

Π.Μ.Σ. ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΛΑΝΟΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

ΘΕΜΑ

**Σύγκριση των επιδράσεων της έκθεσης σε Όζον στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών με
χρήση διαφορετικών δεικτών έκθεσης στο πλαίσιο της μελέτης RESPOZE.**

ΑΘΗΝΑ, 2018

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη

ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

που απονέμει η Ιατρική Σχολή και το Τμήμα Μαθηματικών του Εθνικού & Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε την..... από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Κ. ΚΑΤΣΟΥΓΙΑΝΝΗ (Επιβλέπουσα)	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
Ε. ΣΑΜΟΛΗ	ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
Κ. ΔΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΥ	ΜΕΤΑ-ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ	

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, στο πλαίσιο της επιδημιολογικής μελέτης "RESPOZE".

Καταρχάς, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διατριβής μου, την κα. Κλέα Κατσουγιάννη, Καθηγήτρια Βιοστατιστικής και Επιδημιολογίας του Εργαστηρίου Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την καθοδήγηση και άμεση επίβλεψη της διπλωματικής μου καθώς και για την όλη συνεργασία μας και τον χρόνο που αφιέρωσε.

Στη συνέχεια, οφείλω να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας. Την κα. Ευαγγελία Σαμόλη, Επίκουρη Καθηγήτρια Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής του Εργαστηρίου Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, καθώς και την κα. Δημακοπούλου Κωνσταντίνα, Βοηθό Διδασκαλίας στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα της Βιοστατιστικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για τις πολύτιμες υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη και τη συμπαράσταση που μου παρείχαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
---------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	11
1.2 Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	12
1.3 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί Ρύποι.....	12
1.4 Φωτοχημικά οξειδωτικά – Όζον (O ₃).....	14
1.4.1 Το Όζον στην ατμόσφαιρα της Γης.....	15
1.4.2 Πηγές.....	16
1.4.3 Επιπτώσεις στην Υγεία.....	17
1.4.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	17
1.4.5 Νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας.....	18
2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ.....	20
2.1 Περιβάλλον και Υγεία.....	20
2.2 Διάκριση των Επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία.....	20
2.2.1 Βραχυχρόνιες Επιδράσεις.....	22
2.2.2 Μακροχρόνιες Επιδράσεις.....	26
3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	28

3.1 Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.....	28
3.1.1 Το αναπνευστικό σύστημα και η λειτουργία του.....	28
3.1.2 Παθοφυσιολογικές αποκρίσεις.....	28
3.1.3 Ο μηχανισμός με τον οποίο η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα - το οξειδωτικό στρες - το Όζον (O ₃).....	30
3.1.4 Επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στο αναπνευστικό σύστημα στα παιδιά - το Όζον (O ₃).....	31
 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΟΠΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....	34
4.1 Προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Study).....	34
4.2 Μέθοδοι Στατιστικής Ανάλυσης.....	35
4.2.1 Μοντέλα Παλινδρόμησης.....	35
4.2.2 Πολλαπλή γραμμική Παλινδρόμηση.....	36
4.2.3 Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Generalized Linear Models).....	38
4.2.4 Μοντέλα Μικτών Επιδράσεων (Mixed Effects Models).....	41
 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	44
5.1 Εκτίμηση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση.....	44
5.2 Μοντέλα χρήσης γης (Land use regression models – LUR).....	45
5.3 Μοντέλα διάχυσης/διασποράς χημικού μετασχηματισμού (Dispersion models).....	47

5.4 Ο ρόλος των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (ΓΣΠ) στην ανάπτυξη των μοντέλων χρήσης γης.....	49
6. ΣΚΟΠΟΣ.....	53
7. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	54
7.1 Εισαγωγή.....	54
7.2 Μεθοδολογία Υλοποίησης του προγράμματος και Συλλογή των δεδομένων.....	54
7.3 Μεταβλητές Έκβασης υγείας και Συγγχυτικοί παράγοντες.....	57
7.3.1 Ροομέτρηση.....	58
7.3.2 Συμπτώματα.....	58
7.4 Μεταβλητές Έκθεσης προς μελέτη.....	59
7.4.1 Μετρήσεις Όζοντος από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ.....	59
7.4.2 Εκτιμήσεις από Χωρο-χρονικό Μοντέλο Χρήσης Γης των συγκεντρώσεων Όζοντος (LUR models).....	59
7.4.3 Εκτιμήσεις από Μοντέλο Διάχυσης και Χημικού Μετασχηματισμού (Dispersion models).....	60
7.5 Στατιστική Ανάλυση.....	61
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	66
8.1 Αποτελέσματα Περιγραφικής ανάλυσης.....	66
8.2 Αποτελέσματα εφαρμογής Πολυπαραγοντικής Ανάλυσης.....	69
8.3 Επιδράσεις από βραχυχρόνια έκθεση.....	70
8.3.1 PEF.....	70
8.3.2 Παρουσία Συμπτωμάτων (Ρινική Συμφόρηση – Βήχας - Οποιοδήποτε	

Σύμπτωμα).....	72
8.3.3 Απουσία από το Σχολείο.....	75
8.4 Επιδράσεις από μακροχρόνια έκθεση.....	76
8.4.1 FVC.....	76
8.4.2 FEV ₁	79
8.4.3 PEF.....	81
8.4.4 Παρουσία Συμπτωμάτων (Ρινική Συμφόρηση – Βήχας - Οποιοδήποτε Σύμπτωμα).....	83
8.4.5 Απουσία από το Σχολείο.....	87
9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	90
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	94
ABSTRACT.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στην επιδημιολογική μελέτη RESPOZE (Respiratory effects of Ozone Exposure in children) συμμετείχαν 186 μαθητές Ε' Δημοτικού δημοσίων σχολείων μόνιμοι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας και Θεσσαλονίκης. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων της εξατομικευμένης έκθεσης σε O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών, με χρήση 3 διαφορετικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό της έκθεσης. Ως δείκτης εκτίμησης της εξατομικευμένης έκθεσης των παιδιών σε O_3 στη διεύθυνση κατοικίας θα χρησιμοποιήθηκαν, α) Οι μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, β) Οι εκτιμήσεις από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 και γ) Οι εκτιμήσεις από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού. Σκοπός είναι η σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης της έκθεσης. Ως δείκτες της αναπνευστικής λειτουργίας των παιδιών θα χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες αναπνευστικής λειτουργίας των σπιρομετρήσεων και τα αναπνευστικά συμπτώματα. Επιπλέον, για την προσαρμογή πιθανών συγχυτικών επιδράσεων χρησιμοποιήθηκαν ατομικής-κλίμακας δεδομένα που συλλέχθηκαν από ερωτηματολόγια. Η διερεύνηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων του O_3 έγινε με εφαρμογή μοντέλων μικτών επιδράσεων (mixed effects models) και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο 20ός αιώνας ήταν περίοδος πρωτοφανών αλλαγών. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε από 1,7 δις σε 6,1 δις (United Nations, 2001), το παγκόσμιο ΑΕΠ αυξήθηκε 19 φορές (Διεθνές Νομισματικό Ταμείο (ΔΝΤ), 2000) και η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αυξήθηκε 15 φορές (Smil, 2003). Αυτή η τεράστια επέκταση της παγκόσμιας παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών επέτρεψε στον κόσμο να διατηρήσει πολύ μεγαλύτερους πληθυσμούς και υψηλότερα πρότυπα διαβίωσης από οποιονδήποτε άλλο χρόνο στην ανθρώπινη ιστορία. Ωστόσο, για να στηρίξουν αυτή την ανάπτυξη, οι φυσικοί πόροι καταναλώθηκαν με ολοένα και πιο μη βιώσιμους ρυθμούς και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος επιταχύνθηκε. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μια από τις συνέπειες αυτής της πρωτοφανούς αλλαγής. Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, λοιπόν, γίνεται λόγος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, πώς προκαλείται, αν υπάρχουν τρόποι να αντιμετωπισθεί και ποιες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία μας.

Στη σημερινή εποχή η ατμοσφαιρική ρύπανση αναγνωρίζεται σαν ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, με αποτέλεσμα η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι αναπτυγμένες χώρες να έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας περιβάλλοντος. Τη δεκαετία του 1990, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας τροποποίησε τις κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του αέρα (AQG) για την Ευρώπη (Τσιριγώτη, 2012), παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις της έκθεσης σε διαφορετικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους στην ανθρώπινη υγεία. Ο πρωταρχικός στόχος αυτών των κατευθυντήριων γραμμών ήταν να παρασχεθεί μια βάση για την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι κατευθυντήριες γραμμές αποσκοπούσαν ειδικότερα στην παροχή πληροφοριών και καθοδήγησης στις αρχές για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης κινδύνου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) χρησιμοποίησε τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ως βάση για τον καθορισμό δεσμευτικών οριακών τιμών για την ποιότητα του αέρα και των τιμών-στόχων για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ για πολλούς ρύπους.

Στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης πλέον, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ακόμη και στα επίπεδα που συνήθως επιτυγχάνονται σήμερα, οδηγεί σε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει αρχίσει να λαμβάνει ανησυχητικές διαστάσεις ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Πρόσφατες μελέτες έχουν επίσης προσπαθήσει να

ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις στην υγεία που προκαλούνται από τη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα. Ενδεικτικά, το πλαίσιο του σχεδίου του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) εκτιμάται ότι σε ολόκληρο τον κόσμο, σχεδόν 6,4 εκατομμύρια θάνατοι κάθε χρόνο οφείλονται στην μακροχρόνια έκθεση ρύπων της ατμόσφαιρας.

Επίσης, επιδημιολογικές μελέτες κυρίως της τελευταίας δεκαετίας, έδειξαν ότι ακόμα και τα χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν άμεσες επιδράσεις στην υγεία, συμπεριλαμβανομένης και αύξησης της θνησιμότητας.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα. Οι κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι τα σωματίδια (PM), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το νιτρικό οξείδιο (NO) γνωστά μαζί ως οξείδια του αζώτου (NOX), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το Όζον (O_3). Όλα έχουν σχετιστεί με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

Το επίκεντρο αυτής της μελέτης είναι το τροποσφαιρικό O_3 . Το O_3 επιλέχθηκε επειδή παραμένει ένας από τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία στο μέλλον. Παρά τις προσπάθειες για τον έλεγχο του O_3 , οι συγκεντρώσεις του περιβάλλοντος στο βόρειο ημισφαίριο έχουν υπερδιπλασιαστεί σε 35-40 ppb από τη βιομηχανική επανάσταση και οι μέγιστες τιμές συνεχίζουν να υπερβαίνουν τις κατευθυντήριες τιμές του WHO κατά 50 ppb σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Λατινικής Αμερικής, Ευρώπη και Αφρική (WHO, 2006). Η κλιματική αλλαγή κατά τον επόμενο αιώνα αναμένεται να αυξήσει τα επίπεδα O_3 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Κάθε είδος ρύπανσης, φυσική ή ανθρωπογενής, του περιβαλλοντικού αέρα, είναι γνωστή ως ατμοσφαιρική ρύπανση, και οι παράγοντες που την προκαλούν είναι γνωστοί ως ατμοσφαιρικοί ρυπαντές. Σε γενικές γραμμές, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μια κατάσταση ανισορροπίας της ατμόσφαιρας. Ενδεχομένως να οφείλεται στην εισαγωγή ξένων παραγόντων στον αέρα, είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές, οπότε, ο αέρας καθίσταται επιβλαβής στις βιολογικές κοινότητες, γενικότερα, και στις ανθρώπινες κοινότητες, ειδικότερα (Ζιώμας, 2007).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται ως «η κατάσταση στην οποία η ατμόσφαιρα περιέχει υλικά σε συγκέντρωση η οποία είναι επιβλαβής για τους ανθρώπους και το περιβάλλον τους». Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στις πόλεις αποτελούν κυρίως μείγμα πολλών διαφορετικών ρύπων, από τους οποίους μερικοί είναι ορατοί, όπως η σκόνη και η αιθάλη, ενώ πολλοί είναι αόρατοι, όπως πολύ μικρά σωματίδια ή αέρια. Η ρύπανση ταξινομείται ως πρωτογενής ή δευτερογενής. Οι πρωτογενείς ρύποι είναι ουσίες που παράγονται απευθείας από μια διαδικασία, όπως η στάχτη από μια ηφαιστειακή έκρηξη ή το μονοξείδιο του άνθρακα από τις εξατμίσεις των οχημάτων. Οι δευτερογενείς ρύποι δεν απελευθερώνονται. Δημιουργούνται στον αέρα όταν οι πρωτογενείς ρύποι αντιδρούν ή αλληλεπιδρούν. Το O_3 αποτελεί ένα δευτερογενή ρύπο (ESA, 2014).

Ακόμα ένας ορισμός της ρύπανσης, όπως καταγράφεται στην οδηγία 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρώπη, ορίζει ως "ρύπο", οποιαδήποτε ουσία εμφανίζεται στον αέρα και ενδέχεται να έχει αρνητικές συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου και/ή στο περιβάλλον στο σύνολό του. Με τον ορισμό "ουσίες" εννοούμε κάθε φυσική ή ανθρωπογενή χημική ένωση ή χημικό στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή (Καραθανάσης, 2006). Ως "περιβάλλον αέρας" ορίζεται ο εξωτερικός αέρας της τροπόσφαιρας εξαιρουμένου του

αέρα στους χώρους εργασίας. Σε ένα άλλο ορισμό, ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή η συγκέντρωση κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ζώντων οργανισμών και γενικότερα να διαταράξουν την οικολογική ισορροπία σε μεγάλη ή μικρή γεωγραφική κλίμακα (Ζιώμας, 2007).

1.2 Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης εσωτερικών χώρων αποτελούν η θέρμανση (τζάκια, μαγκάλια), το μαγείρεμα (γκάζι με υγραέριο) και το κάπνισμα (WHO, 2014). Κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξωτερικού χώρου είναι επίσης οι ανθρώπινες δραστηριότητες (καύση ορυκτών καυσίμων, θέρμανση, μετακίνηση, αγροτικές δραστηριότητες). Συγκεκριμένα, αυτές διακρίνονται σε σταθερές και κινητές πηγές και συνδέονται κύρια με την καύση διαφόρων ειδών καυσίμων. Οι σταθερές πηγές περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία και τη θέρμανση κτιρίων. Οι κινητές πηγές περιλαμβάνουν τα τροχοφόρα, καθώς και την κίνηση πλοίων και αεροπλάνων. Οι φυσικές διεργασίες, αν και μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στην επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα, δεν μπορούν να ελεγχθούν άμεσα από τον άνθρωπο. Τρεις τέτοιες κύριες κατηγορίες πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων είναι, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι καταιγίδες σκόνης και οι δασικές πυρκαγιές (ΥΠΕΚΑ, 2014).

1.3 Οι κυριότεροι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Από τις ανθρώπινες δραστηριότητες εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ένας μεγάλος αριθμός ρύπων. Ανάλογα με την προέλευσή τους οι ρύποι χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που εκπέμπονται άμεσα από ανθρώπινες δραστηριότητες (WHO, 2005). Συγκεκριμένα παραδείγματα πρωτογενών ρύπων είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, που εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, και το διοξείδιο του θείου, από τις καύσεις των γαιανθράκων (κάρβουνο-λιγνίτης). Όταν οι πρωτογενείς ρύποι υφίστανται στην ατμόσφαιρα μετατροπές μέσω χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων (δηλαδή με την συμβολή της ηλιακής

ακτινοβολίας), προκαλείται περαιτέρω ρύπανση. Οι ρύποι που προκύπτουν από τις μετατροπές αυτές είναι οι δευτερογενείς. Δευτερογενείς, λοιπόν, είναι αυτοί που σχηματίζονται όταν αντιδρούν ή αλληλεπιδρούν στην ατμόσφαιρα οι πρωτογενείς ρύποι (WHO, 2005). Παραδείγματα δευτερογενών ρύπων είναι το O_3 και οξειδωμένες μορφές οργανικών ενώσεων όπως ορισμένες αλδεΐδες (ακρολεΐνη) και το Νιτρικό Υπεροξυ-Ακετύλιο(PAN). Τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια κατά το μεγαλύτερο μέρος εκπέμπονται πρωτογενώς αλλά δημιουργούνται και δευτερογενή σωματίδια.

Στους βασικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους, λοιπόν, ανήκουν:

- Το διοξείδιο του θείου (SO_2).
- Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το μονοξείδιο του αζώτου (NO).
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).
- Ο μόλυβδος (Pb).
- Τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια PM (Particulate matter). Διακρίνουμε δύο κατηγορίες, τα PM_{10} σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2.5 - 10.0 μm που χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια και τα $PM_{2.5}$ διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm (<2.5 μm) που αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια.
- Το βενζόλιο. Ανήκει και στην κατηγορία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων(ΠΟΕ).
- Το τροποσφαιρικό Όζον (O_3), που όπως θα δούμε και στη συνέχεια αποτελεί τον σημαντικότερο σε αφθονία δευτερογενή ατμοσφαιρικό ρύπο που παράγεται από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα οξείδια του αζώτου και έχει άμεση σχέση με την ταυτόχρονη παρουσία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων(ΠΟΕ) στον αέρα.
- Οι πτητικές οργανικές ουσίες (volatile organic compounds – VOCs), που είναι οργανικές ενώσεις με επαρκή πτητικότητα, και έχουν υψηλή τάση ατμών σε συνηθισμένη θερμοκρασία δωματίου.

Οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων εκφράζονται είτε κατ'όγκο (π.χ. μέρη ανά δισεκατομμύριο - ppb και μέρη ανά εκατομμύριο - ppm), είτε κατά βάρος (μάζα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα - $\mu g/m^3$). Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων εκφράζονται σε $\mu g/m^3$ (ERS, 2010; ΥΠΕΚΑ, 2014).

Σημειώνεται πως οι ουσίες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα δεν περιορίζονται στον παραπάνω κατάλογο, αλλά αναφέρθηκαν οι πιο σημαντικές.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά συγκεκριμένα στις πηγές και τις επιδράσεις του O_3 . Το O_3 θεωρείται καλός δείκτης της έκθεσης στη φωτοχημική ατμοσφαιρική ρύπανση, και είναι ο βασικός ρύπος που θα μας απασχολήσει στην παρούσα διπλωματική εργασία.

1.4 Φωτοχημικά οξειδωτικά – Όζον (O_3)

Το O_3 ή τριοξυγόνο είναι μια τριατομική αλλομορφή του οξυγόνου, με χημικό τύπο O_3 . Το καθαρό O_3 , στις «συνηθισμένες συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ και υπό πίεση $1\text{ atm}(=1\text{ kg/cm}^2)$, είναι ένα ανοικτογάλανο αέριο με ευδιάκριτη δριμεία οσμή. Είναι πολύ λιγότερο σταθερό από το διοξυγόνο, δηλαδή τη διατομική αλλομορφή του οξυγόνου, και γι' αυτό το O_3 διασπάται στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε κανονικό διοξυγόνο. Το O_3 σχηματίζεται από το διοξυγόνο με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς επίσης και με την επίδραση των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, και είναι παρόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικούν άνθρωποι) το O_3 θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και έχει οριστεί σειρά τιμών που αφορούν τη μετρούμενη συγκέντρωσή του, στις Ευρωπαϊκές και άλλες χώρες συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Ενώ στην τροπόσφαιρα ο στόχος είναι η μείωση της συγκέντρωσης του O_3 , στη στρατόσφαιρα, όπου βρίσκεται το $\sim 90\%$ του O_3 , ο στόχος είναι η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του. Στη στρατόσφαιρα (εξωτερικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας) το O_3 θεωρείται η ασπίδα που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Η μείωση της συγκέντρωσης του O_3 στην στρατόσφαιρα ονομάστηκε τρύπα του όζοντος.

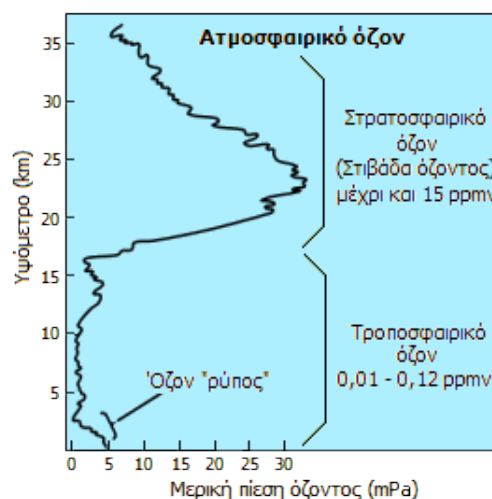
Το O_3 είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, πολύ ισχυρότερο από ό,τι το διοξυγόνο, και έχει πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές που είναι σχετικές με την οξείδωση. Ωστόσο, με το ισχυρό οξειδωτικό δυναμικό του, το O_3 , προκαλεί βλάβες στους βλεννογόνους και στους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, αλλά και στους ιστούς των φυτών, σε συγκεντρώσεις πάνω από περίπου 100 ppb . Αυτό κάνει το O_3 εν δυνάμει επικίνδυνο για την υγεία και επομένως έναν ρύπο,

όταν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Το ανώτερο προτεινόμενο όριο συγκέντρωσης του O_3 είναι $100 \mu g/m^3$, σύμφωνα με τις επίσημες οδηγίες του ΠΟΥ (WHO, 2005).

1.4.1 Το O_3 στην ατμόσφαιρα της Γης

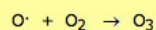
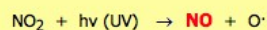
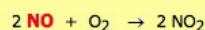
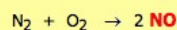
Το O_3 στην ατμόσφαιρα εμφανίζεται με δύο πρόσωπα: εμφανίζεται ως καλό O_3 , που δημιουργείται φυσικά και βρίσκεται στην στρατόσφαιρα (17-50 km) και στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (> 2 km) και ως κακό O_3 , το O_3 -"ρύπος", που βρίσκεται σε χαμηλά ύψη στην τροπόσφαιρα (0-2 km). Το τελευταίο είναι κυρίως, όπως έχει προαναφερθεί, ανθρωπογενούς προέλευσης και θεωρείται ένας από τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους των αστικών περιοχών, που ωστόσο μεταφέρεται συχνά και σε μεγάλες αποστάσεις από τις πόλεις.

Εκτιμάται ότι το 90% του ατμοσφαιρικού O_3 βρίσκεται στην στρατόσφαιρα και το 10% στην τροπόσφαιρα (Ζάνης, 2014). Μια τυπική κατανομή της συγκέντρωσης του O_3 (ως μερική πίεση) ως συνάρτηση του ύψους δείχνεται στο παραπλεύρως διάγραμμα.



Το "κακό" O_3 , θεωρείται το O_3 των κατώτερων στρωμάτων της τροπόσφαιρας, το O_3 που βρίσκεται στον αέρα στον οποίο βρισκόμαστε, αναπνέουμε και ζούμε. Πέραν της τοξικότητας του ίδιου του O_3 και της αργής σε ρυθμό αλλά συνεχούς καταστρεπτικής δράσης σε διάφορα υλικά, το O_3 είναι δευτερογενής ρύπος προερχόμενος κυρίως από τα οξειδία του αζώτου τα οποία εμπλέκονται σε ένα καταλυτικό κύκλο. Αύξηση των επιπέδων του "κακού O_3 " είναι αποτέλεσμα συνδυασμού καιρικών συνθηκών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Κύρια πηγή "ανθρωπογενούς" O_3 είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης και η αλληλουχία αντιδράσεων είναι η ακόλουθη:

Ανθρωπογενής σχηματισμός τροποσφαιρικού O₃:

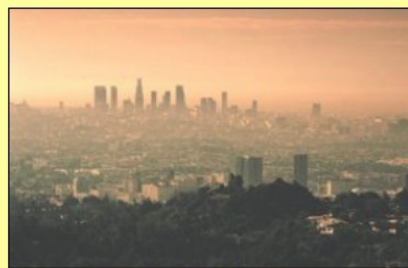


Σχηματισμός NO σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (π.χ. σε μηχανές εσωτερικής καύσης)

Το NO οξειδώνεται από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο προς το πορτοκαλόχρωμο αέριο NO₂

Υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας το NO₂ διασπάται παρέχοντας ατομικό οξυγόνο και το NO επανέρχεται στο κύκλο της αντίδρασης (αυτή η αντίδραση προϋποθέτει ηλιοφάνεια).

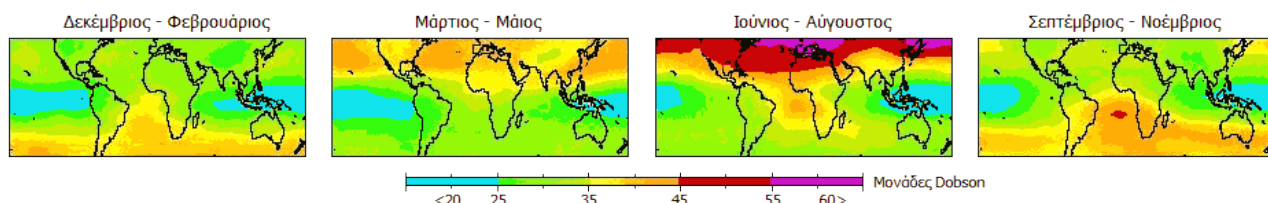
Το ατομικό οξυγόνο αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο παρέχοντας όζον. Να σημειωθεί ότι μεγάλες συγκεντρώσεις NO καταστρέφουν το παραγόμενο όζον λόγω οξείδωσής του προς NO₂.



Χαρακτηριστική φωτογραφία πόλης με φωτοχημική καπνομίχλη (smog: smoke + fog) αποτέλεσμα αντίδρασης οξειδίων του αζώτου με υδρογονάνθρακες υπό την επίδραση ηλιακού φωτός.

(Η χημική ένωση του μήνα, 2009)

Παρακάτω παρατηρούμε και τις παγκόσμιες εποχιακές μεταβολές του τροποσφαιρικού O₃: Το τροποσφαιρικό O₃ αυξάνει κατά τα καλοκαίρια του βόρειου και του νότιου ημισφαιρίου, όταν δηλ. επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού O₃ παρατηρούνται κατά το καλοκαίρι του βόρειου ημισφαιρίου.



(Η χημική ένωση του μήνα, 2009)

1.4.2 Πηγές

Το O₃ δεν εκπέμπεται πρωτογενώς από κάποια πηγή. Παράγεται στην ατμόσφαιρα από τη χημική αντίδραση του μονατομικού οξυγόνου (O) με το δυατομικό οξυγόνο (O₂).

