



**Παραδοτέο Π10.2: Έκθεση αποτελεσμάτων  
συνεργειών μεταξύ επιτόπιων μετρήσεων,  
τηλεπισκόπησης και υπολογιστικών  
μοντέλων στον τομέα των πηγών  
αερολυμάτων, φυσικών και από καύσεις  
βιομάζας και της εναπόθεσής τους στον  
Ελληνικό χώρο.**

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	ΠΕ 10
<b>Νο Παραδοτέου</b>	Π10.2
<b>Επικεφαλής δικαιούχος</b>	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
<b>Συγγραφείς</b>	Βασίλης Αμοιρίδης, Γιώργος Παπαγγελής, Άννα Καμπούρη, Αλεξάνδρα Τσέκερη, Ελένη Μαρίνου, Μαρία Τσίχλα
<b>Συμμετέχοντες</b>	
<b>Εσωτερικοί κριτές</b>	
<b>Τύπος Παραδοτέου</b>	Αναφορά
<b>Επίπεδο Διάχυσης</b>	Ανοικτό
<b>Εκτιμώμενη ημερομηνία Παράδοσης</b>	Μήνας 48 (31/08/2022)
<b>Πραγματική ημερομηνία Παράδοσης</b>	31/8/2022
<b>Έκδοση</b>	2022-08-31

Σχόλια	
--------	--

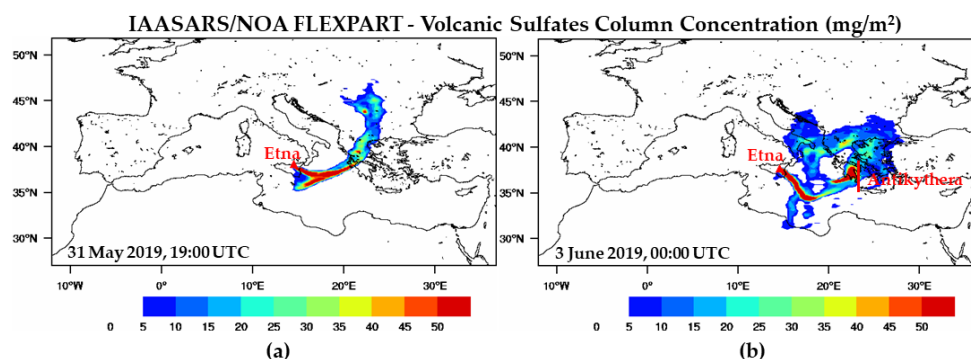
## Εισαγωγή

Η PANACEA αποτελεί την Ελληνική συνιστώσα της Ευρωπαϊκής υποδομής ACTRIS (Aerosol Clouds and Trace gases research InfraStructure). Η διασφάλιση ποιότητας των μετρήσεων, η επιλογή των κρίσιμων ατμοσφαιρικών/κλιματικών παραμέτρων που ακολουθούμε στην PANACEA αντανακλά τις απαιτήσεις για τους Ελληνικούς σταθμούς που συνεισφέρουν στην υποδομή με το επιστημονικό και οργανωτικό πλαίσιο του ACTRIS το οποίο εξασφαλίζει τη μέγιστη εμβέλεια για τη χρήση και την πιστότητα των δεδομένων.

Τα δεδομένα της PANACEA συνεισέφεραν στην βελτίωση των παραμετροποιήσεων στα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την ηφαιστειακή τέφρα και το θαλάσσιο αλάτι. Συγκεκριμένα, δεδομένα lidar από το παρατηρητήριο PANGEA της PANACEA χρησιμοποιήθηκαν σε σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για την ηφαιστειακή τέφρα που μεταφέρθηκε από την Αίτνα προς τον Ελλαδικό χώρο. Οι προγνώσεις ηφαιστειακής τέφρας είναι σημαντικές για την ασφάλεια της αεροπλοΐας. Επιπλέον, παρόμοια δεδομένα από την PANACEA χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτιστοποίηση των μοντέλων εκπομπής, μεταφοράς και εναπόθεσης του θαλάσσιου αλατιού. Τα αποτελέσματα και τα βελτιωμένα μοντέλα πρόγνωσης για τον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζονται στην παρούσα αναφορά.

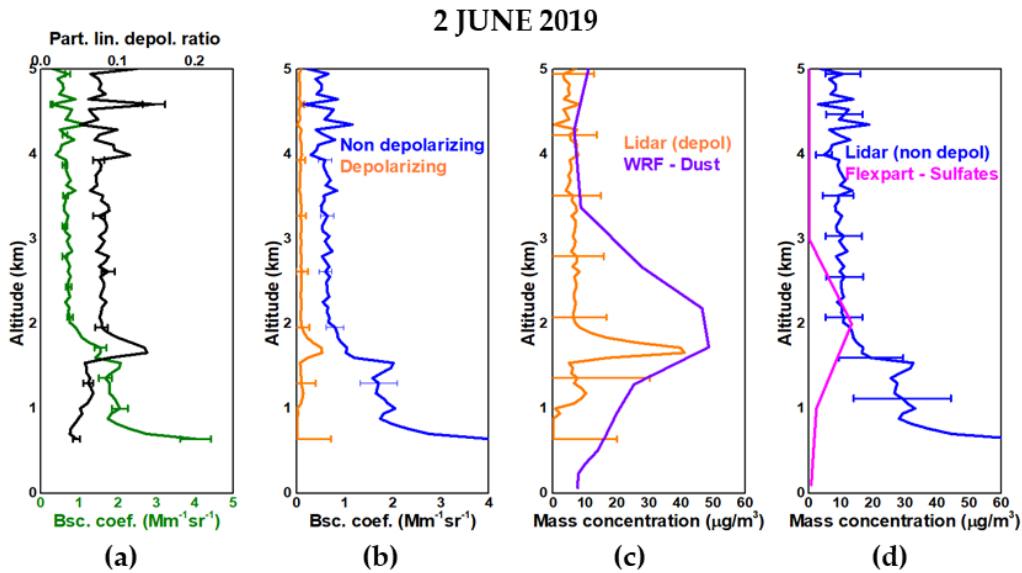
## Βελτιστοποίηση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης μεταφοράς ηφαιστειακής τέφρας με τη χρήση δεδομένων της PANACEA

Προσομιώσεις μεταφοράς ηφαιστειακών σωματιδίων πραγματοποιήθηκαν με το Λαγκρανζιανό μοντέλο διασποράς FLEXPART-WRF (Stohl et al., 2009; Brioude et al., 2013; Pisso et al., 2019) που βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα από μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας (ECMWF, GFS). Συγκεντρώσεις θεικών και ηφαιστειακής τέφρας, από ηφαιστειακή έκρηξη της Αίτνα (Ιταλία) που σημειώθηκε στις 30 Μαΐου 2019, λόγω της δυτικής κυκλοφορίας μεταφέρθηκαν στην Ελλάδα (Εικόνα 1). Στις 2 και 3 Ιουνίου 2019, για πρώτη φορά σωματίδια με ηφαιστειακή προέλευση μετρήθηκαν από το όργανο lidar PollyXT που στεγάζεται στον σταθμό των Αντικυθήρων (PANGEA) του PANACEA.

