



# ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.

---



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα»*

**Αντωνία Κατσούλη**

*Επιβλέπων καθηγητής*

**Δρ. Ηλίας Κοπανάκης**

**Χανιά, 2023**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν για την επίτευξη και την ολοκλήρωση της και ιδιαίτερα τον Δρ. Κοπανάκη Ηλία για την συνεχή καθοδήγηση και παρακολούθηση καθώς και για τις εξαιρετικά πολύτιμες σε εμένα συμβουλές που είχαν ως στόχο το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Κατσίβελα Ελευθερία, καθώς και την MSc κ. Ραΐση Λουΐζα για τις υποδείξεις τους στην τελική φάση των διορθώσεων της πτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Μιχάλη Λαζαρίδη, υπεύθυνο του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά της Κρήτης, για την ευγενική παραχώρηση των δεδομένων των μετρήσεων των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> από την πόλη των Χανίων κατά τα έτη 2019-2021.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την τεράστια στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

- 1. Εισηγητής: Δρ. Ηλίας Κοπανάκης (Επιβλέπων καθηγητής)**
- 2. Μέλος: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσίβελα**
- 3. Μέλος: MSc Λουΐζα Ραΐση**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην έρευνα, αναζήτηση και μελέτη της μεταβολής της συγκέντρωσης των αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 (έτη 2019-2021) σε διάφορες περιοχές και αστικά κέντρα του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν το μονοξείδιο το άνθρακα (CO), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) και τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>), και μικρότερη από 10 μm (PM<sub>10</sub>). Η μελέτη αφορά αστικά κέντρα που βρίσκονται στην Ευρώπη, την Ασία και την Αμερική. Πιο αναλυτικά επικεντρώθηκε η έρευνα στα αστικά κέντρα της Νέας Υόρκης (ΗΠΑ), της Γιουχάν (Κίνα), του Νέου Δελχί (Ινδία), του Ρίο Ντε Τζανέιρο και του Σάο Πάολο (Βραζιλία), των πόλεων Μιλάνο και Ρώμης (Ιταλία), της Μαδρίτης (Ισπανία), της Μόσχας (Ρωσία) και τέλος της Αθήνας και των Χανίων Κρήτης (Ελλάδα). Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη και η σύγκριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα των παραπάνω αλλά και άλλων αστικών κέντρων, πριν, κατά την διάρκεια και μετά τη θεσμοθέτηση των περιοριστικών κανονισμών απαγόρευσης της κυκλοφορίας (lockdown). Σημαντικά κριτήρια της μείωσης των συγκεντρώσεων των παραπάνω ατμοσφαιρικών ρύπων ήταν η τήρηση των περιορισμών από τον πληθυσμό της κάθε πόλης και το μέτρο αυστηρότητας και εφαρμογής αυτών, η διάρκεια του lockdown, οι μετεωρολογικοί παράγοντες, οι ανθρωπογενείς εκπομπές, και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων αυτών πριν την πανδημία. Γενικότερα παρατηρήθηκε παγκόσμια μια έντονη πτώση στις συγκεντρώσεις των πρωτογενών ρύπων CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, και αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub>, ενώ παρατηρήθηκε σε όλα τα αστικά κέντρα αύξηση του δευτερογενούς φωτοχημικού ρύπου O<sub>3</sub>. Επίσης δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μείωση του πρωτογενούς ρύπου SO<sub>2</sub>. Μέσα από την έρευνα αυτή έγινε κατανοητό ότι η ποσοτική αξιολόγηση της μεταβολής της συγκέντρωσης των αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά τη διάρκεια της πανδημίας σε αστικά κέντρα μπορεί να λειτουργήσει ως οδοιπορικός χάρτης για μελλοντικές στρατηγικές μετριασμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

**Λέξεις-κλειδιά:** πανδημία COVID-19, ατμοσφαιρική ρύπανση, διοξείδιο του αζώτου, αιωρούμενα σωματίδια, τροποσφαιρικό όζον, περιοριστικά μέτρα lockdown.

**ABSTRACT**

This thesis focuses on the research, search and study of the change of the concentration of gaseous and particulate pollutants during the COVID-19 pandemic (years 2019-2021) in various regions and urban centers of the planet. More specifically, carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), tropospheric ozone (O<sub>3</sub>) and inhalable suspended particles with an aerodynamic diameter smaller than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>), and less than 10 μm (PM<sub>10</sub>). The study concerns urban centers located in Europe, Asia and America. In more detail, the research focused on the urban centers of New York (USA), Wuhan (China), New Delhi (India), Rio de Janeiro and Sao Paulo (Brazil), the cities of Milan and Rome (Italy), Madrid (Spain), Moscow (Russia) and finally Athens and Chania, Crete (Greece). The aim of this work is to study and compare the atmospheric air quality of the above mentioned and other urban centers, before, during and after the institution of the restrictive traffic ban regulations (lockdown). Important criteria for reducing the concentrations of the above atmospheric pollutants were the observance of the restrictions by the population of each city and the measure of their strictness and application, the duration of the lockdown, meteorological factors, man-made emissions, and the levels of the concentrations of these pollutants before the pandemic. More generally, a strong drop in the concentrations of the primary pollutants CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and suspended particles PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> was observed worldwide, while an increase in the secondary photochemical pollutant O<sub>3</sub> was observed in all urban centers. Furthermore, no significant reduction of the primary pollutant SO<sub>2</sub> was observed. Through this research, it was understood that the quantitative evaluation of the change in the concentration of gaseous and particulate pollutants during the pandemic in urban centers may act as a road map for future air pollution mitigation strategies.

**Keywords:** pandemic COVID-19, air pollution, nitrogen dioxide, particulate matter, tropospheric ozone, lockdown

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....σελ.3	σελ.3
<b>ABSTRACT</b> .....σελ.4	σελ.4
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....σελ.6	σελ.6
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....σελ.11	σελ.11
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b> .....σελ.13	σελ.13
<b><u>1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u></b>	
1.1.ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ COVID-19.....σελ.17	σελ.17
1.2.ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ COVID-19.....σελ.19	σελ.19
1.3.ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....σελ.23	σελ.23
<b><u>2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ</u></b>	
2.1.ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....σελ.25	σελ.25
2.1.1.ΕΥΡΩΠΗ.....σελ.25	σελ.25
2.1.2.ΑΜΕΡΙΚΗ.....σελ.26	σελ.26
2.1.3.ΑΣΙΑ (ΔΕΛΧΙ, ΓΙΟΥΧΑΝ).....σελ.27	σελ.27
2.2.ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....σελ.28	σελ.28
2.2.1.ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....σελ.28	σελ.28
2.2.2.ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ.....σελ.28	σελ.28
2.2.3.ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PSI .....σελ.29	σελ.29
2.2.4.ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ AQI.....σελ.31	σελ.31

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

2.3.ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....σελ.33	
2.3.1.ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ W.A.Q.I. (WORLD'S Real-Time AIR QUALIT YINDEX).....σελ.33	
2.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ HYSPLIT (HYBRID SINGLE-PARTICLE LAGRANGIAN INTEGRATED TRAGESTORY).....σελ.35	
2.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ SKIRON .....σελ.36	
2.4.ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....σελ.37	
2.5.ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....σελ.37	
2.5.1.ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΟΥ ΤΡΟΠΟΜΙ.....σελ.37	
2.5.2.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ CAMS .....σελ.40	

### **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΩΝ**

3.1.ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....σελ.41	
3.2.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ.....σελ.54	
3.3.ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΗΣ.....σελ.56	
3.4.ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM <sub>10</sub> ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ (2019-2021).....σελ.59	
3.5.ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ NO <sub>2</sub> ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ EDGAR.....σελ.66	
3.6.ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ LOCKDOWN (ΕΥΡΩΠΗ, ΑΜΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΙΑ.....σελ.67	
3.7.ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO <sub>2</sub> ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΝΔΗΜΙΑ.....σελ.74	

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* Κατσούλη Αντωνία

3.8.ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ NO<sub>2</sub> ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....σελ.76

#### **4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....σελ.82

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.87

#### **ΠΙΝΑΚΕΣ**

##### **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 3.1: ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΤΗΣ COVID-19 .....σελ. 49

Πίνακας 3.2. ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ PM<sub>10</sub> ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΟΥΛΙΟ ΤΟΥ 2019 ΕΩΣ ΤΟΝ ΑΠΡΙΛΙΟ ΤΟΥ 2021 ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ .....σελ. 62

Πίνακας 3.3.: ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΧΩΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΤΗΣ COVID-19 .....σελ. 68



## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 2.1: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ PSI ΚΑΙ AQI ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ ΑΥΤΗΣ (O <sub>3</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> ).....σελ. 29
Εικόνα 2.2.: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ AQI ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ .....σελ.32
Εικόνα 2.3:ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ W.A.Q.I.σελ 33
Εικόνα 2.4.: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ HYSPLIT.....σελ.35
Εικόνα 2.5.: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SKIRON MODEL .....σελ.36
Εικόνα 2.6.:ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΤΡΟΠΟΜΙ.....σελ.38
Εικόνα 2.7.: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ CAMS.....σελ.40
Εικόνα 3.1.:ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ NO <sub>2</sub> ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΙΝΑΣ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΜΗΝΑ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020 ΕΩΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020).....σελ.42
Εικόνα 3.2.:ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΡΥΠΟΥ NO <sub>2</sub> ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΕΤΟΥΣ.....σελ.44
Εικόνα 3.3.:ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΧΑΡΤΗ ΜΕ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ PM <sub>2,5</sub> , ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ NO <sub>2</sub> ΛΙΓΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΜΑΡΤΙΟ ΤΟΥ 2020.....σελ.53
Εικόνα 3.4.:ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΤΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΙΟ ΡΥΠΟ NO <sub>2</sub> ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ LOCKDOWN.....σελ.74
Εικόνα 3.5.:ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΡΥΠΟΥ NO <sub>2</sub> ΣΤΗΝ ΙΣΠΑΝΙΑ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΝΟΣ ΕΤΟΥΣ (2019-2020).....σελ.77

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 3.1.: ΜΕΓΙΣΤΕΣ (ΠΡΑΣΙΝΟ) ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ (ΜΠΛΕ) ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM<sub>10</sub> ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΟΥΛΙΟ ΤΟΥ 2019 ΕΩΣ ΤΟΝ ΑΠΡΙΛΙΟ ΤΟΥ 2021 ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ. ΟΙ ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΑ ΜΠΛΕ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΑ ΠΕΔΙΑ .....σελ. 60

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα» εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022, στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε. του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Για την επίτευξη της προστασίας του περιβάλλοντος και τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρυπογόνων ουσιών για τον άνθρωπο, την κοινωνία και το περιβάλλον, καταλυτικό ρόλο παίζει η πλήρης κατανόηση της πρόκλησης των αιτιών της ρύπανσης αυτής καθώς και οι επιπτώσεις της έκθεσης των ρύπων αυτών στο περιβάλλον. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η σύγκριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα διαφόρων αστικών κέντρων και περιφερειών του πλανήτη πριν, κατά την διάρκεια και μετά την θεσμοθέτηση των περιορισμών κυκλοφορίας. Η ποσοτική αξιολόγηση της μεταβολής της συγκέντρωσης των αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά τη διάρκεια της πανδημίας σε αστικά κέντρα μπορεί να λειτουργήσει ως οδοιπορικός χάρτης για μελλοντικές στρατηγικές μετριασμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για ένα καλύτερο σε ποιότητα περιβάλλον.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια σύντομη εισαγωγή. Αναφέρεται στις ατμοσφαιρικές μετρήσεις που διεξάχθηκαν κατά την εμφάνιση της πανδημίας COVID-19 και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων άλλων περιόδων προ-κορωνοϊού.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τις περιοχές μελετών Ευρώπη, ΗΠΑ, Ασία καθώς και με τα εργαλεία μελέτης που χρησιμοποιήθηκαν για να διεξαχθούν έγκυρα και ακριβή αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα μελετών και ερευνών που έλαβαν χώρα σε περιοχές της Ευρώπης, της Ασίας και της Αμερικής. Μεταξύ άλλων

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

αξιολογήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων  $PM_{10}$  στον ατμοσφαιρικό αέρα της πόλης των Χανίων Κρήτης.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφαλαίο συνοψίζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καθώς και όλων των παραπάνω μελετών και ερευνών που διεξάχθηκαν.

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b>
-------------------------------

AOD (Aerosol Optical Depth, Οπτικό βάθος αερολύματος)

AQI (Air Quality System, Δείκτης Ποιότητας Αέρα)

BC (Black Carbon, Μαύρος Άνθρακας)

BC<sub>bb</sub> (Black Carbon from Biomass Burning, Μαύρος Άνθρακας που προέρχεται από την καύση βιομάζας)

BC<sub>FF</sub> (Black Carbon from fossil fuels, Μαύρος Άνθρακας που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα)

CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service, Υπηρεσία Παρακολούθησης της Ατμόσφαιρας Κοπέρνικος)

Cd (Cadmium, Κάδμιο)

CTM (Chemical Transport Model, Χημικό Μοντέλο Μεταφοράς)

CO (Carbon Monoxide, Μονοξείδιο του Άνθρακα)

CO<sub>2</sub> (Carbon Dioxide, Διοξείδιο του Άνθρακα)

COVID-19 (Corona virus Disease 2019, Νόσος κορωνοϊού 2019)

EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research, Βάση δεδομένων εκπομπών για την παγκόσμια ατμοσφαιρική έρευνα)

EPA (Environmental Protection Agency, Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος)

Et al (et all, και οι υπόλοιποι επιστήμονες / συγγραφείς)

FNL (Final Run, Τελικός γύρος)

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

GDAS (Global Data Assimilation System, Παγκόσμιο Σύστημα Αφομοίωσης Δεδομένων)

GPS (Global Positioning System, Παγκόσμιο Σύστημα Στοιχειοθέτησης)

HEI (Health Effects Institute, Ινστιτούτο Επιδράσεων Υγείας)

HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory, υβριδική μονοσωματιδιακή ολοκληρωμένη τροχιά του Λαγραντζίου)

IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation, Ινστιτούτο Μετρήσεων και Αξιολόγησης Υγείας)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος)

IPCC (Integrated Professional Competence Course, Ολοκληρωμένο μάθημα επαγγελματικής ικανότητας)

$N_A$  (Avogadro constant, Αριθμός Αβογκάντρο)

NAAQS (National Ambient Air Quality Standards, Εθνικά πρότυπα ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα)

NCEP (National Centers for Environmental Prediction, Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης)

$NH_3$  (Ammonia, Αμμωνία)

NM-VOC (Non-methan evolatile organic compounds, Μη μεθανικές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις)

NO (Nitric oxide, Μονοξείδιο του Αζώτου)

$NO_2$  (Nitrogen dioxide, Διοξείδιο του Αζώτου)

$NO_x$  (Nitrogen oxides, Οξείδια του Αζώτου)

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

NOA (National Observatory of Athens, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

O<sub>3</sub> (Ozone, Όζον)

PM (Particulate Matter, Αιωρούμενα Σωματίδια)

PM<sub>2,5</sub> (Particulate Matter with aerodynamic diameter smaller than 2,5 μm, Αιωρούμενα Σωματίδια με Αεροδυναμική Διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm)

PM<sub>10</sub> (Particulate Matter with aerodynamic diameter smaller than 10μm, Αιωρούμενα Σωματίδια με Αεροδυναμική Διάμετρο μικρότερη από 10 μm)

PSI (Pollutions Standards Index, Πρότυπος Δείκτης Ρύπων)

SARS-COV-2 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2, Ο κορωνοϊός του Σοβαρού Οξέος Αναπνευστικού Συνδρόμου Τύπου 2)

SI (The International System of Units, Διεθνές Σύστημα Μονάδων)

SI (Stringency Index, Δείκτης Αυστηρότητας)

SO (Sulphur Monoxide, Μονοξείδιο του Θείου)

SO<sub>2</sub>: (sulfur dioxide, Διοξείδιο του Θείου)

TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument, Όργανο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην Τροπόσφαιρα)

USEPA (USA Environmental Protection Agency, Αμερικάνικη Εταιρεία Προστασίας Περιβάλλοντος)

VOC (Volatile organic compounds, Πτητικές Οργανικές Ενώσεις)

WAQI (World's Real Time Air Quality Index, Παγκόσμιος δείκτης Αέριας Ρύπανσης σε πραγματικό χρόνο)

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

Ε.Ε (Ευρωπαϊκή Ένωση)

ΗΠΑ (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής)

ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)

τ. χλμ. (τετραγωνικά χιλιόμετρα)



## 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ COVID-19

Η ταχεία εξάπλωση της νόσου COVID-19 που προκαλείται από τον κορωνοϊό του Σοβαρού Οξέος Αναπνευστικού Συνδρόμου Τύπου 2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Corona virus 2 -SARS-CoV-2), έχει βαθιές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, τις κοινωνικές και οικονομικές παραμέτρους παγκοσμίως. Στις 11 Μαρτίου 2020, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) κήρυξε την επιδημία COVID-19 ως πανδημία και μέχρι τις 18 Οκτωβρίου 2022 είχαν καταγραφεί περισσότερα από 658 εκατομμύρια επιβεβαιωμένα κρούσματα παγκοσμίως και πάνω από 6,5 εκατομμύρια άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους. Ο κορωνοϊός που προκαλεί την ασθένεια COVID-19, θεωρείται ότι μεταδόθηκε σε ανθρώπους από ζώα (νυχτερίδες) και διαπιστώθηκε αρχικά στη πόλη Γιουχάν της Κίνας τον Δεκέμβριο του 2019 πριν εξαπλωθεί σε όλο τον πλανήτη (Yuan et al., 2021, World Health Organization, 2022).

Το Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ΗΠΑ (2017) εκτιμά ότι τα τρία τέταρτα των νέων ή αναδυόμενων ασθενειών που μολύνουν τον άνθρωπο, προέρχονται από ζώα, και χαρακτηρίζονται ως ζωνοόσοι. Παγκοσμίως, τα κρούσματα μολυσματικών ασθενειών αυξάνονται και είναι πιθανό να σημειώσουν ακόμη περισσότερη κλιμάκωση, καθώς οι άνθρωποι πληθυσμοί καταστρέφουν τα ενδιαίτηματα, αναγκάζοντας την άγρια ζωή να έρχεται σε όλο και πιο κοντινότερη απόσταση από στον άνθρωπο. Η ομάδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) ολοκλήρωσε πρόσφατα τη διερευνητική έρευνα στην Κίνα σχετικά με την προέλευση της πανδημίας COVID-19 (Zalakeviciute et al., 2020).

Η προαναφερόμενη έκθεση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο ιός πιθανότατα προήλθε από νυχτερίδες και πέρασε στους ανθρώπους μέσω ενός ενδιάμεσου ζώου ξενιστή. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης της πανδημίας έχουν επίσης σημειωθεί ορισμένες βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα λόγω της υποχρεωτικής απαγόρευσης της κυκλοφορίας (lockdown) που

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

επιβλήθηκε για τον περιορισμό της εξάπλωσης του κορωνοϊού. Παρόλα αυτά, οι μέσες συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος ( $O_3$ ) αυξήθηκαν στους αστικούς σταθμούς μέτρησης σε σύγκριση με την ίδια περίοδο άλλων ετών (Yuan et al., 2021).

Ωστόσο, ο αντίκτυπος της πανδημίας COVID-19 στο παγκόσμιο ατμοσφαιρικό περιβάλλον χρήζει άμεσης εξέτασης. Αυτό θα παρέχει επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τη σύνδεση των μεταβολών της ποιότητας του αέρα με την ανθρώπινη υγεία. Ο αντίκτυπος της μειωμένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης ενέργειας αποδείχθηκε προσωρινός, εκτός εάν οι κυβερνήσεις υιοθετήσουν νέες προσεγγίσεις ανάπτυξης που προστατεύουν τη δημόσια υγεία. Αυτό θα απαιτήσει την θεσμοθέτηση αυστηρότερων κανονισμών και, τελικά, τη μετάβαση σε μια πιο καθαρή ενέργεια (π.χ. υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης) (Bedi et al., 2020).

Λόγω της γρήγορης μετάδοσης του ιού αυτού, δημιουργήθηκε η ανάγκη άμεσης υποστήριξης και θεσμοθέτησης φυσικών μέτρων προστασίας, τα οποία στόχο έχουν την ασφάλεια των πολιτών. Τα μέτρα αυτά προστασίας υιοθετήθηκαν σε διάφορους βαθμούς από κρατικές αρχές σε όλο τον κόσμο (Dong et al., 2021). Μετά την εφαρμογή μέτρων περιορισμού σε χώρες που πλήττονται από την πανδημία COVID-19, παρατηρήθηκε η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και η μείωση των εκπομπών ανθρωπογενούς ρύπανσης, αρχικά με δορυφορικές παρατηρήσεις.

Δορυφορικά δεδομένα για τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου ( $NO_2$ ) έδειξαν μειώσεις έως και 30% σε ορισμένα από τα πρώιμα επίκεντρα της επιδημίας (Ανατολικές ΗΠΑ, Ιταλία, Κίνα κ.ά.) που θεσμοθέτησαν κάποια μορφή lockdown. Οι συνέπειες της πανδημίας επέτρεψαν τη διεξαγωγή ενός μεγάλης κλίμακας πειράματος άνευ προηγουμένου. Τα μέτρα προστασίας των πολιτών, η απαγόρευση της κυκλοφορίας και η καραντίνα επέτρεψαν στο περιβάλλον να πάρει μία 'ανάσα' και στους ανθρώπους να κατανοήσουν τη σημαντικότητα της καλύτερης ποιότητας του περιβάλλοντος, όταν η πόλη δεν χρησιμοποιεί επιβατηγά κυρίως οχήματα (Panda et al., 2021).

Από αυτή την άποψη, οι μελέτες περιβάλλοντος σε επίπεδο εδάφους με χρήση οργάνων αναφοράς είναι απαραίτητες, και μπορούν να οριστούν ως το χρυσό πρότυπο για την

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

αξιολόγηση των επιπέδων συγκέντρωσης ουσιών και ρύπων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα καθώς και της κανονιστικής τους συμμόρφωσης (ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα συγκεντρώσεων). Επιπλέον, η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση των διακυμάνσεων της ποιότητας του αέρα κατά τις περιόδους έξαρσης της πανδημίας COVID-19 είναι κρίσιμη, καθώς ακόμα και η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων έχει συνδεθεί με αυξημένους κινδύνους νόσησης (Briz-Redón et al., 2021).

Οι αρχικές μελέτες που αναλύουν επιτόπια δεδομένα ποιότητας του αέρα κατά την περίοδο της πανδημίας, έχουν καταγράψει αποτελέσματα από την Κίνα και άλλες ασιατικές χώρες. Στην περιοχή της Ευρώπης, οι πρώτες μελέτες ήταν από χώρες της Νότιας Ευρώπης που εφάρμοσαν σκληρά μέτρα περιορισμού από πολύ νωρίς για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της εξάπλωσης του θανατηφόρου αυτού ιού (Coccia, 2020).

Οι παρατηρούμενες μειώσεις στα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων συνδέονται με αντίστοιχες μειώσεις στις πηγές εκπομπής αυτών. Ωστόσο, μια ποσοτική αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως οδοιπορικός χάρτης για μελλοντικές στρατηγικές μετριασμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, απαιτεί επίσης μια προσέγγιση μοντελοποίησης. Καθώς οι παρατηρούμενες μεταβολές επηρεάζονται επίσης από τη μετεωρολογική μεταβλητότητα και τις τάσεις αυξομείωσης των εκπομπών, ορισμένα πρόσφατα πειράματα έθεσαν ως στόχο τις συνέπειες των μέτρων περιορισμού στην ατμοσφαιρική ρύπανση (Dong et al., 2021).

## **1.2. ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ COVID-19**

Όπως προαναφέρθηκε, η παγκόσμια εξάπλωση της νόσου του Σοβαρού Οξέος Αναπνευστικού Συνδρόμου Τύπου 2 που προκλήθηκε από τον κορωνοϊό SARS-CoV-2 στις αρχές του 2020, ήταν ένα άνευ προηγουμένου, εξαιρετικά ανατρεπτικό γεγονός. Τα lockdown που θεσπίστηκαν για τον έλεγχο της επακόλουθης πανδημίας COVID-19 οδήγησαν σε γρήγορες, απρόβλεπτες

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

μειώσεις της οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητας και τις σχετικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως (Chen et al., 2020).

Έχει προταθεί σε μια σειρά άρθρων ότι η συνθήκη αυτή, παρέχει μια μοναδική επιστημονική ευκαιρία ανίχνευσης και κατανόησης των επιπτώσεων των ανθρωπογενών εκπομπών των ρύπων στην ατμόσφαιρα της Γης, σε όλες τις χωρικές κλίμακες (από περιφερειακή έως παγκόσμια), καθώς επηρεάζει το κλίμα γενικά (Kumar et al., 2020).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν σημειώσει οι μεταβολές σε περιφερειακή κλίμακα της ποιότητας του αέρα που έχουν τεκμηριωθεί από δίκτυα παρακολούθησης τόσο σε επίπεδο εδάφους όσο και από διαστημικά όργανα τηλεπισκόπησης. Τέτοιες μεταβολές, που προκύπτουν σε κάθε ήπειρο, έχουν αποτελέσει αντικείμενο έντονου ενδιαφέροντος στο ευρύ κοινό και στις επιστημονικές και ρυθμιστικές κοινότητες που είναι επιφορτισμένες με την κατανόηση των επιπτώσεων των ανθρωπογενών εκπομπών στην ποιότητα του αέρα (Gaubert et al., 2021).

