμών συγκεντρωτικά, όσο και για κάθε σταθμό AERONET χωριστά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε εποχική βάση με στόχο την ανεύρεση πιθανών αιτιών απόκλισης μεταξύ των δορυφορικών και των επίγειων δεδομένων.

Στο δεύτερο μέρος του Κεφαλαίου (Ενότητα 3.2) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κλιματολογικής μελέτης της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε πλανητική κλίμακα. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για συνολικά δεκαπέντε (15) έτη, για όλη τη διάρκεια των διαθέσιμων δεδομένων (2005-2019) και για τα τρία μήκη κύματος (354nm, 388nm, 500nm) του OMI. Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν τόσο σε ετήσια όσο και σε μηνιαία βάση. Πιο συγκεκριμένα, πρώτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μέση κλιματολογική βάση, δηλαδή μεσοποιημένα για όλα τα έτη μελέτης της περιόδου 2005-2019. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η δεκαπενταετής μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για κάθε κελί (pixel) καθώς και η σχετική μεταβολή κατά την περίοδο μελέτης και στα τρία μήκη κύματος. Τέλος, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα (δεκαπενταετής τάση μεταβολής και σχετική μεταβολή) υπολογισμένα σε εποχική βάση. Στόχος είναι η ανεύρεση πιθανών διαφορετικών μεταβολών σε κάθε εποχή, δεδομένου ότι πιθανά διαφορετικά εποχικά χαρακτηριστικά αλληλοαναιρούνται και υποκρύπτονται σε ετήσια βάση.

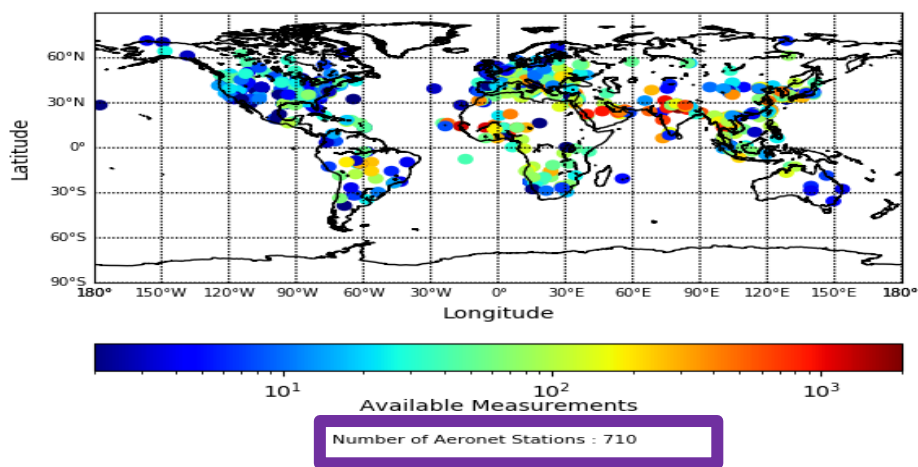
Στο τελευταίο μέρος του Κεφαλαίου (3.3) δίνονται τα αποτελέσματα των δεκαπέντε επιλεγμένων περιοχών ενδιαφέροντος, εστιάζοντας στην ενδοετήσια κύμανση και τη διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης πάνω από τις υπό μελέτη περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη και τα ποσοστά κάλυψης της περιοχής από διαθέσιμα δεδομένα.

#### **3.1.1 Διαθεσιμότητα δορυφορικών και επίγειων δεδομένων SSA για σύγκριση OMI-AERONET**

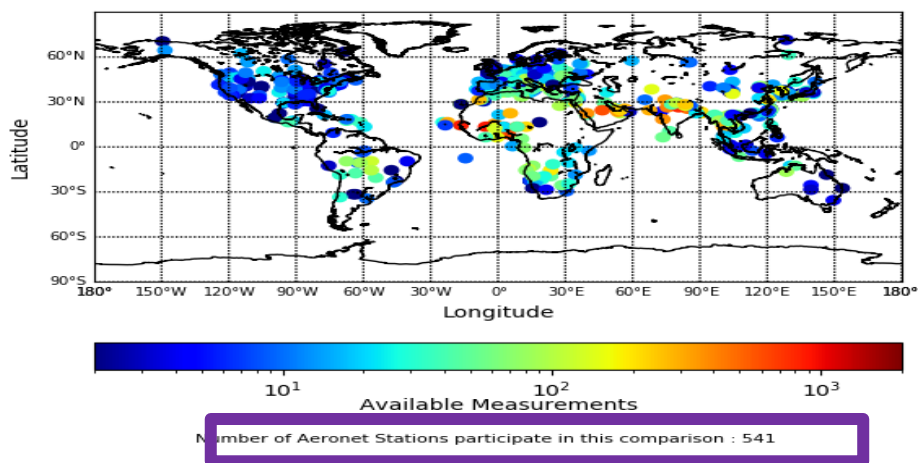
Το Σχήμα 3.1 δείχνει τους 710 διαθέσιμους Σταθμούς του AERONET που έχουν τουλάχιστον δύο μέσες ημερήσιες διαθέσιμες τιμές στην περίοδο 2005 – 2019. Το

πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων του κάθε Σταθμού απεικονίζεται με το χρώμα του και παριστάνεται στη λογαριθμική κλίμακα του Σχήματος.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1, ο αριθμός των Σταθμών που έχουν τουλάχιστον δύο (2) τιμές στην περίοδο μελέτης είναι 710. Το μεγαλύτερο μέρος των Σταθμών (234) παρουσιάζονται με μπλε αποχρώσεις, που δείχνει ότι οι διαθέσιμες τιμές είναι κάτω ή ίσες με δέκα. Αντίθετα ο αριθμός των Σταθμών με περισσότερες από χίλιες τιμές (έντονες κόκκινες αποχρώσεις) είναι πολύ περιορισμένος (7 Σταθμοί). Επίσης, φαίνεται ότι υπάρχει ικανοποιητική χωρική κάλυψη από Σταθμούς στην Ευρώπη και την Αμερική, σε αντίθεση με την Ασία, την Αφρική, (ιδιαίτερα τη βόρεια), και την Αυστραλία, όπου η κάλυψη παρουσιάζεται περιορισμένη.



**Σχήμα 3.1.** Σταθμοί AERONET με τουλάχιστον δύο διαθέσιμες μέσες ημερήσιες τιμές λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων στην περίοδο 2005 – 2019.



**Σχήμα 3.2** Σταθμοί AERONET για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα τουλάχιστον δύο ζεύγη (matchups, OMI-AERONET) συγκρίσιμων τιμών SSA από OMI και AERONET στην περίοδο 2005 – 2019.



Επισημαίνεται ότι δεν υπάρχουν πάντα, για όλους τους Σταθμούς AERONET, διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα SSA OMI για κοινές ημέρες. Για την σύγκριση/αξιολόγηση των δεδομένων επιλέχθηκαν οι σταθμοί που διαθέτουν τουλάχιστον δύο διαθέσιμα ζεύγη (matchups, OMI-AERONET) τιμών SSA, από OMI και AERONET, για την περίοδο 2005 – 2019. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζονται οι 541 Σταθμοί AERONET που τηρούν το ανωτέρω κριτήριο. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε ανάμεσα στις τιμές SSA του AERONET με τις τιμές της κυψελίδας ( $1^\circ \times 1^\circ$  pixel) του OMI που τον περιέχει.

Φαίνεται ότι από τους 541 Σταθμούς που απέμειναν και είναι διαθέσιμοι για την ανάλυση, ένας μεγάλος αριθμός (219 Σταθμοί) έχει περιορισμένα (<10, αποχρώσεις του μπλε) δεδομένα, ενώ οι Σταθμοί με περισσότερα από χίλια ζεύγη τιμών (αποχρώσεις του κόκκινου) εξαφανίζονται (0).

### **3.1.2 Σύγκριση συνόλου δεδομένων SSA OMI – AERONET σε ετήσια βάση**

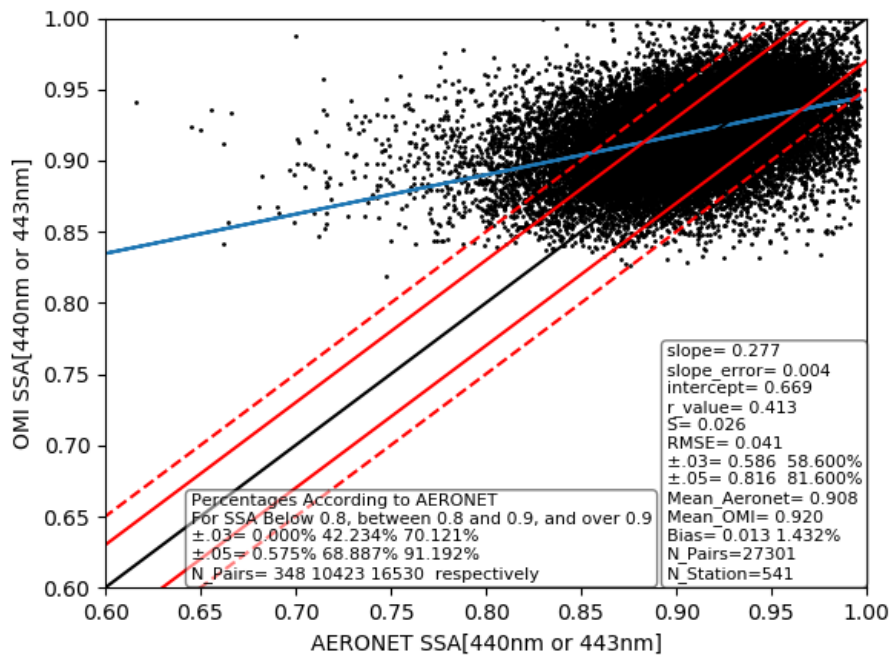
Το Σχήμα 3.3 δείχνει τη σύγκριση (διάγραμμα διάχυσης, scatterplot diagram) μεταξύ των δεδομένων της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στα 440(443)nm του OMI και AERONET. Η σύγκριση αναφέρεται σε όλη την περίοδο μελέτης, 2005 – 2019, καθώς και σε όλους τους Σταθμούς. Οι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση/αξιολόγηση είναι η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης (slope), το σφάλμα της κλίσης (slope\_error), ο σταθερός όρος (intercept), ο συντελεστής συσχέτισης (R), η διακύμανση (S), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), τα ποσοστά εντός των διαφορών  $\pm 0,03$  και  $\pm 0,05$ , οι μέσες τιμές OMI (Mean\_OMI) και AERONET (Mean\_AERONET), η διαφορά των δύο μέσων (Bias), καθώς και οι συνολικοί αριθμοί των ζευγών (N\_pairs) και σταθμών (N\_Stations) που συμμετείχαν στη σύγκριση.

Στο διάγραμμα παρουσιάζονται επίσης οι ευθείες 1-1 (μαύρο χρώμα) η οποία διέρχεται από ίσες τιμές SSA OMI-AERONET, οι ευθείες με σταθερή διαφορά  $\pm 0.03$  (κόκκινη συνεχής ευθεία), με σταθερή διαφορά  $\pm 0.05$  (κόκκινη διακεκομμένη ευθεία) καθώς και το αποτέλεσμα του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης (μπλε συνεχής ευθεία) ( $\text{slope} \cdot x + \text{Intercept}$ ).

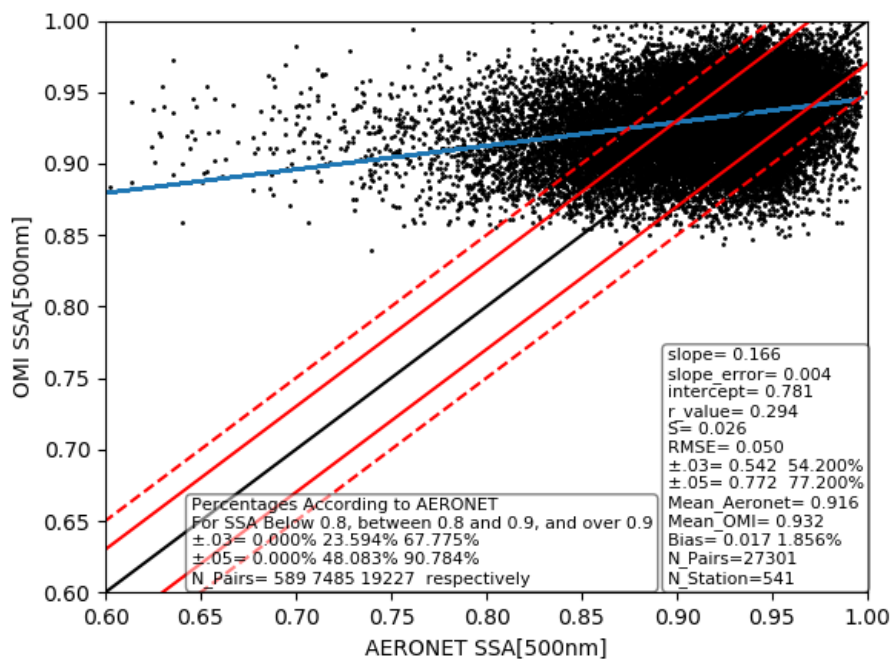
Τα δεδομένα του OMI δείχνουν να συμφωνούν σε ποσοστό 58% εντός μίας διαφοράς  $\pm 0.03$  από τις τιμές αναφοράς του AERONET (δηλαδή, το 58% των σημείων βρίσκονται εντός των συνεχών κόκκινων γραμμών) ενώ το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε 81% όταν η διαφορά υπολογίζεται στο  $\pm 0.05$  (εντός των διακεκομμένων κόκκινων γραμμών). Τα δεδομένα του OMI δείχνουν να υπερεκτιμούν τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων για τιμές μικρότερες από 0.8-0.85. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται μία σχετικά ασθενής συσχέτιση ( $R = 0.41$ ) ανάμεσα στα δύο σύνολα δεδομένων (OMI και AERONET) καθώς και μία μικρή κλίση (slope = 0.28) στην ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης. Ο σταθερός όρος της γραμμικής

παλινδρόμησης (intercept) υπολογίστηκε στο 0.67 (αρκετά μεγάλος για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν πιο πάνω).

Η μέση τιμή των δεδομένων SSA του OMI υπολογίστηκε σε 0.92, ενώ αυτή των AERONET σε 0.908, δίνοντας έτσι μία συνολική απόκλιση (Bias, Mean\_OMI – Mean\_AERONET) ίση με 0.013, που αντιστοιχεί στο 1.43% της μέσης τιμής του AERONET, ένα αρκετά χαμηλό ποσοστό.



**Σχήμα 3.3** Διάγραμμα διάχυσης μεταξύ των δεδομένων SSA OMI - AERONET στα 440(443)nm, για την περίοδο 2005-2019.



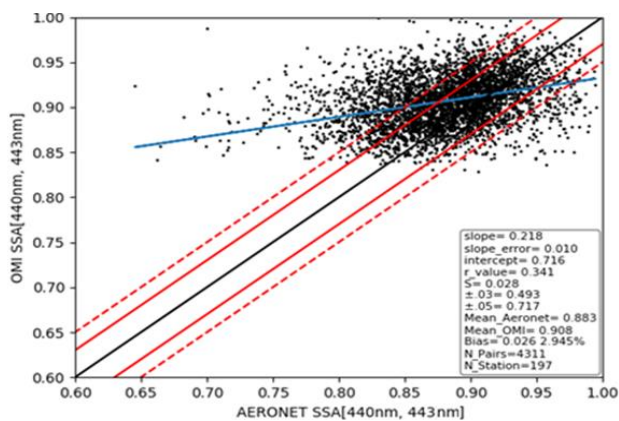
**Σχήμα 3.4** Διάγραμμα διάχυσης μεταξύ των δεδομένων SSA OMI - AERONET στα 500nm, για την περίοδο 2005-2019

Η ίδια ανάλυση με αυτήν του Σχήματος 3.3 έγινε και για τα 500nm και τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4, όπου φαίνεται να είναι ακόμη πιο έντονο το πρόβλημα της υπερτίμησης της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων από τα δεδομένα OMI για τιμές μικρότερες από 0.8. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ότι το 54% των δεδομένων OMI συμφωνούν εντός μιας διαφοράς  $\pm 0.03$  με τα δεδομένα του AERONET και το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε 78% για διαφορές εντός  $\pm 0.05$ . Έτσι λοιπόν, διαπιστώνεται ότι η σύγκριση στα 500 nm είναι ελαφρώς χειρότερη από εκείνη στα 440(443)nm το οποίο μπορεί να βασίζεται κατά μεγάλο βαθμό στο ότι οι τιμές αυτές αποτελούν εξαγόμενο προϊόν σε αρκετά μακρινό φάσμα (500nm) από την περιοχή μετρήσεων όπου πραγματοποιεί το OMI. Η κλίση της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης είναι ίση με 0.17 και ο συντελεστής συσχέτισης 0.29 (έναντι 0,277 και 0,413 αντίστοιχα της σύγκρισης των 440(443)nm). Ο σταθερός όρος της γραμμικής παλινδρόμησης είναι ίσος με 0.78, ενώ οι μέσες τιμές SSA OMI και AERONET και η μέση απόκλισή τους είναι ίσες με 0.932, 0.916 και 0.02 (1.86%) αντίστοιχως.

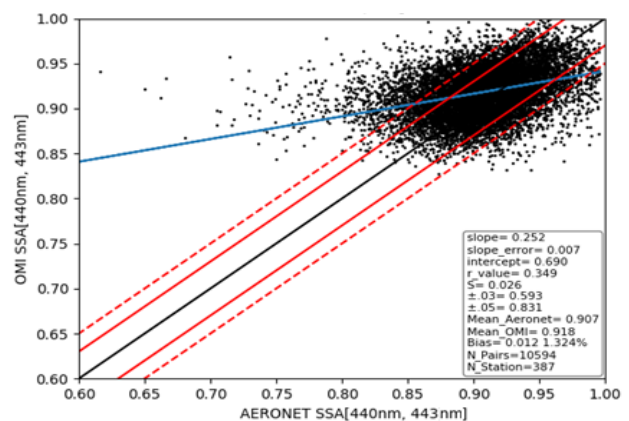
Διευκρινίζεται ότι και για τις δύο συγκρίσεις (440(443)nm και 500nm) χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 27301 ζεύγη ημερησίων τιμών SSA από 541 Σταθμούς.

### **3.1.3 Σύγκριση συνόλου δεδομένων SSA OMI – AERONET σε εποχική βάση**

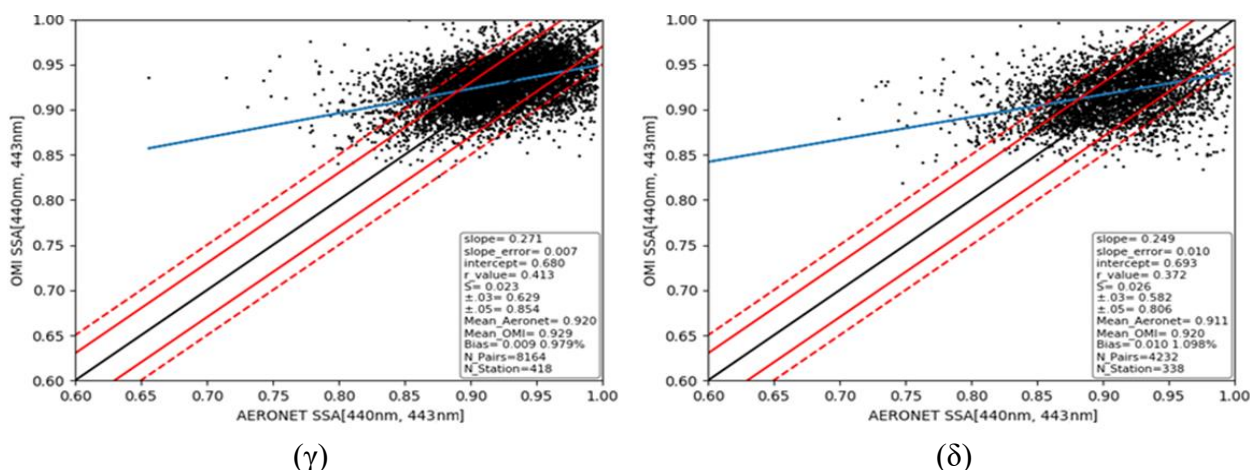
Η ίδια ανάλυση (σύγκριση μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων SSA και των αντίστοιχων AERONET) έγινε και σε εποχική βάση και για τα δύο μήκη κύματος (440(443)nm, 500nm) και τα αποτελέσματα για τις τέσσερις (4) εποχές του έτους παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6, ενώ οι σημαντικότεροι στατιστικοί δείκτες παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.1 και 3.2.



(α)



(β)



**Σχήμα 3.5** Διάγραμμα διάχυσης μεταξύ των δεδομένων SSA OMI - AERONET στα 440(443)nm, για το Χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ), Φθινόπωρο (δ) για την περίοδο 2005-2019.

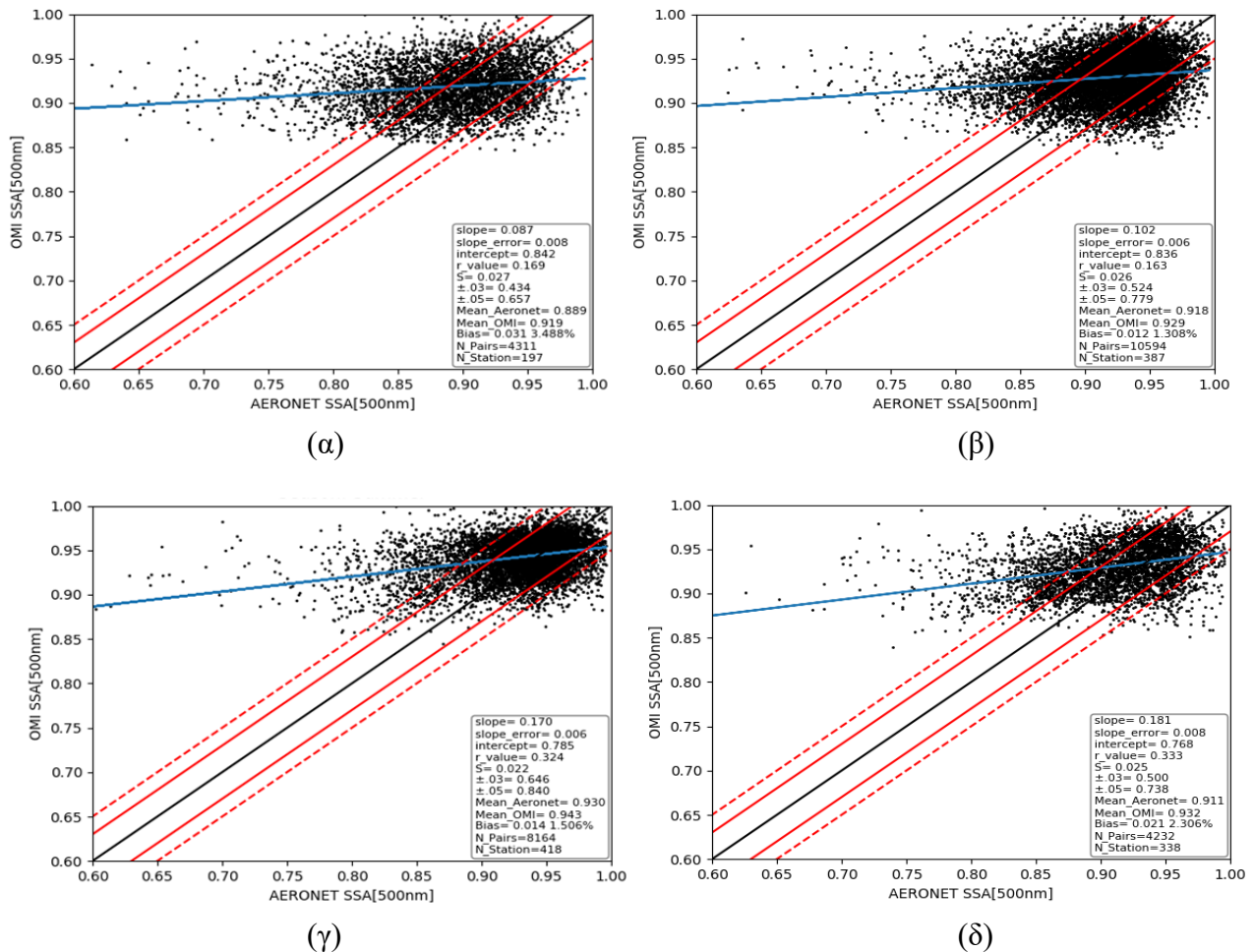
**Πίνακας 3.1** Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών σε εποχική βάση για τα 440(443)nm.

Με έντονο μαύρο (**Bold**) επισημαίνονται οι καλύτεροι εποχικοί στατιστικοί δείκτες

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Κλίση	0.218	0.252	<b>0.271</b>	0.249
Σταθερ. Όρος	0.716	0.690	<b>0.680</b>	0.693
R	0.341	0.349	<b>0.413</b>	0.372
± 0.03	0.493	0.593	<b>62.9%</b>	0.582
± 0.05	0.717	0.831	<b>85.4%</b>	0.806
Bias	0.026 (2.94%)	0.012 (1.32%)	<b>0.009 (0.979%)</b>	0.010 (1.1%)

Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα τόσο του Σχήματος όσο και του Πίνακα, υπάρχει ελαφρώς καλύτερη συμφωνία OMI-AERONET κατά το θέρος. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκριση στα 440(443)nm εμφανίζει ποσοστά 62.9% και 85.4% εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$ , αντίστοιχα, κατά την περίοδο του θέρους. Γενικά, όλοι οι στατιστικοί δείκτες είναι ελαφρώς καλύτεροι κατά το θέρος από ότι στις άλλες εποχές. Αντίθετα, οι χειρότεροι (ελαφρώς) στατιστικοί δείκτες παρατηρούνται κατά το χειμώνα, όταν, για παράδειγμα, το 49.3% και 71.7% των τιμών των ζευγών διαφέρουν μεταξύ τους έως και  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$ , αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι το πρόβλημα της υπερεκτίμησης των μετρήσεων του OMI για τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μικρότερες από 0.8, που διαπιστώθηκε στο Σχήμα 3.3 σε ετήσια βάση, παρουσιάζεται σε όλες τις εποχές, επηρεάζοντας την κλίση της ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης (τιμές από 0.218 έως 0.271) καθώς και την τιμή του συντελεστή συσχέτισης (τιμές από 0.341 έως 0.413).



**Σχήμα 3.6** Διάγραμμα διάχυσης μεταξύ των δεδομένων SSA OMI - AERONET στα 500nm, για το Χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ), Φθινόπωρο (δ) για την περίοδο 2005-2019.

Στα Σχήματα 3.6 (α έως και δ) εμφανίζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δεδομένων σε εποχική βάση με το διάγραμμα 3.6 (α) να παρουσιάζει τα αποτελέσματα για το χειμώνα το β για την άνοιξη το γ για το καλοκαίρι και το δ για το φθινόπωρο. Στον Πίνακα 3.2 εμφανίζονται συνοπτικά τα κύρια αποτελέσματα της σύγκρισης για τα 500nm.

Όπως βρέθηκε και στη σύγκριση για τα 440(443)nm, έτσι φαίνεται και από τα αποτελέσματα της σύγκρισης στα 500nm ότι υπάρχει ελαφρώς καλύτερη συμφωνία OMI-AERONET κατά το θέρος (π.χ. ποσοστά 64.6% και 84% εντός των διαφορών ±



0.03 και  $\pm 0.05$ , αντιστοίχως) και χειρότερη κατά το χειμώνα (αντίστοιχα ποσοστά 43.4% και 65.7 %).

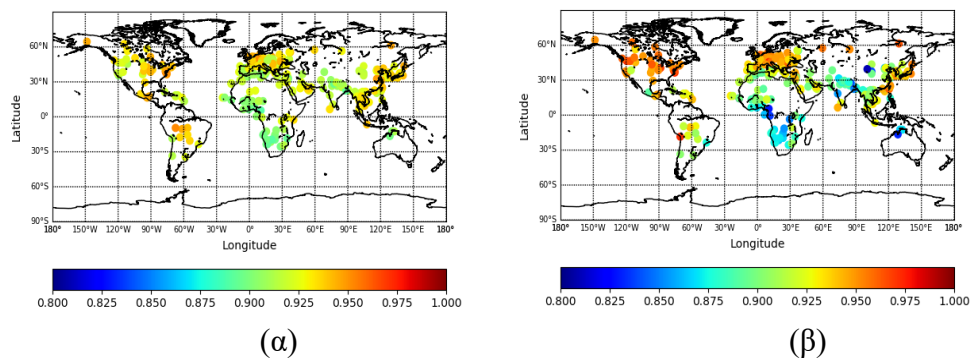
**Πίνακας 3.2** Αποτελέσματα στατιστικών δεικτών σε εποχική βάση για τα 500nm. Με έντονο μαύρο (**Bold**) επισημαίνονται οι καλύτεροι εποχικοί στατιστικοί δείκτες

	Winter	Spring	Summer	Autumn
Slope	0.087	0.102	<b>0.170</b>	0.181
Intercept	<b>0.842</b>	0.836	0.785	0.768
R	0.169	0.163	0.324	<b>0.333</b>
$\pm 0.03$	0.434	0.524	<b>0.646</b>	0.500
$\pm 0.05$	0.657	0.779	<b>0.840</b>	0.738
Bias	0.031 3.488%	<b>0.012 1.308%</b>	0.014 1.506%	0.021 2.306%

Το πρόβλημα της υπερεκτίμησης των δεδομένων SSA του OMI για τιμές μικρότερες από 0.8 παρουσιάζεται ξεκάθαρα σε όλες τις εποχές, μάλιστα σε εντονότερο βαθμό από ότι στα 440(443)nm (π.χ. τιμές κλίσης 0.087-0.17 έναντι 0.218-0.271). Εκτός από αυτό, φαίνεται ότι η σύγκριση στα 500nm είναι χειρότερη από ότι στα 440(443)nm (π.χ. τιμές R 0.163-0.324 έναντι 0.341-0.413 και τιμές σχετικής ποσοστιαίας απόκλισης-Bias 1.31-3.5% έναντι 0.98-2.94%).

### **3.1.4 Σύγκριση δεδομένων SSA OMI – AERONET για μεμονωμένους σταθμούς**

Μετά από τη σύγκριση του συνόλου των δεδομένων SSA OMI και AERONET, στο επόμενο στάδιο αξιολογήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα OMI μέσω συγκρίσεων με τα αντίστοιχα επίγεια δεδομένα AERONET σε επίπεδο μεμονωμένων Σταθμών, δηλαδή η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για κάθε Σταθμό, ξεχωριστά. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε και για τα δύο μήκη κύματος, 440(443)nm και 500nm. Οι στατιστικοί δείκτες (statistical metrics) που υπολογίστηκαν και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια είναι ο συντελεστής συσχέτισης (R) και η απόκλιση (Bias). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται έχοντάς υπολογιστεί με την εφαρμογή τριών κριτηρίων διαθεσιμότητας δεδομένων, με σκοπό τον έλεγχο της συνέπειάς τους. Τα κριτήρια διαθεσιμότητας που εφαρμόστηκαν είναι η εμφάνιση Σταθμών που έχουν τουλάχιστον 10, 50 και 100 ζεύγη τιμών OMI-AERONET στην περίοδο μελέτης.



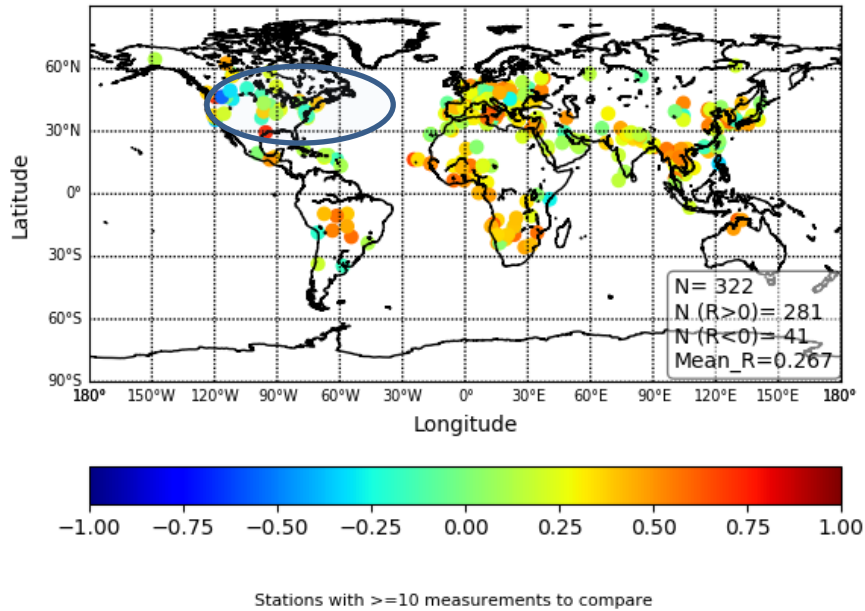
**Σχήμα 3.7** Μέσες τιμές SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI (α) και AERONET (β) για Σταθμούς που διαθέτουν τουλάχιστον 10 κοινά ζεύγη τιμών.

Στα Σχήματα 3.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέσων τιμών SSA OMI (α) και AERONET (β) στα 440(443)nm με το κριτήριο διαθεσιμότητας των 10 ή περισσότερων ζευγών (τιμών) για την περίοδο μελέτης. Τα αποτελέσματα των μέσων τιμών είναι αυτά όπως υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε για την πραγματοποίηση της σύγκρισης των δύο δεδομένων (υπολογισμός του Bias) και παρουσιάζονται σε κοινή κλίμακα έχοντας ως στόχο την ανάδειξη των περιοχών με χαμηλές τιμές SSA (κάτω από 0.8) όπου εμφανίζεται και η μεγαλύτερη απόκλιση. Λόγω του περιορισμένου αριθμού των τιμών SSA κάτω του 0.8 (348 έναντι 10423 και 16530 για ανάμεσα σε 0.8-0.9 και 0.9-1 αντιστοίχως) δεν ήταν δυνατή η ανεύρεση κάποιας συγκεκριμένης προβληματικής περιοχής. Είναι πάντως εμφανές ότι το OMI τείνει να εμφανίζει τιμές περί του 0.9 για περιοχές με εποχιακά αερολύματα καύσης βιομάζας όπως η κεντρική και Νότια Αφρική έναντι 0.85-0.875 (και λίγο μικρότερες για την κεντρική Αφρική) που εμφανίζει το AERONET για τις ίδιες περιοχές. Υψηλότερες τιμές SSA εμφανίζονται για την κοιλάδα του Αμαζονίου σε σχέση με τις προαναφερθείσες περιοχές και στα δύο σχήματα που οφείλεται στις εκπομπές αερολυμάτων μεγαλύτερης περιεκτικότητας οργανικού άνθρακα κατά την εκδήλωση των εποχιακών πυρκαγιών. Εμφανή χαμηλότερες τιμές δείχνει να παρουσιάζει το OMI για τις αστικές-βιομηχανικές περιοχές (Ευρώπη, Αμερική και Δυτική Κίνα) με τις τιμές να κυμαίνονται από 0.9 έως 0.95 έναντι των υψηλότερων τιμών 0.94 έως 0.97 που παρουσιάζει το AERONET. Για τις περιοχές της Βόρεια Αφρικής (Σαχάρα), Αραβικής Χερσονήσου και Νότιας Ασίας (Βόρεια Ινδία), όπου η παρουσία αερολυμάτων σκόνης είναι συχνή, το OMI τείνει να εμφανίζει υψηλότερες τιμές SSA με αυτές να κυμαίνονται από 0.9 έως 0.93 έναντι των 0.88 έως 0.91 που παρουσιάζει το AERONET.

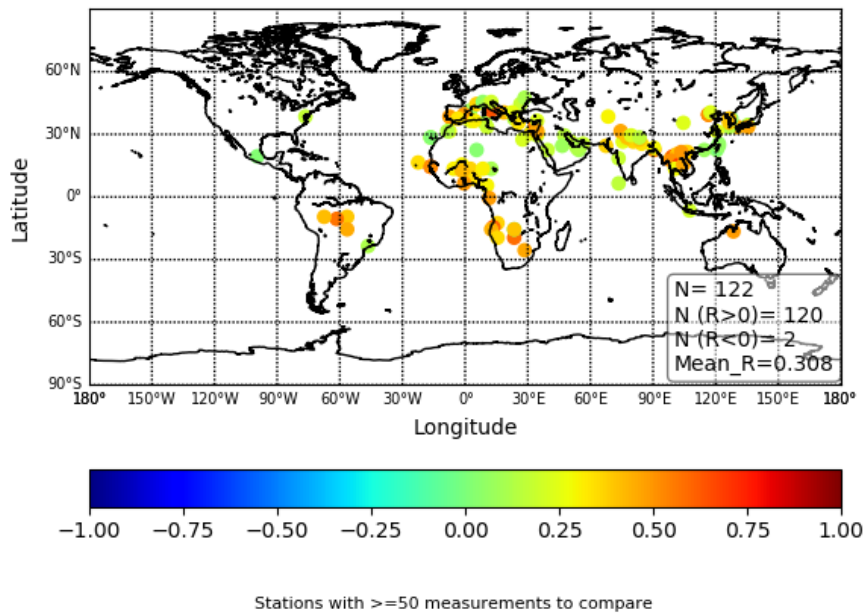
Στα Σχήματα 3.8 και 3.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το συντελεστή συσχέτισης (R) μεταξύ των τιμών SSA OMI και AERONET στα 440(443)nm και 500nm αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και για τα τρία κριτήρια διαθεσιμότητας τιμών (10, 50, και 100 διαθέσιμα κοινά ζεύγη τιμών).