Το όζον παράγεται δευτερογενώς κατά τη φωτοχημική αντίδραση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) με το διοξείδιο του αζώτου (Μελάς, 2007).

1.4.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Τα συμπτώματα από την έκθεση σε υψηλά επίπεδα O_3 περιλαμβάνουν πόνο στο στήθος, βήχα, άσθμα, πνευμονική και ρινική συμφόρηση, ερεθισμό στα μάτια και τη μύτη. Πειραματικές μελέτες σε εθελοντές δείχνουν ότι η τυπική έκθεση στο O_3 σε συνδυασμό με διαλείπουσα άσκηση, επηρεάζει αρνητικά την λειτουργία των πνευμόνων τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά, εμποδίζοντας τους να πάρουν βαθιά αναπνοή (Μελάς, 2007).

Το κύριο ερώτημα είναι αν αυτές οι επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα είναι αναστρέψιμες όταν διακοπεί η έκθεση σε όζον, ή αν παραμένουν προκαλώντας μόνιμη βλάβη. Μελέτη σε παιδιά που εκτέθηκαν σε τυπικά επίπεδα O_3 που παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες, έδειξαν ότι οι αλλαγές που προκλήθηκαν στους πνεύμονες επέμειναν για αρκετές μέρες μετά το τέλος του επεισοδίου O_3 . Μελέτες σε πειραματόζωα έδειξαν ότι προκαλούνται μόνιμες βλάβες στους πνεύμονες από επίπεδα όζοντος σε συνθήκες αιθαλομίχλης, αν η έκθεση διαρκέσει κάποιες εβδομάδες (Μελάς, 2007). Συγκεκριμένα, εμφανίζεται φλεγμονή που προκαλεί τον τραυματισμό των κυττάρων που βρίσκονται επί της αναπνευστικής οδού, μια διαδικασία που περιγράφεται ως πρόωμη γήρανση των πνευμόνων. Άλλες επιπτώσεις στην υγεία που έχουν αναφερθεί είναι η αύξηση των κρουσμάτων άσθματος, η καρδιακή δυσλειτουργία, η μείωση της αεροβικής ικανότητας καθώς επίσης και η διαταραχή στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στο συκώτι, στο αίμα και στο ενδοκρινικό σύστημα (EPA, 2015).

Ομάδες υψηλού κινδύνου είναι όσοι έχουν ήδη αναπνευστικά προβλήματα ή χρόνια πνευμονική πάθηση. Υπολογίζεται ότι εκατοντάδες εκατομμύρια τέτοιοι άνθρωποι ζουν σε αστικές περιοχές όπου τα επίπεδα O_3 είναι τουλάχιστον 25% πάνω από το επιτρεπτό όριο (Μελάς, 2007).

Οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τις βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες που θα αναπτύξουμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

1.4.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Την τελευταία 15ετία, διαπιστώθηκε πως το O_3 και τα άλλα οξειδωτικά εκτός από τις γεωργικές

καλλιέργειες, επηρεάζουν αρνητικά και τη δασική βλάστηση. Η κύρια ζημιά στα φυτά είναι στο φύλλωμά τους ενώ δευτερευόντως βλάπτει την ανάπτυξή τους και κατ' επέκταση τη συνολική σοδειά. Οι απώλειες στη σοδειά βασικών καλλιεργειών όπως η σόγια, τα φιστίκια, το καλαμπόκι και το σιτάρι, συχνά ξεπερνούν το 10% ενώ οι απώλειες στις ντομάτες και τα φασόλια είναι μεγαλύτερες από 20%. Οι οικονομικές απώλειες εκτιμώνται σε μερικά δισεκατομμύρια δολάρια τον χρόνο (Μελάς, 2007).

Οι ζημιές που έχουν παρατηρηθεί στα δέντρα του δάσους από τις τρέχουσες συγκεντρώσεις υποβάθρου του O_3 περιλαμβάνουν τραυματισμό και πρόωρη πτώση των φύλλων, μειωμένη ικανότητα φωτοσύνθεσης, περιορισμένη ανάπτυξη καθώς και αύξηση της προσβολής τους από σκαθάρια. Επίσης επηρεάζονται άλλες λειτουργίες οργανισμών και οικοσυστημάτων όπως οι λειχήνες και η θρεπτική ανακύκλωση (Μελάς, 2007).

Τα οξειδωτικά προκαλούν επίσης βλάβες σε υλικά και σε είδη που χρειαζόμαστε στην καθημερινότητα. Προκαλούν ράγισμα των πλαστικών και του λάστιχου (όπως στις ρόδες), υποβάθμιση και εξασθένηση των υφαντικών ινών και των χρωστικών ουσιών (Μελάς, 2007).

1.4.5 Νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας

Η ποσότητα ορισμένων τουλάχιστων ρύπων που εκπέμπονται στον αέρα που αναπνέουμε έχει μειωθεί σημαντικά από τότε που η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εισήγαγε πολιτικές και μέτρα σχετικά με την ποιότητα του αέρα τη δεκαετία του 1970. Οι εκπομπές ρύπων από πολλές από τις σημαντικότερες πηγές, όπως οι μεταφορές, η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας, ρυθμίζονται και γενικά μειώνονται, αν και όχι πάντα στο βαθμό που προβλέπεται.

Ένας τρόπος με τον οποίο η ΕΕ έχει επιτύχει αυτή τη βελτίωση είναι η θέσπιση δεσμευτικών και μη δεσμευτικών ορίων για ολόκληρη την Ένωση για ορισμένους από τους βασικότερους ρύπους που βρίσκονται στον αέρα. Η πιο πρόσφατη οδηγία που έχει εκδοθεί και αφορά στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι η Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα. Τα όρια για το τροποσφαιρικό O_3 που έχουν

θεσπίζεται με τη σχετική οδηγία από την ΕΕ και τον ΠΟΥ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας δίνονται στον πίνακα 1.4.5.1 που ακολουθεί.

Τιμή (μg/m ³)	Μέσος όρος χρόνου (ώρες)	Αναφορά	Περιγραφή
180	1	ΕΕ (2008)	Όριο ΕΕ
240	1	ΕΕ (2008)	Όριο συναγερμού ΕΕ
120	8 ¹⁾	ΕΕ (2008)	Τιμή στόχου ΕΕ
120	8 ¹⁾	ΕΕ (2008)	Μακροπρόθεσμος στόχος ΕΕ
100	8 ¹⁾	ΠΟΥ(2006)	ΠΟΥ κατευθυντήρια οδηγία
100	1	FHI (2013)	FHI κατευθυντήρια οδηγία
80	8 ¹⁾	FHI (2013)	FHI κατευθυντήρια οδηγία

Πίνακας 1.4.5.1. Όρια για το τροποσφαιρικό O₃ που έχει θεσπίσει με σχετική οδηγία η ΕΕ και οδηγίες του ΠΟΥ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Σύμφωνα με τα όρια για τους ρύπους που έχει θεσπίσει με τη σχετική οδηγία η ΕΕ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, για το τροποσφαιρικό O₃ είναι 110 μg/m³ ως μέση μέγιστη ημερήσια τιμή 8 ωρών. Σημειώνεται ότι αυτό είναι λιγότερο αυστηρό από την κατευθυντήρια οδηγία που συνιστά ο ΠΟΥ(WHO, 2005) στην παγκόσμια επικαιροποίησή της από το 2005 (κατευθυντήρια γραμμή για την ποιότητα του αέρα 100 μg/m³). Τα νομοθετημένα όρια ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ισχύουν για όλες τις χώρες της ΕΕ.

Τέλος, τα πιο πρόσφατα Εθνικά Πρότυπα Ποιότητας του Περιβάλλοντος (NAAQS) του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) για το O₃ αναθεωρήθηκαν προς τα κάτω σε 0,070 ppm (140μg/m³) για έκθεση 8 ωρών (EPA, 2015) που πάντως παραμένει υψηλότερο όριο από το Ευρωπαϊκό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ

2.1 Περιβάλλον και υγεία

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τις επιδράσεις της ρύπανσης του περιβάλλοντος στην υγεία. Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι το περιβάλλον διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου (Baker & Nieuwenhuijsen, 2008).

Η περιβαλλοντική ρύπανση είναι άμεσα συνυφασμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, η πρόοδος των οποίων εκτός από σημαντικά οφέλη που προσφέρει στην ανθρωπότητα έχει επίσης και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στην υγεία των ανθρώπων.

Το πρόβλημα έχει αρχίσει να λαμβάνει ανησυχητικές διαστάσεις ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Ενδεικτικά μόνο αναφέρουμε ότι 60.000 θάνατοι κάθε χρόνο στις μεγαλουπόλεις της Ευρώπης και 3.000.000 σε παγκόσμια κλίμακα οφείλονται στην μακροχρόνια έκθεση ρύπων της ατμόσφαιρας (WHO, 2018).

2.2 Διάκριση των Επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία

Οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. Βραχυχρόνιες ή άμεσες είναι οι επιδράσεις που συμβαίνουν άμεσα - την ίδια ημέρα - ή τις αμέσως επόμενες ημέρες από την έκθεση και μακροχρόνιες ή απώτερες, που σχετίζονται με τη μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση π.χ. για όλη τη ζωή ενός ατόμου ή για πολλά χρόνια (WHO, 2005).

Πλήθος μελετών που έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες αναφέρονται στις επιπτώσεις (άμεσες ή έμμεσες) της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία (WHO, 2005). Οι συνέπειες του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του ανθρώπου είναι ποικίλες και

κατανέμονται με τη μορφή πυραμίδας με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους και τη σοβαρότητα της κλινικής εικόνας (Σχήμα 2.1).

Σχήμα 2.1. Πυραμίδα επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (WHO, 2005)



Η βαρύτητά τους κυμαίνεται από υποκλινικές αλλαγές στη φυσιολογία του οργανισμού μέχρι την εκδήλωση συμπτωματολογίας και, με προοδευτική επιδείνωση, μέχρι και σε πρόωρους θανάτους.

Οι εν λόγω επιστημονικές μελέτες έχουν τεκμηριώσει τις σοβαρές επιβλαβείς επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ανθρώπινη υγεία και επίσης επίπεδα ρύπων που μέχρι τώρα θεωρούνταν ασφαλή δεν κρίνονται πλέον ικανοποιητικά και απαιτείται περαιτέρω μείωσή τους (Johnson, 2004).

Παγκοσμίως, η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται υπεύθυνη για ασθένειες του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος καθώς και μεγάλο αριθμό θανάτων (Johnson, 2004). Συγκεκριμένα, στις Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι 1 στους 10 θανάτους λόγω καρκίνου του πνεύμονα οφείλεται στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα (Pope et al., 2002). Επιπρόσθετα λόγω της ρύπανσης κάθε χρόνο 12.000 - 24.000 άτομα στη Βρετανία οδηγούνται σε πρόωρο θάνατο, ενώ άλλα 14.000 - 24.000 άτομα οδηγούνται εκτάκτως στα νοσοκομεία (Greenpeace, 2000). Στη Γαλλία, Ελβετία και

Αυστρία έχει υπολογισθεί ότι 6% των θανάτων ετησίως οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σήμερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, ειδικά για αυτούς που ζουν στα αστικά κέντρα.

2.2.1 Βραχυχρόνιες Επιδράσεις

Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί πλήθος επιδημιολογικών μελετών για τις επιδράσεις της έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση, και συγκεκριμένα σε O_3 , στην υγεία. Συγκεκριμένα, πολλές από αυτές έδειξαν πως η έκθεση σε O_3 μικρής χρονικής διάρκειας (1-3 ώρες) και παρατεταμένης διάρκειας (6-8 ώρες) έχει συνδεθεί με μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και κυρίως αναπνευστικών προβλημάτων (Green Way Structure, 2009). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εκτιμήσει ότι η υπέρβαση των ορίων συγκεντρώσεων του O_3 συνδέεται με σχεδόν 20.000 πρόωρους θανάτους σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση κάθε χρόνο (EEA, 2012).

Ακόμη και σε υγιή άτομα, η έκθεση σε μέτρια επίπεδα του όζοντος μπορεί να προκαλέσει ναυτία, άλγος στο στήθος και πνευμονική συμφόρηση (Ravi, 2016.).

Συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ μπορεί να επιφέρουν μεταξύ των άλλων αναπνευστικά προβλήματα, καθώς και γενική δυσφορία σε άτομα με ευαίσθητη υγεία (καρδιοπαθείς, αλλεργικοί, μικρά παιδιά) (Greenpeace, 2000). Μία από τις συνέπειες της έκθεσης σε υψηλά επίπεδα O_3 στους πνεύμονες είναι ότι πιθανόν να αυξάνει την ευπάθεια σε αναπνευστικές ασθένειες όπως πνευμονία και βρογχίτιδα (Τσιριγώτη, 2012). Αναλυτικότερα, τα αυξημένα επίπεδα του όζοντος (80–400 ppb) προκαλούν φλεγμονή των αεραγωγών (Τσιριγώτη, 2012). Μετά την είσοδο των ουδετεροφίλων παρατηρείται μεγάλη παραγωγή κυτταροκινών και άλλων προφλεγμονωδών παραγόντων με αύξηση των επιπέδων του ιστικού παράγοντα, της λευκοματίνης, της γαλακτικής αφυδρογονάσης, της IL-6, της IL-8 και της προσταγλανδίνης E_2 στο υγρό της βρογχοκυψελιδικής έκπλυσης. Η φλεγμονή έχει επιβεβαιωθεί σε βιοψίες βρογχικού βλεννογόνου, όπου φάνηκε ότι τα σιτευτικά κύτταρα ήταν οι κύριοι μεσολαβητές της φλεγμονής και ότι η φλεγμονή ακολουθούσε την αυξημένη έκφραση των αγγειακών προσκολλητικών μορίων στα επιφανειακά αγγεία του βρογχικού βλεννογόνου (Τσιριγώτη, 2012). Ο βρογχόσπασμος που παρατηρείται σε υγιή άτομα, μετά από έκθεση στο όζον, είναι παροδικός, ενώ παραμένει η ιστική βλάβη (Οικονομίδου Φ, Τζανακάκης Ν., 2007).

Ασθματικοί ή ασθενείς με άλλα αναπνευστικά προβλήματα, καθώς και άτομα που για λόγους οι οποίοι έως σήμερα ήταν άγνωστοι στην ιατρική επιστήμη, είναι περισσότερο ευαίσθητοι στις επιπτώσεις του όζοντος (Ayres et al., 2009). Παιδιά τα οποία παραμένουν συνήθως πολύ χρόνο σε εξωτερικούς χώρους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν το όζον είναι υψηλότερο, κινδυνεύουν περισσότερο (Ayres et al., 2009). Το ίδιο ισχύει και για τους ενεργούς ενήλικες, που ασκούνται ή εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους δυναμικά (Ayres et al., 2009). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μεγάλης μελέτης, παιδιά που συμμετείχαν ενεργά σε υπαίθρια αθλήματα σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος είχαν τριπλάσιες πιθανότητες να αναπτύξουν άσθμα, σε σύγκριση με εκείνα που δεν συμμετείχαν σε υπαίθριες αθλητικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια των πενταετών σπουδών τους (NIEHS, 2007).

Από τις γνώσεις μας μέχρι σήμερα, οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί στη μεσογειακή περιοχή, παρόλο που θεωρείται ότι ο πληθυσμός της βρίσκεται στον υψηλότερο κίνδυνο έκθεσης σε O_3 στην Ευρώπη λόγω πρόδρομων εκπομπών ρύπων και κλίματος, είναι περιορισμένες. Κατά τη χρονική περίοδο 2000-2010, οι Sicard et al. (2013) κατέδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις O_3 εξακολουθούν να αυξάνονται στις μεσογειακές πόλεις, καθιστώντας την έκθεση στο O_3 δυνητικό σοβαρό πρόβλημα δημόσιας υγείας στις αστικές περιοχές.

Μια σημαντική εξέλιξη στη διερεύνηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων του O_3 στην υγεία προήλθε από το πρόγραμμα APHEA-2, το οποίο και εστίαζε στις εποχιακές αλλά και ετήσιες επιπτώσεις στην ημερήσια θνησιμότητα, σταθμίζοντας για πιθανές συγχυτικές επιπτώσεις των λοιπών ρύπων (Gryparis et al., 2004). Για την θερμή περίοδο εκτιμήθηκε ότι η αύξηση $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην ωριαία συγκέντρωση του O_3 σχετίζεται με 0.33% (95% Δ.Ε.: 0.17%-0.52%) αύξηση στο συνολικό ημερήσιο αριθμό θανάτων, 0.45% (95% Δ.Ε.: 0.22%-0.69%) αύξηση στον αριθμό θανάτων από καρδιαγγειακά και 0.13% (95% Δ.Ε.: 0.62%-1.48%) αύξηση στον αριθμό των αναπνευστικών θανάτων. Δεν βρέθηκαν σημαντικές συσχετίσεις κατά την ανάλυση των δεδομένων που αφορούσαν την χειμερινή περίοδο. Οι άνθρωποι εκτίθενται στις συγκεντρώσεις του O_3 εφόσον βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους. Το συμπέρασμα, λοιπόν, πως οι αρνητικές επιπτώσεις του O_3 παρατηρούνται μόνο κατά τους ζεστούς μήνες μπορεί να είναι και απόρροια της μεγαλύτερης έκθεσής τους τη θερμή περίοδο του έτους.

Γενικά, τα επίπεδα προσωπικής έκθεσης σε O_3 επηρεάζονται από πολλαπλούς παράγοντες. Καταρχάς, οι μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις σε O_3 είναι υψηλότερες κατά τους θερμότερους μήνες. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με τις εξωτερικές

σε κάθε περίπτωση λόγω της έντονης οξειδωτικής δράσης του ρύπου. Τα ημερήσια επίπεδα εξωτερικών και περιβαλλοντικών επιπέδων του O_3 είναι σημαντικοί καθοριστικοί παράγοντες της προσωπικής έκθεσης σε αυτό. Για αύξηση $10\mu g/m^3$ στις εξωτερικές συγκεντρώσεις O_3 , για παράδειγμα, σε σχολεία και στις μετρήσεις των PM_{10} , διαπιστώθηκε αύξηση της προσωπικής έκθεσης σε O_3 κατά 20,9% (95% CI: 13%, 28%). Για μιάμιση ώρα περισσότερο που δαπανάται στη μεταφορά παρατηρήθηκε μέση αύξηση 7% (95% CI: 0,3%, 14,6%) στην προσωπική έκθεση στο O_3 . Μεταξύ των άλλων πιθανών καθοριστικών παραγόντων, ο χρόνος που διατέθηκε για τη μεταφορά και η διάρκεια των ανοιχτών παραθύρων ήταν αυτά που συνδέονταν με τα επίπεδα προσωπικής έκθεσης του O_3 (Dimakopoulou et al., 2016).

Τα παιδιά αποτελούν μια ευαίσθητη πληθυσμιακή ομάδα στις επιδράσεις των ρύπων λόγω του μη ανεπτυγμένου ανοσοποιητικού συστήματος και των αναπτυσσόμενων πνευμόνων (Bateson et al., 2008). Ρύποι όπως το όζον, το διοξείδιο του θείου, τα μικροσωματίδια και τα οξείδια του αζώτου μπορεί να οδηγούν σε αναπνευστικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένης της αύξησης κρουσμάτων άσματος, προβλήματα στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα, δυσλειτουργία των πνευμόνων και αλλεργίες διαφόρων τύπων.

Τα βρέφη που μεγαλώνουν σε περιοχές με πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πιθανότερο να εμφανίσουν προβλήματα βρογχίτιδας σε σύγκριση με τα βρέφη που ζουν σε πιο καθαρό περιβάλλον (Τσιριγώτη, 2012).

Η έκθεση των παιδιών σε χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί σημαντικές προσωρινές μειώσεις στην ικανότητα των πνευμόνων να λειτουργήσουν κανονικά (Chen et al., 1999). Ο οργανισμός τους υποφέρει περισσότερο από αυτόν των ενηλίκων τόσο λόγω της φυσιολογίας, όσο και της διαφορετικής συμπεριφοράς των παιδιών, η οποία εκ των πραγμάτων επιβάλει μεγαλύτερη κινητικότητα.

Συγκεκριμένα, τα παιδιά είναι πιο ευάλωτα στην ατμοσφαιρική ρύπανση από O_3 για τους ακόλουθους λόγους (Τσιριγώτη, 2012):

- Περνούν περισσότερο χρόνο σε ανοιχτούς χώρους απ'ότι οι ενήλικες, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες (οπότε και τα επίπεδα όζοντος είναι υψηλότερα).
- Τα παιδιά αναπνέουν περισσότερους αέριους ρύπους από τους ενήλικες σε σχέση με το βάρος τους. Οι απαιτήσεις τους σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερες και εισπνέουν αναλογικά περισσότερο αέρα ανά λεπτό. Ακόμα και όταν αναπαύεται, ένα παιδί εισπνέει τόσο αέρα,

όσο ένας ενήλικας σε ώρα έντονης εργασίας.

- Τα παιδιά είναι σαφώς πιο κινητικά. Ένα παιδί δύο ετών κινείται όσο και ένας αθλητής.
- Η φυσιολογία των παιδιών και κυρίως το γεγονός ότι η απόσταση από τον λάρυγγα ως τις πνευμονικές κυψελίδες είναι μικρότερη, επιτρέπουν στο όζον και στους άλλους τοξικούς ρύπους να φθάσουν γρηγορότερα στον οργανισμό.
- Επειδή οι αναπνευστικές δίοδοι των παιδιών είναι στενότερες, οι επιπτώσεις από την έκθεση μπορεί να είναι σοβαρότερες.
- Το ανοσοποιητικό σύστημα των παιδιών είναι λιγότερο αναπτυγμένο από των ενηλίκων και αυτό τα καθιστά περισσότερο ευάλωτα στη ρύπανση.
- Τα παιδιά αντιδρούν κατά κανόνα ευκολότερα και γρηγορότερα σε αλλεργικές παθήσεις που σχετίζονται με αέριους ρύπους.

Τα παιδιά, ιδιαίτερα αυτά που υποφέρουν από άσθμα, τίθενται περισσότερο σε κίνδυνο από την έκθεση σε ρύπους και στο O_3 .

Συγκεκριμένα, από τις μέχρι σήμερα μελέτες υπάρχουν περισσότερες και πιο εμπεριστατωμένες ενδείξεις σχετικά με τις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις του O_3 , οι οποίες περιλαμβάνουν αυξήσεις της καθημερινής θνησιμότητας και νοσηρότητας (Bell et al., 2014), ιδιαίτερα όσον αφορά αναπνευστικά αίτια κατά τους θερινούς μήνες (Bell et al., 1987–2000; Bell et al., 2005; Levy II et al., 2005; Ito et al., De Leon, 2005; Samoli et al., 2009; Peng et al., 2013). Οι μελέτες χρονοσειρών στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Ασία έχουν συσχετίσει τη βραχυχρόνια έκθεση με O_3 με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (Bell et al., 2004; Choi et al., 2011; Darrow et al., 2014; Gryparis et al., (2005); Peel et al., 2005; Peng et al., 2013; Rodopoulou et al., 2014; Ghanbari Ghazikali et al., 2016; Miri et al., 2016). Η πλειοψηφία των παραπάνω ευρημάτων προέρχονται από μελέτες χρονοσειρών ενώ οι περισσότερες προοπτικές μελέτες μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Studies) επικεντρώθηκαν στη λειτουργία των πνευμόνων των ασθματικών ατόμων και έχουν επίσης αναφέρει συσχετισμούς με διάφορα αναπνευστικά συμπτώματα και δείκτες φλεγμονής (Moreno-Macías et al., 2013; Barraza-Villarreal et al., 2008; Just et al., 2002; Ross et al., 2002). Επίσης, προκύπτουν από λίγες ακόμα μελέτες σε υγιή παιδιά ή νέους ότι οι ενήλικες ήταν πιο ετερογενείς (Barraza-Villarreal et al., 2008; Kim et al., 2011; Scarlett et al., 1996).

2.2.2 Μακροχρόνιες Επιδράσεις

Εκτός από τις βραχυχρόνιες επιδράσεις, εξίσου σημαντικές είναι και οι μακροχρόνιες επιδράσεις έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση, και συγκεκριμένα σε O_3 , στην υγεία.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, το αναπνευστικό σύστημα είναι αυτό που υφίσταται αμεσότερα τις επιπτώσεις που προκαλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ρινίτιδα και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια είναι το αποτέλεσμα επιδράσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μακροχρόνια έκθεση έστω και σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ρύπων. Ακόμη και σε παλαιότερα συγγράμματα γενετικής ιατρικής, ως δεύτερος κατά σπουδαιότητα, μετά το κάπνισμα, αιτιολογικός παράγοντας χρόνιας βρογχίτιδας κατατάσσεται η ατμοσφαιρική ρύπανση (Ρούσος, 2006). Η μελέτη των μακροχρόνιων επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι δυσκολότερη γιατί απαιτεί μακροχρόνια παρακολούθηση πολλών ατόμων και καλές μετρήσεις ή εκτιμήσεις της έκθεσης στη ρύπανση. Έτσι, οι μελέτες αυτές είναι λιγότερες, αλλά έχουν δείξει ότι οι μακροχρόνιες επιδράσεις είναι πιο σημαντικές. Η πιο γνωστή μελέτη είναι της Αμερικανικής Αντικαρκινικής Εταιρείας (Pope et al., 2002), που πραγματοποιήθηκε σε 151 πόλεις και κάλυψε μισό εκατομμύριο κατοίκους. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι στην πιο ρυπασμένη πόλη, σε σχέση με την πιο καθαρή, η ολική θνησιμότητα ήταν αυξημένη κατά 6%, η θνησιμότητα από καρδιο-αναπνευστικές αιτίες ήταν αυξημένη κατά 9% και η θνησιμότητα από καρκίνο του πνεύμονα κατά 14%.

Όσον αφορά τώρα το O_3 , ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 2013) δηλώνει ότι υπάρχουν περισσότερες και πιο εμπεριστατωμένες ενδείξεις σχετικά με τις βραχυπρόθεσμες και όχι τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις του. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες μελέτες κοόρτης που διερευνούν τις επιδράσεις των μακροχρόνιων εκθέσεων στην υγεία (Lipfert et al., 2006; Krewski et al., 2009; Jerrett et al., 2009; Smith et al., 2009; Tzivian, 2011; Zanobetti & Schwartz, 2011). Όλες οι παραπάνω μελέτες παρέχουν ασυνεπή αποτελέσματα.