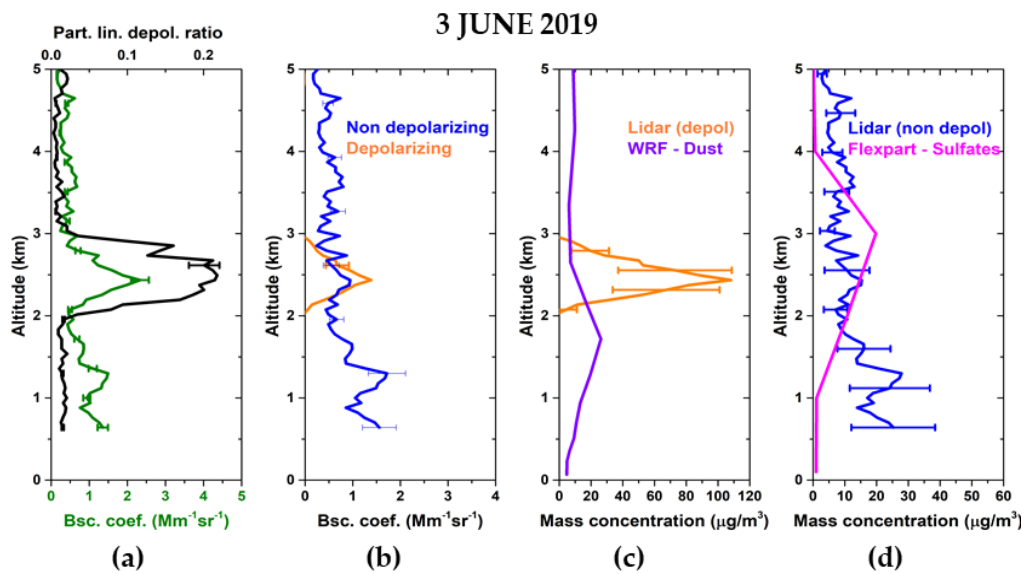


Εικόνα 1: Προσομιώσεις ηφαιστειακών σωματιδίων από την Αίτνα ( $mg/m^2$ ) με το μοντέλο FLEXPART, στις 31 Μαΐου 2019, 19:00 και 3 Ιουνίου 2019, 00:00 UTC.

Πραγματοποιήθηκε συνδυαστική χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων (FLEXPART και MERRA-2 reanalysis) και μεθόδων τηλεπισκόπησης (επίγειες με το lidar PollyXT και δορυφορικές με τον TROPOMI/S5P) που είναι σε θέση να εντοπίσουν με ικανοποιητική ακρίβεια τόσο τη θέση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όσο και τη σύσταση και τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και επιβεβαιώνουν την συνύπαρξη σωματιδίων ερημικής σκόνης και ηφαιστειακής τέφρας.

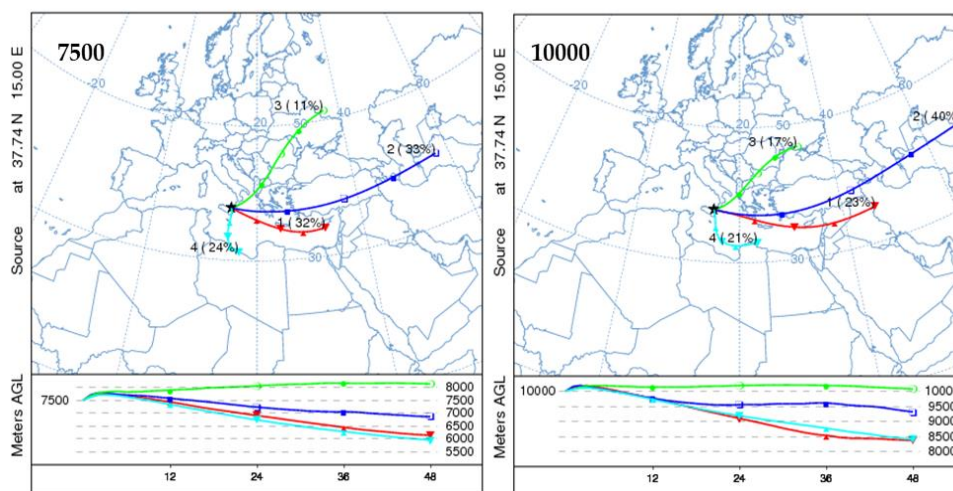


**Εικόνα 2.** α) Προφίλ οπισθοσκεδαζόμενου σήματος από το lidar PollyXT στα 532 nm. Με πράσινο χρώμα έχουμε τον ολικό γραμμικό συντελεστή αποπόλωσης  $\beta_{532}$  ενώ με μαύρο τον συντελεστή οπισθοσκέδασης στα 532nm, β) με πορτοκαλί και μπλε απεικονίζονται τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα στα 532 nm που προέρχονται από σκεδαζόμενα (depolarizing (ash -  $\beta_p$ )) και μη σκεδαζόμενα (non-depolarizing (sulfates -  $\beta_{np}$ )) σωματίδια αντίστοιχα, γ) συγκεντρώσεις μάζας του μοντέλου FLEXPART-WRF των σκεδαζόμενων σωματιδίων (Lidar depol – πορτοκαλί γραμμή) και με μωβ γραμμή απεικονίζεται η συγκέντρωση της σκόνης και δ) συγκεντρώσεις μάζας του μοντέλου FLEXPART-WRF των μη-σκεδαζόμενων σωματιδίων (Lidar non-depol – μπλε γραμμή) και η συγκέντρωση μάζας των θειικών σωματιδίων απεικονίζεται με ροζ γραμμή, για τις 17:00 και 18:00 UTC (σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στις 2 Ιουνίου 2029.



**Εικόνα 3** α) Προφίλ οπισθοσκεδαζόμενου σήματος από το lidar PollyXT στα 532 nm. Με πράσινο χρώμα έχουμε τον ολικό γραμμικό συντελεστή αποπόλωσης 6532 ενώ με μαύρο τον συντελεστή οπισθοσκέδασης στα 532nm, β) με πορτοκαλί και μπλε απεικονίζονται τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα στα 532 nm που προέρχονται από σκεδαζόμενα (depolarizing (ash - βρ)) και μη σκεδαζόμενα (non-depolarizing (sulfates - θηρ)) σωματίδια αντίστοιχα, γ) συγκεντρώσεις μάζας του μοντέλου FLEXPART-WRF των σκεδαζόμενων σωματιδίων (Lidar depol – πορτοκαλί γραμμή) και με μωβ γραμμή απεικονίζεται η συγκέντρωση της σκόνης και δ) συγκεντρώσεις μάζας του μοντέλου FLEXPART-WRF των μη-σκεδαζόμενων σωματιδίων (Lidar non-depol – μπλε γραμμή) και η συγκέντρωση μάζας των θειικών σωματιδίων απεικονίζεται με ροζ γραμμή, για τις 00:00 και 03:00 UTC (σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στις 3 Ιουνίου 2019.

Πιο συγκεκριμένα με το lidar Polly<sup>XT</sup> μετρήθηκαν συγκεντρώσεις θειικών από την ηφαιστειακή έκρηξη της Αίτνα, στις 2 και 3 Ιουνίου 2019 (εικόνες 2 και 3). Το πρώτο πλούμιο θειικών έφτασε πάνω από τον σταθμό των Αντικυθήρων σε ύψος 1.5-2.5 km στις 2 Ιουνίου 2019, στις 17:00-18:00UTC με συγκέντρωση 10-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ το δεύτερο έφτασε σε ύψος 2–3.5 km στις 3 Ιουνίου 2019, στις 00:00-02:00UTC με συγκέντρωση 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Έπειτα από τις προσομοιώσεις μακρινής μεταφοράς ηφαιστειακών σωματιδίων που πραγματοποιήθηκαν με το μοντέλο διασποράς FLEXPART, η συγκέντρωση του 1ου πλουμίου ήταν περίπου 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και του 2ου 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Σε συμφωνία με το μοντέλο όσον αφορά στο ύψος και στις συγκεντρώσεις των δυο θειικών πλουμίων ήρθε το lidar Polly<sup>XT</sup> όπου βάσει της τεχνικής “POLarization-Lidar PHOtometer Networking” (POLIPHON) (Ansmann et al., 2011, 2012; Mamouri et al., 2014) και χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του σταθμού PANGEA-NOA κατέληξε σε αντίστοιχες συγκεντρώσεις μάζας με το μοντέλο. Επιπρόσθετα, πολύ μικρές συγκεντρώσεις ηφαιστειακής τέφρας μετρήθηκαν από το μοντέλο (<5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στις 3 Ιουνίου 2019, στις 18:00UTC. Αξίζει να αναφερθεί ότι στις 3 Ιουνίου 2019, στις 00:00-02:00UTC πάνω από τον σταθμό των Αντικυθήρων είχε μετρηθεί και ένα στρώμα ερημικής σκόνης στα 2km πάνω από το οριακό στρώμα. Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα δυο πλούμια που μετρήσαμε με το όργανο το lidar Polly<sup>XT</sup> στο σταθμό των Αντικυθήρων αποτελούν συνύπαρξη σωματιδίων ερημικής σκόνης και θειικών από το ηφαίστειο.