Φαίνεται ότι όσο πιο αυστηρό γίνεται το κριτήριο διαθεσιμότητας, τόσο ο αριθμός των Σταθμών μειώνεται (από 322 σταθμούς για το κριτήριο διαθεσιμότητας 10 ή

περισσότερα ζεύγη σε 63 σταθμούς για 100 κοινά ζεύγη τιμών). Επίσης φαίνεται ότι για τους περισσότερους Σταθμούς (281 στο κριτήριο διαθεσιμότητας 10 ή περισσότερων, 120 για το κριτήριο των 50 και 62 για το κριτήριο των 100 κοινών ζευγών) οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης είναι θετικές.

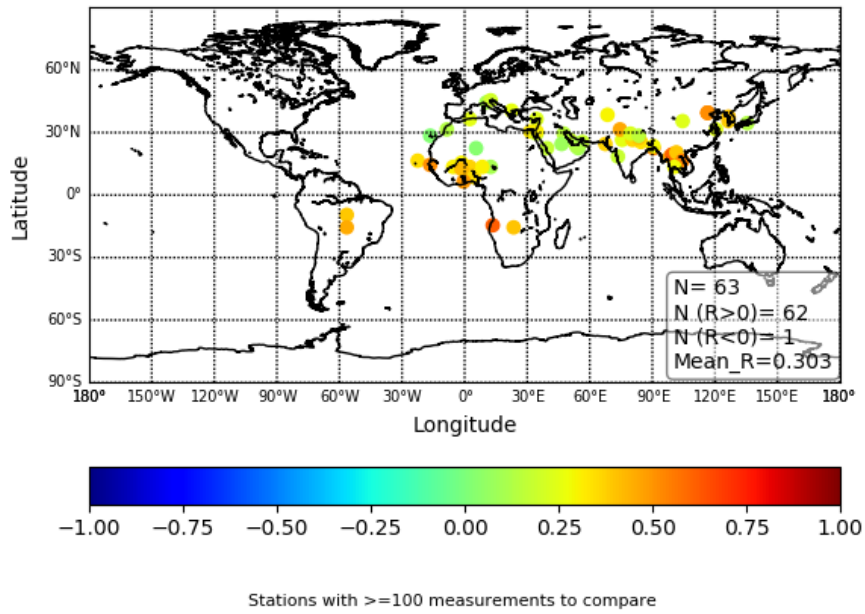


(α)



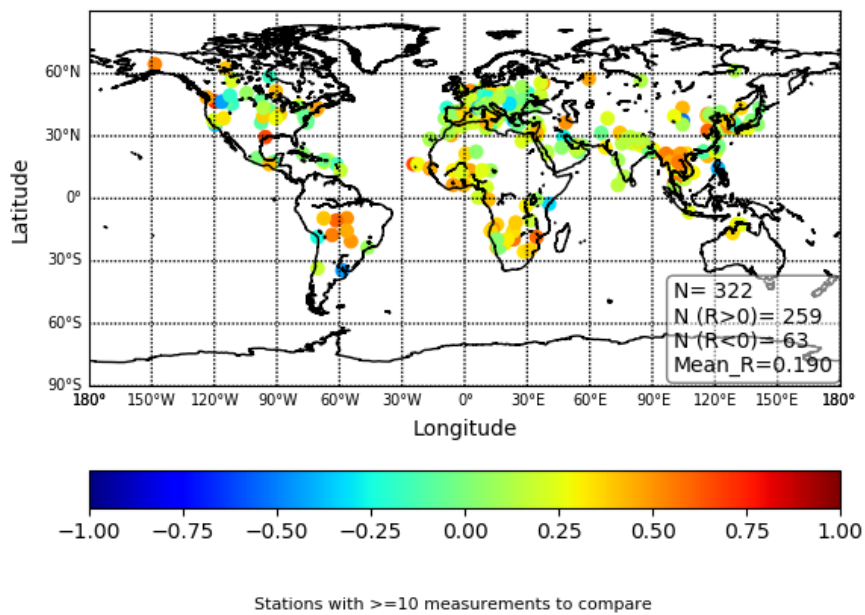
(β)



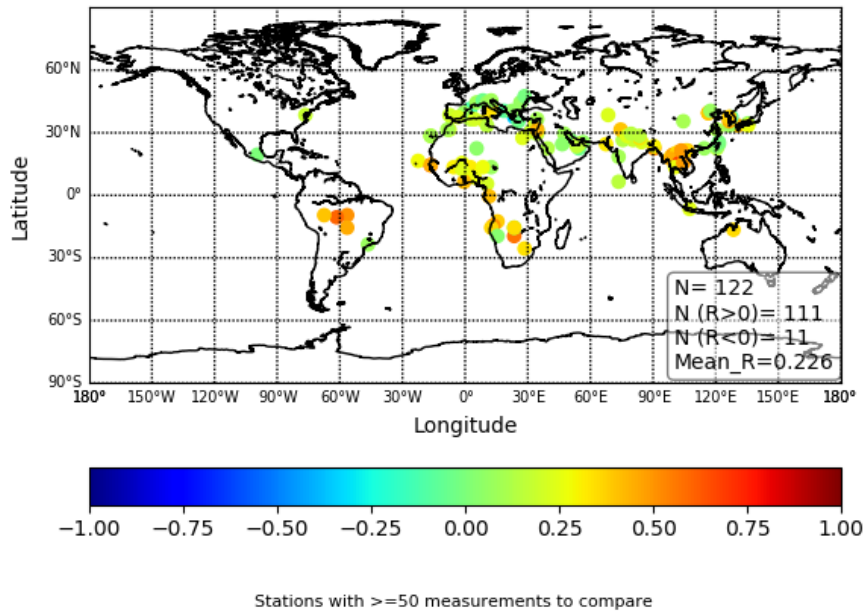


( $\gamma$ )

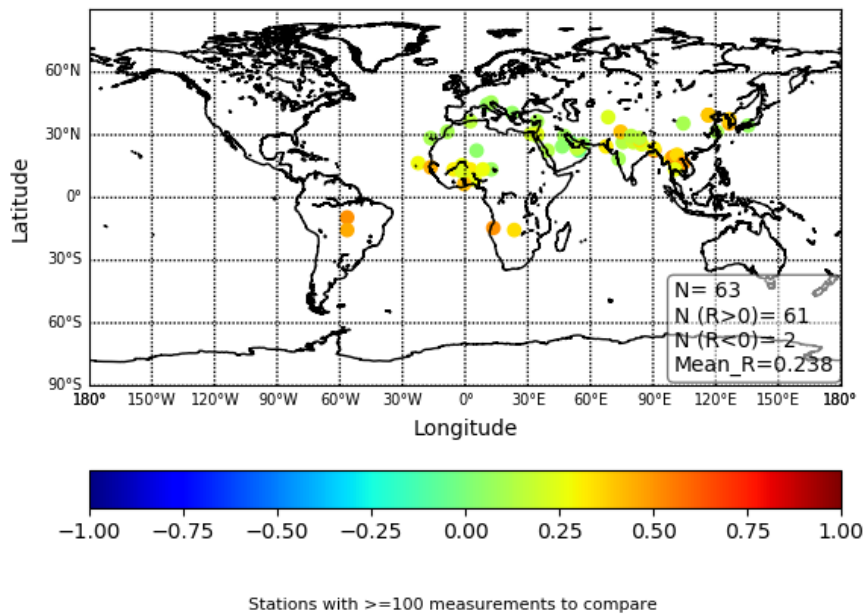
**Σχήμα 3.8** Συντελεστές συσχέτισης ( $R$ ) μεταξύ των τιμών SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI και AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από από 10( $\alpha$ ), 50( $\beta$ ) και 100 ( $\gamma$ ) κοινά ζεύγη τιμών.



( $\alpha$ )



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.9** Συντελεστές συσχέτισης (R) μεταξύ των τιμών SSA στα 500nm των δεδομένων OMI και AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10(α), 50(β) και 100 (γ) κοινά ζεύγη τιμών.

Πιο συγκεκριμένα, αρνητικές τιμές R (μπλε αποχρώσεις) εμφανίζονται μόνο στην περίπτωση του κριτηρίου διαθεσιμότητας των 10 ή περισσότερων ζευγών. Ωστόσο, παράλληλα με την εξαφάνιση των αρνητικών τιμών R στα αυστηρότερα κριτήρια διαθεσιμότητας, παρατηρείται και εξαφάνιση αποτελεσμάτων για ολόκληρες γεωγραφικές περιοχές (ηπείρους) όπως για παράδειγμα στη Βόρεια Αμερική (εξαφανίζονται για κριτήρια διαθεσιμότητας 50 και 100) ή και στη Νότια

(εξαφανίζονται για κριτήρια διαθεσιμότητας 100). Βέβαια, ταυτόχρονα, εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία, συνδεδεμένη με την καλύτερη αντιπροσωπευτικότητα, των τιμών SSA του OMI, καθώς οι υπολογισθείσες μέσες (πλανητικές, για τους υπάρχοντες Σταθμούς) τιμές R για τα 3 κριτήρια διαθεσιμότητας είναι ίσες με 0.267, 0.308, 0.303 (10, 50 και 100 διαθέσιμα ζεύγη τιμών

Στα Σχήματα 3.8α και 3.9α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το συντελεστή συσχέτισης (R) υπολογισμένα με κριτήριο τα 10 ή περισσότερα ζεύγη τιμών. Το μεγαλύτερο πλήθος Σταθμών εμφανίζει μία μέτρια θετική συσχέτιση, πλην της περιοχής της Βόρειας Αμερικής, όπου υπάρχουν Σταθμοί που εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση. Πιο συγκεκριμένα, οι Σταθμοί που βρίσκονται στη νότια Αφρική, νότια Αμερική και νότια Ασία παρουσιάζουν μια μέτρια (και σε μερικούς Σταθμούς και ισχυρή) θετική συσχέτιση. Ένας μεγάλος αριθμός 9 Σταθμών εμφανίζει αρνητική συσχέτιση στη Βόρεια Αμερική, ενώ ανάμεικτη εικόνα, με θετικούς και αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης, εμφανίζει η Ευρώπη (65 και 9 Σταθμοί με θετικές και αρνητικές τιμές R, αντίστοιχα).

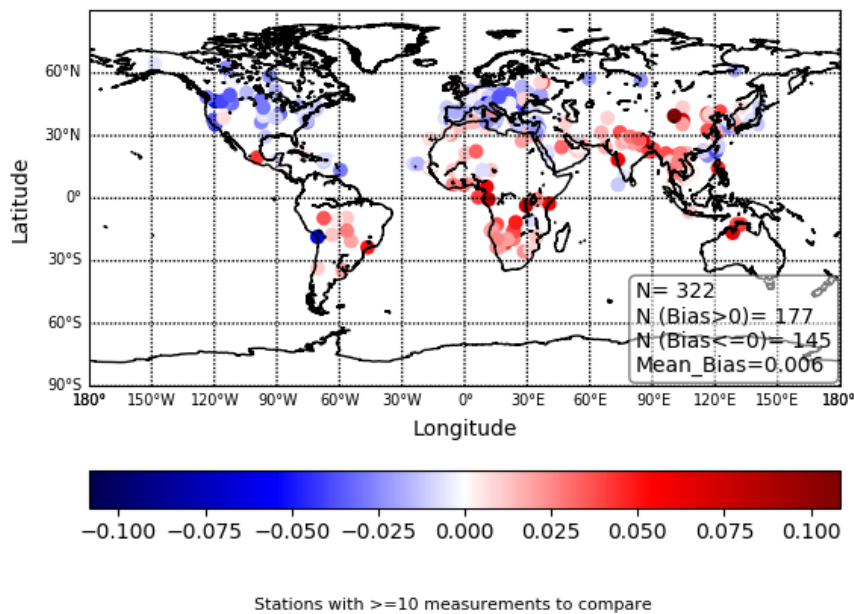
Στα Σχήματα 3.8β και 3.9β, όπου έχει εφαρμοστεί το κριτήριο διαθεσιμότητας των πενήντα ή περισσότερων ζευγών τιμών, διαπιστώνεται ότι οι Σταθμοί με αρνητική συσχέτιση εξαφανίζονται. Διαπιστώνεται δηλαδή ότι οι «προβληματικοί» αυτοί Σταθμοί (Σταθμοί με προβληματικές τιμές SSA του OMI) χαρακτηρίζονται από πολύ μικρό πλήθος τιμών (μετρήσεων) AERONET, που δε μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές. Έτσι, παραλείποντας αυτούς τους Σταθμούς με μη αντιπροσωπευτικές τιμές SSA, οι Σταθμοί που απομένουν έχουν μόνο θετική συσχέτιση, αλλού ασθενέστερη (κίτρινα, πράσινα χρώματα) και αλλού ισχυρότερη (πορτοκαλί, κόκκινα χρώματα) συσχέτιση. Τα ίδια περίπου συμπεράσματα προκύπτουν και όταν χρησιμοποιούνται Σταθμοί με περισσότερα από 100 διαθέσιμα κοινά ζεύγη τιμών στα Σχήματα 3.8γ και 3.9γ, καθώς εξαφανίζονται Σταθμοί που έχουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές R.

Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και για τα 500nm με τους 259 Σταθμούς από τους 322 να εμφανίζουν τιμές θετικής συσχέτισης (63 Σταθμοί με αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης) αυτή τη φορά όμως οι Σταθμοί να βρίσκονται διάσπαρτοι σε Βόρεια και Νότια Αμερική, Ευρώπη και Ασία. Όπως και στα 440(443)nm (Σχήμα 3.8) οι αρνητικές τιμές R (μπλε αποχρώσεις) εμφανίζονται κυρίως στην περίπτωση του κριτηρίου των 10 ή περισσότερων διαθέσιμων τιμών. Ο συνολικός αριθμός των Σταθμών με αρνητικό συντελεστή μειώνεται σε 11 και 2 όταν εφαρμόζονται τα αυστηρότερα κριτήρια των 50 και 100 διαθέσιμων ζευγών αντιστοίχως. Βέβαια, και στα 500nm, εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία στα δεδομένα, καθώς οι υπολογισθείσες μέσες τιμές R για τα 3 κριτήρια διαθεσιμότητας είναι ίσες με 0.19, 0.226, 0.238 (10, 50 και 100 διαθέσιμα ζεύγη τιμών)

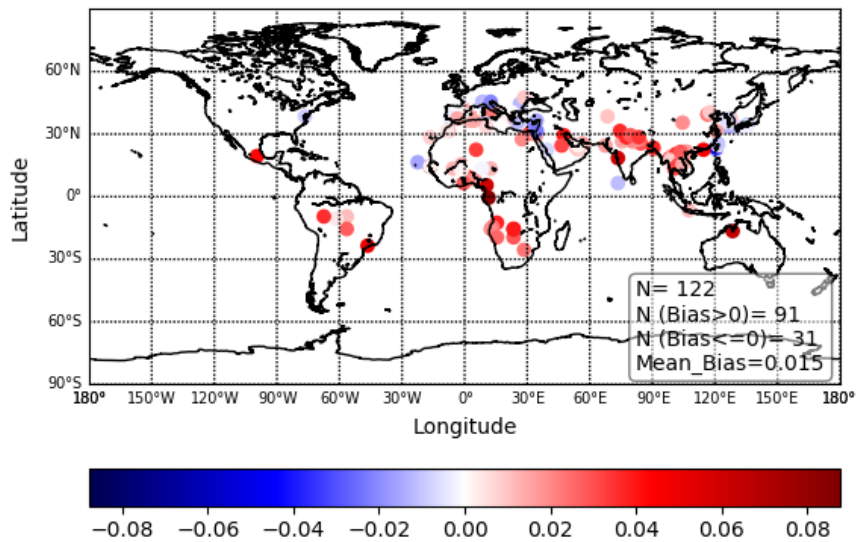
Στο Σχήμα 3.10 παρουσιάζονται οι τιμές της απόκλισης (Bias) μεταξύ των τιμών SSA OMI και AERONET στα 440(443)nm ξεχωριστά για κάθε Σταθμό και για τα τρία κριτήρια διαθεσιμότητας δεδομένων (10, 50 και 100 διαθέσιμα κοινά ζεύγη τιμών). Η

τιμή του Bias έχει υπολογιστεί ως η διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των ημερήσιων δεδομένων του OMI και της αντίστοιχης μέσης τιμής των δεδομένων AERONET ( $\text{Mean\_OMI} - \text{Mean\_AERONET}$ ). Για λόγους εξοικονόμησης χώρου στην παρούσα εργασία, αλλά και σχετικά περιορισμένου ενδιαφέροντος, τα αποτελέσματα του Bias παρουσιάζονται μόνο για τα 440(443)nm. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα 500nm παρέχονται στο Παράρτημα (Σχήμα Π1).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10α, οι υπολογισθείσες τιμές Bias υποδεικνύουν Σταθμούς στους οποίους τα δεδομένα OMI είτε υπερεκτιμούν είτε υποεκτιμούν τις τιμές SSA σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα AERONET. Οι διαφορές αυτές φτάνουν έως και  $\pm 0.1$  (ή  $\pm 13\%$ ). Πιο συγκεκριμένα, στους Σταθμούς που βρίσκονται στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη το OMI υποεκτιμά (αποχρώσεις του μπλε) την τιμή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων σε σχέση με το AERONET, σε αντίθεση με τους Σταθμούς που βρίσκονται στη Νότια Αφρική, Νότια Αμερική και Νότια Ασία, όπου παρατηρείται υπερεκτίμηση του OMI (κόκκινες αποχρώσεις). Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις περιοχές, ιδιαίτερα τις δύο πρώτες, επικρατούν εποχιακές εκπομπές σε αερολύματα καύσης βιομάζας, οπότε υπάρχει πιθανή σύνδεση με τους συγκεκριμένους τύπους αερολυμάτων.

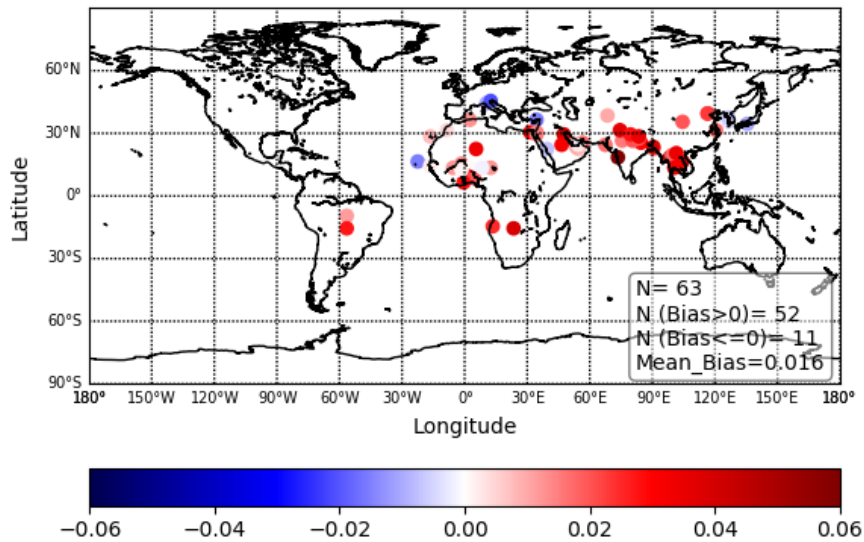


(α)



Stations with  $\geq 50$  measurements to compare

(β)



Stations with  $\geq 100$  measurements to compare

(γ)

**Σχήμα 3.10** Απόκλιση (Bias) μεταξύ των τιμών SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10 (α), 50 (β) και 100 (γ) κοινά ζεύγη τιμών.

Δεδομένου ότι αυτού του είδους τα αερολύματα παρατηρούνται σε αυτές τις περιοχές κυρίως κατά το θέρος και το φθινόπωρο, μεγαλύτερη ανάλυση γίνεται στην επόμενη ενότητα, όπου παρατίθενται τα εποχικά αποτελέσματα της απόκλισης SSA OMI-AERONET.

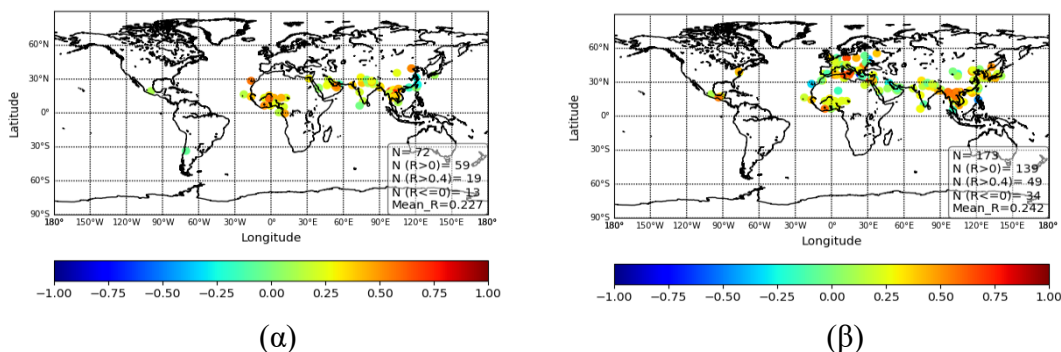
Στα Σχήματα 3.10β και 3.10γ, όπου παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά του Σχήματος 3.10α αλλά για Σταθμούς με περισσότερα από 50 και 100 αντιστοίχως διαθέσιμα ζεύγη τιμών SSA OMI και AERONET, παρατηρούνται λίγοι

Σταθμοί με αρνητικές τιμές απόκλισης Bias και περισσότεροι Σταθμοί με θετικές τιμές. Ωστόσο, αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι ότι όταν το κριτήριο διαθεσιμότητας γίνεται αυστηρότερο, εξαφανίζονται οι Σταθμοί της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, στους οποίους παρατηρούνταν στο Σχήμα 3.10α συστηματική και έντονη υποεκτίμηση των τιμών SSA του OMI. Αυτό δείχνει ότι τα αποτελέσματα για 10 διαθέσιμα κοινά ζεύγη τιμών (Σχήμα 3.10α) δε μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά.

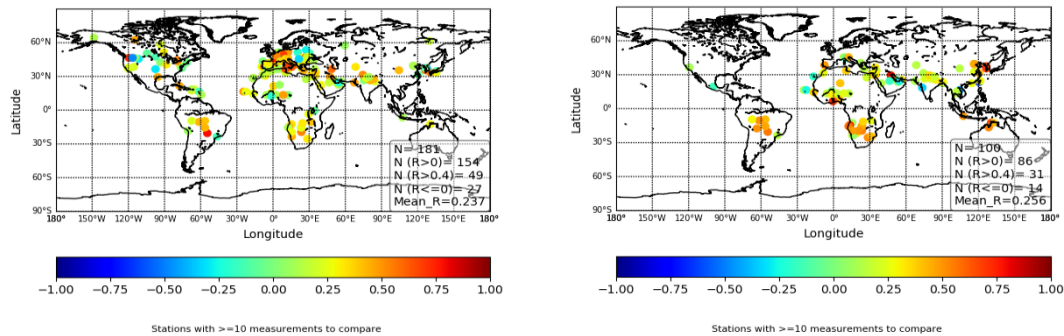
Παρόμοια τιμές παρατηρούνται και για τα 500nm όπου τα αποτελέσματα παρατίθενται στο παράρτημα (Σχήμα Π1). Ειδικότερα, συστηματική υπερεκτίμηση παρατηρείται στις τιμές λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων του OMI για όλες τις προαναφερθείσες περιοχές όπου παρατηρούνται εποχιακές εκπομπές αερολυμάτων καύσης βιομάζας. Η εικόνα στα 500nm δείχνει να αλλάζει, έναντι των 440 (443) nm, για τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη όπου το OMI τώρα δείχνει ανάμεικτα αποτελέσματα τόσο με σταθμούς να εμφανίζουν υπερεκτιμώμενες όσο και υποεκτιμώμενες τιμές. Η εναλλαγή των αποτελεσμάτων βάση του κριτηρίου διαθεσιμότητας (50, 100) δείχνει ίδια ανταπόκριση με αυτή των 440 (443) nm με το κυριότερο χαρακτηριστικό την μείωση των Σταθμών που παρουσιάζουν υποεκτίμηση και διασφάλιση κυρίως αυτών που εμφανίζουν υπερεκτίμηση στις τιμές τους.

### **3.1.5 Σύγκριση δεδομένων SSA OMI – AERONET για μεμονωμένους σταθμούς σε εποχική βάση**

Στο τελευταίο στάδιο αξιολόγησης των δεδομένων SSA του OMI με τα αντίστοιχα επίγεια δεδομένα AERONET, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των δεδομένων για κάθε Σταθμό μεμονωμένα, όπως και στην προηγούμενη υποενότητα, αλλά και σε εποχική βάση, με σκοπό την αποκάλυψη πιθανών σφαλμάτων και διαφορών που χαρακτηρίζονται από εποχικότητα. Παρουσιάζονται εδώ τα ίδια αποτελέσματα με αυτά που παρουσιάστηκαν σε ετήσια βάση, δηλαδή οι στατιστικοί δείκτες του συντελεστή συσχέτισης (R) και της απόκλισης (Bias). Για λόγους εξοικονόμησης χώρου, εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για το κριτήριο διαθεσιμότητας των περισσότερων από δέκα (10) κοινών ζευγών τιμών και μόνο για τα 440(443)nm, ενώ τα αποτελέσματα για τα 500nm και για τα αυστηρότερα κριτήρια των 50 διαθέσιμων κοινών ζευγών τιμών παρατίθενται στα Παραρτήματα (Σχήματα Π2 – Π5).





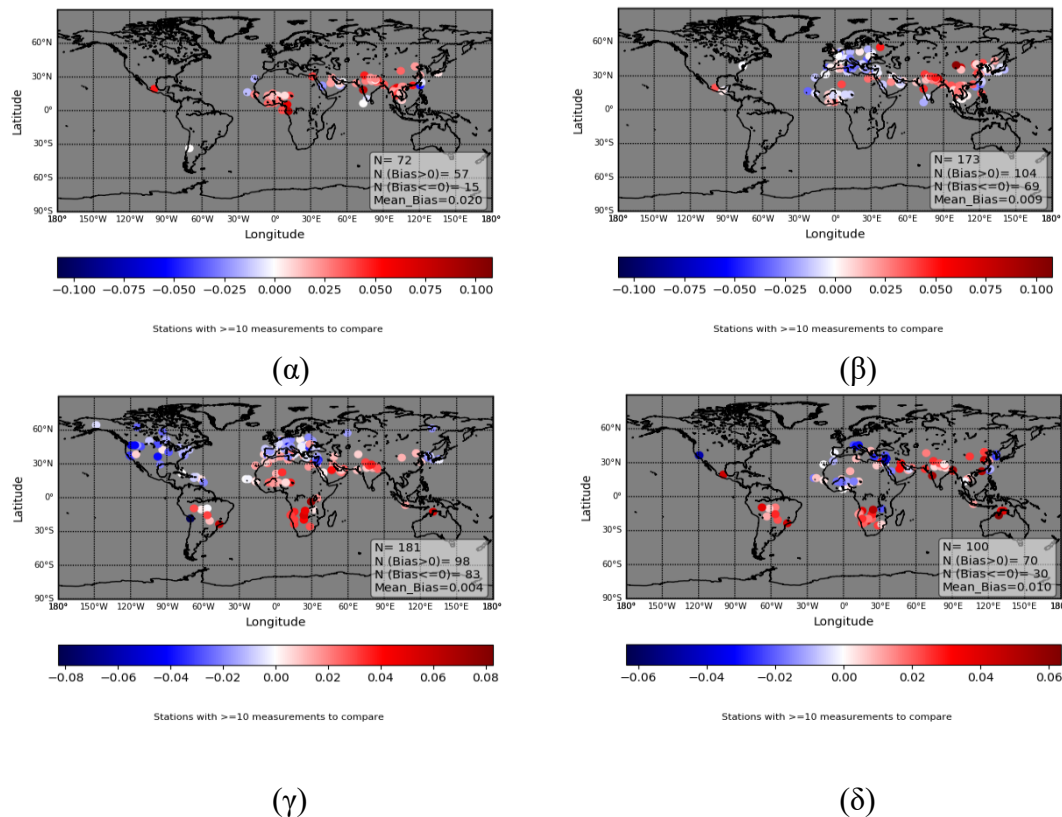


(γ)

(δ)

**Σχήμα 3.11** Συντελεστές συσχέτισης (R) μεταξύ των τιμών SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10 κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11, το πλήθος των Σταθμών για τους οποίους πραγματοποιείται σύγκριση είναι μικρότερο το χειμώνα (72 Σταθμοί) και μεγαλύτερο το θέρος (181 Σταθμοί). Κατά το χειμώνα, δεν υπάρχουν καθόλου Σταθμοί στην Ευρώπη, καθώς και σχεδόν στη Βόρεια και τη Νότια Αμερική, ενώ οι Σταθμοί για τους οποίους πραγματοποιείται σύγκριση είναι συγκεντρωμένοι στην Κεντρική Αφρική και στη Νότια Ασία. Ο αριθμός των Σταθμών αυξάνεται κατά την άνοιξη, το φθινόπωρο και ιδιαίτερα το θέρος, ενώ συνεχίζεται να μη καλύπτεται από Σταθμούς η Βόρεια Αμερική και η Βόρεια Ασία κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, καθώς και Νότια Αμερική κατά την άνοιξη. Τα αποτελέσματα δείχνουν να υπάρχει θετική συσχέτιση κυρίως το χειμώνα και το φθινόπωρο, με 59/72 και 86/100 Σταθμούς να εμφανίζουν θετική συσχέτιση αντίστοιχα. Κατά την άνοιξη και το θέρος, οι αντίστοιχοι αριθμοί (αριθμός Σταθμών με θετικές τιμές R επί συνόλου Σταθμών) είναι 139/173 και 154/181. Αρνητικές τιμές συσχέτισης παρατηρούνται στη Βόρεια Αμερική για το θέρος και στην Ευρώπη την άνοιξη και το θέρος. Κατά το χειμώνα, πιο ισχυρή θετική συσχέτιση εμφανίζουν κυρίως οι Σταθμοί της κεντρικής Αφρικής, καθώς και εκείνοι της νοτιοανατολικής (NA) Ασίας. Κατά την άνοιξη κυρίως οι Σταθμοί της NA Ασίας, ενώ αντίθετα κατά το φθινόπωρο οι Σταθμοί της Νότιας Αφρικής, καθώς και η περιοχή του Αμαζονίου. Επίσης, κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, υψηλή θετική συσχέτιση παρουσιάζουν και Σταθμοί της Ευρώπης. Συντελεστές συσχέτισης με τιμή μεγαλύτερη του 0.4 βρίσκονται για 19 Σταθμούς κατά το χειμώνα, 49 Σταθμούς κατά την άνοιξη, 49 κατά το θέρος και 31 Σταθμούς κατά το φθινόπωρο. Έτσι λοιπόν, η ισχυρότερη συσχέτιση βρίσκεται για το καλοκαίρι σε ίδιο βαθμό με την άνοιξη έναντι των scatterplots όπου το καλοκαίρι ήταν η μόνη εποχή που εμφάνιζε συντελεστή συσχέτισης  $R > 0.4$ .



**Σχήμα 3.12** Απόκλιση (Bias) μεταξύ των τιμών SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10 κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).

Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απόκλισης (Bias) δηλαδή της διαφοράς της μέσης τιμής SSA του OMI και της αντίστοιχης μέσης τιμής του AERONET, για κάθε Σταθμό και κάθε εποχή του έτους. Η διαθεσιμότητα και γεωγραφική κάλυψη των Σταθμών ανά εποχή είναι ίδιες με εκείνη του Σχήματος 3.11 (συντελεστή συσχέτισης). Κατά το χειμώνα παρατηρείται μία υπερεκτίμηση (κόκκινες αποχρώσεις) του OMI έναντι του AERONET, ενώ κατά τις τρεις άλλες εποχές παρατηρούνται ανάμεικτα αποτελέσματα (κόκκινες και μπλε αποχρώσεις). Ωστόσο, παρατηρείται συστηματικά μία υποεκτίμηση του OMI (μπλε αποχρώσεις) πάνω από την Ευρώπη κατά την άνοιξη, το θέρος και το φθινόπωρο.

Το ίδιο συμβαίνει και πάνω από τη Βόρεια Αφρική κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο καθώς και πάνω από τη Βόρεια Αμερική το θέρος. Αντίθετα, πάνω από την Ασία, κυρίως τη νότια, παρατηρείται συστηματικά (σε όλες τις εποχές) υπερεκτίμηση του OMI, ενώ υπερεκτίμηση παρατηρείται επίσης και πάνω από τη Βόρεια Αφρική το θέρος και πάνω από τη Νότια Αφρική και τη Νότια Αμερική το θέρος και το φθινόπωρο. Η υπερεκτίμηση του OMI στις περιοχές της κεντρικής Αφρικής και της Νότιας (ειδικά της NA) Ασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά και στην περιοχή της NA Ασίας την άνοιξη, φαίνεται να συμπίπτει με τις εκτεταμένες πυρκαγιές στις περιοχές αυτές που παρατηρούνται βάσει δορυφορικών μετρήσεων συστηματικά κατά την περίοδο από τον Ιανουάριο ως τον Απρίλιο



([https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1\\_M\\_FIRE](https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1_M_FIRE)). Φαίνεται λοιπόν ότι οι μεγάλες θετικές αποκλίσεις OMI-AERONET σε αυτές τις περιοχές είναι συνδεδεμένες με αερολύματα καύσης βιομάζας που εκπέμπονται από τις πυρκαγιές αυτές. Το ίδιο φαινόμενο, δηλαδή υπερεκτίμηση του OMI, παρατηρείται και πάνω από περιοχές της νότιας Αφρικής και νότιας Αμερικής (Αμαζονίου) κατά το θέρος και το φθινόπωρο, εποχές που στις εν λόγω περιοχές λαμβάνει χώρα εκτεταμένη καύση βιομάζας (δασικές πυρκαγιές) (Hatzianastassiou et al., 2019).

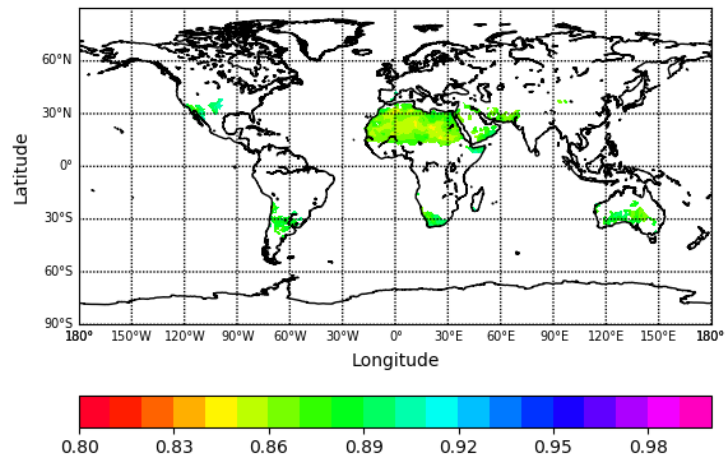
### **3.2 Κλιματολογία λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων δορυφορικών δεδομένων OMI (Ozone monitoring Instrument)**

Στην παρούσα ενότητα δίνονται τα αποτελέσματα των τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε κλιματολογική βάση, δηλαδή μεσοποιημένων σε ετήσια και μηνιαία βάση για τη δεκαπενταετή περίοδο 2005 – 2019. Οι μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίστηκαν με κριτήριο την ύπαρξη τουλάχιστον πέντε (5) ημερησίων τιμών για κάθε μήνα, ενώ οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές υπολογίστηκαν με κριτήριο την ύπαρξη τουλάχιστον επτά ετησίων τιμών για κάθε μήνα. Τα κριτήρια αυτά επιλέχθηκαν με σκοπό την ταυτόχρονη εξασφάλιση ικανής αντιπροσωπευτικότητας αλλά και ικανοποιητικής γεωγραφικής κάλυψης.