Η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε συγκεντρώσεις O_3 , προκαλεί επίσης πόνους στο στήθος, επίμονο βήχα, ερεθισμό της αναπνευστικής οδού, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό, πόνο στο στήθος, επιδείνωση παλαιότερων αναπνευστικών προβλημάτων όπως το άσθμα, σοβαρές φλεγμονές των πνευμόνων, ακόμα και μη αναστρέψιμες βλάβες των πνευμόνων. Τέλος, υπάρχουν ακόμα κάποιες ενδείξεις ότι η μακροχρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις O_3 πιθανό να μειώνει την αμυντική ικανότητα του οργανισμού και να προκαλεί χρόνια νοσήματα των πνευμόνων (Global warming 101, 2007).

Παρότι, οι οξείες μεταβολές για το O_3 έχουν αποδειχθεί σε ελεγχόμενη έκθεση υγιών ενηλίκων εθελοντών και σε επιδημιολογικές μελέτες οι οποίες προαναφέρθηκαν, οι πληροφορίες για τις μακροχρόνιες επιδράσεις της έκθεσης σε οξειδωτικές ουσίες είναι περιορισμένες. Για αυτό το λόγο, το ερώτημα εάν η καθ' υποτροπήν έκθεση σε O_3 προκαλεί μόνιμες αναπνευστικές διαταραχές παραμένει αναπάντητο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

3.1 Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου

Έχουν ήδη παρουσιαστεί οι βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι ανά κατηγορία, εστιάζοντας στις πηγές προέλευσής τους και στις επιπτώσεις τους. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (Ελληνική Πνευμονολογική Εταιρεία 2006), τη λειτουργία του, στις παθοφυσιολογικές του αποκρίσεις και το βάθος διείσδυσης του O_3 σε αυτό.

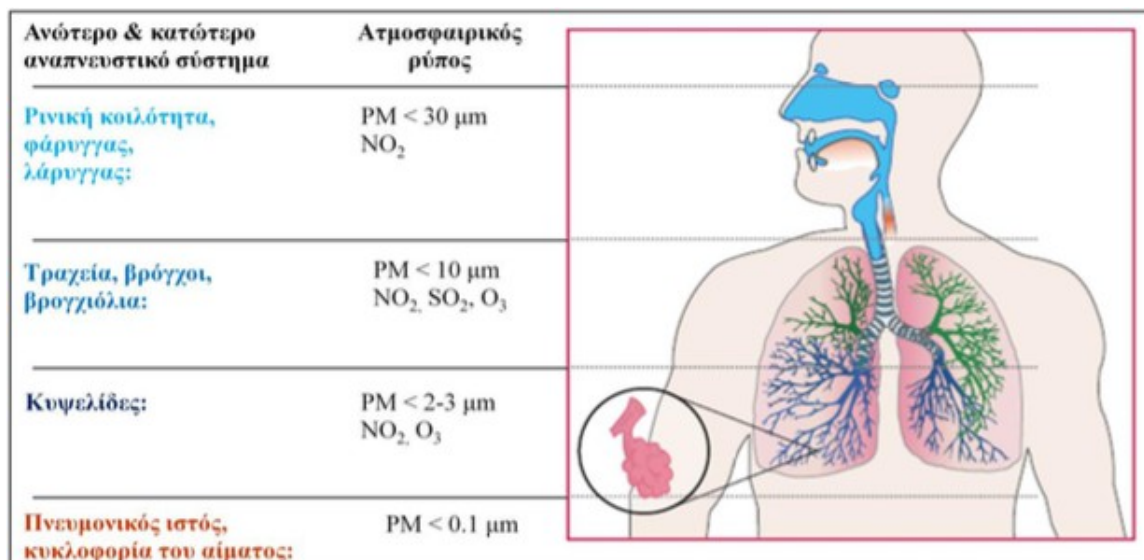
3.1.1 Το αναπνευστικό σύστημα και η λειτουργία του

Η κύρια λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι να τροφοδοτεί με οξυγόνο το αίμα και να αποβάλλει διοξείδιο του άνθρακα από τον οργανισμό. Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από το ανώτερο, που περιλαμβάνει τη ρινική κοιλότητα, το φάρυγγα και το λάρυγγα και το κατώτερο, που περιλαμβάνει την τραχεία, τους πνεύμονες και τους βρόγχους. Ο λάρυγγας, η τραχεία και οι βρόγχοι είναι σωλήνες που οδηγούν τον εισπνεόμενο αέρα στους δύο πνεύμονες για να απορροφηθεί το οξυγόνο και να αποβληθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Οι βρόγχοι χωρίζονται σε μικρότερες διακλαδώσεις οι οποίες λέγονται βρογχιόλια. Στις άκρες από τα βρογχιόλια κρέμονται μικρές φυσαλίδες, οι λεγόμενες κυψελίδες. Στις κυψελίδες απορροφάται το οξυγόνο και αποβάλλεται το διοξείδιο του άνθρακα (Δημακοπούλου, 2016).

3.1.2 Παθοφυσιολογικές αποκρίσεις

Οι αέριοι ρύποι εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως από την αναπνευστική οδό. Το βάθος διείσδυσης των ατμοσφαιρικών ρύπων στο αναπνευστικό σύστημα ανά τύπο ρύπου φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 3.1.

Εικόνα 3.1 Απεικόνιση του βάθους διείσδυσης των ατμοσφαιρικών ρύπων στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (Πηγή: Προσαρμογή από ERS 2010).



Οι επιπτώσεις των εισπνεόμενων ρύπων στην υγεία εξαρτώνται σημαντικά από την περιοχή του αναπνευστικού συστήματος όπου αυτοί φτάνουν. Έτσι, οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται χωρίς εμπόδια στους πνεύμονες κι από εκεί στο αίμα, ενώ τα σωματίδια εισδύουν στα διάφορα μέρη του αναπνευστικού, ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο, δηλαδή το μέγεθός τους. Ανάλογα με τη σύσταση των σωματιδίων, οι επιπτώσεις είναι σοβαρότερες, όπως στις περιπτώσεις των τοξικών μετάλλων, π.χ. μολύβδου, ή λιγότερο σοβαρές, όπως στις περιπτώσεις ανόργανης σκόνης. Για τα αέρια, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η διαλυτότητα των μορίων του αερίου στις διάφορες περιοχές του αναπνευστικού (Δημακοπούλου, 2016). Τα αέρια υψηλής διαλυτότητας, όπως το SO₂, απορροφώνται στους ανώτερους αεραγωγούς, ενώ τα λιγότερο διαλυτά αέρια, όπως NO₂ και το O₃, μπορούν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες. Τα ερεθιστικά αέρια επηρεάζουν τις απολήξεις των νεύρων στα τοιχώματα του αναπνευστικού, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αντιδράσεις όπως φτέρνισμα, βήχας και αναπνευστικές δυσκολίες. Τα αέρια υψηλής διαλυτότητας αποβάλλονται μέσω βιοχημικών διεργασιών ή διαχέονται στο κυκλοφορικό σύστημα (WWF Ελλάς, 2010; Ζιώμας, 2004; Ρεμουντάκη, 2004).

3.1.3 Ο μηχανισμός με τον οποίο η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα - το οξειδωτικό στρες - το Όζον (O₃)

Το σύνολο των μηχανισμών με τους οποίους η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδρά στην υγεία δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητοί. Ωστόσο, είναι κοινώς αποδεκτό ότι η επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης των οξειδωτικών και προ-οξειδωτικών, ουσιών που εμπεριέχονται σε σωματιδιακούς ρύπους (όπως είναι τα PM, διαφόρων μεγεθών και σύστασης) και σε αέριους ρύπους (όπως είναι το NO₂, SO₂ και O₃), στο αναπνευστικό σύστημα, συνίσταται στην παραγωγή ελευθέρων ριζών (OH-) και ενεργών παραγώγων οξυγόνου. Σε περίπτωση που η παραγωγή ελευθέρων ριζών υπερβεί την προστατευτική ικανότητα του αντιοξειδωτικού συστήματος του οργανισμού, φαινόμενο το οποίο ονομάζεται οξειδωτική καταστροφή ή αλλιώς οξειδωτικό στρες, τότε προκύπτουν μη ανατρέψιμες βλάβες της κυτταρικής δομής και της λειτουργίας του κυττάρου (Δημακοπούλου, 2016).

Συγκεκριμένα, το O₃, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ένα ιδιαίτερα δραστικό αέριο με ισχυρή ερεθιστική οξειδωτική δράση στους αεραγωγούς. Αντιδρά με τα αντιοξειδωτικά στοιχεία του υπερκείμενου υγρού του αναπνευστικού επιθηλίου (κυρίως γλουταθειόνη, ασκορβικό οξύ, ουρικό οξύ, λευκωματίνη και τοκοφερόλη) και μπορεί να οδηγήσει σε οξειδωτικό στρες. Αυτό οδηγεί σε οξείδωση και διαρθρωτικές αλλαγές σε μόρια και αντιδραστικά προϊόντα πρωτεϊνών και λιπιδίων. Αντιδράσεις ελευθέρων ριζών προκαλούν φλεγμονή στους αεραγωγούς, όπως αύξηση πολυμορφοπυρήνων, λευκωματίνης, ολικής πρωτεΐνης, κυτταροκινών (π.χ. η ιντερλευκίνη-6), LDH και MPO (Ειρήνη Κ., 2013).

Η λειτουργική εκτίμηση του αναπνευστικού συστήματος γίνεται με τη μέτρηση πνευμονικού αερισμού. Ο όγκος του πνευμονικού αερισμού μετριέται με διάφορες ογκομετρικές συσκευές και όργανα. Τα πιο διαδεδομένα είναι το σπιρόμετρο, το αερόμετρο, ο πνευμοταχογράφος και το ανεμόμετρο. Κατά την σπιρομέτρηση ο εξεταζόμενος εκπνέει μέσα από ένα στόμιο σε μια ειδική συσκευή που ονομάζεται σπιρόμετρο. Με αυτήν μπορούν να μετρηθούν δύο βασικές παράμετροι της αναπνοής η ταχέως εκπνεόμενη ζωτική χωρητικότητα (FVC) και ο ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV₁). Η FEV είναι ο όγκος αέρος που εκπνέεται από τους πνεύμονες μετά από τη μέγιστη εισπνοή με βίαια μέγιστη εκπνοή. Ο FEV₁ είναι ο όγκος αέρος που εκπνέεται από τους πνεύμονες μετά από τη μέγιστη εισπνοή με βίαια μέγιστη εκπνοή στο πρώτο

δευτερόλεπτο της εκπνοής. Φυσιολογικά ο FEV_1 είναι το 75% του FVC, δηλαδή το 75% του εκπνεόμενου όγκου εξέρχεται από τους πνεύμονες στο 1ο δευτερόλεπτο της εκπνοής (Costanzo, 2009). Ακόμα μία σημαντική μέτρηση για την εκτίμηση της σωστής λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος είναι η μέτρηση του εκπνεόμενου μονοξειδίου του αζώτου (F_{eNO}) κυρίως για τη διάγνωση και αντιμετώπιση του βρογχικού άσθματος. Το εκπνεόμενο μονοξείδιο του αζώτου (F_{eNO}) θεωρείται ένας έμμεσος δείκτης φλεγμονής των κατωτέρων αεραγωγών και αυξάνεται σε ασθενείς με αλλεργικό άσθμα και αλλεργική ρινίτιδα (Costanzo, 2009). Τα ανώτερα φυσιολογικά επίπεδα F_{eNO} κυμαίνονται από 20 έως 30 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb).

Το O_3 έχει καλά τεκμηριωμένες, βραχυπρόθεσμες, αναστρέψιμες επιδράσεις στη λειτουργία των πνευμόνων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η βραχυχρόνια, σε O_3 , έκθεση - έως 8 ώρες - προκαλεί μείωση της λειτουργίας του πνεύμονα, όπως μείωση της ταχέως εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) και του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV_1) καθώς και αύξηση του εκπνεόμενου μονοξειδίου του αζώτου (F_{eNO}), (EPA, 2017).

3.1.4 Επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στο αναπνευστικό σύστημα στα παιδιά - το Όζον (O_3)

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στις επιδράσεις της έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση, και συγκεκριμένα σε O_3 , στη γενικότερη υγεία του ανθρώπου. Στην παρούσα φάση θα εστιάσουμε στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών.

Μέχρι σήμερα ένας μεγάλος αριθμός επιδημιολογικών μελετών έχει δείξει ότι τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων που έχουν καταγραφεί μέχρι τώρα έχουν βραχυχρόνιες επιδράσεις στην υγεία των παιδιών. Όμως, τα περισσότερα στοιχεία προέρχονται από μελέτες σχετικές με τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2.5}$, αμελώντας την επίδραση των οξειδοτικών ουσιών όπως το O_3 το οποίο επίσης έχει συνδεθεί με επιδράσεις στην υγεία.

Τα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες είναι περισσότερο ευπαθή στην ατμοσφαιρική ρύπανση (Finkelstein, et al, 2004; Salvi, 2007). Ρύποι όπως το O_3 , το SO_2 , τα μικροσωματίδια και τα NO_x έχουν συσχετιστεί με αναπνευστικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένης της αύξησης κρουσμάτων

άσματος, προβλήματα στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα, δυσλειτουργία των πνευμόνων και αλλεργίες διαφόρων τύπων. Ιδιαίτερη αξία έχει η μέτρηση του εκπνεόμενου F_{eNO} στα παιδιά. Η διάγνωση του παιδικού άσματος και του αλλεργικού βήχα είναι πλέον πιο εύκολη και πιο σίγουρη (Costanzo, 2009). Τα βρέφη που μεγαλώνουν σε περιοχές με πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πιθανότερο να εμφανίσουν προβλήματα βρογχίτιδας σε σύγκριση με τα βρέφη που ζουν σε πιο καθαρό περιβάλλον. Η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις O_3 έχει συσχετιστεί με προσωρινές μειώσεις στην ικανότητα των πνευμόνων να λειτουργήσουν κανονικά (Chen et al., 1999).

Η φωτοχημική ρύπανση, ιδιαίτερα το O_3 , με την εξαιρετικά υψηλή ικανότητα οξείδωσης βιομορίων, προκαλεί σημαντικά προβλήματα υγείας στο αναπνευστικό σύστημα των κατοίκων αστικών περιοχών, και έχει συνδεθεί με την αύξηση της εμφάνισης παιδικού άσματος. Μια πρόσφατη μετα-ανάλυση, η οποία περιελάμβανε αρκετές μελέτες κοόρτης καθώς και συγχρονικές μελέτες παρατήρησης, έδειξε ότι η έκθεση σε μικροσωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$, NO_x , SO_2 , μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και O_3 συσχετιζόταν με αυξημένη εμφάνιση παιδικού άσματος και συριγμού (Gasana et al, 2012). Επιπλέον, όμως, οι Barraza-Villarreal et al. (2008) ανέφεραν ότι υπήρχε συσχέτιση μεταξύ του O_3 από μετρήσεις σταθερών σταθμών και της εμφάνισης αυξημένων περιπτώσεων άσματος και αναπνευστικών λοιμώξεων τόσο στα ασθματικά αλλά και στα μη-ασθματικά παιδιά μιας κοορτής 158 παιδιών που διέμεναν στο Μεξικό. Μια έρευνα των Just et al. (2002) διαπίστωσε αυξήσεις στα συμπτώματα άσματος και τις αναπνευστικές λοιμώξεις μεταξύ 82 ασθματικών παιδιών, αλλά και αύξηση της μεταβλητότητας της PEF για υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο του 1996 στο Παρίσι.

Παιδιά τα οποία παραμένουν συνήθως πολύ χρόνο σε εξωτερικούς χώρους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν το O_3 είναι υψηλότερο, κινδυνεύουν περισσότερο για εμφάνιση άσματος (Ayres et al, 2009). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μεγάλης μελέτης, παιδιά που συμμετείχαν ενεργά σε υπαίθρια αθλήματα σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις O_3 είχαν τριπλάσιες πιθανότητες να αναπτύξουν άσμα, σε σύγκριση με εκείνα που δεν συμμετείχαν σε υπαίθριες αθλητικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια των πενταετών σπουδών τους (NIEHS, 2007).

Προηγούμενα αποτελέσματα από την προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Study) RESPOZE (που αποτελεί τη βάση της παρούσας διπλωματικής) που έχει πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα για να διερευνήσει το κατά πόσο η εβδομαδιαία έκθεση σε O_3 επηρεάζει την αναπνευστική υγεία των παιδιών (10 -11 ετών), έδειξαν ότι η αύξηση κατά $10\mu g/m^3$ της

εβδομαδιαίας συγκέντρωσης O_3 συσχετίστηκε με μείωση της FVC και FEV_1 κατά 0.03L [95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ): -0,05 ως -0,01] και 0.01L (95% Δ.Ε.: -0,03 ως 0,003), αντίστοιχα. Η ίδια αύξηση στην έκθεση συσχετίστηκε με 11.10% (95% Δ.Ε.: 4,23 ως 18,43) αύξηση του F_{eNO} και 19% (95% CI: -0,53 ως 42,75) αύξηση στις ημέρες με οποιοδήποτε σύμπτωμα (Karakatsani et al., 2016). Στην ίδια μελέτη βρέθηκε ότι, μία ημερήσια αύξηση $10\mu g/m^3$ στην προσωπική έκθεση σε O_3 συσχετίστηκε με αυξημένες πιθανότητες οποιουδήποτε συμπτώματος (όπως, βήχας, συρρίτωση αναπνοή, δύσπνοια και πυρετός) (Σχετικός Λόγος (ΣΛ): 1.19, 95% Δ.Ε.: 0,98 ως 1,44), που ωφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη βουλωμένη μύτη (ΣΛ: 1.23, 95% Δ.Ε.: 1,00 ως 1,51), (Samoli et al, 2016).

Πέρα από τα ευρήματα για τη βραχυχρόνια έκθεση, παραμένει το ερώτημα εάν η έκθεση σε O_3 προκαλεί μόνιμες αναπνευστικές διαταραχές λόγω του περιορισμένου αριθμού μελετών που καταλήξαν σε αντικρουόμενα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΟΠΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

4.1 Προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Study)

Οι panel studies, δηλαδή οι μελέτες κοορτής μικρού χρόνου παρακολούθησης, ουσιαστικά είναι μελέτες κοορτής που συλλέγουν δεδομένα από ένα καλά ορισμένο δείγμα ατόμων – συνήθως μικρό – ανά τακτά χρονικά διαστήματα για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα προκειμένου να προσδιορίσουν παράγοντες κινδύνου (Kasprzyk et al., 1989). Το επίκεντρο μιας προοπτικής μελέτης μικρού χρόνου παρακολούθησης αφορά μια ομάδα ατόμων που έχουν ένα κοινό γνώρισμα, εμπειρία ή χαρακτηριστικό στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο που διεξάγεται η έρευνα. Αυτή η ομάδα ονομάζεται κοόρτη, όπως και στην περίπτωση μίας προοπτικής μελέτης. Η βασική διαφορά μεταξύ μίας panel μελέτης και μίας μελέτης κοορτής είναι η διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας. Μία panel μελέτη διαρκεί από μερικούς μήνες έως το πολύ ένα χρόνο, σε αντίθεση με μία προοπτική μελέτη που μπορεί να διαρκέσει αρκετά έτη. Μια προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης μπορεί να οριστεί και ως μια μελέτη που συλλέγει πληροφορίες για τα ίδια άτομα σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Οι διάφορες συλλογές δεδομένων αναφέρονται συχνά από την ξένη βιβλιογραφία ως κύματα (“waves”) (Kasprzyk et al., 1989). Συνεπώς, μια τέτοια μελέτη μπορεί να χαρακτηριστεί επίσης και ως διαχρονική μελέτη (longitudinal study). Βασικό της χαρακτηριστικό αποτελούν οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, στο ίδιο πάντα άτομο, σε διαφορετικά χρονικά σημεία για μεταβλητές έκθεσης, έκβασης αλλά και πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες.

Κατά την διεξαγωγή μίας μελέτης panel, το δείγμα που έχει οριστεί αρχικά κατά το σχεδιασμό παρακολουθείται στενά και εντατικά για όλο το χρονικό διάστημα αυτής και προφανώς θα ήταν ακατόρθωτο το γεγονός επιλογής ενός μεγάλου δείγματος. Για τον λόγο αυτό τις περισσότερες φορές επιλέγονται ευαίσθητες ομάδες όπως παιδιά ή ηλικιωμένοι προκειμένου να επιτύχουν αύξηση της στατιστικής ισχύς μέσω της μεγαλύτερης πιθανότητας εμφάνισης του δείκτη υγείας υπό

μελέτη. Τέλος, ένας σημαντικός περιορισμός τους είναι το υψηλό κόστος και τα υψηλά επίπεδα συμμόρφωσης των συμμετεχόντων λόγω των αυξημένων απαιτήσεων της μελέτης. Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της στατιστικής ισχύος της έρευνας.

Οι προοπτικές μελέτες μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Studies) έχουν εξειδικευμένη στατιστική ανάλυση, την οποία και θα δούμε αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα. Στην παρούσα φάση, παρακάτω ακολουθούν γενικότερες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε και για το λόγο αυτό παρουσιάζουμε αναλυτικά.

4.2 Μέθοδοι Στατιστικής Ανάλυσης

Η έρευνα συχνά εστιάζει γενικότερα στην μελέτη της σχέσης δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Βασική προϋπόθεση για την εγκυρότητα της έρευνάς μας είναι η επίλογή της κατάλληλης στατιστικής μεθόδου κάθε φορά προς απάντηση κάποιας ερευνητικής υπόθεσης. Οι στατιστικές μέθοδοι αποτελούν, ουσιαστικά, όργανα ανάλυσης δεδομένων που έχουν συλλεχθεί με οποιοδήποτε τρόπο. Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η ανάλυση των δεδομένων αυτών εξαρτάται από το είδος των μεταβλητών που μελετώνται (ποιοτικές ή ποσοτικές), τις σχέσεις μεταξύ των παρατηρήσεων (συσχετισμένες ή ανεξάρτητες) και, τέλος, τον χρόνο συλλογής των δεδομένων.

4.2.1 Μοντέλα Παλινδρόμησης

Οι στατιστικές μέθοδοι με την χρήση μοντέλων εφαρμόζονται ευρέως από τους περισσότερους επιστημονικούς κλάδους, και ιδιαίτερα από τον τομέα της Ιατρικής. Το πρώτο βήμα για να πραγματοποιηθεί μία μελέτη αυτή είναι η κατασκευή μιας μαθηματικής εξίσωσης (μοντέλου) που περιγράφει τη φύση της σχέσης μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών. Στόχος, επομένως, των εν λόγω μοντέλων είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών και τέλος η εξαγωγή συμπερασμάτων για τον πληθυσμό, στηριζόμενοι στις πληροφορίες ενός συγκεκριμένου δείγματος.

Η διαδικασία δημιουργίας μιας μαθηματικής εξίσωσης για την περιγραφή ενός φαινομένου μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για την κατασκευή του μοντέλου

απαιτείται κάποια γνώση της φύσης της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Ουσιαστικά, εμείς θέλουμε να επιλέξουμε ένα υποσύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών που θα εξηγούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη μεταβλητότητα του δείκτη υπό μελέτη (Montgomery et al., 1992).

Συνήθως μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε πώς μεταβάλλεται μια τυχαία μεταβλητή Y σε σχέση με μια - ή περισσότερες - μεταβλητές $X_1, X_2, \dots, X_n$. Αν το μοντέλο που εξετάζουμε είναι τέτοιας μορφής που η τυχαία μεταβλητή Y είναι γραμμική συνάρτηση των παραμέτρων του μοντέλου τότε μιλάμε για ένα γραμμικό μοντέλο (linear model). Η απλούστερη μορφή τέτοιας σχέσης είναι η $Y = \alpha + \beta X$, όπου α και β είναι οι παράμετροι υπό εκτίμηση.

4.2.2 Πολλαπλή γραμμική Παλινδρόμηση

Στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση η σχέση μεταξύ μιας τυχαίας μεταβλητής (τ.μ.) Y με μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές παριστάνεται μέσω ενός γραμμικού μοντέλου. Επισημαίνουμε ότι ο όρος "γραμμικό" για το χαρακτηρισμό του μοντέλου αναφέρεται στις παραμέτρους και όχι στις μεταβλητές. Για να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ της Y και των $X_1, X_2, \dots, X_{p-1}$ λαμβάνεται δείγμα μεγέθους n και για κάθε άτομο του δείγματος καταγράφονται οι τιμές των συγκεκριμένων μεταβλητών. Π.χ. για το i -άτομο του δείγματος καταγράφονται οι τιμές $(Y_i, X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{i,p-1})$, $i = 1, 2, \dots, n$. Εφαρμόζουμε λοιπόν το μοντέλο:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

,όπου τα «σφάλματα» $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ θεωρούνται ανεξάρτητες τ.μ. από την $N(0,1)$ ενώ οι ερμηνευτικές μεταβλητές $X_1, X_2, \dots, X_{p-1}$, όπως και στο απλό γραμμικό μοντέλο, δεν θεωρούνται τυχαίες. Το παραπάνω μοντέλο (1) γράφεται με τη βοήθεια πινάκων στην απλούστερη μορφή:

$$Y = Xb + \varepsilon \quad (2)$$

όπου

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \cdots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & & X_{2,p-1} \\ \vdots & & & \\ 1 & X_{n1} & \cdots & X_{n,p-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{p-1} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}.$$

Στη συνέχεια, ερμηνεύοντας τη συνολική μεταβλητότητα του μοντέλου, η συνολική μεταβλητότητα της ανεξάρτητης μεταβλητής Y_i (Total sum of squares (SST)), αποδεικνύεται ότι χωρίζεται σε δύο αθροίσματα τα οποία συμβολίζονται με Sum of Squares Error (SSE) και Sum of Squares Regression (SSR).

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (3)$$

Το SSR εκφράζει τη μεταβλητότητα των προσαρμοσμένων τιμών ενώ το SSE εκφράζει τη μεταβλητότητα των Y_i σε σχέση με τις αντίστοιχες προσαρμοσμένες τιμές. Η μεταβλητότητα του SSR ερμηνεύεται από το μοντέλο ενώ του SSE όχι. Το πηλίκο (συντελεστής προσδιορισμού)

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} \quad (4)$$

μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας των Y_i που ερμηνεύεται από το μοντέλο (1).