**Εικόνα 4** Ανάλυση κατά συστάδες (Cluster analysis) από την Αίτνα (37.74°N, 15.00°E) με το μοντέλο διασποράς HYSPLIT για ύψη 7500 και 10000m πάνω από το έδαφος χρησιμοποιώντας GDAS μετεωρολογικά δεδομένα για 5 χρόνια (2015-2019).

Πραγματοποιήθηκε cluster analysis (ανάλυση κατά συστάδες) με το μοντέλο διασποράς HYSPLIT για 5 χρόνια (2015-2019) σε 5 ύψη (3300, 5000, 7500, 10000, 15000 και 18000km πάνω από το έδαφος) με σκοπό την ανάδειξη της ισχυρής σύνδεσης των αερίων μαζών μεταξύ της Αίτνα και του παρατηρητηρίου ΠΑΓΓΑΙΑ. Η ανάλυση με το μοντέλο HYSPLIT έδειξε ότι οι ανώτερες τροποσφαιρικές και οι κατώτερες στρατοσφαιρικές αέριες μάζες που προέρχονται από την Αίτνα μεταφέρονται κυρίως Ανατολικά πάνω από την Μεσόγειο ως προς το σταθμό ΠΑΓΓΑΙΑ των Αντικυθήρων που βρίσκεται κατάντη της Αίτνα (Etna-Antikythera connection) (Εικόνα 4).

Επιπρόσθετα, στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου e-shape (EuroGEO), έχει αναπτυχθεί (από την ομάδα NOA - ReACT, του ΙΑΑΔΕΤ/ΕΑΑ) ένα σύστημα πρόγνωσης μεταφοράς ηφαιστειακών αιωρούμενων σωματιδίων (Early Warning forecasting system) για την παροχή σε πραγματικό χρόνο προγνώσεων της μεταφοράς ηφαιστειακής τέφρας και των θεικών αιωρημάτων με τη χρήση του Λαγκρανζιανού μοντέλου διασποράς FLEXPART-WRF. Οι προσομοιώσεις του FLEXPART-WRF (EWS) βασίζονται σε μετεωρολογικά δεδομένα από μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας (ECMWF, GFS). Συγκεντρώσεις θεικών σωματιδίων και ηφαιστειακής τέφρας, από ηφαιστειακές εκρήξεις της Αίτνα (Ιταλία) λόγω της δυτικής κυκλοφορίας μεταφέρονται συχνά στην Ελλάδα όπου και διασχίζουν το Παρατηρητήριο των Αντικυθήρων ΠΑΓΓΑΙΑ και καταγράφονται από το σύστημα Lidar του σταθμού.

Το Εθνικό παρατηρητήριο Γεωφυσικής της Κατάνια (INGV-EO), τροφοδοτεί σε πραγματικό χρόνο το σύστημα πρόγνωσης της ηφαιστειακής τέφρας με δορυφορικά (MSG-3 (Meteosat Second Generation (MSG) Spin-stabilised Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI), <https://fred.nilu.no/sat/>) και επίγεια δεδομένα (κάμερες του INGV στην Αίτνα) σε περίπτωση ηφαιστειακής έκρηξης της Αίτνα.

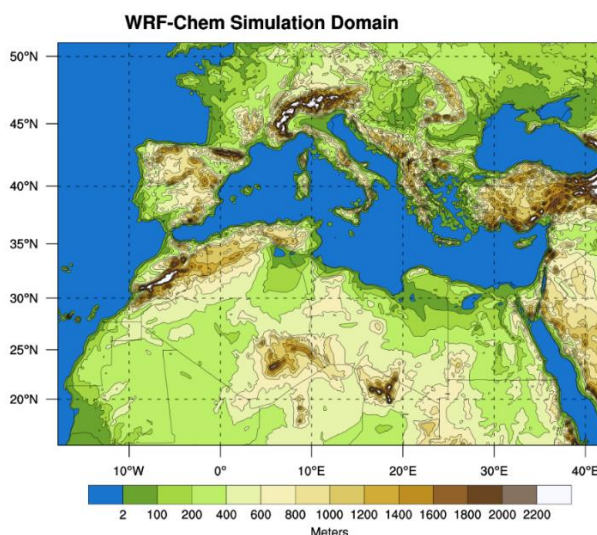
Η έρευνα της μεταφοράς ηφαιστειακής τέφρας στην ατμόσφαιρα είναι πολύ σημαντική για την βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για την Ασφάλειας της Αεροναυτιλίας, μιας και τα σωματίδια ηφαιστειακής τέφρας μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους κινητήρες των αεροσκαφών.

Σε επόμενο βήμα θα εφαρμοστεί ποσοτικός αλγόριθμος (με τεχνικές inverse modeling) σε συνεργιστική χρήση με δεδομένα ατμοσφαιρικής τηλεπισκόπησης (επίγεια και δορυφορικά), με σκοπό την περαιτέρω βελτιστοποίηση των προγνώσεων ηφαιστειακής τέφρας και θεικών (απο εκρήξεις της Αίτνα) καθώς και στον καλύτερο διαχωρισμό των διαφορετικών σωματιδίων (όπως η ηφαιστειακή τέφρα και τα θεικά, η ερημική σκόνη, τα θαλάσσια, βιογενή και ανθρωπογενή αερολύματα).

## Περιοχικής κλίμακας προσομοιώσεις παραγωγής και μεταφοράς αιωρούμενων σωματιδίων θαλάσσιου άλατος με χρήση της μεθόδου αφομοίωσης δορυφορικών δεδομένων ανέμου από την αποστολή ESA-Aeolus και διακρίβωση με βάση τα δεδομένα του PANACEA

Μετρήσεις ανέμου από τη δορυφορική αποστολή Aeolus (Straume et al., 2008), της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ΕΥΔ), χρησιμοποιούνται εφαρμόζοντας τη μέθοδο αφομοίωσης δεδομένων για την παραγωγή βελτιωμένων πεδίων εισόδου πλανητικής κλίμακας (παρέχονται από το IFS παγκόσμιο μοντέλο του ECMWF), ως αρχικές και οριακές συνθήκες, για την εκτέλεση ατμοσφαιρικών μοντέλων περιοχικής κλίμακας. Η αποστολή Aeolus, δίνει για πρώτη φορά τη δυνατότητα αποτύπωσης του τρισδιάστατου πεδίου ανέμου σε παγκόσμια κλίμακα (Aeolus Scientific L2B Rayleigh/Mie wind product, ESA, 2021). Οι παρατηρήσεις πραγματοποιούνται μέσω του πρώτου διαστημικού (Doppler) Lidar ανέμου ALADIN (Atmospheric LAsER Doppler INstrument) το οποίο ανιχνεύει τον άνεμο, σωματίδια και νέφη στα πρώτα 30 km της ατμόσφαιρας από το έδαφος. Για τη μελέτη αυτή εφαρμόζεται το περιοχικό προγνωστικό μοντέλο WRF-ARW-Chem έκδοση 4.2.1 (Advanced Research Weather version of the Weather Research and Forecasting coupled with Chemistry, Skamarock et. al., 2008, Grell et. al., 2005) και στόχος είναι η διερεύνηση της πιθανής βελτίωσης της πρόγνωσης σχετικά με την εκπομπή και μεταφορά των σωματιδίων θαλάσσιου άλατος (ΣΘΑ) στην ατμόσφαιρα.