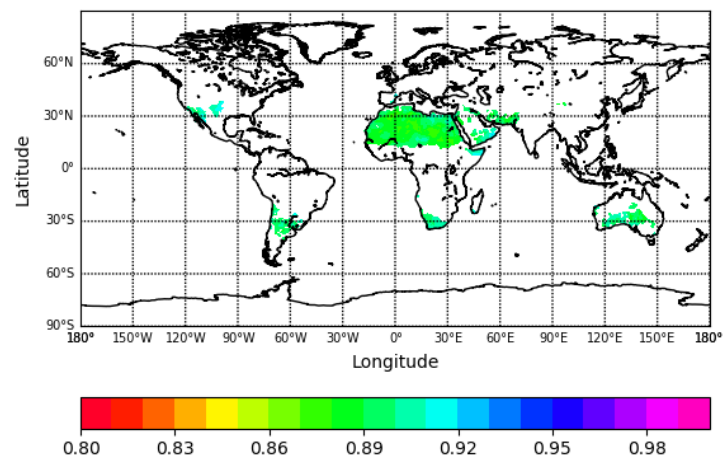
#### **3.2.1 Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε ετήσια βάση**

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του OMI, μεσοποιημένες για όλα τα έτη μελέτης (2005-2019) και στα τρία μήκη κύματος, 354nm, 388nm και 500nm. Στο Παράρτημα παρέχονται οι χάρτες με τις αντίστοιχες υπολογισθείσες τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας (coefficients of variation) (Σχήμα Π9).

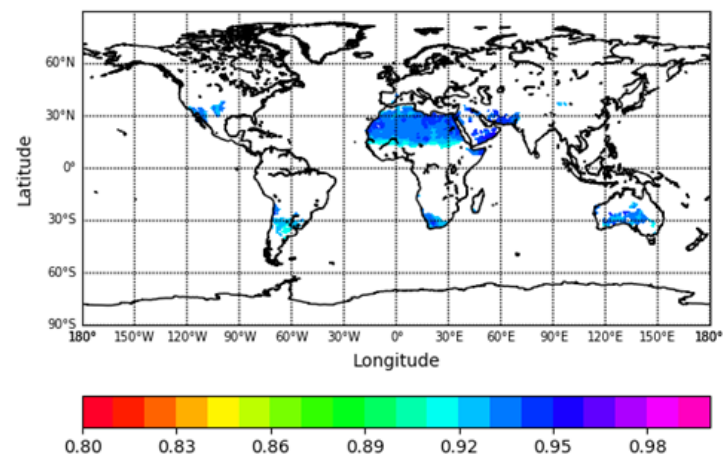
Τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της ετήσιας κλιματολογικής τιμής της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης είναι αρχικά η ύπαρξη τουλάχιστον μίας μηνιαίας τιμής σε κάθε εποχή για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας και δεύτερον η ύπαρξη μέσης ετήσιας τιμής για όλα τα χρόνια. Διευκρινίζεται πως το κριτήριο των περισσότερων από πέντε μέσων ημερησίων τιμών έχει εφαρμοστεί για όλους τους υπολογισμούς και δεν θα επαναλαμβάνεται.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.13** Γεωγραφική κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης OMI, μεσοποιημένων για την περίοδο 2005-2019, στα 354nm (α), 388nm (β) και 500nm (γ).

Τα αυστηρά κριτήρια που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της μέση ετήσιας κλιματολογικής τιμής περιορίζουν τα αποτελέσματα σε περιοχές με πολύ συχνή

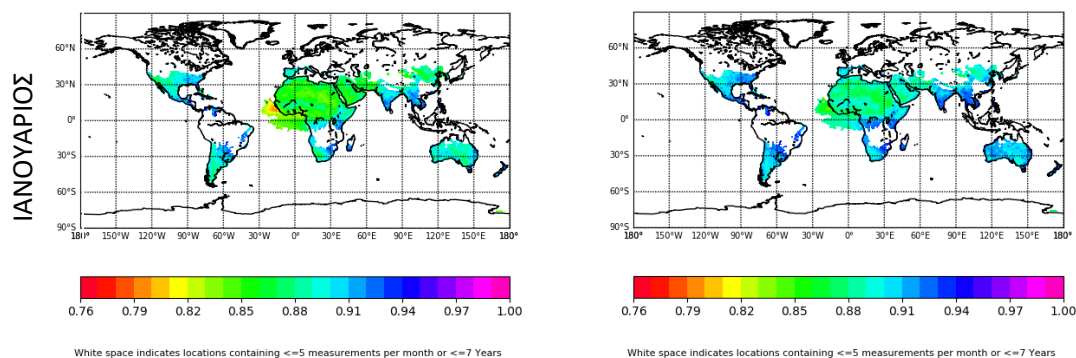
εμφάνιση αερολυμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κοινή γραμμική κλίμακα (από 0.8 έως 1 ανά 0.1), και για τα τρία μήκη κύματος, έχοντας ως στόχο την σύγκριση των τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης τόσο από γεωγραφικής πλευράς αλλά και μεταξύ των διαφορετικών μηκών κύματος. Οι τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης παρουσιάζουν ελάχιστα, τα οποία είναι διακριτά στα 354nm και 388nm, σε περιοχές της Βόρειας Αφρικής (Σαχάρα) με τιμές που κυμαίνονται από 0.84 έως 0.88 στα 354nm, 0.87- 0.90 στα 388nm και 0.91-0.95 στα 500nm. Οι τιμές αυτές συνδέονται με την παρουσία ερημικής σκόνης, η οποία ανήκει στα απορροφητικά αερολύματα, ιδιαίτερα στα υπεριώδη μήκη κύματος. Μικρές τιμές SSA εμφανίζονται πάνω και από άλλες μεγάλες ερημικές περιοχές του πλανήτη, όπως η Μέση Ανατολή (Σαουδική Αραβία) και η Αυστραλία που όμως και για τις δύο περιοχές η κάλυψη φαίνεται περιορισμένη. Γενικά, οι τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης φαίνεται να αυξάνουν από τα μικρότερα (354nm και 388nm) στα μεγαλύτερα μήκη κύματος (500nm) γεγονός που οφείλεται στη μείωση των τιμών του φασματικού συντελεστή απορρόφησης των κύριων τύπων αερολυμάτων που παρατηρούνται στις προαναφερθείσες περιοχές.

### **3.2.2 Γεωγραφική κατανομή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε μηνιαία και εποχική βάση**

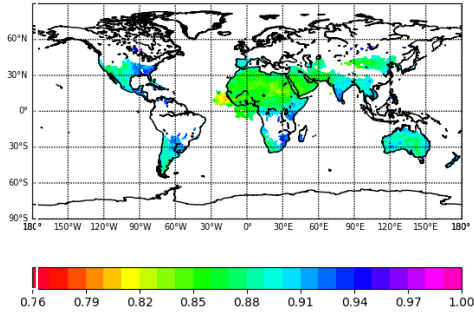
Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι γεωγραφικές κατανομές των μέσων μηνιαίων τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης, καθώς αποκαλύπτουν περισσότερο λεπτομερή γεωγραφικά και ιδιαίτερα εποχικά χαρακτηριστικά.

Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες κλιματολογικές τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στο υπεριώδες φάσμα (354nm, 388nm) ενώ στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές στο ορατό (500nm).

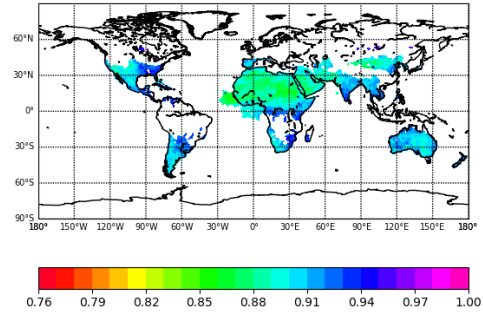
Από τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.14 προκύπτει ότι οι τιμές λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στα 354nm είναι γενικά λίγο μικρότερες από ότι εκείνες στα 388nm, έχουν παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά και γι' αυτό το λόγο συζητούνται μόνον αυτές.



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

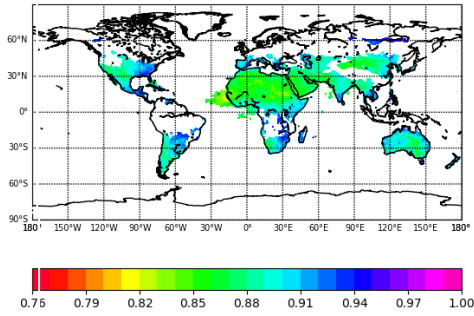


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

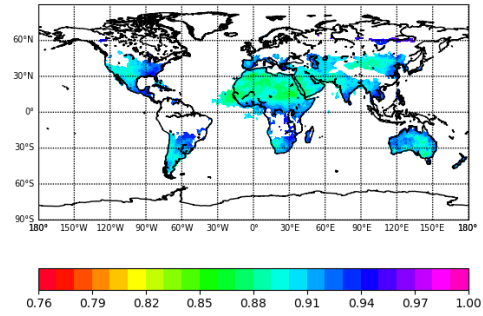


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΜΑΡΤΙΟΣ

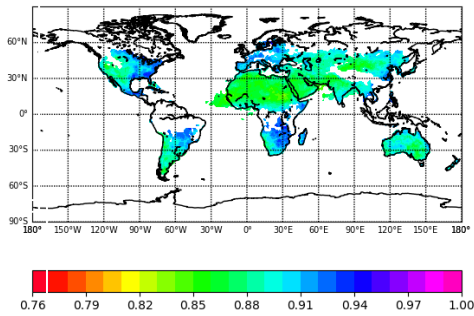


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

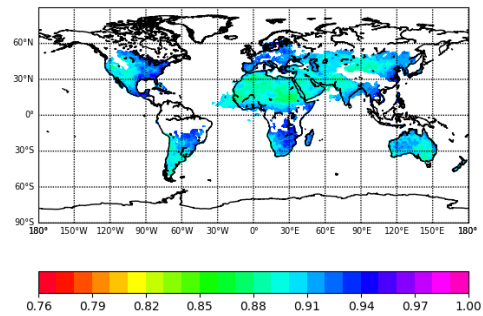


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΑΠΡΙΛΙΟΣ

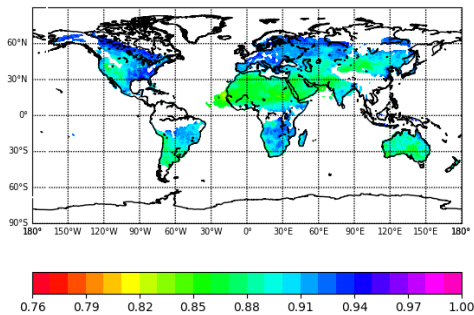


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

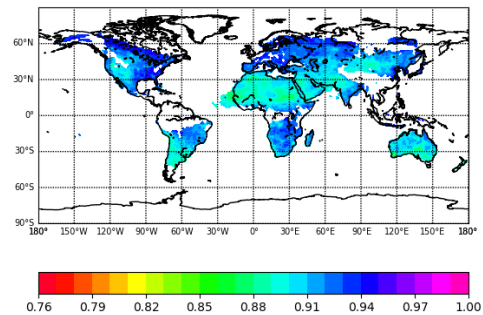


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΜΑΙΟΣ

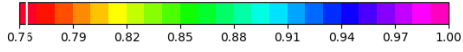
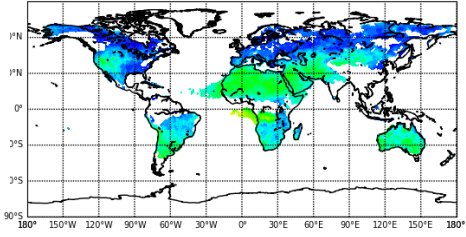


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

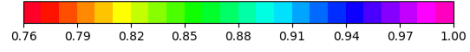
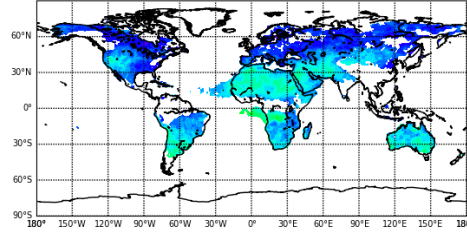


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΙΟΥΝΙΟΣ

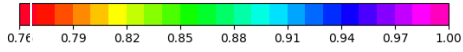
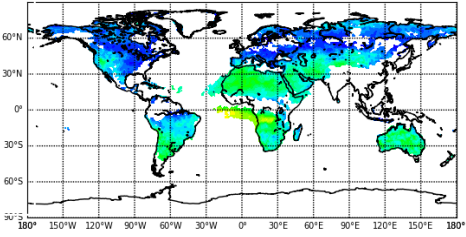


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

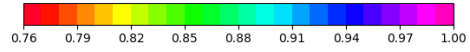
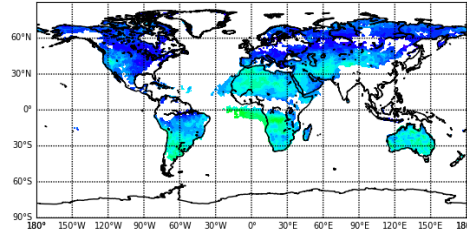


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΙΟΥΛΙΟΣ

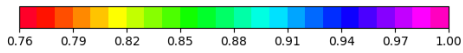
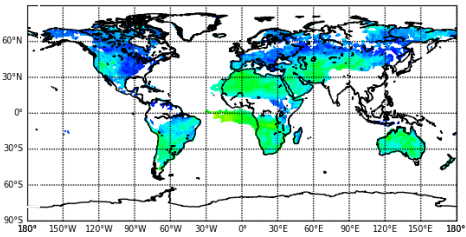


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

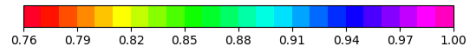
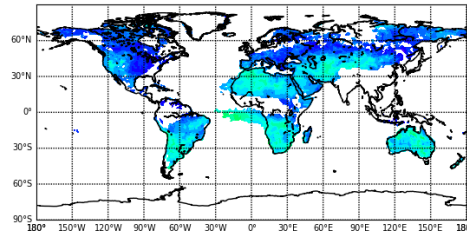


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

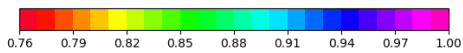
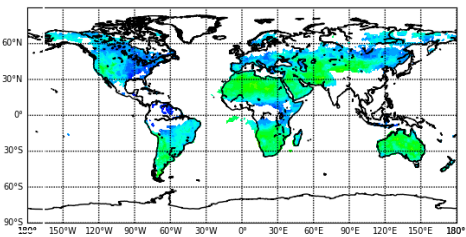


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

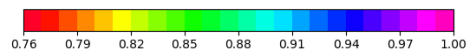
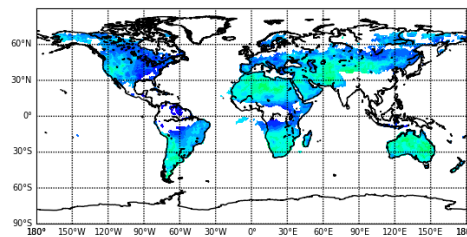


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

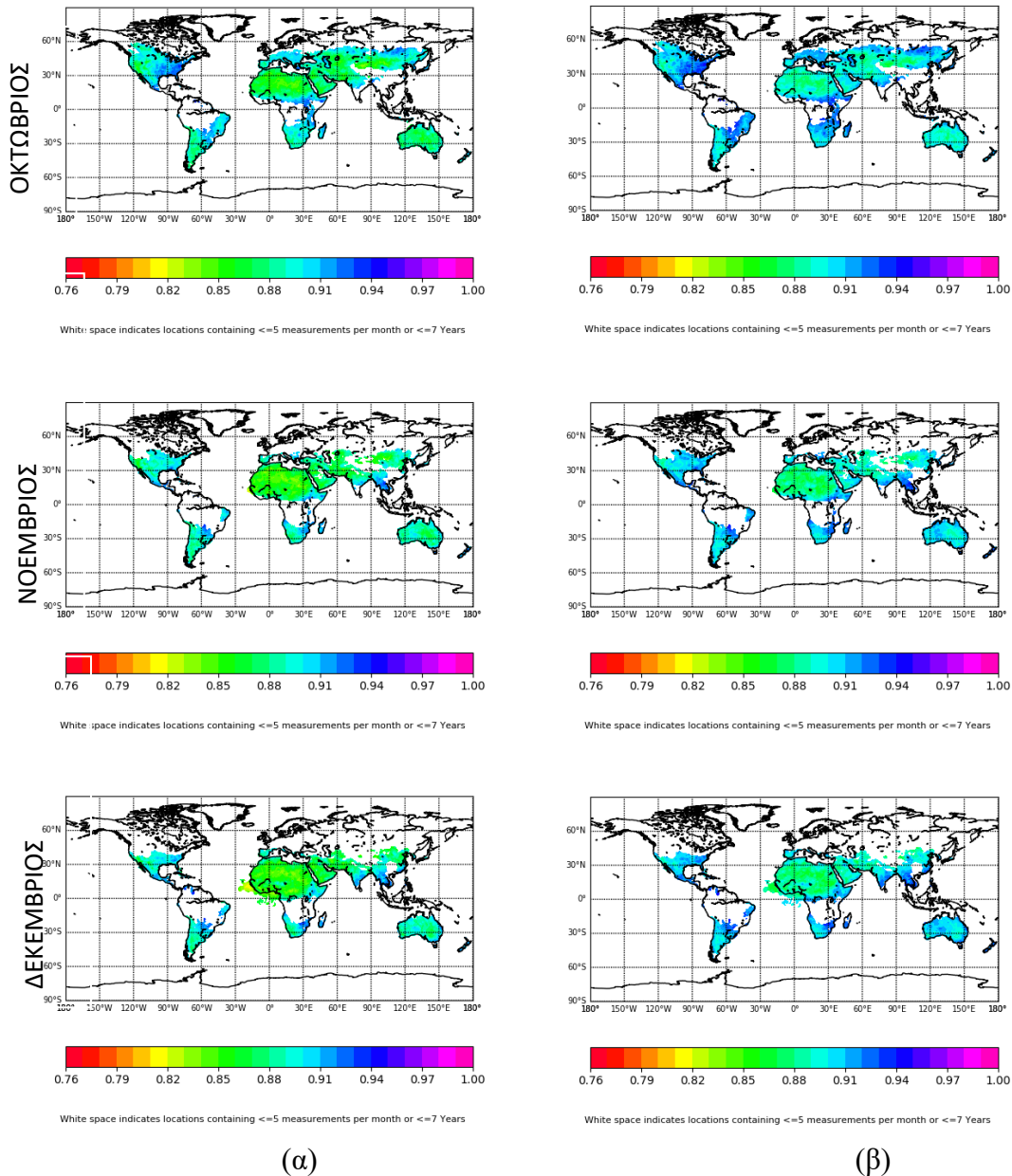


White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years



White space indicates locations containing <=5 measurements per month or <=7 Years





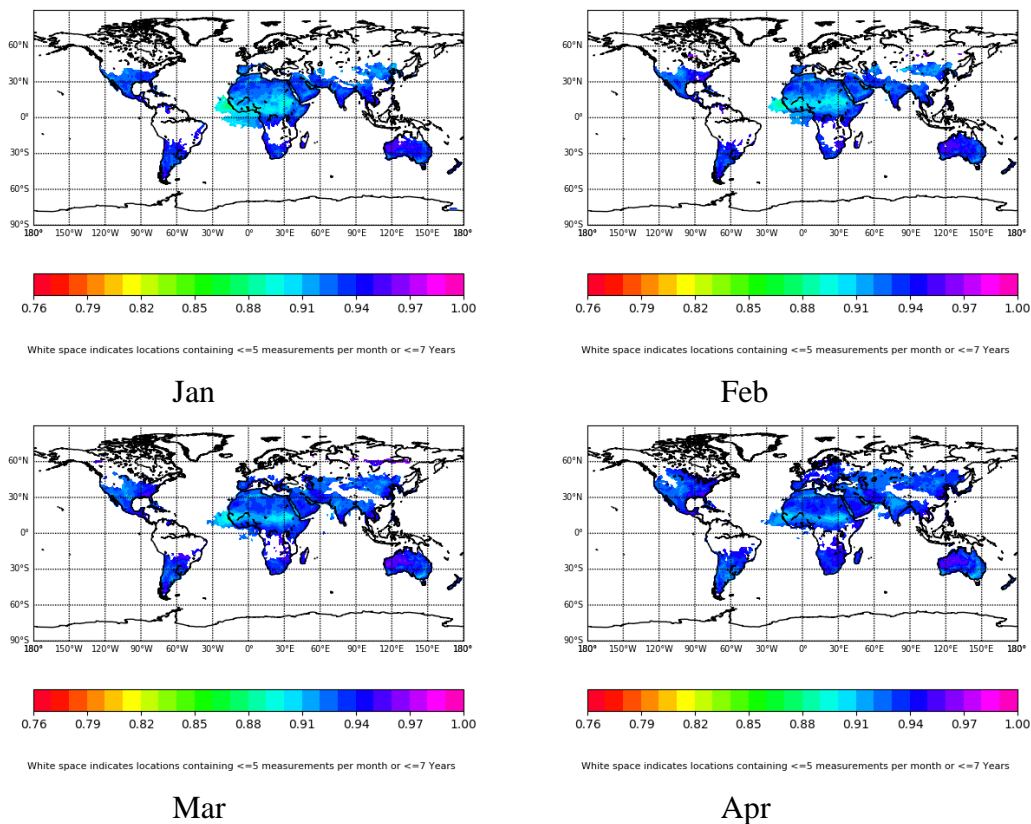
**Σχήμα 3.14** Γεωγραφική κατανομή μέσω μηνιαίων τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης OMI, μεσοποιημένων για την περίοδο 2005-2019, στα 354nm (α, αριστερή στήλη) και 388nm (β, δεξιά).

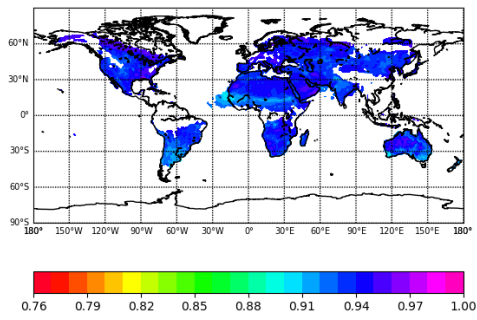
Οι μικρότερες τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης (<0.83 στα 354nm) παρατηρούνται στη Νότια Αφρική και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή του Κονγκό, της Γκαμπόν και της Αγκόλας, καθώς και στην παρακείμενη θαλάσσια έκταση του Ατλαντικού Ωκεανού, κατά την περίοδο του θέρους (Ιουλίου-Αυγούστου). Οι τιμές αυτές συνδέονται με την παρουσία αερολυμάτων καύσης βιομάζας, τα οποία εκπέμπονται από καύσεις που λαμβάνουν χώρα σε χορτολιβαδικές, καλλιεργήσιμες και δασικές εκτάσεις στις εν λόγω ηπειρωτικές περιοχές κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο του έτους, ενώ εξάγονται στον παρακείμενο Ατλαντικό Ωκεανό. Επίσης, χαμηλές τιμές SSA (γενικά, 0.85-0.9 στα 388nm, έως και 0.92 για κάποια σημεία) παρατηρούνται καθ' όλη την διάρκεια του έτους στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής, όπου επικρατεί η έντονη παρουσία απορροφητικής σκόνης σε όλη τη

διάρκεια του έτους λόγω της ερήμου Σαχάρας, που αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή σκόνης (Prospero et al., 2002; Washington et al., 2003).

Χαμηλές τιμές SSA παρατηρούνται επίσης στην κεντρική Αφρική κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο (ακόμη και κάτω από 0.85 σε μερικά σημεία να φτάνει και το 0.82). Οι εν λόγω τιμές συνδέεται άμεσα με αερολύματα καύσης βιομάζας (Hatzianastassiou et al., 2019) εκπεμπόμενα από πυρκαγιές που εκδηλώνονται σε μεγάλες και πυκνές δασικές εκτάσεις που υπάρχουν στην περιοχή, όπως επιβεβαιώνεται από δορυφορικές παρατηρήσεις. ([https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1\\_M\\_FIRE](https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1_M_FIRE))

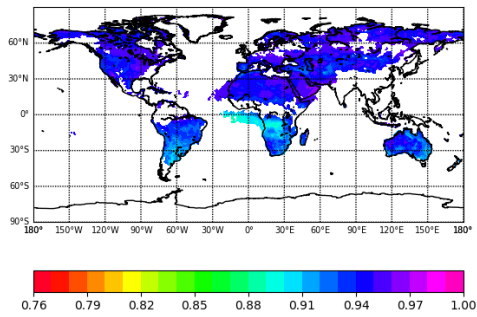
Οι περιοχές του βόρειου και νότιου τροπικού Ατλαντικού Ωκεανού, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής του κόλπου της Γουινέας, εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τις παρακείμενες ηπειρωτικές περιοχές λόγω μεταφοράς αερολυμάτων σκόνης και καύσης βιομάζας αντίστοιχα. Περισσότερο ανακλαστικά αερολύματα (μεγαλύτερες τιμές SSA, 0.91-0.96) εμφανίζονται στις αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές π.χ. της Ευρώπης, Αμερικής και Βόρειας Ασίας. Αυτές οι μεγαλύτερες τιμές SSA εξηγούνται από την παρουσία αστικών αερολυμάτων, που περιέχουν ενώσεις θείου, που χαρακτηρίζονται από μικρή απορροφητικότητα (Harris and Maricq, 2001)





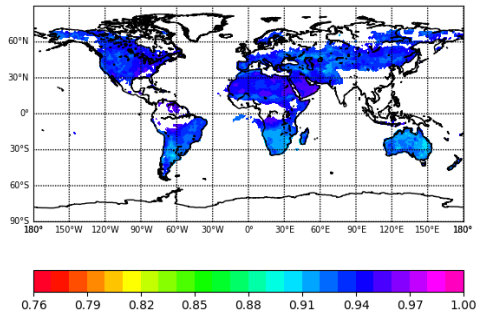
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

May



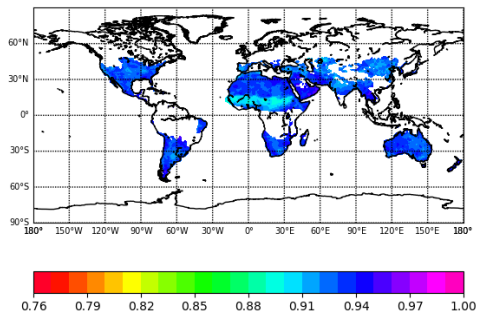
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Jul



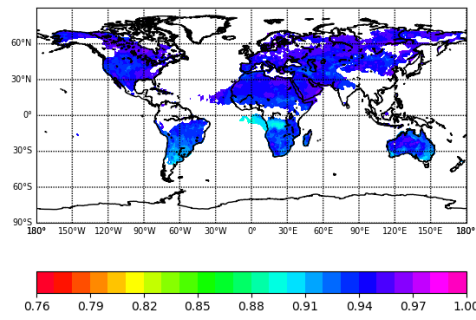
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Sep



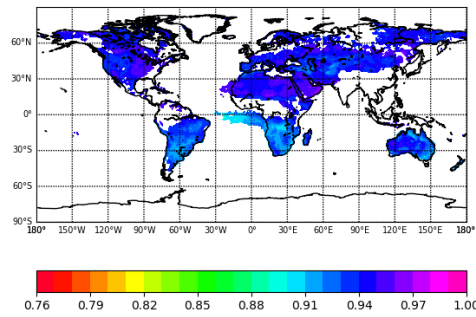
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Noe



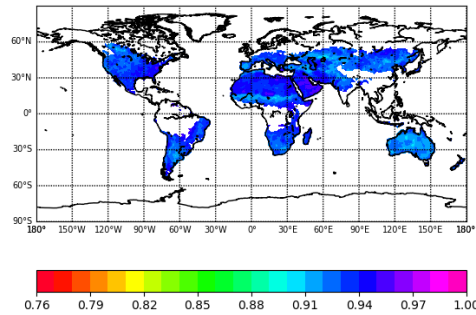
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Jun



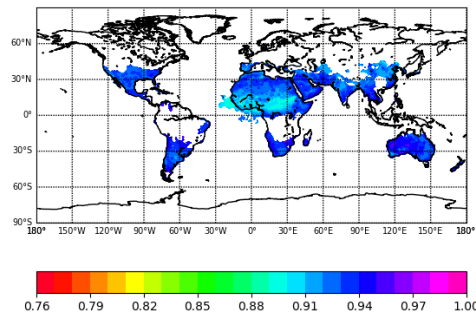
White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Aug



White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

Oct



White space indicates locations containing  $\leq 5$  measurements per month or  $\leq 7$  Years

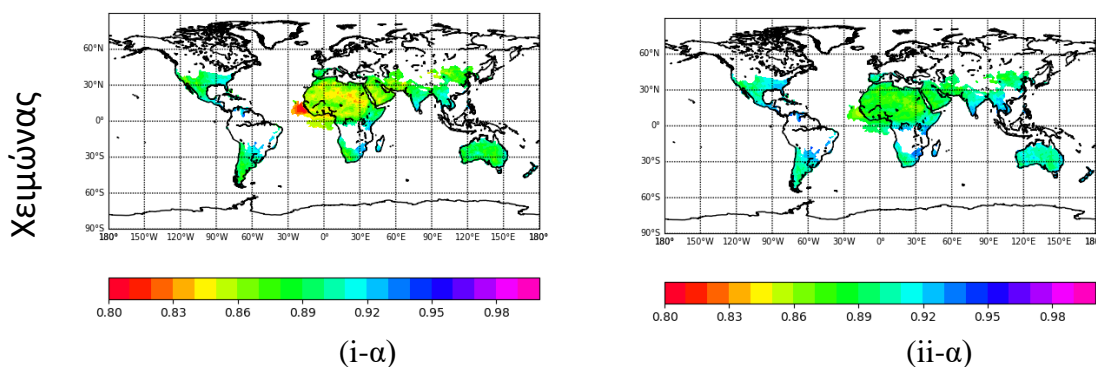
Dec

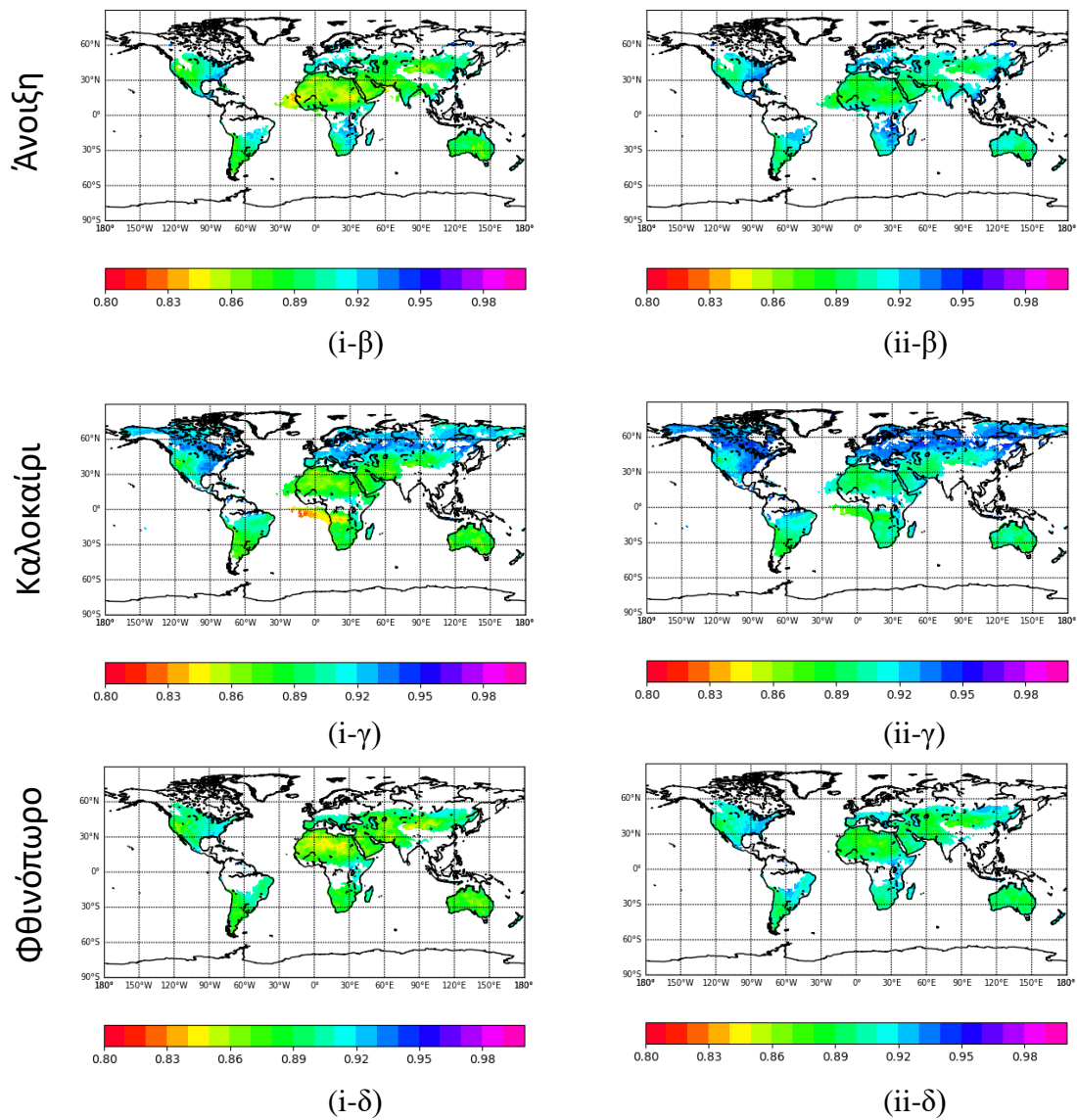
Σχήμα 3.15 Γεωγραφική κατανομή μέσων μηνιαίων τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης OMI, μεσοποιημένων για την περίοδο 2005-2019, στα 500nm.



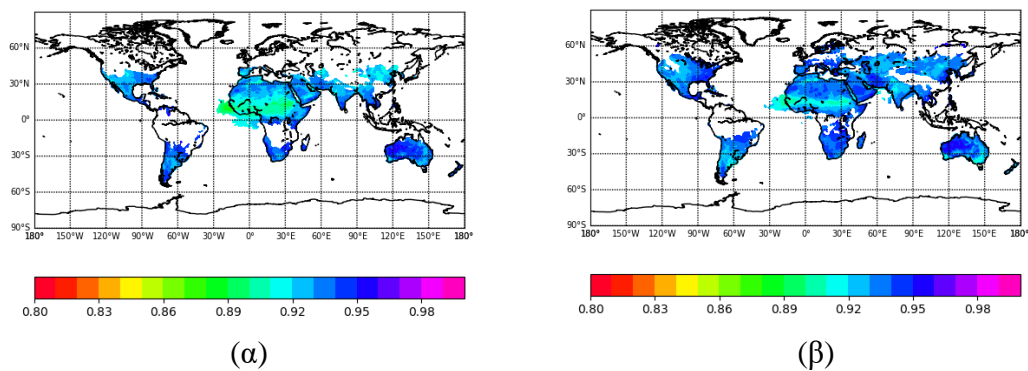
Η γεωγραφική κάλυψη των μέσων μηνιαίων τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στο ορατό φάσμα (500nm, Σχήμα 3.15) είναι η ίδια με αυτήν των αντίστοιχων τιμών στα υπεριώδη μήκη κύματος (Σχήμα 3.14). Η γενικότερη εικόνα δείχνει υψηλότερες τιμές στο ορατό από ότι στο υπεριώδες για όλες τις περιοχές του πλανήτη και όλους τους μήνες. Σε ότι αφορά στις τιμές στο ορατό, αξίζει να σημειωθούν οι χαμηλότερες τιμές (με σημεία να φτάνουν και τιμές κοντά στο 0.88) που παρατηρούνται στην κεντρική Αφρική καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εκτός από το θέρος έναντι των υψηλότερων τιμών (0.93-0.96) στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής. Αυτή η διαφορά οφείλεται στη διαφορετική απορροφητικότητα των αερολυμάτων καύσης βιομάζας στην κεντρική Αφρική έναντι των αερολυμάτων σκόνης από τη Σαχάρα, η οποία είναι πιο έντονη στο ορατό από ότι στο υπεριώδες (). Τέλος, αξιοσημείωτες είναι οι χαμηλές τιμές (0.88-0.90) στη Νότια Αφρική (ευρύτερη περιοχή Κογκό-Αγκόλας-Γκαμπόν) κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, λόγω της έντονης εκπομπής ανθρακούχων αερολυμάτων από καύση βιομάζας κατά τους μήνες αυτούς έναντι μεγαλύτερων τιμών (0.91-0.95) στην υπόλοιπη περίοδο του έτους.