Προϋποθέσεις εφαρμογής είναι οι ακόλουθες:

1. Τα τυχαία σφάλματα ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν και διασπορά σ^2 , δηλαδή $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, $i = 1, 2, \dots, n$.
2. Τα ε_i είναι ασυσχέτιστα, δηλαδή $\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$.
3. Οι μεταβλητές απόκρισης ακολουθούν την κανονική κατανομή, με ίδια διασπορά σ^2 , δηλαδή $Y_i/X_i \sim N(\mu_i, \sigma^2)$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Για την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης απαιτείται επομένως:

1. Γραμμική σχέση μεταξύ έκθεσης – έκβασης (όχι υποχρεωτικά).
2. Κανονικά κατανεμημένα δεδομένα της εξαρτημένης μεταβλητής.

3. Έλλειψη πολυσυγγραμμικότητας (κατάσταση η οποία δημιουργείται όταν υπάρχουν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών στην πολλαπλή παλινδρόμηση) μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών.
4. Έλλειψη αυτοσυσχέτισης των δεδομένων.
5. Ομοσκεδαστικότητα.

Στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση:

- Η εξαρτημένη μεταβλητή πρέπει να είναι συνεχής.
- Οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να είναι είτε συνεχείς, είτε κατηγορικές. Στην περίπτωση κατηγορικών μεταβλητών αυτές εισάγονται στο μοντέλο με μορφή ψευδομεταβλητών.

Τέλος, για την εξέταση της ορθότητας του μοντέλου θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι οι παρατηρήσεις μας προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο μοντέλο ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν να θεωρούνται αξιόπιστα. Διαφορετικά, θα πρέπει να τροποποιήσουμε κατάλληλα το μοντέλο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε τα τυποποιημένα κατάλοιπα γι' αυτό το σκοπό (Kleinbaum et al, 1988).

Οι συντελεστές πολλαπλής εξάρτησης b_i ονομάζονται μερικοί συντελεστές εξάρτησης (partial regression coefficients). Ο συντελεστής μερικής εξάρτησης εκφράζει τη μεταβολή κατά μέσο όρο της εξαρτημένης μεταβλητής όταν η αντίστοιχη ανεξάρτητη μεταβλητή μεταβληθεί (αυξηθεί ή μειωθεί) κατά μία μονάδα, διατηρώντας τις υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου σταθερές. Όταν πρόκειται για κατηγορικές μεταβλητές με περισσότερα από δύο επίπεδα αυτό μεταφράζεται ως η μέση διαφορά στην εξαρτημένη μεταβλητή για άτομα της κατηγορίας στην οποία αναφέρεται η αντίστοιχη ψευδομεταβλητή από τα άτομα που ανήκουν στην κατηγορία αναφοράς. Ο συντελεστής εξάρτησης b_1 μπορεί να είναι αρνητικός (αρνητική εξάρτηση) ή θετικός αριθμός (θετική εξάρτηση) ή να ισούται προς 0 (απουσία εξάρτησης) και έχει ως μονάδες το λόγο των μονάδων της εξαρτημένης προς τις μονάδες της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η σταθερά εκφράζει τη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής όταν όλες οι ανεξάρτητες ισούνται με την τιμή μηδέν.

4.2.3 Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Generalized Linear Models)

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (ΓΓΜ, Generalized linear models) είναι μια φυσική γενίκευση των γραμμικών μοντέλων, και τα οποία περιλαμβάνουν σαν ειδική περίπτωση την γραμμική παλινδρόμηση, την ανάλυση διασποράς, τα logit και probit μοντέλα, τα log-linear και τα πολυωνυμικά μοντέλα, καθώς και κάποια μοντέλα της ανάλυσης επιβίωσης. Στην περίπτωση του Γραμμικού μοντέλου στην ανάλυση παλινδρόμησης, μία σημαντική υπόθεση που ξέρουμε, είναι η κανονικότητα της μεταβλητής απόκρισης, δηλαδή να ακολουθεί την κανονική κατανομή. Σε περιπτώσεις απόκλισης από την κανονικότητα γίνεται χρήση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (Generalized Linear Models, GLM). Στην περίπτωση των ΓΓΜ η σχέση μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης και των επεξηγηματικών μεταβλητών δεν καθορίζεται με την μορφή $E[Y/X=x] = \mu_i = x_i^T \beta$ αλλά επεκτείνεται η μέθοδος μοντελοποίησης του μέσου από γραμμικές συναρτήσεις σε μη-γραμμικές:

$$g(\mu_i) = \eta_i = x_i^T b \quad (1)$$

όπου η_i ο γραμμικός συνδυασμός των x_i και b . Η συνάρτηση g είναι η συνάρτηση σύνδεσης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ μέσου και του παραπάνω γραμμικού συνδυασμού.

Η συνάρτηση διασποράς (variance function) η οποία περιγράφει τη σχέση μεταξύ διασποράς και μέσου είναι:

$$Var(Y_i) = \phi V(\mu)$$

όπου η σταθερά ϕ ορίζεται ως παράμετρος διάσπορας (dispersion parameter).

Στην περίπτωση που:

- $\eta_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$
- $g(\mu_i) = \eta_i$
- $V(\mu_i) = 1$

καταλήγουμε στο μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η μεταβλητή απόκρισης είναι διακριτή και δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή, ενώ μπορεί να παίρνει περισσότερες από δύο τιμές. Μία μέθοδος ανάλυσης δίτιμων μεταβλητών είναι η λογαριθμιστική παλινδρόμηση. Στη λογαριθμιστική παλινδρόμηση η μεταβλητή απόκρισης ακολουθεί την κατανομή Bernoulli ή την διωνυμική κατανομή. Μία δίτιμη, δηλαδή, μεταβλητή μπορεί να πάρει για παράδειγμα τις τιμές 0 ή 1, με αντίστοιχες πιθανότητες

$$P(Z_i = 1) = \pi_i \text{ και } P(Z_i = 0) = 1 - \pi_i$$

Επίσης,

$$E(z_i) = \pi_i,$$

και

$$Var(z_i) = \pi_i(1 - \pi_i)$$

Οπότε αν θεωρήσουμε ότι έχουμε n ανεξάρτητες ισοπίθανες τυχαίες μεταβλητές $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ τότε ορίζουμε ως

$$Y = \sum_{j=1}^n Z_j$$

τον αριθμό των επιτυχιών σε n ‘δοκιμές’. Άρα στην περίπτωση που έχουμε N ανεξάρτητες μεταβλητές τότε ισχύει: $Y_i \sim b(n_i, \pi_i)$. Η μοντελοποίηση των πιθανοτήτων γίνεται με την εξής συνάρτηση σύνδεσης:

$$g(\pi_i) = \eta_i = x_i^T b$$

Οι τιμές π_i προφανώς ανήκουν στο διάστημα $[0, 1]$ μιας και αποτελούν πιθανότητες. Γι' αυτό πρέπει να επιλεγεί κατάλληλη συνάρτηση σύνδεσης η οποία να παίρνει τιμές σε αυτό το διάστημα για κάθε τιμή των x_i , b . Η πιο διαδεδομένη είναι η συνάρτηση *logit*:

$$\text{logit}\pi_i = \log\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = x_i^T b \quad (2)$$

όπου, x_i είναι ένα διάνυσμα που περιέχει είτε συνεχείς μεταβλητές είτε ψευδομεταβλητές και b το διάνυσμα των παραμέτρων (Dobson and Barnett, 2008). Η ποσότητα $\pi_i / 1 - \pi_i$ καλείται διεθνώς Odds και στα ελληνικά μεταφράζεται ως λόγος συμπληρωματικών πιθανοτήτων.

Για να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους στα ΓΓΜ χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας. Η συνάρτηση πιθανοφάνειας είναι:

$$L(b) = \prod_{i=1}^n \binom{n_i}{y_i} \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{n_i - y_i} \quad (3)$$

όπου το π_i είναι:

$$\pi_i = \frac{e^{b_0 + b_1 X_{i1} + \dots + b_k X_{ki}}}{1 + e^{b_0 + b_1 X_{i1} + \dots + b_k X_{ki}}} \quad (4)$$

Αυτό που ψάχνουμε, είναι να βρούμε τα εκτιμώμενα $b_0, b_1, \dots, b_k$ που μεγιστοποιούν το $L(b)$.

Το μοντέλο (2) χρησιμοποιείται για ανάλυση δεδομένων όπου περιέχονται δίτιμες και διωνυμικές αποκρίσεις. Οι εκτιμήσεις μέγιστης πιθανοφάνειας των παραμέτρων b , οπότε και των πιθανοτήτων: $\pi_i = g(x_i^T b)$ προκύπτουν από τη μεγιστοποίηση της λογαριθμιστικής συνάρτησης πιθανοφάνειας:

$$l(\pi; y) = \sum_{i=1}^n [y_i \log(\pi_i) + (n_i - y_i) \log(1 - \pi_i) + \log\binom{n_i}{y_i}] \quad (5)$$

Άλλη ειδική περίπτωση των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων αποτελεί η Παλινδρόμηση Poisson. Στην Poisson Παλινδρόμηση οι μεταβλητές απόκρισης είναι τιμές που ακολουθούν την Poisson κατανομή. Πολλές φορές σε εφαρμογές παρατηρούμε δεδομένα συχνοτήτων. Η κατανομή Poisson είναι πολύ χρήσιμη στην ανάλυση τέτοιων δεδομένων. Έστω ότι η μεταβλητή απόκρισης y_i μπορεί να πάρει τιμές από τις 0, 1, 2, ..., n και μία κατανομή που είναι κατάλληλη για να περιγράψει τα δεδομένα μας είναι η κατανομή Poisson. Είναι $E(y) = \mu$ και $Var(y) = \mu$. Η μέση τιμή είναι ίση με την διασπορά.

Η συνάρτηση σύνδεσης που συνδέει τη μέση τιμή $E(y_i)$ με τις επεξηγηματικές μεταβλητές είναι:

$$g(\mu_i) = \eta_i = \log(\mu_i) = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_k X_{ik} = x_i^T b$$

Υποθέτουμε ότι $E(Y_i) = \mu_i = \eta_i \theta_i$.

Λόγω της ιδιότητας των λογαρίθμων $\log(\mu_{x+1}) - \log(\mu_x) = \log\left(\frac{\mu_{x+1}}{\mu_x}\right)$, οι εκτιμήσεις του μοντέλου ερμηνεύονται ως ο λογάριθμος του πηλίκου των μέσων, οι οποίοι στην Poisson κατανομή καλούνται ρυθμοί, αφού εξ'ορισμού είναι ο αριθμός συμβάντων στη μονάδα του χρόνου. Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος rate ratio (RR) (Dobson and Barnett, 2008).

4.2.4 Μοντέλα Μικτών Επιδράσεων (Mixed Effects Models)

Ένας συνηθισμένος σχεδιασμός που χρησιμοποιείται στον τομέα της υγείας αποτελούν οι διαχρονικές (lognitudinal) ή χωρικές (spatial) μελέτες, όπου συλλέγονται και αναλύονται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που αναφέρονται στον ίδιο ασθενή ή άτομο ή γίνονται στην ίδια περιοχή ή νοσοκομείο, κτλ. Σε αυτές τις μελέτες, υπάρχει ακόμα περίπτωση, ο ερευνητής να μεταβάλλει με συστηματικό τρόπο τις συνθήκες με τις οποίες πραγματοποιείται το πείραμα, εισάγοντας έναν ή περισσότερους παράγοντες (factors) στον πειραματικό σχεδιασμό. Η στατιστική ανάλυση διαχρονικών ή χωρικών δεδομένων είναι συχνά πολύπλοκη, ενώ σημειώνονται αρκετές παραλείψεις και προβλήματα σε έρευνες που έχουν ήδη δημοσιευθεί καθιστώντας τα ευρήματα τους στατιστικώς μη-έγκυρα. Αυτό συμβαίνει καθώς οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που αναφέρονται στον ίδιο ασθενή ή άτομο ή στον ίδιο χώρο της έρευνας είναι συσχετισμένες παραβαίνοντας μίας από τις προϋποθέσεις στατιστικών μοντέλων, την υπόθεση ανεξαρτησίας των παρατηρήσεων του δείγματος (Verbenke et al., 2000). Εκτός όμως από τη διαφοροποίηση μεταξύ παρατήρησης και ψευδό-παρατήρησης (pseudo-replication), υπάρχει και μία σημαντική κατηγοριοποίηση των επεξηγηματικών μεταβλητών, όπου επιδρούν με σταθερό (fixed) και τυχαίο (random) τρόπο. Η πρώτη κατηγορία (fixed) περιλαμβάνει παράγοντες, οι οποίοι περιέχουν σημαντική πληροφορία (informative) και υπολογίζονται από τα δεδομένα του δείγματος, επηρεάζοντας τη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Η δεύτερη κατηγορία (random) περιλαμβάνει παράγοντες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως μη-πληροφοριακοί (non-informative) και επηρεάζουν τη μεταβλητότητα του πειράματος (Zuur et al., 2009).

Τα μοντέλα μικτών επιδράσεων είναι μία επέκταση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης, έτσι μπορούμε να δώσουμε την τυποποιημένη μορφή ενός γραμμικού μοντέλου μικτών επιδράσεων, που είναι η ακόλουθη:

$$Y=X\beta+Zu+\varepsilon, (1)$$

όπου,

- Y είναι το $n \times 1$ διάνυσμα της μεταβλητής απόκρισης.
- X είναι ο πίνακας, διάστασης $n \times p$, των τιμών των p ανεξάρτητων σταθερών μεταβλητών.
- Ο πίνακας β είναι το διάνυσμα $p \times 1$ των συντελεστών παλινδρόμησης σταθερών επιδράσεων.
- Z είναι ο πίνακας, διάστασης $n \times q$, των τιμών των q τυχαίων επιδράσεων.
- Ο πίνακας u είναι το διάνυσμα $q \times 1$ των συντελεστών παλινδρόμησης τυχαίων επιδράσεων και
- ο πίνακας ε είναι το διάνυσμα $n \times 1$ των τυχαίων σφαλμάτων.

Στο παραπάνω μοντέλο (1) κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Το $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$ και το $\beta \sim N(0, D(\theta)\sigma^2)$ και
- Τα ε και u είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της εξατομικευμένης έκθεσης σε συγκεντρώσεις ρύπων. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μετράται η έκθεση, οι μελέτες χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες, α) Οικολογικές μετρήσεις (στην περίπτωσή μας μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ), β) Εκτιμήσεις από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 (Spatio-temporal Land Use Regression) και γ) Εκτιμήσεις από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού (Dispersion models). Στην συνέχεια θα γίνει αναλυτική αναφορά στα μοντέλα χρήσης γης (Land use regression models - LUR) και στον ρόλο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας - ΓΣΠ (Geographical Information Systems - GIS) για την εξαγωγή πιθανών χωροχρονικών μεταβλητών πρόβλεψης της συγκέντρωσης των ρύπων καθώς και εκτενής αναφορά στο στατιστικό μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού.

5.1 Εκτίμηση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση

Λόγω της σοβαρότητας του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν δημιουργηθεί δίκτυα σταθμών μέτρησης των ατμοσφαιρικών ρύπων ανά τον κόσμο. Συγκεκριμένα στην Αθήνα λειτουργούν 17 σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ενώ στη Θεσσαλονίκη 7. Οι επιδημιολογικές μελέτες των επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία συχνά βασίζονται στα δεδομένα μετρήσεων που προέρχονται από το δίκτυο σταθερών σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για να χαρακτηρίσουν την έκθεση των κατοίκων μιας πόλης ή μιας ευρύτερης περιοχής (Pope et al., 1995). Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση. Οι ερευνητές των περισσότερων επιδημιολογικών μελετών αξιοποιούν τις μετρήσεις των σταθερών σταθμών για τον υπολογισμό της μέσης τιμής (σε ημερήσια ή και σε μακροχρόνια βάση) και στην αντιστοίχισή της ως αντιπροσωπευτικής της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση των ατόμων

που διαμένουν στην περιοχή. Άλλοι (Dockery et al., 1993) αντιστοιχούν τη μέση τιμή των μετρήσεων που προέρχονται από τον κοντινότερο στην περιοχή κατοικίας, σταθμό μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις δίνουν μια ενιαία πληθυσμιακή εκτίμηση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση εξομοιώνοντας την έκθεση των ατόμων που κατοικούν σε μια μεγαλύτερη ή μικρότερη γεωγραφική κλίμακα.

Μελέτες έχουν δείξει πως η προσωπική έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε ένα αστικό περιβάλλον προσδιορίζεται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες (Hoek et al., 2008). Η προσωπική έκθεση του κάθε ατόμου μπορεί να εξαρτάται από την απόσταση της διεύθυνσης μόνιμης κατοικίας του από τους οδικούς άξονες καθώς και να διαφοροποιείται ανάλογα με τον φόρτο κυκλοφορίας των οχημάτων σε αυτούς. Άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι η έκθεση σε διαφορετικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επομένως, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος και τη βελτιστοποίηση της εκτίμησης της προσωπικής έκθεσης στις συγκεντρώσεις ρύπων είναι απαραίτητη η ανάλυση και η σωστή περιγραφή όλων των φαινομένων και παραγόντων που καθορίζουν τις σχέσεις πηγής – αποδέκτη και ατμοσφαιρικών ρύπων αφού η μεταβλητότητα των εκτιμήσεων ποικίλει μεταξύ περιοχών σε μεγάλη γεωγραφική κλίμακα (Δημακοπούλου, 2016).

Τα τελευταία χρόνια, οι επιδημιολόγοι έχουν στραφεί στη χρήση μοντέλων εκτίμησης της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση στη διεύθυνση της μόνιμης κατοικίας των συμμετεχόντων (Hoek et al., 2008). Για μία τέτοια προσέγγιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η χωρική παρεμβολή, η χρήση δεδομένων από τη δορυφορική τηλεπισκόπηση της γης - ΔΤΓ, η εφαρμογή μοντέλων διασποράς (Dispersion models), συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων διάχυσης και χημικού μετασχηματισμού (Chemical transport models) και η ανάπτυξη μοντέλων χρήσης γης (Land use regression models - LUR) (de Hoogh et al., 2014). Η χρήση των παραπάνω μεθόδων αποτελεί βασικό πλεονέκτημα των επιδημιολογικών μελετών που διερευνούν τις επιδράσεις της προσωπικής έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση στην υγεία.

5.2 Μοντέλα χρήσης γης (Land use regression models - LUR)

Τα μοντέλα χρήσης γης είναι εμπειρικά, στατιστικά μοντέλα που προσπαθούν να εκτιμήσουν τη συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων σε ένα συγκεκριμένο σημείο με βάση την χρήση γης στον

περιβάλλοντα χώρο και τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής κίνησης (Jerret et al., 2005). Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν τις μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν πραγματοποιηθεί συνδυάζοντάς τες με τεχνικές ανάπτυξης μοντέλων και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την εκτίμηση της έκθεσης σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου με γνωστές συντεταγμένες.

Αναλυτικότερα, τα μοντέλα χρήσης γης χρησιμοποιούν τις εν λόγω μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ως εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου, ενώ ως μεταβλητές πρόβλεψης του μοντέλου (ανεξάρτητες μεταβλητές), χρησιμοποιούν στοιχεία όπως η κυκλοφοριακή κίνηση (φόρτο κυκλοφορίας οχημάτων προς την εγγύτερη οδό ή σε μια προκαθορισμένη ζώνη επιρροής (buffer)), η τοπογραφία του χώρου, η πυκνότητα του πληθυσμού, η έκταση του αστικού πρασίνου κ.ά.. Όλες οι μεταβλητές πρόβλεψης του μοντέλου παράγονται κυρίως μέσω των εφαρμογών των ΓΣΠ. Η προσθήκη μεταβλητών στο μοντέλο σχετιζόμενων με την τοποθεσία μπορεί να δώσει μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη διαφοροποίησης της ρύπανσης σε μικρή κλίμακα, σε σχέση με μεθόδους παρεμβολής (Briggs et al, 1997).

Σκοπός της ανάπτυξης των μοντέλων χρήσης γης είναι η εκτίμηση των συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων σε σημεία στα οποία δεν έχουν γίνει μετρήσεις, όπως για παράδειγμα, στη διεύθυνση της μόνιμης κατοικίας των ατόμων που συμμετέχουν σε μια προοπτική έρευνα.

Η αξιοπιστία κάθε μοντέλου LUR μπορεί να εκτιμηθεί είτε με τη σύγκριση των προβλεπόμενων επιπέδων κάθε ρύπου με τις πραγματικές μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν αντληθεί από τους διαφορετικούς σταθμούς (Briggs et al., 1997, 2000; Gilbert et al., 2005; Ross et al., 2006), είτε από τα μέσα σφάλματα πρόβλεψης (Brauer et al., 2003) είτε με την μέθοδο bootstrap για την αξιολόγηση της ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου (Ross et al., 2006; Ryan et al., 2007). Η σύγκριση των μετρηθεισών πραγματικών επιπέδων των ρύπων με τα επίπεδα που προβλέπουν τα μοντέλα LUR γίνονται μέσω χρήσης του συντελεστή R^2 . Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που ερμηνεύεται από τη μεταβλητότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και τα μέσα σφάλματα πρόβλεψης που υπολογίζονται με χρήση της διαφοράς της προβλεπόμενης από το μοντέλο τιμής χωρίς το σταθμό και στη συνέχεια με υπολογισμό της ρίζας των αθροισμάτων των τετραγώνων όλων αυτών των διαφορών. Τέλος, χρησιμοποιείται και η μέθοδος bootstrap που μπορούμε να δούμε από τις έρευνες του Ross, 2006 και Ryan, 2007.

Στην πλειοψηφία των επιδημιολογικών μελετών γίνεται χρήση των μοντέλων χρήσης γης (Hoek et al., 2008, Jerret et al., 2005). Σε συγκρίσεις που έχουν γίνει ως προς την σύγκλιση των εκτιμήσεων μεταξύ των χωρο-χρονικών μοντέλων χρήσης γης και των μοντέλων διάχυσης χημικού μετασχηματισμού (Dispersion models), βρέθηκε αρκετή συμφωνία (Beelen et al., 2010; Wang et

5.3 Μοντέλα διάχυσης/διασποράς χημικού μετασχηματισμού (Dispersion models)

Στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και την απομάκρυνση των ρύπων από την ατμόσφαιρα, εκτός από τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το φυσικοχημικό μετασχηματισμό των ρύπων ή την απόθεσή τους, λαμβάνουν χώρα και φαινόμενα μεταφοράς. Η μεταφορά ρύπων με τις κινήσεις των αερίων μαζών ονομάζεται διασπορά, ενώ η αραίωση των ρύπων σε μία αέρια μάζα χαρακτηρίζεται ως διάχυση (Μελάς, 2003).

Τα φαινόμενα μεταφοράς και φυσικοχημικού μετασχηματισμού των ρύπων στην ατμόσφαιρα μπορούν να αναλυθούν με την εφαρμογή κατάλληλων υπολογιστικών μεθόδων, κυρίως μαθηματικών μοντέλων. Με τα μαθηματικά μοντέλα επιχειρείται προσομοίωση των φυσικοχημικών μηχανισμών που διέπουν τη διασπορά και το μετασχηματισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Για το σκοπό αυτό επιλύονται συστήματα μαθηματικών εξισώσεων, η μορφή των οποίων εξαρτάται από το είδος και την έκταση των φαινομένων που επιδιώκεται να προσομοιωθούν. Ένα μαθηματικό μοντέλο προσφέρεται και για πρόγνωση (πρόβλεψη) των επιπέδων ρύπανσης, εφόσον έχει προηγουμένως αποδειχθεί η αξιοπιστία του (Ξενάκη & Χανιώτη, 2004). Ειδικότερα, τα μοντέλα διασποράς (dispersion models) που περιγράφουν τα φαινόμενα μεταφοράς στην ατμόσφαιρα είναι ντετερμινιστικά μοντέλα, κι αυτό γιατί οι μαθηματικές τους εξισώσεις δεν περιέχουν σφάλματα. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι μοντελοποίησης της διάχυσης, κάποιοι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι: 1) τα μοντέλα Box, 2) Τα Γκαουσιανά (Gaussian) μοντέλα, 3) Τα Λανγκρανζιανά (Lagrangian) μοντέλα, 4) Τα Ουλεριανά (Eulerian) μοντέλα.

1. Τα μοντέλα Box: Τα μοντέλα αυτά είναι τα απλούστερα και βασίζονται στην αρχή διατήρησης της μάζας. Διεκπεραιώνονται σε ένα συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα σε μια γεωγραφική περιοχή που έχει το σχήμα ενός κουτιού μέσα στο οποίο εκπέμπονται ρύποι και κατόπιν υφίστανται φυσικές και χημικές διεργασίες. Προϋποθέτει ότι οι ρύποι στο εσωτερικό του κουτιού είναι κατανεμημένοι ομοιογενώς και χρησιμοποιείται αυτή η υπόθεση για τον υπολογισμό του μέσου όρου των συγκεντρώσεων των ρύπων σε οποιοδήποτε σημείο εντός αυτού. Το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί και το μεγάλο του

μειονέκτημα, αφού η υπόθεση αυτή είναι κατά πολύ απλοϊκή (Dr. Nolan Atkins).

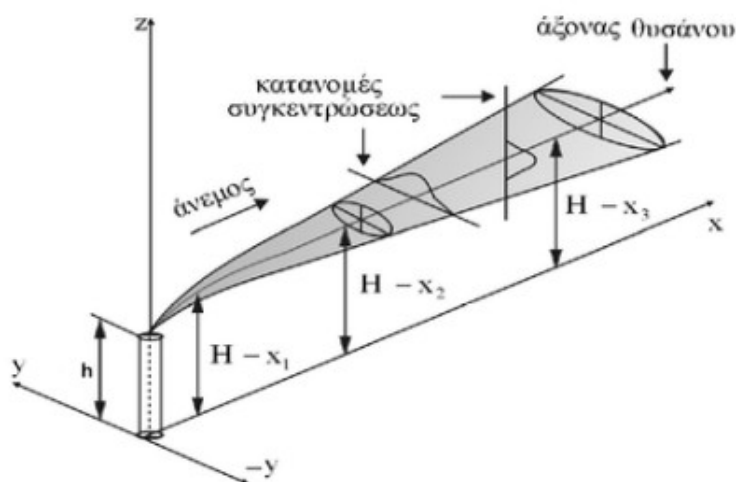
2. Τα Γκαουσιανά μοντέλα (Gaussian models): Τα μοντέλα αυτά είναι ίσως τα παλαιότερα (γύρω στο 1936) (Bosanquet, 1936) και ίσως τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα. Τα παραπάνω μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση ότι ο ρύπος διανομής έχει μια κανονική κατανομή πιθανοτήτων, ως προς τους κατακόρυφους και οριζόντιους άξονες. Ο πρωταρχικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στα Gaussian μοντέλα είναι ο «Generalized Dispersion Equation For A Continuous Point-Source Plume» (Beychok, Milton R., 2005):

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

,όπου $C=c(x,y,z)$ είναι η συγκέντρωση του ρύπου, Q είναι η πηγή έκκλησης, H είναι το ύψος έκλυσης από το έδαφος, U είναι η μέση ταχύτητα ανέμου (σταθερή χωρικά και χρονικά), σ_x , σ_y είναι οι τυπικές αποκλίσεις της γκαουσιανής κατανομής, που υπολογίζονται εμπειρικά. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων είναι η απλότητά τους και οι ελάχιστοι χρόνοι υπολογισμού. Είναι πολύ χρήσιμα, ιδιαίτερα σε απλές ατμοσφαιρικές συνθήκες με επαρκή άνεμο, ομαλή τοπογραφία και ομοιόμορφη χρήση γης.