Οι παροδικές αυτές μεταβολές στις τιμές των ρύπων που εκπέμπονται από συγκεκριμένες πηγές εκπομπής, λειτουργούν ως πρόκληση για την αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων στρατηγικών ελέγχου και μετρίασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτές επίσης αποτελούν τον οδοιπορικό χάρτη για την προεπισκόπηση της μελλοντικής κατάστασης της ατμόσφαιρας έχοντας ως στόχο την δημιουργία μιας ατμόσφαιρας που χαρακτηρίζεται από μόνιμες μειώσεις εκπομπών ρύπων από συγκεκριμένες πηγές εκπομπής (Mishra & Kulshrestha, 2021).

Η έννοια της ποιότητας του αέρα συνδέεται άρρηκτα με την επιβάρυνση της υγείας λόγω των ατμοσφαιρικών ρύπων (World Health Organization, 2019). Ο ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) εκτιμά ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο υπ' αριθμόν ένας περιβαλλοντικός κίνδυνος για την υγεία παγκοσμίως, προκαλώντας πάνω από 7,1 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως, εκ των οποίων τα 4,2 εκατομμύρια αποδίδονται στην ρύπανση από ατμοσφαιρικούς ρύπους (Kumar et al., 2020).

Εκτός από τις διαδικασίες εκπομπής και εναπόθεσης, τόσο οι πηγές όσο και οι καταβόθρες των σχετιζόμενων με την ποιότητα του αέρα ρύπων (ακόμη και σε ιχνοποσότητες) προσδιορίζονται από την ατμοσφαιρική χημεία. Τα είδη των ρύπων που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα θεωρούνται πρωτογενή, ενώ τα είδη που σχηματίζονται μέσω

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

ατμοσφαιρικών χημικών διεργασιών αναφέρονται ως δευτερογενή. Δύο από τους ρύπους ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία είναι τα σωματίδια (PM) και το τροποσφαιρικό όζον (Filonchuk et al., 2020).

Η σωματιδιακή ύλη έχει και πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές εκπομπής, ενώ το όζον στην τροπόσφαιρα σχηματίζεται σχεδόν αποκλειστικά μέσω της ατμοσφαιρικής χημείας, δηλαδή είναι δευτερογενής ρύπος στην τροπόσφαιρα. Οι κύριοι ρύποι που λειτουργούν ως πρόδρομοι της παραγωγής του O<sub>3</sub> και της δευτερογενούς σωματιδιακής ύλης περιλαμβάνουν τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>), τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs–Volatile Organic Compounds), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και την αμμωνία (NH<sub>3</sub>) (Chen et al., 2020).

Οι προσεγγίσεις στις εργαστηριακές παρατηρήσεις για την ευκολότερη κατανόηση των χημικών διεργασιών που συντελούνται στην ατμόσφαιρα συμπληρώνονται από προσεγγίσεις μοντελοποίησης για τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής σύνθεσης σε περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα. Τα μοντέλα χημικής μεταφοράς της ατμόσφαιρας (Chemical Transport Model-CTM) αντιπροσωπεύουν:

- τις εκπομπές από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές
- την ατμοσφαιρική χημεία
- τις διαδικασίες μεταφοράς, αραίωσης και εναπόθεσης των σωματιδιακών ρύπων της ατμόσφαιρας

Η ικανότητα των CTM να προσομοιώνουν σωστά την ατμοσφαιρική σύνθεση επαληθεύεται μέσω των συγκρίσεων του εκάστοτε μοντέλου και των παρατηρήσεων αυτών. Ακραία φυσικά φαινόμενα, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πυρκαγιές και οι καύσωνες, συμβάλλουν στο γεγονός αυτό (Liu et al., 2021).

Τα διάφορα εθνικά και πολιτειακά lockdown καθώς και οι εφαρμογές της κοινωνικής αποστασιοποίησης για τον πανδημικό έλεγχο και μετριασμό της μετάδοσης της ασθένειας COVID-19 αποτελούν ένα ακραίο πραγματικό πείραμα, στο οποίο διάφορες ανθρωπογενείς εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν μειωθεί δραματικά μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

διάστημα. Οι μεταβολές αυτές, οφείλονται στην αλλαγή κυρίως των δραστηριοτήτων, των συνηθειών και γενικότερα της καθημερινότητας του ανθρώπου (Kumar et al.,2020).

Ιδιαίτερα, κατά τη περίοδο της θεσμοθέτησης των περιορισμών, οι εκπομπές που προέρχονται από τον τομέα των μεταφορών μειώθηκαν σημαντικά, όπως φαίνεται από τα καταγεγραμμένα συνολικά δεδομένων κινητικότητας, λόγω των εντολών παραμονής στο σπίτι. Οι πρώτες αναφορές παρατηρούμενων μειώσεων των NO<sub>x</sub> και των σωματιδίων σε διάφορες περιοχές του κόσμου συμπληρώνονται τώρα από τα σύνολα των δεδομένων που απεικονίζουν ποικίλες αποκρίσεις των δευτερογενών ρύπων O<sub>3</sub> και των σωματιδίων που προκύπτουν από τις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις που εμπλέκονται στην ατμοσφαιρική χημεία (Dai et al.,2021).

Οι συγγραφείς Shakil et al. (2020) χρησιμοποίησαν 23 δημοσιεύσεις έως τον Μάιο του 2020 για να επισημάνουν τις επιπτώσεις των περιορισμών και των περιβαλλοντικών παραγόντων στην ποιότητα του αέρα και συνέστησαν τις μελλοντικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν μετεωρολογικές διορθώσεις. Οι ερευνητές Srivastava et al. (2020) εστίασαν στη σχέση μεταξύ της ρύπανσης από σωματίδια και της θετικής συσχέτισης με τα κρούσματα της ασθένειας COVID-19 καθώς και στην επίδραση του καιρού στις συγκεντρώσεις των ρύπων που επηρεάζουν τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα. Οι συγγραφείς Kumar et al. (2020) τόνισαν τα βασικά ευρήματα 28 δημοσιεύσεων σχετικά με τις επιπτώσεις των περιορισμών στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Τέλος, οι συγγραφείς Le et al. (2020) συζήτησαν 16 δημοσιεύσεις που σχετίζονται με μειώσεις συγκέντρωσης σωματιδίων κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, η παρατήρηση και η σύγκριση των μεταβολών της συγκέντρωσης αερίων ρύπων, πριν -κατά την διάρκεια- και μετά την εφαρμογή των περιορισμών σε αστικά κέντρα. Εξετάστηκαν οι ρύποι μονοξείδιο του αζώτου (NO), διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), αμμωνία (NH<sub>3</sub>), τροποσφαιρικό όζον και εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια (PM– Particulate Matter), όπως τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>) και τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM<sub>10</sub>). Τα αστικά κέντρα που εξετάστηκαν, είναι το Μιλάνο και η Ρώμη (Ιταλία), η Μαδρίτη (Ισπανία), η Μόσχα (Ρωσία), η Αθήνα και τα Χανιά της Κρήτης (Ελλάδα), η Νέα Υόρκη (ΗΠΑ), η πόλη Γιουχάν (Κίνα), το Νέο Δελχί

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

(Ινδία), το Ρίο Ντε Τζανέιρο και το Σάο Πάολο (Βραζιλία) για τα έτη 2019-2020. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον θα εστιαστεί σε συγκρίσεις στα αστικά κέντρα σε Ευρώπη, ΗΠΑ και Ασία, λόγω του ότου βρίσκονται σε διαφορετικές ηπείρους.

Τα παραπάνω αστικά κέντρα, επιλέχθηκαν λόγω ότι επλήγησαν περισσότερο από την πανδημία COVID-19. Έγινε χρήση δεδομένων από 162 σταθμούς παρακολούθησης παγκοσμίως. Μέσω αυτών ελήφθησαν οι τιμές των συγκεντρώσεων των ρύπων που μελετώνται στην παρούσα εργασία. Σημαντικό είναι επίσης να διευκρινιστεί το γεγονός ότι έγινε χρήση της Υπηρεσίας Παρακολούθησης της Ατμόσφαιρας (CAMS-Copernicus Atmosphere Monitoring Service, Υπηρεσία Παρακολούθησης της Ατμόσφαιρας Κοπέρνικος), μέσω της οποίας αντλήθηκαν δεδομένα, κατά το χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο του 2019 έως και το Δεκέμβριο του 2022, όπου επετεύχθη η εφαρμογή περιορισμών με μεγαλύτερη ή με μικρότερη επιτυχία τήρησης τους από την κοινωνία της εκάστοτε χώρας. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ανάλυσης των επιπτώσεων της μετεωρολογίας για τον πιθανό εντοπισμό μεταβολών των ρύπων κατά την περίοδο των lockdown, καθώς και η σύγκριση αυτών με άλλες παρόμοιες μελέτες. Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκαν και σχολιάστηκαν μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ρύπων στην Ελλάδα σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο των Αθηνών (NOA- National Observatory of Athens). Οι μεταβολές αυτές σχετίζονταν με την ένταση των εκπομπών ανάλογα με την επικρατούσα μετεωρολογική κατάσταση της εκάστοτε πόλης κατά την διάρκεια του lockdown και της εφαρμογής των περιορισμών από τον Μάρτιο 2020 έως τον Ιούνιο 2021. Τέλος, ερευνήθηκαν οι ημερήσιες τιμές των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην πόλη των Χανίων.

### **1.3. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

ήταν να προσδιοριστεί ο αντίκτυπος των παραπάνω στην ποιότητα του αέρα (κατόπιν υπολογισμού των μετεωρολογικών διακυμάνσεων) λόγω των μέτρων που ελήφθησαν παγκοσμίως κατά την χρονική περίοδο έξαρσης του κορωνοϊού και της πανδημίας COVID-19 χρησιμοποιώντας δεδομένα από μετρήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ευρώπη και στην Ασία.

Η εργασία επικεντρώθηκε στους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους που εντοπίστηκαν στην ατμόσφαιρα την περίοδο της έξαρσης της πανδημίας COVID-19. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σύγκριση των ρύπων πριν και μετά την περίοδο των αυστηρών lockdown παγκοσμίως. Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν προέρχονται από διεθνείς έρευνες που πραγματοποιήθηκαν ήδη από την αρχή της πανδημίας και κατά την περίοδο του εγκλεισμού και συνεχίστηκαν καθ' όλη την εξέλιξή της.



## **2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **2.1. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

#### **2.1.1. ΕΥΡΩΠΗ**

Το μεγαλύτερο μέρος της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται σε Ευρωπαϊκές πόλεις, όπως το Μιλάνο και η Ρώμη της Ιταλίας, τα Χανιά της Κρήτης στην Ελλάδα με λίγες αναφορές στο Τορίνο της Ιταλίας, στη Νίκαια και στη Λυών της Γαλλίας, στην Αθήνα της Ελλάδας. Επίσης η μελέτη επεκτείνεται και σε παγκόσμιο επίπεδο σε πόλεις που βρίσκονται σε άλλους ηπείρους, όπως στην Αμερική (με στατιστικά στοιχεία από την Νέα Υόρκη στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και από πόλεις στην Λατινική Αμερική) καθώς και στην Ασία (με στατιστικά και δεδομένα από το Δελχί και την πόλη Γιουχάν).

Το Μιλάνο είναι πόλη της βόρειας Ιταλίας, αποτελεί τη πρωτεύουσα της Λομβαρδίας και είναι η μεγαλύτερη μητροπολιτική περιοχή καθώς και η δεύτερη πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της χώρας. Ο πληθυσμός της απαρτίζεται από 1.368.590 κατοίκους (απογραφή 2016) και η ευρύτερη περιοχή έχει περίπου 7.400.000 κατοίκους (δεύτερη σε πληθυσμό πόλη της Ιταλίας μετά τη Ρώμη). Επίσης κατέχει την τέταρτη θέση σε πληθυσμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη του Μιλάνου, 2022).

Η Ρώμη είναι η πρωτεύουσα της Ιταλίας καθώς έχει 2.874.605 κατοίκους σε 1,287,36 τετραγωνικών χιλιομέτρων (τ. χλμ.), πράγμα που την καθιστά ως την μεγαλύτερη σε πληθυσμό πόλη της χώρας αυτής, καθώς και τρίτη μεγαλύτερη πόλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη της Ρώμης, 2022).

Το Τορίνο είναι πόλη της Ιταλίας, πρωτεύουσα της Πεδεμοντίου και της ομώνυμης επαρχίας, με έκταση 6.829 τ. χλμ. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στους 2.277.686 (απογραφή 2007) κατοίκους (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη του Τορίνο, 2022).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Η Νίκαια θεωρείται η πέμπτη μεγαλύτερη σε έκταση πόλη της Γαλλίας. Είναι πρωτεύουσα του νομού Αλπ-Μαρτίμ. Ο πληθυσμός της ξεπερνά το 1 εκατομμύριο κατοίκους σε μια έκταση 721 τετραγωνικών χιλιομέτρων (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη της Νίκαιας, 2022).

Η Λυών είναι πόλη της Γαλλίας στην νοτιοανατολική πλευρά της και πρωτεύουσα της διοικητικής περιοχής της Ωβέρνης Ρον Αλπ και του νομού Ρον. Θεωρείται ως η τρίτη μεγαλύτερη σε έκταση πόλη της Γαλλίας, μετά το Παρίσι και την Μασσαλία, με πληθυσμό που ανέρχεται τους 2.326.223 κατοίκους (2017), καθιστώντας την ως ένα από τα πιο σημαντικά μητροπολιτικά κέντρα της Ευρώπης (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη της Λυών, 2022).

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα της Ελλάδας από το 1834 και η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της χώρας. Το λεκανοπέδιο της Αθήνας μαζί με τον Πειραιά έχει πληθυσμό περισσότερο από 3 εκατομμύρια κατοίκους (πληροφορίες από την Βικιπαίδεια για την πόλη της Αθήνας, 2022).

Η πόλη των Χανίων βρίσκεται στην βορειοδυτική πλευρά της Κρήτης, και καταλαμβάνει έκταση περίπου 13 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη του νησιού μετά το Ηράκλειο. Ο δήμος Χανίων αριθμεί περισσότερους από 110.646 κατοίκους (πληροφορίες από την Βικιπαίδεια για την πόλη των Χανίων, 2021).

### **2.1.2. ΑΜΕΡΙΚΗ (ΗΠΑ, ΛΑΤΙΝΙΚΗ ΑΜΕΡΙΚΗ)**

Η Νέα Υόρκη είναι η πιο δημοφιλής και πυκνοκατοικημένη πόλη των ΗΠΑ με πάνω από 8.804.190 κατοίκους (απογραφή 2020). Η Αμερική έχει συνολικό πληθυσμό που ξεπερνά τους 332.972.700 κατοίκους (απογραφή 2022). Η πολιτεία της Νέας Υόρκης, έχει πληθυσμό 23,58 εκατομμύρια κατοίκους. Αποτελεί τον πυρήνα ανάπτυξης παγκοσμίως, αφού ενισχύει το εμπόριο, την οικονομία, τα μέσα ενημέρωσης, τη τέχνη, τη μόδα, την έρευνα, την τεχνολογία, την εκπαίδευση και την ψυχαγωγία. Η Νέα Υόρκη αποτελεί το σημαντικότερο κέντρο για τη

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

διεθνή διπλωματία και έχει περιγραφεί ως η πολιτιστική, η τεχνολογική και η οικονομική πρωτεύουσα του κόσμου (πληροφορίες από την Wikipedia για τις ΗΠΑ, 2022).

Η Λατινική Αμερική ορίζεται ως το κεντρικό και νότιο τμήμα της Αμερικής. Σε αυτήν εντάσσονται οι χώρες τις νότιας Αμερικής και της Καραϊβικής. Η έκταση της είναι περίπου 21.069.500 τ. χλμ., που αντιστοιχεί στο 14% της συνολικής επιφάνειας της ξηράς της Γης. Το 2008ο συνολικός πληθυσμός της υπολογίζονταν περίπου στα 570 εκατομμύρια (πληροφορίες από την Wikipedia για την Λατινική Αμερική, 2022).

### **2.1.3. ΑΣΙΑ (ΔΕΛΧΙ, ΓΙΟΥΧΑΝ)**

Η Κίνα είναι χώρα της Ανατολικής Ασίας, καθώς έχει τον μεγαλύτερο πληθυσμό σε κόσμο που ανέρχεται στους 1.411.778.724 κατοίκους (απογραφή 2020). Η έκτασή της υπολογίζεται περίπου 9.596.961 τ. χλμ. Πρωτεύουσα της Κίνας είναι το Πεκίνο. Είναι η μεγαλύτερη γεωγραφικά χώρα στην περιοχή της Ανατολικής Ασίας, καθώς θεωρείται η τέταρτη μεγαλύτερη χώρα στον κόσμο μετά την Ρωσία, τον Καναδά και τις ΗΠΑ.

Η πόλη Γιουχάν ή Ουχάν είναι η πρωτεύουσα της επαρχίας Χουμπέι. Η πόλη έχει πληθυσμό 12.326.500 κατοίκους (απογραφή 2020) (πληροφορίες από την Wikipedia για την πόλη Γιουχάν, 2023).

Η Ινδία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα παγκοσμίως με πληθυσμό -μετά την Κίνα- που ξεπερνά τους 1.393.409.000 κατοίκους (με βάση την μέση εκτίμηση των Ηνωμένων Εθνών για το 2021). Είναι η έβδομη μεγαλύτερη χώρα στον κόσμο με έκταση 3.287.263 τ. χλμ. Εκτείνεται ανάμεσα στα Ιμαλάια όρη και τον Ινδικό Ωκεανό, από τον οποίο ορίζεται στα νότια, νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά. Συνορεύει ανατολικά με το Μπαγκλαντές και τη Μιανμάρ, βόρεια με την Κίνα και τα κρατίδια Μπουτάν και Νεπάλ, βορειοδυτικά με το Πακιστάν, ενώ δυτικά βρέχεται από την Αραβική θάλασσα και νότια-νοτιοανατολικά από τον Ινδικό ωκεανό

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

και τον κόλπο της Βεγγάλης. Το Δελχί είναι η μεγαλύτερη μητρόπολη στην Ινδία από άποψη έκτασης και δεύτερη μεγαλύτερη από άποψη πληθυσμού, μετά την πόλη Μουμπάι. Είναι η όγδοη μεγαλύτερη πόλη του κόσμου με 16,7 εκατομμύρια κατοίκους. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, στην ευρύτερη περιοχή της πόλης (Μητροπολιτική Περιοχή Πρωτεύουσας) κατοικούν 21.753.486 άνθρωποι (πληροφορίες από την Wikipedia για την Ινδία, 2022).

## **2.2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **2.2.1. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ**

Με τον όρο «σταθμοί παρακολούθησης ατμοσφαιρικών ρύπων» εννοούμε τους σημεία μέτρησης, παρακολούθησης και συλλογής δεδομένων από τον ατμοσφαιρικό αέρα και των ατμοσφαιρικών ρύπων που ήδη υπάρχουν ή που προκύπτουν έπειτα από ανθρώπινη παρέμβαση στην ατμόσφαιρα. Τοποθετούνται συνήθως σε αστικές περιοχές (δρόμους, πάρκα και άλλες δημόσιες εκτάσεις) (Λαγουδάκη, 2021). Τα δείγματα λαμβάνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αναλόγως την εκάστοτε τοποθεσία. Οι ειδικοί επιστήμονες μετρούν και καταγράφουν με ακρίβεια τα επίπεδα διαφόρων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου, το τροποσφαιρικό όζον, το βενζόλιο, ο μόλυβδος, τα αιωρούμενα σωματίδια, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Εφόσον συλλεχθούν τα δεδομένα για τα επίπεδα της συγκέντρωσης των παραπάνω ρύπων, αποστέλλονται εντός ολίγων μόνο λεπτών, σε μια κεντρική μονάδα, δίνοντας πρόσβαση τόσο στους ειδικούς επιστήμονες, αλλά ενίοτε και στους απλούς πολίτες, να παρατηρήσουν, να μελετήσουν και να αποκτήσουν μία προσωπική τριβή για τα αίτια μιας πιθανής μεταβολής των επιπέδων των ρύπων. Η δειγματοληψία πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες ώρες αναλόγως με την τοποθεσία, τους

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

μετεωρολογικούς παράγοντες αυτής, την τοπογραφία, την απόσταση του σταθμού μέτρησης από την πηγή εκπομπής, καθώς και την κατανομή των πηγών εκπομπών αυτών (Λαγουδάκη, 2021).

### **2.2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ**

Ως περιβαλλοντικός δείκτης ορίζεται μία ποσοτική ή ποιοτική αποτίμηση των ρύπων της ατμόσφαιρας που εκφράζει έναν μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών παραμέτρων. Μέσω αυτού επιτυγχάνεται η δυνατότητα για αξιολόγηση των περιβαλλοντικών ρύπων που διαχέονται στην ατμόσφαιρα. Η χρήση των δεικτών αυτών καθιστά ευκολότερη την σύγκριση της ποιότητας της ατμόσφαιρας διαφόρων γεωγραφικών περιοχών ή και της ίδιας περιοχής σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Λαγουδάκη, 2021).

### **2.2.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PSI**

Ο πρότυπος δείκτης ρύπων PSI (Pollutants Standard Index) ορίζεται ως ένας δείκτης εκτίμησης της ποιότητας του αέρα, ο οποίος προκύπτει μέσω της παρατήρησης των συγκεντρώσεων του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, του διοξειδίου του θείου, του μονοξειδίου του άνθρακα και των αιωρούμενων σωματιδίων. Κατά την χρήση του μετατρέπονται οι ποσότητες (συγκεντρώσεις) των ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές με πεδίο που κυμαίνεται από 0 έως και 500, αντιστοιχίζοντας τες σε ειδικές κατηγορίες ανάλογα με την τιμή τους και το εύρος τους (πληροφορίες από την airlab για τον πρότυπο δείκτη ρύπων PSI και το δείκτη ποιότητας του αέρα AQI) (AQI, 2004).

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

		AQI		
		Low	High	
Good		0	50	
Moderate		51	100	
Unhealthy 1		101	150	
Unhealthy 2		151	200	
Very unhealthy		201	300	
Hazardous		301	400	
Very hazardous		401	500	

O <sub>3</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	AQI	
129.9	15.4	54.0	5210.4	92.0	0.0	50	
170.5	40.4	154.0	11131.4	389.8	0.0	100	
211.1	65.4	254.0	14684.0	606.3	0.0	150	
251.7	150.4	354.0	18236.6	822.8	1044.6	200	
759.2	250.4	424.0	35999.4	1634.9	1992.8	300	
1023.1	350.4	504.0	47841.4	2176.2	2635.7	400	
1226.1	500.4	604.0	59683.3	2717.6	3278.5	500	

Εικόνα 2.1: Απεικόνιση της κλίμακας PSI και AQI σχετικά με τα επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τους βασικότερους ρύπους αυτής (O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) (AQI, 2004).

Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στην Εικόνα 2.1 και είναι οι ακόλουθες (AQI, 2004):

- 1) Για τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 50, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «καλή», χωρίς απολύτως καμία επιβάρυνση για την υγεία του ατόμου.
- 2) Για τιμές που κυμαίνονται από 51 έως 100, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «μέτρια», με μερικές (λίγες) ή και καμία επιπτώσεις στην υγεία του ατόμου.
- 3) Για τιμές που κυμαίνονται από 101 έως 200, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «ανθυγιεινή», ευάλωτες σε επικείμενα νοσήματα κατηγορίες ανθρώπων μπορούν να παρατηρήσουν ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων τους.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

4) Για τιμές που κυμαίνονται από 201 έως 300, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «πολύ ανθυγιεινή», παρατηρείται σημαντική επιδείνωση των εκτεταμένων συμπτωμάτων ή και εμφάνιση επικίνδυνων για την υγεία συμπτωμάτων σε υγιή άτομα.

5) Για τιμές που κυμαίνονται από 300 και πάνω, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «επικίνδυνη», παρατηρείται πρόωρη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών, πιθανότητα αύξησης επιδείνωσης συμπτωμάτων καθώς και μείωση ορίων αντοχής στην έκθεση ασθενειών σε υγιή άτομα.

#### **2.2.4. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ AQI**

Ο ΠΟΥ ορίζει κατευθυντήριες τιμές για τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους, ωστόσο οι εθνικές ρυθμιστικές οριακές τιμές ποικίλλουν ευρέως και συχνά είναι λιγότερο αυστηρές από τις κατευθυντήριες τιμές του ΠΟΥ, ανάλογα με την εκάστοτε χώρα. Ο δείκτης ποιότητας του αέρα AQI (Air Quality Index) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται από τις κρατικές υπηρεσίες για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επικρατούν ή προβλέπεται να επικρατήσουν. Έχει επίσης ως στόχο τον καθορισμό προτύπων, όταν παρατηρείται η ταυτόχρονη παρουσία πολλαπλών ρύπων (πληροφορίες από την home assistant για το AQI).