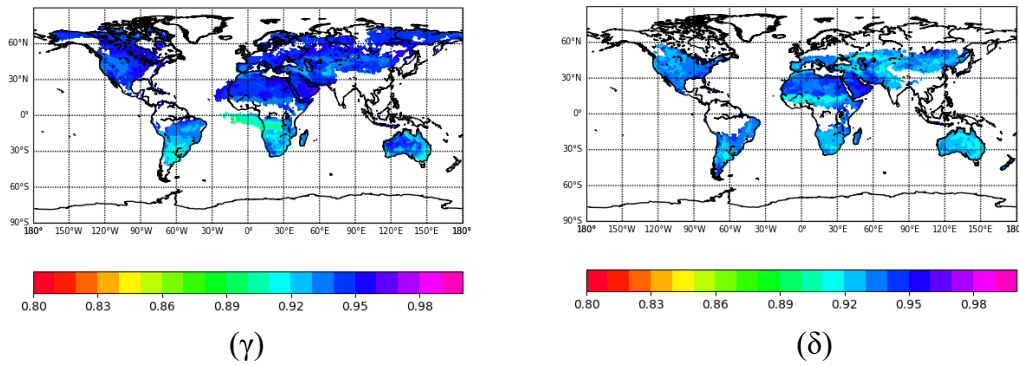
Η εποχική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων, βάσει των δεδομένων OMI, φαίνεται συνοπτικά στα αποτελέσματα των Σχημάτων 3.16 και 3.17, τα οποία δείχνουν τα αποτελέσματα για τις τέσσερις εποχές του έτους για τα 354nm, 388nm και 500nm. Επισημαίνεται ότι οι τιμές υπολογίστηκαν ακολουθώντας την εξής διαδικασία: α) καθορίστηκαν πρώτα οι μέσες μηνιαίες τιμές, σε επίπεδο κυψελίδας, σύμφωνα με το κριτήριο διαθεσιμότητας τουλάχιστον 5 ημερησίων τιμών για κάθε μήνα, β) καθορίστηκαν στη συνέχεια οι μέσες εποχικές τιμές για κάθε έτος ξεχωριστά, με την προϋπόθεση της ύπαρξης τουλάχιστον 2 διαθέσιμων μηνιαίων τιμών, γ) τέλος, υπολογίστηκε η μέση εποχική τιμή σε κλιματολογική βάση (για την περίοδο 2005-2019) με την προϋπόθεση της ύπαρξης τουλάχιστον 7 ετησίων εποχικών τιμών.





**Σχήμα 3.16** Γεωγραφική κατανομή μέσω εποχικών τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης OMI, μεσοποιημένων για την περίοδο 2005-2019, στα 354nm (i, αριστερή στήλη) και στα 388nm (ii, δεξιά στήλη) για χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ) και Φθινόπωρο (δ).





**Σχήμα 3.17** Γεωγραφική κατανομή μέσω εποχικών τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης OMI, μεσοποιημένων για την περίοδο 2005-2019, στα 500nm για χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ) και Φθινόπωρο (δ).

Η εποχιακή ανάλυση για το χειμώνα δείχνει χαμηλές τιμές SSA πάνω από τις περιοχές της Βόρειας και κεντρικής Αφρικής, της Αραβικής Χερσονήσου και της ερήμου Thar (βορειοανατολικά της Ινδικής Χερσονήσου), με τιμές περίπου στα 0.85 και στα δύο μήκη κύματος, ενώ σε τοπικό επίπεδο οι τιμές φτάνουν έως και τα 0.82 στα 354nm. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι χαμηλές αυτές τιμές αποδίδονται στην παρουσία αερολυμάτων σκόνης στις ερημικές περιοχές της βόρειας Αφρικής (Σαχάρα), της Αραβικής Χερσονήσου και της περιοχής Thar και στην παρουσία αερολυμάτων καύσης βιομάζας στην κεντρική Αφρική. Οι τιμές SSA πάνω από τις περιοχές της νότιας Ασίας κατά την περίοδο του χειμώνα είναι μεγαλύτερες, γεγονός που εξηγείται από την απουσία ερημικής σκόνης και αερολυμάτων καύσεων βιομάζας, καθώς οι διαδικασίες καύσης σχετίζονται μόνο με τη θέρμανση και τις αστικές δραστηριότητες κατοικήσιμων περιοχών, που εκπέμπουν αερολύματα οργανικού (καστανού) άνθρακα, τα οποία είναι λιγότερο απορροφητικά από το μαύρο (στοιχειώδη) άνθρακα (Hatzianastassiou et al., 2019). Οι υψηλότερες αυτές τιμές είναι πιο διακριτές στα 388nm. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές κυμαίνονται από 0.88 έως 0.92 στα 354nm και από 0.89 έως 0.93 για τα 388nm. Οι τιμές SSA πάνω από την Αυστραλία είναι εξίσου χαμηλές, κυμαινόμενες από 0.88 έως 0.9 ( με κάποια μεμονωμένα λίγο μεγαλύτερα έως και 0.91) στα 354nm και από 0.89 έως 0.92 για τα 388nm. Παρόμοιες χαμηλές τιμές SSA εμφανίζονται και σε περιοχές της Νότιας Αμερικής, κυρίως στην Αργεντινή.

Κατά την άνοιξη, παρόμοιες τιμές SSA με εκείνες του χειμώνα εμφανίζουν οι ερημικές περιοχές του πλανήτη, καθώς και οι περιοχές της Αυστραλίας, νότιας Αμερικής και των Η.Π.Α.. Η περιοχή της νότιας Αφρικής εμφανίζει αυξημένες τιμές σε σχέση με εκείνες του χειμώνα, κυμαινόμενες από 0.88 έως 0.93 στα 354nm και λίγο μεγαλύτερες (0.89 έως 0.94) στα 388nm. Αξίζει να σημειωθεί ότι την άνοιξη αποτελέσματα εμφανίζονται για την Ευρώπη – κεντρική και νότια - και για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη της Ασίας, σε αντίθεση με το χειμώνα. Οι τιμές πάνω από την Ευρώπη κυμαίνονται από 0.90 έως 0.92 για τα 354nm και 0.91 έως 0.93 για τα 388nm (ανακλαστικά αστικά αερολύματα). Πάνω από την κεντρική Ασία η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων κυμαίνεται από 0.85 έως 0.91 (έως και 0.92 ανοικτές γαλάζιες αποχρώσεις στα πιο Βόρεια γεωγραφικά πλάτη) και από

0.88 έως 0.92 (έως και 0.93 μπλε αποχρώσεις στα πιο Βόρεια γεωγραφικά πλάτη) για τα 354nm και 388nm αντίστοιχα. Οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται πάνω από τις ερήμους Taklamakan και Gobi, καθώς και την έρημο Thar.

Κατά την περίοδο του θέρους, η γεωγραφική κάλυψη των δεδομένων OMI είναι πιο εκτεταμένη, πάνω από την Ευρώπη, την Ασία (τη βόρεια) και τη βόρεια Αμερική (τις βορειότερες περιοχές της). Διαφορετικές τιμές SSA σε σχέση με εκείνες της άνοιξης και του χειμώνα, παρατηρούνται πάνω από τη νότια Αφρική, όπου παρατηρούνται τιμές που κυμαίνονται από 0.83 έως 0.87 στα 354nm, ενώ στα 388nm υπάρχουν λίγες τιμές που φτάνουν έως τα 0.92 στα νοτιοανατολικά της περιοχής. Χαμηλές τιμές παρατηρούνται επίσης στο νοτιοανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό και, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οφείλονται στη μεταφορά/εξαγωγή ανθρακούχων αερολυμάτων καύσης βιομάζας από τις περιοχές της Αγκόλας-Κογκό-Γκαμπόν κατά την εποχή αυτή. Οι τιμές πάνω από την Ευρώπη και τη βόρεια Ασία κυμαίνονται από 0.91 έως 0.93 (με κάποιες μεμονωμένες περιοχές να φτάνουν σε 0.94) στα 354nm και έως λίγο μεγαλύτερες, 0.94, στα 388nm (με κάποιες μεμονωμένες περιοχές να φτάνουν σε 0.95). Παρόμοια είναι η εικόνα και για την περιοχή της βόρειας Αμερικής (Η.Π.Α.) πλην του βορειοδυτικού τμήματος των ΗΠΑ (ορεινό/ερημικό τμήμα) που εμφανίζει χαμηλότερες τιμές, από 0.88 έως 0.92.

Για το φθινόπωρο τα δεδομένα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του OMI δείχνουν να περιορίζεται ξανά στο βόρειο ημισφαίριο, με τιμές να εμφανίζονται κυρίως στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, ενώ αντίθετα καμία αλλαγή δεν παρατηρείται στη γεωγραφική κάλυψη του νοτίου ημισφαιρίου. Η γενικότερη εικόνα δείχνει να εμφανίζει παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα της άνοιξης, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στην Ευρώπη, ανατολικές Η.Π.Α. και βόρεια Ασία (τιμές από 0.90 έως 0.92, ανοιχτές μπλε αποχρώσεις) και χαμηλότερες για τις υπόλοιπες.

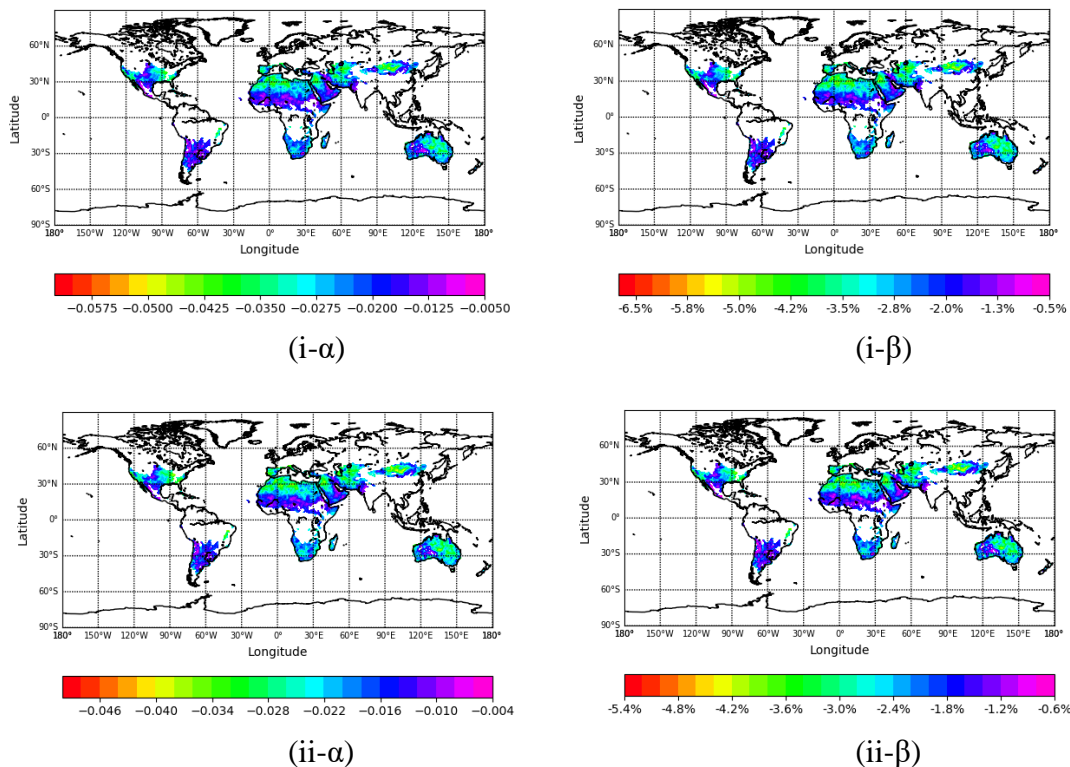
Η γεωγραφική κάλυψη των εποχικών τιμών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στο ορατό φάσμα (500nm, Σχήμα 3.17) παρέμεινε αμετάβλητη σε σχέση με τις αντίστοιχες στο υπεριώδες (Σχήμα 3.16). Η γενικότερη εικόνα δείχνει υψηλότερες τιμές στο ορατό από ότι στο υπεριώδες για όλες τις περιοχές του πλανήτη και για όλες τις εποχές. Σε ότι αφορά στις τιμές στο ορατό, αξίζει να σημειωθούν ότι οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται σε αερολύματα καύσης βιομάζας που εμφανίζονται στις περιοχές της κεντρικής Αφρικής κατά το Χειμώνα με τιμές από 0.89 έως 0.91 (μέχρι και 0.88 στο βόρειο τροπικό Ατλαντικό που επηρεάζεται από μεταφορά αερολυμάτων καύσης βιομάζας αυτή την εποχή) καθώς και στη Νότια Αφρική το Καλοκαίρι με τιμές από 0.88 έως 0.9 (και λίγο μεγαλύτερες για ανατολικά και νοτιοδυτικά τμήματα) έναντι των υπολοίπων περιοχών που εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του 0.91.

### 3.2.3 Απόλυτη και Σχετική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης

Το Σχήμα 3.18 παρουσιάζει τις απόλυτες (δεκαπενταετείς) τάσεις μεταβολής της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων (SSA), καθώς και τις σχετικές μεταβολές της. Οι υπολογισμοί έγιναν για τη 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019 χρησιμοποιώντας τα μηνιαία δεδομένα OMI. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι μόνο για τα υπεριώδη μήκη κύματος (354nm και 388nm), ενώ τα αποτελέσματα για το ορατό (500nm) παρατίθενται στο Παράρτημα (Σχήμα Π6).

Οι υπολογισμοί έγιναν σε επίπεδο κυψελίδας χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές όλης της χρονοσειράς από τον Ιανουάριο 2005 έως και Δεκέμβριο 2019. Ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) εφαρμόστηκε σε κάθε κελί και υπολογίστηκε η κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων (μηνιαία τάση μεταβολής). Στη συνέχεια, η τάση αυτή πολλαπλασιάστηκε με το 180 (ο αριθμός των μηνών για 15 έτη) για να υπολογιστεί η απόλυτη τάση μεταβολής της 15-ετούς περιόδου μελέτης (2005- 2019). Τέλος η σχετική μεταβολή υπολογίστηκε διαιρώντας τη απόλυτη τάση μεταβολής με την πρώτη εκτιμώμενη τιμή (του Ιανουαρίου 2005).

Τα κριτήρια διαθεσιμότητας δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς ήταν η ύπαρξη τουλάχιστον πέντε (5) ημερήσιων τιμών για τον υπολογισμό των μέσων μηνιαίων τιμών SSA να υπάρχει διαθεσιμότητα στα δεδομένα μεγαλύτερη από το 70% της χρονο σειράς, και τέλος μεγαλύτερο πλήθος τιμών από το 50% στο πρώτο (2005) και τελευταίο έτος (2019).



**Σχήμα 3.18** Γεωγραφική κατανομή της απόλυτης μεταβολής (α) και σχετικής μεταβολής (β) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων βάσει των δεδομένων OMI στα 354nm (i) και 388nm (ii) για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019.



Γενικά, υπάρχει μεγάλη ομοιότητα ανάμεσα στα αποτελέσματα για τα 2 υπεριώδη μήκη κύματος, 354 (σχήμα i-α) και 388nm (σχήμα ii-α), γεγονός που είναι ίσως αναμενόμενο σε μεγάλο βαθμό, εξαιτίας της εγγύτητας των δύο αυτών μηκών κύματος μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι επικρατεί μία τάση μείωσης της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων, σε παγκόσμια βάση. Η μεγαλύτερη μείωση φαίνεται να επικρατεί στη Βόρεια Αφρική (Σαχάρα) στη κεντρική Ασία (Τακλαμακαν), Αραβική Χερσόνησο και στη Ανατολική Αυστραλία με τιμές από -0.0425 έως -0.0275 (κάποια σημεία και λίγο μικρότερα στη κεντρική Ασία (Τακλαμακαν) ) και -0.034 έως -0.022 για τα 354nm και 388nm αντίστοιχα. Υψηλότερες τιμές (μικρότερη μείωση) υπολογίζονται για τις υπόλοιπες περιοχές με τιμές που κυμαίνονται από -0.0275 έως -0.005 για τα 354nm και από -0.024 έως -0.004 για τα 388nm.

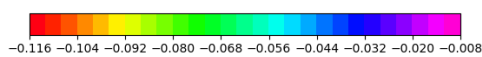
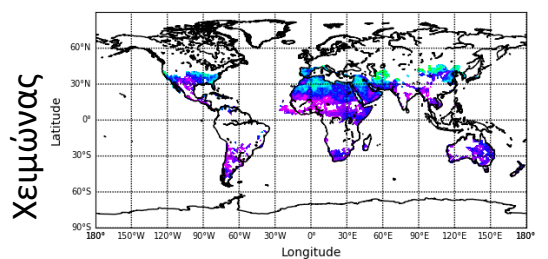
Σε πλήρη συμφωνία δείχνουν να εμφανίζονται τα αποτελέσματα και των σχετικών μεταβολών για τα 2 υπεριώδη μήκη κύματος, 354 (σχήμα i-β) και 388nm (σχήμα ii-β) τόσο μεταξύ τους όσο και με αυτά των απολύτων μεταβολών (σχήματα i-α και ii-α). Οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται και για τις σχετικές μεταβολές στη Βόρεια Αφρική (Σαχάρα) στη κεντρική Ασία (Τακλαμακαν), Αραβική Χερσόνησο και στη Ανατολική Αυστραλία με τις τιμές να κυμαίνονται από -4.6% έως -3% για τα 354nm και από -3.6% έως -2.4% για τα 388nm. Υπάρχουν ωστόσο σημεία στην έρημο Τακλαμακαν που εμφανίζουν μείωση έως -5% και -4.4% στα 354nm και 388nm αντίστοιχως. Για τις υπόλοιπες περιοχές υπολογίστηκαν μικρότερα ποσοστά μείωσης με τιμές που κυμαίνονται περί τα -2.0% (και λίγο μικρότερα για τα 354nm) έως -1.2% και για τα δύο μήκη κύματος με μεμονωμένα σημεία να παρατηρούνται ποσοστά μείωσης που να ανέρχονται σε μόλις -0.5% για τα 354nm και -0.6% για τα 388nm.

#### **3.2.4 Απόλυτη και σχετική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε εποχική βάση**

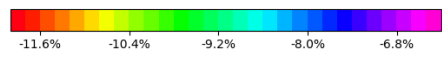
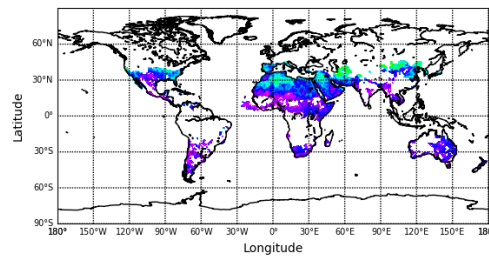
Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 3.2.2, η γεωγραφική κάλυψη των δεδομένων SSA του OMI δεν είναι ίδια σε όλη τη διάρκεια του έτους. Έτσι, οι τάσεις μεταβολής που υπολογίστηκαν και παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα (3.2.3) εμφανίζουν αποτελέσματα τα οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν είναι αντιπροσωπευτικά. Ως εκ τούτου, για τον πιο ακριβή υπολογισμό των δεκαπενταετών τάσεων μεταβολής και σχετικών μεταβολών, σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμένα σε εποχική βάση. Σε αυτόν τον υπολογισμό, για κάθε γεωγραφική κυψελίδα, υπολογίστηκαν οι εποχικές τιμές SSA για κάθε έτος, λαμβάνοντας υπόψη ως προϋπόθεση την ύπαρξη τουλάχιστο 2 διαθέσιμων μηνιαίων τιμών. Μέσω της εφαρμογής της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης σε κάθε κελί, που υπήρχαν εποχικές τιμές για τουλάχιστον επτά (7) χρόνια, υπολογίστηκε η κλίση της γραμμικής παρεμβολής. Έχοντας υπολογίσει την ετήσια εποχιακή μεταβολή, η τάση αυτή πολλαπλασιάστηκε με το 15 (ο αριθμός των ετών) για να υπολογιστεί η απόλυτη

εποχική μεταβολή της 15-ετή περίοδο μελέτης (2005- 2019). Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν και για τα τρία διαθέσιμα μήκη κύματος, όμως στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται (στο Σχήμα 3.19) μόνον αυτά στα 354nm, ενώ τα 388nm και 500nm παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Σχήματα Π7 και Π8), καθώς τα ευρήματα παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες με τα αποτελέσματα στα 354nm.

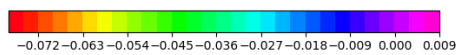
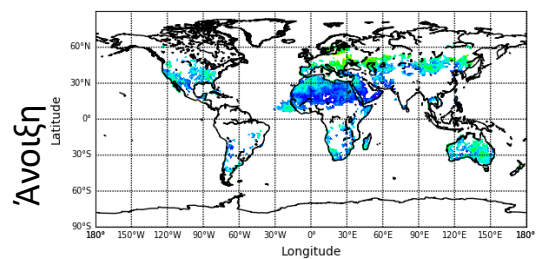
Η εποχιακή ανάλυση για το χειμώνα δείχνει τις χαμηλότερες τιμές να επικρατούν στις περιοχές της Μέσης Ανατολής πιο συγκεκριμένα στα βόρεια τμήματά της, στις περιοχές Ιράκ και Ιράν, καθώς και στη Ανατολική Ασία με τιμές που φτάνουν έως και  $-0.068$  για την απόλυτη μεταβολή και έως και  $-9.8\%$  για τη σχετική μεταβολή στο ίδιο διάστημα. Εξίσου χαμηλές τιμές παρατηρούνται σε διάφορα σημεία στις περιοχές της Βορειοδυτικής Αφρικής στα Βόρεια τμήματα της Αραβικής Χερσονήσου καθώς και για κάποια σημεία στη Βόρεια Αμερική (βόρεια τμήματα) με τις τιμές να κυμαίνονται από  $-0.06$  έως  $-0.052$  και  $-9.2\%$  έως  $-8.4\%$  αντίστοιχα. Υψηλότερες τιμές υπολογίστηκαν για τις υπόλοιπες περιοχές (Κεντρική Αφρική, Αυστραλία, Βόρεια και Νότια Αμερική) με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ  $-0.034$  έως  $-0.008$  και  $-7.8\%$  έως  $-6.2\%$  (απολύτου και σχετική μεταβολή αντίστοιχα).



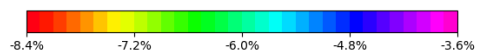
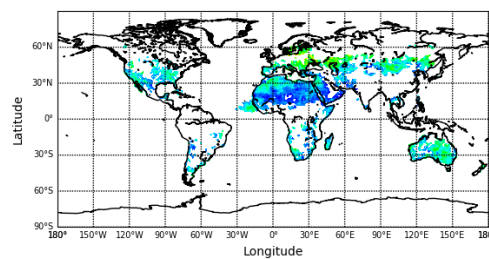
(i-α)



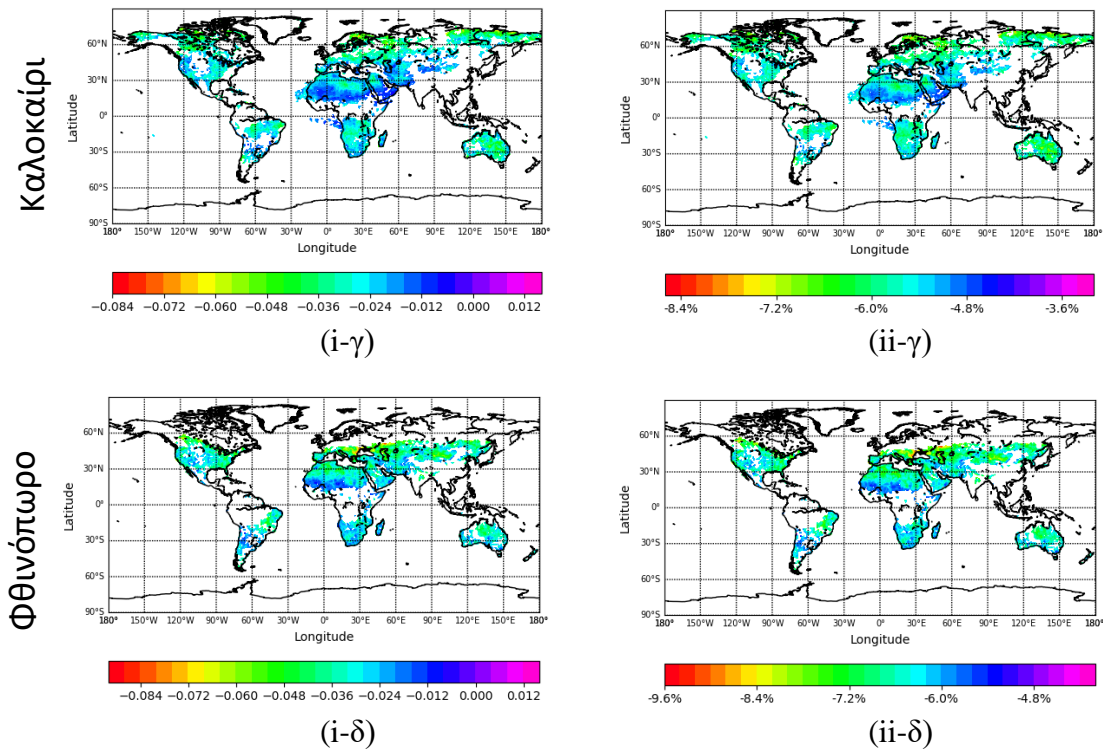
(ii-α)



(i-β)



(ii-β)



**Σχήμα 3.19** Γεωγραφική κατανομή της δεκαπενταετής τάσης (Απόλυτης μεταβολής)(i) και σχετικής μεταβολής (ii) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τα 354nm σε εποχιακή βάση για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019 για χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ) και Φθινόπωρο (δ).

Μικρότερες τιμές μείωσης παρατηρούνται κατά την Άνοιξη για όλες της περιοχές, σε σχέση με τον Χειμώνα, με τη γεωγραφική κάλυψη να επεκτείνεται και σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη εμφανίζοντας αποτελέσματα τόσο για την Ευρώπη (κεντρική και νότια) όσο και για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη της Ασίας. Οι μικρότερες τιμές (μεγαλύτερη μείωση) παρατηρούνται στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης καθώς και στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη της Ασίας με τις τιμές να κυμαίνονται από -0.045 έως -0.027 για την απόλυτη μεταβολή και από -6.75% έως -5.55% για την σχετική μεταβολή. Μεγαλύτερες τιμές (μικρότερη μείωση) παρατηρούνται για τις υπόλοιπες περιοχές (μεγαλύτερες από -0.024). Μεμονωμένα σημεία στις περιοχές της Ανατολικής Αυστραλίας, Βόρειας Αμερικής Βορειοδυτικής Αφρικής και κυρίως στον βόρειο Τροπικό Ατλαντικό ωκεανό εμφανίζουν εξίσου μικρές τιμές έως και -0.039 και -6.3% για την απόλυτη και σχετική μεταβολή αντίστοιχα.

Κατά την περίοδο του θέρους, η γεωγραφική κάλυψη των δεδομένων OMI είναι πιο εκτεταμένη, πάνω από την Ευρώπη, την Ασία (τη βόρεια) και τη βόρεια Αμερική (τις βορειότερες περιοχές της). Παρόμοιες είναι οι τιμές που υπολογίζονται, τόσο στη απόλυτη μεταβολή όσο και στη σχετική μεταβολή, με τα αποτελέσματα τις Άνοιξης. Για το θέρος εκτεταμένη κάλυψη παρατηρείται στη περιοχή της Νότιας Αφρικής και στο Νοτιοανατολικό Ατλαντικό, αποτελέσματα που δεν εμφανίζονταν στο Χειμώνα και την Άνοιξη, όπου όπως έχει ήδη αναφερθεί, οφείλονται στις εκτεταμένες πυρκαγιές στη περιοχή κατά την εποχή αυτή με τις τιμές να κυμαίνονται από -0.036



έως -0.012 και λίγο μεγαλύτερες έως και -0.009 για την περιοχή του Νοτιοανατολικού Ατλαντικού.

Για το φθινόπωρο η γενικότερη εικόνα δείχνει να εμφανίζονται αποτελέσματα παρόμοια με εκείνα της άνοιξης, με τη μεγαλύτερη μείωση να παρατηρείται στην Ευρώπη, τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη της Ασίας, Βόρεια και Βορειοανατολικά των Η.Π.Α. (τιμές από -0.048 έως -0.028 με μεμονωμένα σημεία όπου μπορεί και να φτάνει έως -0.072 ή και -0.08) και μικρότερη μείωση για τα υπόλοιπα σημεία.

### **3.3 Αποτελέσματα σε περιογικό επίπεδο**

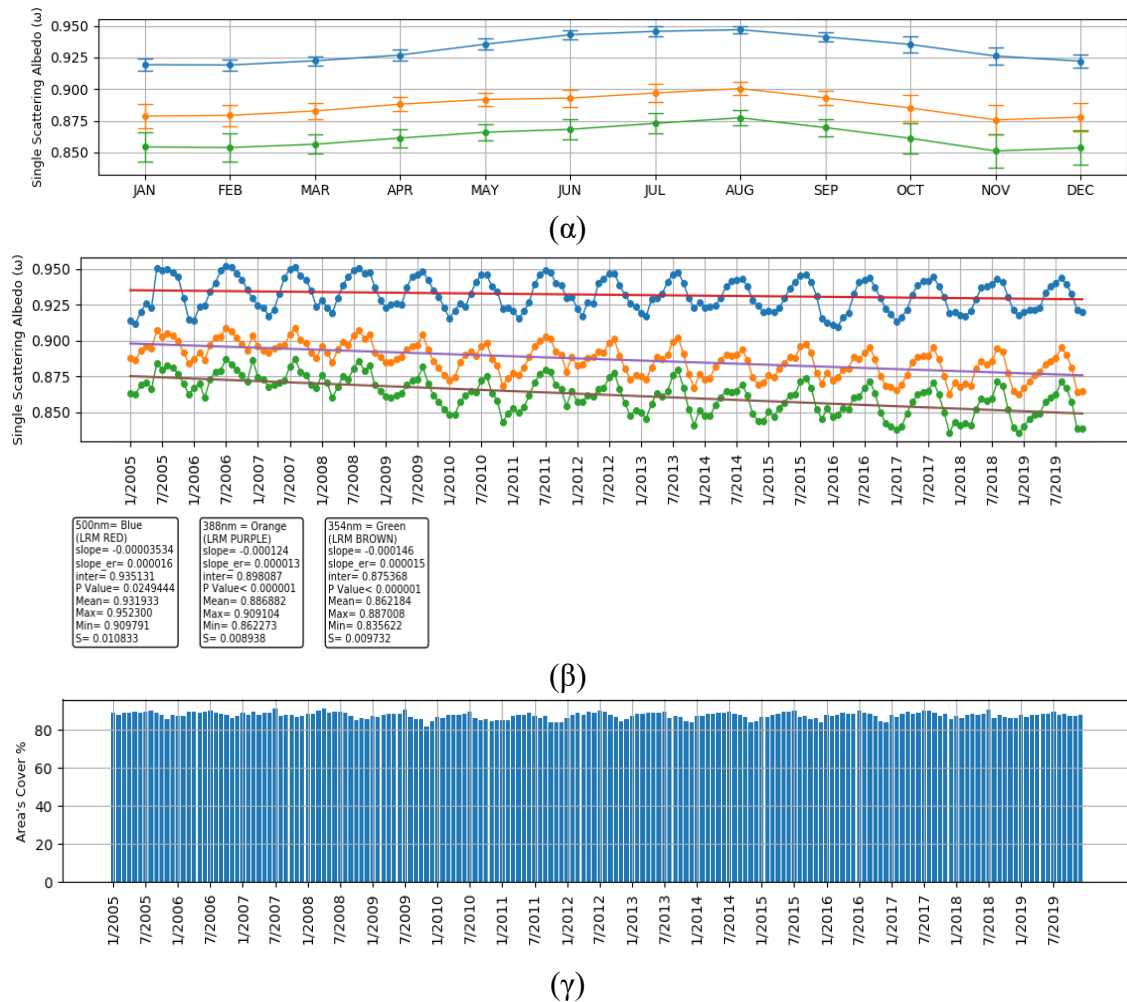
Στη προηγούμενη ενότητα (3.2.1) παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων σε παγκόσμια κλίμακα και επίπεδο κυψελίδας, δίνοντας έμφαση σε γεωγραφικές ετήσιες και εποχικές κατανομές, καθώς και σε αντίστοιχες διαχρονικές μεταβολές των τιμών SSA του OMI. Φάνηκε ήδη στα παρουσιασθέντα αποτελέσματα ότι υπάρχει σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα, από περιοχή σε περιοχή. Έτσι λοιπόν, στην παρούσα υποενότητα, με σκοπό τον πιο λεπτομερή έλεγχο, αλλά και την καλύτερη αναπαράσταση των εποχικών και διαχρονικών μεταβολών της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης, υπολογίστηκαν, παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν μεσοποιώντας σε περιογικό επίπεδο. Επιλέχθηκαν 15 περιοχές ενδιαφέροντος του πλανήτη, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο τέλος του Κεφαλαίου 2 (υποενότητα 2.3, Σχήμα 2.5). Η επιλογή των περιοχών αυτών έγινε με βάση τα αποτελέσματα των γεωγραφικών κατανομών, καθώς και της συχνότητας εμφάνισης συγκεκριμένων τύπων αερολυμάτων πάνω από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, παρέχονται στη συνέχεια αποτελέσματα για την ενδοετήσια κύμανση των τιμών SSA, καθώς και για τη διαχρονική μεταβολή της SSA για την περίοδο μελέτης (2005-2019), όπως αυτές υπολογίστηκαν μεσοποιώντας τις τιμές των κυψελίδων που βρίσκονται μέσα στα γεωγραφικά όρια των περιοχών μελέτης (Πίνακας 2.1). Παρατίθενται επίσης και τα ποσοστά γεωγραφικής κάλυψης της κάθε περιοχής από τις κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές.

Η Σαχάρα, η Αραβική Χερσόνησος και οι Ασιατικές έρημοι Thar, Taklamakan και Gobi επιλέχθηκαν ως περιοχές με αυξημένη την παρουσία αερολυμάτων ερημικής σκόνης. Οι περιοχές της νότιας Αφρικής και πιο συγκεκριμένα της Αγκόλας-Κογκό-Γκαμπόν, του δάσους του Αμαζονίου, της κεντρικής Αφρικής επιλέχθηκαν, καθώς φιλοξενούν αερολύματα καύσης βιομάζας, που προέρχονται από εκτεταμένες δασικές πυρκαγιές που σημειώνονται στα μεγάλα δάση των περιοχών αυτών. Οι περιοχές της Κίνας, της Ευρώπης, της Ινδίας και των Η.Π.Α. επιλέχθηκαν επειδή είναι περιοχές με έντονη παρουσία αστικών/βιομηχανικών αερολυμάτων. Τέλος, οι θαλάσσιες περιοχές του Βόρειου τροπικού Ατλαντικού και του Νοτιοανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού (Νότια του κόλπου της Γουινέας) επιλέχθηκαν επειδή εκτός από τα θαλάσσια αερολύματα, φιλοξενούν συχνά και μεταφερόμενα αερολύματα σκόνης και καύσης βιομάζας, αντιστοίχως.

Για την καθεμία περιοχή μελέτης παρέχονται η ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο

2005 – 2019 και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA.

### 3.3.1 Σαχάρα



**Σχήμα 3.20** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Περιοχή της βόρειας Αφρικής (Σαχάρας).

Στο Σχήμα 3.20α διακρίνεται ότι η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων πάνω από την περιοχή της Σαχάρας (βόρειας Αφρικής) παρουσιάζει μία απλή κύμανση, με τις μέγιστες τιμές να παρουσιάζονται, και για τα 3 μήκη κύματος, κατά το θέρος και τις ελάχιστες το χειμώνα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.85/0.875/0.92 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.875/0.89/0.95 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.025/0.015/0.03, που αντιστοιχεί στο 2.9%/1.7%/ 3.22%της μέσης ετήσιας τιμής. Οι μειωμένες τιμές SSA κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Μαΐου και ιδιαίτερα τους μήνες Δεκέμβριο-Ιανουάριο-Φεβρουάριο, έναντι των μεγαλύτερων τιμών κατά την

περίοδο του θέρους, αποδίδεται κυρίως στην παρουσία αερολυμάτων καύσης βιομάζας που μεταφέρονται από την κεντρική Αφρική κατά την περίοδο του χειμώνα.

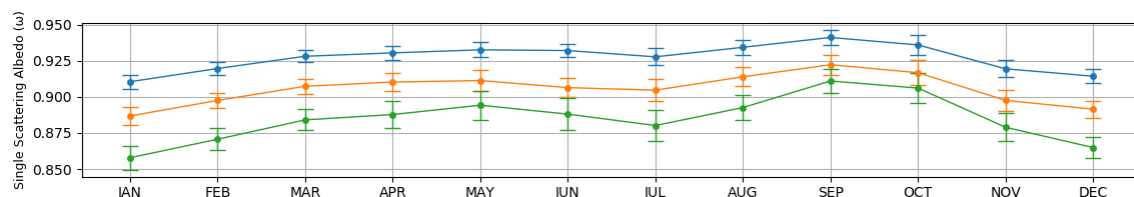
Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων της Σαχάρα (Σχήμα 3.20β), αποκαλύπτει μια συστηματική εποχικότητα, ίδια με αυτή του Σχήματος 3.20α, δηλαδή μικρότερες τιμές το χειμώνα και μεγαλύτερες το θέρος. Οι τιμές SSA στα 500 nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.91 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.04. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.86, 0.91 και 0.05, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.84, 0.89 και 0.05. Η εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης στις χρονοσειρές των μηνιαίων τιμών, αποκαλύπτει μία τάση μείωσης ίση με  $-0.000036$  ( $-0.0038\%$ ) στα 500 nm,  $-0.000124$  ( $-0.0139\%$ ) στα 388nm και  $-0.000146$  ( $-0.0169\%$ ) στα 354nm. Αυτές οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ενώ οι τάσεις στα 354 και 388nm είναι περισσότερο σημαντικές, σε επίπεδο 99%, δεδομένου ότι οι τιμές P\_value είναι ίσες με 0.025 στα 500nm, και  $< 0.0001$  στα 388 και 354nm.