Το Σχήμα 5.3.1 παρουσιάζει την «φιλοσοφία» ενός Γκαουσιανού (Gaussian) μοντέλου διάχυσης και διασποράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σχήμα 5.3.1: Γκαουσιανό μοντέλο διάχυσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης



3. Τα Λανγκρανζιανά μοντέλα (Lagrangian models): Τα Λανγκρανζιανά μοντέλα ακολουθούν την κίνηση κάποιων σωματιδίων (parcels) των ρύπων καθώς αυτά κινούνται στην ατμόσφαιρα και μοντελοποιούν την κίνηση τους ως μια διαδικασία τυχαίου περιπάτου (random walk). Είναι παρόμοια με τα μοντέλα Box αφού ορίζουν μια περιοχή ως κουτί όπου προσδιορίζονται οι αρχικές συγκεντρώσεις ρύπων. Έτσι, τα Lagrangian μοντέλα, ή αλλιώς μοντέλα πορείας δεν αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, αλλά θεωρούν ότι το κουτί του μοντέλου ακολουθεί την πορεία του ανέμου, απαλείφοντας έτσι τους υπολογισμούς της οριζόντιας μεταφοράς του ανέμου (advection). Παρόλα αυτά, οι όροι που περιγράφουν τις πηγές και τις κατακρημνίσεις των ενώσεων μεταβάλλονται, καθώς το μοντέλο κινείται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες. Τα Λανγκρανζιανά μοντέλα υπολογίζουν τη διασπορά των ρύπων με υπολογισμό των στατιστικών της πορείας ενός μεγάλου αριθμού των σωματιδίων (parcels) των ρύπων. Τέτοια μοντέλα επιτρέπουν να ληφθούν υπόψη λεπτομερώς μεγάλα συστήματα χημικών αντιδράσεων και χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για τοπικές ή περιφερειακές μελέτες.
4. Τα Ουλεριανά μοντέλα (Eulerian models): Τα Ουλεριανά μοντέλα είναι παρόμοια με τα μοντέλα Lagrangian, διότι ακολουθούν επίσης την κυκλοφορία ενός μεγάλου αριθμού σωματιδίων (parcels) καθώς μετακινούνται από την αρχική θέση τους. Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι ότι το Eulerian μοντέλο χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς και όχι ένα κινούμενο σύστημα αναφοράς. Τα Ουλεριανά μοντέλα έχουν τη ευχέρεια να χειρίζονται προβλήματα όπου τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας και επίλυσης ρύπων είναι σύνθετα (τρειςδιάστατες ροές, ανωστικά φαινόμενα, αλλαγές φάσεων) και η τοπογραφία είναι πολύπλοκη. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις τόσο σε υπολογιστική ικανότητα όσο και σε ικανότητα εμπειρίας του χρήστη με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σπάνια.

5.4 Ο ρόλος των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (ΓΣΠ)

στην ανάπτυξη των μοντέλων χρήσης γης

Τα ΓΣΠ, τα οποία ονομάζονται και "Πληροφοριακά Συστήματα Χαρτογράφησης", "Σύστημα Πληροφοριών του Χώρου" ή "Συστήματα Πληροφοριών Γης", γνωστά ευρέως και ως Geographic

Information Systems (GIS), είναι σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες.

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Τα ΓΠΣ, δηλαδή, αποτελούν πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) σε ένα λογισμικό που λειτουργούν ως ένα δυναμικό εργαλείο συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης κάθε μορφής δεδομένων που σχετίζονται με χωρικές πληροφορίες, σχετικά με φαινόμενα που απαντούν και εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο (Burrough & McDonell, 2000).

Η λειτουργία των ΓΣΠ στηρίζεται στην αποθήκευση δεδομένων σε ένα σύνολο από διαφορετικές θεματικές βαθμίδες (layers), π.χ. πόλεις, οδικοί άξονες, κτίρια, γεωγραφικό ανάγλυφο, λίμνες, περιοχές πρασίνου, βιομηχανία και άλλα σημεία ενδιαφέροντος. Οι θεματικές αυτές βαθμίδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), ή ακόμα και σε τρεις διαστάσεις (συν το ύψος), συνδυάζοντας ένα πλήθος χωρικών και περιγραφικών στοιχείων που προηγουμένως ήταν ασύνδετα. Κάθε βαθμίδα δεδομένων αποτελείται από δύο είδη δεδομένων: γεωγραφικά ή χωρικά και περιγραφικά ή στατιστικά τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Η χωρική ανάλυση περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος τεχνικών ανάλυσης, επεξεργασίας, παρουσίασης, απλοποίησης - γενίκευσης, ταξινόμησης, χωρικών -γεωγραφικών δεδομένων αλλά και δόμηση μοντέλων (χαρτογραφικών, στατιστικών, γεωστατιστικών, επιδημιολογικών, οικονομετρικών) και ανάπτυξη θεωρίας. Σε ένα ΓΣΠ τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται με δύο βασικές δομές, την διανυσματική δομή (vectors) και τη ψηφιδωτή δομή (raster), με τις δύο δομές να αποδίδονται ταυτόχρονα σε κοινές απεικονίσεις (Bailey 1990). Στα διανυσματικά ΓΣΠ η καταγραφή και η επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών γίνεται με τη χρήση της γεωμετρίας των διανυσμάτων που περιλαμβάνει σημεία, γραμμές και πολύγωνα, με τα οποία αντιπροσωπεύονται αντιστοίχως τα εξής γεωμετρικά στοιχεία του χώρου: τόποι, γραμμικά στοιχεία και επιφάνειες. Τα ΓΣΠ μωσαϊκού τύπου βασίζονται στην αρχή των

στοιχειωδών επιφανειών (raster, cells, pixels). Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους) ή σε περιπτώσεις που στο ΓΣΠ ενσωματώνεται μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Οι ψηφιδωτές δομές δεδομένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες σύνδεσης με τα περιγραφικά χαρακτηριστικά.

Υπάρχουν πολλές πρόσφατες μελέτες που κάνουν χρήση των συστημάτων GIS (Beelen et al. 2008; Gan et al. 2011; Puett et al. 2011; Cesaroni et al. 2012). Κατά την ανάπτυξη των μοντέλων χρήσης γης για την ατμοσφαιρική ρύπανση εξετάζεται πλήθος χωροχρονικών μεταβλητών πρόβλεψης (Hendersen et al. 2007; Moore et al. 2007). Κατά συνέπεια, βασικό αντικείμενο των ΓΣΠ αποτελεί η καταγραφή των αλληλεπιδράσεων των φαινομένων της γης και του περιβάλλοντος στο χώρο και το χρόνο, οι οποίες προκύπτουν από την αλλαγή της χωρικής κατανομής των διαφόρων φαινομένων με την πάροδο του χρόνου. Έτσι λοιπόν τα δεδομένα του δείγματος, βασιζόμενα σε χωρικές μονάδες μέτρησης, αθροίζονται στο χρόνο, προκειμένου έτσι να αποδώσουν διακριτά μεταξύ τους χωρο-χρονικά δεδομένα και να μπορέσουν με την βοήθεια των ΓΣΠ να μοντελοποιηθούν με στατιστικές και μαθηματικές συναρτήσεις, οι οποίες έχουν ως εξαρτημένη μεταβλητή το χρόνο. Προτού όμως αναπτυχθούν οι χωρικές και χρονικές μεταβλητές, χρειάζεται να γίνει εισαγωγή του ψηφιακού γεωγραφικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης. Το χαρτογραφικό υπόβαθρο πρέπει να έχει γνωστό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων ώστε να συνδεθεί σωστά με τις υπόλοιπες θεματικές βαθμίδες ενδιαφέροντος (π.χ. σταθμοί μέτρησης της ρύπανσης, οδικό δίκτυο, κάλυψη γης κ.ά). Επίσης, πρέπει να γίνει γεωκωδικοποίηση (geocoding) του σημείου μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο υπολογισμός της απόστασης από ένα σημείο μέτρησης της ρύπανσης προς ένα άλλο σημείο ενδιαφέροντος, καθώς και η δημιουργία μιας ζώνης επιρροής (buffer) γύρω από ένα σημείο μέτρησης, αναφέρονται σε βασικές διαδικασίες της χωρικής ανάλυσης. Η επιλογή της ακτίνας των ζωνών επιρροής εξαρτάται από το εμβαδόν της περιοχής που επηρεάζει η χωρική μεταβλητή. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα βασικά εργαλεία της χωρικής ανάλυσης του λογισμικού ArcGIS της εταιρείας Environmental Systems Research Institute (ESRI). Το ArcGIS είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού ΓΣΠ. Παρέχει μια πλατφόρμα για διαδικασίες χωρικής ανάλυσης, διαχείρισης δεδομένων και απεικόνισης.

Οι διαδικασίες της χωρικής ανάλυσης βασίζονται, είτε σε δεδομένα διανυσματικής δομής (π.χ. για τον υπολογισμό των αποστάσεων ή των ζωνών επιρροής), είτε σε δεδομένα ψηφιδωτής δομής (π.χ. αντιστοίχιση τιμής μιας εικόνας σε σημεία). Ανάλογα με τον τύπο των γεωχωρικών δεδομένων, υπάρχουν διαφορετικά εργαλεία των ΓΣΠ για την εξαγωγή των πιθανών χωρικών μεταβλητών

πρόβλεψης. Γενικά, τα δεδομένα ψηφιδωτής δομής έχουν περιορισμένες δυνατότητες χωρικής ανάλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο γενικότερο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος "RESPOZE" (Respiratory effects of Ozone Exposure in children). Σκοπός της προτεινόμενης μελέτης είναι βασικά η αξιολόγηση του μοντέλου χρήσης γης και η σύγκριση του με 2 άλλες μεθόδους προσδιορισμού της έκθεσης καθώς και η χρησιμότητά του στη διερεύνηση της βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας εξατομικευμένης έκθεσης σε O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών. Ως μέθοδοι σύγκρισης της έκθεσης των παιδιών σε O_3 στη διεύθυνση κατοικίας θα χρησιμοποιηθούν: α) Οι μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και β) Οι εκτιμήσεις από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού. Ως δείκτες της αναπνευστικής λειτουργίας των παιδιών θα χρησιμοποιηθούν οι δείκτες των σπιρομετρήσεων και η εμφάνιση αναπνευστικών συμπτωμάτων. Επιπλέον, για την προσαρμογή πιθανών συγχυτικών επιδράσεων χρησιμοποιήθηκαν ατομικής-κλίμακας δεδομένα που συλλέχθηκαν από ερωτηματολόγια. Η διερεύνηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων του O_3 έγινε με εφαρμογή μοντέλων μικτών επιδράσεων (mixed effects models) και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

7.1 Εισαγωγή

Η μελέτη RESPOZE υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους. Η μελέτη ήταν μια προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης (Panel Study) που στόχο είχε, μεταξύ άλλων, να διερευνηθούν οι βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες και μακροχρόνιες επιδράσεις του O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών καθώς κι ο ρόλος άλλων περιβαλλοντικών, κοινωνικο-οικονομικών, γενετικών παραγόντων και συμπεριφορών. Η μελέτη αυτή είναι η πρώτη μελέτη για την έκθεση στο O_3 σε παιδιά στην Ελλάδα και στις δύο πόλεις, Αθήνα και Θεσσαλονίκη, που έχουν το μισό περίπου πληθυσμό της χώρας. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, όμως, έγινε χρήση μόνο των δεδομένων που αφορούσαν παιδιά από την Αθήνα, αφού δεν υπήρχαν εκτιμήσεις από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα θα βοηθήσουν στην κατανόηση του προβλήματος και θα δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την προστασία της υγείας, την αποφυγή των επιβλαβών επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τη βελτίωση της καθημερινής ποιότητας ζωής μας.

7.2 Μεθοδολογία Υλοποίησης του προγράμματος και Συλλογή των δεδομένων

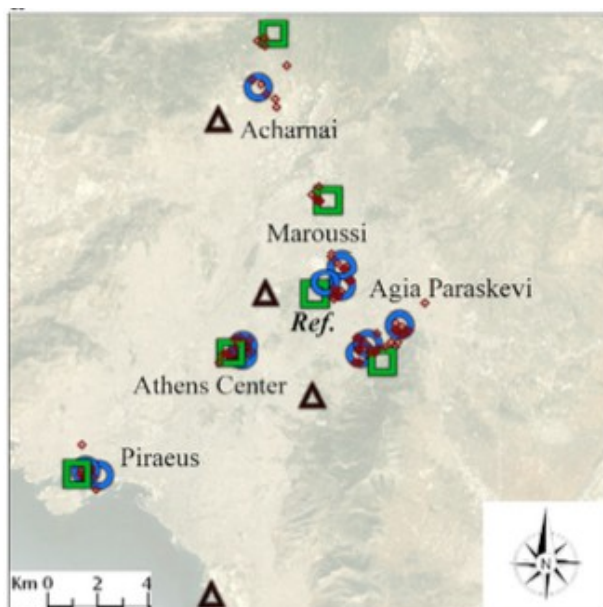
Συλλέχθηκαν δεδομένα για 97 παιδιά από την Αθήνα, ηλικίας 10-11 ετών, μαθητές της Ε' τάξης των Δημόσιων Δημοτικών σχολείων. Η συλλογή των παιδιών πραγματοποιήθηκε από 21 σχολεία

συνολικά. Αρχικά επιλέχθηκαν σχολεία που βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση από σταθερούς σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ και ταξινομήθηκαν σε περιοχές με χαμηλή και υψηλή έκθεση σε O_3 . Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της μελέτης, το 60% του δείγματος προέρχεται από περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις O_3 (συνήθως προάστια της πόλης) και 40% από περιοχές με χαμηλό O_3 (το κέντρο της πόλης, όπου το O_3 διασπάται λόγω παρουσίας πρωτογενών ρύπων).

Ακολουθήθηκε δειγματοληψία δύο σταδίων. Στο πρώτο στάδιο εξετάστηκαν τα σχολεία που βρίσκονται κοντά σε ένα σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ, προκειμένου να συγκεντρωθούν δεδομένα σχετικά με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και συγκεκριμένα για το O_3 , καθώς και για να καταστεί δυνατή η σύγκριση μεταξύ προσωπικών μετρήσεων έκθεσης σε O_3 με εκείνων από σταθερούς σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ. Στο δεύτερο στάδιο της δειγματοληψίας ομάδα ερευνητών επισκέφθηκε τα σχολεία, ενημέρωσε τα παιδιά και τους γονείς για το έργο, πήρε ενημερωμένα έντυπα συγκατάθεσης από τους γονείς που δέχτηκαν τα παιδιά τους να συμμετάσχουν και ολοκλήρωσαν το δείγμα μας που τελικά αποτελείται από 97 παιδιά στην Αθήνα. Ο αριθμός των μαθητών που επιλέχθηκαν από κάθε σχολείο κυμαίνεται από 1 έως 19 μαθητές.

Στο παρακάτω Σχήμα 7.1 παρουσιάζονται οι περιοχές της μελέτης, οι τοποθεσίες των σχολείων στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες για την περιοχή της Αθήνας, οι κατοικίες των παιδιών, καθώς κι οι γειτονικοί σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ. Τα σχολεία εντοπίζονται σε απόσταση από τον εκάστοτε γειτονικό σταθμό που κυμαίνεται από 55-2.800 m για την περιοχή της Αθήνας.

Σχήμα 7.1: Χάρτης των περιοχών μελέτης της Αθήνας, που απεικονίζουν τις κατοικίες των παιδιών (ρόμβοι), τα σχολεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες (κύκλοι), τους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ (τετράγωνα) και τους μετεωρολογικούς σταθμούς (τρίγωνα).



Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά την ακαδημαϊκή περίοδο 2013-2014. Συγκεκριμένα, κάθε παιδί παρακολούθηθηκε εντατικά για πέντε εβδομάδες, δύο το φθινόπωρο (Οκτώβριος-Δεκέμβριος), μία το χειμώνα (Φεβρουάριος) και δύο την άνοιξη και το καλοκαίρι (Απρίλιος-Ιούνιος). Κατά τη διάρκεια κάθε περιόδου παρακολούθησης συλλέχθηκαν δεδομένα έκθεσης, έκβασης καθώς και συγχυτικών παραγόντων. Πριν από την έναρξη της παρακολούθησης, εκπαιδευμένοι ερευνητές επισκέφθηκαν τις οικογένειες των παιδιών και συνέλεξαν δεδομένα με τη χρήση ενός εκτενούς ερωτηματολογίου σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο ζωής και τα χαρακτηριστικά κατοικίας, καθώς και για το ιατρικό ιστορικό κάθε παιδιού. Κατά την επίσκεψη αυτή, οι μαθητές παρέλαβαν ένα προσωπικό ροόμετρο(mini-Wright; Clement Clarke International, Edinburgh, UK) και τους δόθηκαν εκτεταμένες οδηγίες σχετικά με τη χρήση του, η οποία θα πραγματοποιούνταν τρεις φορές την ημέρα. Κατά τη διάρκεια της εντατικής παρακολούθησης, μια ομάδα τριών εκπαιδευμένων ερευνητών, συμπεριλαμβανομένου ενός παιδίατρου ή πνευμονολόγου, επισκέπτονταν τους μαθητές στο σχολικό τους περιβάλλον δύο φορές την ίδια ημέρα της εβδομάδας για δύο συνεχόμενες εβδομάδες. Κατά την πρώτη επίσκεψη δόθηκαν προσωπικοί μετρητές O_3 (Ogawa Co., Pompano Beach, FL, ΗΠΑ) καθώς και ένα ημερολόγιο καθημερινής

δραστηριότητας TAD (time-activity diaries (TADs)). Το παιδί κατέγραφε στο TAD πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία του ανά 15λεπτο σε όλη τη διάρκεια της επιτόπιας έρευνας. Επιπλέον, το TAD περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικά με συμπτώματα κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως βήχας, εκπνευστικός συριγμός, δύσπνοια, πυρετός και βουλωμένη μύτη κι ερωτήσεις σχετικά με απουσία από το σχολείο, χρήση φαρμακευτικής αγωγής (ναι ή όχι και ταυτοποίηση του φαρμάκου), τις μετρήσεις της μέγιστης εκπνεόμενης ροής (PEF), καθώς και πληροφορίες για τυχόν περιστατικά σχετικά με τη χρήση του προσωπικού μετρητή O_3 . Για τη σωστή συμπλήρωση των ερωτηματολογίων έγινε έλεγχος των TADs κατά τη συλλογή τους, από τους επιτόπιους ερευνητές του προγράμματος σε συνεργασία με τους εκάστοτε μαθητές. Στο τέλος, δημιουργήθηκε ειδική βάση δεδομένων με τα στοιχεία της έρευνας, με μέριμνα για την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Ο σχεδιασμός της μελέτης εγκρίθηκε από την Επιτροπή Δεοντολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και του Υπουργείου Παιδείας.

7.3 Μεταβλητές Έκβασης υγείας και Συγχυτικοί παράγοντες

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα κατά την διεξαγωγή της έρευνας συλλέχθηκαν δεδομένα για την αναπνευστική λειτουργία του κάθε παιδιού από τα ημερήσια ερωτηματολόγια TAD και πληροφορίες σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο ζωής και τα χαρακτηριστικά κατοικίας, καθώς και το ιατρικό ιστορικό κάθε παιδιού. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ως πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ έκθεσης σε O_3 και αναπνευστικής υγείας χρησιμοποιήθηκαν : το φύλο (ως δίτιμη μεταβλητή αγόρι έναντι κορίτσι), το ανάστημα (συνεχής σε εκατοστά), το βάρος (συνεχής σε κιλά), η περιοχή έκθεσης σε O_3 (ως δίτιμη υψηλή έναντι χαμηλής), η εκπαίδευση του πατέρα (συνεχής σε έτη), η θερμοκρασία (συνεχής σε $^{\circ}C$), η κατανάλωση εσπεριδοειδών (ως δίτιμη ναι έναντι όχι), ο μέσος ημερήσιος χρόνος σε εξωτερικούς χώρους (συνεχής σε ώρες/ημέρα), η λήψη φαρμάκων (ως δίτιμη ναι έναντι όχι) και η ημέρα της περιόδου μελέτης (συνεχής από 1-η).

7.3.1 Ροομέτρηση – Σπιρομέτρηση

Κατά την διεξαγωγή της έρευνας ο κάθε παιδί φορούσε το προσωπικό του μετρητή έκθεσης στο O_3 , ενώ παιδίατροι και πνευμονολόγοι πραγματοποίησαν σπιρομετρήσεις στο τέλος κάθε εβδομάδας έρευνας καθώς και μετρήσεις εκπνεόμενο F_{ENO} . Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες της αναπνευστικής λειτουργίας των παιδιών οι εβδομαδιαίες μετρήσεις αναπνευστικής λειτουργίας (FVC & FEV_1) και οι ημερήσιες μετρήσεις του προσωπικού ροόμετρου (PEF). Συγκεκριμένα η μέτρηση της μέγιστης εκπνεόμενης ροής (PEF) πραγματοποιούνταν τρεις φορές την ημέρα, πρωί (μετά την έγερση των παιδιών), μεσημέρι (κατά την επιστροφή τους από το σχολείο) και βράδυ (πριν την κατάκλιση). Για το PEF χρησιμοποιήθηκε μία τιμή ανά ημέρα που προέκυπτε ως ο μέσος όρος των μεγαλύτερων μετρήσεων από τρεις χρονικές περιόδους.

Σχήμα 7.2: Σπιρομέτρηση.



7.3.2 Συμπτώματα

Τα TADs περιελάμβαναν ερωτήσεις σχετικά με συγκεκριμένα συμπτώματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν τα αυτο-αναφερόμενα συμπτώματα και συγκεκριμένα ο βήχας, το συνάχι/βουλωμένη μύτη, το οποιοδήποτε σύμπτωμα (ως ποιοτικές μεταβλητές παρουσία έναντι απουσίας συμπτώματος) και τα δεδομένα για τις απουσίες από το σχολείο (απουσία ή όχι απουσία από το σχολείο τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια της μελέτης). Οι ημέρες παρακολούθησης για τον κάθε μαθητή ήταν 35, επομένως

προέκυψαν 35 τιμές εμφάνισης ή μη των παραπάνω συμπτωμάτων.

7.4 Μεταβλητές Έκθεσης προς μελέτη

7.4.1 Μετρήσεις Όζοντος από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ

Για τις περιοχές της μελέτης και για όλη τη διάρκεια της περιόδου, συλλέχθηκαν ημερήσια δεδομένα για το O_3 (μέγιστος μέσος όρος δώρου) από το σταθερό δίκτυο σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης που λειτουργούν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (www.ypeka.gr). Συγκεκριμένα, αποκτήσαμε δεδομένα από σταθερούς σταθμούς που βρίσκονταν σε απόσταση μικρότερη των 2 χιλιομέτρων από τα σχολεία που συμμετείχαν στο δείγμα. Στην Αθήνα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 6 κοντινούς σταθμούς, από τους οποίους 2 ανήκαν σε περιοχές με χαμηλή συγκέντρωση O_3 και 4 σε περιοχές υψηλής συγκέντρωσης O_3 . Για κάθε παιδί υπολογίστηκε ο εβδομαδιαίος μέσος όρος της συγκέντρωσης του O_3 χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από τον πλησιέστερο σταθμό στο σχολείο του παιδιού που αντιστοιχούσαν στο συγκεκριμένο παιδί για τις 7 ημέρες συμμετοχής στη μελέτη.

7.4.2 Εκτιμήσεις από Χωρο-χρονικό Μοντέλο Χρήσης Γης των συγκεντρώσεων Όζοντος (LUR models)

Τα χωρο-χρονικά μοντέλα χρήσης γης (spatio-temporal LUR) συνδυάζουν τις τεχνικές μοντέλων χρήσης γης, αναφορικά με τις χωρικές μεταβλητές (χωρική ανάλυση με εφαρμογή ΓΣΠ) και ταυτόχρονα λαμβάνουν υπόψη μετεωρολογικούς παράγοντες και άλλες πληροφορίες χρονικής κλίμακας. Τα χωρο-χρονικά μοντέλα χρήσης γης έχουν τη δυνατότητα να εκτιμούν την προσωπική έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, σε οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο της περιοχής μελέτης (π.χ. στη διεύθυνση κατοικίας, στη διεύθυνση εργασίας ή και σε κάποιο άλλο σημείο ειδικού ενδιαφέροντος), για οποιαδήποτε ημέρα της υπό-μελέτης χρονικής περιόδου. Στην περίπτωση μας

έγινε χρήση ενός χωρο-χρονικού μοντέλου χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 για την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών (Dimakoroulou et al., 2019). Από το μοντέλο αυτό εξήχθησαν οι δείκτες εκτίμησης της εξατομικευμένης έκθεσης των παιδιών σε όζον στη διεύθυνση κατοικίας τους. Το μοντέλο είχε την παρακάτω μορφή:

$$\log.poll_{ij} = W_{ij}^T \beta + \sum_{l=1}^q f_l(s_{l,ij}) + h(\text{geog}_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$

όπου,

- $poll_{ij}$ η μέτρηση του O_3 στο γεωγραφικό σημείο i τη συγκεκριμένη ημέρα j
- $f_l(.)$ $l=1,2,...,q$, η ομαλή συνάρτηση που αντικατοπτρίζει τη μη-γραμμική επίδραση των παραμέτρων $s_{l,ij}$ σε κάθε ρύπο $poll_{ij}$
- $geog_{ij} = (\text{γεωγραφικό πλάτος } i, \text{ γεωγραφικό μήκος } j)$
- h η διδιάστατη ομαλή συνάρτηση των γεωγραφικών συντεταγμένων (γεωγραφικό πλάτος και μήκος)
- W_{ij} το διάνυσμα των παραμέτρων που έχουν γραμμική σχέση με τον κάθε ρύπο $poll_{ij}$.