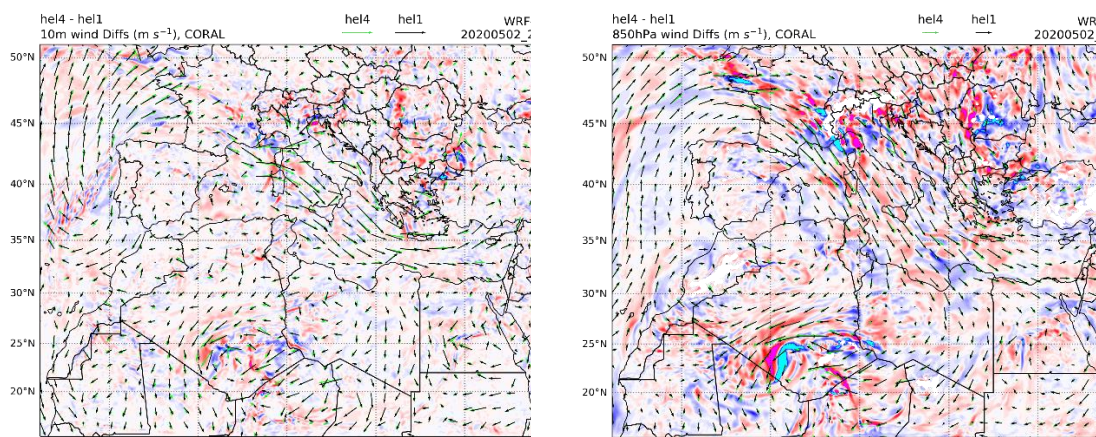
Οι βελτιώσεις του μοντέλου που προκύπτουν από την αφομοίωση δορυφορικών δεδομένων διακρίβωνται και αξιολογούνται με τα δεδομένα εδάφους που παρέχονται από την PANACEA. Στην περίπτωση του θαλάσσιου άλατος χρησιμοποιούνται εδώ δεδομένα από τον σταθμό PANGEA στα Αντικύθηρα.



*Εικόνα 5. Η περιοχή προσομοίωσης του μοντέλου WRF-Chem. Οι ισοπληθείς καμπύλες περιγράφουν την τοπογραφία και παρέχουν δεδομένα υψομέτρου σε μέτρα (από τη μέση επιφάνεια της θάλασσας).*

Οι περιοχές μελέτης καλύπτουν τις θαλάσσιες περιοχές του ανατολικού Ατλαντικού και της Μεσογείου (**Εικόνα 5**) και η επιλεγμένη χρονική περίοδος αφορά τον μήνα Μάιο του 2020. Κατά την περίοδο αυτή παρατηρήθηκαν σημαντικά επεισόδια μεταφοράς ΣΘΑ που επηρέασαν κυρίως την κεντρική και ανατολική Μεσόγειο, όπως επαληθεύουν παρατηρήσεις εδάφους από την καμπάνια EARLINET Covid-19 experimental campaign. Το WRF-Chem χρησιμοποιεί υψηλή οριζόντια χωρική ανάλυση ίση με 12 x 12 km και 70 κατακόρυφα επίπεδα για την λεπτομερή επίλυση των φυσικών δυναμικών διεργασιών της ατμόσφαιρας που καθορίζουν την εκπομπή και κυκλοφορία των ΣΘΑ. Η παραμετροποίηση του κύκλου ζωής των ΣΘΑ γίνεται με το μοντέλο Georgia Institute of Technology-Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport GOCART (Chin et al., 2000,2002) το οποίο είναι συζευγμένο με το WRF-Chem. Επιπλέον, στα πλαίσια της μελέτης αυτής, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος παίρνει υπόψη του την υγροσκοπική αύξηση της ξηρής ακτίνας και μάζας των ΣΘΑ που προσομοιώνει το WRF-Chem, οδηγώντας σε μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση των ΣΘΑ. Ο παραπάνω αλγόριθμος υπολογίζει τις οπτικές ιδιότητες των αιωρούμενων ΣΘΑ, όπως τον συντελεστή εξασθένησης στα 550nm για την εκτίμηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με διαθέσιμες παρατηρήσεις.

Ο άνεμος αποτελεί βασική παράμετρο για την παραγωγή και μεταφορά αιωρούμενων ΣΘΑ και συνεπώς πραγματοποιούνται δύο αριθμητικές προσομοιώσεις όπου στην πρώτη οι αρχικές και οριακές συνθήκες αφομοιώνουν τα δεδομένα ανέμου Aeolus (hel4), ενώ στη δεύτερη δεν γίνεται η χρήση των δεδομένων αυτών (hel1). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η σύγκριση των δεδομένων εξόδου από τα δύο αριθμητικά πειράματα και η αξιολόγηση της διαφοροποίησης του πεδίου ανέμου τόσο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας όσο και καθ' ύψος (**Εικόνα 6**).