Έχουν καθιερωθεί για το AQI οι παρακάτω πέντε σημαντικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι που ρυθμίζονται από τον νόμο περί καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα. Κάθε ένας από αυτούς τους ρύπους έχει ένα εθνικό πρότυπο ποιότητας του αέρα (ανώτατο επιτρεπτό όριο), το οποίο έχει οριστεί για την προστασία της δημόσιας υγείας:

- όζον σε επίπεδο εδάφους
- σωματιδιακή ρύπανση
- μονοξείδιο του άνθρακα

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

- διοξείδιο του θείου
- διοξείδιο του αζώτου

Ο δείκτης AQI παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της ποιότητας του αέρα βάσει συγκεκριμένων μετρήσεων που γίνονται από τους σταθμούς παρακολούθησης της εκάστοτε περιοχής και χρονικής περιόδου. Επικεντρώνεται στους ακόλουθους 5 βασικούς επιβλαβείς ρύπους: τα αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub>, το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Το εύρος των τιμών κυμαίνεται ανάλογα με τον ρύπο που μελετάται (πληροφορίες από την airlab για το PSI και το AQI, 2004).

Air Quality Index (AQI) Τιμές	Επίπεδα αναφορικά με την υγεία	Χρωματική κλίμακα
Όταν ο δείκτης (AQI) είναι στην περιοχή:	...οι συνθήκες ποιότητας του αέρα είναι:	...συμβολιζόμενες με το χρώμα:
0 to 50	Καλή	Πράσινο
51 to 100	Μέτρια	Κίτρινο
101 to 150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες	Πορτοκαλί
151 to 200	<b>Ανθυγιεινή</b>	<b>Κόκκινο</b>
201 to 300	<b>Πολύ Ανθυγιεινή</b>	<b>Πορφυρό</b>
301 to 500	<b>Επικίνδυνη</b>	<b>Βυσσινί</b>

Εικόνα 2.2.: Απεικόνιση της κλίμακας AQI ως προς τη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (AQI, 2019)

Η ποιότητα του αέρα κατηγοριοποιείται ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει (δείκτη) στην κλίμακα AQI (Εικόνα 2.2), που επεξηγείται στη συνέχεια (πληροφορίες από την airlab για το PSI και το AQI, 2004):



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

- 1) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 0-50, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «καλή».
- 2) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 51-100, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «μέτρια».
- 3) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 101-150, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες».
- 4) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 151-200, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «ανθυγιεινή».
- 5) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 201-300, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «πολύ ανθυγιεινή».
- 6) Όταν ο δείκτης AQI είναι στο εύρος τιμών 300-500, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «πολύ επικίνδυνη».

### **2.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ**

Για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων μέτρησης των ρύπων έγινε προσεκτική χρήση ειδικών προγραμμάτων, που είναι υπεύθυνα για τη μέτρηση και την συλλογή δεδομένων για αυτά.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

### **2.3.1. ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ W.A.Q.I. (WORLD'S REAL-TIME AIR QUALITY INDEX)**



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση του δείκτη εκτίμησης και ανάλυσης W.A.Q.I.

Ο δείκτης Εκτίμησης και ανάλυσης ατμοσφαιρικών ρύπων W.A.Q.I. (World's Real-Time Air Quality Index) (Εικόνα 2.3) χρησιμοποιείται σε περισσότερους από 30.000 σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε αστικά κέντρα ανά τον κόσμο και είναι βασισμένος στο πρότυπο της US EPA (USA Environmental Protection Agency, Αμερικάνικη Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας). Ο δείκτης αυτός επικεντρώνεται στην μέτρηση των 6 παρακάτω ρύπων: Αιωρούμενα σωματίδια ( $PM_{2,5}$  και  $PM_{10}$ ), Διοξείδιο του Αζώτου ( $NO_2$ ), Διοξείδιο του Θείου ( $SO_2$ ), Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO) και τροποσφαιρικό Όζον (πληροφορίες από την home assistant για το AQI).

Ανάλογα με τα επίπεδα των τιμών των ρύπων αυτών δημιουργούνται οι εξής κατηγορίες (πληροφορίες από την home assistant για το AQI):

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

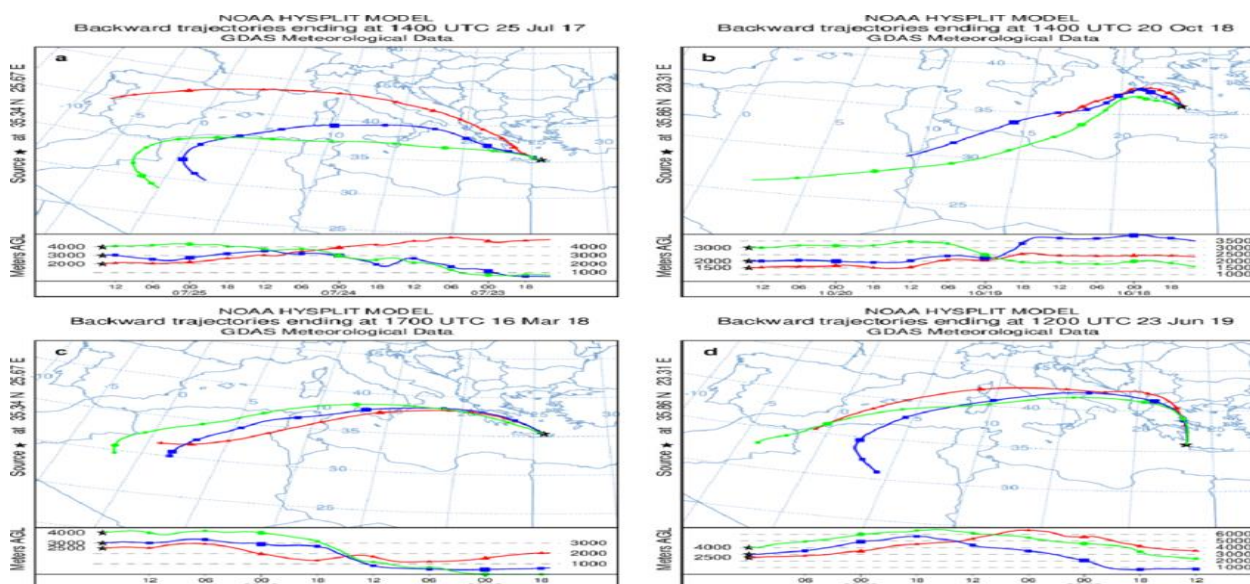
- 1) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών 0-50, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «καλή» και θεωρείται ικανοποιητική, χωρίς καμία επιβάρυνση στην υγεία του ανθρώπου.
- 2) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών 51-100, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «μέτρια» και θεωρείται αποδεκτή, δημιουργώντας συμπτώματα σε ευπαθείς ομάδες.
- 3) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών 101-150, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «ανθυγιεινή για ευπαθείς ομάδες», παρουσιάζοντας επιπτώσεις στην υγεία των ευπαθών ομάδων.
- 4) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών 151-200, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «ανθυγιεινή» και θεωρείται επιβλαβής για την υγεία των ευπαθών ή μη ομάδων.
- 5) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών 201-300, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «πολύ ανθυγιεινή», καθώς γίνονται προειδοποιήσεις υγείας για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ολόκληρος ο πληθυσμός είναι σε κατάσταση κινδύνου.
- 6) Για τιμές W.A.Q.I. που κυμαίνονται στο εύρος τιμών από 300 και πάνω, η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται ως «επικίνδυνη» καθώς όλη η κοινωνία είναι εκτεθειμένη στον κίνδυνο.

### **2.3.2. MONTELO EKTIMΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ HYSPLIT (HYBRID SINGLE-PARTICLE LAGRANGIAN INTEGRATED TRAJECTORY)**

Το μοντέλο HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory, υβριδική μονοσωματιδιακή ολοκληρωμένη Λαγκρανζιανή τροχιά) είναι ένα πλήρες εξοπλισμένο σύστημα για τον υπολογισμό και την εκτίμηση της μεταφοράς, της διασποράς και της

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

εναπόθεσης των οπισθοπορειών των αερίων μαζών. Το λογισμικό αυτό επί της ουσίας δημιουργεί μοντέλα προσομοιώσεων για μακράς διάρκειας μεταφορά, διάχυση και τελική απόθεση ρύπων. Για να επιτευχθεί ο ακριβής υπολογισμός μιας οπισθοτροχιάς απαιτείται μια απαραίτητη χρήση εισαγωγής δεδομένων εισόδου. Το μοντέλο HYSPLIT χρησιμοποιεί τα μετεωρολογικά δεδομένα FNL (Final Run, τελικός γύρος) σε κάθε υπό μελέτη περιοχή για μια συγκεκριμένη ημερομηνία βάση των δεδομένων GDAS (Global Data Assimilation System, Παγκόσμιο Σύστημα Αφομοίωσης Δεδομένων), τα οποία αναλύει για 6 ώρες. Εν συνεχεία, επιτυγχάνεται η εισαγωγή των συντεταγμένων (ή του κωδικού του καταχωρημένου κράτους της εκάστοτε περιοχής μελέτης). Αφού επιλεχτεί το backward, εισάγουμε την συγκεκριμένη, ακριβή ημερομηνία και την ώρα, το χρόνο (Run Time) που θέλουμε να υπολογιστεί η οπισθοτροχιά της αέριας μάζας, καθώς και το ύψος που θέλουμε τελικά να υπολογιστεί. Το αποτέλεσμα αυτού θα είναι μια εναέρια φωτογραφία μεγάλης ακρίβειας (Εικόνα 2.4) που θα απεικονίζει την πορεία που διέσχισε η προαναφερόμενη αέρια μάζα μέχρι να φτάσει στην περιοχή μελέτης, καθώς και ένα διάγραμμα των υψών κίνησης της (πληροφορίες από την ιστοσελίδα για το μοντέλο HYSPLIT, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022).

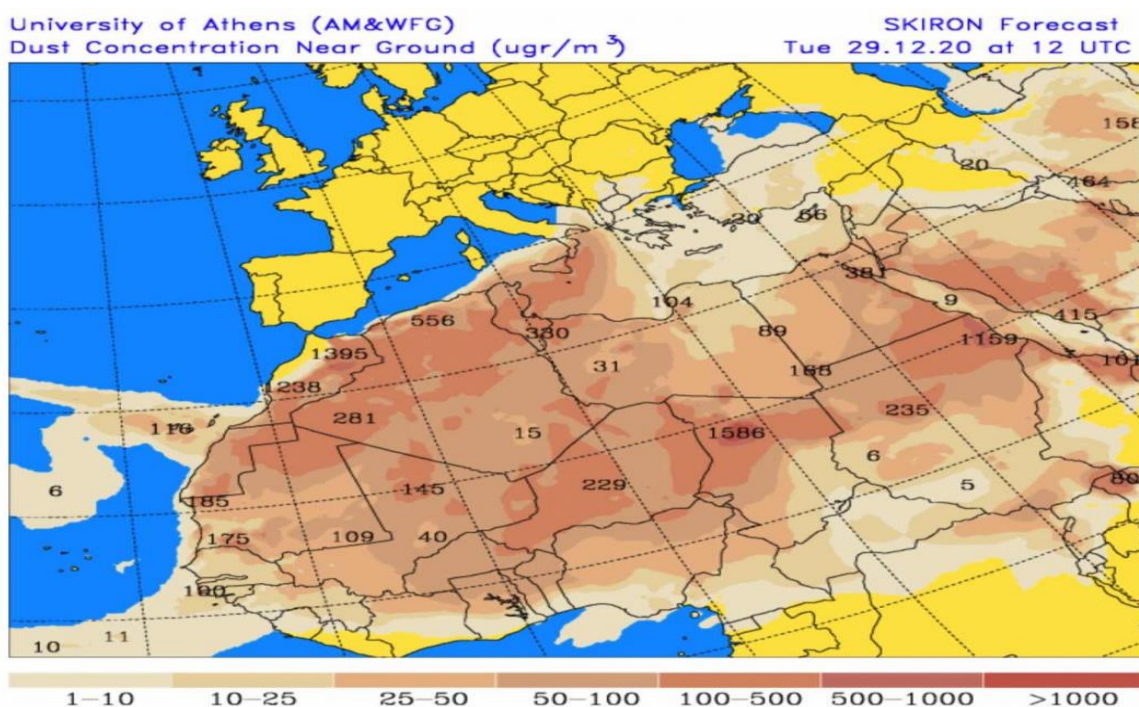


Εικόνα 2.4.: Απεικόνιση ενός μοντέλου εκτίμησης και ανάλυσης HYSPLIT (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022)

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

### 2.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ SKIRON

Το SKIRON είναι το πιο ολοκληρωμένο προγνωστικό μοντέλο, του οποίου η χρήση γίνεται παγκοσμίως. Βασίζεται στο μοντέλο Eta/NCEP (National Centers for Environmental Prediction, Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης) καθιστώντας το ως το πιο σημαντικό πρόγραμμα για την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Μέσω εξισώσεων Euler προκύπτουν προβλέψεις που σχετίζονται με το ποσοστό της συγκέντρωσης σκόνης στο έδαφος, το συνολικό φορτίο της και εναπόθεσης της από το βόρειο τμήμα της Αφρικής προς τα βορειοανατολικά και βορειοδυτικά πέρα από τον Ατλαντικό και μέχρι νότια των ΗΠΑ (Εικόνα 2.5). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα πενήμερης πρόγνωσης της ατμοσφαιρικής κατάστασης για τις παραπάνω προβλέψεις (Λαγουδάκη, 2021).



Εικόνα 2.5. Απεικόνιση του μοντέλου SKIRON MODEL (Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2023)

## **2.4. ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

Τα παγκόσμια μέτρα περιορισμού της κυκλοφορίας lockdown επηρέασαν έντονα τον τομέα των μεταφορών. Για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος που έχει συνήθως ο τομέας των μεταφορών στις εκπομπές ρύπων για κάθε χώρα, διερευνήθηκε ένα σενάριο εκπομπών «business as usual» χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων για την παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research, Βάση δεδομένων εκπομπών για την παγκόσμια ατμοσφαιρική έρευνα). Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων έχει δημόσια διαθέσιμες χρονοσειρές συγκεντρώσεων ρύπων για το χρονικό διάστημα 1970–2015 (Gaubert et al., 2021). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα πιο πρόσφατα δεδομένα του έτους 2015.

Οι πηγές των εκπομπών ρύπανσης της ατμόσφαιρας διαχωρίζονται σε:

- μεταφορές,
- ενέργεια και μεταποίηση,
- βιομηχανικές και άλλες διεργασίες,
- κτίρια και διάφορα,
- και γεωργία με ενοποίηση των κατηγοριών εκπομπών της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

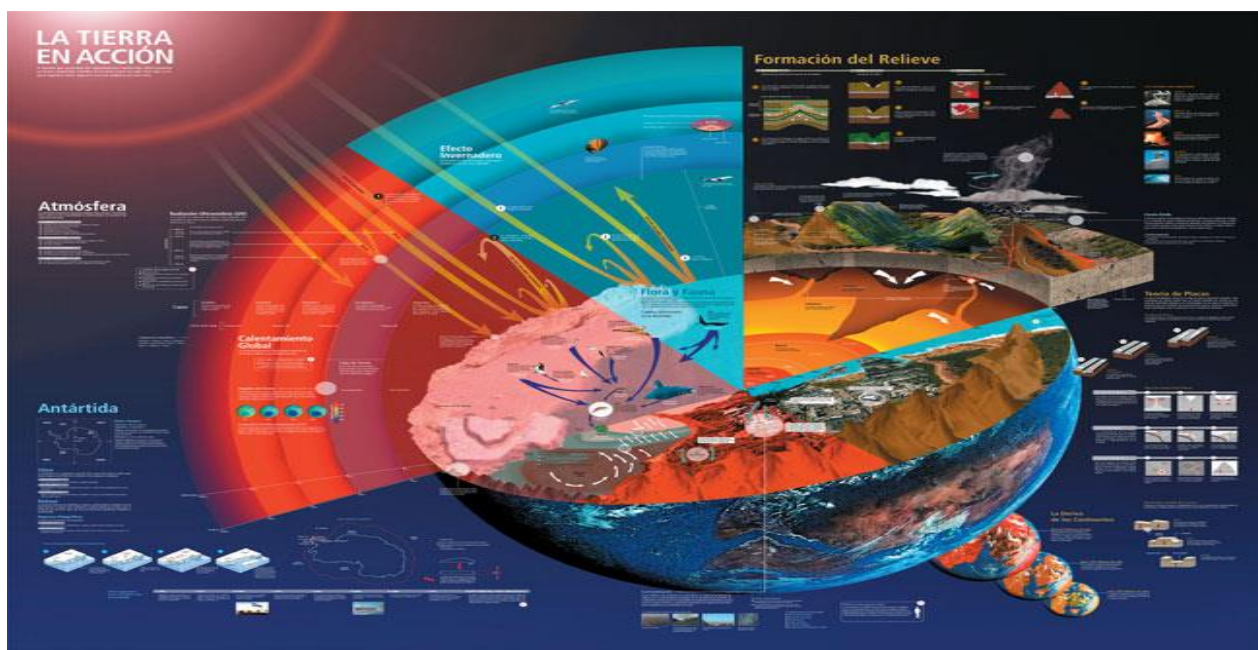
## **2.5. ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

### **2.5.1. ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΤΡΟΠΟΜΙ**

Το όργανο μέτρησης, παρακολούθησης και καταγραφής ατμοσφαιρικών ρύπων στην τροπόσφαιρα, TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) ανήκει στην Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία και αποτελείται από φασματοφωτόμετρα πλέγματος που καλύπτουν

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

τρεις φασματικές ζώνες σε μήκη κύματος εντός του εύρους από 270 έως 2.385 nm. Η ανάλυση και καταγραφή των δεδομένων αυτών παρακολουθείται κάθε ημέρα σε ολόκληρο τον πλανήτη, μόνο τις ώρες της ημέρας κατά τις οποίες υπάρχει φως. Με το φασματοφωτόμετρο καταγράφονται, μεταξύ και πολλών άλλων, αιωρούμενα σωματίδια, όπως είναι για παράδειγμα το Διοξείδιο του Αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), το Διοξείδιο του Θείου ( $\text{SO}_2$ ), το Μονοξείδιο του Άνθρακα ( $\text{CO}$ ), το τροποσφαιρικό Όζον ( $\text{O}_3$ ), η φορμαλδεΐδη, το μεθάνιο ( $\text{CO}_4$ ), η σύσταση των νεφών, η ακτινοβολία κ.ά. (Εικόνα 2.6) (<http://www.tropomi.eu/>).



Εικόνα 2.6.:Απεικόνιση της λειτουργίας του οργάνου TROPOMI (TROPOMI, 2019)

Κατά την περίοδο εφαρμογής των μέτρων περιορισμού και καραντίνας, η Κίνα σημείωσε την μεγαλύτερη πτώση στις τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως, λόγω της καθολικότητας της τήρησης των μέτρων αυτών. Η Κίνα θεωρητικά αποτέλεσε την αφετηρία της διασποράς του κορωνοϊού, πράγμα το οποίο ανάγκασε την κυβέρνηση της να εφαρμόσει άμεσα, δραστικά μέτρα κατά της διασποράς του κορωνοϊού. Τα μέτρα lockdown εφαρμόστηκαν από τον Φεβρουάριο του 2020 και άρθηκαν μερικώς τον Απρίλιο του 2020. Όπως ήταν προφανές, ο ρύπος  $\text{NO}_2$  για τον μήνα Απρίλιο του 2020, σύμφωνα με

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

τροποσφαιρικές μετρήσεις του οργάνου TROPOMI σημείωσε τεράστια πτώση σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του 2019. Το όργανο TROPOMI χρησιμοποιήθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο (Ηνωμένες Πολιτείες, Καναδάς, Ευρώπη, Ινδία Ανατολική Ασία κ.α.), λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης του.

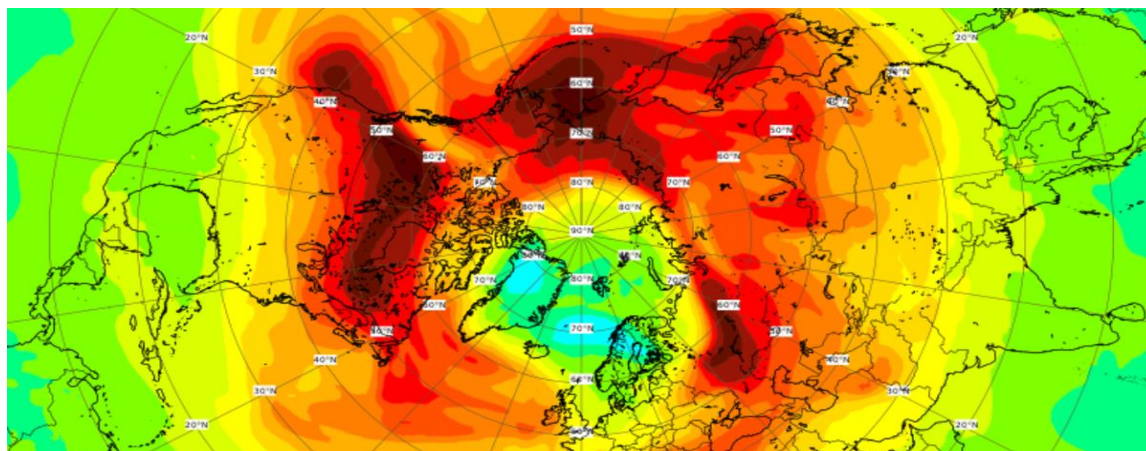
Το καινοτόμο όργανο TROPOMI επιτυγχάνει τη «χαρτογράφηση» των σημαντικότερων αερίων της ατμόσφαιρας (όπως το μεθάνιο, το μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, η φορμαλδεΰδη και το όζον) τα οποία συνεισφέρουν σημαντικά στην υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και ως εκ τούτου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τόσο το κλίμα όσο και την υγεία των ανθρώπων. Η χωρική ανάλυση του οργάνου αυτού, δίνει την δυνατότητα στην επιστημονική κοινότητα να εξαγάγει μια απεικόνιση μεγάλης ακρίβειας, της ποιότητας της ατμόσφαιρας, καθώς ακόμη και των πηγών εκπομπής των ρύπων, είτε σε αστικό είτε σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελικά συμπεράσματα που εξάγονται μέσω του οργάνου αυτού εξαρτώνται από το κλίμα, τις περιόδους καραντίνας, τους δείκτες αυστηρότητας και τήρησης των μέτρων, την καθολικότητα των μέτρων και την εποχή της εκάστοτε περιοχής (Hammer et al., 2021).

### **2.5.2.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ CAMS**

Τα αποτελέσματα της εκ νέου ανάλυσης της Υπηρεσίας Παρακολούθησης της Ατμόσφαιρας «Κοπέρνικος» (Copernicus Atmosphere Monitoring Service - CAMS) (Εικόνα 2.7) χρησιμοποιήθηκαν για τη ορθή και με μεγάλη ακρίβεια διόρθωση της μεταβλητότητας της μετεωρολογίας μεταξύ των μηνών από το ξέσπασμα του κορωνοϊού το 2019 έως το τέλος του 2020. Οι εκπομπές που χρησιμοποιήθηκαν στην εκ νέου ανάλυση των δεδομένων της υπηρεσίας CAMS βασίστηκαν στη «συνήθη δραστηριότητα» χωρίς καμία επιρροή πιθανών μεταβολών λόγω της πανδημίας COVID-19.



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*



Εικόνα 2.7.: Απεικόνιση της λειτουργίας του οργάνου παρακολούθησης της ατμόσφαιρας CAMS

Τα πεδία CAMS-3D ήταν υπεύθυνα για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων του  $\text{NO}_2$ , ενώ τα όργανα TROPOMI χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μηνιαίου μέσου όρου αυτών. Τα πρώτα παρεμβλήθηκαν σε θέση και χρόνο από τα αντίστοιχα των δεδομένων του οργάνου TROPOMI. Οι μέσοι όροι των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να ληφθεί μια ακριβής απεικόνιση των δεδομένων που διεξάχθηκαν. Τα δεδομένα τα οποία διεξάχθηκαν, συγκρίθηκαν με το έτος 2019 έχοντας ως σημαντικότερο αντικείμενο παρατήρησης το ρύπο  $\text{NO}_2$  (Chu et al., 2021).

