

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ν. Τράκα<sup>1</sup>, Ι. Στεργίου<sup>2</sup>, Δ. Κασκαούτης<sup>1</sup>, Ρ. Ε. Π. Σωτηροπούλου<sup>2</sup>, Ε. Τάγαρης<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Π.Δ.Μ., Κοζάνη, Ελλάδα

<sup>2</sup>Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Π.Δ.Μ., Κοζάνη, Ελλάδα

(\*[etagaris@uowm.gr](mailto:etagaris@uowm.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της μελέτης είναι η προσομοίωση των συγκεντρώσεων αερίων και σωματιδιακών ρύπων στην Ευρώπη, εκτιμώντας σφάλματα μεταξύ των παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών για τις ευρωπαϊκές χώρες. Το Community Multiscale Air Quality (CMAQ) v.5.3 Modeling System χρησιμοποιείται εδώ για την εκτίμηση της ποιότητας αέρα τον Ιούλιο του 2019, καλύπτοντας όλη την Ευρώπη σε πλέγμα διακριτικής ικανότητας 20 km x 20 km. Έχουν χρησιμοποιηθεί οι ανθρωπογενείς εκπομπές από το European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) για το έτος 2019 σε ανάλυση 0,1 x 0,1 μοιρών. Τα διαθέσιμα δεδομένα περιλαμβάνουν εκπομπές για τα: CO, NH<sub>3</sub>, NMVOC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και SO<sub>x</sub> ταξινομημένες σε 13 κατηγορίες, ανάλογα με την πηγή προέλευσης. Τα αρχεία των εκπομπών αυτών επεξεργάζονται από το σύστημα μοντελοποίησης Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) για τη μετατροπή της ανάλυσής τους στην ανάλυση που απαιτείται από το μοντέλο ποιότητας αέρα. Για τις βιογενείς εκπομπές χρησιμοποιήθηκε το Biogenic Emission Inventory System (BEIS) με δεδομένα χρήσεων γης σε ανάλυση 1 χλμ. από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (USGS). Επιπλέον, τα μετεωρολογικά πεδία εξάγονται χρησιμοποιώντας το The Weather Research and Forecasting (WRF) Model. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα κυρίως για τις συγκεντρώσεις O<sub>3</sub>, ενώ υποεκτιμά γενικά τις συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>, καταδεικνύοντας τις περιοχές με τις μέγιστες αποκλίσεις συγκριτικά με τις μετρούμενες συγκεντρώσεις.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** CMAQ, Ευρώπη, προσομοίωση ποιότητας αέρα

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

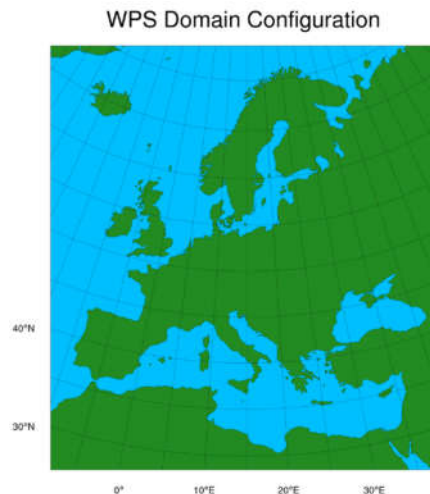
Η ποιότητα του αέρα είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα σε όλο τον κόσμο [1,2,3]. Η Ευρώπη και η περιοχή της Μεσογείου είναι περιοχές με υψηλά καταγεγραμμένα επίπεδα ρύπανσης λόγω των έντονων ανθρώπινων δραστηριοτήτων τους (μεγάλα βιομηχανικά κέντρα, εργοστάσια, εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, πλοία κ.λπ.) [3]. Η ύπαρξη του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, το καθιστά ως έναν επιβλαβή ρύπο τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για τα οικοσυστήματα [4]. Αποτελεί δευτερογενή ρύπο, καθώς δεν εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα, αλλά είναι προϊόν χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) παρουσία του ηλιακού φωτός [5,6]. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής και έχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, επηρεάζοντας και περιοχές μακριά από τα σημεία προέλευσής του [5,6]. Επίσης, ο κίνδυνος και τα αρνητικά αποτελέσματα για την υγεία και το περιβάλλον από τα υψηλά επίπεδα PM<sub>2.5</sub>, αποτελούν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών [7]. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσομοίωση των συγκεντρώσεων αερίων και σωματιδιακών ρύπων