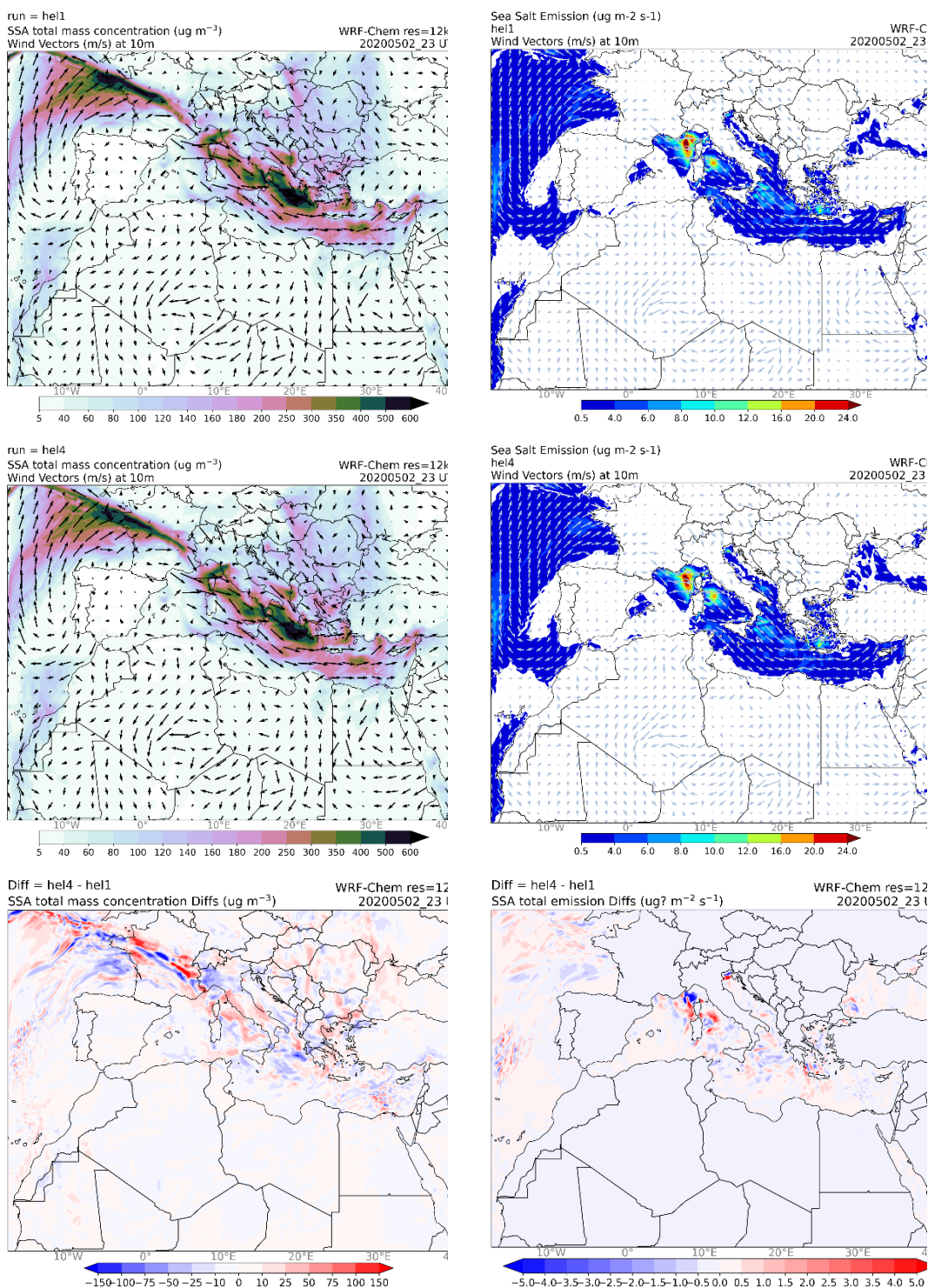


**Εικόνα 6.** Διαφορές έντασης και διεύθυνσης ανέμου (hel4 – hel1) ( $m s^{-1}$ ) στα 10 μέτρα (αριστερά) και στα 850hPa από τις προσομοιώσεις WRF\_Chem με 12 km οριζόντια χωρική ανάλυση, στις 2020-05-02\_23:00:00 UTC.

Στη συνέχεια, αναλύοντας ολόκληρη την περίοδο ενδιαφέροντος διερευνάται η μεταβολή του ανεμολογικού πεδίου (ένταση και διεύθυνση ανέμου), εξαιτίας της εισαγωγής των δορυφορικών παρατηρήσεων, και η επίδραση στον μηχανισμό εκπομπής και μεταφοράς των αιωρούμενων ΣΘΑ. Στην **Εικόνα 7**, δίνονται ως παράδειγμα οι συγκεντρώσεις μάζας ( $\mu g m^{-3}$ ), οι εκπομπές ( $\mu g m^{-2} s^{-1}$ ) ΣΘΑ και οι διαφορές μεταξύ των πειραμάτων hel4 (με Aeolus) και hel1 (χωρίς Aeolus). Όπως αναμένεται, οι μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων εντοπίζονται στις θαλάσσιες περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη διάτμηση του ανέμου και συνεπώς σημαντική



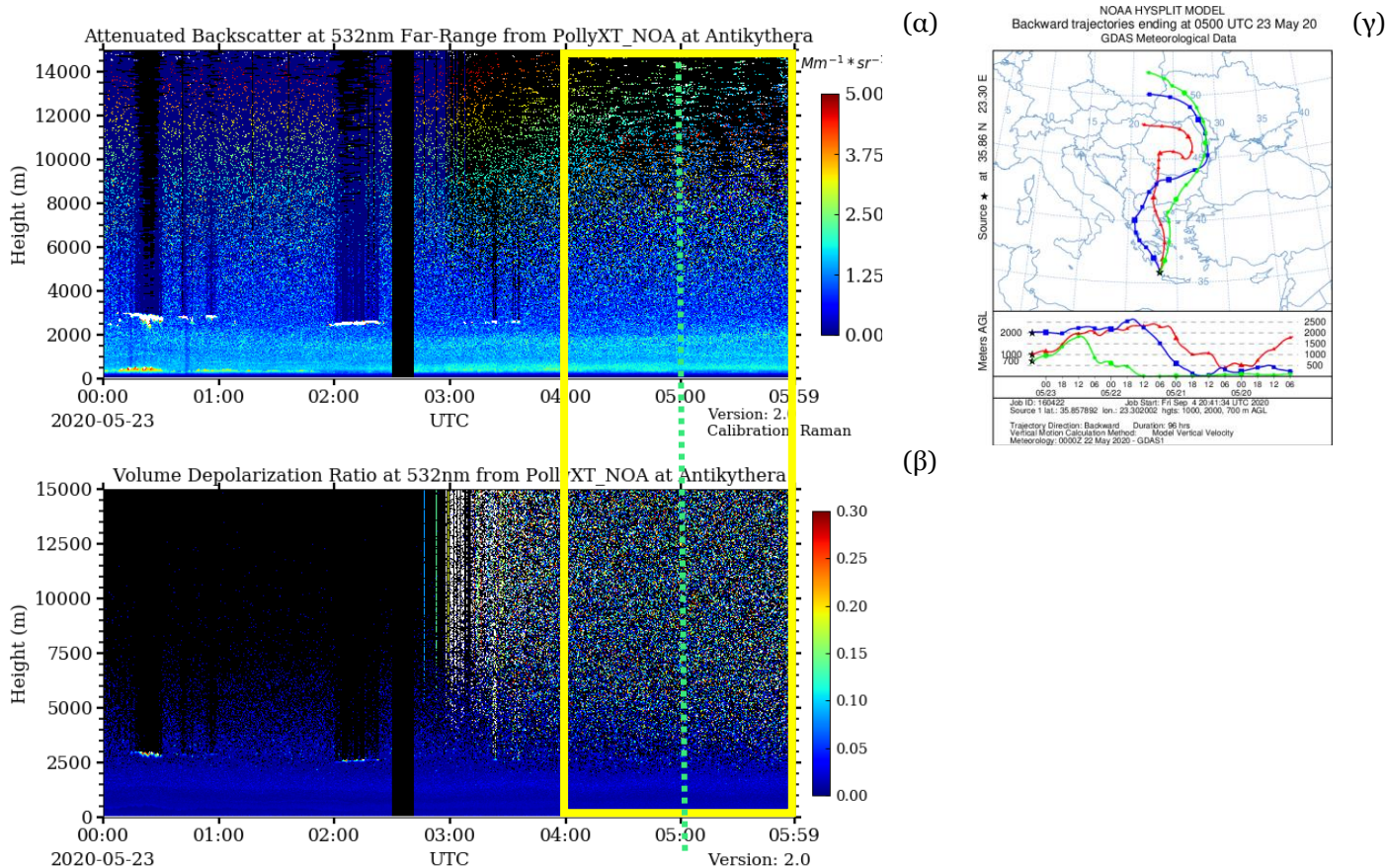
παραγωγή αιωρούμενων ΣΘΑ, καθώς επίσης και σε γειτονικές περιοχές πάνω από την ξηρά όπου η έντονη ατμοσφαιρική κυκλοφορία ευνοεί τη μεταφορά των ΣΘΑ.



**Εικόνα 8: (στήλη αριστερά):** Συγκεντρώσεις σωματιδίων θαλάσσιου άλατος ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (Sea Salt Aerosols – SSA) για το hel1 (πάνω), hel4 (μέση) και οι διαφορές τους (hel4 – hel1, κάτω). **(στήλη δεξιά):** Όμοια με αριστερή στήλη για τις εκπομπές σωματιδίων θαλάσσιου άλατος ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Τα αποτελέσματα αφορούν την 2020-05-02, στις 23:00:00 UTC.