### **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΥΡΥΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

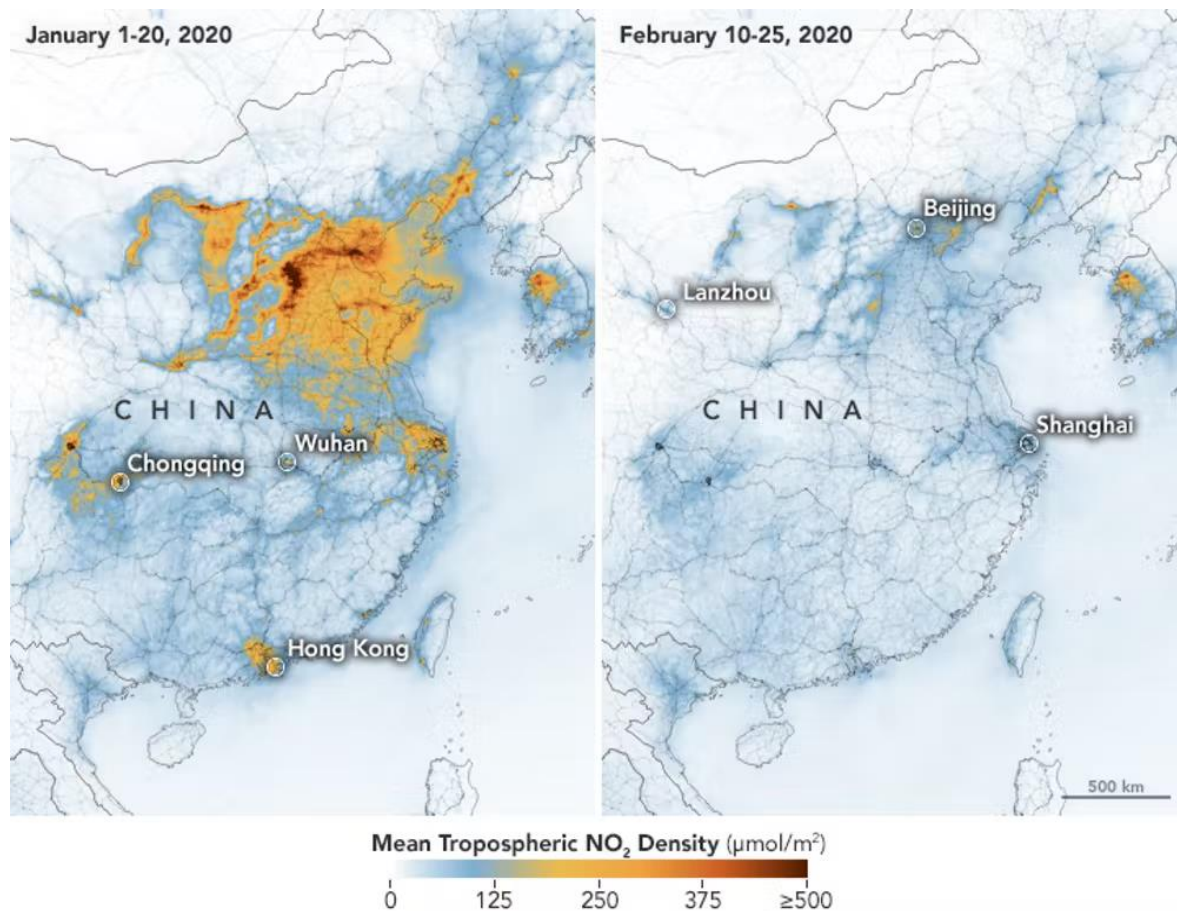
#### **3.1. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ**

Είναι γνωστό ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αποδυναμώνει το ανοσοποιητικό σύστημα, θέτοντας σε κίνδυνο την ικανότητα των ανθρώπων να καταπολεμούν μολυσματικούς ιούς, όπως είναι για παράδειγμα ο SARS-CoV-2 που προκάλεσε την πανδημία COVID-19. Στο ξέσπασμα της πανδημίας του SARS στην Κίνα το έτος 2003 αποδείχτηκε, ότι οι μολυσμένοι ασθενείς σε περιοχές με υψηλότερη ατμοσφαιρική ρύπανση είχαν 84% περισσότερες πιθανότητες να πεθάνουν από ότι θα είχαν αν κατοικούσαν σε λιγότερο ρυπασμένες περιοχές (Yuan et al., 2021).

Από σχετική έρευνα των ΗΠΑ, βρέθηκε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας της επιδείνωσης και της εξάπλωσης της πανδημίας COVID-19 καθώς σε περιοχές όπου έχουν καταγραφεί μεγάλα ποσοστά ρύπων, έχει παρατηρηθεί ταυτόχρονη αύξηση των επιπλοκών στην υγεία των ατόμων που ζουν σε τέτοια περιβάλλοντα, καθώς και των θανάτων.

Μετά από πρόσφατη έρευνα που διεξάχθηκε, βρέθηκε ότι η μεταφορά των σωματιδίων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (δηλαδή η μεταφορά αναπνεύσιμων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>) στην ατμόσφαιρα) λειτουργεί βοηθητικά στην γρηγορότερη μετάδοση του ιού. Για παράδειγμα, μια αύξηση μόλις 1 μg ανά κυβικό μέτρο σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> σχετίζεται με αύξηση κατά 8% στο ποσοστό θνησιμότητας από τον COVID-19. Ταυτόχρονα βρέθηκε ότι σε ποσοστό μόλις 9,4% επιπλέον κρουσμάτων του συγκεκριμένου ιού COVID-19, καταγράφηκε άνοδος κατά 3,0% σε εισαγωγές στο νοσοκομείο, και κατά 2,3% σε θανάτους (Zalakeviciute et al., 2020). Ο ΠΟΥ είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα (Zalakeviciute et al., 2020).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*



Εικόνα 3.1 Συγκριτική εικόνα του μέσου όρου των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) σε περιοχή της Κίνας σε διάστημα ενός μήνα πριν και μετά την εφαρμογή περιοριστικών μέτρων (Ιανουάριος 2020 έως Φεβρουάριος 2020).

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται-σε περιοχή της Κίνας- ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων του αερίου φωτοχημικού ρύπου NO<sub>2</sub> σε διάστημα ενός μήνα: από τον Ιανουάριο του 2020 (πριν την εφαρμογή μέτρων περιορισμού και καραντίνας) έως τον Φεβρουάριο του 2020 (μετά την εφαρμογή μέτρων περιορισμού και καραντίνας). Παρόλο που εξετάζεται ένα σύντομο χρονικό διάστημα, τα επίπεδα του ρύπου NO<sub>2</sub> μειώθηκαν αισθητά. Στη Νότια Κορέα, ωστόσο, οι συγκεντρώσεις παρέμειναν σχετικά υψηλές κατά το μήνα Φεβρουάριο του 2020, καθώς δεν εισήλθε τόσο γρήγορα σε lockdown σε σύγκριση με την Κίνα, όπου εφαρμόστηκαν σκληρά μέτρα περιορισμού από πολύ νωρίς.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Μελέτες έχουν δείξει θετικές συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστών θνησιμότητας από τη νόσο COVID-19 και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όπως προαναφέρθηκε, με κάθε αύξηση 1  $\mu\text{g}$  στις ετήσιες συγκεντρώσεις των αναπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων  $\text{PM}_{2.5}$ , σημειώνεται αύξηση κατά 8% στο ποσοστό θνησιμότητας (Dai et al., 2021).

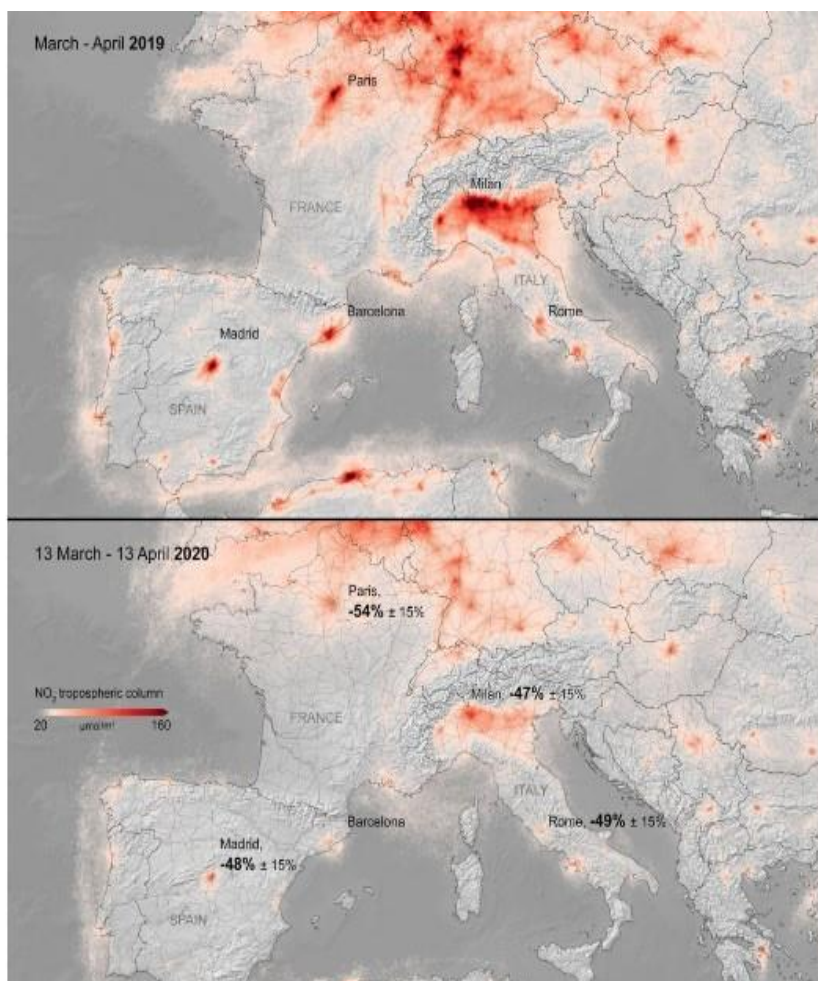
Επίσης, σε περιοχές με μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) όπως είναι η Γαλλία, η Ισπανία, η Γερμανία και η Ιταλία, έχουν βρεθεί πάνω από 78% θάνατοι από COVID-19. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών δείχνουν ότι τα άτομα τα οποία εκτίθενται σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση ρύπων ή αιωρούμενων σωματιδίων είναι πιο πιθανό να παρουσιάσουν κλινικές επιπλοκές κατά την μόλυνση τους από COVID-19 ή άλλους αναπνευστικούς ιούς (Kumar et al., 2020), σε σύγκριση με άτομα τα οποία ζουν σε περιβάλλον με μικρότερο ποσοστό ρύπων ή αιωρούμενων σωματιδίων.

Περίπου το 60% του πληθυσμού της Χιλής (10 εκατομμύρια άνθρωποι) εκτίθενται σε περιβάλλον με μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5  $\text{mm}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ), οι οποίες υπερβαίνουν το ετήσιο όριο των 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  όπου έχει καθοριστεί από τα Εθνικά πρότυπα ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα (NAAQS- National Ambient Air Quality Standards). Λαμβάνοντας υπόψη τα κατευθυντήρια όρια που θεσπίστηκαν από τον ΠΟΥ, όπου καθόρισε την ανώτατη ετήσια επιτρεπτή τιμή των  $\text{PM}_{2.5}$  στα 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ , όπως είναι φυσικό, το ποσοστό του εκτεθειμένου πληθυσμού σε  $\text{PM}_{2.5}$  της Χιλής (60%) θα αυξηθεί πολύ περισσότερο.

Από πρόσφατες εκτιμήσεις της παγκόσμιας εκστρατείας Breathe Life περί του καθαρού αέρα, υπό την αιγίδα του ΠΟΥ, του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και της Παγκόσμιας Τράπεζας, έδειξαν ότι 6.500 θάνατοι κατά το έτος 2020 αποδόθηκαν στα μεγάλα ποσοστά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Kumar, et al. 2020). Μια άλλη εκτίμηση του State of Global Air Report που κατέγραψε μία ολοκληρωμένη ανάλυση των επιπέδων της ποιότητας του αέρα, παγκόσμιου βεληνεκούς για το έτος 2020, σε συνεργασία με το Global Burden of Disease (Παγκόσμια επιβάρυνση της ασθένειας), που εκπονήθηκε από το Ινστιτούτο Επιπτώσεων Υγείας HEI (Health Effects Institute) και το Ινστιτούτο Μετρήσεων και Αξιολόγησης Υγείας IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation), έδειξαν ότι

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

περίπου 5.900 θάνατοι κατά το έτος 2020 οφείλονταν σε υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης των  $PM_{2.5}$ .



Εικόνα 3.2.: Συγκριτική εικόνα του μέσου όρου των συγκεντρώσεων του ρύπου  $NO_2$  στην Ευρώπη σε διάστημα ενός έτους (2019-2020).

Στην παραπάνω εικόνα 3.2. αποτυπώνονται τα ποσοστά ρύπανσης της Ευρώπης από το  $NO_2$ , σε διάστημα ενός έτους (2019-2020). Στον επάνω χάρτη απεικονίζεται η συγκέντρωση του  $NO_2$  σε διάφορες χώρες της Ευρώπης κατά το τον Μάρτιο–Απρίλιο του 2019 όταν δεν είχε ξεσπάσει ακόμη η πανδημία και δεν είχαν επιβληθεί μέτρα περιορισμού και καραντίνας. Στον κάτω χάρτη παρουσιάζεται αντιστοίχως, η συγκέντρωση του  $NO_2$  τον Μάρτιο–Απρίλιο του

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

2020 κατά την εφαρμογή περιοριστικών μέτρων και lockdown στην Ευρώπη. Οι συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα επάνω από τη θάλασσα νότια της Βρετανίας φαίνεται να μη μειώθηκαν σχεδόν καθόλου. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην καθυστέρηση της Βρετανίας να εισέλθει σε κατάσταση lockdown καθώς και στις πιθανές μετακινήσεις.

Επιφανειακές μετρήσεις που διεξάχθηκαν σε περισσότερους από 800 σταθμούς παρακολούθησης (Shi & Brasseur, 2020), δείχνουν ότι στη βόρεια Κίνα κατά τις αρχές του έτους 2020, ο μέσος όρος των επιπέδων των αναπνεύσιμων σωματιδίων (PM<sub>2.5</sub>) και διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) έχουν μειωθεί κατά περίπου 29±22% και 53±10% αντίστοιχα, μετά από την θεσμοθέτηση του lockdown, ενώ κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος O<sub>3</sub> (δευτερογενής ρύπος που ευθύνεται για σοβαρά προβλήματα υγείας) έχει αυξηθεί κατά 1,5–2% (Bedi et al., 2020).

Δορυφορικά δεδομένα που ήταν υπεύθυνα για την παρακολούθηση της μεταβολής των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub>, σημείωσαν σημαντικές μειώσεις της τάξης των 40% κατά μέσο όρο στις κινεζικές πόλεις λόγω των αυστηρών μέτρων περιορισμού. Κατά το έτος 2020, στη Δυτική Ευρώπη και στις ΗΠΑ σημειώθηκε μεγάλη μείωση των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub>, σε ποσοστό 20–38% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του έτους 2019. Επίσης με τον ίδιο τρόπο διερευνήθηκαν 34 ακόμη χώρες του κόσμου σε ένα δίκτυο μεγαλύτερο από 10.000 σταθμούς ποιότητας αέρα. Οι παραπάνω μελέτες αναλύθηκαν μετά από συνυπολογισμό των επιπτώσεων της μετεωρολογικής μεταβλητότητας και βρέθηκε ότι για τη παρακολούθηση των μεταβολών των συγκεντρώσεων των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων στην τροπόσφαιρα και στο έδαφος, καθίσταται αναγκαία η χρήση δορυφορικών δεδομένων (Bedi et al., 2020).

Σε μια πρόσφατη μελέτη στο Ρίο ντε Τζανέιρο και το Σάο Πάολο της Βραζιλίας κατά την εφαρμογή του lockdown, καταγράφηκε σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Η ίδια μελέτη έδειξε επίσης ότι την ίδια περίοδο οι συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> αυξήθηκαν. Η μείωση μεταξύ 9% και 69% σε CO, NO<sub>2</sub> και σωματιδιακή ύλη παρατηρήθηκε επίσης και στη Βόρεια και Νότια Αμερική. Άλλη μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Σαουδική Αραβία, σχετικά με τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων πριν και μετά το lockdown εξήγαγε το

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

συμπέρασμα ότι εξαιρουμένου του τροποσφαιρικού  $O_3$ , οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων μειώθηκαν από 6% έως 86% (Bray et al., 2021).

Επίσης εξετάστηκαν οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις του  $NO_2$ , του μαύρου άνθρακα (BC, Black Carbon), των εισπνεύσιμων  $PM_{10}$  και του τροποσφαιρικού  $O_3$  κατά τη διάρκεια του lockdown στη Βαρκελώνη της Ισπανίας και διαπιστώθηκε ένα παρόμοιο μοτίβο που παρατηρήθηκε σε άλλες τοποθεσίες, σημειώνοντας σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις όλων των ρύπων εκτός από αυτές του τροποσφαιρικού  $O_3$ . Επιπλέον, οι ημερήσιες παγκόσμιες εκπομπές του  $CO_2$  μειώθηκαν κατά 17% (-11 έως -25%) έως και τις αρχές Απριλίου 2020 σε σύγκριση με τα μέσα επίπεδα του έτους 2019 (Mandal & Pal, 2020).

Έχοντας ως βάση τα επίγεια δεδομένα 162 σταθμών παρακολούθησης από 12 πόλεις σε όλο τον κόσμο, οι Kumari και Toshniwal (2020) εξέτασαν το παγκόσμιο αντίκτυπο της πανδημίας COVID-19 στην ποιότητα του αέρα (Kumar et al., 2020). Οι συγκεντρώσεις των  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  και  $NO_2$  μειώθηκαν κατά 20–34%, 24–47% και 32–64%, αντίστοιχα, λόγω του περιορισμού εκπομπής ρύπων από ανθρωπογενής παράγοντες κατά τη διάρκεια του lockdown. Ωστόσο, το επίπεδο της συγκέντρωσης του  $SO_2$  παρουσίασε μικτή τάση κατά τη περίοδο του lockdown. Σε μερικές πόλεις, όπως είναι η Λίμα, η Μαδρίτη, η Μόσχα, η Ρώμη, το Σάο Πάολο και η Γιουχάν, η συγκέντρωση του  $SO_2$  παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη σε περιόδους lockdown καθώς η κύρια πηγή εκπομπής  $SO_2$  είναι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι παρέμειναν λειτουργικοί όλο το χρονικό διάστημα της εφαρμογής των μέτρων περιορισμού και καραντίνας.

Συνολικά από δορυφορικές μετρήσεις βρέθηκε πώς η ατμοσφαιρική ρύπανση μειώθηκε αισθητά σε πόλεις όπου εφαρμόστηκαν δραστικά μέτρα περιορισμού κατά τον περιορισμό της εξάπλωσης της πανδημίας COVID-19 (Wang et al., 2020). Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν στην συνέχεια από εδαφικές μετρήσεις (Yuan et al., 2021).

Για την παγκόσμια ατμοσφαιρική έρευνα EDGAR παρέχεται μία βάση δεδομένων εκπομπών ρύπων, δηλαδή καταγραφές των συγκεντρώσεων διαφόρων ρύπων και των μεταβολών τους λόγω του ξεσπάσματος της πανδημίας COVID-19. Το ενδιαφέρον της έρευνας αυτής επικεντρώνεται σε ρύπους που σχετίζονται με τις μεταφορές, την ενέργεια, και τις βιομηχανίες.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Ο μέσος όρος των ρύπων από τη συμβολή των μεταφορών ήταν 36% (15%-51%), 8% (3%-19%) από την εκπομπή  $\text{NO}_x$ , και 30% (5%-70%) από  $\text{CO}$  αντίστοιχα (Chu et al., 2021).

Οι χώρες διαχωρίστηκαν, σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες, και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή ώστε να εξεταστούν οι διαφορές που υπάρχουν στην συμβολή των διαφόρων πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η διάμεση συνεισφορά των μεταφορών στις αναπτυσσόμενες χώρες ήταν 44% (36%-56%), 14% (8%-19%) και 25% (17%-44%) όσον αφορά στις εκπομπές των  $\text{NO}_x$ , των  $\text{PM}_{2,5}$  και του  $\text{CO}$ , αντίστοιχα, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες ήταν 29% (5%-49%), 9% (2%-42%) και 35% (1%-75%) αντίστοιχα. Τα μέτρα περιορισμού των μεταφορών κατά τη διάρκεια των lockdown είχαν μεγαλύτερο αντίκτυπο στις εκπομπές  $\text{CO}$  και  $\text{NO}_x$  σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των  $\text{PM}_{2,5}$  (Chu et al., 2021).

Σημαντικές μειώσεις παρουσίασαν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές σε όλο τον κόσμο, οι συγκεντρώσεις του  $\text{NO}_2$ , υποδηλώνοντας με τον τρόπο αυτό, ότι τα μέτρα lockdown που επιβλήθηκαν και η επακόλουθη μείωση στις μεταφορές και τις βιομηχανικές δραστηριότητες επηρέασαν τις παγκόσμιες εκπομπές  $\text{NO}_2$  (Habibi et al., 2020).

Συγκεκριμένα οι μεγαλουπόλεις που είχαν ανιχνεύσιμες μειώσεις στις συγκεντρώσεις του  $\text{NO}_2$ , είναι το Παρίσι (Γαλλία), η Νέα Υόρκη, το Λος Άντζελες (Ηνωμένες Πολιτείες), το Σάο Πάολο (Βραζιλία), το Νέο Δελχί (Ινδία) και το Πεκίνο (Κίνα). Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα που υπογραμμίζει την επίδραση που είχαν τα μέτρα περιορισμού στις μειώσεις των εκπομπών των ρύπων είναι η Ινδία, χώρα με τους αυστηρότερους περιορισμούς τον Απρίλιο ( $\text{SI}=98.6$ , Stringency Index, Δείκτης Αυστηρότητας), η οποία παρουσίασε τη μεγαλύτερη μείωση στην συγκέντρωση του  $\text{NO}_2$ , παγκοσμίως. Σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο, δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές στις τιμές των συγκεντρώσεων του  $\text{NO}_2$  (έως  $1.015 \text{ } \mu\text{m}^{-3}$ ). (Dong et al., 2021).

Ο ρύπος  $\text{NO}_2$  μειώθηκε σε όλες τις ηπείρους κατά την εφαρμογή των μέτρων περιορισμού και lockdown. Ο μέσος όρος των μειώσεων αυτών κυμαίνονταν από 20% έως 54% παγκοσμίως, εκτός από την Αφρική, όπου μειώθηκε κατά 70% σύμφωνα με δύο μελέτες από το Μαρόκο. Η διάμεση μείωση των συγκεντρώσεων των  $\text{NO}_x$  κυμαινόταν από 26% έως 67%. Το σύνολο των μελετών που επικεντρώνονται στις συγκεντρώσεις των  $\text{NO}_x$ , είναι σημαντικά μικρότερο στη



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

βιβλιογραφία σε σύγκριση με τις μετρήσεις και τα άρθρα που αναφέρονται στις συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub>. Ταυτόχρονα καταγράφηκε η διάμεση μείωση του πρωτογενούς ρύπου CO όπου κυμαινόταν από 16% έως 49% (Panda et al., 2021).

Σε μία περιοχή της Ινδίας καταγράφηκε η μεγαλύτερη μεταβλητότητα των αναφερόμενων μεταβολών στις συγκεντρώσεις του ρύπου CO, που συνοδεύονταν από μειώσεις της τάξης του 80% έως αυξήσεις της τάξης του 60%. Οι διάμεσες μειώσεις στις συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub> σε όλες τις ηπείρους κυμαίνονταν από 10%-40% και 8%-40%, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις των PM<sub>2,5</sub> χρησιμοποιήθηκαν ευρέως, ενώ οι μετρήσεις των PM<sub>10</sub> δεν ήταν στο επίκεντρο των μελετών (Comunian et al., 2020).

Η μεταβολή στις τιμές των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, (εκφρασμένη ως διάμεση τιμή), ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Κυμαίνόταν από μείωση 15% έως αύξηση 18%. Το τροποσφαιρικό όζον αποτέλεσε τον μόνο ρύπο που αυξήθηκε κατά την εφαρμογή των περιορισμών, με θετική μέση μεταβολή 6,4% ( $\pm 11\%$ ). Η διακύμανση αυτή είναι σύνθετη και ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και την εποχή. Η διάμεση μείωση των συγκεντρώσεων του ρύπου SO<sub>2</sub> σε όλες τις ηπείρους και τις περιοχές παγκοσμίως, κυμαίνόταν από 5% έως 49%. Για άλλους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των ρύπων NM-VOCs (Non-Methane Volatile Organic Compounds ή Μη Μεθανικές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις), NH<sub>3</sub> και BC, αλλά και των δεικτών και παραμέτρων AQI και AOD (Aerosol Optical Depth, Οπτικό βάθος αερολύματος), αναφέρθηκε ένας πολύ μικρότερος αριθμός δημοσιεύσεων που αφορούσε λίγες μόνο περιοχές του πλανήτη (Habibi et al., 2020).

Στον ακόλουθο πίνακα 3.1 συνοψίζονται τα προαναφερόμενα δεδομένα αυξομειώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων σε διάφορες πόλεις κατά τη διάρκεια των περιοριστικών μέτρων λόγω της πανδημίας COVID-19.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

Πίνακας 3.1. Αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων των βασικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων σε διάφορες πόλεις του κόσμου κατά την διάρκεια της εφαρμογής περιοριστικών μέτρων κατά της εξάπλωσης της πανδημίας COVID-19.