Το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 για την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών που χρησιμοποιήσαμε κάνει έγκυρες προβλέψεις, εισάγει σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα, μειώνει το σφάλμα σε σύγκριση με τις «οικολογικές» εκτιμήσεις και τις εκτιμήσεις που βασίζονται στον «πλησιέστερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια εξατομικευμένη αξιολόγηση της έκθεσης σε O_3 σε αντίστοιχες μελέτες υγείας.

7.4.3 Εκτιμήσεις από Μοντέλο Διάχυσης και Χημικού Μετασχηματισμού (Dispersion models)

Τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού και συγκεκριμένα το μη υδροστατικό

μετεωρολογικό μοντέλο MEMO (Moussiopoulos et al., 2012) και το χημικό μοντέλο μεταφοράς MARS-aero (Moussiopoulos et al., 2010) χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων O_3 στη διεύθυνση κατοικίας κάθε μαθητή. Οι εκτιμήσεις βασίστηκαν σε ένα μετεωρολογικό σύστημα ταξινόμησης που χρησιμοποιεί δέκα αντιπροσωπευτικές ημέρες για να συνθέσει ένα ετήσιο μέσο όρο συγκέντρωσης (Sfetsos et al., 2005). Οι προσομοιώσεις μοντέλων διεξήχθησαν σε διαμορφώσεις πλέγματος με εκπομπές υψηλής ανάλυσης που βασίστηκαν σε τοπικές απογραφές εκπομπών για το 2008, οι οποίες καταρτίστηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία του οδηγού απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων του EMEP / EEA (2013), ενώ για την κυκλοφορία ιδιαίτερα η COPERT4 (1994) μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε. Για τους μαθητές που είχαν μετακομίσει κατά τη διάρκεια της ζωής τους, υπολογίστηκε ένας σταθμισμένος μέσος όρος των εκθέσεων σε κάθε κατοικία.

7.5 Στατιστική Ανάλυση

Σκοπός της παρούσας εργασίας, όπως προαναφέρθηκε είναι η αξιολόγηση του μοντέλου χρήσης γης και η σύγκρισή του με 2 άλλες μεθόδους προσδιορισμού της έκθεσης καθώς και η χρησιμότητά του στη διερεύνηση της βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας εξατομικευμένης έκθεσης σε O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών. Η αποτίμηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων του O_3 βασίστηκε σε μοντέλα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (mixed effects models) με τη χρήση σταθεράς τυχαίων επιδράσεων ανά παιδί. Η διερεύνηση των μακροχρόνιων επιδράσεων έγινε με την χρήση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression). Σε κάθε περίπτωση ανάλογα με την κλίμακα μέτρησης των μεταβλητών έκβασης, αναπτύχθηκαν τα κατάλληλα στατιστικά μοντέλα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, όπως περιγράφονται παρακάτω.

Αρχικά έγιναν πίνακες περιγραφικής ανάλυσης όλων των δεδομένων. Στην περίπτωση των ποιοτικών μεταβλητών υπολογίστηκαν οι συχνότητες και τα ποσοστά (%) για κάθε κατηγορία των μεταβλητών. Από την άλλη, στην περίπτωση των συνεχών μεταβλητών υπολογίστηκαν αντιπροσωπευτικά μέτρα θέσης και διασποράς (μέση τιμή και τυπική απόκλιση).

Όσον αφορά την αποτίμηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων του O_3 , ως εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ο δείκτης PEF, οι μεταβλητές των τριών συμπτωμάτων (η εμφάνιση του βήχα, της ρινικής συμφόρισης και του οποιουδήποτε συμπτώματος) και τέλος η μεταβλητή απουσία από

το σχολείο λόγω καθημερινών δεδομένων από τα TAD. Για την αποτίμηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων του O_3 , δεν χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες αναπνευστικής λειτουργίας FVC και FEV_1 επειδή δεν υπήρχαν ημερήσιες μετρήσεις των συγκεκριμένων δεικτών για το κάθε παιδί. Ως έκθεση χρησιμοποιήσαμε τις μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ καθώς και από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 . Γι αυτό το λόγο, για κάθε μεταβλητή έκβασης παρουσιάστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα.

Στα μοντέλα συμπεριλήφθηκε μία μεταβλητή που περιέγραφε το σχεδιασμό, δηλαδή μία δίτιμη μεταβλητή που αφορούσε τον χαρακτηρισμό της περιοχής έκθεσης σε O_3 της διεύθυνσης κατοικίας του μαθητή ως υψηλή έναντι χαμηλής. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μεταβλητή θεωρήθηκε και ως ένας κοινωνικο-οικονομικός δείκτης, μιας και οι περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις O_3 ανήκουν στα προάστια των πόλεων και αποτελούν περιοχές κατοίκων υψηλότερου εισοδήματος.

Οι μεταβλητές που προστέθηκαν στα τελικά μοντέλα ως πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες, χρησιμοποιήθηκαν και σε προηγούμενη μελέτη του προγράμματος RESPOZE η οποία διερεύνησε τις ημερήσιες επιδράσεις των προσωπικών μετρήσεων έκθεσης O_3 των παιδιών στην αναπνευστική λειτουργία τους (Samoli et al., 2016). Οι συγχυτικοί παράγοντες λοιπόν που συμπεριλήφθησαν στα μοντέλα, είναι το φύλο (κορίτσι/αγόρι), το ανάστημα (εκατοστά) και το βάρος (κιλά), η εκπαίδευση του πατέρα (έτη), η θερμοκρασία (μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία 24ώρου σε $^{\circ}C$), η κατανάλωση εσπεριδοειδών (ναι/όχι), ο μέσος ημερήσιος χρόνος που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους (ώρες/ημέρα), η λήψη φαρμάκων (ναι/όχι) και η ημέρα της περιόδου μελέτης. Το ανάστημα και το βάρος των μαθητών το συμπεριλάβαμε αποκλειστικά στα μοντέλα που αφορούν το PEF και όχι τις υπόλοιπες εκβάσεις. Επιπλέον των προαναφερθέντων, σε όλα τα μοντέλα προστέθηκε και η εβδομάδα της μελέτης ως συνεχής μεταβλητή. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο πρώτον για τη διόρθωση ενδεχόμενης χρονικής τάσης (time trend) στην εξαρτημένη μεταβλητή. Φάνηκε δηλαδή τα παιδιά να έχουν μια συνεχή αύξηση στη μέτρηση του δείκτη PEF κατά τη διάρκεια της μελέτης, πιθανώς λόγω καλύτερης χρήσης του μετρητή (learning effect) ή λόγω ανάπτυξης του αναπνευστικού τους συστήματος κατά την περίοδο μελέτης. Η ίδια μεταβλητή προστέθηκε και στα μοντέλα για τις εκβάσεις των συμπτωμάτων. Λόγω της νεαρής ηλικίας των μαθητών η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου ίσως δεν είχε την ίδια ποιότητα καθόλη την διάρκεια της μελέτης. Τέλος, προστέθηκαν κι οι μετρήσεις των PM_{10} από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης προκειμένου να διερευνήσουμε την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στον έλεγχο για αιωρούμενα σωματίδια.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό προέκυψαν επαναλαμβανόμενες ατομικές μετρήσεις ανά παιδί. Από τη στιγμή που αφορούν το ίδιο άτομο (ίδια μικροπεριβάλλοντα, ίδιες δραστηριότητες) παρουσιάζονται συσχετίσεις μεταξύ των μετρήσεων και έτσι η διερεύνηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων του O_3 έγινε με εφαρμογή μοντέλων μικτών επιδράσεων.

Ειδικότερα, για την ανάλυση του δείκτη PEF, κάναμε χρήση του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης μικτών επιδράσεων αφού οι μετρήσεις ήταν συνεχείς μεταβλητές που κατανέμονταν κανονικά. Η μορφή του μοντέλου, μετά την προσθήκη όλων των μεταβλητών, είναι η εξής:

Ως μεταβλητή έκθεσης το O_3 (είτε από εκτιμήσεις σταθμών μέτρησης ΥΠΕΚΑ, είτε μέσω *LUR*):

$$\begin{aligned} \text{PEF} = & (\beta_0 + b_{i0}) + \beta_1 \times \text{Φύλο} + \beta_2 \times \text{Περ. Έκθεσης } O_3 + \beta_3 \times \text{Χρόνια Εκπαίδευσης Πατέρα} + \beta_4 \times \\ & \text{Κατ. Εσπεριδοειδών} + \beta_5 \times \text{Χρόνος Παραμονής σε εξ. χώρους} + \beta_6 \times \text{Θερμοκρασία} + (\beta_7 + b_{i7}) \\ & \times \text{Ημέρες της μελέτης} + \beta_8 \times O_3 + \beta_9 \times \text{Ύψος} + \beta_{10} \times \text{Βάρος} + \beta_{11} \times \text{Χρήση φαρμάκων} + \beta_{12} \times \\ & \text{PM}_{10} \end{aligned}$$

,όπου

- β_i ο συντελεστής μερικής εξάρτησης για την i μεταβλητή
- b_{i0} το *random intercept* και
- b_{i7} η τυχαία κλίση (*random slope*)

Για την ανάλυση των συμπτωμάτων και της απουσίας από το σχολείο, χρησιμοποιήθηκαν δίτιμες μεταβλητές, που αντιστοιχούσαν στην εμφάνιση ή μη συμπτώματος τουλάχιστον μια φορά στο χρόνο παρακολούθησης. Αυτός είναι ο λόγος που επιλέχθηκε η πολλαπλή λογαριθμιστική παλινδρόμηση για την ανάλυση των συμπτωμάτων. Η μορφή του μοντέλου, έπειτα από την προσθήκη όλων των μεταβλητών, είναι η εξής:

Ως μεταβλητή έκθεσης το O_3 (είτε από εκτιμήσεις σταθμών μέτρησης ΥΠΕΚΑ, είτε μέσω LUR):

$$\begin{aligned} \text{logit}(\text{Σύμπτωμα ή Απουσία από το σχολείο}) = & (\beta_0 + b_{i0}) + \beta_1 \times \text{Φύλο} + \beta_2 \times \text{Περ. Έκθεσης } O_3 + \beta_3 \\ & \times \text{Χρόνια Εκπαίδευσης Πατέρα} + \beta_4 \times \text{Κατ. Εσπεριδοειδών} + \beta_5 \times \text{Χρόνος Παραμονής σε} \\ & \text{εξ. χώρους} + \beta_6 \times \text{Θερμοκρασία} + (\beta_7 + b_{i7}) \times \text{Ημέρες της μελέτης} + \beta_8 \times O_3 + \beta_9 \times \text{Χρήση} \\ & \text{φαρμάκων} + \beta_{10} \times \text{PM}_{10} \end{aligned}$$

,όπου

- β_i ο συντελεστής μερικής εξάρτησης για την i μεταβλητή
- b_{i0} το random intercept και
- b_{i7} η τυχαία κλίση (random slope)

Από την άλλη, όσον αφορά την αποτίμηση των μακροχρόνιων επιδράσεων του O_3 , ως εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ο δείκτης PEF (σπιρομέτρηση, μέσος όρος 5 εβδομάδων) και οι δείκτες από τις σπιρομετρήσεις, συγκεκριμένα των FVC και FEV₁, οι μεταβλητές των τριών συμπτωμάτων (η εμφάνιση του βήχα, της ρινικής συμφόρισης και του οποιουδήποτε συμπτώματος) και τέλος η μεταβλητή απουσία από το σχολείο. Όσον αφορά την έκθεση χρησιμοποιήσαμε, όπως και στην περίπτωση της αποτίμησης των βραχυπρόθεσμων επιδράσεων, τις μετρήσεις O_3 πρώτον από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, ύστερα από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 και τέλος από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού. Γι αυτό το λόγο, για κάθε μεταβλητή έκβασης παρουσιάστηκαν τρία διαφορετικά μοντέλα.

Και στα συγκεκριμένα μοντέλα συμπεριλάβαμε τη δίτιμη μεταβλητή που αφορούσε τον χαρακτηρισμό της περιοχής έκθεσης σε O_3 της διεύθυνσης κατοικίας του μαθητή ως υψηλή έναντι χαμηλής. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μεταβλητή θεωρήθηκε και ως ένας κοινωνικο-οικονομικός δείκτης, μιας και οι περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις O_3 ανήκουν στα προάστια των πόλεων και αποτελούν περιοχές κατοίκων υψηλότερου εισοδήματος.

Έπειτα οι μεταβλητές που προστέθηκαν στα τελικά μοντέλα ως πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες ήταν, το φύλο (κορίτσι/αγόρι), το ανάστημα (εκατοστά) και το βάρος (κιλά), η εκπαίδευση του πατέρα (έτη), η κατανάλωση εσπεριδοειδών (ναι/όχι) και ο μέσος ημερήσιος χρόνος που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους (ώρες/ημέρα). Τέλος, προστέθηκαν κι οι μετρήσεις των PM_{10} από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ ή οι εκτιμήσεις των PM_{10} από το μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ανάλογα με την μεταβλητή έκθεσης, προκειμένου να διερευνήσουμε την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στον έλεγχο για αιωρούμενα σωματίδια. Η μορφή των μοντέλων, μετά την προσθήκη όλων των μεταβλητών, είναι η εξής:

Ως μεταβλητή έκθεσης το O_3 (είτε από εκτιμήσεις σταθμών μέτρησης ΥΠΕΚΑ, είτε μέσω LUR, είτε Dispersion models):

$$\begin{aligned} \text{FVC ή FEV1 ή PEF} = & \beta_0 + \beta_1 \times \text{Φύλο} + \beta_2 \times \text{Περ. Έκθεσης } O_3 + \beta_3 \times \text{Χρόνια Εκπαίδευσης} \\ & \text{Πατέρα} + \beta_4 \times \text{Κατ. Εσπεριδοειδών} + \beta_5 \times \text{Χρόνος Παραμονής σε εξ. χώρους} + \beta_6 \times O_3 + \beta_7 \times \\ & \text{Ύψος} + \beta_8 \times \text{Βάρος} + \beta_9 \times PM_{10} \end{aligned}$$

Για την ανάλυση των συμπτωμάτων και της απουσίας από το σχολείο, χρησιμοποιήθηκαν δίτιμες μεταβλητές, που αντιστοιχούσαν στην εμφάνιση ή μη συμπτώματος τουλάχιστον μια φορά στο χρόνο παρακολούθησης. Αυτός είναι ο λόγος που επιλέχθηκε η πολλαπλή λογαριθμική παλινδρόμηση για την ανάλυση των συμπτωμάτων. Η μορφή του μοντέλου, έπειτα από την προσθήκη όλων των μεταβλητών, είναι η εξής:

Ως μεταβλητή έκθεσης το O_3 (είτε από εκτιμήσεις σταθμών μέτρησης ΥΠΕΚΑ, είτε μέσω LUR, είτε Dispersion models):

$$\begin{aligned} \text{logit(Σύμπτωμα ή Απουσία από το σχολείο)} = & \beta_0 + \beta_1 \times \text{Φύλο} + \beta_2 \times \text{Περ. Έκθεσης } O_3 + \beta_3 \times \\ & \text{Χρόνια Εκπαίδευσης Πατέρα} + \beta_4 \times \text{Κατ. Εσπεριδοειδών} + \beta_5 \times \text{Χρόνος Παραμονής σε} \\ & \text{εξ. χώρους} + \beta_6 \times O_3 + \beta_7 \times \text{Ύψος} + \beta_8 \times \text{Βάρος} + \beta_9 \times PM_{10} \end{aligned}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1 Αποτελέσματα Περιγραφικής ανάλυσης

Στον Πίνακα 8.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές των δεδομένων για επιλεγμένες μεταβλητές του γενικού ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε πριν την έναρξη της επιτόπιας έρευνας και αφορούν στοιχεία των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών, κοινωνικο/οικονομικών, διατροφικών παραγόντων και εκβάσεων υγείας των 97 παιδιών που παρακολούθηθηκαν για 35 ημέρες το καθένα στην πόλη της Αθήνας, ανά περιοχή υψηλής/χαμηλής συγκέντρωσης O_3 . Για τις μεταβλητές έκβασης, τα παιδιά που κατοικούν σε περιοχές χαμηλής έκθεσης σε O_3 είχαν υψηλότερες τιμές PEF και ταυτόχρονα ανέφεραν ότι εμφάνισαν περισσότερα συμπτώματα σε σχέση με τα παιδιά που μένουν σε περιοχές υψηλής έκθεσης.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.1.1, φαίνεται τα παιδιά που διαμένουν σε περιοχές υψηλής και χαμηλής αντίστοιχα έκθεσης σε O_3 στην Αθήνα ήταν παρόμοια σύμφωνα με ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τους. Τα συνηθέστερα αναφερθέντα συμπτώματα ήταν ο βήχας και η βουλωμένη μύτη, ενώ υπήρχε μικρή διαφορά μεταξύ των περιοχών στο ποσοστό των παιδιών που απουσίαζαν από το σχολείο ή που χρησιμοποίησαν φάρμακα (κυρίως παρακεταμόλη, αντιβιοτικά, ρινικά σπρέι και αντιϊσταμινικά) κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης.

Πίνακας 8.1.1. Περιγραφικά δεδομένα για επιλεγμένα χαρακτηριστικά και δείκτες υγείας μεταβλητές 97 παιδιών στην πόλη της Αθήνας, ανά περιοχή υψηλής/χαμηλής συγκέντρωσης όζοντος.

Δημογραφικά χαρακτηριστικά	Αθήνα	
	Περιοχή συγκέντρωσης O ₃	
	Χαμηλή (n = 37)	Υψηλή (n = 60)
Αγόρια (n, %)	22 (59.5)	28 (46.7)
Ηλικία (έτη; μέση τιμή (ΣΑ*))	10.3 (0.3)	10.3 (0.3)
Ανάστημα (cm; μέση τιμή (ΣΑ))	147.2 (6.7)	143.5 (7.7)
Βάρος (kg; μέση τιμή (ΣΑ))	39.5(7.7)	38.1(7.8)
Δείκτης μάζας σώματος (kg/m ² ; μέση τιμή (ΣΑ))	18.2 (2.8)	18.4 (3.5)
Εκπαίδευση πατέρα (έτη; μέση τιμή (ΣΑ))	14.0 (2.8)	15.2 (3.7)
Άσθμα (n, %)	2 (5.4)	5 (8.3)
Φαρμακευτική αγωγή (n (%))	14 (37.8)	23 (38.3)
Δείκτης Υγείας		
PEF (L/min, μέση τιμή (ΣΑ))	293.5 (53.9)	287.8 (45.3)
Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος (n (%))	29 (78.4)	40 (66.7)
Εμφάνιση βήχα (n (%))	21 (56.8)	30 (50.0)
Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης (n (%))	24 (64.9)	32 (53.3)
Απουσία από το σχολείο (n (%))	18 (48.7)	31 (51.7)

*Σταθερή απόκλιση

Ο Πίνακας 8.1.2 παρουσιάζει τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των ημερήσιων συγκεντρώσεων O₃ που παρέχονται είτε από τους σταθερούς σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ, είτε εκτιμούνται από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης και χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση των βραχυχρόνιων επιδράσεων. Επίσης φαίνονται κι οι συγκεντρώσεις PM₁₀ που μετρήθηκαν από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ ενώ παρουσιάζεται κι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως αναμενόταν, το κέντρο των Αθηνών (περιοχές με χαμηλές συγκεντρώσεις O₃) είχαν πολύ

χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με τα προάστια της πόλης και λόγω της έντονης οξειδωτικής φύσης του O_3 οι προσωπικές μετρήσεις ήταν πολύ χαμηλότερες σε σύγκριση με εκείνες που έγιναν είτε από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ είτε σε υπαίθριους εξωσχολικούς χώρους.

Πίνακας 8.1.2. Μέση τιμή (και τυπική απόκλιση) της ημερήσιας έκθεσης σε συγκεντρώσεις O_3 κατά τις 35 ημέρες μελέτης για κάθε παιδί από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ ή το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης, των PM_{10} από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ και των επιπέδων θερμοκρασίας ανά περιοχή υψηλής/χαμηλής συγκέντρωσης O_3 στην Αθήνα.

Δείκτης Έκθεσης	Αθήνα	
	Περιοχή συγκέντρωσης O_3	
	Χαμηλή (n = 37)	Υψηλή (n = 60)
Μετρήσεις O_3 από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ ($\mu g/m^3$; μέση τιμή, ΣΑ*)	35.3 (21.2)	81.7 (20.5)
Εξατομικευμένη εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu g/m^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	51.5 (24.4)	111.5 (32.3)
Άλλα		
PM_{10} από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ ($\mu g/m^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	28.9 (9.6)	23.1 (9.4)
Θερμοκρασία ($^{\circ}C$; μέση τιμή, ΣΑ)	17.6 (2.8)	17.6 (2.7)

*Σταθερή απόκλιση

Στον παρακάτω Πίνακα 8.1.3 παρουσιάζονται τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των μακροχρόνιων συγκεντρώσεων O_3 που παρέχονται είτε από τους σταθερούς σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ, είτε εκτιμούνται από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης, είτε από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού και χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση των μακροχρόνιων επιδράσεων. Τέλος, τα PM_{10} μετρήθηκαν από τους σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ. Όπως αναμενόταν, το κέντρο των Αθηνών (περιοχές με χαμηλές συγκεντρώσεις O_3) είχαν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με τα προάστια της πόλης. Επίσης, σημαντικό είναι να αναφερθούν και οι αποκλίσεις των μακροχρόνιων

συγκεντρώσεων O_3 μεταξύ των μετρήσεων του ΥΠΕΚΑ, των εκτιμήσεων από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης και των εκτιμήσεων από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ανά περιοχή έκθεσης.

Πίνακας 8.1.3. Μέση τιμή (και τυπική απόκλιση) της μακροχρόνιας έκθεσης σε συγκεντρώσεις O_3 που παρέχονται είτε από σταθερούς σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, είτε υπολογίζονται από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης, είτε από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού και των PM_{10} από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ και από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού κατά τα έτη 2013-2014 στην Αθήνα.

Δείκτης Έκθεσης	Αθήνα	
	Περιοχή συγκέντρωσης O_3	
	Χαμηλή (n = 37)	Υψηλή (n = 60)
Εκτίμηση O_3 από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ 8ώρου κατά τα έτη 2013-2014($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ*)	25.1 (4.8)	67.9 (7.8)
Εξατομικευμένη εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	56.6 (17.7)	116.7 (27.7)
Εξατομικευμένη εκτίμηση O_3 από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	41.2 (3.5)	63.4 (11.3)
Άλλα		
PM_{10} από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	33.2 (0.7)	27.5 (5.0)
PM_{10} από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	91.7 (6.7)	48.6 (18.1)

*Σταθερή απόκλιση

8.2 Αποτελέσματα εφαρμογής Πολυπαραγοντικής Ανάλυσης

Η διερεύνηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων του O_3 έγινε με εφαρμογή μοντέλων μικτών επιδράσεων (mixed effects models) και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

(multiple linear regression), αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα, επομένως, ταξινομήθηκαν σε ενότητες σύμφωνα με την κατηγορία επιδράσεων καθώς και υποενότητες σύμφωνα με τον δείκτη έκβασης. Στην περίπτωση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων με και χωρίς τον έλεγχο για PM_{10} .

8.3 Επιδράσεις από βραχυχρόνια έκθεση

8.3.1 PEF

Στους Πίνακες 8.3.1.1 & 8.3.1.2 παρουσιάζεται η ημερήσια μεταβολή του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για $10 \mu g/m^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως εκτιμήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ ή το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Γενικά, τα αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους, δηλαδή θα λέγαμε ότι ανάλογα με τον δείκτη έκθεσης που εμείς κάθε φορά χρησιμοποιούμε, τα αποτελέσματα συμπίπτουν. Από τη στιγμή, όμως, που δεν έχουμε κάποιο στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, καταλήγουμε ότι δεν βρέθηκε σχέση μεταξύ των ημερήσιων τιμών PEF με τις συγκεντρώσεις O_3 . Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά και δεν παρατηρείται, για άλλη μία φορά σχέση μεταξύ έκθεσης σε O_3 και PEF ύστερα κι από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στα αντίστοιχα μοντέλα.

Πίνακας 8.3.1.1. Αποτελέσματα μοντέλου μικτών επιδράσεων, για την εξάρτηση της ημερήσιας τιμής του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	0.46 (-0.20, 1.11)	0.17
+PM ₁₀	0.44 (-0.22, 1.10)	0.19

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

Πίνακας 8.3.1.2. Αποτελέσματα μοντέλου μικτών επιδράσεων, για την εξάρτηση της ημερήσιας τιμής του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	0.13 (-0.57, 0.83)	0.72
+PM ₁₀	0.15 (-0.56, 0.86)	0.68

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

8.3.2 Παρουσία Συμπτωμάτων (Ρινική Συμφόρηση – Βήχας - Οποιοδήποτε Σύμπτωμα)

Στους Πίνακες 8.3.2.1 & 8.3.2.2 παρουσιάζονται οι ΣΛ για ημερήσια μεταβολή οποιουδήποτε συμπτώματος, ρινικής συμφόρησης και βήχα για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως εκτιμήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ ή το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις διάφορων παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 8.3.2.1 παρατηρείται μια επιβαρυντική τάση για την παρουσία βήχα ή οποιουδήποτε συμπτώματος συνολικά όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 όπως αυτές εκτιμώνται από το μοντέλο χρήσης γης. Πιο αναλυτικά, ο ΣΛ για οποιοδήποτε σύμπτωμα ήταν 1.06 (95% ΔΕ: 0.98, 1.14) και για τον βήχα 1.08 (95% ΔΕ: 0.99, 1.18). Οι σχέσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 5%, είναι όμως ενδεικτικές. Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά ύστερα από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στο μοντέλο.