Από τις διαφορές των προσομοιωμένων εκπομπών ΣΘΑ (Εικόνα 8, στήλη δεξιά), κυρίως σε περιοχές της δυτικής και κεντρικής Μεσογείου, είναι φανερό πως η αφομοίωση των μετρήσεων ανέμου (Aeolus) επιδρά στον άνεμο που υπολογίζει το περιοχικό μοντέλο WRF-Chem μεταβάλλοντας τις συνθήκες που καθορίζουν την αλληλεπίδραση θάλασσας-ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση την εκπομπή και μεταφορά των ΣΘΑ. Για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος σχετικά με την βελτίωση ή μη των προσομοιωμένων ΣΘΑ μετά από την χρήση των δεδομένων ανέμου Aeolus, απαιτείται επιλογή και ανάλυση περισσότερων αποτελεσμάτων των αριθμητικών πειραμάτων και σύγκριση με διαθέσιμες πηγές παρατηρήσεων.

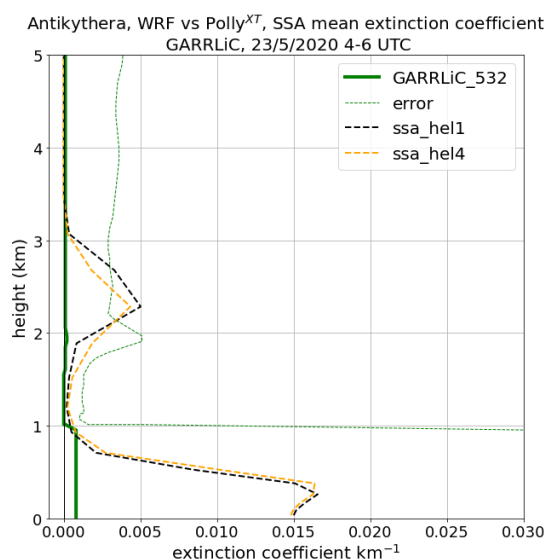
Οι μεταβλητές εξόδου σχετικές με τα ΣΘΑ, από τα δύο WRF-Chem πειράματα hel4 (με Aeolus) και hel1 (χωρίς Aeolus), συγκρίνονται με διαθέσιμες μετρήσεις τηλεπισκόπησης εδάφους, όπως είναι οι μετρήσεις από το Polly<sup>XT</sup> lidar του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) και οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της καμπάνιας EARLINET COVID-19 (European Aerosol Research Lidar Network) στο κλιματικό παρατηρητήριο (ΕΑΑ) των Αντικυθήρων, PANGEA (PANhellenic GEophysical observatory of Antikythera). Επιπλέον, για την σύγκριση των WRF-Chem αποτελεσμάτων έγινε χρήση δορυφορικών δεδομένων και συγκεκριμένα των μετρήσεων CALIPSO/LIVAS (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation/ Lidar climatology of Vertical Aerosol Structure for space-based lidar simulation studies), (Winker et al., 2010/ Amiridis et al., 2015).



Εικόνα 9. (α) Διάγραμμα του Total Attenuated Backscatter Coefficient και του (β) Volume Linear Depolarization Ratio στα 532nm από το PollyXT lidar στον σταθμό PANGEA στις 23/5/2020, 00-06UTC και (γ) αποτελέσματα από το μοντέλο HYSPLIT για οπισθοτροχιές 3 ημερών που καταλήγουν στα Αντικύθηρα στις 23/5/2020, 5UTC.

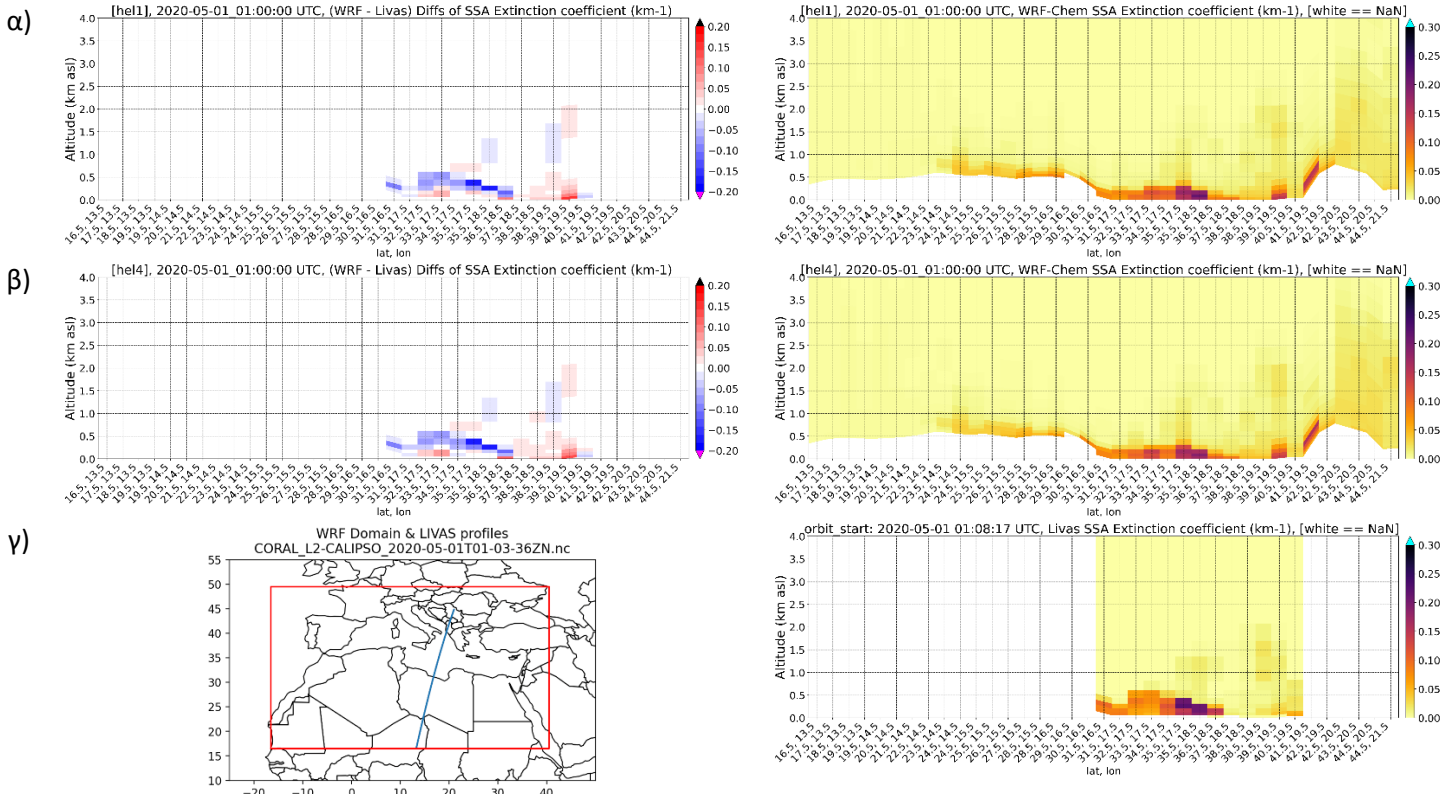
Στην **Εικόνα 9**, δίνεται μια επιλεγμένη περίοδος σύγκρισης (23/5/2020, 4-6UTC), όπου αέριες μάζες κινούμενες προς Νότο (**Εικόνα 9γ**) ανιχνεύονται από το Polly<sup>XT</sup> lidar του σταθμού PANGEA της PANACEA και οι οποίες χαρακτηρίζονται κυρίως από σωματίδια ανθρωπογενούς προέλευσης (αστικές περιοχές) και σωματίδια θαλάσσιου άλατος. Ο κύριος όγκος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι περιορισμένος στα πρώτα 2.5km καθ' ύψος, όπως δείχνουν οι μετρήσεις του Attenuated Backscatter coefficient στα 532nm (**Εικόνα 9α**), ενώ οι μετρούμενες τιμές Volume Linear Depolarization Ratio (VLDR) στα 532nm (**Εικόνα 9β**) αποκλείουν την παρουσία χονδρόκοκκων (coarse) σωματιδίων, όπως σωματιδίων σκόνης. Το κίτρινο πλαίσιο υποδεικνύει την περίοδο μεσοποίησης των lidar σημάτων για τον υπολογισμό των μεταβλητών ΣΘΑ με την χρήση του αλγόριθμου GARRLiC (Loratin et al., 2013; 2021) και με πράσινη γραμμή δίνεται η χρονική στιγμή στις 05.00 UTC των παρατηρήσεων φωτομέτρου (AERONET sun photometer), οπτικού βάθους (Aerosol Optical Depth, AOD) στα 440nm το οποίο παίρνει τιμές κοντά στο 0.1 για το χρονικό παράθυρο των παρατηρήσεων.