Πόλεις	Ποσοστό αυξομείωσης ρύπων σε επίπεδο πόλεων(%)					
	CO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	τρ. O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>Ρώμη</b>	ΔΜ*	32% έως 64% (Kumari και Toshniwal 2020)	ΔΜ*	ΔΜ*	-34% έως -20% (Kumari και Toshniwal 2020)	24% έως -47% (Kumari και Toshniwal 2020)
<b>Μιλάνο</b>	-75% έως -55%	ΔΜ*	-47% έως +/-15%	+50%	-44,4% έως -37,1%	-13,1% έως -18,9%
<b>Αθήνα</b>	-58 έως	ΔΜ*	ΔΜ*	+12	ΔΜ*	ΔΜ*

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

	-35  (Panda et al., 2021)					
<b>Βόρεια Κίνα</b>	ΔΜ*	+/-10%  έως  +53%  (Bedi et al.,2020)	ΔΜ*	-2%  έως  +1.5%  (Bedi et al.,2020)	+/-22%  έως  +29%  (Bedi et al.,2020)	ΔΜ*
<b>Γιουχάν</b>	ΔΜ*	+32%  έως  +64%  (Kumari και Toshniwal, 2020)	ΔΜ*	ΔΜ*	-34%  έως  +20%  (Kumari και Toshniwal, 2020)	-47%  έως  +24%  (Kumari και Toshniwal , 2020)
<b>Ινδία</b>	-80%  έως  +60%  (Comunian et al., 2020)	ΔΜ*	ΔΜ*	+15%  έως  +18%  (Comunia n et al., 2020)	-40%  έως  +10%  (Comunian et al., 2020).	40%  έως  +8%  (Comunia n et al., 2020)

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

<b>Ρίο Ντε Τζανέιρο</b>	+69% έως +/-9% (Bray et al.,2021)	+69% έως +/-+9% (Bray et al.,2021)	ΔΜ*	ΔΜ*	ΔΜ*	ΔΜ*
<b>Σαο Πάολο</b>	+/-9% έως +69% (Bray et al.,2021)	-69% έως +/-9% (Bray et al.,2021)	ΔΜ*	ΔΜ*	-34%, έως +20% (Kumari και Toshniwal, 2020)	-47% έως +24% (Kumari και Toshniwal , 2020)
<b>Σαουδική Αραβία</b>	-86% έως +6% (Bray et al.,2021)	-86% έως +6% (Bray et al.,2021)	ΔΜ*	ΔΜ*	ΔΜ*	ΔΜ*
<b>Παγκόσμια Δεδομένα</b>	Διάμεση Τιμή:+30%  (-70%	+32% Έως +64%	Διάμεση Τιμή:+36% (+15%	ΔΜ*	Διάμεση Τιμή:+8%  (-19%	+24% Έως +47%

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

	έως +5%) (Chu et al., 2021)		έως +51%) (Chu et al., 2021)		έως +3%) (Chu et al., 2021)	
<b>Ανεπτυγμέ- νες Χώρες</b>	Διάμεση τιμή:+25%  (+17%  έως +44%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*	Διάμεση τιμή:+44%  (+36%  έως +56%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*	Διάμεση τιμή: +25%  (+8%  έως +19%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*
<b>Αναπτυσσό- μενες Χώρες</b>	Διάμεση τιμή:+35%  (+1%  έως +75%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*	Διάμεση τιμή:+29%  (+5%  έως +49%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*	Διάμεση τιμή:+9%  (+2%  έως +42%) (Chu et al., 2021)	ΔΜ*

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

<b>Νοτιοανατολική Ασία</b>	-31% έως -25%	ΔΜ*	-64% έως -63%	ΔΜ*	-31% έως -23%	-31% έως -26%
<b>Ινδία (22 πόλεις)</b>	-10%	ΔΜ*	-18%	+17%	-43%	-31%

\*ΔΜ= Δεν Μετρήθηκαν

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, η Ευρώπη σημείωσε μείωση κατά μέσο όρο στη συγκέντρωση των CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub>, ενώ η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> αυξήθηκε σημαντικά στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Στις ΗΠΑ παρουσιάστηκε έντονη διακύμανση στις συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων λόγω του ότι κάθε πολιτεία εφάρμοσε ξεχωριστά μέτρα περιορισμού κατά της πανδημίας COVID-19, έχοντας διαφορετικό δείκτη αυστηρότητας κάθε φορά. Η Ασία παρουσίασε κατά μέσο όρο μείωση στη συγκέντρωση των CO, NO<sub>x</sub> και των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub>, (δεν υπήρξαν πολλές μετρήσεις για το NO<sub>2</sub>), ενώ ταυτόχρονα σημειώθηκε μεγάλη αύξηση στην συγκέντρωση του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub>.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν επιπλέον στοιχεία για τις υπάρχουσες καταγραφές των ρύπων CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και Black Carbon (BC). Επειδή διαπιστώθηκε ότι τα στοιχεία δεν ήταν επαρκή, δεν συμπεριλήφθηκαν στον πίνακα 3.1. Ο ρύπος SO<sub>2</sub> στην Ρώμη και στο Σάο Πάολο παρέμεινε αμετάβλητος σύμφωνα με τους Bray et al. (2021), ενώ παρουσίασε μικρή αυξητική τάση σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο μαύρος άνθρακας BC βρέθηκε ότι μειώθηκε αρκετά στην Βαρκελώνη, σύμφωνα με τους Mandal και Pal (2020).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

### **3.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ**

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθεί η επίδραση της μετεωρολογίας στον εντοπισμό πιθανών μεταβολών στις συγκεντρώσεις διαφόρων ρύπων του περιβάλλοντος, οι οποίες σχετίζονται με τα μέτρα περιορισμού και lockdown, που εφαρμόστηκαν για τον περιορισμό της εξάπλωσης της νόσου COVID-19 (Dong et al., 2021).

Στην συνέχεια, οι προαναφερόμενες μεταβολές θα συγκριθούν, με βάση το δείκτη αυστηρότητας SI ώστε να εκτιμηθεί σε παγκόσμια κλίμακα, εάν οι μεταβολές αυτές οφείλονται στην μεγάλη διάρκεια της εφαρμογής των μέτρων κατά της εξάπλωσης του COVID-19 ή όχι.

Όσον αφορά στις μελέτες που επικεντρώθηκαν στους ρύπους NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> και τροποσφαιρικού όζοντος, επετεύχθη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους για περιόδους εφαρμογής μέτρων περιορισμού και lockdown με αντίστοιχες μετρήσεις προηγούμενων περιόδων αναφοράς προκορονοϊού. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών δεν έδειξαν σημαντικές μεταβολές στις διάμεσες τιμές των ρύπων αυτών (Panda et al., 2021).

Κατά την μελέτη και παρατήρηση των παραπάνω ρύπων, σύμφωνα με τον δείκτη αυστηρότητας, οι μεταβολές ήταν παρόμοιες, με μέσες τιμές μείωσης των ρύπων ( $\pm$ τυπική απόκλιση): -36% ( $\pm$ 5%), -20% ( $\pm$ 7%) και +6% ( $\pm$ 1), αντίστοιχα. Αντίστροφα, σε μελέτες που ερευνούσαν την επίδραση της μετεωρολογίας στις συγκεντρώσεις των ρύπων, βασικό ήταν το κριτήριο του δείκτη αυστηρότητας SI. Ο δείκτης αυστηρότητας συσχετίστηκε με την μεταβολή στις συγκεντρώσεις των NO<sub>2</sub> και PM<sub>2.5</sub>. Η συγκέντρωση του ρύπου NO<sub>2</sub> μειώθηκε από 48% σε 13% καθώς η συγκέντρωση των αναπνεύσιμων PM<sub>2.5</sub> μειώθηκε από 33% σε 10%. Ταυτόχρονα με την αύξηση του δείκτη αυστηρότητας SI, η διάμεση τιμή της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος O<sub>3</sub> αυξήθηκε από 0% σε 4% (Comunian et al., 2020).

Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν εντός του εύρους 40–100 του δείκτη αυστηρότητας ήταν στατιστικά σημαντικές για όλους τους ρύπους, με 19 ή περισσότερα σημεία δεδομένων ανά κατηγορία SI. Αντιθέτως, οι μελέτες που διεξάχθηκαν εντός του εύρους 20-40 του δείκτη

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

αυστηρότητας χαρακτηρίστηκαν ως μη επαρκείς καθώς ήταν στατιστικά σημαντικές μόνο για το ρύπο NO<sub>2</sub> (Dong et al., 2021).

Με τον ίδιο τρόπο ανάλυσης πραγματοποιήθηκε η μελέτη για τους ρύπους CO, SO<sub>2</sub> και PM<sub>10</sub>. Οι ρύποι αυτοί μελετήθηκαν λιγότερο στη βιβλιογραφία κατά την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η μεταβολή των τριών αυτών ρύπων δεν συσχετίστηκε με το δείκτη αυστηρότητας SI (Habibi et al., 2020).

Σημαντικές μεταβολές -και κυρίως μειώσεις- καταγράφηκαν για όλους τους ρύπους παρόλο που υπήρχαν μόνο 44 και 33 σύνολα δεδομένων συνολικά που διερευνούσαν την επίδραση που έχει η μετεωρολογία στην συγκέντρωση των ρύπων (Habibi et al., 2020).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μελετών που διεξάχθηκαν σε περιόδους lockdown, είναι σημαντική για τον εντοπισμό των ορίων και των πιθανών υπερβάσεων των συγκεντρώσεων των ρύπων. Οι μελέτες αυτές έχουν ως στόχο την εκτίμηση της ποιότητας του αέρα, την ακρίβειά της εκάστοτε μεθόδου μείωσης ρύπων αυτών κ.ά. (εξαρτάται από τα κοινά χαρακτηριστικά της μετεωρολογίας κατά την περίοδο αναφοράς με την περίοδο του lockdown) (Briz-Redón et al., 2021). Σημαντικό είναι να διευκρινιστεί το γεγονός ότι, ρύποι όπως το CO και τα NO<sub>x</sub> προέρχονται από πρωτογενείς πηγές εκπομπών, ενώ το τροποσφαιρικό όζον προέρχεται από δευτερογενή πηγές εκπομπών καθώς συμμετέχει στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, έχοντας σοβαρό αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή (Briz-Redón et al., 2021).

Όπως είναι γνωστό, η μετεωρολογία επηρεάζει τόσο την διασπορά και την εναπόθεση των ρύπων που προέρχονται από πρωτογενής πηγές εκπομπών, όσο και την παραγωγή και καταστροφή των δευτερογενών ρύπων μέσω των ατμοσφαιρικών χημικών διεργασιών. Σημαντικό είναι να υπογραμμιστεί, ότι τα σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνονται στην εν λόγω μελέτη προέρχονται από μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί στο βόρειο ημισφαίριο κατά την άνοιξη του έτους 2020 (Shrestha et al., 2020).

Κατά την περίοδο αυτή σημειώθηκε μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος σε σχέση με άλλους ρύπους αντίστοιχων περιόδων. Οι αυξήσεις αυτές πιθανόν προέρχονται από μεταβολές που παρατηρήθηκαν στην αναλογία των ρύπων NO<sub>x</sub> και των VOC



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

οι οποίες οδήγησαν στις μεταβολές των συγκεντρώσεων τροποσφαιρικού όζοντος κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Παρόλο που σημειώθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος, η ερμηνεία και η ανάλυση των νέων αποτελεσμάτων που δημοσιεύονται, είναι σημαντική για την ορθή αξιολόγηση των επιπτώσεων που έχει η αύξηση των εκπομπών τροποσφαιρικού όζοντος κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Comunian et al., 2020).

### **3.3. ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΗΣ**

Στη βιβλιογραφία έχει εξεταστεί η μεταβολή στην συγκέντρωση των ρύπων, τόσο με δορυφορικές παρατηρήσεις (όσον αφορά το ρύπο NO<sub>2</sub>) όσο και με επίγειες μετρήσεις (για του ρύπους PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και τροποσφαιρικού όζοντος) σε επίπεδο πόλης. Για τη μελέτη επιλέχθηκαν τέσσερις μεγάλες πόλεις, το Μιλάνο (Ιταλία), η Νέα Υόρκη (ΗΠΑ), η Γιουχάν (Κίνα) και το Νέο Δελχί (Ινδία). Κατά την ανάλυση των μετρήσεων για την Νέα Υόρκη οι συγκεντρώσεις των ρύπων εκφράστηκαν ως κλάσμα της μέσης συγκέντρωσης αυτών κατά τα έτη αναφοράς 2015–2019 σε μηνιαία χρονική κλίμακα. Σε μηνιαία επίσης κλίμακα, παρατηρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις των ρύπων από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο του 2020 ως κλάσμα της μέσης συγκέντρωσης της περιόδου έρευνας για την πόλη Γιουχάν (Κίνα).

Στο Μιλάνο κατά το διάστημα μεταξύ Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου του έτους 2020 παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων PM, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> της τάξης των 22±19%, 40±10%, 30±40% και 30±50%, αντίστοιχα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> ήταν υψηλότερες από το μέσο όρο κατά 18±8% σε σύγκριση με αυτές των προηγούμενων ετών (Kumar et al., 2020). Από δορυφορικές παρατηρήσεις για την μελέτη του NO<sub>2</sub> στο Μιλάνο έδειξαν ότι ήταν κατά 55% και 49% χαμηλότερες, κατά μέσο όρο, τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τον μέσο όρο της

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> για τον συγκεκριμένο μήνα κατά το διάστημα από το έτος 2015 έως το 2019 (Dai et al., 2021).

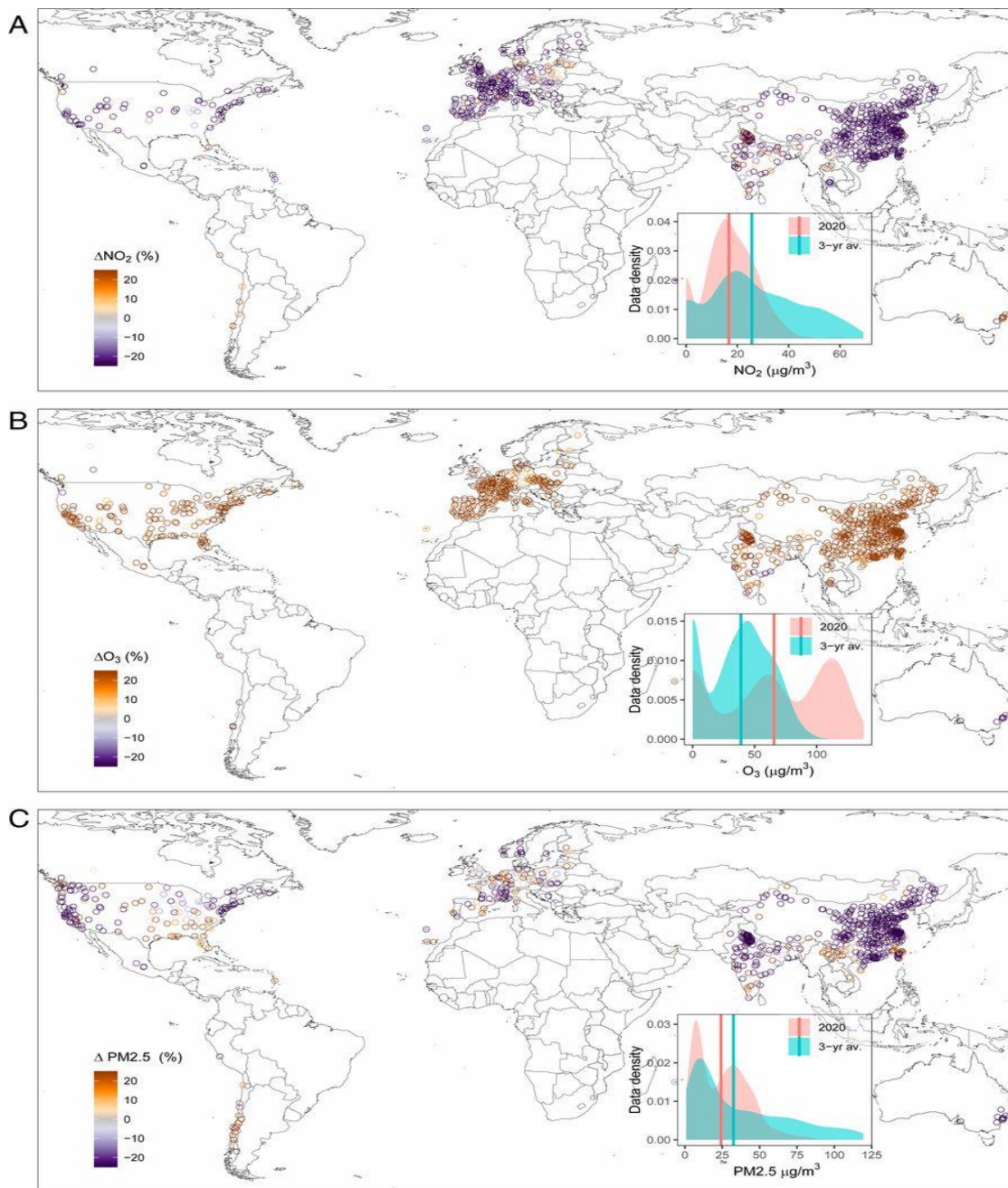
Σε μηνιαία κλίμακα, οι συγκεντρώσεις του CO στο Μιλάνο, μειώθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, ενώ οι συγκεντρώσεις των ρύπων SO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub> αυξάνονταν σταθερά. Σε αντίθεση με αυτό, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του NO<sub>2</sub> αρχικά μειώθηκαν έχοντας παρόλα αυτά ανοδική τάση κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2020.

Στη Νέα Υόρκη, από δορυφορικές παρατηρήσεις, η μέγιστη και η ελάχιστη συγκέντρωση του NO<sub>2</sub> ήταν 51% και 28% (κατά μέσο όρο) αντίστοιχα, χαμηλότερες από τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του 2020, σε σύγκριση με τον μέσο όρο της συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> για τον συγκεκριμένο μήνα κατά το διάστημα από το έτος 2015 έως το 2019.

Στην πόλη Γιουχάν, από δορυφορικές παρατηρήσεις, βρέθηκε ότι το NO<sub>2</sub> είχε κατά 62%, 50% και 18%, αντίστοιχα χαμηλότερες τιμές, (κατά μέσο όρο), για τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2020, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις βασικές μέσες τιμές της συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> για το συγκεκριμένο μήνα κατά το διάστημα από το έτος 2015 έως το 2019 (Filonchik et al., 2020).

Αξιολογήθηκαν επίσης οι συγκεντρώσεις των ρύπων για το Νέο Δελχί της Ινδίας, κατά την περίοδο Ιανουάριος–Απρίλιος 2020 σε μηνιαία κλίμακα. Οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του CO αυξήθηκαν μέχρι το Μάρτιο, πριν μειωθούν τον Απρίλιο, ενώ οι συγκεντρώσεις των ρύπων NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> και τροποσφαιρικού όζοντος κορυφώθηκαν, τον Φεβρουάριο πριν μειωθούν, σε όλους τους ρύπους, εκτός από το SO<sub>2</sub>, στο ελάχιστο τον Απρίλιο του 2020 (Liu et al., 2021). Στο Νέο Δελχί της Ινδίας, οι δορυφορικές καταγραφές του NO<sub>2</sub> ήταν κατά 24% και 54% χαμηλότερες, κατά μέσο όρο, το Μάρτιο και τον Απρίλιο του 2020, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις μέσες συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> για το συγκεκριμένο μήνα κατά το διάστημα από το έτος 2015 έως το έτος 2019.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα  
Κατσούλη Αντωνία



Εικόνα 3.3.Εικόνα του παγκόσμιου χάρτη με αναπαράσταση των δεδομένων των ποσοστών αυξομείωσης του μέσου όρου των συγκεντρώσεων των ρύπων PM<sub>2.5</sub>, τροποσφαιρικού όζοντος και NO<sub>2</sub> λίγο μετά το Μάρτιο του έτους 2020.

Στον παραπάνω χάρτη αναπαρίστανται σε παγκόσμια κλίμακα τα δεδομένα από τα ποσοστά συγκέντρωσης των PM<sub>2.5</sub>, του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> και του NO<sub>2</sub> τον Μάρτιο του έτους 2020,

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

όπου εφαρμόστηκαν τα μέτρα περιορισμού και lockdown. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα το ενδιαφέρον της έρευνας επικεντρώνεται στην Αμερική, την Ευρώπη και την Κίνα.

Η μείωση του CO, καθώς και οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> και του NO<sub>2</sub> μπορεί πιθανότατα να αποδοθούν στην υποχρεωτική διακοπή λειτουργίας των σχολείων καθώς και των επαγγελματικών χώρων εργασίας. Οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ρύπων ποικίλλουν από περιοχή σε περιοχή, εξαιτίας των διαφορετικών περιόδων καραντίνας, της αυστηρότητας των μέτρων και των δεικτών αυστηρότητας της εκάστοτε περιοχής (Gaubert et al., 2021).

Η αύξηση του τροποσφαιρικού O<sub>3</sub> μπορεί να αποδοθεί στη μείωση των εκπομπών NO από των περιορισμό των μετακινήσεων και την παύση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

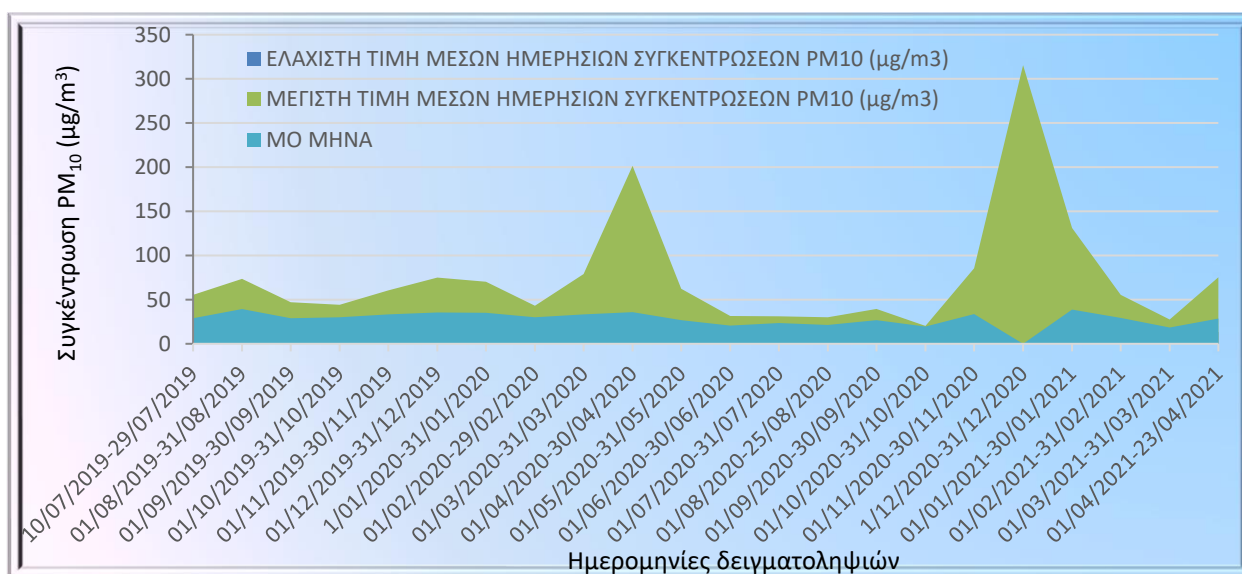
Οι συγκεντρώσεις του SO<sub>2</sub> αυξήθηκαν απότομα προς το τέλος της μελέτης των Dai et al. (2021). Μια πιθανή αιτία για την αύξηση αυτή, θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι η αύξηση της κυκλοφορίας φορτηγών και της ναυτιλίας. Καθώς τα καταστήματα παρέμειναν κλειστά κατά τη διαδικασία του lockdown, οι διαδικτυακές πωλήσεις εκτοξεύτηκαν στα ύψη.

#### **3.4. ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM<sub>10</sub> ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ (2019-2021)**

Σύμφωνα με σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της πόλης των Χανίων (κτίριο Αντιπεριφέρειας, Πλατεία Ελευθερίας), διερευνήθηκαν οι ημερήσιες μέσες συγκεντρώσεις των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> της ατμόσφαιρας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη των περιοριστικών μέτρων κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιούλιο του έτους 2019 έως τον Απρίλιο του έτους 2021 με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση των περιοριστικών μέτρων σε αυτές (Πληροφορίες από μετρήσεις του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά Κρήτης, 2019-2020).

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

Στο ακόλουθο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζονται οι μέγιστες (πράσινο) και ελάχιστες (μπλε) μηνιαίες συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη των περιοριστικών μέτρων κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιούλιο του έτους 2019 έως τον Απρίλιο του έτους 2021. Οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις διακρίνονται στη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα μπλε και πράσινα πεδία.



Διάγραμμα 3.1: Μέγιστες (πράσινο) και ελάχιστες (μπλε) μηνιαίες συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιούλιο του 2019 έως τον Απρίλιο του 2021 στην πόλη των Χανίων Κρήτης. Οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις διακρίνονται στη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα μπλε και πράσινα πεδία.

Στον ακόλουθο πίνακα 3.2 συνοψίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες ημερήσιες και μηνιαίες συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη των περιοριστικών μέτρων κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιούλιο του έτους 2019 έως τον Απρίλιο του έτους 2021.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα Κατσούλη Αντωνία

Πίνακας 3.2. Ελάχιστες και μέγιστες ημερήσιες και μηνιαίες συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> από τον Ιούλιο του 2019 έως τον Απρίλιο του 2021 στην πόλη των Χανίων Κρήτης

2019	Ακριβής ημερομηνία	Συγκέντρωση PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
Ελάχιστη ημερήσια	06/10	16,2
Μέγιστη ημερήσια	12/12	75,1
Ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Ιούλιο	28,79
Μέγιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Αύγουστο	39,33
2020		
Ελάχιστη ημερήσια	06/12	17,4
Μέγιστη ημερήσια	25/12	315,5
Ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Οκτώβριο	19,50
Μέγιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Δεκέμβριο	50,62
2021		
Ελάχιστη ημερήσια	16/03	7,8
Μέγιστη ημερήσια	6/01	131,3
Ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Μάρτιο	18,55
Μέγιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου	Ιανουάριο	38,60

Η μικρότερη ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης των PM<sub>10</sub> κατά το έτος 2019 παρατηρήθηκε στις 6 Οκτωβρίου που βρέθηκε ίση με 16,2 μg/m<sup>3</sup>, ενώ η αντίστοιχη μεγαλύτερη παρατηρήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου με τιμή ίση με 75,1 μg/m<sup>3</sup>. Η ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου της συγκέντρωσης των PM<sub>10</sub> για το έτος 2019 σημειώθηκε τον Ιούλιο με τιμή ίση με 28,79 μg/m<sup>3</sup>, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη καταγράφηκε κατά τον μήνα Αύγουστο με τιμή ίση με 39,33 μg/m<sup>3</sup>.