Όσον αφορά τον Πίνακα 8.3.2.2 παρατηρείται μια επιβαρυντική τάση για κάθε μία από τις τρεις μεταβλητές συμπτωμάτων όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 με βάση τις μετρήσεις του κοντινότερου σταθμού μέτρησης του ΥΠΕΚΑ. Πιο αναλυτικά, ο ΣΛ για οποιοδήποτε σύμπτωμα ήταν 1.09 (95% ΔΕ: 1.01, 1.18), ενώ για τη ρινική συμφόρηση 1.14 (95% ΔΕ: 1.03, 1.22) και για τον βήχα 1.11 (95% ΔΕ: 1.01, 1.22). Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά ύστερα από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στο μοντέλο.

Σημειώνεται επομένως ότι όταν χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ τεκμηριώνονται μεγαλύτερες επιδράσεις και περισσότερη στατιστική σημαντικότητα.

Πίνακας 8.3.2.1. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της παρουσίας συμπτωμάτων συσχετιζόμενα με 10 μg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃.^a

Εκτίμηση O ₃ από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης (μg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
<i>Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.06 (0.98, 1.14)	0.117
+PM ₁₀	1.06 (0.98, 1.14)	0.119
<i>Εμφάνιση βήχα</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.08 (0.99, 1.18)	0.096
+PM ₁₀	1.07 (0.99, 1.18)	0.097
<i>Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	0.99 (0.91, 1.08)	0.903
+PM ₁₀	0.99 (0.89, 1.26)	0.507

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

Πίνακας 8.3.2.2. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της παρουσίας συμπτωμάτων συσχετιζόμενα με 10 μg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃.^a

	Μετρήσεις O ₃ από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ (μg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)	
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
<i>Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.09 (1.01, 1.18)	0.02
+PM ₁₀	1.09 (1.01, 1.18)	0.02
<i>Εμφάνιση βήχα</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.11 (1.01, 1.22)	0.038
+PM ₁₀	1.11 (0.01, 1.22)	0.037
<i>Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης</i>		
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.14 (1.03, 1.22)	0.01
+PM ₁₀	1.12 (1.03, 1.22)	0.01

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

8.3.3 Απουσία από το Σχολείο

Στους Πίνακες 8.3.3.1 & 8.3.3.2 παρουσιάζονται οι ΣΛ για την απουσία από το σχολείο για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως εκτιμήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ ή το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις διάφορων παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 8.3.3.1 παρατηρείται μια αύξηση των απουσιών από το σχολείο όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 όπως αυτές εκτιμώνται από το μοντέλο χρήσης γης.

Αντίθετα, όμως, όταν χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις O_3 από τους κοντινότερους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ (βλέπε Πίνακα 8.3.3.2), παρατηρείται μια μείωση στην πιθανότητα απουσίας από το σχολείο όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 .

Πίνακας 8.3.3.1. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της απουσίας από το σχολείο συσχετιζόμενα με 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 .^a

	Εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	1.14 (1.03, 1.26)	0.012
+ PM_{10}	1.15 (1.04, 1.28)	0.008

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

Πίνακας 8.3.3.2. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της απουσίας από το σχολείο συσχετιζόμενα με 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 .^a

	Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)	
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 96	
Βασικό μοντέλο	0.84 (0.73, 0.96)	0.015
+PM ₁₀	0.84 (0.73, 0.96)	0.015

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, τη θερμοκρασία, την κατανάλωση εσπεριδοειδών, το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους, τη φαρμακευτική αγωγή και την ημέρα της περιόδου μελέτης

8.4 Μακροχρόνιες Επιδράσεις

8.4.1 FVC

Στους Πίνακες 8.4.1.1 - 8.4.1.3 παρουσιάζεται ο β συντελεστής μερικής εξάρτησης της FVC για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως μετρήθηκαν από από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και εκτιμήθηκαν από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ή τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM₁₀.

Σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες καταλήγουμε σε αντιφατικά αποτελέσματα και ταυτόχρονα στατιστικά μη σημαντικά, συνεπώς δεν τεκμηριώνεται σχέση μεταξύ έκθεσης σε O_3 και FVC.

Πιο αναλυτικά, οι τιμές του δείκτη FVC φαίνεται να παρουσιάζουν μείωση, δηλαδή φαίνεται να

μεταβάλλονται προς την αναμενόμενη κατεύθυνση στην περίπτωση που κάναμε χρήση των εκτιμήσεων O_3 από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης και τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ενώ οι τιμές του δείκτη FVC μεταβάλλονται προς την ανάποδη κατεύθυνση στην περίπτωση που κάναμε χρήση των μετρήσεων O_3 από από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ.

Πίνακας 8.4.1.1. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της ταχέως εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	-0.004 (-0.016, 0.008)	0.54
+PM ₁₀	-0.002 (-0.022, 0.018)	0.85

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.1.2. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της ταχέως εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	0.006 (-0.016, 0.029)	0.58
+PM ₁₀	0.021 (-0.010, 0.052)	0.18

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.1.3. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της ταχέως εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Εκτίμηση O_3 από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	-0.003 (-0.038, 0.031)	0.86
+PM ₁₀	-0.009 (-0.079, 0.060)	0.78

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

8.4.2 FEV₁

Στους Πίνακες 8.4.2.1 - 8.4.2.3 παρουσιάζεται ο β συντελεστής μερικής εξάρτησης του FEV₁ για 10 µg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃, όπως μετρήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και εκτιμήθηκαν από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ή τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των λοιπών παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM₁₀.

Σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες καταλήγουμε σε αντιφατικά αποτελέσματα και ταυτόχρονα στατιστικά μη σημαντικά, συνεπώς δεν τεκμηριώνεται σχέση μεταξύ έκθεσης σε O₃ και FEV₁.

Πίνακας 8.4.2.1. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV₁) για 10 µg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃, όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Εκτίμηση O ₃ από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης (µg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	-0.004 (-0.015, 0.008)	0.55
+PM ₁₀	0.002 (-0.017, 0.020)	0.86

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.2.2. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV_1) για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p -value).

Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	0.002 (-0.019, 0.024)	0.83
+PM ₁₀	0.017 (-0.013, 0.047)	0.26

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.2.3. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV_1) για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p -value).

Εκτίμηση O_3 από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	-0.006 (-0.039, 0.027)	0.72
+PM ₁₀	0.013 (-0.052, 0.080)	0.68

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

8.4.3 PEF

Στους Πίνακες 8.4.3.1 - 8.4.3.3 παρουσιάζεται ο β συντελεστής μερικής εξάρτησης της μέσης τιμής του δείκτη PEF για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως μετρήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και εκτιμήθηκαν από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ή τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των λοιπών παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Γενικά, τα αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους, δηλαδή θα λέγαμε ότι ανάλογα με τον δείκτη έκθεσης που εμείς κάθε φορά χρησιμοποιούμε, τα αποτελέσματα συμπίπτουν. Από τη στιγμή, όμως, που δεν έχουμε κάποιο στατιστικό σημαντικό αποτέλεσμα, καταλήγουμε ότι δεν βρέθηκε σχέση μεταξύ δείκτη PEF με τις συγκεντρώσεις O_3 . Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά και δεν παρατηρείται, για άλλη μία φορά σχέση μεταξύ έκθεσης σε O_3 και PEF ύστερα και από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στα αντίστοιχα μοντέλα.

Πίνακας 8.4.3.1. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της μέσης τιμής του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και p-value).

Εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	0.018 (-0.019, 0.56)	0.34
+ PM_{10}	0.015 (-0.045, 0.076)	0.61

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.3.2. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της μέσης τιμής του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και *p-value*).

Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	0.042 (-0.028, 0.011)	0.24
+PM ₁₀	0.040 (-0.056, 0.014)	0.40

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.3.3. Αποτελέσματα μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την εξάρτηση της μέσης τιμής του δείκτη εκπνευστικής ροής (PEF) για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως προσδιορίζεται για την Αθήνα, ελέγχοντας για τις συγχυτικές επιδράσεις διαφόρων μεταβλητών ^a (και αντίστοιχο 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης και *p-value*).

Εκτίμηση O_3 από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	β συντελεστής μερικής εξάρτησης (95% ΔΕ*)	P-value
n = 92		
Βασικό μοντέλο	0.020 (-0.086, 0.013)	0.38
+PM ₁₀	-0.064 (-0.275, 0.147)	0.55

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

8.4.4 Παρουσία Συμπτωμάτων (Ρινική Συμφόρηση – Βήχας - Οποιοδήποτε Σύμπτωμα)

Στους Πίνακες 8.4.4.1 - 8.4.4.3 παρουσιάζονται οι ΣΛ για τη μεταβολή οποιουδήποτε συμπτώματος, ρινικής συμφόρησης και βήχα για $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως αυτά μετρήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και εκτιμήθηκαν από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ή τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 8.4.4.1 παρατηρείται μια επιβαρυντική τάση για την παρουσία βήχα ή οποιουδήποτε συμπτώματος συνολικά όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 όπως αυτές εκτιμώνται από το μοντέλο χρήσης γης. Πιο αναλυτικά, ο ΣΛ για οποιουδήποτε σύμπτωμα ήταν 1.14 (95% ΔΕ: 0.99, 1.30) και για τον βήχα 1.13 (95% ΔΕ: 1.00, 1.27). Η πρώτη σχέση δεν είναι στατιστικά σημαντική στο επίπεδο 5%, είναι όμως ενδεικτικές. Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σε όλες τις περιπτώσεις σημαντικά ύστερα από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στο μοντέλο.

Ο Πίνακας 8.4.4.2, τώρα, αφορά τις συγκεντρώσεις O_3 από τους κοντινότερους σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ. Τα αποτελέσματα έρχονται σε συγκρουση με τα αποτελέσματα που πήραμε όταν κάναμε χρήση των εκτιμήσεων O_3 από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης συγκεκριμένα ύστερα από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} . Επιπλέον, στην περίπτωση της εμφάνισης οποιουδήποτε συμπτώματος παρατηρείται μια μείωση στην πιθανότητα εμφάνισής τους όταν παρουσιάζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 .

Τέλος, Ο Πίνακας 8.4.4.3 αφορά τις εκτιμήσεις O_3 από τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού. Τα αποτελέσματα εδώ δεν είναι στατιστικά σημαντικά οπότε βάση του συγκεκριμένου πίνακα δεν μπορούμε να τεκμηριώσουμε σχέση μεταξύ παρουσίας συμπτωμάτων και έκθεσης σε O_3 .

Πίνακας 8.4.4.1. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της παρουσίας συμπτωμάτων συσχετιζόμενα με 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 .^a

Εκτίμηση O_3 από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
<i>Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.14 (0.99, 1.30)	0.059
+PM ₁₀	1.06 (0.91, 1.11)	0.351
<i>Εμφάνιση βήχα</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.13 (1.00, 1.27)	0.049
+PM ₁₀	1.03 (0.85, 1.25)	0.743
<i>Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.08 (0.70, 1.22)	0.170
+PM ₁₀	0.87 (0.71, 1.07)	0.177

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.4.2. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της παρουσίας συμπτωμάτων συσχετιζόμενα με 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 .^a

Μετρήσεις O_3 από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
<i>Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.08 (0.86, 1.36)	0.507
+PM ₁₀	0.70 (0.51, 0.97)	0.035
<i>Εμφάνιση βήχα</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.09 (0.88, 1.34)	0.441
+PM ₁₀	0.85 (0.63, 1.14)	0.270
<i>Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.10 (0.89, 1.36)	0.392
+PM ₁₀	0.79 (0.59, 1.07)	0.127

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.4.3. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της παρουσίας συμπτωμάτων συσχετιζόμενα με 10 μg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃.^a

Εκτίμηση O ₃ από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού (μg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
<i>Εμφάνιση οποιουδήποτε συμπτώματος</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.16 (0.81, 1.66)	0.81
+PM ₁₀	0.77 (0.39, 1.52)	0.458
<i>Εμφάνιση βήχα</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.26 (0.90, 1.75)	0.174
+PM ₁₀	0.95 (0.50, 1.80)	0.875
<i>Εμφάνιση ρινικής συμφόρησης</i>		
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.20 (0.87, 1.66)	0.268
+PM ₁₀	0.99 (0.52, 1.86)	0.965

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

8.4.5 Απουσία από το Σχολείο

Στους Πίνακες 8.4.5.1 - 8.4.5.3 παρουσιάζονται οι ΣΛ για την απουσία από το σχολείο για 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 , όπως μετρήθηκαν από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ και εκτιμήθηκαν από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης ή τα μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού, ύστερα από τον έλεγχο για συγχυτικές επιδράσεις των λοιπών παραγόντων χωρίς και με έλεγχο του PM_{10} .

Στην περίπτωση των εκτιμήσεων O_3 από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης και ύστερα από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στο μοντέλο, ο ΣΛ για την απουσία από το σχολείο βρέθηκε 1.32 (95% ΔΕ: 1.06, 1.64), όπου όπως φαίνεται υπάρχει στατιστικά σημαντική ένδειξη για συσχέτιση μεταξύ έκθεσης O_3 και απουσίας από το σχολείο. Συνεπώς, η αύξηση της εκτιμώμενης έκθεσης σε O_3 κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με αυξημένη πιθανότητα απουσίας από το σχολείο.

Γενικά, όπως φαίνεται κι από τους τρεις πίνακες, τα αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους, δηλαδή θα λέγαμε ότι ανάλογα με τον δείκτη έκθεσης που εμείς κάθε φορά χρησιμοποιούμε, τα αποτελέσματα συμπίπτουν. Επίσης, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά και δεν παρατηρείται όπως φαίνεται σχέση μεταξύ έκθεσης σε O_3 και απουσίας από το σχολείο ύστερα κι από την προσθήκη της μεταβλητής PM_{10} στα αντίστοιχα μοντέλα.

Πίνακας 8.4.5.1. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της απουσίας από το σχολείο συσχετιζόμενα με 10 μg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃.^a

Εκτίμηση O ₃ από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης (μg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.10 (0.98, 1.25)	0.117
+PM ₁₀	1.32 (1.06, 1.64)	0.013

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.5.2. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της απουσίας από το σχολείο συσχετιζόμενα με 10 μg/m³ αύξηση στα επίπεδα O₃.^a

Μετρήσεις O ₃ από σταθμούς μέτρησης ΥΠΕΚΑ (μg/m ³ ; μέση τιμή, ΣΑ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.08 (0.86, 1.34)	0.515
+PM ₁₀	1.15 (0.85, 1.55)	0.374

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O₃, την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους

Πίνακας 8.4.5.3. Σχετικός λόγος (ΣΛ) και τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (ΔΕ) της απουσίας από το σχολείο συσχετιζόμενα με 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στα επίπεδα O_3 .^a

Εκτίμηση O_3 από μοντέλα διάχυσης χημικού μετασχηματισμού ($\mu\text{g}/\text{m}^3$; μέση τιμή, ΣΛ)		
	ΣΛ (95% ΔΕ*)	P-value
	n = 92	
Βασικό μοντέλο	1.04 (0.75, 1.45)	0.796
+PM ₁₀	1.08 (0.56, 2.12)	0.810

*95% Διάστημα εμπιστοσύνης

^aΕλέγχοντας για το φύλο, το ανάστημα, το βάρος, την περιοχή έκθεσης σε O_3 , την εκπαίδευση πατέρα, την κατανάλωση εσπεριδοειδών και το μέσο ημερήσιο χρόνο που περνάν τα παιδιά σε εξωτερικούς χώρους (ώρες/ημέρα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής ήταν η διερεύνηση των επιδράσεων της βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας εξατομικευμένης έκθεσης σε O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών, με χρήση τριών διαφορετικών προσεγγίσεων για την εκτίμηση της έκθεσης. Η έρευνα χρησιμοποίησε δεδομένα της μελέτης RESPOZE, η οποία ήταν μια προοπτική μελέτη μικρού χρόνου παρακολούθησης (panel study) με αντικείμενο τη μελέτη της επίδρασης της έκθεσης σε O_3 στην αναπνευστική υγεία των παιδιών. Για την μελέτη συλλέχθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού των μαθητών, ηλικίας 10-11 ετών, των δύο μεγαλύτερων πόλεων της Ελλάδας που είναι και μεταξύ των πλέον ρυπασμένων Ευρωπαϊκών πόλεων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έγινε χρήση μόνο των δεδομένων που αφορούσαν παιδιά από την Αθήνα, αφού δεν υπήρχαν εκτιμήσεις από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ως δείκτης εκτίμησης της εξατομικευμένης έκθεσης των παιδιών σε O_3 στη διεύθυνση κατοικίας χρησιμοποιήθηκαν, οι μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, οι εκτιμήσεις από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης των συγκεντρώσεων O_3 και οι εκτιμήσεις από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης η αύξηση της εκτιμώμενης ημερήσιας έκθεσης σε O_3 , κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με αυξημένη πιθανότητα παρουσίας συμπτωμάτων (ρινικής συμφόρησης, οποιουδήποτε συμπτώματος και βήχα). Πιο αναλυτικά, ο ΣΛ για οποιοδήποτε σύμπτωμα ήταν 1.09 (95% ΔΕ: 1.01, 1.18), ενώ για τη ρινική συμφόρηση 1.14 (95% ΔΕ: 1.03, 1.22) και για τον βήχα 1.11 (95% ΔΕ: 1.01, 1.22). Επίσης, βρέθηκε στατιστικά σημαντική ένδειξη για συσχέτιση μεταξύ μακροχρόνιας έκθεσης σε O_3 και απουσίας από το σχολείο. Συνεπώς, η αύξηση της εκτιμώμενης έκθεσης σε O_3 κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με αυξημένη πιθανότητα απουσίας από το σχολείο. Το συγκεκριμένο εύρημα δεν αποτελεί μια προφανή εξήγηση και επίσης δεν υπάρχουν συγκριτικά αποτελέσματα από ήδη υπάρχουσες εργασίες στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πιο αναλυτικά και όσον αφορά τις διαφορές αλλά και ομοιότητες των τριών προσεγγίσεων για την εκτίμηση της έκθεσης σε O_3 που κάναμε χρήση, καταλήξαμε στα παρακάτω. Αρχικά σε ό,τι έχει να κάνει τον δείκτη PEF και τη μακροχρόνια ή βραχυχρόνια έκθεση σε O_3 τα αποτελέσματα βρέθηκαν να συμφωνούν κι επίσης δεν βρέθηκε κανένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα. Έπειτα, όσον αφορά τους δείκτες FVC και FEV_{1s} , τα αποτελέσματα βρέθηκαν να μην συγκλίνουν πάντα κι επίσης τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται πουθενά στατιστικά σημαντικά. Ακολουθώντας, και σύμφωνα πάντα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης βρέθηκε σχέση μεταξύ παρουσίας συμπτωμάτων και βραχυχρόνιας έκθεσης σε O_3 από τους κοντινότερους σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, τα οποία αποτελέσματα συμπίπτουν με τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις O_3 από το χωροχρονικό μοντέλο χρήσης γης. Τα αποτελέσματα που αφορούν τη σχέση μακροχρόνιας έκθεσης σε O_3 και παρουσίας συμπτωμάτων δεν ήταν πάντα σε συμφωνία. Επίσης, βρέθηκε συγκлиση αποτελεσμάτων όσον αφορά τη σχέση μεταξύ μακροχρόνιας έκθεσης σε O_3 και απουσίας από το σχολείο. Τα αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα, όμως, όταν πήγε να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ βραχυχρόνιας έκθεσης σε O_3 και απουσίας από το σχολείο.

Όλες οι παραπάνω διαφορές μεταξύ των μεθόδων ενδεχομένως να προκύπτουν λόγω κάποιου σφάλματος μέτρησης. Στην παρούσα διπλωματική δεν κάναμε χρήση προσωπικών μετρήσεων O_3 για το κάθε παιδί. Προφανώς οι πραγματικές τιμές έκθεσης σε O_3 για κάθε παιδί να μεταβάλλεται ανάλογα με την ακριβή τοποθεσία που αυτό βρίσκεται ή και ακόμα απο το εάν βρίσκεται σε κάποιο εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο όπου στον τελευταίο τα επίπεδα O_3 είναι κατά πολύ κατεβασμένα.

Οι περισσότερες προηγούμενες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, είχαν επικεντρωθεί σε ασθματικές ομάδες και διερευνούσαν κυρίως αλλαγές στους δείκτες σπιρομέτρησης. Ορισμένες μελέτες έχουν, επίσης, διερευνήσει συμπτώματα, αν και ο ορισμός τους διαφέρει. Οι McConnell et al. (2010) δεν ανέφεραν καμία συσχέτιση μεταξύ του O_3 από μετρήσεις σταθερών σταθμών και την εμφάνιση άσθματος σε μια κοόρτη μικρών παιδιών στις ΗΠΑ, ενώ οι Barraza-Villarreal et al. (2008) ανέφεραν αύξηση των περιπτώσεων άσθματος και των αναπνευστικών λοιμώξεων τόσο στα ασθματικά αλλά και στα μη-ασθματικά παιδιά της μελετούμενης κοορτής στο Μεξικό. Τέλος, οι Ross et al. (2002) σε μια ομάδα ασθματικών ενηλίκων βρήκαν αύξηση των αναπνευστικών συμπτωμάτων και μειωμένες τιμές των μετρήσεων PEF, ενώ οι Just et al. (2002) διαπίστωσαν αυξήσεις στα συμπτώματα άσθματος και τις αναπνευστικές λοιμώξεις μεταξύ των ασθματικών παιδιών, αλλά και αύξηση της μεταβλητότητας της PEF. Όταν, στην περίπτωση μας, διερευνήσαμε

τη μεταβλητότητα της PEF ως δείκτη υγείας, δεν εντοπίσαμε συσχετισμό με την έκθεση σε O_3 , όπως συνέβη με τους υπόλοιπους δείκτες υγείας που διερευνήσαμε.

Τα συμπεράσματά μας για μη συσχέτιση του δείκτη PEF με την έκθεση σε O_3 , ωστόσο, μπορεί να οφείλονται εν μέρει σε εσφαλμένη αυτο-καταγραφή των μετρήσεων που συλλέχθηκαν από τα ημερολόγια και τα TADs, αλλά παρ'όλα αυτά συμβαδίζουν και συμφωνούν με ευρήματα παλαιότερων μελετών (Karakatsani et al., 2016). Τα επίπεδα του O_3 είναι υψηλότερα κατά τις περιόδους με υψηλότερες θερμοκρασίες όταν η απουσία από το σχολείο, από την άλλη, αναμένεται να είναι μικρότερη, πράγμα που μπορεί να οδηγεί σε απώλεια στατιστικής ισχύος.

Μία επίσης ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι στην παρούσα μελέτη βρέθηκαν θετικές συσχετίσεις μεταξύ των μετρήσεων O_3 από τους σταθμούς ΥΠΕΚΑ και της παρουσίας ρινικής συμφόρησης (Gerrity, 1988). Είναι γνωστό ότι σχεδόν το 40% του εισπνεόμενου O_3 απορροφάται από τον ρινικό βλεννογόνο με αποτέλεσμα τη ρινική φλεγμονή και τη συμφόρηση. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν να συμφωνούν με τα ευρήματα που αναφέρθηκαν από τους Karakatsani et al. (2016), όπου όσοι εκτέθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα O_3 , όπως αυτά αξιολογήθηκαν από προσωπικούς μετρητές, ήταν πιο πιθανό να παρουσιάσουν ρινικά συμπτώματα.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη μελέτη μας, όπως ο μεγάλος αριθμός συμμετεχόντων στην έρευνα, οι οποίοι αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού και η σχετικά μεγάλη περίοδος παρακολούθησης (35 ημέρες/5 εβδομάδες) είναι μερικά από τα θετικά της έρευνας. Επιπροσθέτως, λίγα ήταν τα παιδιά τα οποία σταμάτησαν τη συμμετοχή τους στη μελέτη ή παρείχαν μη ολοκληρωμένα δεδομένα από τα ημερολόγια και τα TADs. Τέλος, ο αριθμός των μεταβλητών έκβασης που συλλέχθηκαν από τα ημερολόγια καθημερινής δραστηριότητας ήταν επαρκής ώστε να διερευνηθούν αρκετές υποθέσεις. Ένας, όμως, πιθανός περιορισμός της μελέτης μας είναι η ποιότητα των πληροφοριών που συλλέχθηκαν από τα ημερολόγια και τα TADs, δηλαδή οι αποκλίσεις των αυτο-αναφερόμενων δεδομένων από τις πραγματικές τιμές. Για να ελαττωθεί κατά το δυνατόν αυτό το πρόβλημα, εφαρμόστηκε μια διαδικασία ελέγχου των ημερολογίων από τους ερευνητές. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα ημερολόγια των επιτόπιων ερευνητών. Οι παραπάνω διαδικασίες καθιστούν τα ανακριβή δεδομένα περιορισμένα.

Προηγούμενη μελέτη που έγινε στο πλαίσιο της μελέτης RESPOZE και αφορούσε τις ημερήσιες επιδράσεις των προσωπικών μετρήσεων έκθεσης O_3 των παιδιών σε δείκτες σπυρομέτρησης, σε αναπνευστικά συμπτώματα και στις απουσίες από το σχολείο (Samoli et al., 2016) βρήκε αύξηση

των αναπνευστικών συμπτωμάτων ενώ οι απουσίες από το σχολείο και ο δείκτης PEF φάνηκε ότι δεν επηρεάζονται από τα επίπεδα των προσωπικών μετρήσεων του O_3 . Η παραπάνω μελέτη έρχεται να συμφωνήσει με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής στην περίπτωση των αναπνευστικών συμπτωμάτων και του δείκτη PEF, ενώ έρχεται σε αντίθεση με τη μεταβλητή της απουσίας από το σχολείο όπου βρέθηκε σχέση.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προκύπτουν ενδείξεις για επιβαρυντική επίδραση της έκθεσης σε O_3 στην αναπνευστική λειτουργία των παιδιών, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Αποτελέσματα πρόσφατων μελετών τεκμηριώνουν τις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (κυρίως της σωματιδιακής) στην υγεία. Ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη διερεύνησης των επιδράσεων των αέριων ρύπων, κυρίως του όζοντος (O_3), σε ευαίσθητες ομάδες, με εκτίμηση της προσωπικής έκθεσης.

Σκοπός: Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση του μοντέλου χρήσης γης και η σύγκρισή του με 2 άλλες μεθόδους προσδιορισμού της έκθεσης καθώς και η χρησιμότητά του στη διερεύνηση της βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας εξατομικευμένης έκθεσης σε O_3 στο αναπνευστικό σύστημα των παιδιών σχολικής ηλικίας, στο πλαίσιο της μελέτης RESPOZE.