Για την περιοχή της Σαχάρας (βόρεια Αφρική) τα ποσοστά γεωγραφικής κάλυψης κυψελίδων με διαθέσιμες τιμές (Σχήμα 3.20γ) είναι σταθερά υψηλά καθ όλη τη διάρκεια του έτους, με τιμές που ξεπερνούν το 80%, επομένως δεν τίθενται καθόλου ζητήματα αξιοπιστίας και αβεβαιότητας προκαλούμενης από ελλιπή δεδομένα.

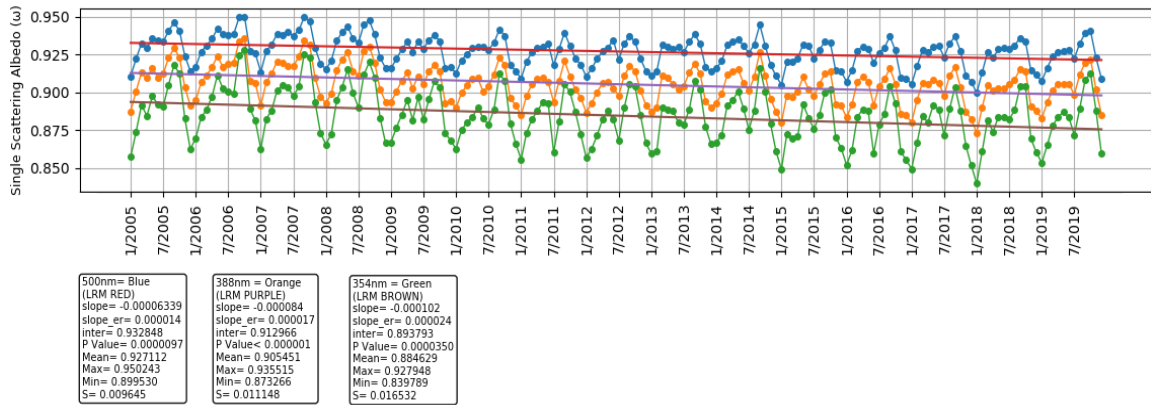
### **3.3.2 Περιογή Κεντρικής Αφρικής**

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζει η εποχικότητα (σχήμα 3.21α) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της κεντρικής Αφρικής, με την πορεία της να δείχνει μία καμπύλη διπλής κύμανσης με το ένα ελάχιστο να εμφανίζεται περί τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο-Ιανουάριο και ένα δεύτερο κατά το μήνα Ιούλιο.

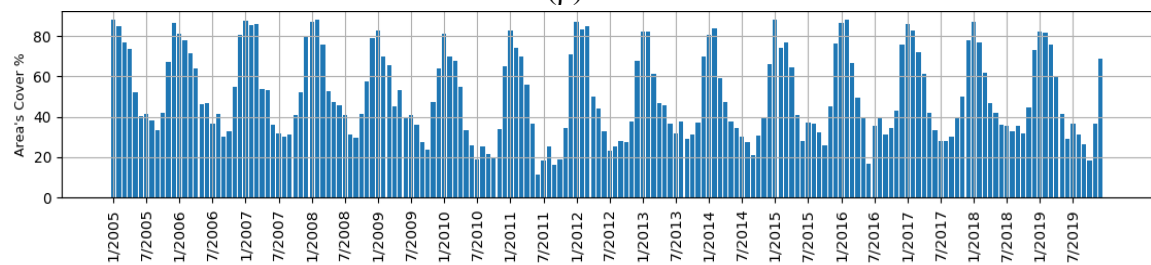
Η εμφάνιση και των δύο (κύριο και δευτερεύον) ελαχίστων οφείλονται αποκλειστικά στην παρουσία αερολυμάτων καύσης βιομάζας (απορροφητικά αερολύματα) είτε λόγω των συχνών πυρκαγιών που εκδηλώνονται στη περιοχή (κύριο ελάχιστο) κατά τους χειμερινούς μήνες είτε λόγω μεταφοράς τους από τις πυρκαγιές που εκδηλώνονται στα νότια τμήματα της Αφρικής κατά το θέρος.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.21** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Περιοχή της κεντρικής Αφρικής.

Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.855/0.88/0.91 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.91/0.925/0.945 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.04/0.045/0.035, που αντιστοιχεί στο 4.5%/4.9%/ 3.77% της μέσης ετήσιας τιμής.

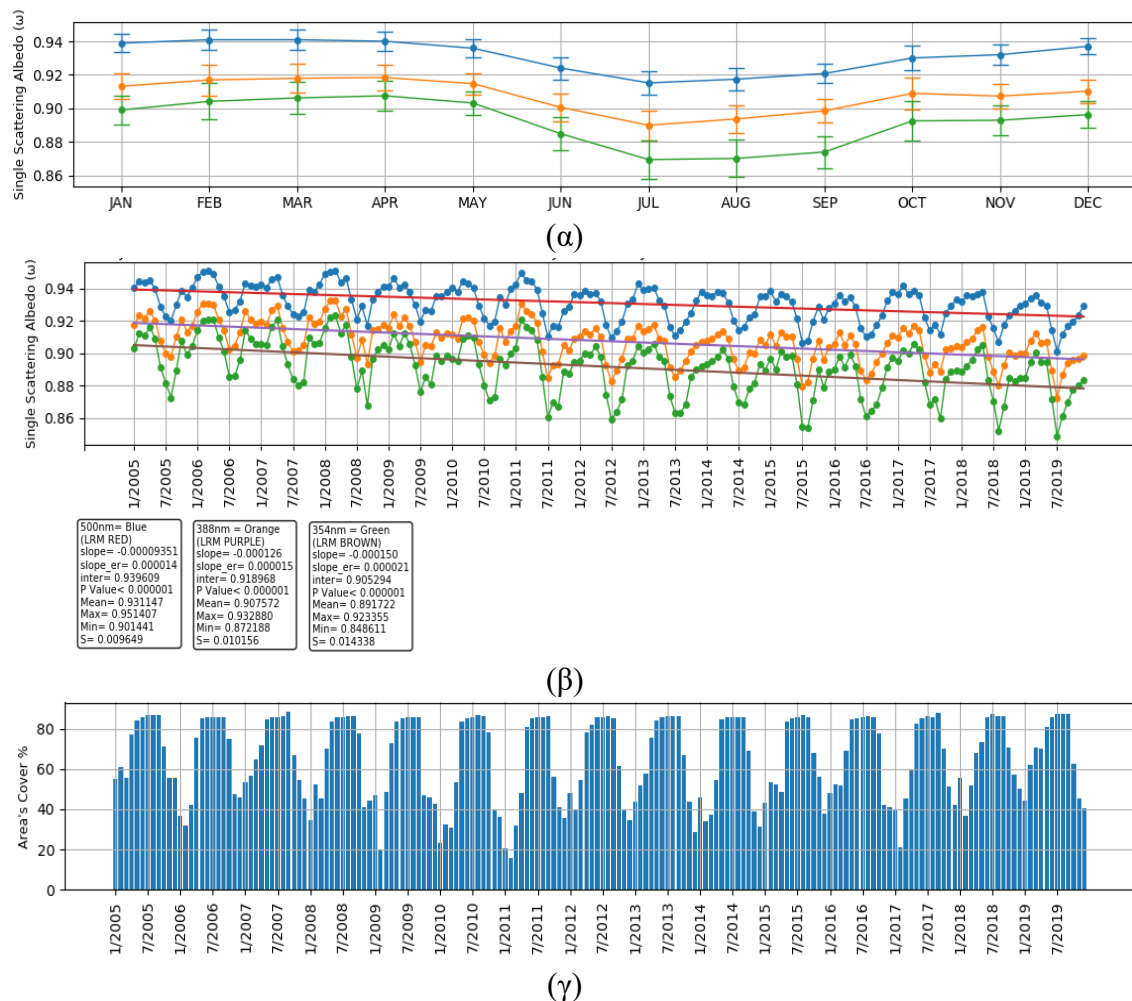
Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων της κεντρικής Αφρικής (Σχήμα 3.21β), αποκαλύπτει και εδώ μια συστηματική εποχικότητα, ίδια με αυτή του Σχήματος 3.18α. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.899 έως 0.927, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.028. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.873, 0.935 και 0.061, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.839, 0.927 και 0.088. Η μηνιαία τάση που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης και στα τρία μήκη κύματος είναι -0.000064 (-0,0069%) για τα 500nm, -0.000084 (0.0092%) για τα 388nm και με τη μεγαλύτερη αρνητική τάση -0.000102 (0.011%) για τα 354nm. Οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

Η ποσοστιαία κάλυψη της περιοχής (σχήμα 3.21γ) δείχνει να παρουσιάζει και αυτή μία περιοδικότητα με τα μέγιστα να εμφανίζονται κατά τους μήνες Δεκέμβριο

Ιανουάριο και Φεβρουάριο όπου υπάρχει έντονη εκδήλωση πυρκαγιών στην περιοχή και τα ποσοστά τους να ξεπερνούν το 80% σε ολική κάλυψη.

### 3.3.3 Περιοχή νότιας Αφρικής

Η περιοχή της Νοτίου Αφρικής, όπως προαναφέρθηκε αλλά και που έχει αποδειχτεί και σε άλλες εργασίες (Cooke et al., 1996; Giglio et al., 2006), εμφανίζει μία εποχικότητα ως προς την εκπομπή αερολυμάτων καύσης βιομάζας που οφείλεται σε πυρκαγιές, που σημειώνονται σε περιοχές με βλάστηση, η οποία αρχίζει κατά το Μάιο και τελειώνει το Νοέμβριο.



**Σχήμα 3.22** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Περιοχή της νότιας Αφρικής.

Στο Σχήμα 3.22α διακρίνεται ότι η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων πάνω από την περιοχή της νοτίου Αφρικής παρουσιάζει ομαλή κύμανση με ένα μέγιστο που εμφανίζεται κατά το μήνα Φεβρουάριο και ένα ελάχιστο που δείχνει να εμφανίζεται περί τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και στα

τρία μήκη κύματος. Το ελάχιστο δείχνει να συμφωνεί πλήρως με την εποχική εκδήλωση πυρκαγιών στην περιοχή που είναι σύνηθες περί αυτούς τους μήνες, όπου όπως προαναφέρθηκε η εκπομπή αερολυμάτων καύσης βιομάζας είναι μεγάλη. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.855/0.885/0.918 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.91/0.92/0.94 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα). Το εύρος τιμών τους είναι 0.055/0.065/0.022, που αντιστοιχεί στο 6.17%/7.12%/ 2.3% της μέσης ετήσιας τιμής.

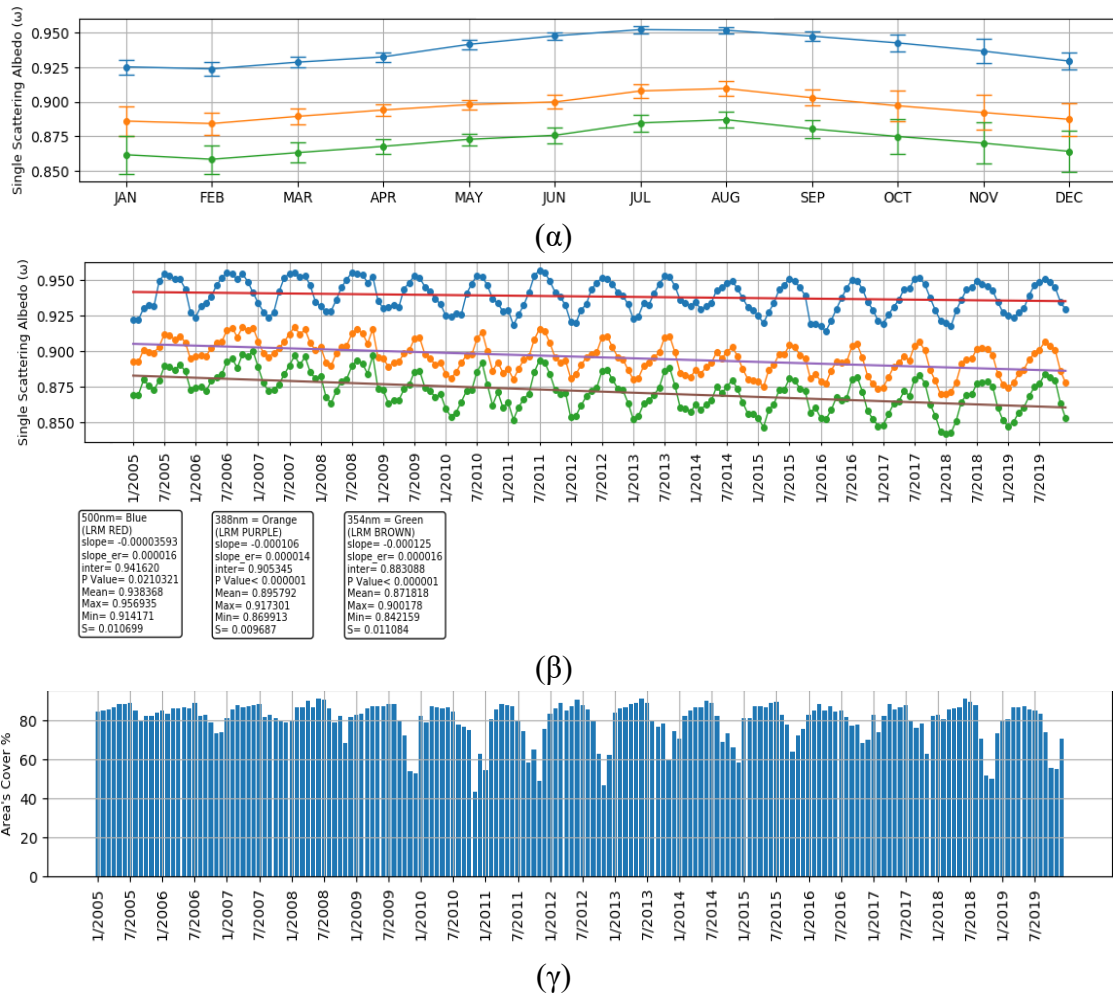
Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων της νοτίου Αφρικής (Σχήμα 3.22β) αποκαλύπτει μια συστηματική εποχικότητα, ίδια με αυτή του Σχήματος 3.22α δηλαδή μεγαλύτερες τιμές το χειμώνα και μικρότερες κατά το θέρος. Οι τιμές SSA στα 500nm φαίνονται να κυμαίνονται από 0.90 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.05, οι αντίστοιχες στα 388nm κυμαίνονται από 0.87, 0.93 με εύρος 0.06, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.84, 0.92 και 0.08. Η μηνιαία τάση που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης και στα τρία μήκη κύματος είναι -0.000093 (-0.01%) για τα 500nm, -0.000126 (0.013%) για τα 388nm και -0.00015 (0.016%) για τα 354nm με όλες τις τάσεις μεταβολής να είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% (P\_value<0.00001).

Η ποσοστιαία κάλυψη της περιοχής (Σχήμα 3.22γ) δείχνει να παρουσιάζει και αυτή μία περιοδικότητα με τα μέγιστα να εμφανίζονται τους μήνες που είναι έντονη η εκδήλωση πυρκαγιών στη περιοχή. Τα ποσοστά κάλυψης κατά την περίοδο αυτή δείχνουν να ξεπερνούν το 80% σε αντίθεση με την υπόλοιπη που φαίνεται να περιορίζεται ανάμεσα στο 40% με 60%.

### **3.3.4 Αραβική Χερσόνησος**

Η περιοχή της Αραβικής Χερσονήσου αποτελείται από μεγάλες ερημικές και πετρώδεις εκτάσεις με τα αερολύματα σκόνης να είναι πρωτίστης σημασίας. Η εποχική κύμανση της Αραβικής Χερσονήσου (σχήμα 3.22α) παρουσιάζει παρόμοια πορεία με αυτή της Σαχάρας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει μία απλή κύμανση, με τις μέγιστες τιμές να παρουσιάζονται, και για τα 3 μήκη κύματος, κατά το θέρος και τις ελάχιστες το χειμώνα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.86/0.88/0.925 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.89/0.91/0.95 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.03/0.025, που αντιστοιχεί στο 3.4%/3.3%/ 2.66%της μέσης ετήσιας τιμής.

Στα Σχήμα 3.22β παρουσιάζεται η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης της Αραβικής Χερσονήσου. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.91 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.04. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.86, 0.91 και 0.05, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.84, 0.90 και 0.06. Τα αποτελέσματα της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης να εμφανίζουν αρνητική τάση και στα τρία μήκη κύματος.



**Σχήμα 3.22** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Περιοχή της Αραβικής Χερσονήσου.

Πιο συγκεκριμένα η μηνιαία τάση για τα 500nm είναι -0.000036 (-0.0038%) για τα 388nm -0.000106 (-0.011%) και για τα 354nm με -0.000125(-0.014%). Αυτές οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ενώ οι τάσεις στα 354 και 388nm είναι περισσότερο σημαντικές, σε επίπεδο 99%, δεδομένου ότι οι τιμές P\_value είναι ίσες με 0.025 στα 500nm, και < 0.0001 στα 388 και 354nm.

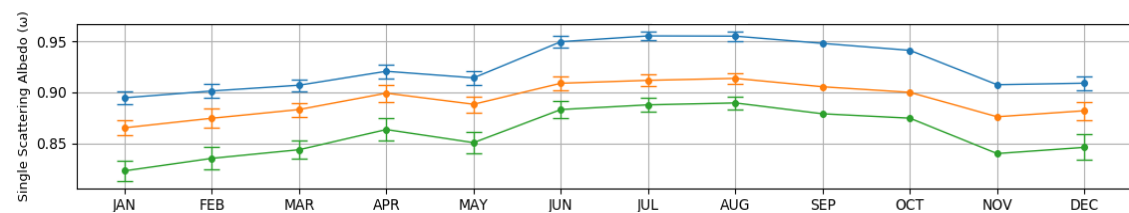
Όπως και για την περιοχή της Σαχάρας έτσι και για την περιοχή της Αραβικής Χερσονήσου τα ποσοστά γεωγραφικής κάλυψης κυψελίδων με διαθέσιμες τιμές (Σχήμα 3.22γ) είναι σταθερά υψηλά καθ όλη τη διάρκεια του έτους, με τιμές να ξεπερνούν το 80% για τους περισσότερους μήνες, επομένως δεν τίθενται καθόλου ζητήματα αξιοπιστίας και αβεβαιότητας προκαλούμενης από ελλιπή δεδομένα.



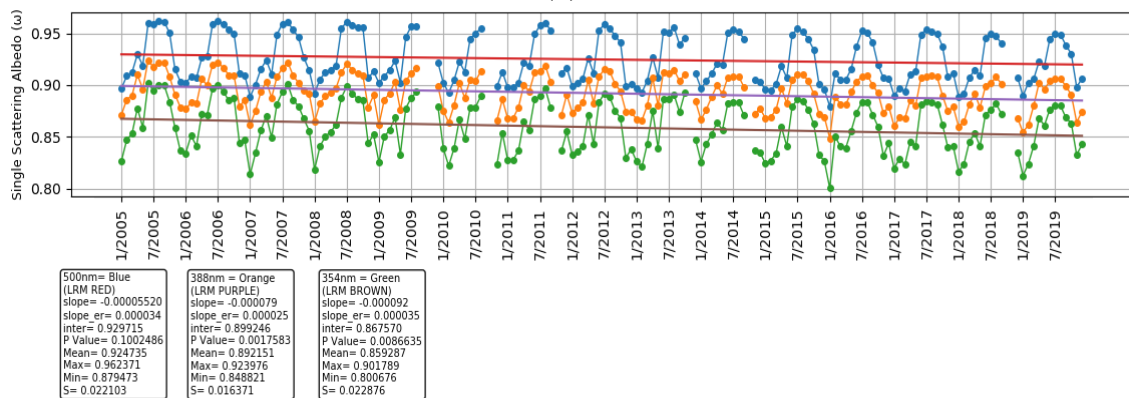
### 3.3.5 Περιοχή του Βορείου Τροπικού Ατλαντικού

Η εποχικότητα (Σχήμα 3.23α) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή βορείου Τροπικού Ατλαντικού, με την πορεία της να δείχνει μία καμπύλη διπλής κύμανσης με τις μέγιστες τιμές κατά την περίοδο του θέρους και ελάχιστες κατά τον χειμώνα (κύριο ελάχιστο) και κατά το μήνα Μάιο. Η εν λόγω κύμανση που παρουσιάζεται δείχνει να επηρεάζεται πλήρως απ' την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τη μεταφορά αερολυμάτων από τις γύρω περιοχές.

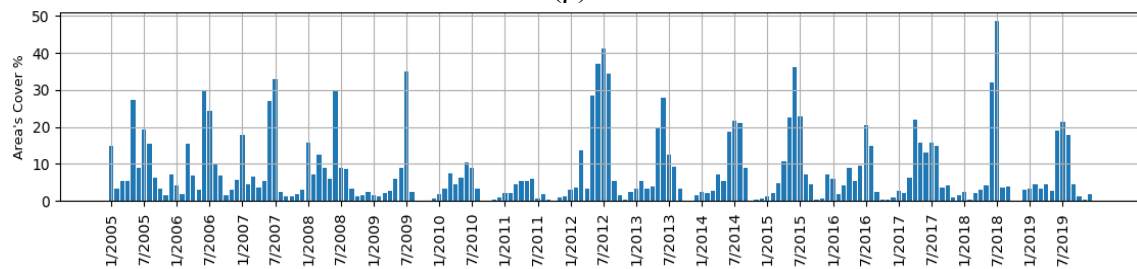
Αν και η περιοχή του Βορείου Τροπικού Ατλαντικού επηρεάζεται κυρίως από τη μεταφορά σκόνης από τη δυτική Σαχάρα, ένα τμήμα του κοντά στον ισημερινό (για την επιλεγμένη περιοχή) δείχνει να επηρεάζεται και από αερολύματα καύσης βιομάζας από την κεντρική Αφρική τους μήνες Νοέμβριο έως Φεβρουάριο.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.23** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τη περιοχή του βορείου Τροπικού Ατλαντικού

Έτσι οι ελάχιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες (κύριο ελάχιστο) είναι αποτέλεσμα της μεταφοράς αερολυμάτων καύσης βιομάζας, το ελάχιστο που



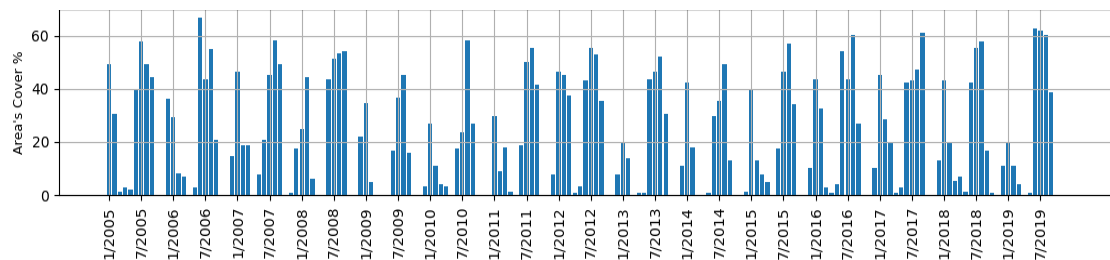
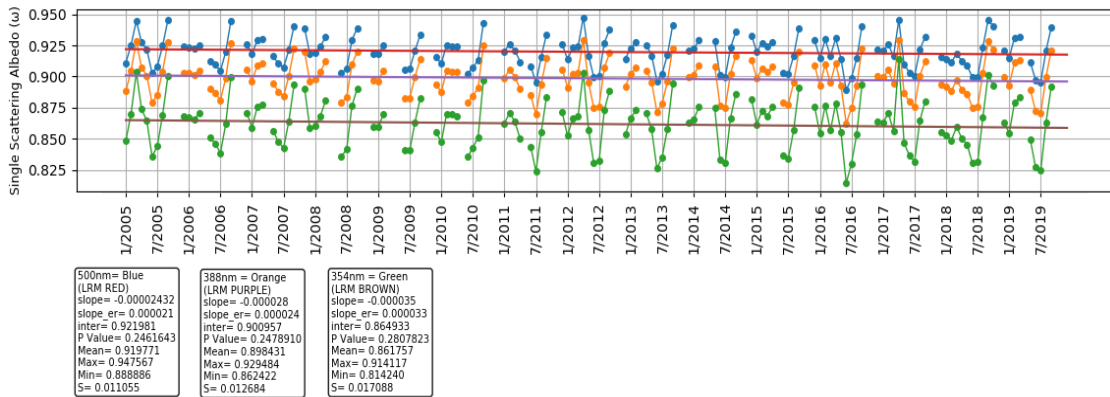
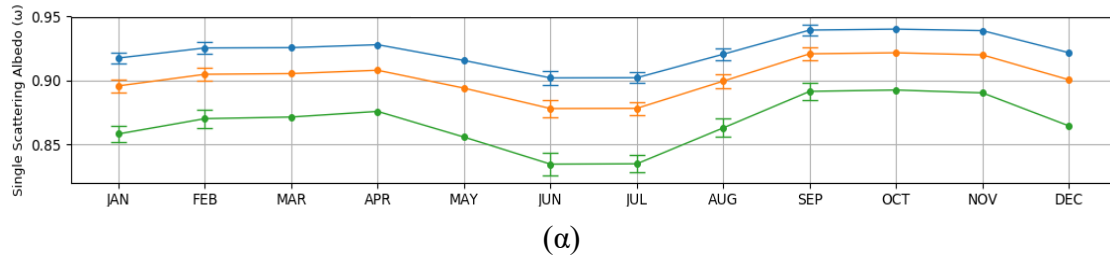
παρατηρείται κατά το μήνα Μάιο (δευτερεύον ελάχιστο) φαίνεται να είναι αποτέλεσμα έντονης μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα που όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.23γ η περιοχική κάλυψη αυξάνεται σε ποσοστά 30% με 40% έναντι το υπολοίπων μηνών που βρίσκονται σε χαμηλά ποσοστά. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.82/0.86/0.89 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.89/0.91/0.96 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.07/0.05/0.07, που αντιστοιχεί στο 8.2%/5.6%/ 7.5%της μέσης ετήσιας τιμής

Στα Σχήμα 3.23β παρουσιάζεται η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης του βορείου Τροπικού Ατλαντικού. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.87 έως 0.96, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.09. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.84, 0.92 και 0.08, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.80, 0.90 και 0.1. Η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης παρουσιάζει μία φθίνουσα πορεία. Η κλίση των μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκε για το διάστημα 2005-2019 είναι για τα 500nm -0.000056 (-0.006%), για τα 388 -0.000079 (-0.008%) και για τα 354 -0.000092 (-0.01%). Αυτές οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 80%, ενώ οι τάσεις στα 388nm είναι περισσότερο σημαντικές, σε επίπεδο 99%, και στα 354nm σε 98.4% δεδομένου ότι οι τιμές P\_value είναι ίσες με 0.1 στα 500nm, 0.002 στα 388 και 0.008 στα 354nm.

Όπως προαναφέρθηκε, ο ενδοετήσιος κύκλος για τη περιοχή του βορείου Ατλαντικού προέρχεται πρωτίστως από την εποχικότητα των πηγών αερολυμάτων σκόνης τα οποία καθοδηγούνται από τους βορειοανατολικούς αληγείς ανέμους και ύστερα από τα αερολύματα άνθρακα από τις εκπομπές καύσης βιομάζας της κεντρικής Αφρικής όπως παρουσιάστηκε και στην ενότητα 2. Υπάρχουν αναφορές ότι αερολύματα σκόνης έχουν παρατηρηθεί μέχρι την Καραϊβική (Prospero and Mayol-Bracero, 2013) και τις ακτές της Β. Αμερικής (Moulin et al., 1997). Ως αποτέλεσμα η ποσοστιαία κάλυψη της περιοχής δείχνει να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές κατά του θερμούς μήνες με ποσοστά να φτάνουν έως και το 50% και μικρότερα ποσοστά για τους χειμερινούς.

### **3.3.6 Νότιο-Ανατολικός Ατλαντικός**

Στο Σχήμα 3.24α παρουσιάζεται η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή του νοτιοανατολικού Ατλαντικού. Η πορεία της δείχνει μία καμπύλη διπλής κύμανσης με τις ελάχιστες τιμές να παρουσιάζονται κατά του θερινούς μήνες Ιουνίου , Ιούλιο (κύριο ελάχιστο) και κατά τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο (δευτερεύον ελάχιστο). Αυτή η εποχικότητα στην εν λόγω περιοχή οφείλεται στη μεταφορά ανθρακούχων αερολυμάτων μέσω της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, από την περιοχή της νοτίου Αφρικής κατά τους θερμούς μήνες (κύριο ελάχιστο) και της κεντρικής Αφρικής κατά του χειμερινούς μήνες (δευτερεύον ελάχιστο).



**Σχήμα 3.24** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τη περιοχή του νοτιοανατολικού Ατλαντικού

Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.83/0.88/0.90 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.89/0.92/0.94 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.06/0.05/0.04, που αντιστοιχεί στο 6.9%/5.5%/ 4.3%της μέσης ετήσιας τιμής.

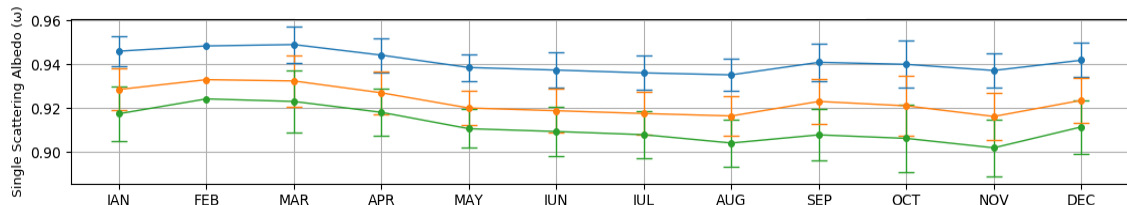
Η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τη περιοχή του νοτιοανατολικού Ατλαντικού παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.24β. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.88 έως 0.94, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.06. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.86, 0.92 και 0.06, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.81, 0.91 και 0.1. Η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης παρουσιάζει μία φθίνουσα πορεία. Η κλίση των μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκε για το διάστημα 2005-2019 είναι για τα 500nm -0.000024 (-0.0026%), για τα 388 -0.000028 (-0.003%) και για τα 354 -0.000035 (-0.004%). Η διαχρονική μεταβολή δείχνει και στα τρία μήκη κύματος μία ελαφριά

μείωση χωρίς όμως να παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική με P\_value 0.24 για τα 500nm, 0.247 για τα 388nm και 0.28 για τα 354nm.

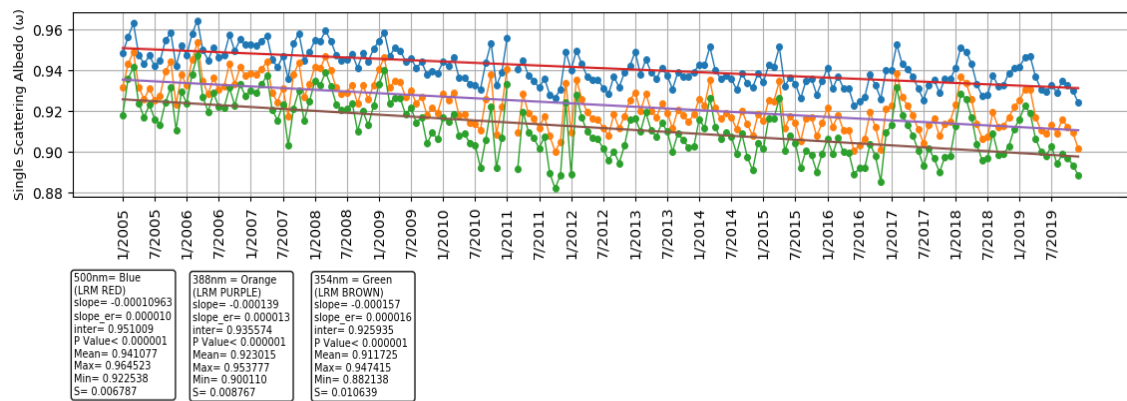
Η περιοχή του νοτιοανατολικού ατλαντικού δείχνει να επηρεάζεται από τη μεταφορά αερολυμάτων καύσης βιομάζας και από τις δύο περιοχές, κεντρική και νότια Αφρική. Έτσι η ποσοστιαία κάλυψη (Σχήμα 3.24γ) δείχνει να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο με τη ποσοστιαία κάλυψη να βρίσκεται μεταξύ 40% κα 60% και γενικά μικρότερες κατά τους υπόλοιπους μήνες.

### 3.3.7 Λεκάνη του Αμαζονίου

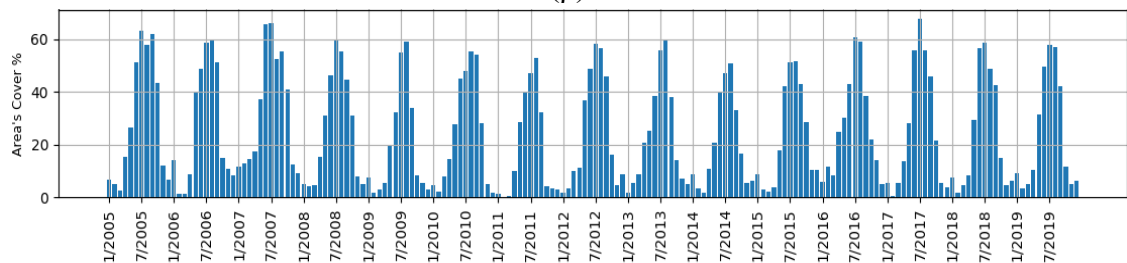
Οι φωτοχημικές ιδιότητες των αερολυμάτων καύσης βιομάζας εξαρτώνται τόσο από την περίοδο γήρανσης τους στην ατμόσφαιρα, το διάστημα δηλαδή που αιωρούνται σε αυτήν, όσο και από το είδος της βλάστησης που καίγεται.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.25** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η

διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA ( $\gamma$ ) για τη περιοχή της Λεκάνη Αμαζονίου

Αποτελέσματα έχουν δείξει ότι τα χαρακτηριστικά των ανθρακούχων αερολυμάτων έχουν μία μη αμελητέα τάση μεταβολής σε σχέση με την γήρανση και των τύπο βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα, επηρεασμένα από τις φυσικοχημικές μεταβολές, η λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων που προέρχονται από καύσεις βιομάζας δείχνει να αυξάνεται με την διάρκεια του χρόνου (ShuaiyiShi et al, 2019). Επίσης τα αερολύματα που παράγονται από την καύση θάμνων ή γρασιδιού δείχνουν να έχουν μεγαλύτερα ποσοστά σε μαύρο άνθρακα, συγκεκριμένα 2.5 φορές περισσότερο, σε σχέση με αυτά που παράγονται όταν καίγονται δάση ή στάχια (ShuaiyiShi et al, 2019).

Η λεκάνη του Αμαζονίου βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Λατινικής Αμερικής και το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από τροπικά δάση. Η περιοχή του Αμαζονίου παρουσιάζει μία εποχικότητα ως προς την εκπομπή αερολυμάτων καύσης βιομάζας που οφείλεται σε πυρκαγιές, που σημειώνονται στην περιοχή κυρίως κατά τους μήνες Ιούλιο έως Οκτώβριο. Σε αντίθεση με τις πυρκαγιές στην κεντρική και νότια Αφρική, όπου τα ανθρακούχα αερολύματα βασίζονται σε καύση βλάστησης που προέρχονται από σαβάνες παράγοντας μεγαλύτερα ποσοστά μαύρου άνθρακα, τα αερολύματα από τις πυρκαγιές στην περιοχή του Αμαζονίου προέρχονται από καύσης σε ψηλή βλάστηση (τροπικά δάση), όπου η περιεκτικότητα τους σε μαύρο άνθρακα είναι μικρότερη, εμφανίζοντας μία όχι και τόσο έντονη μείωση στη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης κατά τους μήνες αυτούς. Πιο συγκεκριμένα στο Σχήμα 3.25α παρουσιάζεται η ενδοετήσια κύμανση της λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή του Αμαζονίου εμφανίζοντας μια μικρή κύμανση με τα ελάχιστα να συμφωνούν με τους μήνες των εποχιακών πυρκαγιών. Οι τιμές δείχνουν να κυμαίνονται μεταξύ 0.905/0.915/0.935 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.925/0.93/0.95 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.02/0.015/0.015, που αντιστοιχεί στο 2%/1.6%/ 1.5%της μέσης ετήσιας τιμής

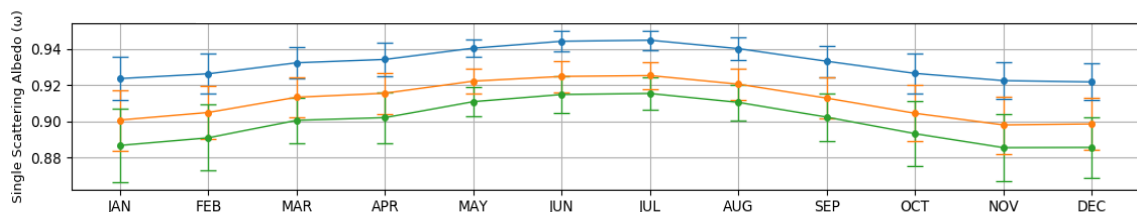
Η διαχρονική πορεία της λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης για τη περιοχή του Αμαζονίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.25β. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.935 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.025. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.92, 0.935 και 0.015, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.905, 0.925 και 0.025. Η διαχρονική πορεία της λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης μέσω της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης εμφανίζουν αρνητική τάση και στα τρία μήκη κύματος. Πιο συγκεκριμένα η κλίση των μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκε για το διάστημα 2005-2019 είναι για τα 500nm είναι -0.000109 (-0.011%) για τα 388nm -0.000139 (-0.015%) και για τα 354nm με -0.000157(-0.017%). Η διαχρονική μεταβολή δείχνει και στα τρία μήκη κύματος μία ελαφριά μείωση χωρίς όμως να παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική με P\_value 0.24 για τα 500nm, 0.247 για τα 388nm και 0.28 για τα 354nm.