Η μικρότερη ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης των PM<sub>10</sub> κατά το έτος 2020 παρατηρήθηκε στις 6 Δεκεμβρίου που βρέθηκε ίση με 17,4 μg/m<sup>3</sup>, ενώ η αντίστοιχη μεγαλύτερη παρατηρήθηκε στις 25 Δεκεμβρίου με τιμή 315,5 μg/m<sup>3</sup>. Η ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου της συγκέντρωσης των PM<sub>10</sub> για το έτος 2020 σημειώθηκε τον Οκτώβριο με τιμή ίση με 19,50 μg/m<sup>3</sup>, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη καταγράφηκε κατά τον μήνα Δεκέμβριο με τιμή ίση με 50,62 μg/m<sup>3</sup>.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Η μικρότερη ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  κατά το έτος 2021 για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο παρατηρήθηκε στις 16 Μαρτίου, που βρέθηκε ίση με  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η αντίστοιχη μεγαλύτερη παρατηρήθηκε στις 6 Ιανουαρίου με τιμή ίση με  $131,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η ελάχιστη τιμή του μηνιαίου μέσου όρου της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  για το έτος 2021 σημειώθηκε τον Μάρτιο με τιμή ίση με  $18,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η αντίστοιχη μέγιστη καταγράφηκε κατά τον μήνα Ιανουάριο με τιμή ίση με  $38,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Συγκρίνοντας τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων των  $PM_{10}$  σωματιδίων για τα τρία αυτά έτη (Πληροφορίες από μετρήσεις του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά Κρήτης, 2019-2021) παρατηρούνται τα εξής συμπεράσματα:

1) Η μικρότερη μέση μηνιαία συγκέντρωση καταγράφηκε τον Μάρτιο του 2021 με τιμή ίση με  $18,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ η μεγαλύτερη μέση μηνιαία συγκέντρωση τον Δεκέμβριο του 2020 με τιμή ίση με  $50,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

2) Για το διάστημα που τα μέτρα των περιορισμών τηρούνται και ο δείκτης αυστηρότητας αυτών είναι μεγάλος, παρατηρείται πτώση των τιμών της συγκέντρωσης των  $PM_{10}$ .

Στη συνέχεια αναφέρονται οι διακυμάνσεις των μέσων ημερήσιων και μηνιαίων συγκεντρώσεων των σωματιδίων  $PM_{10}$  αναλυτικά ανά μήνα και έτος.

Για το μήνα Ιούλιο του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $PM_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από  $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (12/07/2019 και 13/07/2019) έως  $55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (23/07/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων αυτών για το μήνα Ιούλιο του έτους 2019 ήταν  $28,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανόμενων και οι 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Αύγουστο του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  κυμαίνονται μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από  $28,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (31/08/2019) έως  $73,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (24/08/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Αύγουστο του έτους 2019 ήταν  $39,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Για το μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 21,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26/09/2019) έως 47,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (14/09/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2019 ήταν 29,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Οκτώβρη του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 16,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (06/10/2019) έως 44,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (23/10/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Οκτώβριο του έτους 2019 ήταν 30,19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Νοέμβρη του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 16,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (02/11/2019) έως 60,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (19/11/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Νοέμβριο του έτους 2019 ήταν 32,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Δεκέμβρη του έτους 2019 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 19,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (25/12//2019) έως 75,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (16/12/2019). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Δεκέμβριο του έτους 2019 ήταν 35,30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Ιανουάριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 19,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (15/01/2020) έως 70,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (12/01/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Ιανουάριο του έτους 2020 ήταν 35,18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Φεβρουάριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 20,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (03/02/2020) έως 42,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (18/02/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Φεβρουάριο του έτους 2020 ήταν 29,86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 28 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Μάρτιο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 17,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (30/03/2020) έως 78,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26/03/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Μάρτιο του έτους 2020 ήταν 33,31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Απρίλιο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 17,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26/04/2020) έως 201,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (04/04/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Απρίλιο του έτους 2020 ήταν 35,96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Μάιο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 14,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (31/05/2020) έως 62,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (18/05/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Μάιο του έτους 2020 ήταν 26,65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Ιούνιο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 15,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (02/06/2020) έως 31,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (06/06/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Ιούνιο του έτους 2020 ήταν 20,52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Ιούλιο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 18,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (15/07/2020) έως 31,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (08/07/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Ιούλιο του έτους 2020 ήταν 23,50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Για το μήνα Αύγουστο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 17,5 μg/m<sup>3</sup> (08/08/2020) έως 29,9 μg/m<sup>3</sup> (10/08/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Αύγουστο του έτους 2020 ήταν 21,45 μg/m<sup>3</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 18,5 μg/m<sup>3</sup> (06/09/2020) έως 39,4 μg/m<sup>3</sup> (19/09/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2020 ήταν 26,91 μg/m<sup>3</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Οκτώβριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 18,5 μg/m<sup>3</sup> (31/10/2020) έως 20,4 μg/m<sup>3</sup> (29/10/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Οκτώβριο του έτους 2020 ήταν 19,50 μg/m<sup>3</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Νοέμβριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 15,3 μg/m<sup>3</sup> (01/11/2020) έως 85,5 μg/m<sup>3</sup> (10/11/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Νοέμβριο του έτους 2020 ήταν 33,71 μg/m<sup>3</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των 30 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Δεκέμβριο του έτους 2020 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 17,4 μg/m<sup>3</sup> (06/12/2020) έως 315,5 μg/m<sup>3</sup> (25/12/2020). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Δεκέμβριο του έτους 2020 ήταν 50,62 μg/m<sup>3</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Ιανουάριο του έτους 2021 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από 15,5 μg/m<sup>3</sup> (29/01/2021) έως 131,3 μg/m<sup>3</sup> (06/01/2021). Ο μηνιαίος μέσος όρος της

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Ιανουάριο του έτους 2021 ήταν  $38,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για τον μήνα Φεβρουάριο του έτους 2021 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από  $15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (01/02/2021) έως  $55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (09/02/2021). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Φεβρουάριο του έτους 2021 ήταν  $29,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 28 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Μάρτιο του έτους 2021 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα) από  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (16/03/2021) έως  $27,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (01/03/2021). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Μάρτιο του έτους 2021 ήταν  $18,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων και των 31 ημερών του μήνα).

Για το μήνα Απρίλιο του έτους 2021 οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$  κυμαίνονταν μεταξύ του εύρους τιμών (ελάχιστης και μέγιστης τιμής, αντίστοιχα),  $13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (01/04/2021) έως  $75,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (05/04/2021). Ο μηνιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης των σωματιδίων αυτών για το μήνα Απρίλιο του έτους 2021 ήταν  $28,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (συμπεριλαμβανομένων των 23 ημερών του μήνα).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Από 10/07/2019 έως 22/03/2020 (πριν την έναρξη των μέτρων περιορισμού της κυκλοφορίας) ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των  $\text{PM}_{10}$  σωματιδίων παραμένει σχετικά σταθερός κυμαινόμενος από  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  έως  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Από 24/03/2020 έως 30/10/2020 (εγκλεισμός και καραντίνα) οι συγκεντρώσεις των  $\text{PM}_{10}$  μειώθηκαν έως και 16%.
- Από το διάστημα 01/11/2020 και μετά οι μέσες ημερήσιες τιμές αυξήθηκαν σε ποσοστό από 29% έως και 33%, καταγράφοντας τις μέγιστες τιμές τον Δεκέμβριο του 2020 αυξημένες κατά 50,62%.

(Πληροφορίες από μετρήσεις του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά Κρήτης, 2019-2021)

### **3.5. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ NO<sub>2</sub> ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΒΑΣΗ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ EDGAR**

Η διάμεση μείωση της συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια του lockdown για κάθε χώρα υπολογίστηκε με την χρήση του δείκτη αυστηρότητας SI.

Στον υπολογισμό αυτό περιλαμβάνονται μελέτες που χρησιμοποίησαν τόσο την προσεγγιστική τιμή της άμεσης σύγκρισης (67%) όσο και διάφορες μελέτες που διορθώνουν τις μετεωρολογικές επιδράσεις (33%). Επίσης, με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται επισκόπηση των μετρήσεων που ομαδοποιούνται ανά τύπο παρατήρησης ως επίγειες (48%), δορυφορικές (12%) ή και τα δύο (41%) (Panda et al., 2021).

Όπως προαναφέρθηκε, γενικότερα παρατηρήθηκε μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων κατά τη διάρκεια της επιβολής των μέτρων περιορισμού και καραντίνας. Οι μελέτες αυτές εστίασαν το ενδιαφέρον τους ως επί το πλείστον σε δεδομένα από περιόδους lockdown όταν οι δείκτες αυστηρότητας ήταν μεγαλύτεροι από 50. Ως ποσοστιαία διαφορά, εκφράζονται, τόσο οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων όσο και οι μειώσεις των εκπομπών αναφέρονται (Briz-Redón et al., 2021).

Το NO<sub>2</sub> παρουσίασε πτωτική τάση σε όλες τις χώρες που μελετήθηκαν, παγκοσμίως, ανεξαρτήτως από τον όγκο των μεταβολών των πηγών εκπομπής των ρύπων της εκάστοτε περιοχής (Coccia, 2020).

Οι περιοχές μελετών επιλέχθηκαν αυθαίρετα για να διασφαλιστούν περισσότερα από πέντε γεωγραφικά σημεία ανεξάρτητων δεδομένων που δεν είχαν σχέση μεταξύ τους. Για τις περισσότερες χώρες, οι παρατηρήσεις και η απογραφή εκπομπών συμφωνούν στον συντελεστή 2 (Hammer et al., 2021). Η μείωση του NO<sub>2</sub> παρατηρήθηκε τόσο από ατμοσφαιρικές μετρήσεις όσο και από την απογραφή των εκπομπών, με μεγαλύτερες μειώσεις NO<sub>2</sub> να σημειώνονται υψηλούς δείκτες αυστηρότητας.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* Κατσούλη Αντωνία

Οι μη ακριβής τιμές ή λανθασμένες τιμές των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub> οφείλονται συνήθως σε πιθανές αβεβαιότητες των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν, σε σφάλματα των δορυφόρων, των μετεωρολογικών παραγόντων, καθώς και σε λανθασμένες εκτιμήσεις των μελετητών. (Panda et al., 2021).

Τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν, ότι η αυστηρότητα των μέτρων lockdown είχε μεγάλη επίδραση στις εκπομπές από τις μεταφορές, όπως φαίνεται από τα σύνολα δεδομένων κινητικότητας που χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή των παγκόσμιων απογραφών εκπομπών. (Comunian et al., 2020)

### **3.6. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ LOCKDOWN (ΕΥΡΩΠΗ, ΑΜΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΑΣΙΑ)**

Στην συγκεκριμένη ενότητα της παρούσας εργασίας θα επιτευχθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων των ρύπων του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>), των αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε όλη την Ευρώπη για τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020, με τις μέσες συγκεντρώσεις κάθε αντίστοιχου μήνα για την περίοδο 2015–2019.

Όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα 3.2, οι συγκεντρώσεις των προαναφερόμενων ρύπων ήταν χαμηλότερες από το μέσο όρο των προηγούμενων ετών κατά τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020. Οι επίγειες μετρήσεις των συγκεντρώσεων και οι δορυφορικές καταγραφές των δεδομένων του NO<sub>2</sub> ήταν το Μάρτιο του 2020, κατά μέσο όρο, 32% και 22% χαμηλότερες, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τον μέσο όρο, ενώ τον Απρίλιο του 2020 ήταν κατά 34% και 26%, αντίστοιχα χαμηλότερες από τον μέσο όρο (Bray et al., 2021).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Πίνακας 3.3.: Αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων των βασικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων σε επίπεδο χωρών κατά την διάρκεια της εφαρμογής περιοριστικών μέτρων κατά της εξάπλωσης της πανδημίας COVID-19

<b>Ποσοστό αυξομείωσης ρύπων σε επίπεδο χωρών (%)</b>						
	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<b>CO</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟ O<sub>3</sub></b>
<b>ΕΥΡΩΠΗ</b>	<b>-22</b> έως <b>-32</b>	<b>-10</b> έως <b>-2</b>	<b>-15</b>	<b>-10</b> έως <b>-2</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>+5</b> έως <b>+7</b>
<b>ΗΠΑ</b>	<b>-15</b> έως <b>-22</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>-6</b>	<b>+7</b> έως <b>+11</b>	<b>-35</b>	<b>+7</b> έως <b>+11</b>
<b>ΒΡΑΖΙΛΙΑ</b>	<b>-22</b>	<b>+9</b>	<b>-0.3</b>	<b>+30</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>+11</b>
<b>ΚΙΝΑ</b>	<b>-60</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>-35</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>ΔΜ*</b>
<b>ΙΝΔΙΑ</b>	<b>-18</b>	<b>-31</b>	<b>-43</b>	<b>-10</b>	<b>ΔΜ*</b>	<b>+17</b>
<b>ΔΕΛΧΙ</b>	<b>-53</b>	<b>-52</b>	<b>-53</b>	<b>-30</b>	<b>-18</b>	<b>ΔΜ*</b>

**ΔΜ\*:** Δεν μετρήθηκαν

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Οι συγκεντρώσεις των  $PM_{2.5}$  το Μάρτιο του 2020 ήταν κατά 15% χαμηλότερες από τον μέσο όρο, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές κατά το διάστημα 2015–2019. Κατά τον Απρίλιο του 2020, στις συγκεντρώσεις των  $PM_{2.5}$  στην Ευρώπη παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση της τάξης των 6% από τον μέσο όρο των προηγούμενων ετών, λόγω της βιομηχανικής δραστηριότητας. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των  $PM_{10}$  και του CO σημείωσαν σημαντική μείωση από 10% έως 2% από τον μέσο όρο, κατά το τον διάστημα Μαρτίου-Απριλίου 2020 (Yuan et al., 2021).

Οι συγκεντρώσεις του  $NO_2$  στο περιβάλλον ήταν 10% χαμηλότερες τον Μάρτιο του 2020 σε σχέση με τις μέσες συγκεντρώσεις της περιόδου 2015–2019 (Εικόνα 3.5), ενώ στη συνέχεια οι συγκεντρώσεις τον Απρίλιο του 2020 ήταν κατά 0,4% υψηλότερες από τον μέσο όρο σε σύγκριση με προηγούμενα έτη (Wang et al., 2020). Οι μεγάλες μειώσεις στις τιμές των παραπάνω, ιδιαίτερα τον Μάρτιο του 2020, αποδίδονται στην τήρηση της εφαρμογής των μέτρων περιορισμού και καραντίνας που ξεκίνησαν τον Μάρτιο του έτους 2020.

Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν κατά 5% και 7% υψηλότερες από τον μέσο όρο το Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις μέσες συγκεντρώσεις του διαστήματος από το 2015 έως το 2019. Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι ημερήσιες μέσες συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος αυξήθηκαν στις αστικές περιοχές στην Ευρώπη, κατά 24% στη Νίκαια, 14% στη Ρώμη, 27% στο Τορίνο και 2,4% στη Βαλένθια.

Η μείωση των ρύπων  $NO_2$ , PM και CO μπορεί πιθανότατα να αποδοθεί κυρίως στο περιορισμό της κυκλοφορίας και την παύση της βιομηχανικής δραστηριότητας για τον περιορισμό της διασποράς του COVID-19. Πιθανός λόγος που δεν σημειώθηκε σημαντική μεταβολή στις συγκεντρώσεις του ρύπου  $SO_2$  (προϊόν της καύσης του άνθρακα και του ντίζελ) ήταν οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή αυτού οι οποίες δεν περιορίστηκαν αρκετά κατά την συγκεκριμένη περίοδο (Mandal & Pal, 2020).

Στην Ευρώπη αποδείχτηκε ότι η μείωση των συγκεντρώσεων του  $NO_2$  εξαρτάται από την εκάστοτε τοποθεσία, όπως για παράδειγμα στη Λυών (Γαλλία) ήταν -46% τον Απρίλιο, ενώ στο Μιλάνο (Ιταλία) ήταν -18% τον Απρίλιο. Ωστόσο, το Βερολίνο (Γερμανία) (-1% τον

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Μάρτιο και τον Απρίλιο) είχε τα χαμηλότερα επίπεδα μείωσης κατά τη διάρκεια των τριών αυτών μηνών που εφαρμόστηκαν τα μέτρα περιορισμού. Το Μιλάνο (Ιταλία), μια από τις ευρωπαϊκές πόλεις που επλήγησαν περισσότερο από τον COVID-19 είχε μικρότερη μείωση του NO<sub>2</sub> (-18%) σε σύγκριση με τη Λυών (Γαλλία), που δεν εφαρμόστηκαν τόσο άμεσα τα μέτρα περιορισμού και καραντίνας και ο δείκτης αυστηρότητας δεν ήταν τόσο μεγάλος όσο του Μιλάνου. (Zalakeviciute et al., 2020).

Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος αποδίδεται στις πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των πρόδρομων ενώσεων του και των μετεωρολογικών συνθηκών της εκάστοτε περιοχής. Όπως είναι γνωστό, το τροποσφαιρικό όζον είναι ένας δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος, που παράγεται από αντιδράσεις οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), συμπεριλαμβανομένων του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και του μονοξειδίου του αζώτου (NO), των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και άλλων πρόδρομων ενώσεων. Έχει αποδειχθεί ότι οι εκπομπές του NO<sub>2</sub> μειώθηκαν κατά την περίοδο της μελέτης, ενώ όπως αναφέρθηκε, οι συγκεντρώσεις του όζοντος αυξήθηκαν. Οποιαδήποτε μεταβολή στις εκπομπές του NO<sub>2</sub> συνοδεύεται από παρόμοια μεταβολή του NO, καθώς οι δύο αυτοί ρύποι εκπέμπονται συνήθως ταυτόχρονα και συμμετέχουν στο φωτοχημικό κύκλο του αζώτου (Yuan et al., 2021).

Στην πραγματικότητα, οι εκπομπές του NO αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος, το 90–95%, των εκπομπών NO<sub>x</sub> (τεκμηρίωση απογραφής EPA). Βραχυπρόθεσμα, το NO έχει την ικανότητα να διασπά το όζον, ενώ μακροπρόθεσμα το μετατρέπεται σε NO<sub>2</sub> καταλύοντας την παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος. Ο ρυθμός της παραγωγής του όζοντος εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του NO και του NO<sub>2</sub> σε σχέση με τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και άλλες πρόδρομες ενώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος O<sub>3</sub> (Zalakeviciute et al., 2020).

Η συγκέντρωση του όζοντος εξαρτάται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τις μετεωρολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, με τον σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος O<sub>3</sub> να ενισχύεται από τις υψηλές τιμές της θερμοκρασίας και την υπεριώδη ακτινοβολία. Έτσι, οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος είναι γενικά υψηλότερες το καλοκαίρι σε σύγκριση με την άνοιξη. Δεν είναι γνωστό κατά πόσο οι μειώσεις των εκπομπών των NO<sub>x</sub> θα μπορούσαν να αυξήσουν τις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στην Ευρώπη, εάν οι μειώσεις αυτές είχαν συμβεί το καλοκαίρι και όχι την άνοιξη (Wang et al., 2020).



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Στις ΗΠΑ, οι μέσες συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO, SO<sub>2</sub> και τροποσφαιρικού όζοντος για τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του 2020 συγκρίθηκαν επίσης με αυτές των μέσων συγκεντρώσεων για τους αντίστοιχους μήνες της περιόδου 2015–2019. Οι συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> το έτος 2020, τόσο από επίγειες μετρήσεις όσο και από δορυφορικές παρατηρήσεις, ήταν 22% και 15% αντίστοιχα χαμηλότερες, από το μέσο όρο των προηγούμενων ετών. Ομοίως, οι συγκεντρώσεις του SO<sub>2</sub> και των PM<sub>2,5</sub> ήταν κατά 35% και 6% αντίστοιχα χαμηλότερες, σε σύγκριση με τα προηγούμενα έτη.

Σε αντίθεση με αυτό, οι συγκεντρώσεις του CO και του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν, κατά μέσο όρο, 7% και 11% υψηλότερες από τις μέσες συγκεντρώσεις των προηγούμενων ετών από το έτος 2015 έως το 2019. Μέχρι τον Απρίλιο του 2020, οι δορυφορικές παρατηρήσεις του NO<sub>2</sub> ήταν 19% χαμηλότερες από τον μέσο όρο, ενώ οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> και του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν κατά 3% και 15% υψηλότερες από τον μέσο όρο, αντίστοιχα (Leetal., 2020).

Όπως και στην Ευρώπη, οι παρατηρούμενες μεταβολές των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι πιθανό να οφείλονται στα μέτρα περιορισμού και lockdown που ελήφθησαν στα μέσα Μαρτίου 2020 σε όλες τις πολιτείες των ΗΠΑ. Η παρατηρούμενη αύξηση του όζοντος, είναι ελαφρώς πιο εμφανής στις ΗΠΑ από ότι στην Ευρώπη, πιθανότατα λόγω των νότιων περιοχών των ΗΠΑ που καταγράφουν συστηματικά πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες τον Μάρτιο και τον Απρίλιο, κάτι το οποίο είναι ευνοϊκό για το σχηματισμό όζοντος (Bedi et al., 2020).

Από δορυφορικές παρατηρήσεις του NO<sub>2</sub> έγινε εμφανές ότι η Ευρώπη σημείωσε τη μεγαλύτερη μείωση στις συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> τον Απρίλιο (18%) σε σύγκριση με αυτές των προηγούμενων ετών, ενώ η Νότια Αμερική σημείωσε τη μικρότερη μείωση (-0,79%) τον Μάρτιο (Le et al., 2020). Η μέση μείωση του NO<sub>2</sub> σε όλες τις ηπείρους, εκτός από την Ανταρκτική, ήταν περίπου 14–15% τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020. Η μείωση αυτή, συνεπάγεται επίσης με τη μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> λόγω του περιορισμού της χρήσης ορυκτών καυσίμων που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Το μέγεθος των μειώσεων των συγκεντρώσεων των ρύπων μπορεί πιθανότατα να αποδοθεί τόσο στα περιοριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν σε κάθε χώρα όσο και στο ποσοστό εφαρμογής τους από τους πολίτες της εκάστοτε περιοχής και χώρας (δείκτης αυστηρότητας SI). Λόγω του ότι η πανδημία COVID-19 έφτασε στη Νότια Αμερική σχετικά αργά, γύρω στο τέλος Φεβρουαρίου (σε σύγκριση με τον Δεκέμβριο του 2019 στις ΗΠΑ και τον Ιανουάριο του 2020 στην Ευρώπη), οι περιορισμοί δεν ήταν τόσο αυστηροί κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μελέτης σε σύγκριση με άλλες ηπείρους και χώρες (Yuan et al., 2021).

Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα αν ληφθεί ως παράδειγμα σύγκρισης, το Σάο Πάολο της Βραζιλίας που είναι η μεγαλύτερη πόλη της Λατινικής Αμερικής, με συνολικό πληθυσμό 12.252.023 κατοίκους. Κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου, στην ατμόσφαιρα της μεγαλούπολης Σάο Πάολο παρατηρήθηκε αύξηση στις μέσες συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$  και μείωση στα  $PM_{2,5}$  κατά περίπου 9% και -0,3% αντίστοιχα, ενώ οι αέριοι ρύποι πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown μειώθηκαν περίπου κατά 22% ( $NO_2$ ) και 30% (CO). Η μέγιστη συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος μεταβλήθηκε από +11% το ανώτερο έως -11% το χαμηλότερο (Wang et al., 2020).

Σε άλλη μελέτη, σε διαφορετική γεωγραφική περιοχή της Κίνας (Ασία), χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από επίγειους σταθμούς παρακολούθησης κατά τη διάρκεια των lockdown και διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των  $PM_{2,5}$  και του  $NO_2$  μειώθηκαν κατά περίπου 35% και 60%, αντίστοιχα (Kumar et al., 2020). Ομοίως, χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο άνω των 10.000 σταθμών ποιότητας του αέρα σε 34 χώρες της Ευρώπης διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των  $PM_{2,5}$  και του  $NO_2$  μειώθηκαν κατά περίπου 31% και 60%, αντίστοιχα.

Οι πτώσεις στις τιμές των συγκεντρώσεων των παραπάνω ρύπων οφείλονταν στον περιορισμό των δραστηριοτήτων των πολιτών στις μεγαλουπόλεις του κόσμου. Όπως στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη, έτσι, και στην Κίνα καταγράφηκε επίσης μια αύξηση κατά 1,5–2% στις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος κατά την ίδια περίοδο μελέτης (Yang et al., 2021).