Υλικό και Μέθοδος: Στην επιδημιολογική μελέτη RESPOZE (RESpiratory effects of OZone Exposure in children) παρακολούθηθηκαν εντατικά 97 μαθητές Ε' Δημοτικού δημοσίων σχολείων μόνιμοι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας για 35 ημέρες σε συνολική διάρκεια 5 εβδομάδων, και συλλέχθηκαν ημερήσια δεδομένα μέγιστης εκπνευστικής ροής (PEF) με φορητά ροόμετρα, οι εβδομαδιαίες μετρήσεις σπιρομετρήσεων, της ταχέως εκπνεόμενης ζωτικής χωρητικότητας (FVC) και του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα στο πρώτο δευτερόλεπτο (FEV_1), καθώς και η ημερήσια εμφάνιση αναπνευστικών συμπτωμάτων. Δείκτης εκτίμησης της εξατομικευμένης έκθεσης των παιδιών σε O_3 στη διεύθυνση κατοικίας τους, αποτέλεσαν οι μετρήσεις O_3 από τον κοντινότερο σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων όζοντος από χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης που αναπτύχθηκε για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και οι εκτιμήσεις από μοντέλο διάχυσης χημικού μετασχηματισμού. Ως δείκτες της αναπνευστικής λειτουργίας των παιδιών χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις PEF, FVC και FEV_1 . Επίσης, μελετήθηκαν τα αυτο-αναφερόμενα συμπτώματα και συγκεκριμένα ο βήχας, το συνάχι/βουλωμένη μύτη, το οποιοδήποτε σύμπτωμα (παρουσία ή απουσία συμπτώματος) και τα δεδομένα για τις απουσίες από το σχολείο (απουσία ή όχι απουσία από το σχολείο τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια της μελέτης). Για την προσαρμογή πιθανών συγχυτικών επιδράσεων χρησιμοποιήθηκαν ατομικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από εκτενή ερωτηματολόγια. Η διερεύνηση των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων του O_3 έγινε με εφαρμογή μοντέλων μικτών επιδράσεων και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, αντίστοιχα.

Αποτελέσματα: Βρέθηκε επιβαρυντική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της βραχυχρόνιας έκθεσης στο O_3 , εκτιμώμενο από μετρήσεις από τον κοντινότερο σταθμό του ΥΠΕΚΑ, και των οποιοδήποτε σύμπτωμα, ρινική συμφόρηση και βήχα (σχετικός λόγος (ΣΛ) 1.09, 95% ΔΕ: 1.01, 1.18, 1.14, 95% ΔΕ: 1.03, 1.22 και 1.11, 95% ΔΕ: 1.01, 1.22 αντίστοιχα, για $10\mu g/m^3$ αύξηση στο O_3). Δεν παρατηρήθηκε σχέση με τις μετρήσεις PEF και τους δείκτες FVC και FEV_1 σε σχέση με τη βραχυχρόνια αλλά και μακροχρόνια έκθεση σε O_3 . Η σχέση της απουσίας από το σχολείο και της μακροχρόνιας έκθεσης στο O_3 βρέθηκε επιβαρυντική και στατιστικά σημαντική, όσον αφορά τις εκτιμήσεις O_3 από το χωρο-χρονικό μοντέλο χρήσης γης. Ενδεικτικά, για κάθε $10\mu g/m^3$ άνοδο στα επίπεδα O_3 είναι 32% πιο πιθανό κάποιος μαθητής να απουσιάζει από το σχολείο.

Συμπεράσματα: Η ημερήσια έκθεση σε O_3 συσχετίζεται με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης οποιοδήποτε συμπτώματος, ρινικής συμφόρησης και βήχα. Επίσης, η μακροχρόνια έκθεση σε O_3 συσχετίζεται με αυξημένη πιθανότητα απουσίας από το σχολείο. Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προκύπτουν ενδείξεις για επιβαρυντική επίδραση της έκθεσης σε O_3 στην αναπνευστική λειτουργία των παιδιών, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

ABSTRACT

Introduction: Results from several epidemiological studies have provided evidence on the adverse health effects from exposure to air pollution. However, there is a need to investigate the effects from exposure to air pollution, mainly Ozone (O_3), on sensitive groups, assessing personal exposure.

Objective: The purpose of this present Dissertation was to evaluate the land use regression models and to compare it with 2 other evaluating methods of O_3 exposure and also to investigate the effects, of short-term and long-term exposure to O_3 on the respiratory health of children within the framework of the RESPOZE panel study.

Materials and Methods: A panel of 97 children, aged 10-11 years, were followed intensively for 35 days (spanning over 5 weeks) and PEF was recorded with the use of mini-Wright portable spirometers and also FVC (forced vital capacity) and FEV_1 (forced expiratory volume in 1 s).

Moreover, every child was recording daily symptoms, such as cough, stuffy nose or any symptom and also data on absence of school. Our exposure metrics were predicted either from Land use regression models (LUR) or Dispersion models, or they were derived from fixed monitoring site nearest to the child's school location. Confounding data were gathered from extensive questionnaires. On the one hand, mixed effects models for repeated measurements were applied for investigating the effects of short-term exposure to O_3 . On the other hand, multi-linear regression models were applied for investigating the effects of long-term exposure to O_3 . Multiple linear or logistic regression was used according to the outcome variable, adjusting for several confounders.

Results: There was an aggravating and statistically significant relationship between the short-term exposure to O_3 , derived from fixed monitoring sites, and any symptom, stuffy nose and cough (odds ratio (OR) 1.09, 95% CI: 1.01, 1.18, 1.14, 95% CI: 1.03, 1.22 and 1.11, 95% CI: 1.01, 1.22 respectively, for each $10\mu g/m^3$ increase in O_3). No association was observed with PEF measurements and also FVC and FEV_1 markers in relation to both short and long-term exposure to O_3 . The relationship between absence from school and long-term exposure to O_3 has been aggravating and statistically significant with or without PM_{10} variable in the model, with regard to O_3 predictions from LUR models. For instance, for every $10\mu g/m^3$ units increase in O_3 levels in the atmosphere is 32% more likely that a student is absent from school.

Conclusion: Our findings indicate association between short-term exposure to O_3 with respiratory symptoms such as cough, stuffy nose or any symptom among the general population subgroup of children. We also found that there is association between long-term exposure to O_3 with absence from school. The results of this study provide evidence on the adverse effects of exposure to O_3 on the respiratory health of children, which need further investigation.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arcus –Arth A. and Blaisdell J. Statistical distributions of daily breathing rates for narrow age groups of infants and children. *Risk Anal* 2007; 27: 97-110.

Ayres J.G., Forsberg B., Annesi-Maesano I., Dey R, Ebi K.L., Helms P.J. ET AL. Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *Eur Respir J* 2009, 34:295–302.

Barraza-Villarreal A., Sunyer J., Hernandez-Cadena L., Escamilla-Nuñez M.C., Sienra-Monge J.J., Ramírez-Aguilar M. et al. Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 832–838.

Bateson T. and Schwartz J. Children’s response to air pollutants. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 2008; 71: 238-243.

Bascom R., Bromberg P., Costa D., Devlin R., Dockery D., Frampton M., Lambert W., Samet J., Speizer F. & Utell M. 1996. State of the art: health effects of outdoor air pollution, part 2. *Am J Respir Crit Care Med*, 153, 477- 498.

Beelen R., Voogt M., Duyzer J., Zandveld P., Hoek G. Comparison of the performances of land use regression modelling and dispersion modelling in estimating small-scale variations in long-term air pollution concentrations in a Dutch urban area. *Atmos Environ*, 2010; 44:4614–4621.

Bell M.L., Dominici F., Samet J.M.. A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. *Epidemiology* 2005; 16: 436–445.

Bell M.L., McDermott A., Zeger S.L., Samet J.M., Dominici F.. Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987–2000. *JAMA* 2004; 292: 2372–2378.

Bell M.L., Zanobetti A., Dominici F.. Who is more affected by ozone pollution? A systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol* 2014; 180: 15–28.

Beychok, Milton R., ‘Fundamentals Of Stack Gas Dispersion ’ (4th Edition ed.). author-published. ISBN 0-9644588-0-2. (Chapter 8, page 124), 2005.

Bosanquet, C.H. and Pearson, J.L., ‘The spread of smoke and gases from chimney’, *Trans. Faraday Soc.*, 32:1249 ,1936.

Briggs DJ. The use of GIS to evaluate traffic-related pollution. *Occup Environ Med* Jan 2007;64(1):1–2.

Briggs D., Collins S., Elliot P., Fischer P., Kingham S., Lebreton E., Pryl K., Hv Reeuwijk, Smallborne K., Avd Veen. Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 1997; 11, 699–718.

Burrough, P.A., and McDonnell, A. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press, 2000.

Chen P.C., Lai Y.M., Chan C.C., Hwang I.S., Yang C.Y., Wang J.D., “Short-term effect of ozone on the pulmonary function of children in primary school” *Environ Health Perspect.* 1999, Vol. 107, pp 921-925.

Choi M., Curriero F.C., Johantgen M., Mills M.E., Sattler B., Lipscomb J., 2011. Association between ozone and emergency department visits: an ecological study. *Int. J. Environ. Health Res.* 21 (3), 201–221.

COPERT 4 — Estimating emissions from road transport;(available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/copert-4-2014-estimating-emissions>).

Darrow L.A., Klein M., Flanders W.D., Mulholland J.A., Tolbert P.E., Strickland M.J., 2014. Air pollution and acute respiratory infections among children 0-4 years of age: an 18-year time-series study. *Am. J. Epidemiol.* 180 (10), 968–977.

Dimakopoulou K., Grivas G., Samoli E., Rodopoulou S., Spyrtos D., Papakosta D., Karakatsani A., Chaloulakou A. and Katsouyanni K., Determinants of personal exposure to ozone in school children. Results from a panel study in Greece, *Env. Res.*, (in press).

Dimakopoulou K., Samoli E., Katsouyanni K. Spatio-temporal Land Use Regression Modelling of Ozone Levels in Athens, Greece. *Environmental Pollution* (2019, submitted).

Dobson A. J. & Barnett A. 2008. *An introduction to generalized linear models*. CRC press.

Dockery D.W., Pope C.A. 3rd, Xu X, Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr, Speizer F.E. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993 Dec 9;329(24):1753-9.

EEA(European Environment Agency), 2012. Air pollution by ozone and health;(available at:<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/air-pollution-by-ozone-1/assessment>).

EPA(United States Environmental Protection Agency), 2015. Ozone and Children's Health;

(available at:<https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/20151001childrenhealthfs.pdf>).

EPA(United States Environmental Protection Agency), 2017. Health Effects of Ozone in the General Population;(available at: <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/health-effects-ozone-general-population>).

ERS (European Respiratory Society). Air Quality and Health. Lausanne, Switzerland: ERS; 2010.

ERS (European Respiratory Society). Air Quality and Health. Lausanne, Switzerland: ERS; 2010.

ESA(European Space Agency);(available at: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEM03T4SZLG_0.html).

Finkelstein J.N., Johnston C.J.. Enhanced Sensitivity of the Postnatal Lung to Environmental Insults and oxidant stress. Pediatrics 2004;113;1092-6.

Gasana J. et al. Motor vehicle air pollution and asthma in children: a meta-analysis. Environmental research. 117, 36–45, doi:10.1016/j.envres.2012.05.001 (2012).

Gerrity T.R. Weaver R.A. Bernsten J., House D.E., O’Neil J.J.. Extrathoracic and intra- thoracic removal of O₃ in tidal-breathing humans. J Appl Physiol 1988; 65: 393–400.

Ghanbari Ghosikali M., Heibati B., Naddafi K., Kloog I., Oliveri Conti G., Polosa R., Ferrante M., 2016. Evaluation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) attributed to atmospheric O₃, NO₂, and SO₂ using Air Q Model (2011–2012 year). Environ. Res., 99–105.

GREEN MERCHANT ALLIANCE. Global warming 101. 2007;(available at: <https://www.nrdc.org/stories/global-warming-101>).

Greenpeace. Η ρύπανση σκοτώνει, July 2000;(available at: <https://greenpeacegreece.org/reports/Greenpeace-Mortality.pdf>).

Grivas G., Dimakopoulou K., Samoli E., Papakosta D., Karakatsani A., Katsouyanni K., Chaloulakou A., 2016. Ozone exposure assessment for children in Greece: Results from the RESPOZE study (Accepted in STOTEN).

Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Samoli E., Medina S., Anderson H.R., Niciu E.M., Wichmann H.E., Kriz B., Kosnik M., Skorkovsky J., Vonk J.M., Dörtbudak Z., 2004. Acute effects of ozone on mortality from the ‘air pollution and health: a European approach’ project. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 170 (10), 1080–1087.

GWStr (Green Way Structure), 2009. Επιπτώσεις των ρύπων στην υγεία. (available at :

<https://greenwaystructure.wordpress.com/2009/01/14/επιπτώσεις-των-ρύπων-στην-υγεία-3/>).

Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide (Report on a WHO Working Group - Bonn, Germany 13–15 January 2003).

Henderson S., Beckerman B., Jerrett M., Brauer M.. Application of land use regression to estimate long-term concentrations of traffic-related nitrogen oxides and fine particulate matter. *Environ. Sci. Technol.* 2007; 41, 2422–2428.

Hoek G., Beelen R., De Hoogh K., Vienneau D., Gulliver J., Fischer P., Briggs D.. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmos. Environ.* 2008; 42, 7561–7578.

Hoogh K., Korek M., Vienneau D., Keuken M., Kukkonen J., Nieuwenhuijsen M.J., Badaloni C., Beelen R., Bolignano A., Cesaroni G., Pradas M.C., Cyrus J., Douros J., Eeftens M., Forastiere F., Forsberg B., Fuks K., Gehring U., Gryparis A., Gulliver J., Hansell A.L., Hoffmann B., Johansson C., Jonkers S., Kangas L., Katsouyanni K., Künzli N., Lanki T., Memmesheimer M., Moussiopoulos N., Modig L., Pershagen G., Probst-Hensch N., Schindler C., Schikowski T., Sugiri D., Teixidó O., Tsai M.Y., Yli-Tuomi T., Brunekreef B., Hoek G., Bellander T.. Comparing land use regression and dispersion modelling to assess residential exposure to ambient air pollution for epidemiological studies. *Environ Int.* 2014 Dec;73:382–92.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly, Χρόνιας επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία. Τσιριγώτη Βασιλείου Παρασκευή. Λάρισα, 2012.

Ito K., De Leon S.F., Lippmann M.. Associations between ozone and daily mortality: analysis and meta-analysis. *Epidemiology* 2005; 16: 446–457.

Jerrett M., Burnett R.T., Ma R., Pope C.A. 3rd, Krewski D., Newbold K.B., Thurston G., Shi Y., Finkelstein N., Calle E.E., Thun M.J.. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*. 2005;16: 727–736.

Jerrett M., Burnett R.T., Pope C.A., Ito K., Thurston G., Krewski D. ET AL. Long-term ozone exposure and mortality. *N Engl J Med* 2009, 360:1085–1095.

Jerrett M., Burnett R.T., Pope C.A., Ito K., Thurston G., Krewski D., Shi Y., Calle E., Thun M., 2009. Long-term ozone exposure and mortality. *N. Engl. J. Med.* 360 (11), 1085–1095.

Just J., Ségala C., Sahraoui F., Priol G., Grimfeld A., Neukirch F.. Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children. *Eur Respir J* 2002; 20: 899–906.

- Just J., Ségala C., Sahraoui F., Priol G., Grimfeld A., Neukirch F.. Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children. *Eur Respir J* 2002; 20: 899–906.
- Karakatsani A., Kapitsimadis F., Pipikou M., Chalbot M.-C., Kavouras I.G., Orphanidou D. et al. Ambient air pollution and respiratory effects in mail carriers. *Environ Res* 2010; 110: 278–285.
- Karakatsani A., Samoli E., Rodopoulou S., Dimakopoulou K., Papakosta D., Spyrtos D., Grivas G., Tasi S., Angelis N., Thirios A., Tsiotsios A., and Katsouyanni K., 2016. Weekly Personal Ozone Exposure and Respiratory Health in a Panel of Greek Schoolchildren;(available at: <https://doi.org/10.1289/EHP635>).
- Kasprzyk D.; Duncan G. J.; Kalton A G., and Singh M. P., eds. *Panel Surveys*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., Le Tertre A., Monopolis Y., et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 2001;12:521–31.
- Kim C.S., Alexis N.E., Rappold A.G., Kehrl H., Hazucha M.J., Lay J.C. et al. Lung function and inflammatory responses in healthy young adults exposed to 0.06 ppm ozone for 6.6 hours. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 1215–1221.
- Kleinbaum D., Kupper L.L., Muller K.E.. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. PWS-Kent, Boston, MA, 2nd edition, 1988.
- Krewski D., Jerrett M., Burnett R.T., Ma R., Hughes E., Shi Y., Turner M.C., Pope C. A.3rd., Thurston G., Calle E., Thun M.J., 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. Health Effects Institute, Boston (Research Report 140). <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?U=478>” (accessed 17.03.13):5–114; commentary: 115–136.
- Levy J.I., Chemerynski S.M., Sarnat J.A.. Ozone exposure and mortality: an empiric Bayes metaregression analysis. *Epidemiology* 2005; 16: 458–468.
- Lipfert F.W., Wyzga R.E., Baty J.D., Miller J.P., 2006. Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects: long- term mortality in a cohort of US veterans. *Atmos. Environ.* 40 (1), 154–169.
- MedINDIA. Thilaka Ravi, 2016. Health effects of global warming;(available at: <https://www.medindia.net/patients/lifestyleandwellness/health-effects-of-global-warming.htm>).

- Miri M., Derakhshan Z., Allahabadi A., Ahmadi E., Oliveri Conti G., Ferrante M., Aval H.E., 2016. Mortality and morbidity due to exposure to outdoor air pollution in Mashhad metropolis, Iran. The AirQ model approach. *Environ. Res.* 151, 451–457.
- Montgomery D. C. & Peck E. A. *Introduction to Linear Regression Analysis*. New York: Wiley-Interscience Publication. New York, USA. 1992.
- Moore D.K., Jerrett M., Mack W.J., Kunzli N.. A land use regression model for predicting ambient fine particulate matter across Los Angeles, CA. *J. Environ. Monitor.* 2007; 9, 246–252.
- Moreno-Macías H., Dockery D.W., Schwartz J., Gold D.R., Laird N.M., Sienra-Monge J.J. et al. Ozone exposure, vitamin C intake, and genetic susceptibility of asthmatic children in Mexico City: a cohort study. *Respir Res* 2013; 14: 14.
- Moussiopoulos N., Douros I., Tsegas G., Kleanthous S. and Chourdakis E. (2010), An air quality management system for Cyprus, *Global Nest Journal* 12, 92-98.
- Moussiopoulos N., Douros I., Tsegas G., Kleanthous S. and Chourdakis E. (2012), An air quality management system for policy support in Cyprus, Hindawi Publishing Corporation, *Advances in Meteorology* 2012, doi:10.1155/2012/959280.
- NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES. Air pollution and respiratory disease. NIEHS, 2007.
- Peel J.L., Tolbert P.E., Klein M., Metzger K.B., Flanders W.D., Todd K., Mulholland J.A., Ryan P.B., Frumkin H., 2005. Ambient air pollution and respiratory emergency department visits. *Epidemiology* 16, 164–174.
- Peng R.D., Samoli E., Pham L., Dominici F., Touloumi G., Ramsay T. et al. Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Air Qual Atmos Health* 2013; 6: 445–453.
- Physiology*, Linda S. Costanzo, Elsevier Health Sciences, 2009.
- Pope C.A. 3rd, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W. Jr. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151:669–674.
- Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D.. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002 287:1132-41.

Pope T., Burnett J. Thun, et al: Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to the particular air pollution. JAMA 2002; 287:1132- 1141.

R. Johnson: Relative effects of air pollution on lungs and heart. Circulation 2004;109:5-7

Rodopoulou S., Chalbot M.C., Samoli E., Dubois D.W., San Filippo B.D., Kavouras I.G., 2014. Air pollution and hospital emergency room and admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Doña Ana County, New Mexico. Environ. Res. 129, 39–46.

Ross M.A., Persky V.W., Scheff P.A., Chung J., Curtis L., Ramakrishnan V. et al. Effect of ozone and aeroallergens on the respiratory health of asthmatics. Arch Environ Health 2002; 57: 568–578.

Salvi S. Health effects of ambient air pollution in children. Paediatr Respir Rev 2007;8:275-80.

Samoli E., Zanobetti A., Schwartz J., Atkinson R., LeTertre A., Schindler C. et al. The temporal pattern of mortality responses to ambient ozone in the APHEA project. J Epidemiol Community Health 2009; 63: 960–966.

Samoli E., Dimakopoulou K., Evangelopoulos D., Rodopoulou S., Karakatsani A., Veneti L., Sionidou, M. Tsolakoglou, I. Krasanaki, I. Grivas, G. Papakosta, D. Katsouyanni K., 2016. Is daily exposure to ozone associated with respiratory morbidity and lung function in a representative sample of schoolchildren? Results from a panel study in Greece. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.

Scarlett J.F., Abbott K.J., Peacock J., Strachan D.P., Anderson H.R.. Acute effects of summer air pollution on respiratory function in primary school children in southern England. Thorax 1996; 51: 1109–1114.

Sfetsos A., Vlachogiannis D., Gounaris N., Stubos A.K. On the identification of representative samples from large data sets, with application to synoptic climatology. Theor Appl Climatol 2005; 82, 177-182.

Smith K.R., Jerrett M., Anderson H.R., Burnett R.T., Stone V., Derwent R., Atkinson R.W., Cohen A., Shonkoff S.B., Krewski D., Pope C.A., 3rd, Thun M.J., Thurston G., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. Lancet 374 (9707), 2091–2103.

Tzivian L., 2011. Outdoor air pollution and asthma in children. J. Asthma 48 (5), 470–481.

Ventilation Factor by Dr. Nolan Atkins, Lyndon State College, ‘Air Pollution Dispersion’.

Verbenke & Molenberghs (2000) Verbenke G, Molenberghs G. Linear Mixed Models for Longitudinal Data. New York: Springer; 2000.

Wang R., Henderson S.B., Sbihi H., Allen R.W., Brauer M. Temporal stability of land use regression models for traffic-related air pollution. *Atmos Environ* 2013;64:312- 319.

WHO (World Health Organization). Air pollution. 2016;(available at: http://www.who.int/topics/air_pollution/en/).

WHO (World Health Organization). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Air quality guidelines - global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva, Switzerland: WHO Press; 2006.

WHO (World Health Organization). Ambient (outdoor) air quality and health, 2018;(available at: from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>).

WHO (World Health Organization). Ambient air pollution - a major threat to health and climate, 2018;(available at: <http://www.who.int/airpollution/ambient/about/en/>).

WHO (World Health Organization). Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases: a comprehensive approach. Geneva, Switzerland: WHO Press; 2007. NLM classification: WF 140.

WHO (World Health Organization). Guidelines for indoor air quality: household fuel combustion. Geneva, Switzerland: WHO Press; 2014.

WHO 2006b. Preventing disease through healthy environments-towards an estimate of the environmental burden of disease.

WHO Air Quality Guidelines for Europe, Second edition. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No 91).

WHO, Reducing Global Health Risks Through Mitigation of Short-Lived Climate Pollutants. Scoping Report For Policy-makers. World Health Organization, 2015.

WHO, World health report 2002. Geneva, World Health Organization, 2002.

World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02;(available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf).

World Health Organization. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP Project: Final Technical Report. WHO, 2013.

WWF Ελλάς. Εμμανουέλλα Πεμουντάκη, Αθήνα 2010. Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση; (available at: http://www.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas_Odigos%20gia%20to

[%20perivallon_Aeras.pdf](#)).

Zanobetti A., Schwartz J., 2011. Ozone and survival in four cohorts with potentially predisposing diseases. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 184 (7), 836–841.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., Smith G.M.. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York: Springer; 2009

Ειρήνη Κ., Λάρισα 2013. Μελέτη συσχέτισης ρύπων με τη νοσηρότητα και θνησιμότητα καρδιοαναπνευστικών παθήσεων, σε παιδιά και ενήλικες, κατά τη χρονική περίοδο 2001-2007 στο Βόλο. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής.

Ζάνη, Π. 2014. Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ζιώμας Γ. Ατμόσφαιρα - Ατμοσφαιρική ρύπανση. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) 2007.

Ζιώμας Ι., 2004. Επιπτώσεις των αέριων ρύπων στους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς και στα υλικά, Φυσικό περιβάλλον και ρύπανση, Τόμος Δ', Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, ΕΑΠ.

Η χημική ένωση του μήνα. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας; (available at: http://195.134.76.37/chemicals/chem_ozone.htm). Επιμέλεια σελίδας Θανάσης Βαλαβανίδης, Αναπλ. Καθηγητής – [Κωνσταντίνος Ευσταθίου, Καθηγητής](#). Ιούλιος, 2009.

Καραθανάσης Σ., 2006. Ατμοσφαιρική ρύπανση: ορισμός, επιπτώσεις πηγές από βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες, τεχνολογία αντιμετώπισης, νομοθεσία. Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη.

Κωνσταντίνα Δ., 2016. Αποτίμηση της επίδρασης της μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση σχετιζόμενη με κυκλοφορία οχημάτων στη θνησιμότητα από αναπνευστικά αίτια, με χρήση μοντέλων αναλογικών κινδύνων του Cox και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος ESCAPE. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιατρική Σχολή.

Μελάς Δ., 2007. Σημειώσεις για την ατμοσφαιρική ρύπανση και διασπορά. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μελάς Δ., «Ατμοσφαιρική Διάχυση και Διασπορά», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2003.

Μελέτη του όζοντος. Ελλάδα, 2010;(available at: [104](http://5dim-</p></div><div data-bbox=)

pyrgou.ilei.sch.gr/climate/html/ozon.htm).

Μουστρής Κ.Π., 2009. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

Ξενάκη Σ., Χανιώτη Λ.-Β., Μυτιλήνη 2004. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ;(available at: <http://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/10436/file0.pdf?sequence=2>).

Οικονομίδου Φ., Τζανακάκης Ν.. Ατμοσφαιρική ρύπανση και αποφρακτικά νοσήματα του αναπνευστικού συστήματος (βρογχικό άσθμα και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια). Στο: Επαγγελματικά και περιβαλλοντικά νοσήματα των πνευμόνων. Εκδόσεις της Ελληνικής Πνευμονολογικής Εταιρείας, Αθήνα, 2007:277–278.

Ρεμουντάκη Ε., 2004. Η σημασία της παρουσίας των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, Φυσικό περιβάλλον και ρύπανση, Τόμος Γ', Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ.

ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας). Ετήσια έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης 2014;(available at: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=GFJ1ricni7Q%3d&tabid=490&language=el-GR>).