στην Ευρώπη, εκτιμώντας τις διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών για τις ευρωπαϊκές χώρες.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το μοντέλο ποιότητας αέρα CMAQ (έκδοση 5.3) (<https://www.cmascenter.org/cmaq/>) χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ποιότητας αέρα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Τα μετεωρολογικά πεδία δημιουργήθηκαν από το μοντέλο Weather Research and Forecasting (WRF) (<https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>). Για τις ανθρωπογενείς εκπομπές χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) για το έτος 2019 σε ανάλυση  $0,1 \times 0,1$  μοιρών. Τα διαθέσιμα δεδομένα περιλαμβάνουν εκπομπές για τα: CO, NH<sub>3</sub>, NMVOC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και SO<sub>x</sub> ταξινομημένες σε 13 κατηγορίες, ανάλογα με την πηγή προέλευσης. Τα αρχεία των εκπομπών αυτών επεξεργάζονται από το σύστημα μοντελοποίησης Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) (<https://www.cmascenter.org/smoke/>) για τη μετατροπή της ανάλυσής τους στην ανάλυση που απαιτείται από το μοντέλο ποιότητας αέρα. Για τις βιογενείς εκπομπές χρησιμοποιήθηκε το Biogenic Emission Inventory System (BEIS) με δεδομένα χρήσεων γης σε ανάλυση 1 χλμ. από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (USGS).

Επιλέχθηκε πλέγμα διακριτικής ικανότητας 20 km x 20 km για να καλύψει την περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 1) και η προσομοίωση της ποιότητας αέρα καλύπτει τον Ιούλιο του 2019.



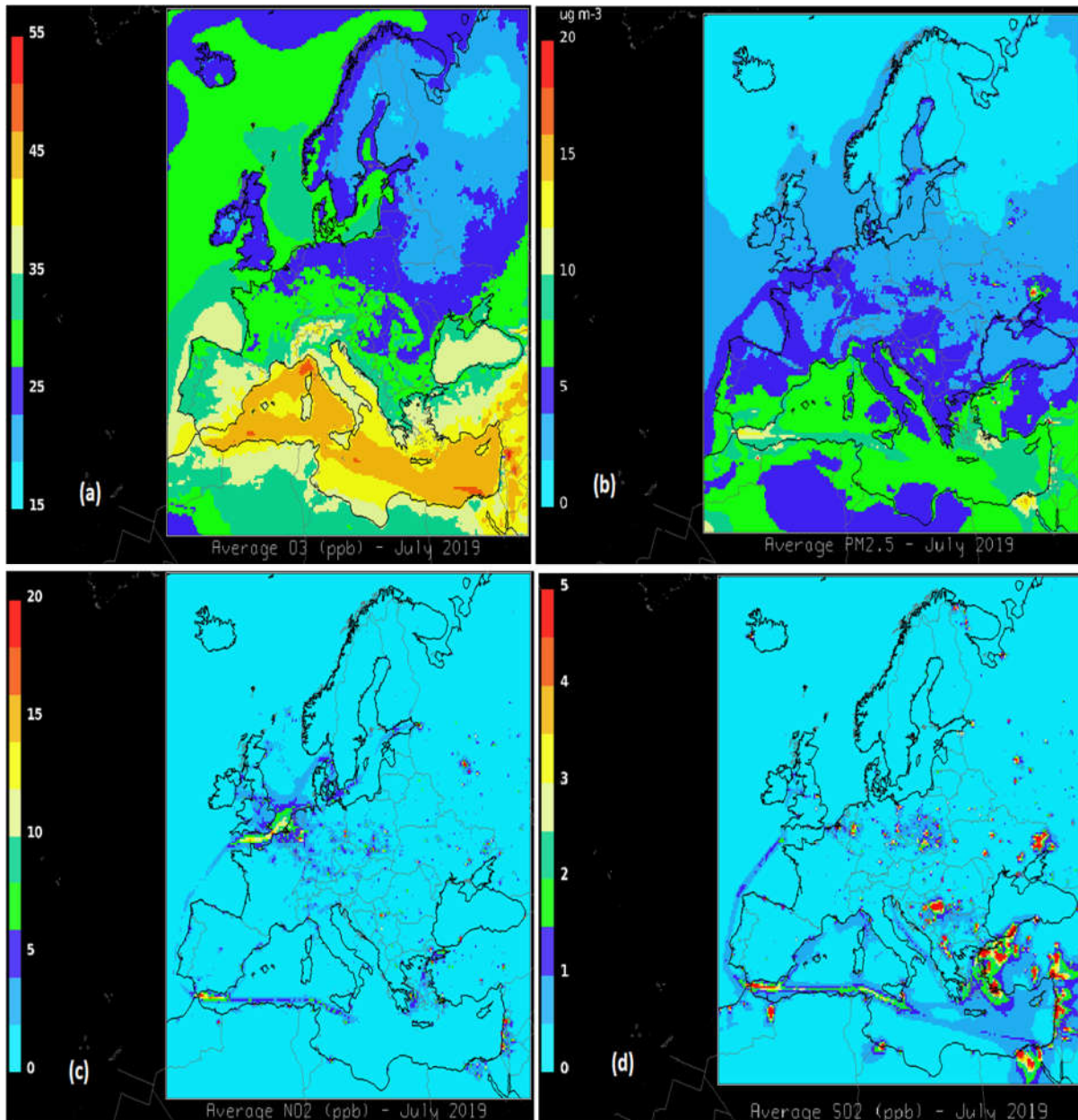
Εικόνα 1: Η περιοχή μελέτης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι μέσες ωριαίες τιμές συγκεντρώσεων για το O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για το O<sub>3</sub> παρατηρούνται στην περιοχή της νότιας Ευρώπης και της Μεσογείου ενώ στη βόρεια Ευρώπη παρουσιάζονται τα χαμηλότερα επίπεδα όζοντος. Παρόμοια συμπεριφορά ακολουθούν και οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2.5</sub>.