Η ποσοστιαία κάλυψη της περιοχής (Σχήμα 3.25γ) δείχνει να παρουσιάζει και αυτή μία περιοδικότητα με τα μέγιστα να εμφανίζονται τους μήνες που είναι έντονη η εκδήλωση πυρκαγιών στη περιοχή. Τα ποσοστά κάλυψης κατά την περίοδο αυτή δείχνουν να ξεπερνούν το 50% σε αντίθεση με την υπόλοιπη που φαίνεται να περιορίζεται κάτω του 20%.

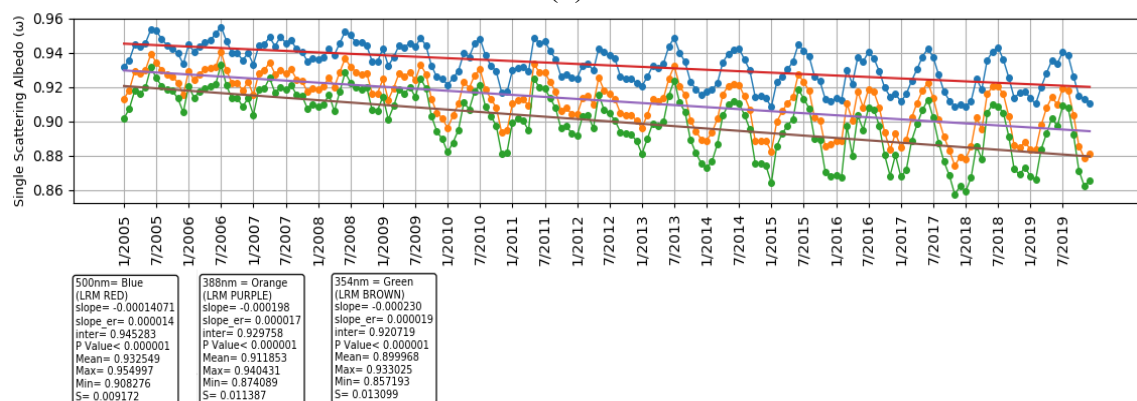
### 3.3.8 Ευρώπη

Πάνω από την Ευρώπη η βιομηχανική ρύπανση, που περιέχει θεικές ενώσεις, αυξάνεται κατά τη διάρκεια των μηνών του θέρους (Marmer et al, 2007, Karnieli et al, 2009). Επιπλέον, οι δασικές πυρκαγιές στη νότια Ευρώπη, κυρίως κατά τους μήνες του θέρους, (Pace et al., 2006; Tafuro et al., 2008) μαζί με σημαντικά φορτία σκόνης που προέρχονται από τη έρημο Σαχάρα κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (Hatzianastassiou et al, 2009) συμβάλουν και αυτά στην εποχιακή διακύμανση.

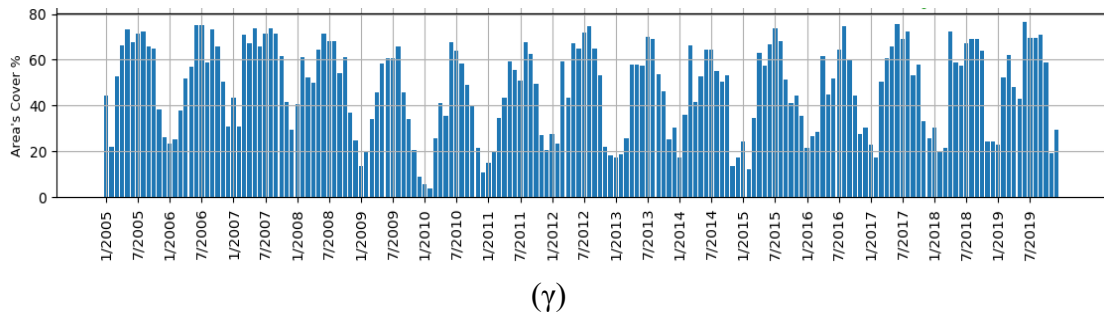
Στο Σχήμα 3.26α παρουσιάζεται η ενδοετήσια κύμανση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της Ευρώπης με τη πορεία της να παρουσιάζει μία ομαλή κύμανση με ένα μέγιστο να παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες που όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στα αερολύματα από θεικές ενώσεις που είναι και αυτά που κυριαρχούν (τα αερολύματα θεικών ενώσεων είναι ανακλαστικά αερολύματα με πολύ υψηλές τιμές SSA) και ένα ελάχιστο κατά τους χειμερινούς μήνες.



(α)



(β)



**Σχήμα 3.26** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τη περιοχή της Ευρώπης

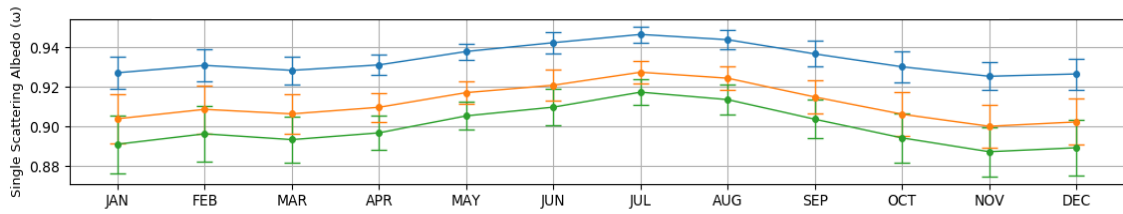
Οι τιμές δείχνουν να κυμαίνονται μεταξύ 0.885/0.90/0.925 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.915/0.925/0.945 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.025/0.02, που αντιστοιχεί στο 3.3%/2.7%/ 2.1%της μέσης ετήσιας τιμής.

Η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την Ευρώπη παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.26β. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.90 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.05. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.87, 0.94 και 0.07, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.85, 0.93 και 0.8. Η εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης στις χρονοσειρές των μηνιαίων τιμών, για το διάστημα 2005-2019 αποκαλύπτει μία τάση μείωσης ίση με -0.00014 (-0.015%) με για τα 500nm, -0.00019 (-0.02%) για τα 388 και -0.00023 (-0.025%) για τα 354.

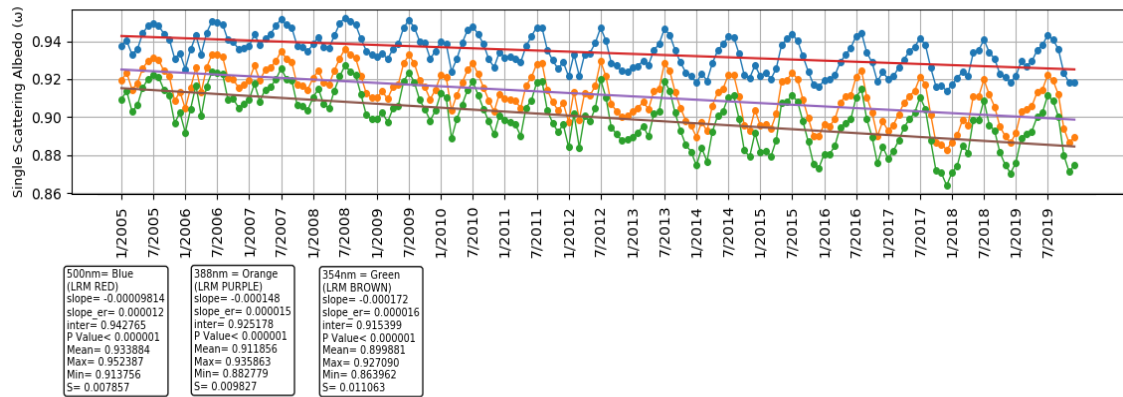
Τέλος στο Σχήμα 3.26γ παρουσιάζεται η ποσοστιαία περιοχική κάλυψη για κάθε μήνα ξεχωριστά. Η έλλειψη υετού κατά τους θερινούς μήνες (άρα είναι περιορισμένη η υγρή εναπόθεση) είναι η αιτία που η περιοχική κάλυψη παρουσιάζει μία εποχικότητα με τα μέγιστα να εμφανίζονται κατά τους θερινούς μήνες με τιμές που γενικότερα ξεπερνούν το 60% και τα ελάχιστα κατά τους χειμερινούς μήνες με τιμές περίπου στο 20%.

### **3.3.9 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής**

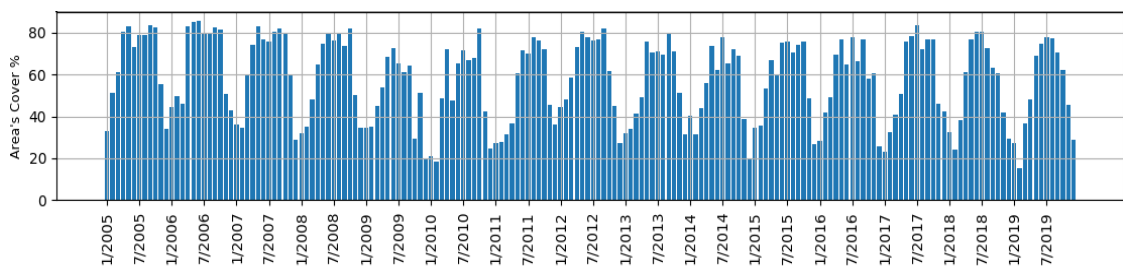
Η εποχιακή κύμανση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης (Σχήμα 3.27α) για την περιοχή των ΗΠΑ παρουσιάζει παρόμοια πορεία με την της Ευρώπης εμφανίζοντας μία απλή κύμανση με τις μέγιστες τιμές κατά την περίοδο του θέρους και τις ελάχιστες κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι τιμές δείχνουν να κυμαίνονται μεταξύ 0.89/0.90/0.925 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.92/0.925/0.945 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.025/0.02, που αντιστοιχεί στο 3.3%/2.7%/ 2.1%της μέσης ετήσιας τιμής.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.27** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τις ΗΠΑ

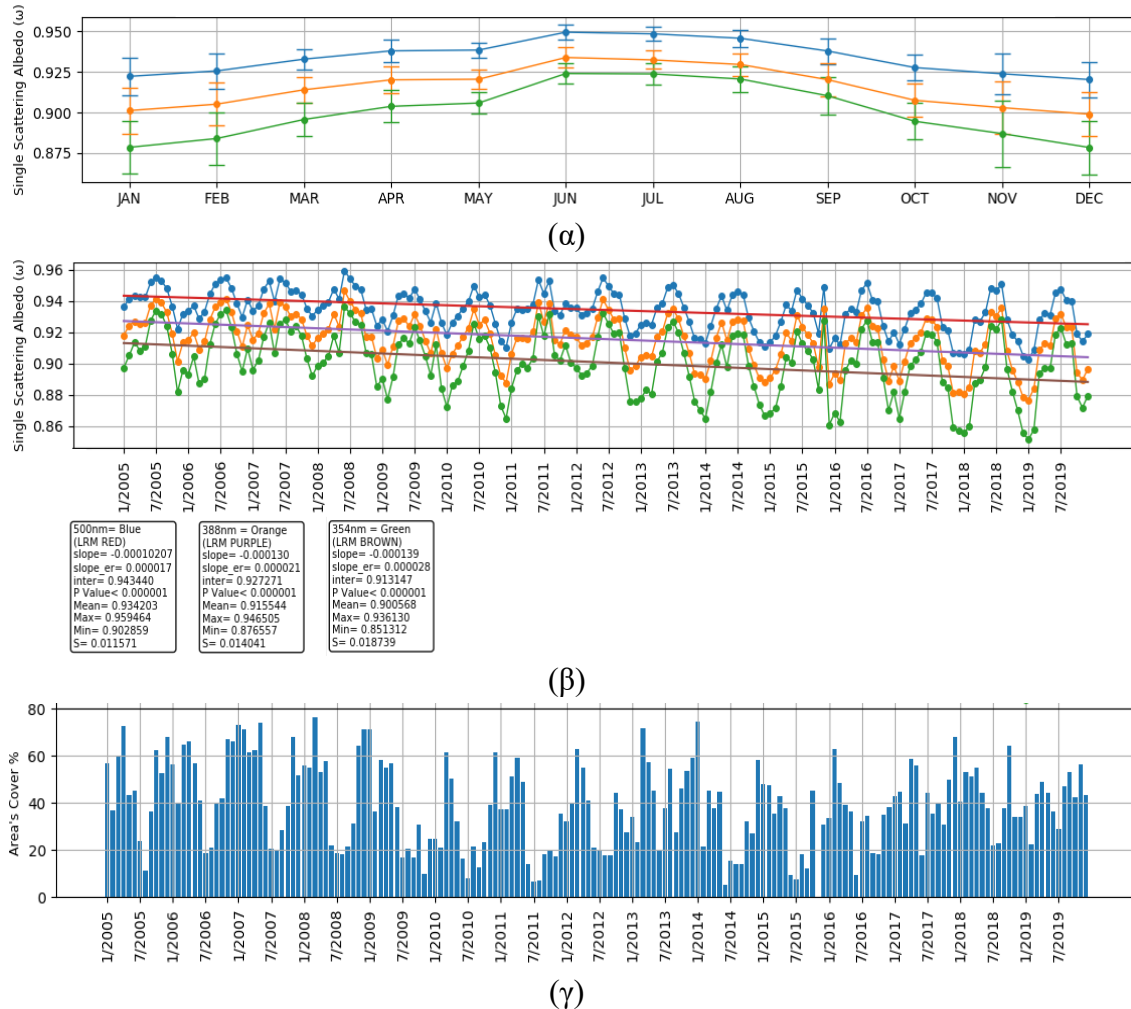
Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων στις ΗΠΑ (Σχήμα 3.27β), αποκαλύπτει και εδώ μια συστηματική εποχικότητα, ίδια με αυτή του Σχήματος 3.25α. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.91 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.04. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.88 0.93 και 0.05, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.86, 0.92 και 0.06. Η μηνιαία τάση που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης παρουσιάζει αρνητική τάση και στα τρία μήκη κύματος. Πιο συγκεκριμένα η μηνιαία τάση για τα 500nm είναι -0.000098 (-0.001%) για τα 388nm -0.000148 (-0.0016%) και για τα 354nm με -0.000172 (-0.019%). Οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% με  $P\_value < 0.00001$ .

Στο Σχήμα 3.27γ παρουσιάζεται η ποσοστιαία περιοχική κάλυψη. Τα διαθέσιμα δεδομένα εμφανίζουν μία εποχικότητα με μεγαλύτερη κάλυψη κατά τους θερινούς



μήνες με ποσοστά να φτάνουν το 80% (70-80%) και μικρότερα ποσοστά κατά τους χειμερινούς μήνες.

### 3.3.10 Κίνα



**Σχήμα 3.28** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τη Κίνα

Για την περιοχή της Νοτιοανατολικής Κίνας, οι εποχικές αλλαγές των αερολυμάτων επηρεάζονται κυρίως από τις ανθρωπογενείς εκπομπές, που προκαλούνται από την αστικοποίηση και εκβιομηχάνιση, καθώς και από μετεωρολογικά συνοπτικά συστήματα (στάσιμα μέτωπα) κατά την περίοδο του καλοκαιριού (Xiao et al., 2011; Zhang et al., 2008).

Στο Σχήμα 3.28α παρουσιάζεται η ενδοετήσια κύμανση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της Νοτιοανατολικής Κίνας. Η πορεία της γενικά παρουσιάζει μία ομαλή κύμανση με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται κατά την



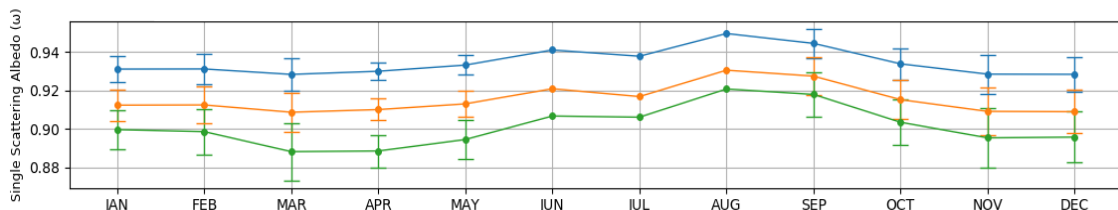
περίοδο του καλοκαιριού και τις ελάχιστες κατά το χειμώνα. Ένα δεύτερο ελάχιστο τείνει να εμφανίζεται κατά την άνοιξη (μήνα Μάιο). Μία πιθανή εξήγηση είναι ότι μπορεί να οφείλεται σε μεταφορά σκόνης λόγω των ισχυρών κονιορτοθυελλών που επικρατούν στη Βορειοδυτική Κίνα και Μογγολία [Liu, 1985; Sun et al., 2001; Wang et al., 2008]. Οι τιμές δείχνουν να κυμαίνονται μεταξύ 0.875/0.90/0.92 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.925/0.93/0.95 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.05/0.03/0.03, που αντιστοιχεί στο 5.5%/3.2%/ 3.2%της μέσης ετήσιας τιμής.

Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων για την περιοχή της βορειοανατολικής Κίνας παρουσιάζεται στο Σχήματος 3.28β. Οι τιμές SSA κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται για τα 500nm από 0.90 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.05, για τα 388nm είναι 0.87 έως 0.94 και 0.07, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.85, 0.93 και 0.08. Η μηνιαία τάση που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης παρουσιάζει μία τάση μείωσης και στα τρία μήκη κύματος. Πιο συγκεκριμένα η κλίση των μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκε για το διάστημα 2005-2019 είναι για τα 500nm - 0.000102 (0.01%), για τα 388nm -0.00013 (0.014%) και για τα 354nm -0.000139 (0.015%). Οι τάσεις μεταβολής, βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% με P\_value<0.00001.

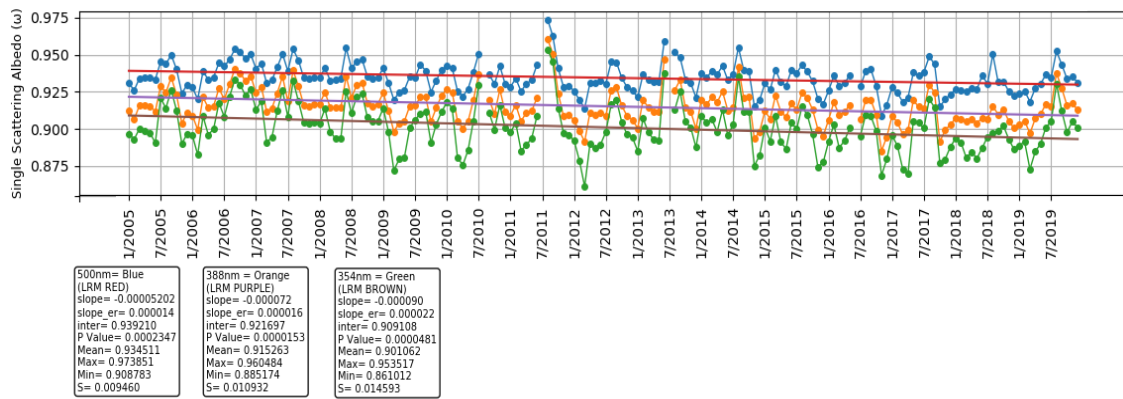
Τέλος στο Σχήμα 3.28γ παρουσιάζεται η ποσοστιαία περιοχική κάλυψη για κάθε μήνα ξεχωριστά. Η συχνές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των μουσώνων (Ιούνιος – Σεπτέμβριος) (άρα και αυξημένη υγρή εναπόθεση) είναι η αιτία που η περιοχική κάλυψη παρουσιάζει μία εποχικότητα με τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται κατά τους θερινούς μήνες με τιμές που γενικότερα περιορίζονται κάτω του 20%. Μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης παρατηρούνται κατά του χειμερινούς μήνες με τιμές που φτάνουν έως και το 70%.

### **3.3.11 Ινδία**

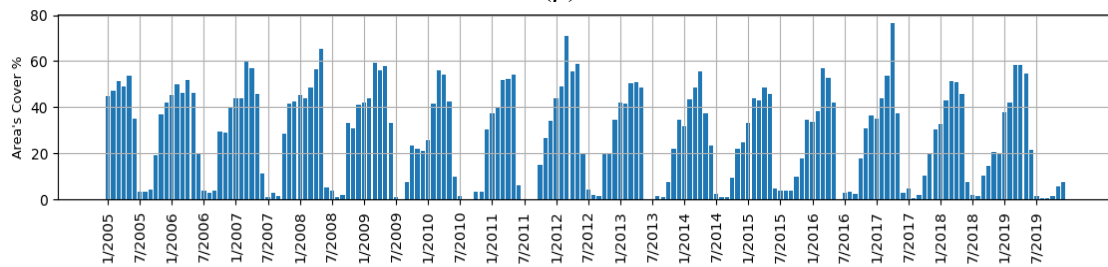
Όπως και στην προηγούμενη περιοχή (Κίνα) για την περιοχή της Ινδίας οι εποχιακή διακύμανση του SSA των αερολυμάτων εξαρτάται τόσο από τις εκπομπές σωματιδίων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όσο και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Για την ευκολότερη διάκριση τους, οι εποχές, εξετάζονται στις εξής περιόδους, στο χειμώνα (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος), στην προ-μουσώνων περίοδο (Μάρτιος – Μάιος), στην διάρκεια των μουσώνων (Ιούνιος – Σεπτέμβριος) και στη μετά-μουσώνων περίοδο (Οκτώβριος – Νοέμβριος).



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.29** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για τη Ινδία

Η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της Ινδίας παρουσιάζει μία διπλή κύμανσης καμπύλη με ένα ελάχιστο να παρουσιάζεται κατά του μήνες Μάρτιο – Απρίλιο και ένα δεύτερο κατά το μήνα Νοέμβριο. Οι μικρές τιμές κατά την προ-μουσώνων περίοδο (ξηρή περίοδος) οφείλονται στο μικρό αριθμό πυρκαγιών που εμφανίζονται τους μήνες αυτούς στην περιοχή της Ινδίας (Badarinath et al., 2007a; Kharol and Badarinath, 2006) ή/και λόγω μεταφοράς σκόνης τόσο από την τη βορειοδυτική Ινδία (Badarinath et al., 2007b) όσο και από την περιοχή της Σαχάρας και της δυτικής Ασίας με την παρουσία ισχυρών ανέμων (Satheesh and Srinivasan, 2002). Στην περιοχή της Ινδίας οι πυρκαγιές εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια από Ιανουάριο έως και Μάιο με μέγιστο όπως προαναφέρθηκε κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο (Badarinath et al., 2007a). Οι υψηλότερες τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης το χειμώνα σε σχέση με τη προ-μουσώνων περίοδο οφείλεται στις μεγάλες εκπομπές αερολυμάτων θεικών ενώσεων από μηχανές εσωτερικής καύσης (Badarinath et al., 2007a). Οι υψηλότερες τιμές κατά την διάρκεια των Μουσώνων οφείλονται στο ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές συνεχίζουν να είναι σε μεγάλο βαθμό, παρόλα αυτά απορροφητικά αερολύματα εμφανίζονται μόνο στο βορειοδυτικό τμήμα της Ινδία όπου οι εκπομπές σκόνης και αυτήν την περίοδο είναι μεγάλες (Gazala Habib et al, 2005). Οι τιμές δείχνουν να κυμαίνονται μεταξύ 0.89/0.91/0.93 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.92/0.93/0.95

(μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.02/0.02, που αντιστοιχεί στο 3.3%/2.1%/ 2.1%της μέσης ετήσιας τιμής.

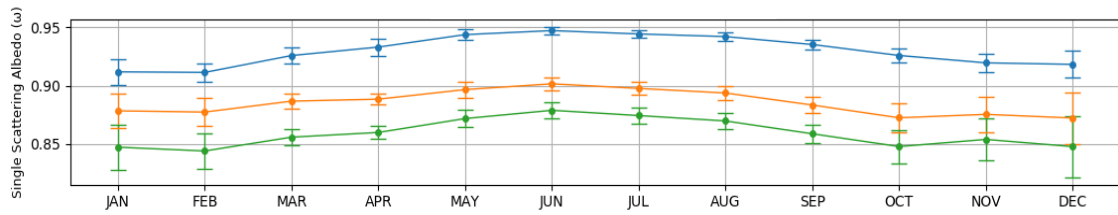
Στο Σχήμα 3.29β παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων για την περιοχή της Ινδίας. Οι τιμές SSA κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται για τα 500nm από 0.90 έως 0.97, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.07, για τα 388nm είναι 0.88 έως 0.96 και 0.08, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.86, 0.95 και 0.09. Τα αποτελέσματα της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης εμφανίζουν αρνητική τάση και στα τρία μήκη κύματος. Πιο συγκεκριμένα η μηνιαία τάση για τα 500nm είναι -0.000052 (-0.0055%) για τα 388nm -0.000072 (-0.0079%) και για τα 354nm με -0.00009(-0.01%). Αυτές οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, δεδομένου ότι οι τιμές P\_value < 0.0002 και στα τρία μήκη κύματος.

Τέλος στο Σχήμα 3.29γ παρουσιάζεται η ποσοστιαία περιοχική κάλυψη για κάθε μήνα ξεχωριστά. Η εικόνα της περιοχικής κάλυψης εμφανίζει μία εποχικότητα με μεγαλύτερα ποσοστά να παρατηρούνται κατά το χειμώνα τη προ και μετά Μουσωνική περίοδο με ποσοστά που φτάνουν το 60%. Η συχνές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των Μουσώνων (Ιούνιος – Σεπτέμβριος) είναι η αιτία όπως και για την περιοχή της Κίνας που η περιοχική κάλυψη παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται κατά τους θερινούς μήνες με τιμές που γενικότερα περιορίζονται κάτω του 10%.

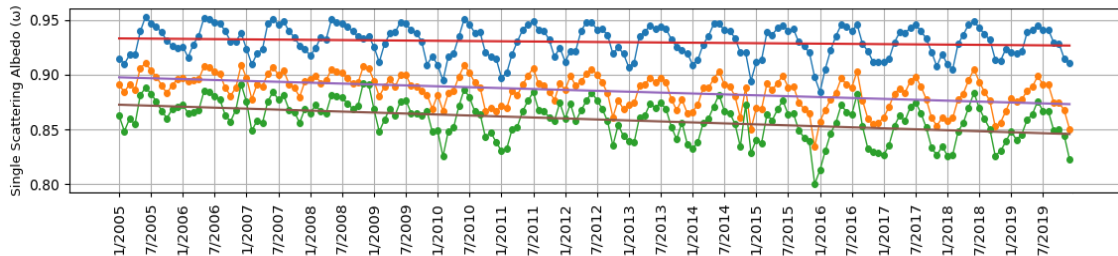
### **3.3.12 Έρημος Τακλαμακάν**

Στο Σχήμα 3.30α διακρίνεται ότι η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων πάνω από την έρημο Τακλαμακάν παρουσιάζει μία απλή κύμανσης καμπύλη, παρόμοια με τις προαναφερθείσες ερημικές περιοχές (Σαχάρα, Αραβική Χερσόνησο) με τις μέγιστες τιμές να παρουσιάζονται, και για τα 3 μήκη κύματος, κατά το θέρος και τις ελάχιστες το χειμώνα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.84/0.87/0.91 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.88/0.90/0.95 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.04/0.03/0.04, που αντιστοιχεί στο 4.7%/3.4%/ 4.3%της μέσης ετήσιας τιμής.

Η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων την έρημο Τακλαμακάν (Σχήμα 3.30β), αποκαλύπτει μια συστηματική εποχικότητα, παρόμοια με αυτή του Σχήματος 3.28α, δηλαδή εμφανίζει μικρότερες τιμές το χειμώνα και μεγαλύτερες το θέρος. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.88 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.07. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.83, 0.91 και 0.08, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.8, 0.89 και 0.09.

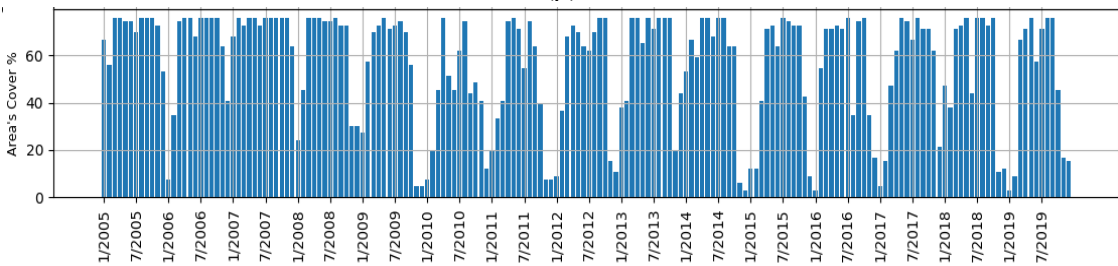


(α)



500nm = Blue (LRM RED) slope= -0.00003633 slope_er= 0.000021 inter= 0.933182 P Value= 0.0724940 Mean= 0.929895 Max= 0.953145 Min= 0.884255 S= 0.013939	388nm = Orange (LRM PURPLE) slope= -0.000137 slope_er= 0.000019 inter= 0.897760 P Value= 0.000001 Mean= 0.895377 Max= 0.910344 Min= 0.834143 S= 0.012717	354nm = Green (LRM BROWN) slope= -0.000150 slope_er= 0.000023 inter= 0.872749 P Value= 0.000001 Mean= 0.852219 Max= 0.892265 Min= 0.800164 S= 0.015412
---	---	---

(β)



(γ)

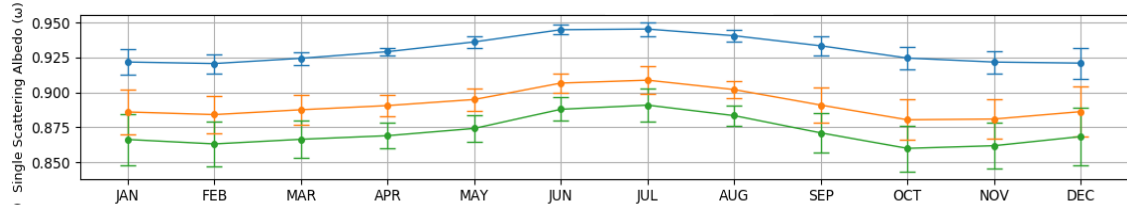
**Σχήμα 3.30** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Έρημο Τακλαμακαν

Η εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης στις χρονοσειρές των μηνιαίων τιμών, αποκαλύπτει μία τάση μείωσης ίση με  $-0.000036$  ( $-0.0039\%$ ) στα  $500\text{nm}$ ,  $-0.00013$  ( $-0.014\%$ ) στα  $388\text{nm}$  και  $-0.00015$  ( $-0.017\%$ ) στα  $354\text{nm}$ . Αυτές οι τάσεις μεταβολής, με κριτήριο την υπολογιζόμενη τιμή επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (P\_value), είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $99\%$ , για τα  $354$  και  $388\text{nm}$  δεδομένου ότι οι τιμές P\_value είναι  $< 0.0001$ . Αντίθετα δεν βρίσκεται στατιστικά σημαντική η τάση μεταβολής στα  $500\text{nm}$  δεδομένου ότι η τιμή του P\_value που υπολογίστηκε είναι  $0.07$ .

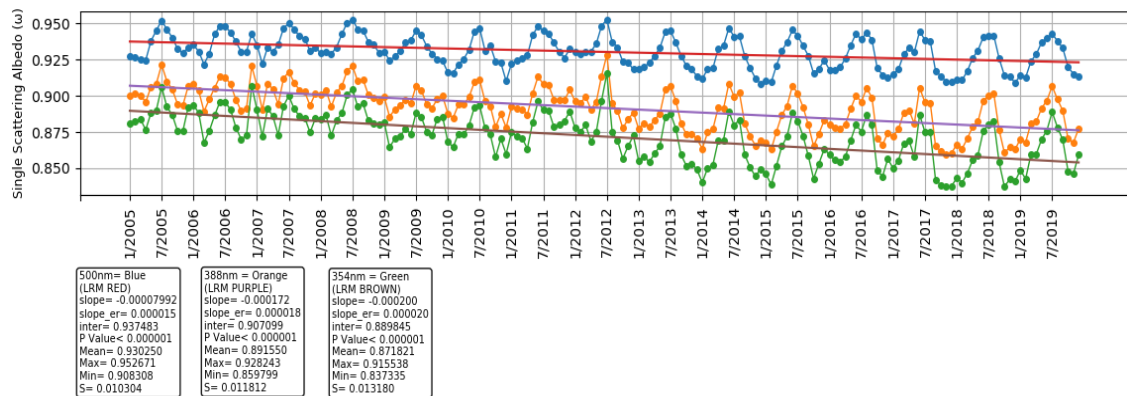
Για την περιοχή της ερήμου Τακλαμακαν η ποσοστιαία γεωγραφική κάλυψη κυψελίδων με διαθέσιμες τιμές (Σχήμα 3.30γ) είναι για το μεγαλύτερο μέρος της χρονοσειράς σε υψηλά ποσοστά, με τιμές που ξεπερνούν το  $60\%$ . Μια εποχική μείωση εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες με τα ποσοστά να πέφτουν κάτω του  $20\%$ ,

κάτι που βρίσκεται σε συμφωνία με το εποχικό ελάχιστο στις εκπομπές αερολυμάτων σκόνης (Νοέμβριο – Ιανουάριο) της περιοχής (Γαντζουζου, et al, 2021).

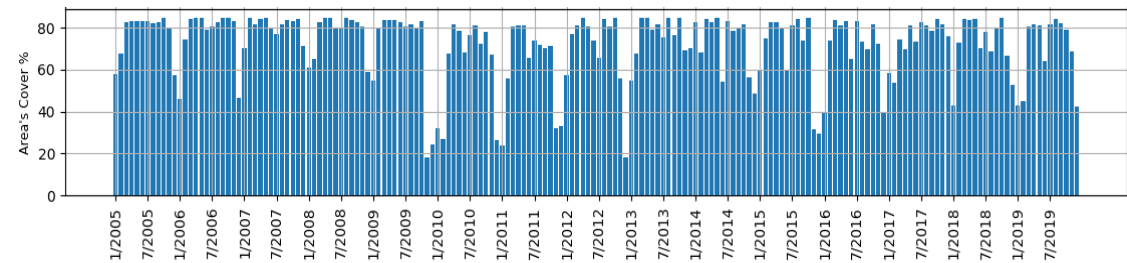
### 3.3.13 Έρημος Γκόμπη



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.31** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Έρημο Γκόμπη

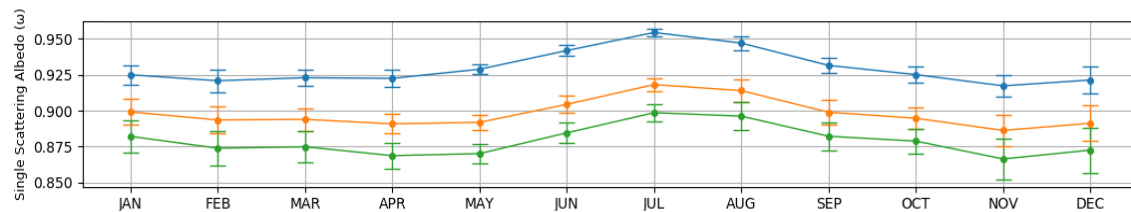
Η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της ερήμου Γκόμπη (Σχήμα 3.31α) παρουσιάζεται μία μικρής κύμανσης καμπύλη με ένα ελάχιστο να παρουσιάζεται κατά το μήνα Οκτώβριο και ένα το Φεβρουάριο. Τα δύο ελάχιστα είναι πιο εμφανή στα 354nm και 388nm και όχι τόσο στα 500nm. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.86/0.88/0.92 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.89/0.91/0.945 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.02/0.025, που αντιστοιχεί στο 3.4%/2.2%/ 2.6% της μέσης ετήσιας τιμής.