Έρευνα που διεξάχθηκε στην Ινδία, έδειξε, ότι παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων σε 22 πόλεις κατά την περίοδο από 16 Μαρτίου έως 14

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Απριλίου 2020. Τα ευρήματά της έρευνας αυτής έδειξαν μειώσεις στα  $PM_{2,5}$ , στα  $PM_{10}$ , στο CO και στο  $NO_2$  κατά 43%, 31%, 10% και 18%, αντίστοιχα. Μια αύξηση κατά 17% στο τροποσφαιρικό όζον έδειξε ότι οι πόλεις αυτές είχαν τον ίδιο ρυθμό παραγωγής τροποσφαιρικού όζοντος  $O_3$  και των πρόδρομων ενώσεων του, όπως και στην Ευρώπη, Ασία και Αμερική (Dai et al., 2021).

Επιπλέον, μια μελέτη κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου έδειξε ότι η ρύπανση της μεγαλούπολης Δελχί σημείωσε σημαντική μείωση των μέσων συγκεντρώσεων των σωματιδίων ρύπων των  $PM_{10}$  και των  $PM_{2,5}$  κατά περίπου -52% και -53% αντίστοιχα (Filonchik et al., 2020), ενώ οι αέριοι ρύποι πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown μειώθηκαν κατά περίπου -53% το  $NO_2$ , -30% το CO, -18% το  $SO_2$  και -12% η  $NH_3$ .

### **3.7.ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ $NO_2$ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΝΔΗΜΙΑ**

Ο αντίκτυπος των μέτρων περιορισμού στην ποιότητα του αέρα επηρεάζεται άμεσα από τον μέσο όρο των συγκεντρώσεων του  $NO_2$ . Όπως προαναφέρθηκε τα οξειδία του αζώτου  $NO_x$ , τα οποία εκπέμπονται από την καύση ορυκτών καυσίμων (καυσαέρια αυτοκινήτων), ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Συνέπεια των παραπάνω είναι ο φωτοχημικός σχηματισμός του τροποσφαιρικού όζοντος, ο οποίος είναι πρόδρομος των δευτερογενών ανόργανων και οργανικών αερολυμάτων, τα οποία έχουν τεράστιο περιβαλλοντικό αντίκτυπο και σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ατόμου

Στη μελέτη των Wange et al. (2020), οι σημαντικότεροι παγκόσμιοι παραγωγοί για το  $NO_2$  είναι οι ΗΠΑ, η Ευρώπη, η Κίνα, η Ινδία, όπου ορίζονται ως οι πλέον πιο αστικοποιημένες περιοχές, παγκοσμίως. Οι συγκεντρώσεις του  $NO_2$  συγκρίθηκαν με τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων των 5 ετών για τον αντίστοιχο μήνα. Με τον τρόπο αυτό, παρατηρήθηκαν μειώσεις τουλάχιστον κατά 10%. Ανάλογα με το πότε εφαρμόστηκαν οι περιορισμοί της

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

κυκλοφορίας και του lockdown γενικότερα, τα μεγέθη της μείωσης ποικίλλουν από τη μια περιοχή στην άλλη.



Εικόνα 3.4. Οι περιοχές με τα μεγαλύτερα ποσοστά ρύπανσης από τον αέριο ρύπο NO<sub>2</sub> σε παγκόσμια κλίμακα πριν την θεσμοθέτηση των lockdown.

Η δυτική, η νότια και η κεντρική Ευρώπη παρουσίασαν μείωση της τροποσφαιρικής στήλης του NO<sub>2</sub> τόσο κατά το Μάρτιο όσο και κατά τον Απρίλιο του έτους 2020. Εντονότερη μείωση καταγράφηκε το μήνα Απρίλιο του έτους 2020, όταν στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες επιβλήθηκαν αυστηρά μέτρα περιορισμού και lockdown (Brayet al., 2021).

Κατά τη σύγκριση των μέσων όρων της τροποσφαιρικής στήλης του NO<sub>2</sub> κατά τον Μάρτιο και τον Απρίλιο του έτους 2020 με τις τιμές των αντίστοιχων μέσων όρων των μηνών Μαρτίου-Απριλίου της περιόδου 2015–2019, παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στις συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> (στην ατμόσφαιρα) της τάξης των 9,19% και 9,57%, αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

μείωση σημείωσε η Βόρεια Αμερική τον Μάρτιο του 2020 (16,20% χαμηλότερη από τον μέσο όρο), ενώ η μεγαλύτερη μείωση στην Ευρώπη σημειώθηκε τον Απρίλιο του 2020 (17,83% του μέσου όρου NO<sub>2</sub>) (Mandal & Pal, 2020). Παρόλο που η μεγαλύτερη μέση μείωση της συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του lockdown, ταυτόχρονα, παρατηρήθηκε έντονη διακύμανση ως προς το μέγεθος της μεταβολής μεταξύ των χωρών ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές διακυμάνσεις κάθε χώρας.

Στην Κίνα, σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub> παρατηρήθηκε τον Μάρτιο του 2020 κυρίως στο ανατολικό τμήμα της χώρας. Τον Απρίλιο του 2020, ωστόσο, μεγάλο μέρος αυτής της περιοχής σημείωσε αύξηση του NO<sub>2</sub> μετά τη χαλάρωση των μέτρων περιορισμού και lockdown (Wang et al., 2020).

### **3.8. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ NO<sub>2</sub> ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

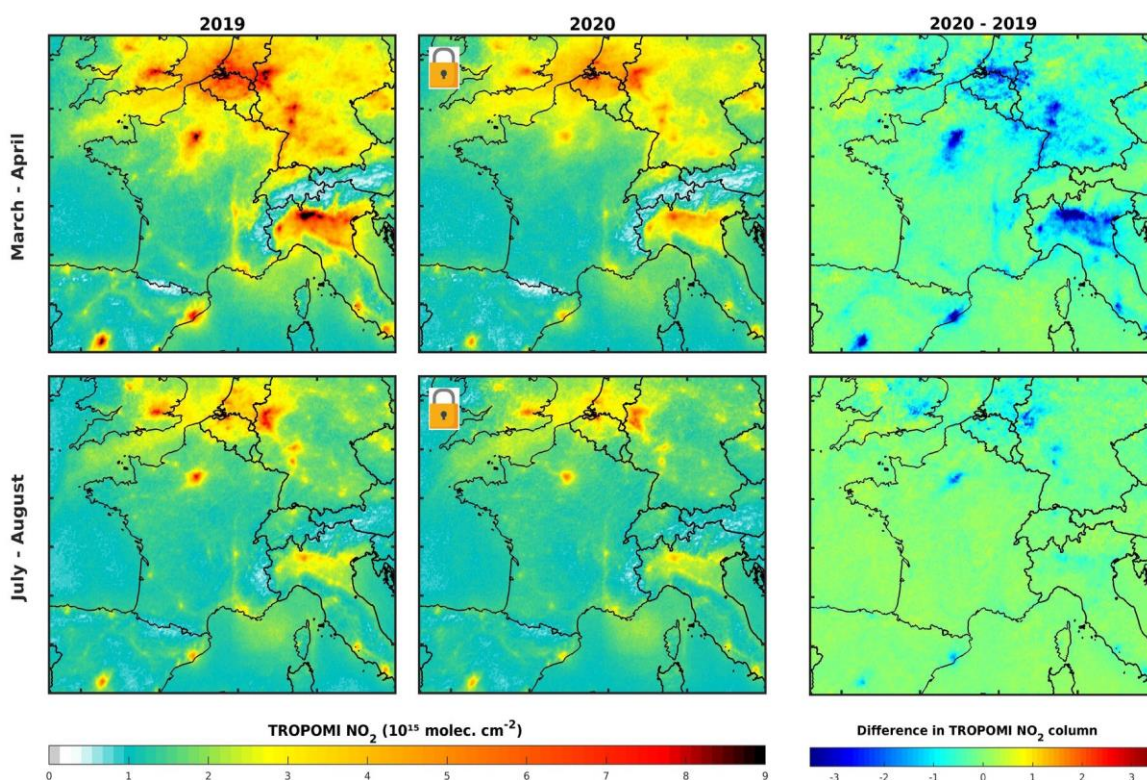
Οι πιθανές αιτίες των παρατηρούμενων διακυμάνσεων στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων κατά τη διάρκεια του lockdown οφείλονται σε μεταβολές στην ένταση εκπομπής των πηγών των ρύπων, ανάλογα με την επίδραση της επικρατούσας μετεωρολογίας κάθε χώρας. Για τον λόγο αυτό, διεξάχθηκε διερεύνηση της μεταβλητότητας των μετεωρολογικών παραμέτρων της εκάστοτε περιοχής. Η καταγραφή των μελετών αυτών, παρατηρήθηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (National Observatory of Athens, NOA) στο Θησείο, τόσο κατά το έτος 2020 (Μάρτιος-Μάιος) όσο και κατά τα προηγούμενα έτη (Chu et al., 2021).

Κατά τη περίοδο μελέτης του έτους 2020 δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές μετεωρολογικές μεταβολές συγκριτικά με τον μέσο όρο των μελετών των τεσσάρων προηγούμενων ετών. Η μέση οριζόντια ταχύτητα ανέμου η οποία θεωρείται ως η σημαντικότερη παράμετρος για τη

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα*  
*Κατσούλη Αντωνία*

συσσώρευση και διασπορά των πρωτογενών ρύπων στο αστικό περιβάλλον, ήταν ίση με  $2,9 \text{ ms}^{-1}$  κατά την περίοδο 2016–2019 (Μάρτιος–Μάιος), και σχεδόν ίση με τον αντίστοιχο μέσο όρο του έτους 2020 ( $3,0 \text{ m s}^{-1}$ ) (Coccia, 2020).

Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας που λήφθηκε υπόψη ήταν οι βροχοπτώσεις (που θεωρείται ο σημαντικότερος δείκτης έκπλυσης από τους ρύπους της ατμόσφαιρας) καθώς μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των επιπέδων ρύπανσης της ατμόσφαιρας (ιδίως από σωματιδιακούς ρύπους, μέσω της έκπλυσής τους). Οι συνολικές ποσότητες βροχοπτώσεων που καταγράφηκαν κατά τις ανοιξιάτικες περιόδους 2016–2019 ήταν 43–116 mm (69 mm προ-lockdown και κατά την περίοδο lockdown συνδυαστικά), ενώ κατά την άνοιξη του έτους 2020 η τιμή τους ήταν ίση με 105 mm (76 mm για τις περιόδους προ-lockdown και lockdown συνδυαστικά) (Shrestha et al., 2020).



Εικόνα 3.5. Συγκριτική εικόνα του μέσου όρου των συγκεντρώσεων του ρύπου  $\text{NO}_2$  στην Ισπανία σε διάστημα ενός έτους (2019–2020).

Οι μεταβολές στις μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά το έτος 2020, σε τρεις επιλεγμένες περιόδους (πριν, κατά την διάρκεια και μετά το lockdown), παρέμειναν σε σταθερό επίπεδο και συγκρίθηκαν με τα προηγούμενα χρόνια. Κατά το έτος 2020, η μέση ταχύτητα ανέμου ήταν σχεδόν ίση με τις δύο πρώτες περιόδους ( $3,1 \text{ m s}^{-1}$ ), παρουσιάζοντας μείωση κατά την τρίτη περίοδο ( $2,5 \text{ m s}^{-1}$ ). Μακροπρόθεσμες παρατηρήσεις και αναλύσεις συνοπτικής ροής του ανέμου για την Αθήνα υποδεικνύουν ότι κατά το μήνα Μάιο, η περιοχή υφίσταται αυξημένη επιρροή ενός αντικυκλωνικού συστήματος που καλύπτει την Ανατολική Μεσόγειο, ενώ η συχνότητα των κλειστών συστημάτων βαρομετρικού χαμηλού υποχωρεί σημαντικά (Habibi et al., 2020).

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι ισχυροί βόρειοι άνεμοι που παρατηρούνται κατά τον Μάρτιο και τον Απρίλιο, γίνονται λιγότερο συχνοί, δίνοντας τη θέση τους σε ασθενέστερους από τον μέσο όρο ανέμους που σχετίζονται κυρίως με την κυκλοφορία θαλάσσης και στεριάς. Οι παρατηρήσεις αυτές επαληθεύτηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης του έτους 2020, με επικράτηση (>50%) των βορειοανατολικών ανέμων κατά τις περιόδους καραντίνας και με υψηλότερη συχνότητα (62%) νότιας διεύθυνσεως ανέμων κατά τις ημέρες μετά το lockdown (Chu et al., 2021).

Επίσης παρατηρήθηκε μείωση της ταχύτητας του ανέμου τόσο κατά την τρίτη περίοδο (δηλαδή μετά το lockdown) όσο και κατά τα προηγούμενα τέσσερα χρόνια. Όσον αφορά τον παράγοντα των βροχοπτώσεων, το μοτίβο μεταξύ των τριών περιόδων (προ-lockdown, lockdown, μετά το lockdown) ήταν σχετικά σταθερό σε σύγκριση με το έτος 2020 και κατά το διάστημα 2016-2019. Για το έτος 2020, το ποσοστό βροχόπτωσης ήταν αρκετά υψηλότερο κατά την περίοδο εγκλεισμού, σε σύγκριση με περιόδους μη εγκλεισμού. Παρόλα αυτά η ένταση και η συχνότητα τους παρέμειναν σχετικά χαμηλές (10 ημέρες με βροχή κατά την περίοδο 23 Μαρτίου–10 Μαΐου 2020 για αθροιστική βροχόπτωση 47 mm) (Shrestha et al., 2020).

Για τις ημέρες όπου η συνολική βροχόπτωση ξεπέρασε τα 10 mm, σημειώθηκαν μεγάλες μεταβολές στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας (1, 1 και 2 ημέρες κατά το έτος 2020 για τις τρεις διαδοχικές περιόδους, δηλαδή προ-lockdown, lockdown, μετά το lockdown) (Coccia, 2020).

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Οι πιθανοί λόγοι των παρατηρούμενων μεταβολών στα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων κατά τις τρεις εξεταζόμενες περιόδους του έτους 2020 (προ-lockdown, lockdown, μετά το lockdown) και σε σύγκριση με τα προηγούμενα έτη θα πρέπει να αποδοθούν κυρίως σε μεταβολές στην ένταση των πρωτογενών πηγών εκπομπής ρύπων και όχι σε μετεωρολογικούς παράγοντες (Dong et al., 2021).

Η υπόθεση αυτή μελετήθηκε περαιτέρω με την βοήθεια της σύγκρισης των μοντέλων που ενσωματώνουν διαφορετικά σενάρια εκπομπών πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown. Με την βοήθεια της συγκεκριμένης μεθόδου, διαπιστώθηκε ότι οι παρατηρούμενες μεταβολές στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων κατά το έτος 2020 και σε σχέση με τις μετεωρολογικές μεταβολές οφείλονταν κυρίως σε πρωτογενείς ρύπους που προέρχονται άμεσα από πηγές εκπομπής.

Οι μακροπρόθεσμες πτωτικές τάσεις των τιμών των ρύπων εξαιτίας διαφόρων στρατηγικών μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρούνται γενικά ως ένας κοινός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το εκάστοτε είδος ανάλυσης. Στην περίπτωση της Αθήνας, οι ρύποι  $\text{NO}_2$  και ο μαύρος άνθρακας BC δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές κατά την περίοδο από το 2016 και μετά (Panda et al., 2021).

Για τους μέσους όρους των 7 ημερών (με επίκεντρο κάθε ημέρα παρατήρησης) που καταγράφηκαν, ελήφθησαν υπόψη οι συγκεντρώσεις των ρύπων του έτους 2020. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα 4 προηγούμενα έτη προκειμένου να υπολογιστεί μια μέση τιμή για τα έτη αυτά (2016–2019) (Coccia, 2020).

Είναι σαφές ότι για τον αέριο ρύπο  $\text{NO}_2$  και το μαύρο άνθρακα BC που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα,  $\text{BC}_{\text{ff}}$  (Black Carbon from Fossil Fuels), κατά τη περίοδο εγκλεισμού, οι συγκεντρώσεις ήταν σταθερά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές των συγκεντρώσεων που παρατηρήθηκαν τα προηγούμενα 4 χρόνια. Αντίθετα, κατά τις περιόδους πριν και μετά το lockdown, τα επίπεδα των ρύπων για το έτος 2020 ήταν κυρίως εντός των ορίων (ή υψηλότερα) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν στο παρελθόν (Comunian et al., 2020).



*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Ακολουθώντας ένα εντελώς διαφορετικό μοτίβο, τα επίπεδα του μαύρου άνθρακα που προέρχεται από την καύση βιομάζας  $BC_{bb}$  (Black Carbon from Biomass Burning), κατά το έτος 2020 παρουσίασαν παρόμοια επίπεδα, ακολουθώντας μια τυπικά πτωτική τάση (ανάλογα με την εκάστοτε εποχή), όπως και τα προηγούμενα χρόνια (Habibi et al., 2020).

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων ρύπων σχετίζονται με τις μετακινήσεις ( $NO_2$ ,  $BC_{ff}$ ). Κατά την χρονική περίοδο από 2016-2019 οι τιμές των  $NO_2$ ,  $BC_{ff}$  ήταν σχετικά σταθερές. Κατά το έτος 2020, οι τιμές αυτών μεταβλήθηκαν με τα επίπεδα του  $NO_2$  και του  $BC_{ff}$  να μειώνονται σημαντικά κατά την περίοδο εγκλεισμού, όταν η διαφορά των συγκεντρώσεων σε σύγκριση με τον μέσο όρο 2016–2019 ήταν κατά 42% και 47% για το  $NO_2$  και το  $BC_{ff}$ , αντίστοιχα χαμηλότερη (Hammer et al., 2021).

Αντίθετα, μικρές διαφορές στα επίπεδα των ρύπων (–10% έως +9%) παρατηρήθηκαν για τις περιόδους πριν και μετά το lockdown, μεταξύ του έτους 2020 και της περιόδου 2016–2019 (Shrestha et al., 2020).

Η πλειοψηφία των μελετών που συγκρίνουν πιθανές μεταβολές των ρύπων σε επίπεδο πόλης κατά τη διάρκεια του lockdown του έτους 2020 σε μεγαλουπόλεις, έναντι των περιόδων ελέγχου 2-5 ετών στο παρελθόν, ανέφεραν ότι οι συγκεντρώσεις του  $NO_2$  μειώθηκαν κατά 30-60%. Επίσης, σημειώθηκε μείωση της τάξης του 47% σε σύγκριση με το έτος 2019 για τις συγκεντρώσεις του μαύρου άνθρακα κατά τη διάρκεια του lockdown στην πόλη Γιουχάν (Κίνα). Το γεγονός αυτό αποδόθηκε κυρίως σε μειωμένες εκπομπές από οχήματα κατά την περίοδο εγκλεισμού (Dong et al., 2021).

Σε πόλεις της Νότιας Ευρώπης όπως είναι η Ρώμη, το Τορίνο, η Νίκαια, η Βαλένθια, καταγράφηκαν μειώσεις 30–63%, σε σχέση με την περίοδο 2017–2019 (Coccia, 2020).

Επιπλέον παρουσιάστηκαν μειώσεις του  $NO_2$  κατά 43–54% στη Μαδρίτη και τη Βαρκελώνη, σε σχέση με τα έτη 2018 και 2019, υπογραμμίζοντας επίσης τη σημασία της μετεωρολογίας του κάθε τόπου (Briz-Redónetal et al., 2021). Οι μετεωρολογικές συνθήκες σε συνάρτηση με την αυστηρότητα των μέτρων περιορισμού και την τήρηση τους από τον πληθυσμό ήταν οι σημαντικότεροι παράμετροι για τις παρατηρούμενες μειώσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων στο συγκεκριμένο είδος ανάλυσης.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Για παράδειγμα, σημειώθηκαν μεγάλες μειώσεις της τάξης του 80% (κατά μέσο όρο) στις συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> στην πόλη Κίτο (Εκουαδόρ)(συγκριτικά με την περίοδο 2018-2019) κατά την περίοδο του εγκλεισμού και με πλήρη αναστολή της βιομηχανικής παραγωγής και των μεταφορών (Briz-Redón et al., 2021).

Σε μελέτη που αφορά τις ΗΠΑ αναφέρθηκε, μείωση της τάξης των 25% για τα επίπεδα του NO<sub>2</sub> (σε σύγκριση με την περίοδο 2017-2019), ενώ σε πολιτείες που υιοθέτησαν καθυστερημένα ή και καθόλου την αναστολή λειτουργίας των επιχειρήσεων και των σχολείων ήταν ελαφρώς χαμηλότερη (24%) (Chu et al., 2021).

Ωστόσο, σε περιπτώσεις περιοχών που δεν ακολούθησαν αυστηρά μέτρα εγκλεισμού, όπως στην πόλη Μέμφις (Τεννεσί), όπου η μεταφορά των πολιτών δεν ήταν περιορισμένη και οι επιχειρήσεις παρέμειναν ανοιχτές, δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα (Hammer et al., 2021).

## **4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η εργασία αυτή επικεντρώθηκε στην μελέτη ποικίλων δεδομένων και στατιστικών στοιχείων ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των ερευνών πριν και μετά την εμφάνιση της πανδημίας COVID-19 και σε σχέση με την επιβολή μέτρων περιορισμού που ελήφθησαν από τις εκάστοτε εθνικές κυβερνήσεις. Η παρούσα μελέτη αφορά την παρακολούθηση των μεταβολών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αστικά κέντρα που βρίσκονται στην Ευρώπη, την Ασία και την Αμερική. Η συγκεκριμένη έρευνα επικεντρώθηκε στα αστικά κέντρα της Νέας Υόρκης (ΗΠΑ), της Γιουχάν (Κίνα), του Νέου Δελχί (Ινδία), των πόλεων Ρίο Ντε Τζανέιρο και Σάο Πάολο (Βραζιλία), των πόλεων Μιλάνο και Ρώμης (Ιταλία) και τέλος της Αθήνας και των Χανίων Κρήτης (Ελλάδα). Για την επίτευξη των προαναφερόμενων, αρχικά συλλέχθηκαν δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την εκάστοτε πόλη από 3 χρονικές περιόδους, πριν και κατά την διάρκεια της τήρησης των περιορισμών και μετά τη λήξη της εφαρμογής των μέτρων αυτών. Στην συνέχεια παρατέθηκαν και σχολιάστηκαν οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις μεταβολές των συγκεντρώσεων του κάθε ρύπου μεμονωμένα.

Συγκεκριμένα συλλέχθηκαν και εξετάστηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, τροποσφαιρικού όζοντος (O<sub>3</sub>) και NO<sub>2</sub> σε μεγαλουπόλεις, όπως είναι το Μιλάνο (Ιταλία), η Νέα Υόρκη (ΗΠΑ), η πόλη Γιουχάν (Κίνα) και το Νέο Δελχί (Ινδία). Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των PM<sub>2,5</sub> και του τροποσφαιρικού όζοντος στις ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες αναλύθηκαν επίσης καθώς και οι δορυφορικές μετρήσεις της συγκέντρωσης του ρύπου NO<sub>2</sub> σε παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα.

Επίσης, ο αντίκτυπος των ενεργειών της πολιτικής που σχεδιάστηκε για τον μετριασμό της πανδημίας COVID-19, συσχετίστηκε με την αυστηρότητα των μέτρων περιορισμού στις παρατηρούμενες αλλαγές στην ατμόσφαιρα και στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Η έναρξη και η χρονική εξέλιξη των ποσοστών μόλυνσης από τον ιό SARS-CoV-2 ποικίλλουν παγκοσμίως,

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

ανάλογα με τις τα διαστήματα εγκλεισμού και καραντίνας της εκάστοτε πόλης (Habibi et al., 2020).

Τα αποτελέσματα (με βάση δορυφορικές παρατηρήσεις) έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του ρύπου NO<sub>2</sub> ήταν γενικά χαμηλότερες από τα φυσιολογικά επίπεδα τόσο σε επίπεδο αστικής κλίμακας όσο και σε περιφερειακή και εθνική κλίμακα (Pennington & Seinfeld, 2021). Παρόμοια οι συγκεντρώσεις των ρύπων CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> και PM<sub>10</sub> στην ατμόσφαιρα ήταν χαμηλότερες από τον μέσο όρο των αντίστοιχων, σε περιόδους μη εγκλεισμού.

Σε αντίθεση με αυτό, οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν γενικά υψηλότερες, γεγονός που μπορεί κυρίως να αποδοθεί στη μείωση των εκπομπών του NO λόγω της μείωσης των βιομηχανικών δραστηριοτήτων και των μετακινήσεων.

Οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2,5</sub> σωματιδίων στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν κυρίως χαμηλότερες από τον μέσο όρο για μεγάλο μέρος της έκτασης των ΗΠΑ, ενώ οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν ελαφρώς υψηλότερες από το μέσο όρο (Gaubert et al., 2021).

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις κάθε ρύπου εξετάστηκαν επίσης σε αστική κλίμακα. Οι μέσες περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις των ρύπων PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> και CO μειώθηκαν ανάλογα με τα χρονικά διαστήματα εφαρμογής μέτρων περιορισμού και καραντίνας κάθε πόλης, ενώ οι μέσες συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων SO<sub>2</sub> και τροποσφαιρικού όζοντος αυξήθηκαν. Η μόνη πόλη που δεν σημείωσε αύξηση στις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης ήταν το Νέο Δελχί, γεγονός το οποίο μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί στις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Mishra & Kulshrestha, 2021).