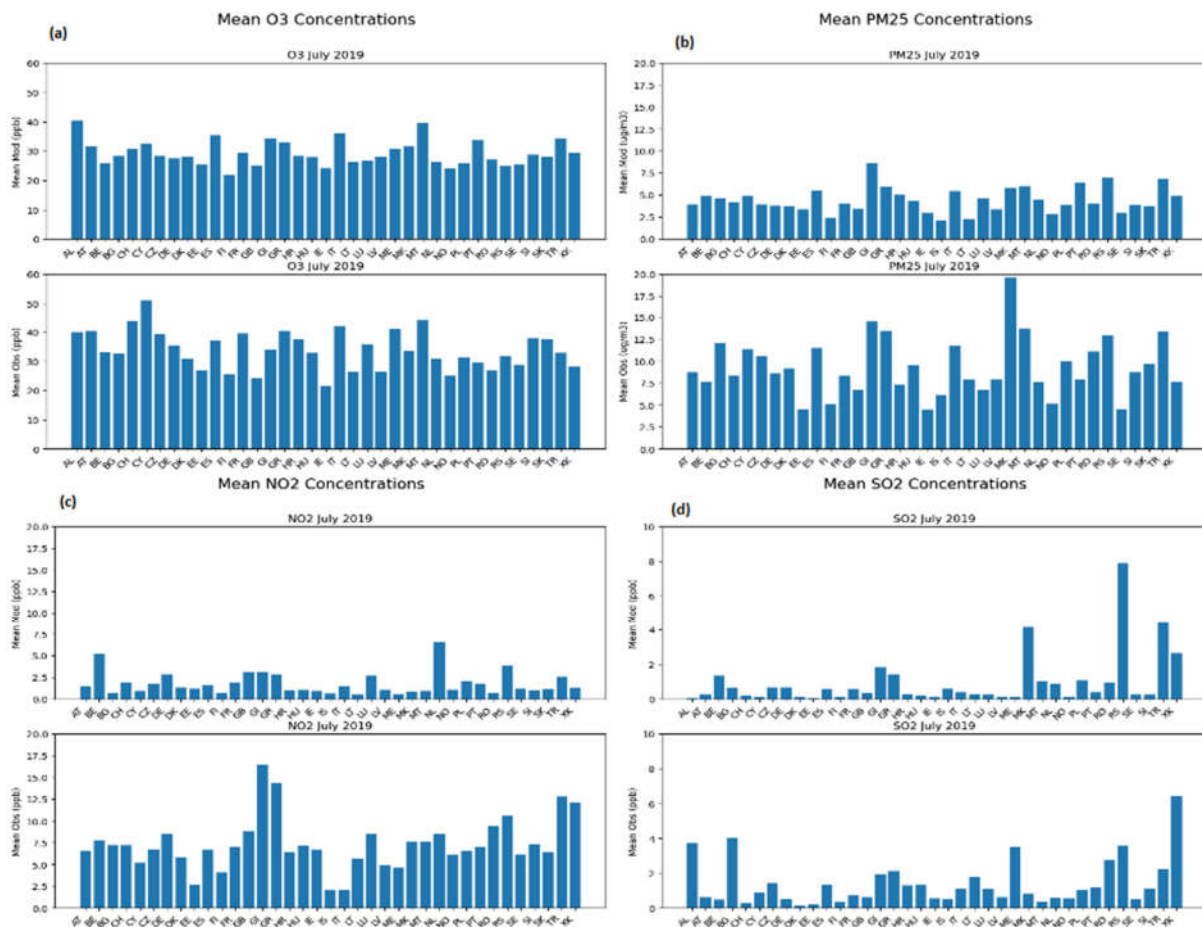
Στις συγκεντρώσεις των NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> (Εικόνα 2c-d), αποτυπώνεται η επίπτωση των διαδρομών των πλοίων, των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας και της βιομηχανικής δραστηριότητας. Η κατανομή αυτή είναι σε συμφωνία με παλαιότερη μελέτη <sup>[8,9]</sup>, όμως τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι χαμηλότερα, λόγω των μέτρων που έχουν λάβει οι χώρες για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής

ρύπανσης.



**Εικόνα 2:** Μέση ωριαία συγκέντρωση (a) O<sub>3</sub>, (b) PM<sub>2.5</sub>, (c) NO<sub>2</sub>, και (d) SO<sub>2</sub> για τον Ιούλιο του 2019.

Επιπλέον γίνεται σύγκριση των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των σταθμών κάθε χώρας για κάθε ρύπο για τον Ιούλιο του 2019, με τις μέσες συγκεντρώσεις των αντίστοιχων κελιών (2195 σταθμοί και 37 χώρες) (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3:** Προσομοιούμενες (1<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> γραμμή) και παρατηρούμενες σε σταθμούς (2<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> γραμμή) μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για τον Ιούλιο του 2019 για (a) O<sub>3</sub>, (b) PM<sub>2.5</sub>, (c) NO<sub>2</sub>, και (d) SO<sub>2</sub>

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι το μοντέλο εκτιμά αρκετά καλά τις συγκεντρώσεις O<sub>3</sub>, ενώ γενικά υποεκτιμά τις συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσομοίωση των συγκεντρώσεων αέριων και σωματιδιακών ρύπων στην περιοχή της Ευρώπης με χρήση του μοντέλου CMAQ ακολουθεί τις χωρικές κατανομές παλαιότερων μελετών και δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα για τις συγκεντρώσεις O<sub>3</sub>, ενώ γενικά υποεκτιμά τις συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alemayehu, Y.A.; Asfaw, S.L.; Terfie, T.A. Exposure to Urban Particulate Matter and Its Association with Human Health Risks. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 27491–27506. [CrossRef] [PubMed]
- [2] Tagaris, E., Sotiropoulou, R. E. P., Gounaris, N., Andronopoulos, S., and Vlachogiannis, D.: Air quality over Europe: modelling gaseous and particulate pollutants, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 9661–9673, <https://doi.org/10.5194/acp-13-9661-2013>, 2013.

[3] Poulos, S. (2023). Marine and Coastal Environment of the Mediterranean Sea and Black Sea [Monograph]. Kallipos, Open Academic Editions. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-251>

[4] Stathis, D. (2015). *Μαθήματα δασικής μετεωρολογίας και κλιματολογίας* [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-562>

[5] Lazaridis, M. (2023). Atmosphere and climate [Postgraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-194>

[6] Seinfeld, John H., Pandis, Spyros N (2016) - Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN: 978-1-118-94740-1

[7] Kotrikla, A. (2015). SHIPPING AND THE ENVIRONMENT [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-489>

[8] Tagaris, E., Stergiou, I. & Sotiropoulou, R.P. Impact of shipping emissions on ozone levels over Europe: assessing the relative importance of the Standard Nomenclature for Air Pollution (SNAP) categories. Environ Sci Pollut Res 24, 14903–14909 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9046-x>

[9] Tagaris, E., Sotiropoulou, R. E. P., Gounaris, N., Andronopoulos, S., and Vlachogiannis, D.: Air quality over Europe: modelling gaseous and particulate pollutants, Atmos. Chem. Phys., 13, 9661–9673, <https://doi.org/10.5194/acp-13-9661-2013>, 2013.