Στο Σχήμα 3.31β παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων την έρημο Γκόμπη. Οι τιμές SSA στα 500nm κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.90 έως 0.95, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.05, στα 388nm από 0.85, 0.92 και 0.07, και στα 354nm είναι 0.83, 0.91 και 0.08. Η τάση μεταβολής που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλληνδρόμησης στη χρονοσειρά των μηνιαίων τιμών, αποκαλύπτει μία τάση μείωσης ίση με  $-0.000079$  ( $-0.008\%$ ) στα 500nm,  $-0.00017$  ( $-0.019\%$ ) στα 388nm και  $-0.0002$  ( $-0.022\%$ ) στα 354nm. Οι τάσεις μεταβολής που υπολογίστηκαν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, με τιμές P\_value είναι  $< 0.0001$ .

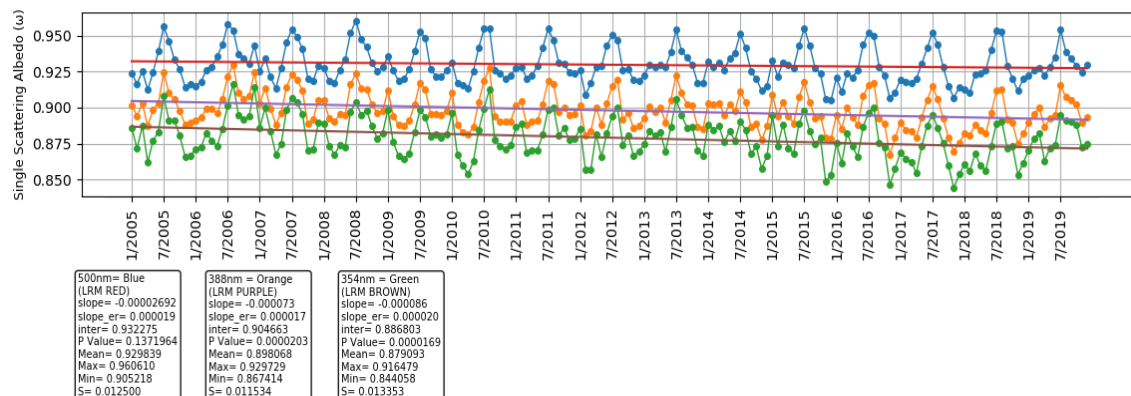
Για την περιοχή της ερήμου Γκόμπη η ποσοστιαία γεωγραφικής (Σχήμα 3.31γ) είναι για το μεγαλύτερο μέρος της χρονοσειράς σε υψηλά ποσοστά, με τιμές που ξεπερνούν το 70%. Μια εποχική μείωση εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες (όπως και στην προηγούμενη έρημο Τακλαμακαν) χωρίς να παρατηρείται βέβαια σταθερή ελάττωση στα ποσοστά.

### 3.3.14 Έρημος Ταρ

Στο Σχήμα 3.32 παρουσιάζεται η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της ερήμου Ταρ. Η ενδοετήσια συχνότητα εμφάνισης των αερολυμάτων πάνω από την περιοχή σχετίζεται με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν (Μουσώνες).

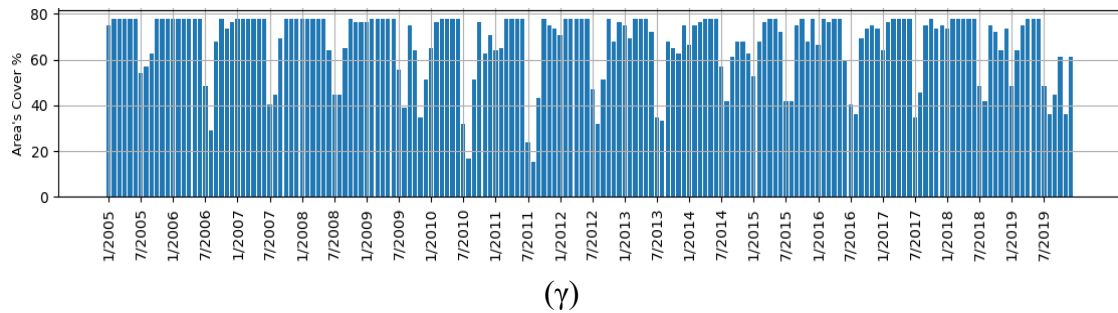


(α)



(β)





**Σχήμα 3.32** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Έρημο Ταρ

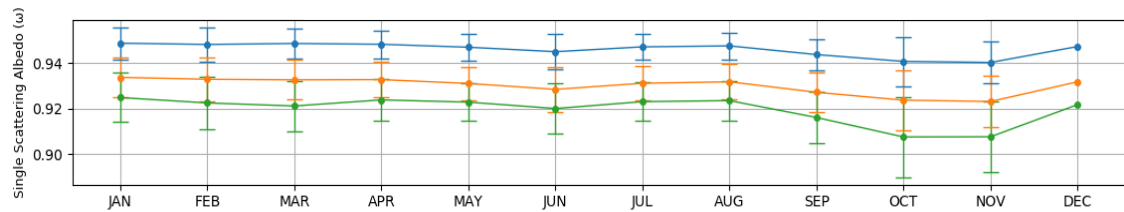
Τα αποτελέσματα έδειξαν μία μικρής κύμανσης καμπύλη με ένα ελάχιστο να παρουσιάζεται κατά το μήνα Απρίλιο και ένα το Νοέμβριο. Υψηλότερες τιμές παρατηρούνται κατά τους θερινούς μήνες όπου η παρουσία αερολυμάτων σκόνης στην ατμόσφαιρα είναι και η ελάχιστη (Υγρή περίοδος). Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.87/0.885/0.925 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.9/0.92/0.955 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.03/0.035/0.03, που αντιστοιχεί στο 3.4%/3.9%/ 3.2%της μέσης ετήσιας τιμής.

Στο Σχήμα 3.32β παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης αερολυμάτων την έρημο Ταρ. Οι τιμές SSA για τη περίοδο μελέτης κυμαίνονται από 0.90 έως 0.96 στα 500nm, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.06, στα 388nm από 0.86, 0.92 και εύρος 0.06, και οι αντίστοιχες στα 354nm είναι 0.84, 0.91 και 0.07. Η τάση μεταβολής που υπολογίστηκε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης στη χρονοσειρά των μηνιαίων τιμών, αποκαλύπτει μία τάση μείωσης και στα τρία μήκη κύματος ίση με -0.000026 (-0.0028%), -0.000073 (-0.008%) και -0.000086 (-0.0098%) στα 500nm, 388nm και 354nm αντίστοιχως. Οι τάσεις μεταβολής που υπολογίστηκαν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, με τιμές P\_value είναι < 0.0001 μόνο για τα 354nm και 388nm. Αντιθέτως η τάση μεταβολής για τα 500nm βρέθηκε με τιμή P\_value ίση με 0.137 που τη καθιστά στατιστικά μη σημαντική.

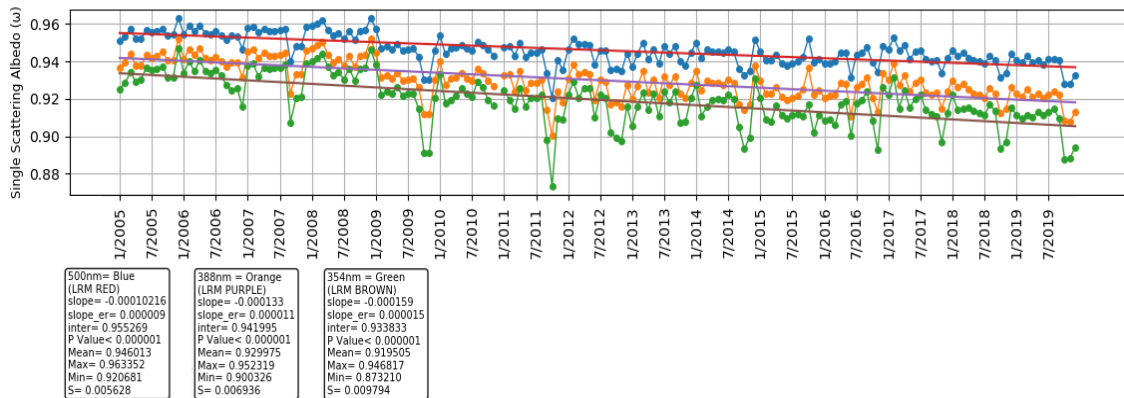
Η ποσοστιαία γεωγραφική κάλυψη (Σχήμα 3.32γ) για την έρημο Ταρ είναι για το μεγαλύτερο μέρος της χρονοσειράς σε υψηλά ποσοστά, με τιμές που φτάνου έως και το 80%. Μια εποχική μείωση εμφανίζεται κατά τους θερινούς μήνες όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στις ισχυρές βροχοπτώσεις (υγρή εναπόθεση) που επικρατούν κατά την περίοδο των Μουσώνων.

### 3.3.15 Ινδονησία-Μαλαισία

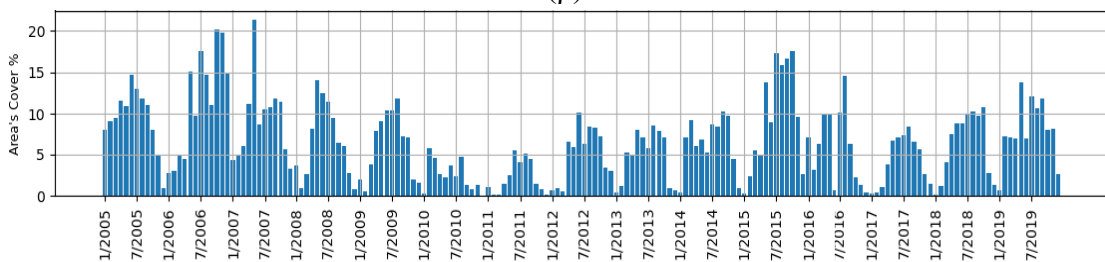
Στο Σχήμα 3.33α παρουσιάζεται η εποχικότητα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για την περιοχή της Ινδονησίας-Μαλαισίας. Η πορεία της δείχνει μία μικρής καμπύλη με τις ελάχιστες τιμές να παρουσιάζονται κατά τους μήνες Σεπτέμβριο-Οκτώβριο-Νοέμβριο. Η εποχική αυτή μείωση οφείλεται στην έντονη παρουσία ανθρακικών αερολυμάτων τους συγκεκριμένους μήνες. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.91/0.92/0.94 (ελάχιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα) και 0.925/0.935/0.945 (μέγιστο στα 354nm/388nm/500nm αντίστοιχα), έχοντας ένα εύρος τιμών 0.015/0.015/0.005, που αντιστοιχεί σε μόλις το 1.6%/1.6%/ 0.5%της μέσης ετήσιας τιμής.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 3.33** Ενδοετήσια μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης μεσοποιημένη για την περίοδο μελέτης (2005 – 2019) (α), η διαχρονική μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης κατά την περίοδο 2005 – 2019 (β) και η διαχρονική μεταβολή της γεωγραφικής κάλυψης της περιοχής από κυψελίδες με διαθέσιμες τιμές SSA (γ) για την Ινδονησία-Μαλαισία

Η διαχρονική πορεία της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τη περιοχή της Ινδονησίας-Μαλαισίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.31β. Οι τιμές SSA στα 500nm



κατά τη διάρκεια της 15-ετούς περιόδου μελέτης κυμαίνονται από 0.92 έως 0.96, έχοντας ένα εύρος ίσο με 0.04. Οι αντίστοιχες τιμές στα 388nm είναι 0.90, 0.95 και 0.05, ενώ αυτές στα 354nm είναι 0.87, 0.94 και 0.07.

Η κλίση των μηνιαίων τιμών που υπολογίστηκε για το διάστημα 2005-2019 είναι για τα 500nm -0.0001 (-0.01%), για τα 388 -0.00013 (-0.013%) και για τα 354 -0.00015 (-0.016%). Η διαχρονική μεταβολή δείχνει και στα τρία μήκη κύματος μία μείωση η οποία βρέθηκε είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, δεδομένου ότι οι τιμές  $P\_value < 0.0001$  και στα τρία μήκη κύματος.

Η εικόνα της περιοχικής κάλυψης (Σχήμα 3.33γ) εμφανίζει μία μικρή ποσοστιαία κάλυψη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα μεγαλύτερα ποσοστά παρατηρούνται κατά τους μήνες του θέρους που φτάνουν μόλις το 20%. Τους υπόλοιπους μήνες τα ποσοστά πέφτουν και κάτω του 5%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Σύνοψη – Συμπεράσματα – Προοπτικές

---

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης των αερολυμάτων και η δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης σε παγκόσμια γεωγραφική κάλυψη. Για την επίτευξη του στόχου χρησιμοποιήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα του OMI (Ozone Monitoring Instrument) το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο στο δορυφόρο Aura της NASA. Έχοντας ως στόχο τη μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στα δεδομένα πάνω από τις χερσαίες περιοχές, όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη χρονική και εποχιακή μεταβλητότητα, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον αλγόριθμο OMAERUV. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης από τα μέσα ημερήσια δεδομένα (OMAERUVd L3) που είναι απαλλαγμένα από παρουσία νεφών με χωρική ανάλυση σε επίπεδο κυψελίδα (πλεγματική μορφή)  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , δηλαδή περίπου 100Km x 100Km. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στα 354, 388 και 500nm.

Στο πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η σύγκριση και αξιολόγηση των δεδομένων. Η εν λόγω σύγκριση πραγματοποιήθηκε ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα του OMI με τα επίγεια δεδομένα του AEROSOL ROBOTIC NETWORK (AERONET) για κοινές ημέρες και σε κοινά μήκη κύματος (440nm(443nm) και 500nm). Πεντακόσιοι σαράντα ένας (541) σταθμοί, οι οποίοι τηρούσαν τα κριτήρια διαθεσιμότητας που εφαρμόστηκαν, συμμετείχαν στη σύγκριση. Η εξαγωγή των τιμών του OMI και AERONET στα 440nm(443nm) και 500nm αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε μέσω του εκθετικού παράγοντα του Ångström. Τέλος τα δεδομένα συγκρίθηκαν συγκεντρωτικά σε παγκόσμια κλίμακα αλλά και μεμονωμένα για κάθε σταθμό χωριστά.

- Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δορυφορικά δεδομένα στη σύγκριση των 440nm(443nm) συμφωνούν με ποσοστά 58% και 81% εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$  αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης για τα 500nm είναι χαμηλότερα των 440nm(443nm) με τα ποσοστά να μειώνονται σε 54% και 77% εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$ . Η εν λόγω μείωση στα αποτελέσματα μπορεί να οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποτελούν προϊόν εξαγωγής σε μακρινό μήκος κύματος από τη περιοχή των μετρήσεων. Στις συγκρίσεις και για τα δύο μήκη κύματος (τόσο συνολικά όσο και στα εποχικά) είναι εμφανής η συστηματική υπερεκτίμηση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης στα δεδομένα του OMI για τις τιμές κάτω του 0.8 (του AERONET) που είναι και η αιτία της εμφάνισης μίας μικρής κλίσης στην ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης αλλά και του μικρού συντελεστή συσχέτισης. Τα ποσοστά που οι τιμές συμφωνούν εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$  για τιμές κάτω του 0.8 υπολογίστηκαν σε 0.0% και 0.5% για τη σύγκριση στα 440nm(443nm) και 0.0% και για τις δύο διαφορές για τα 500nm. Τα ποσοστά που συμφωνούν τα δεδομένα OMI-AERONET εντός των διαφορών  $\pm 0.03$  και  $\pm 0.05$  αυξάνονται και για τις δύο συγκρίσεις (440(443)nm, 500nm) για τις τιμές SSA τόσο

ανάμεσα από 0.8 έως 0.9 όσο και 0.9 έως 1. Τα ποσοστά που υπολογίστηκαν στη σύγκριση στα 440(443)nm είναι 42% ( $\pm 0.03$ ) και 68% ( $\pm 0.05$ ) για τις τιμές ανάμεσα σε 0.8 και 0.9 και ακόμα μεγαλύτερες 70% ( $\pm 0.03$ ) και 91% ( $\pm 0.05$ ) για τις τιμές ανάμεσα σε 0.9 και 1. Τα αντίστοιχα ποσοστά που υπολογίστηκαν για τη σύγκριση στα 500nm είναι 23% ( $\pm 0.03$ ), 48% ( $\pm 0.05$ ) και 67% ( $\pm 0.03$ ), 90% ( $\pm 0.05$ ). Η εποχιακή ανάλυση δεν εμφάνισε καμία διαφοροποίηση (βελτίωση ή χειροτέρευση) τόσο από τη ανάλυση που πραγματοποιήθηκε συγκεντρωτικά στα δεδομένα όσο και μεταξύ τους παρά μια μικρή βελτίωση που παρατηρείται για τα αποτελέσματα του καλοκαιριού.

- Η σύγκριση που πραγματοποιήθηκε για κάθε μεμονωμένο Σταθμό χωριστά έδειξε μία θετική συσχέτιση για το μεγαλύτερο αριθμό των σταθμών. Αρνητική συσχέτιση εμφάνισαν συστηματικά σταθμοί, και για τα δύο μήκη κύματος, που βρίσκονται στην Βόρεια Αμερική. Οι Σταθμοί αυτοί διαθέτουν χαμηλό πλήθος τιμών αφού εξαφανίζονται όταν εφαρμόζονται πιο αυστηρά κριτήρια. Τα αποτελέσματα για την απόκλιση, ειδικότερα στην εποχιακή ανάλυση, έδειξαν ότι τα δεδομένα του OMI τείνουν να υπερεκτιμούν τη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης για αερολύματα καύσης βιομάζας και σκόνης. Αντιθέτως τα δεδομένα του OMI τείνουν να υποεκτιμούν την τιμή για αερολύματα που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες σε αστικές περιοχές.

Στο δεύτερο μέρος αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκε η κλιματολογική ανάλυση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης σε παγκόσμια κλίμακα και στα τρία διαθέσιμα μήκη κύματος (354nm, 388nm και 500nm) του OMI. Σε πρώτη φάση τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν τόσο μεσοποιημένα σε μηνιαία και ετήσια βάση όσο και σε εποχική δίνοντας έμφαση στη γεωγραφική κάλυψη αλλά και την πιθανή εξήγηση των τιμών που παρουσιάζονται. Σε δεύτερη φάση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απόλυτου και της σχετικής μεταβολής της δεκαπενταετούς (15) περιόδου μελέτης που υπολογίστηκαν από την εφαρμογή του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης. Η μέθοδος παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3 ενότητα 3.2.3. Λόγω της διαφορετικής γεωγραφικής κάλυψης ανά εποχή, για την αποφυγή πιθανών μεροληπτικών τιμών, στην ενότητα 3.2.4 παρουσιάσαμε την απόλυτη και σχετική μεταβολή υπολογισμένη από τα δεδομένα σε εποχιακή βάση.

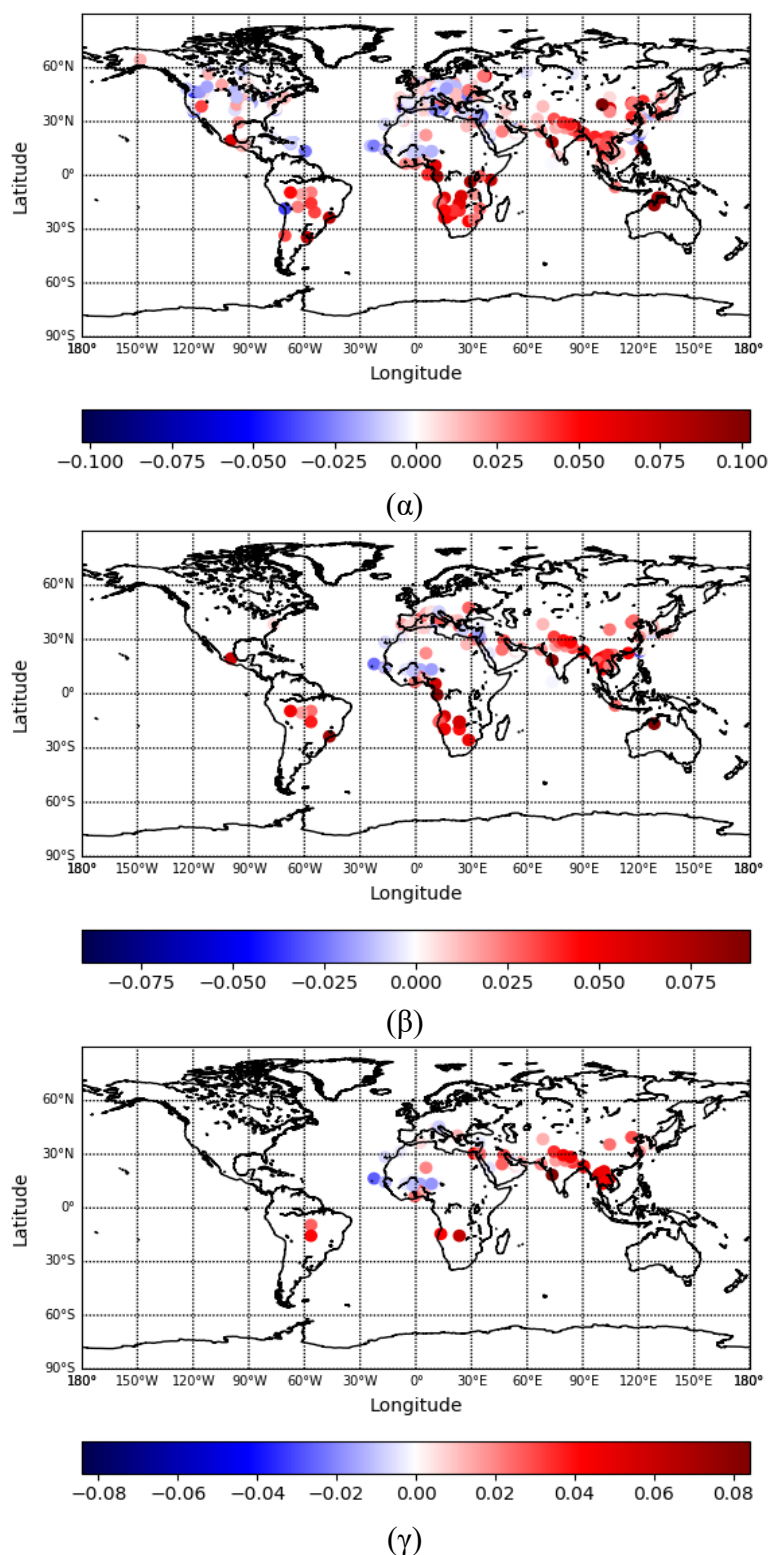
- Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μικρότερες τιμές της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης εμφανίζονται στις περιοχές με συχνή εμφάνιση αερολυμάτων καύσης βιομάζας με τις τιμές να κυμαίνονται από 0.85/0.88/0.89 για τα 354nm, 388nm και 500nm αντίστοιχα. Η εποχιακή ανάλυση για τις περιοχές αυτές έδειξε ότι τα τοπικά ελάχιστα συμφωνούν (χρονικά) πλήρως με την εκδήλωση των εποχικών πυρκαγιών. Μικρές τιμές παρατηρούνται επίσης για της ερημικές περιοχές με τις τιμές να κυμαίνονται περί τα 0.85/0.87/0.94 για τα 354/388 και 500nm αντίστοιχα. Μία μικρής κύμανσης καμπύλη δείχνει να εμφανίζει η εποχική κύμανση των ερημικών περιοχών με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται κατά το χειμώνα και τις μεγαλύτερες το καλοκαίρι. Οι αστικές/βιομηχανικές περιοχές (ΗΠΑ, Ευρώπη, Κίνα) είναι αυτές που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές στη λευκαύγεια μεμονωμένης σκέδασης (λόγο των

αερολυμάτων θεικών ενώσεων που είναι ανακλαστικά) με τις τιμές να κυμαίνονται περί τα 0.91/0.93/0.94 για τα τρία μήκη κύματος αντιστοίχως. Η εποχική ανάλυση των αστικών/βιομηχανικών περιοχών εμφανίζει παρόμοια κύμανση με αυτή των ερημικών περιοχών με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται κατά το χειμώνα και τις μεγαλύτερες κατά το καλοκαίρι.

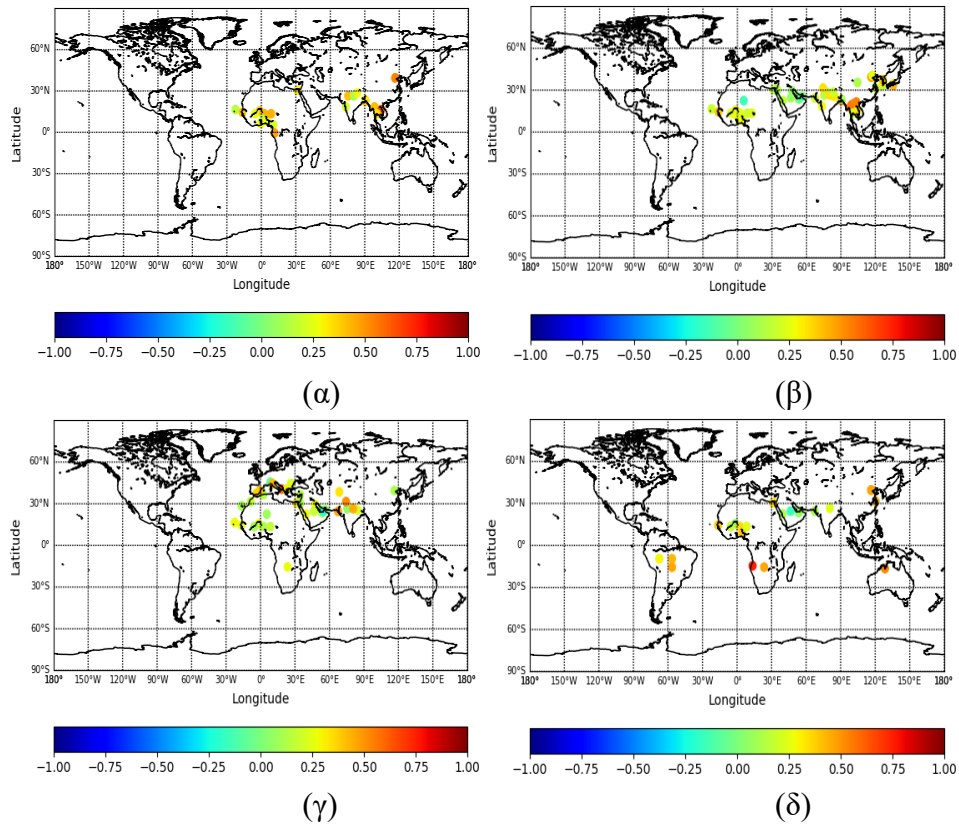
- Η γενικότερη εικόνα των αποτελεσμάτων του γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης δείχνει να παρουσιάζεται μείωση της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης με το χρόνο για όλες τις περιοχές που τηρούσαν τα κριτήρια υπολογισμού. Η μεγαλύτερη μείωση φαίνεται να επικρατεί στη Βόρεια Αφρική (Σαχάρα) στη κεντρική Ασία (Τακλαμακάν), Αραβική Χερσόνησο και στη Ανατολική Αυστραλία με τιμές από -0.0425 έως -0.0275 (κάποια σημεία και λίγο μικρότερα στη κεντρική Ασία (Τακλαμακάν) ) και -0.034 έως -0.022 για τα 354nm και 388nm αντίστοιχα. Οι τιμές της σχετικής μεταβολής που υπολογίστηκαν για τις προαναφερθείσες περιοχές υπολογίστηκαν να κυμαίνονται από -4.6% έως -3% για τα 354nm και από -3.6% έως -2.4% για τα 388nm. Υψηλότερες τιμές (μικρότερη μείωση) υπολογίζονται για τις υπόλοιπες περιοχές με τιμές να κυμαίνονται για την απόλυτη μεταβολή της δεκαπενταετούς (15) περιόδου από -0.0275 έως -0.005 για τα 354nm και από -0.024 έως -0.004 για τα 388nm. Οι αντίστοιχες τιμές της σχετικής μεταβολής κυμαίνονται περί τα -2.0% (και λίγο μικρότερα για τα 354nm) έως -1.2% και για τα δύο μήκη κύματος με μεμονωμένα σημεία να παρατηρούνται ποσοστά μείωσης που να ανέρχονται σε μόλις -0.5% για τα 354nm και -0.6% για τα 388nm. Τα αποτελέσματα του γραμμικού μοντέλου υπολογισμένα σε εποχιακή βάση εμφάνισαν και αυτά μία αρνητική τάση για σχεδόν ολόκληρο το πλανήτη χωρίς να εμφανίζουν σημαντικές τόσο μεταξύ τους διαφορές όσο και από τη γενικότερη εικόνα.

Τέλος, σε μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της παγκόσμιας κλίμακας μέσης κλιματολογικής βάσης που δημιουργήθηκε σε ένα μοντέλο υπολογισμού ισοζυγίου ενέργειας γης-ατμόσφαιρας με σκοπό την εκτίμηση της συνεισφοράς των αερολυμάτων στην θέρμανση/ψύξης της ατμόσφαιρας.

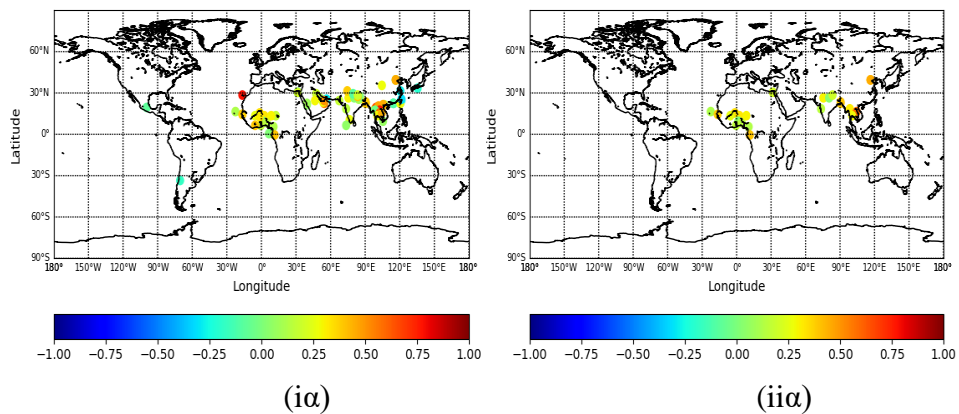
## Παράρτημα

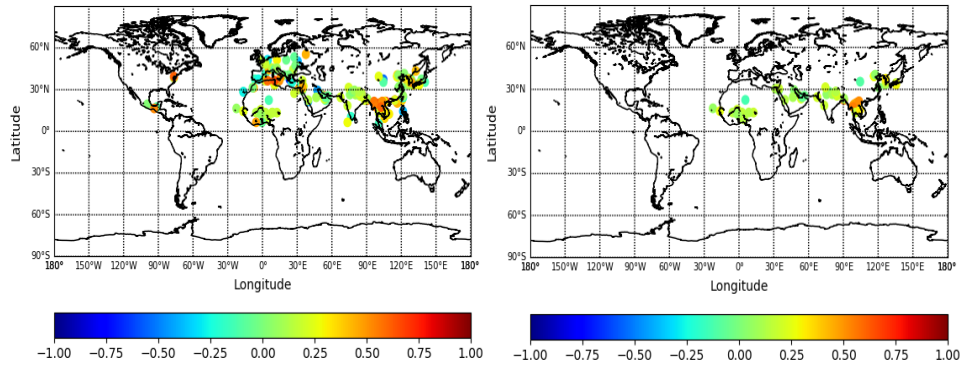


**Σχήμα Π1** Απόκλιση (Bias) μεταξύ των τιμών SSA στα 500nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10 (α), 50 (β) και 100 (γ) κοινά ζεύγη τιμών.



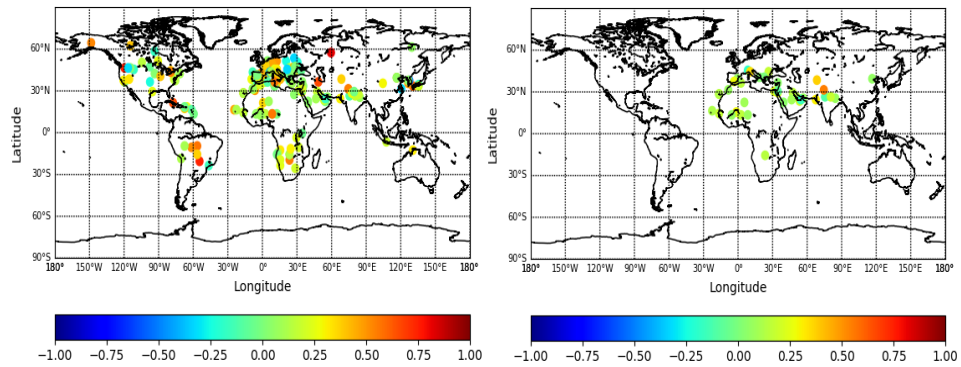
**Σχήμα Π2** Συντελεστές συσχέτισης ( $R$ ) μεταξύ των τιμών SSA στα 440(443)nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 50 κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).





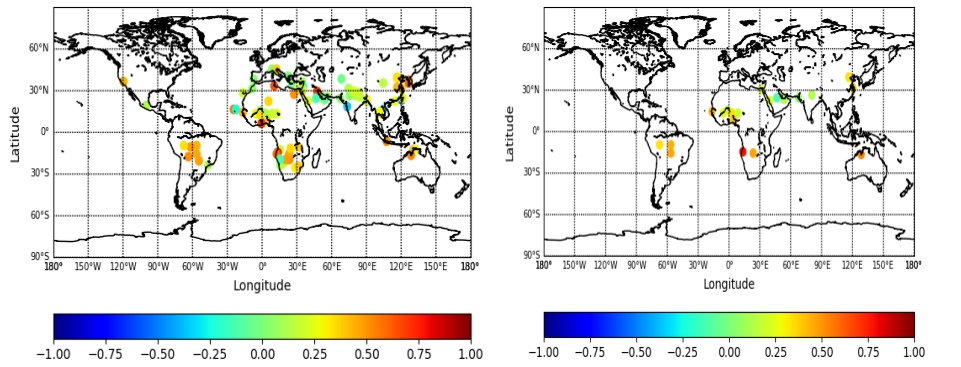
(iβ)

(iiβ)



(iγ)

(iiγ)

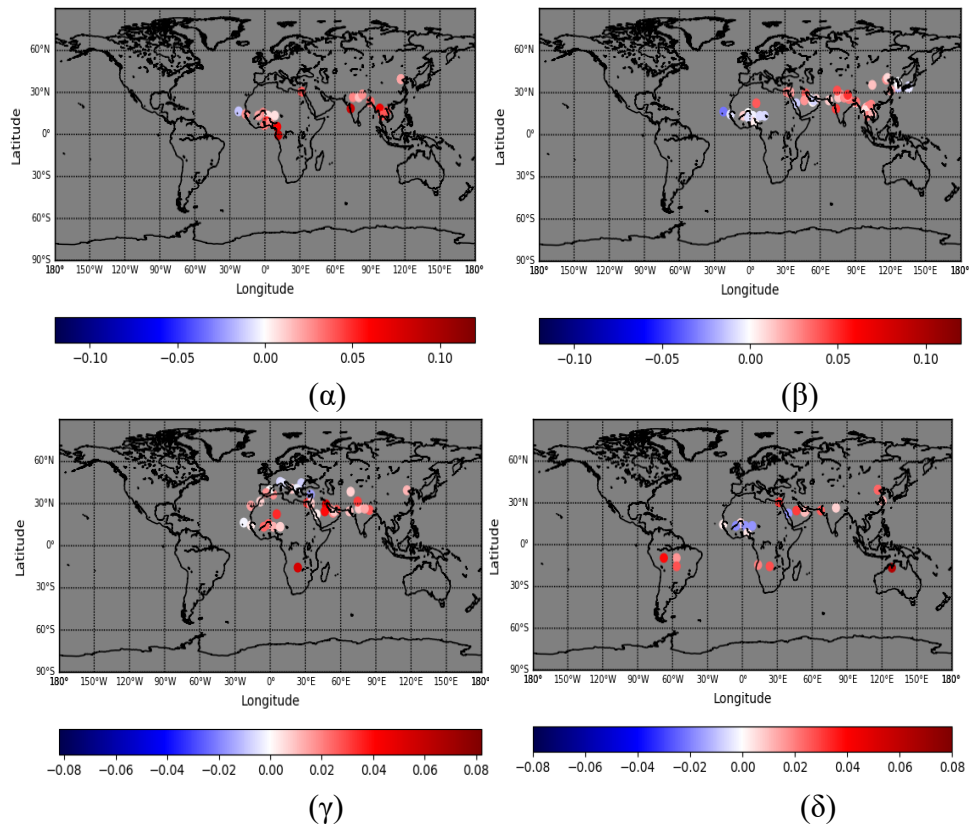


(iδ)

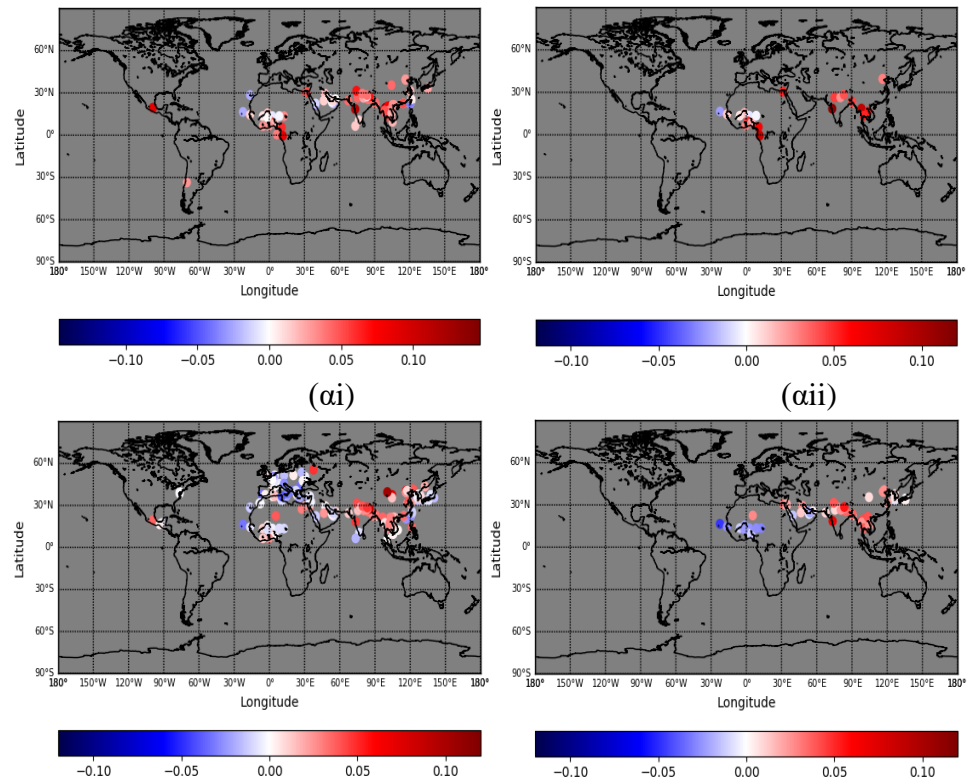
(iiδ)

**Σχήμα Π3** Συντελεστές συσχέτισης ( $R$ ) μεταξύ των τιμών SSA στα 500nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10(i), 50(ii) κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).