Η τελική ποσοτική σύγκριση με τα αποτελέσματα του WRF-Chem για την επιλεγμένη περίοδο δίνονται στην **Εικόνα 10**. Η σύγκριση των συντελεστών εξασθένισης από το μοντέλο δείχνουν πως τα αποτελέσματα του μοντέλου έχουν τιμές μέσα στο εύρος τιμών (και του αντίστοιχου σφάλματος) που υπολογίζει ο αλγόριθμος GARRLiC. Η σύγκριση δυσχεραίνεται από το όριο καθ' ύψος (~ 800m) κάτω από το οποίο οι μετρήσεις του Polly<sup>XT</sup> δεν είναι έγκυρες, κάτι που οφείλεται στα χαρακτηριστικά/γεωμετρία λειτουργίας του. Σαν συνέχεια αυτής της αρχικής σύγκρισης με τα δεδομένα από τον σταθμό της PANGEA, διερευνώνται εναλλακτικοί τρόποι επεξεργασίας των παρατηρήσεων και βελτίωσης των υπολογισμένων προϊόντων, καθώς επίσης και αναγνώριση περισσότερων πιθανών χρονικών περιόδων επεισοδίων μεταφοράς ΣΘΑ.



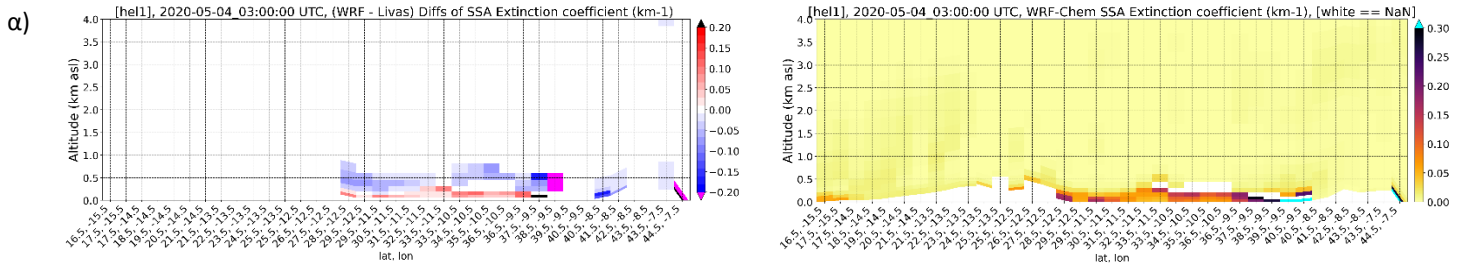
**Εικόνα 10.** Συντελεστής εξασθένισης – Mean extinction coefficient (km<sup>-1</sup>), σύγκριση μεταξύ WRF-Chem (hel1 & hel4) και αποτελεσμάτων του αλγόριθμου GARRLiC στις 23/5/2020. Τα GARRLiC δεδομένα δίνονται ξεκινώντας από το υψόμετρο έγκυρης λειτουργίας του PollyXT lidar της PANACEA.

Η σύγκριση με τα δορυφορικά δεδομένα CALIPSO/LIVAS για δύο περιοχές ενδιαφέροντος, την κεντρική Μεσόγειο και τον ανατολικό Ατλαντικό δίνονται στις Εικόνες 11 και 12 αντίστοιχα.

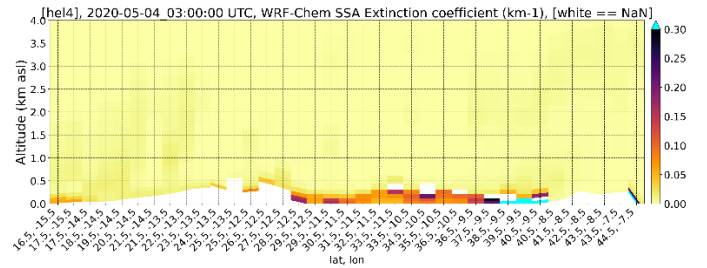
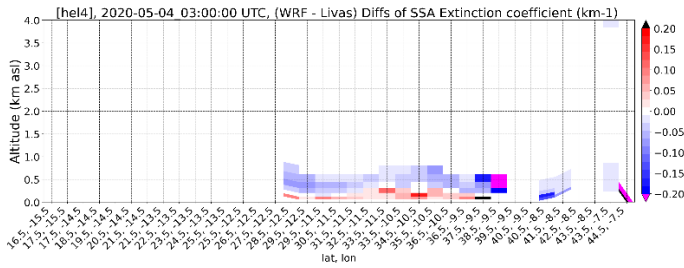


**Εικόνα 11.** Συντελεστής εξασθένισης ΣΘΑ (SSA extinction coefficient) (km<sup>-1</sup>). Διαγράμματα ύψους/lat-lon πάνω στη τροχιά του CALIPSO, πάνω από την κεντρική Μεσόγειο, για τα δεδομένα εξόδου του πειράματος hel1 (χωρίς Aeolus) WRF-Chem (σειρά α, δεξιά) και η διαφορά μεταξύ WRF-Chem και παρατηρήσεων CALIPSO/LIVAS (σειρά α, αριστερά). Όμοια για hel4 (με Aeolus), σειρά β. Σειρά γ, αριστερά, η τροχιά CALIPSO (2020-05-01) και δεξιά οι παρατηρήσεις CALIPSO/LIVAS. Το λευκό χρώμα αντιστοιχεί σε σημεία χωρίς δεδομένα (NaN ή τοπογραφία).