Οι μεταβολές αυτές στις συγκεντρώσεις των ρύπων ενδέχεται, εν μέρει, να αποδοθούν στον περιορισμό της κυκλοφορίας και της βιομηχανικής δραστηριότητας λόγω των μέτρων εγκλεισμού που ελήφθησαν με στόχο τον περιορισμό της πανδημίας COVID-19 (Dai et al., 2020). Η αύξηση των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος μπορεί πιθανότατα να αποδοθεί στη μείωση των εκπομπών του τροποσφαιρικού NO, γεγονός το οποίο πιθανόν οδήγησε στη μείωση της αντίδρασης του NO με το τροποσφαιρικό όζον προς σχηματισμό NO<sub>2</sub>.

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά είναι προφανές ότι η υποχρεωτική εφαρμογή lockdown που σχετίζεται με τα μέτρα περιορισμού της πανδημίας COVID-19, είχαν μεγάλο αντίκτυπο στο ατμοσφαιρικό αέρα. Με τη μείωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων και της κίνησης των ιδιωτικής χρήσης αυτοκινήτων, οι μέσες περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις της σωματιδιακής ύλης, του CO, του NO<sub>2</sub> και σε ορισμένες περιπτώσεις του SO<sub>2</sub> ήταν πολύ χαμηλότερες από ότι συνήθως λόγω ενός συνδυασμού χαμηλότερων εκπομπών και μετεωρολογικών συνθηκών (Liu et al., 2021).

Σε αντίθεση με αυτό, οι μέσες συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος ήταν υψηλότερες από το κανονικό λόγω της μείωσης των εκπομπών του NO κυρίως από την κυκλοφορία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ρύπων στο περιβάλλον δεν είναι μόνιμες και δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της αυξομειώσης των εκπομπών στην ποιότητα του αέρα σε παγκόσμια, περιφερειακή και αστική κλίμακα (Gaubert et al., 2021).

Ωστόσο, η έλλειψη ετοιμότητας για εφαρμογή των άμεσων μέτρων κατά του περιορισμού της πανδημίας COVID-19 υπογραμμίζει την ανάγκη για μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για ένα καλύτερο σε ποιότητα περιβάλλον. Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτείται η χρήση καθαρότερων πηγών ενέργειας, δηλαδή η υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (Filonchuk et al., 2020).

Τα μέτρα περιορισμού και εγκλεισμού επιβλήθηκαν στους Έλληνες πολίτες στις 23 Μαρτίου του 2020. Στην παρούσα εργασία όπως προαναφέρθηκε, διεξάχθηκε έρευνα για την επίδραση των περιοριστικών μέτρων στις ημερήσιες και μηνιαίες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> για την πόλη των Χανίων (Πληροφορίες από μετρήσεις του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά Κρήτης, 2019-2021).

Από την μελέτη των σωματιδιακών ρύπων PM<sub>10</sub> στον ατμοσφαιρικό αέρα της πόλης των Χανίων Κρήτης παρατηρήθηκε το γεγονός ότι μετά τον τρίμηνο εγκλεισμό των πολιτών, ήταν φανερή η έντονη πτώση των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων αυτών των ρύπων. Όσο τα

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* *Κατσούλη Αντωνία*

περιοριστικά μέτρα, η αυστηρότητα και πίεση για τήρηση των μέτρων αυξάνονταν, τόσο εντονότερη ήταν η πτώση των τιμών αυτών.

Παρόλα αυτά οι τιμές των σωματιδιακών ρύπων  $PM_{10}$  αυξήθηκαν από το διάστημα της έναρξης της χρήσης θέρμανσης κατά την χειμερινή περίοδο (από 01/11/2020 και μετά) παρουσιάζοντας τις μέγιστες τιμές τους τον Δεκέμβριο του έτους 2020. Όπως είναι κατανοητό, η εκτόξευση αυτή οφειλόταν στις γιορτές των Χριστουγέννων, όπου η τήρηση των περιοριστικών νόμων ήταν ανεπαρκής.

Παρατηρώντας τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων των σωματιδίων  $PM_{10}$  πριν το διάστημα αυτό, δηλαδή κατά το διάστημα από 10/07/2019 έως 22/03/2020 ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων τους παρέμεινε σχετικά σταθερός με μικρή απόκλιση εντός του εύρους τιμών από  $28\mu\text{g}/\text{m}^3$  έως  $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ , όσον αφορά τις κατώτερες και ανώτερες τιμές, αντίστοιχα (Πληροφορίες από μετρήσεις του Εργαστηρίου Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά Κρήτης, 2019-2021).

Μετά την έναρξη των μέτρων απαγόρευσης της κυκλοφορίας (από 23/03/2020 και για χρονικό διάστημα τριών μηνών), παρατηρήθηκε μια έντονη πτώση των συγκεντρώσεων των σωματιδιακών ρύπων που κυμαίνονταν σε ποσοστό 15,8 %. Παρατηρήθηκε ότι όσο τα μέτρα αυστηρότητας και η πίεση για τήρηση των μέτρων αυξάνονταν, τόσο εντονότερη ήταν η πτώση των συγκεντρώσεων των εισπνεύσιμων ατμοσφαιρικών σωματιδιακών ρύπων  $PM_{10}$ .

Αντίθετα από το διάστημα 01/11/2020 και μετά οι προαναφερόμενες ημερήσιες τιμές των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων αυξήθηκαν από 29% έως 33%, έχοντας την εκτόξευση τους τον Δεκέμβριο του 2020, όπου καταγράφηκε μια μέση αύξηση των συγκεντρώσεων κατά 50,62%. Όπως είναι κατανοητό η αύξηση αυτή οφειλόταν στις γιορτές των Χριστουγέννων, όπου οι νόμοι περιορισμού δεν τηρούνταν αρκετά αυστηρά. Γενικότερα παρατηρήθηκε ότι καθώς τα μέτρα αυστηρότητας μειώνονταν και η κοινωνία ξεκινούσε να βαδίζει σε πιο έντονους ρυθμούς, καταγράφονταν υψηλότερες συγκεντρώσεις εισπνεύσιμων ατμοσφαιρικών σωματιδιακών ρύπων  $PM_{10}$ , αμελώντας, πολλές φορές, το γεγονός ότι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος θα πρέπει πάντα να υπάρχει τόσο η υγεία του ατόμου, όσο και η ευημερία του κοινωνικού συνόλου (Πληροφορίες από μετρήσεις του Δρ. Ηλία Κοπανάκη από

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* Κατσούλη Αντωνία

το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης με προϊστάμενο τον Καθηγητή Μιχαήλ Λαζαρίδη, Χανιά Κρήτης, 2019-2021).

Συνολικά από την έρευνα αυτή έγινε κατανοητό, ότι η ποσοτική αξιολόγηση της μεταβολής της συγκέντρωσης των αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά τη διάρκεια της πανδημίας σε αστικά κέντρα μπορεί να λειτουργήσει ως οδοιπορικός χάρτης για μελλοντικές στρατηγικές μετριασμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ένα καλύτερο - σε ποιότητα - περιβάλλον.

Εκτός όμως της επίδρασης των μέτρων περιορισμού στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα κατά τη διάρκεια της πανδημίας που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, υπάρχουν και άλλοι τρόποι για να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με μη ανθρακούχα καύσιμα αποτελεί την κύρια δράση, η οποία θα οδηγούσε στη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Σημαντικά μέτρα αποτελούν επίσης η εφαρμογή προτύπων απόδοσης των καυσίμων για τις μεταφορές καθώς και η ταυτόχρονη υποστήριξη οχημάτων μηδενικών εκπομπών. Η προώθηση της χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς, η αύξηση της χρήσης ποδηλάτων καθώς και πεζοδρόμων μπορούν να εγγραφούν σε μεγάλο βαθμό τη μείωση των εκπομπών των επιβλαβών για τον άνθρωπο ατμοσφαιρικών ρύπων. Όσον αφορά στους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας και της γεωργίας, μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων θα επιφέρει η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι προαναφερόμενες προτάσεις προϋποθέτουν την υιοθέτηση μιας σειράς φιλικών προς το περιβάλλον πολιτικών στο βιομηχανικό, μεταποιητικό, και γεωργικό τομέα που μειώνουν τόσο την ατμοσφαιρική ρύπανση όσο και τα αέρια του θερμοκηπίου (Shi & Brasseur, 2020).

## **Βιβλιογραφία**

### Αγγλική Βιβλιογραφία (αλφαβητικά)

1. Airlab PSI 2004. [online] Διαθέσιμο στο: [https://www.airlab.edu.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=104&lang=el](https://www.airlab.edu.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=104&lang=el) [Προσβάσιμο 10/10/2020].
2. AQI, 2004 [online] Διαθέσιμο στο: [https://www.airlab.edu.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=104&lang=el](https://www.airlab.edu.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=104&lang=el) [Προσβάσιμο 10/10/2020].
3. AQI, (2019). An attempt to cut through the haze of Air Quality Indices (AQIs), including Singapore's Pollution Standard Index (PSI) – Environmental, National University of Singapore Pollution, [Online] Διαθέσιμο στο: [NUS - National University of Singapore](https://www.nus.edu.sg/psipollution/)
4. AQI [online] Διαθέσιμο στο: <https://airlab.eng.uowm.gr/chrisima/deiktes-poiotitas-aera/>.
5. Bedi, J. S., Dhaka, P., Vijay, D., Aulakh, R. S., Gill, J. P. S., 2020. Assessment of air quality changes in the four metropolitan cities of India during COVID-19 pandemic lockdown. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(10), 2062-2070. [online] Διαθέσιμο στο: <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-05-covid-0209> [Προσβάσιμο 10/10/2020].
6. Bray, C. D., Nahas, A., Battye, W. H., Aneja, V. P. (2021). Impact of lockdown during the COVID-19 outbreak on multi-scale air quality. *Atmospheric Environment*, 254, 118386 [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8018787/> [Προσβάσιμο 02/04/2021].
7. Briz-Redón, Á., Belenguer-Sapiña, C., Serrano-Aroca, Á. (2021). Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: a multi-city study. *Journal of environmental science*, 101, 16-26 [online]. Διαθέσιμο από: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33334512/> [Προσβάσιμο 29/07/2020].
8. CAMS, 2020, Atmosphere Monitoring Service, Διαθέσιμο στο: <https://atmosphere.copernicus.eu/cams-tracks-record-breaking-arctic-ozone-hole> [Online], [Προσβάσιμο 6/4/2020]



9. Chen, R., Yin, P., Meng, X., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Xu, X., Zhou, M. (2019). Associations between coarse particulate matter air pollution and cause-specific mortality: a nationwide analysis in 272 Chinese cities. *Environmental health perspectives*, 127 (01), 017008. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6378682/> [Προσβάσιμο 31/12/2019].
10. Chen, Y., Zhang, S., Peng, C., Shi, G., Tian, M., Huang, R. J., Guangming, S., Dongmei G., Huanbo, W., Xiaojiang, Y., Yang, F. (2020). Impact of the COVID-19 pandemic and control measures on air quality and aerosol light absorption in Southwestern China *Science of the Total Environment* 749, 141419. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7399664/> [Προσβάσιμο 31/12/2019].
11. Chu, B., Zhang, S., Liu, J., Ma, Q., He, H. (2021). Significant concurrent decrease in PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> concentrations in China during COVID-19 epidemic. *Journal of environmental sciences*, 99, 346-353. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7328636/> [Προσβάσιμο 01/07/2020].
12. Coccia, M. (2020). Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. *Science of the Total Environment*, 729, 138474. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7169901/> [Προσβάσιμο 20/04/2020].
13. Comunian, S., Dongo, D., Milani, C., Palestini, P. (2020). Air pollution and COVID-19: the role of particulate matter in the spread and increase of COVID-19's morbidity and mortality. *International journal of environmental research and public health*, 17 (12), 4487. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7345938/> [Προσβάσιμο 22/06/2020].
14. Corona Virus Disease Statistics From *JHU CSSE COVID-19 Data* Διαθέσιμο στο [https://www.google.gr/search?q=covid+deaths&sxsrf=AJOqlzWY04iy8ij9j1yyE-RH9n8W8bHlhA%3A1673177988746&source=hp&ei=hKu6Y4bGKsK0kwXAs5yIBQ&iflsig=AK50M\\_UAAAAAY7q51P2jAQTW2Mxo1e0GwCAihqT105T\\_&ved=0a\\_hUKEwiGmKbd8bf8AhVC2qQKHcAZB1EQ4dUDCAg&uact=5&oq=covid+deaths&gs\\_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyCwgAEIAEELEDEIMBMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEOgQIIxAnOg4ILhCABBCxAxDHARDRAzoUCC4QgAQQsOMQ](https://www.google.gr/search?q=covid+deaths&sxsrf=AJOqlzWY04iy8ij9j1yyE-RH9n8W8bHlhA%3A1673177988746&source=hp&ei=hKu6Y4bGKsK0kwXAs5yIBQ&iflsig=AK50M_UAAAAAY7q51P2jAQTW2Mxo1e0GwCAihqT105T_&ved=0a_hUKEwiGmKbd8bf8AhVC2qQKHcAZB1EQ4dUDCAg&uact=5&oq=covid+deaths&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyCwgAEIAEELEDEIMBMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEOgQIIxAnOg4ILhCABBCxAxDHARDRAzoUCC4QgAQQsOMQ)

[gwEQxwEQ0QM01AI6CAgAEIAEELEDOggIABCxAxCDAToICC4QsQM0gwFQAFihJWCgJmgAcAB4AIABc4gBiQmSAQM5LjOYAQCgAQE&sclient=gws-wiz](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7647391/)  
[online] [Προσβάσιμο 22/06/2020].

15. Dai, Q., Ding, J., Song, C., Liu, B., Bi, X., Wu, J., Zhang, Y., Feng, Y., Hopke, P. K. (2021). Changes in source contributions to particle number concentrations after the COVID-19 outbreak: Insights from a dispersion normalized PMF *Science of The Total Environment*, 759, 143548. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7647391/> [Προσβάσιμο 06/11/2020].
16. Dai, Q., Liu, B., Bi, X., Wu, J., Liang, D., Zhang, Y., Feng, Y., Hopke, P. K. (2020). Dispersion normalized PMF provides insights into the significant changes in source contributions to PM<sub>2.5</sub> after the COVID-19 outbreak. *Environmental science & technology*, 54(16), 9917-9927. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7647391/> [Προσβάσιμο 02/11/2020].
17. Department for Environment Food & Rural Affairs, UK AIR, Air Information Resource, (2022). *Daily Air Quality Index* [online] Διαθέσιμο στο: <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqi> [Προσβάσιμο 02/08/2022].
18. Dong, L., Chen, B., Huang, Y., Song, Z., Yang, T. (2021). Analysis on the Characteristics of Air Pollution in China during the COVID-19 Outbreak. *Atmosphere*, 12(2), 205. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/2/205> [Προσβάσιμο 29/01/2021].
19. Filonchyk, M., Hurynovich, V., Yan, H., Gusev, A., Shpilevskaya, N. (2020). Impact assessment of COVID-19 on variations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and AOD over East China. *Aerosol and air quality research*, 20(7), 1530-1540. [online] Διαθέσιμο στο: <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-05-covid-0226> [Προσβάσιμο 07/07/2020].
20. Gaubert, B., Bouarar, I., Doumbia, T., Liu, Y., Stavrakou, T., Deroubaix, A., Darras S., Elguindi, N., Granier, C., Lacey, F., Muller J-F., Shi, X., Tilmes, S., Wang, T., Brasseur, G. P. (2021). Global changes in secondary atmospheric pollutants during the 2020 COVID-19 pandemic. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(8), e2020JD034213. [online] Διαθέσιμο στο: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JD034213> [Προσβάσιμο 14/04/2021].

21. Habibi, H., Awal, R., Fares, A., Ghahremannejad, M. (2020). COVID-19 and the improvement of the global air quality: *The bright side of a pandemic. Atmosphere*, 11(12), 1279. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/12/1279> [Προσβάσιμο 27/11/2020].
22. Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., McDuffie, E. E., Lyapustin, A., Sayer, A. M., Hsu, N.C., Levy, R C., Garay, M. J., Kalashnikova, O.V., Kahn, R. A. (2021). Effects of COVID-19 lockdowns on fine particulate matter concentrations. *Science Advances*, 7 (26), eabg7670. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8221629/> [Προσβάσιμο 23/06/2021].
23. Daskalopoulou, V., Malios, S. A., Ulanowski, Z., Hloupis, G., Gialitaki, A., Tsikoudi, I., Tassis, K., Amiridis, V. (2021). The Electrical Activity of Saharan Dust as perceived from Surface Electric Field Observations, *Atmospheric Chemistry and Physics* 21, 927–949. [Online], Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.5194/acp-21-927-2021> [Προσβάσιμο 30/07/2020].
24. Kumar, P., Hama, S., Omidvarborna, H., Sharma, A., Sahani, J., Abhijith, K. V., Debel, S.E., Zavala-Reyes, J. C., Barwise, Y., Tiwari, A. (2020). Temporary reduction in fine particulate matter due to ‘anthropogenic emissions switch-off’ during COVID-19 lockdown in Indian cities. *Sustainable cities and society*, 62, 102382. [online] Διαθέσιμο στο: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32834936/> [Προσβάσιμο 31/07/2020].
25. Kumari, P., and Toshniwal, D. (2020). Impact of lockdown measures during COVID-19 on air quality– A case study of India. *International Journal of Environmental Health Research* 32: 3, 503-510. [online] Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1778646> [Προσβάσιμο 31/07/2020].
26. Le, T., Wang, Y., Liu, L., Yang, J., Yung, Y. L., Li, G., Seinfeld, J. H. (2020). *Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China. Science*, 369 (6504), 702-706. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb7431> [Προσβάσιμο 17/06/2020].
27. Liu, Q., Harris, J. T., Chiu, L. S., Sun, D., Houser, P. R., Yu, M., Duffy, D. Q., Little, M. M., Yang, C. (2021). Spatiotemporal impacts of COVID-19 on air pollution in California, USA. *Science of the Total Environment*, 750, 141592. [online] Διαθέσιμο

- στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7416771/> [Προσβάσιμο 10/08/2020].
28. Mandal, I., Pal, S. (2020). COVID-19 pandemic persuaded lockdown effects on environment over stone quarrying and crushing areas. *Science of the Total Environment*, 732, 139281. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7211598/> [Προσβάσιμο 11/05/2020].
29. Mishra, M., Kulshrestha, U. C. (2021). A brief review on changes in air pollution scenario over South Asia during COVID-19 lockdown. *Aerosol and Air Quality Research*, 21 (4), 200541. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-08-ir-0541> [Προσβάσιμο 28/01/2021].
30. National Oceanic and Atmospheric Administration, Air Resources Laboratory (2022). HYSPLIT. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/> [Προσβάσιμο 7/11/2022].
31. Panda, S., Mallik, C., Nath, J., Das, T., Ramasamy, B. (2021). A study on variation of atmospheric pollutants over Bhubaneswar during imposition of nationwide lockdown in India for the COVID-19 pandemic. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14 (1), 97-108. [online] Διαθέσιμο στο: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-020-00916-5> [Προσβάσιμο 24/08/2020].
32. Srivastata, A., (2021). Covid-19 and air pollution and meteorology an intricate relationship: A review. *Chemosphere* 263, 128297 [online] Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128297> [Προσβάσιμο 24/08/2020].
33. Shi, X., Brasseur, G. P. (2020). The response in air quality to the reduction of Chinese economic activities during the COVID-19 outbreak. *Geophysical Research Letters*, 47 (11), e2020GL088070. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL088070> [Προσβάσιμο 12/05/2020].
34. Shrestha, A. M., Shrestha, U. B., Sharma, R., Bhattarai, S., Tran, H. N. T., Rupakheti, M. (2020). *Lockdown caused by COVID-19 Pandemic reduces air pollution in cities worldwide* [online] Διαθέσιμο στο: <https://eartharxiv.org/repository/view/304/> [Προσβάσιμο 16/04/2020].

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* Κατσούλη Αντωνία

35. TROPOMI (2023) [online] Διαθέσιμο στο: <http://www.tropomi.eu>  
[Προσβάσιμο 16/04/2020]
36. TROPOMI (2019). [Online], Διαθέσιμο στο:  
<https://cargocollective.com/dgap/Infografias> [Προσβάσιμο 3/6/2023]
37. Wang, L., Li, M., Yu, S., Chen, X., Li, J., Zhang, Y., Jiang, L., Xia, Y., Liu, W., Li, P., Lichtfouse, E., Rosenfeld, D., Seinfeld, J. H. (2020). Unexpected rise of ozone in urban and rural areas, and sulfur dioxide in rural areas during the coronavirus city lockdown in Hangzhou, China: implications for air quality. *Environmental Chemistry Letters*, 18 (5), 1713-1723 [online] Διαθέσιμο στο:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01028-3> [Προσβάσιμο 12/06/2020].
38. W.A.Q.I., World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index (2020). [online], Διαθέσιμο στο: <https://waqi.info/>, [Προσβάσιμο 15/10/2020].
39. Wikipedia, (2022). India, [online], Διαθέσιμο στο:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%87%CE%AF>,  
[Προσβάσιμο 09/09/2022].
40. Wikipedia, (2020). Latin USA, [online], Διαθέσιμο στο :  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%91%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE) [Προσβάσιμο 23/12/2020].
41. Wikipedia, (2022). Lyon, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lyon>  
[Προσβάσιμο 02/09/2022].
42. Wikipedia, (2022). Milan, [online] Διαθέσιμο στο:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%BF> [Προσβάσιμο 02/08/2022].
43. Wikipedia, (2022). Nice, [online], Διαθέσιμο στο:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%AF%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CE%B1\\_\(%CE%93%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%AF%CE%B1\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%AF%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CE%B1_(%CE%93%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%AF%CE%B1)) [Προσβάσιμο 05/06/2022].

44. Wikipedia, (2022). Rome, [online] Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CF%8E%CE%BC%CE%B7> [Προσβάσιμο από 25/05/22].
45. Wikipedia, (2021). SI (Διεθνές σύστημα μονάδων), [online], Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AD%CF%82%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CF%89%CE%BD> [Προσβάσιμο 9/12/2021].
46. Wikipedia, (2022). Turin, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turin> [Προσβάσιμο 5/08/2022].
47. Wikipedia, (2022). Uhan, [online], Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%85%CF%87%CE%AC%CE%BD> [Προσβάσιμο 02/09/2022].
48. Wikipedia, (2022). USA, [online], Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%AD%CE%B1%CE%A5%CF%8C%CF%81%CE%BA%CE%B7> [Προσβάσιμο 07/09/2022].
49. World Health Organization, (2022). Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> [Προσβάσιμο 19/10/2022].
50. Yang, J., Wen, Y., Wang, Y., Zhang, S., Pinto, J. P., Pennington, E. A., Elyse, A., Zhou, W., Ye, W., Stanley, S. P., Jiang, J.H., Hao, J., Yung, Y.L., Seinfeld, J., Seinfeld, J. H. (2021). From COVID-19 to future electrification: Assessing traffic impacts on air quality by a machine-learning model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (26). [online] Διαθέσιμο στο: <https://search.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-1279951> [Προσβάσιμο 29/06/2021].
51. Yuan, Q., Qi, B., Hu, D., Wang, J., Zhang, J., Yang, H., Zhang, S., Liu, I., Xu, L., Li, W. (2021). Spatiotemporal variations and reduction of air pollutants during the COVID-19 pandemic in a megacity of Yangtze River Delta in China. *Science of the Total Environment*, 751, 141820. [online] Διαθέσιμο στο: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32861951/> [Προσβάσιμο 10/01/2021].

*Η μεταβολή της συγκέντρωσης αερίων και σωματιδιακών ρύπων κατά την περίοδο της πανδημίας σε αστικά κέντρα* Κατσούλη Αντωνία

52. Zalakeviciute, R., Vasquez, R., Bayas, D., Buenano, A., Mejia, D., Zegarra, R., Diaz, V., Lamb, B. (2020). Drastic improvements in air quality in Ecuador during the COVID-19 outbreak. *Aerosol and Air Quality Research*, 20 (8), 1783-1792. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-05-covid-0254> [Προσβασιμο 05/07/2020].

Ελληνική Βιβλιογραφία (αλφαβητικά)

53. Βικιπαίδεια, (2022). Αθήνα [online]. Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1> [Προσβάσιμο 03/01/2023].
54. Βικιπαίδεια, (2021). Χανιά [online]. Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%AC> [Προσβάσιμο 08/12/2022 ].
55. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, (2023). Regional Forecast Europe - Mediterranean Sea, Greece. [Online] Διαθέσιμο στο <https://forecast.uoa.gr/en/forecast-maps/skiron> [Προσβάσιμο 3/6/2023].
56. Κοπανάκης Η. (2005). Μελέτη του επιπέδου των συγκεντρώσεων των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων και των αλκαλίων στην αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη PM<sub>2.5</sub> στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
57. Κοπανάκης Η. (2015). Δυναμική των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων και μελέτη του δυναμικού πυρηνοποίησης τους στην ανατολική Μεσόγειο, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά Κρήτης.
58. Λαγουδάκη, Ε. (2021). Χωρική και χρονική διακύμανση αερίων και σωματιδιακών εκπομπών σε αστικά κέντρα του πλανήτη, Πτυχιακή εργασία, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Πρόγραμμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., Χανιά Κρήτης.