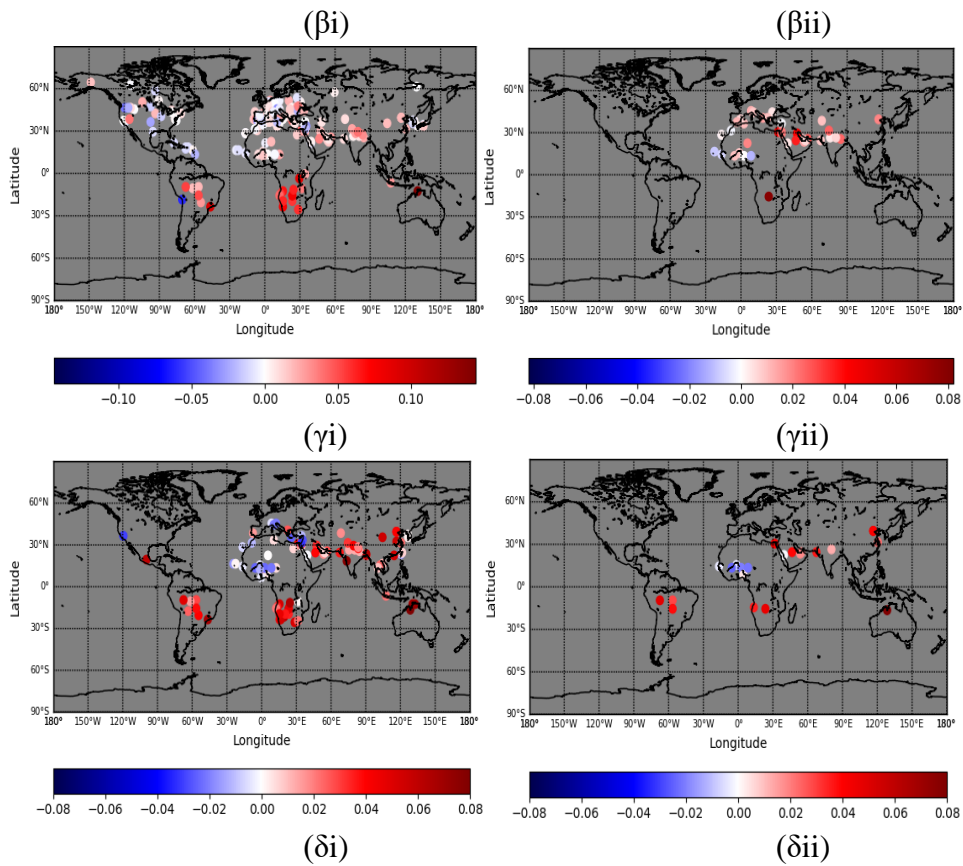




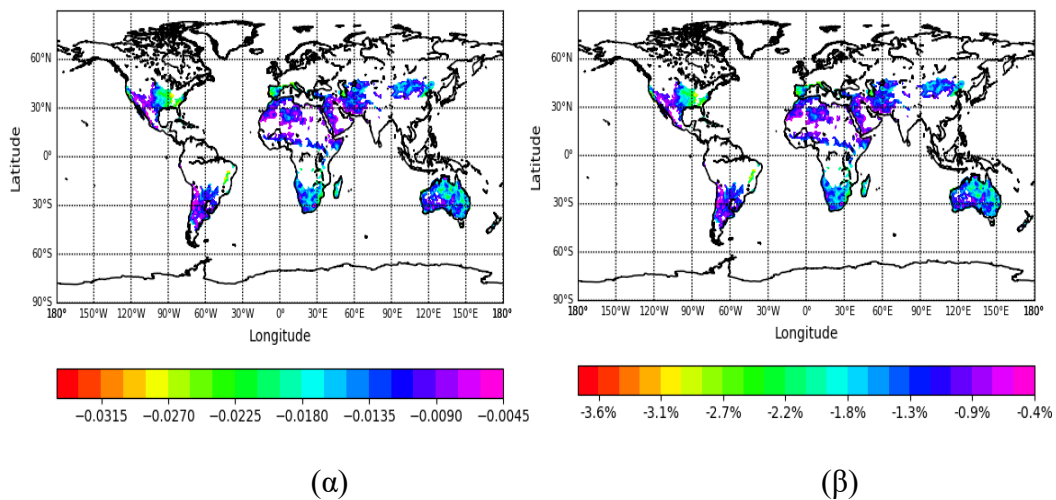
**Σχήμα Π4** Bias μεταξύ των τιμών SSA στα 440/443nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 50 κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).



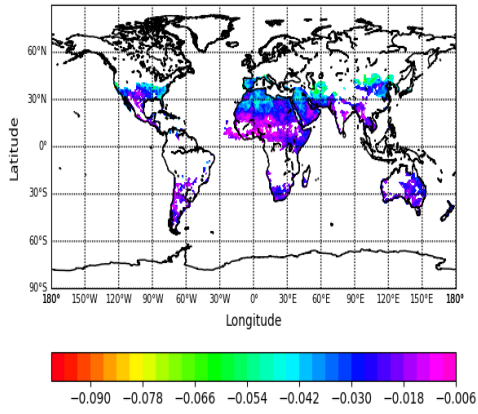




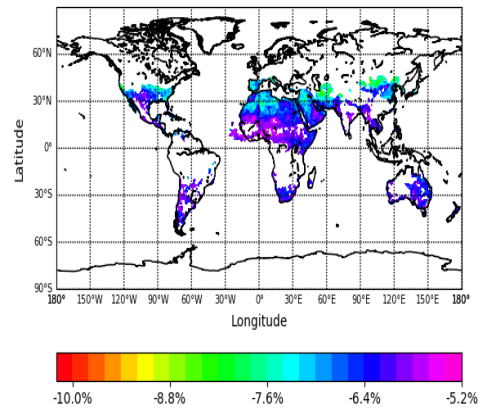
**Σχήμα Π5** Bias μεταξύ των τιμών SSA στα 500nm των δεδομένων OMI και των αντίστοιχων δεδομένων AERONET σε επίπεδο Σταθμού, για Σταθμούς που διαθέτουν περισσότερα από 10(i), 50(ii) κοινά ζεύγη τιμών. Τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για το χειμώνα (α), την άνοιξη (β), το θέρος (γ) και το φθινόπωρο (δ).



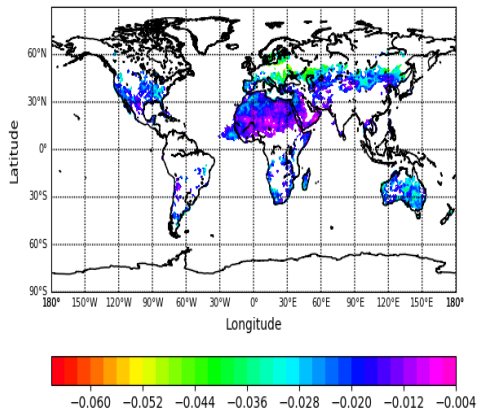
**Σχήμα Π6** Γεωγραφική κατανομή της απόλυτης (α) και σχετικής (β) μεταβολή της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τα 500nm για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019



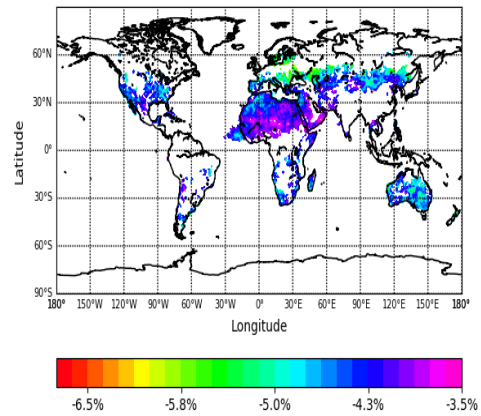
( $\alpha$ i)



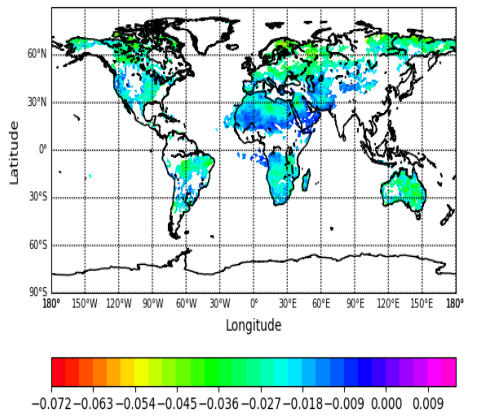
( $\alpha$ ii)



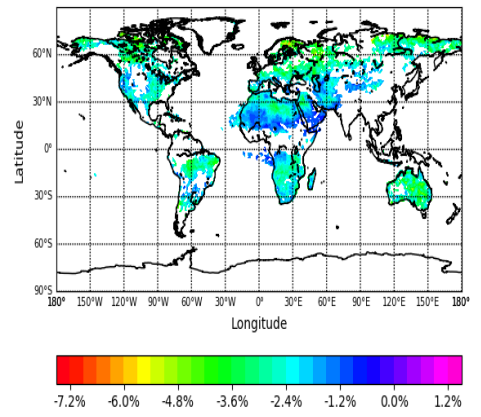
( $\beta$ i)



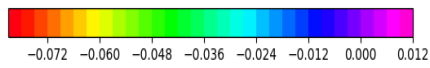
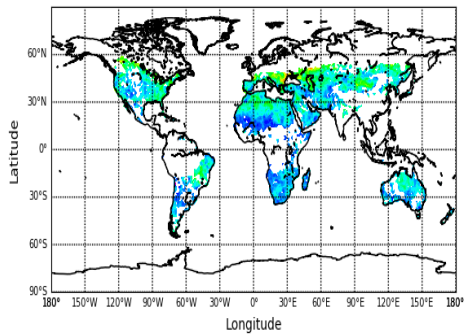
( $\beta$ ii)



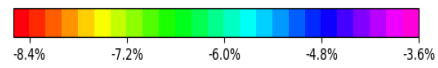
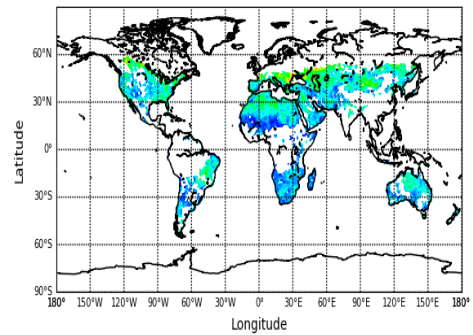
( $\gamma$ i)



( $\gamma$ ii)

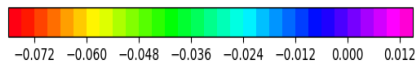
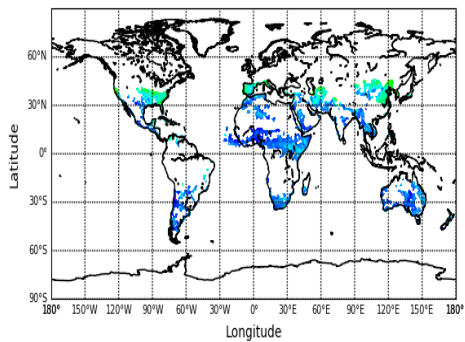


(δi)

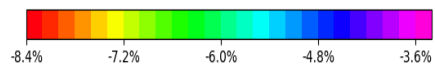
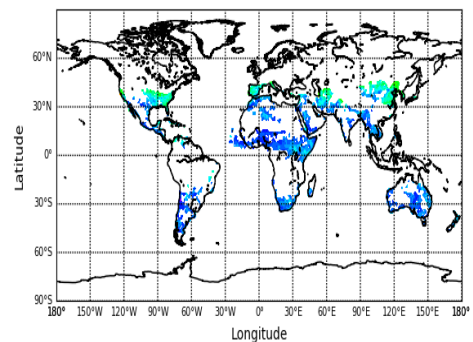


(δii)

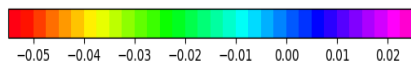
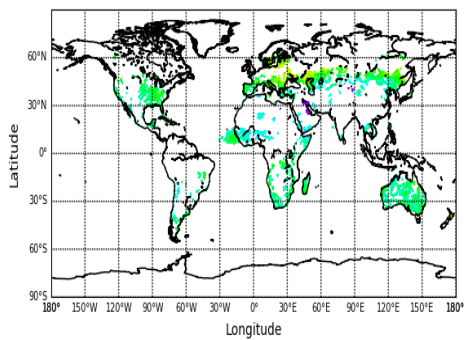
**Σχήμα Π7** Γεωγραφική κατανομή της δεκαπενταετής τάσης (Απόλυτης μεταβολής)(i) και σχετικής μεταβολής (ii) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τα 388nm σε εποχιακή βάση για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019 για χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ) και Φθινόπωρο (δ).



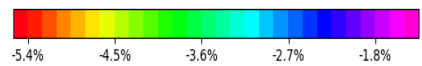
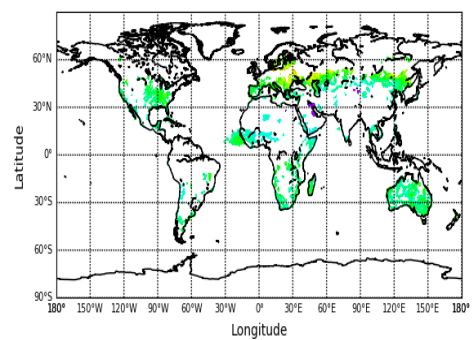
(αi)



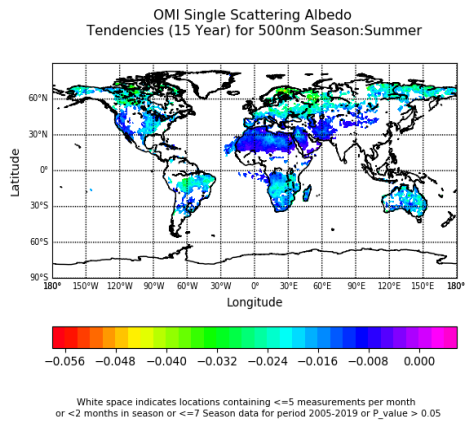
(αii)



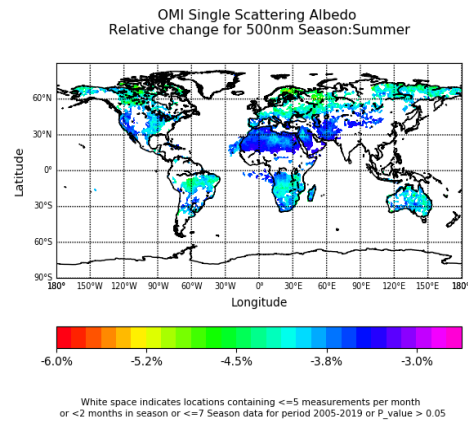
(βi)



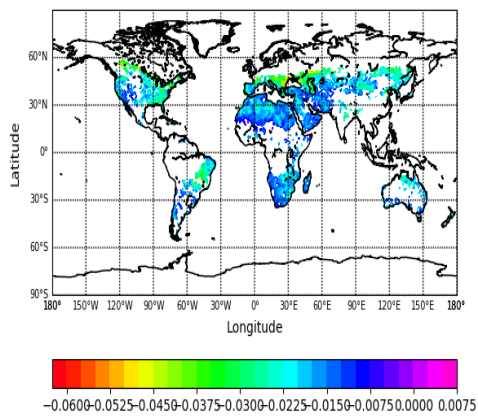
(βii)



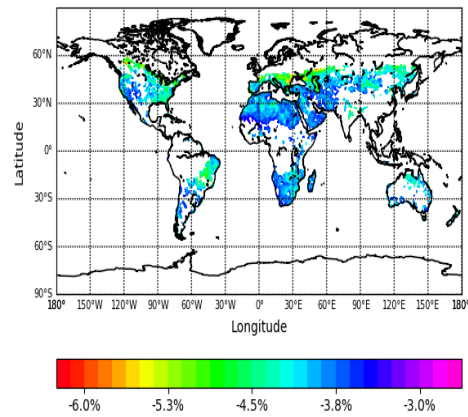
(γi)



(γii)

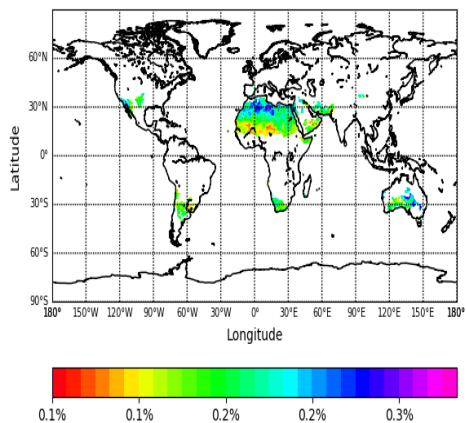


(δi)

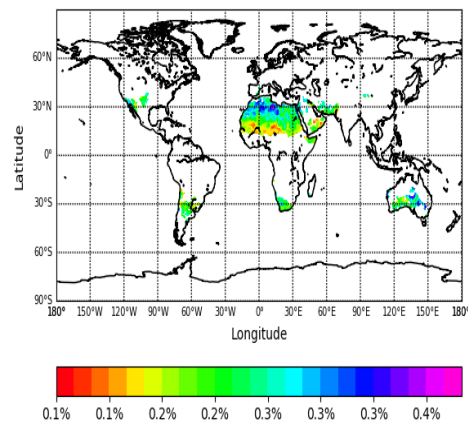


(δii)

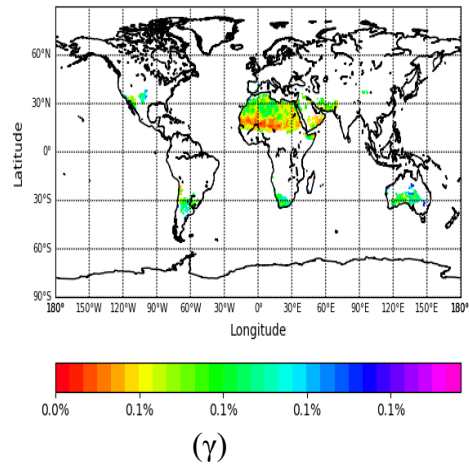
**Σχήμα Π8** Γεωγραφική κατανομή της δεκαπενταετής τάσης (Απόλυτης μεταβολής)(i) και σχετικής μεταβολής (ii) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τα 500nm σε εποχιακή βάση για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019 για χειμώνα (α), Άνοιξη (β), Καλοκαίρι (γ) και Φθινόπωρο (δ).



(α)



(β)



**Σχήμα Π9** Γεωγραφική κατανομή των συντελεστών μεταβλητότητας (coefficients of variation) της λευκαύγειας μεμονωμένης σκέδασης για τα 354nm ( $\alpha$ ), 388nm ( $\beta$ ) και 500nm ( $\gamma$ ) για την 15-ετή περίοδο μελέτης 2005-2019.



## **Βιβλιογραφία**

Adeyewa Z. D. & Balogun E. E. Wavelength dependence of aerosol optical depth and the fit of the Ångström law *Theor. Appl. Climatol.* 74, 105–122, doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0707-3>, 2003,

Alpert P., Ziv B., 1989, The Sharav Cyclone: Observations and some theoretical considerations, doi: <https://doi.org/10.1029/JD094iD15p18495>, 1989

Andreae M.O., Gelencsér A., Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-6-3131-2006>, 2006

Badarinath, K.V.S.; Kharol, S.K.; Sharma, A.R.; Ramaswamy, V.; Kaskaoutis, D.G.; Kambezidis, H.D, Investigations of an intense aerosol loading during 2007 cyclone SIDR - A study using satellite data and ground measurements over Indian region doi: <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/3486>, 2007

Badarinath, K. V. S., Kharol S. K., Madhavi Latha K., Kiran Chand T. R., Krishna Prasad V., Nirmala Jyothsna A., Samatha K., Multiyear ground-based and satellite observations of aerosol properties over a tropical urban area in India, *Atmos. Sci. Lett.*, 8, 7 – 13, doi: <http://10.1002/asl.143>. 2007

Badarinath, K. V. S., Kharol S. K., Kaskaoutis D. G., and Kambezidis H. D., Dust storm over Indian region and its impact on the ground reaching solar radiation—A case study using multi-satellite data and ground measurements, *Sci. Total Environ.*, 384, 316 – 332, doi:10.1016/j.scitotenv.2007.05.031. 2007

Bergamo A., Tafuro A. M., Kinne S., De Tomasi F., and Perrone M. R., Monthly-averaged anthropogenic aerosol direct radiative forcing over the Mediterranean based on AERONET aerosol properties, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-8-6995-2008>, 2008

Bougiatioti A., Bezantakos S, Stavroulas I, Kalivitis N, Kokkalis P, Biskos G, Mihalopoulos N, Papayannis A., and Nenes A: Biomass-burning impact on CCN number, hygroscopicity and cloud formation during summertime in the eastern Mediterranean, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 7389–7409, 2016 [www.atmoschem-phys.net/16/7389/2016/](http://www.atmoschem-phys.net/16/7389/2016/) doi: doi:10.5194/acp-16-7389-2016, 2016

Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M. Kerminen, Y. Kondo, H. Liao, U. Lohmann, P. Rasch, S.K. Satheesh, S. Sherwood, B. Stevens and X.Y. Zhang, 2013: Clouds and Aerosols. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013

Cachorro, V. E.; Vergaz, R.; de Frutos, A. M. 2001, A quantitative comparison of  $\alpha$ -Å

turbidity parameter retrieved in different spectral ranges based on spectroradiometer solar radiation measurements, *Atmospheric Environment*, Volume 35, Issue 30, p. 5117-5124., DOI: [https://10.1016/S1352-2310\(01\)00321-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00321-1), Bibcode: 2001AtmEn..35.5117C, 2001

Chandrasekhar S, Radiative transfer. By S. Chandrasekhar. London (Oxford University Press) 1950. 8vo. Pp. 393, 35 figures. 35s, doi: <https://doi.org/10.1002/qj.49707633016>, 1950

Charlson, R., Lovelock, J., Andreae, M. et al. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature* 326, 655–661 <https://doi.org/10.1038/326655a0>, 1987

Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N, King M.D., Y. J. Kaufman, T. F. Eck, I. Slutsker, Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements, doi: <https://doi.org/10.1029/2000JD900040>, 2000

Eck, T. F., et al., A seasonal trend of single scattering albedo in southern African biomass-burning particles: Implications for satellite products and estimates of emissions for the world's largest biomass-burning source, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 6414–6432, doi:10.1002/jgrd.50500. Estellés, V., M. Cam. 2013

Emmanouil Flaounas, Vassiliki Kotroni, Konstantinos Lagouvardos, Stelios Kazadzis, Antonis Gkikas, Nikolaos Hatzianastassiou, Cyclone contribution to dust transport over the Mediterranean region, doi: <https://doi.org/10.1002/asl.584>, 2015

Ernie R. Lewis, Stephen E. Schwartz, Sea Salt Aerosol Production: Mechanisms, Methods, measurements and Models, doi: 10.1029/GM152, 2004

Gazala Habiba, Chandra Venkataramana, Isabelle Chiapello, S. Ramachandran, Olivier Boucher, M. Shekar Reddy, 2005, Seasonal and interannual variability in absorbing aerosols over India derived from TOMS: Relationship to regional meteorology and emissions, *Atmospheric Environment* Volume 40, Issue 11, April 2006, Pages 1909-1921 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.07.077, 2006

Gkikas, A., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., Katsoulis, V., Kazadzis, S., Pey, J., Querol, X., and Torres, O.: The regime of intense desert dust episodes in the Mediterranean based on contemporary satellite observations and ground measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 12135-12154, <https://doi.org/10.5194/acp13-12135-2013>

Guillaume A. d'Almeida, Peter Koepke, and Eric P. Shettle Atmospheric aerosols : global climatology and radiative characteristics, 1991

Hatzianastassiou, N., Matsoukas, C., Drakakis, E., Stackhouse, P. W., Koepke, P., Fotiadi, A., Pavlakis, K. G., and Vardavas, I.: The direct effect of aerosols on solar radiation based on satellite observations, reanalysis datasets, and spectral aerosol



optical properties from Global Aerosol DataSet (GADS), *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2585–2599, 2007b, <http://www.atmos-chemphys.net/7/2585/2007/>.

Hatzianastassiou N., Gkikas A., Mihalopoulos N., Torres O., Katsoulis B. D., Natural versus anthropogenic aerosols in the eastern Mediterranean basin derived from multiyear TOMS and MODIS satellite data, *J. Geophys. Res.*, Volume 114, Issue D24, doi: <https://doi.org/10.1029/2009JD011982>, 2009

Harris, S.J., Maricq, M.M., Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particulate matter. *Journal of Aerosol Science* 32, 749–764, DOI: 10.1016/S0021-8502(00)00111-7, 2001

Harrison, R. M. and I. M. Msibi (1994). "Validation of techniques for fast response measurement of HNO<sub>3</sub> and NH<sub>3</sub> and determination of the [NH<sub>3</sub>][HNO<sub>3</sub>] concentration product." *Atmos Environ* 28: 247-255.

Hiren Jethva, Omar Torres, Changwoo Ahn, Global assessment of OMI aerosol single-scattering albedo using ground-based AERONET inversion, doi: <https://doi.org/10.1002/2014JD021672>, 2014

Holben B. N., Eck T. F., Slutsker I., Tan D., Buis S J. P., Setter A., Vermote E., Reagan J. A., Kaufman Y. J., Nakajima T., Lavenue F., Jnnkowiak I. and Smirnov A., AERONET-A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization 1988,

Israelevich P. L., Levin Z., Joseph J. H., Ganor E., Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index, *J. Geophys. Res.*, Volume 107, Issue D21, doi: <https://doi.org/10.1029/2001JD002011>, 2002

Jaenicke, R., Aerosol physics and chemistry, in Landolt-Bornstein (edited by S. Bakan et al.), 4b, 391–456, Berlin: Springer, 1988

Karnieli, A., Derimian, Y., Indoitu, R., Panov, N., Levy, R. C., Remer, L. A., Maenhaut, W., and Holben, B. N., Temporal trend in anthropogenic sulfur aerosol transport from central and eastern Europe to Israel, *J. Geophys. Res.*, 114, D00D19, doi: [10.1029/2009JD011870](https://doi.org/10.1029/2009JD011870), 2009

Kirchstetter, T. W., T. Novakov, and P. V. Hobbs, Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon, *J. Geophys. Res.*, 109, D21208, doi: [10.1029/2004JD004999](https://doi.org/10.1029/2004JD004999). 2004

Koehler K. A., Kreidenweis S. M., DeMott P. J., Petters M. D., Prenni A. J., Carrico C. M., Hygroscopicity and cloud droplet activation of mineral dust aerosol, *Geophysical Research Letters*, Volume 36, Issue 8, doi: <https://doi.org/10.1029/2009GL037348>, 2009

Kokhanovsky A.: *Aerosol Optics: Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere*, Springer, Germany, 2008.

Kubilay, Nilgün & Nickovic, Slobodan & Moulin, Cyril & Dulac, François. An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*. 34. 1293-1303, (doi: 10.1016/S1352-2310(99)00179-X), 2000.

Levy R. C., Remer L. A., Kleidman R. G., Mattoo S., Ichoku C., Kahn R., and Eck T. F., 2010, Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10399–10420, 2010, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-10-10399-2010>, 2010

Liu, T. S. (1985), *Loess and the Environment*, 251 pp., China Ocean, Beijing.  
Lohmann U., J. Feichter; Global indirect aerosol effects: a review; *Atmospheric Chemistry and Physics* 5, p. 715-737, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-5-715-2005>, 2005.

Lohmann, U. and Feichter, J.: Global indirect aerosol effects: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 5, pp 715-737, doi: <https://doi.org/10.5194/acp-5-715-2005>, 2005.

Louis Giglio, Ivan Csizsar, and Christopher O. Justice , Global distribution and seasonality of active fires as observed with the Terra and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors, *J. Geophys. Res.*, doi: <https://doi.org/10.1029/2005JG000142>, 2006

Marmer, E., Langmann, B., Fagerli, H., and Vestreng, V.: Direct shortwave radiative forcing of sulphate aerosol over Europe from 1900 to 2000, *J. Geophys. Res.*, 112, D23S17, doi:10.1029/2006JD008037, 2007

Moulin, C. , Lambert, C. E. , Dulac, F. & Dayan, U.: Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. *Nature*, vol. 387, pp 691-694. *Nature*. 387. (doi: 691-694. 10.1038/42679), 1997.

Pace, G., di Sarra, A., Meloni, D., Piacentino, S., and Chamard, P.: Aerosol optical properties at Lampedusa (Central Mediterranean). 1. Influence of transport and identification of different aerosol types, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 697–713, doi:10.5194/acp-6-697-2006, 2006.

Pathak, R. K., W. S. Wu, et al. (2009). "Summertime PM<sub>2.5</sub> ionic species in four major cities of China: nitrate formation in an ammonia-deficient atmosphere." *Atmos. Chem. Phys.* 9: 1711-1722.

Prospero, Joseph & Ginoux, Paul & Torres, Omar & Nicholson, Sharon & Gill, Thomas. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust 115 identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*. 40, doi: <https://doi.org/10.1029/2000RG000095>, 2002.

Prospero, J. M. and Mayol-Bracero, O. M.: Understanding the Transport and Impact of African Dust on the Caribbean Basin, *Bull. American Meteorol. Soc.*, ( doi:10.1175/BAMS-D-12-00142.1), 2013.

Ramachandran S., *Atmospheric Aerosols Characteristics and Radiative Effects* by Taylor & Francis Group, LLC, 2018

Russell, P. B., R. W. Bergstrom, Y. Shinozuka, A. D. Clarke, P. F. DeCarlo, J. L. Jimenez, M. Livingston, J. Redemann, O. Dubovik, and A. Strawa, Absorption Angstrom Exponent in AERONET and related data as an indicator of aerosol composition, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 1155–1169, doi:10.5194/acp-10-1155-2010, 2010

Seinfeld, J. H. And Pandis, S. N.: *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, J. Wiley, New York, 2012.

Shailesh Kumar Kharol, K. V. S. Badarinath, Impact of biomass burning on aerosol properties over tropical urban region of Hyderabad, India, *Geophysical Research Letters*, Volume33, Issue20, doi: <https://doi.org/10.1029/2006GL026759>, 2006

Shuaiyi Shia, Tianhai Chenga, Xingfa Gua, Hong Guoa, Yu Wua, Ying Wanga, Biomass burning aerosol characteristics for different vegetation types in different aging periods, *Environment International* Volume 126, Pages 504-5112019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.073>, 2019

Streets D. G., Bond T. C., Carmichael G. R., Fernandes S. D., Fu Q., He D., Klimont Z., Nelson S. M., Tsai N. Y., Wang M. Q., Woo J.-H., Yarber K. F., An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8809, doi: <https://doi.org/10.1029/2002JD003093>, 2003

Sun, J., Zhang M., and Liu T., Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960–1999: Relations to source area and climate, *J. Geophys. Res.*, 106(D10), 10,325–10,333, doi: <https://doi.org/10.1029/2000JD900665>, 2001

Tafuro, A. M., De Tomasi, F., and Perrone, M. R.: Remote Sensing of Aerosols by Sunphotometers and Lidar Techniques, Chapter 14, in: *Advanced Environmental Monitoring*, edited by: Kim, Y. J. and Platt, U., ISBN 978-1-4020-6363-3, XXII, Springer, 179–189, 2008.

Tegen, I., Werner, M., Harrison, S.P., Kohfeld, K.E. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophys. Res. Lett.* 31 (5), L05105. (doi:10.1029/2003GL019216), 2004.

Turpin J. Barbara, Pradeep Saxena, Elisabeth Andrews, Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects, *Atmospheric Environment* 34(18):2983-3013, doi: 10.1016/S1352-2310(99)00501-4, 200

Venzac, H., Sellegri, K., Villani, P., Picard, D., and Laj, P.: Seasonal variation of aerosol size distributions in the free troposphere and residual layer at the puy de Dome station, France, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1465–1478, doi:10.5194/acp-9-1465-2009, 2009.

Wang, X., J. Huang, M. Ji, and K. Higuchi, Variability of East Asia dust events and

their long-term trend, Atmos. Environ., 42(13),3156–3165. 2008

Warneck, P. (1988), Chemistry of the natural atmosphere, Int. Geophys. Ser.,41, 757 pp.

Washington, R., and M. C. Todd. Atmospheric controls on mineral dust emission from the Bode'le' Depression, Chad: The role of the low level jet, Geophys. Res. Lett., 32, L17701, (doi:10.1029/2005GL023597), 2005.

Whitby, K. T., and Cantrell, B., Fine particles, Proc. Int. Confe. Environmental Sensing and Assessment, Las Vegas, NV, Institute of Electrical and Electronic Engineers. 1976

William F. Cooke, Julian J. N. Wilson, A global black carbon aerosol model, Volume101, IssueD14 27 August 1996, Pages 19395-19409, doi: https://doi.org/10.1029/96JD00671, 1996

Xiao, R., Takegawa, N., Zheng, M., Kondo, Y., Miyazaki, Y., Miyakawa, T., Hu, M., Shao, M., Zeng, L., Gong, Y., Lu, K., Deng, Z., Zhao, Y., and Zhang, Y. H.: Characterization and source apportionment of submicron aerosol with aerosol mass spectrometer during the PRIDE-PRD 2006 campaign, Atmos. Chem. Phys., 11, 6911–6929, doi:10.5194/acp-11-6911-2011.

Zhang, Y. H., Hu, M., Zhong, L. J., Wiedensohler, A., Liu, S. C., Andreae, M. O., Wang, W., and Fan, S. J.: Regional integrated experiments on air quality over Pearl River Delta 2004 (PRIDEPRD2004): Overview, Atmos. Environ., 42, 6157–6173, 2008.

#### Διπλωματικές

ΓΑΒΡΟΥΖΟΥ ΜΑΡΙΑ 2019 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΣΚΟΝΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥΣ ΣΕ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ MODIS ΚΑΙ OMI

ΝΙΚΟΛΕΤΑ ΚΑΛΑΪΤΖΗ 2017 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### Αναφορά σε Ιστοσελίδες

<https://www.atmos-meas-tech-discuss.net/amt-2019-474/amt-2019-474.pdf>

[https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3\\_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2\\_ProductRequirements\\_Designs/README.OMI\\_DUG.pdf](https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2_ProductRequirements_Designs/README.OMI_DUG.pdf)

[https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1\\_M\\_FIRE](https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD14A1_M_FIRE)

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter07\\_FINAL-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter07_FINAL-1.pdf)

<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-05.pdf>

<http://projects.knmi.nl/omi/research/instrument/index.php>