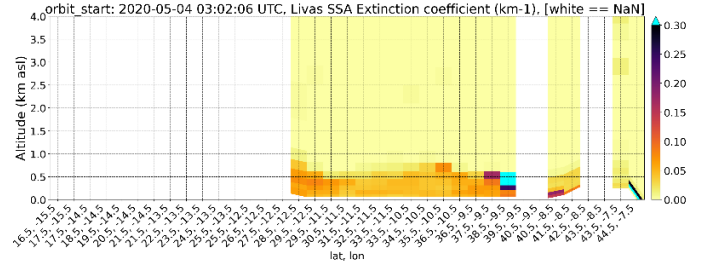
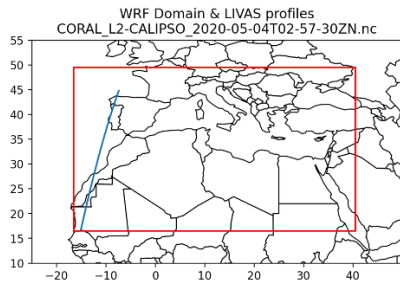
Γενικά το μοντέλο προσομοιώνει ικανοποιητικά τις περιοχές παραγωγής και μεταφοράς ΣΘΑ που ανιχνεύονται από τον δορυφόρο, όπως επιβεβαιώνει και η σύγκριση με όλες τις διαθέσιμες τροχιές CALIPSO/LIVAS, αλλά δεν καταφέρνει να υπολογίσει με ακρίβεια τόσο τις απόλυτες τιμές του συντελεστή εξασθένισης ΣΘΑ όσο και την κατανομή καθ’ ύψος των αιωρούμενων ΣΘΑ, όπως φαίνεται στις **Εικόνες 11 και 12**. Συγκεκριμένα το μοντέλο τόσο στη Μεσόγειο όσο και στον Ατλαντικό, στα παραδείγματα που παρουσιάζονται, υπερεκτιμά κατά λίγο σε σχέση με τις παρατηρήσεις κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ υποεκτιμά σημαντικά την παρουσία ΣΘΑ καθ’ ύψος προσομοιώνοντας το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων κάτω από τα 500m. Περαιτέρω ανάλυση και σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων με τα αποτελέσματα των δύο πειραμάτων απαιτείται για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση των μετρήσεων ανέμου από τον Aeolus.



β)



γ)



Εικόνα 12. Όμοια με Εικόνα 6, αλλά για την περιοχή του ανατολικού Ατλαντικού.

## References

- Amiridis, V., Marinou, E., Tsekeri, A., Wandinger, U., Schwarz, A., Giannakaki, E., Mamouri, R., Kokkalis, P., Binietoglou, I., Solomos, S., Herekakis, T., Kazadzis, S., Gerasopoulos, E., Proestakis, E., Kottas, M., Balis, D., Papayannis, A., Kontoes, C., Kourtidis, K., Papagiannopoulos, N., Mona, L., Pappalardo, G., Le Rille, O., Ansmann, A., 2015. LIVAS: a 3-D multi-wavelength aerosol/cloud database based on CALIPSO and EARLINET. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 7127–7153. <https://doi.org/10.5194/acp-15-7127-2015>.
- Ansmann, A.; Petzold, A.; Kandler, K.; Tegen, I.; Wendisch, M.; Müller, D.; Weinzierl, B.; Müller, T.; Heintzenberg, J. Saharan Mineral Dust Experiments SAMUM-1 and SAMUM-2: What have we learned? *Tellus, Ser. B Chem. Phys. Meteorol.* 2011, 63, 403–429, doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00555.x.
- Ansmann, A.; Seifert, P.; Tesche, M.; Wandinger, U. Profiling of fine and coarse particle mass: Case studies of Saharan dust and Eyjafjallajökull/Grimsvötn volcanic plumes. *Atmos. Chem. Phys.* 2012, 12, 9399–9415, doi:10.5194/acp-12-9399-2012.
- Brioude, J.; Arnold, D.; Stohl, A.; Cassiani, M.; Morton, D.; Seibert, P.; Angevine, W.; Evan, S.; Dingwell, A.; Fast, J.D.; et al. The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART-WRF version 3.1. *Geosci. Model Dev.* 2013, 6, 1889–1904, doi:10.5194/gmd-6-1889-2013.
- Chin, M.; Ginoux, P.; Kinne, S.; Torres, O.; Holben, B.N.; Duncan, B.N.; Martin, R.V.; Logan, J.A.; Higurashi, A.; Nakajima, T. Tropospheric aerosol optical thickness from the GOCART model and comparisons with satellite and Sun photometer measurements. *J. Atmos. Sci.* 2002, 59, 461–483. [CrossRef]
- Chin, M.; Rood, R.B.; Lin, S.J.; Müller, J.F.; Thompson, A.M. Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2000, 105, 24671–24687. [CrossRef]
- ESA: ESA Aeolus Online Dissemination, ESA [data set], <https://aeolus-ds.eo.esa.int/oads/access/>, 2021.
- Grell, G.A.; Peckham, S.E.; Schmitz, R.; McKeen, S.A.; Frost, G.; Skamarock, W.C.; Eder, B. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. *Atmos. Environ.* 2005, 39, 6957–6975.
- Kampouri, A., Amiridis, V., Solomos, S., Gialitaki, A., Marinou, E., Spyrou, C., Georgoulas, A.K., Akritidis, D., Papagiannopoulos, N., Lucia, M., Shollo, S., Tsikoudi, I., Tsihla, M., Pytharoulis, I., Karacostas, T. Zanis, P. (2021). Investigation of Volcanic Emissions in the Mediterranean: “The Etna–Antikythera Connection”. *Atmosphere* 2021, 12(1), 40; <https://doi.org/10.3390/atmos12010040>.
- Lopatin, A., Dubovik, O., Chaikovsky, A., Goloub, P., Lapyonok, T., Tanré, D., Litvinov, P., 2013. Enhancement of aerosol characterization using synergy of lidar and sun-photometer coincident observations: the GARRLiC algorithm. *Atmospheric Measurement Techniques* 6, 2065–2088. <https://doi.org/10.5194/amt-6-2065-2013>

- Lopatin, A., Dubovik, O., Fuertes, D., Stenchikov, G., Lapyonok, T., Veselovskii, I., Wienhold, F.G., Shevchenko, I., Hu, Q., Parajuli, S., 2021. Synergy processing of diverse ground-based remote sensing and in situ data using the GRASP algorithm: applications to radiometer, lidar and radiosonde observations. *Atmospheric Measurement Techniques* 14, 2575–2614. <https://doi.org/10.5194/amt-14-2575-2021>
- Mamouri, R.E.; Ansmann, A. Fine and coarse dust separation with polarization lidar. *Atmos. Meas. Tech.* 2014, 7, 3717–3735, doi:10.5194/amt-7-3717-2014.
- Pisso, I.; Sollum, E.; Grythe, H.; Kristiansen, N.I.; Cassiani, M.; Eckhardt, S.; Arnold, D.; Morton, D.; Thompson, R.L.; Groot Zwaafink, C.D.; et al. The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 10.4. *Geosci. Model Dev.* 2019, 12, 4955–4997, doi:10.5194/gmd-12-4955-2019.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M. G., ... Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research. doi:10.5065/D68S4MVH
- Straume, A.G., Rennie, M., Isaksen, L., Kloe, J. de, Marseille, G.-J., Stoffelen, A., Flament, T., Stieglitz, H., Dabas, A., Huber, D., Reitebuch, O., Lemmerz, C., Lux, O., Marksteiner, U., Weiler, F., Witschas, B., Meringer, M., Schmidt, K., Nikolaus, I., Geiss, A., Flamant, P., Kanitz, T., Wernham, D., Bismarck, J. von, Bley, S., Fehr, T., Floberghagen, R., Parinello, T., 2020. ESA's Space-Based Doppler Wind Lidar Mission Aeolus – First Wind and Aerosol Product Assessment Results. *EPJ Web Conf.* 237, 01007. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202023701007>
- Stohl, A., Seibert, P., Arduini, J., Eckhardt, S., Fraser, P., et al.: An analytical inversion method for determining regional and global emissions of greenhouse gases: Sensitivity studies and application to halocarbons, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1597–1620, doi:10.5194/acp-9-1597-2009, 2009.
- Winker, D.M., Pelon, J., Coakley, J.A., Ackerman, S.A., Charlson, R.J., Colarco, P.R., Flamant, P., Fu, Q., Hoff, R.M., Kittaka, C., Kubar, T.L., Treut, H.L., McCormick, M.P., Mégie, G., Poole, L., Powell, K., Trepte, C., Vaughan, M.A., Wielicki, B.A., 2010. The CALIPSO Mission: A Global 3D View of Aerosols and Clouds. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91, 1211–1230. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3009.1>