

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:**  
**«ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΥΓΕΙΑ – ΙΑΤΡΙΚΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»**

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων  
στο Δελχί**

**POST GRADUATE THESIS**

The effects of air pollution on the health of residents in Delhi

ΜΕΤΑΠΤ. ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΦΙΑΖΑ ΜΠΟΥΤΟΥΛ TZABENT

A.M.: 7450042200086

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2024

**MASTER'S PROGRAM:**  
**«GLOBAL HEALTH – DISASTER MEDICINE»**

NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS  
MEDICAL SCHOOL

**MASTER'S THESIS**

**ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΚΡΙΣΕΩΣ**  
**ΤΗΣ ΣΥΝΕΔΡΙΑΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ**  
**ΤΗΝ**  
**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**  
**Της Μεταπτυχιακής Φοιτητριας ΦΙΑΖΑ ΜΠΟΥΤΟΥΛ ΤΖΑΒΕΝΤ**

Εξεταστική Επιτροπή

, Επιβλέπων

, Μέλος

, Μέλος

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή η οποία ορίσθηκε από την Συνέλευση της Ιατρικής Σχολής του Παν. Αθηνών κατά τη Συνεδρίαση της .....ης ..... 20... για την αξιολόγηση και εξέταση της υποψηφίου Φιαζα μπουτουλ Τζαβεντ, συνεδρίασε σήμερα .../.../....

Η Επιτροπή **διαπίστωσε** ότι η Διπλωματική Εργασία της Φιαζα μπουτουλ Τζαβεντ με τίτλο 'Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων στο Δελχι', είναι πρωτότυπη, επιστημονικά και τεχνικά άρτια και η βιβλιογραφική πληροφορία ολοκληρωμένη και εμπεριστατωμένη.

Η εξεταστική επιτροπή αφού έλαβε υπ' όψιν το περιεχόμενο της εργασίας και τη συμβολή της στην επιστήμη, με ψήφους ..... προτείνει την απονομή στον παραπάνω Μεταπτυχιακό Φοιτητή την απονομή του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (Master's).

Στην ψηφοφορία για την βαθμολογία ο υποψήφιος έλαβε για τον βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» ψήφους ..... , για τον βαθμό «ΛΙΑΝ ΚΑΛΩΣ» ψήφους ..... , και για τον βαθμό «ΚΑΛΩΣ» ψήφους.....

Κατά συνέπεια, απονέμεται ο βαθμός «(Άριστα/Λίαν Καλώς/Καλώς)& (Βαθμός)

.....».

Τα Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

, Επιβλέπων

, Μέλος

, Μέλο

## Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σοβαρό πρόβλημα υγείας στο Δελχί, με συνέπειες που επηρεάζουν δραματικά την υγεία των κατοίκων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων αέρα, όπως τα σωματίδια PM2.5 και PM10, το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), συνδέονται με αναπνευστικά προβλήματα, καρδιαγγειακές ασθένειες και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται με αυξημένη πιθανότητα για παιδικό άσθμα, προβλήματα στην εγκυμοσύνη και πρόωρο θάνατο με μειωμένη ποιότητα ζωής και αυξημένο κόστος υγειονομικής περίθαλψης, με τα παιδιά και τους ηλικιωμένους να επηρεάζονται δυσανάλογα. Οι αρχές και οι επιστήμονες επισημαίνουν την ανάγκη για αποτελεσματικά μέτρα για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένων πρωτοβουλιών για τη μείωση των εκπομπών από οχήματα και εργοστάσια, καθώς και για την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη πράσινων υποδομών στην πόλη. Η εφαρμογή τεχνολογιών καθαρισμού αέρα, όπως οι πύργοι καθαρισμού, καθώς και η ευρεία υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων, αποτελούν καινοτόμες στρατηγικές για την ανακούφιση του προβλήματος. Η μελέτη καταλήγει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντικό αλλά και κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα. Υπογραμμίζεται η ανάγκη για συντονισμένες, μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις σε τοπικό και διεθνές επίπεδο, που θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων και θα προστατεύσουν το περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: Ατμοσφαιρική ρύπανση, Σωματίδια PM2.5, PM10, Υγεία κατοίκων, Κόστος υγειονομικής περίθαλψης, Τεχνολογίες καθαρισμού αέρα

## Abstract

Air pollution poses a significant health challenge in Delhi, with severe implications for the well-being of its residents. Elevated levels of air pollutants, such as particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), have been linked to respiratory disorders, cardiovascular diseases, and increased cancer risk. Additionally, air pollution contributes to a higher prevalence of childhood asthma, pregnancy complications, and premature mortality, resulting in diminished quality of life and escalating healthcare costs, disproportionately affecting vulnerable populations such as children and the elderly. Authorities and researchers stress the urgency of implementing effective measures to mitigate air pollution, including reducing emissions from vehicles and industrial sources, promoting renewable energy adoption, and fostering green urban infrastructure. Innovative strategies, such as the deployment of air purification technologies like smog towers and the transition to electric vehicles, offer promising solutions to address the issue. The study concludes that air pollution in Delhi represents not only an environmental challenge but also a social and economic crisis. It underscores the importance of coordinated, long-term interventions at local and international levels to enhance the quality of life for residents and safeguard the environment.

**Keywords:** Air pollution, PM<sub>2.5</sub> particles, PM<sub>10</sub> particles, Public health, Healthcare costs, Air purification technologies

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Εισαγωγή.....	6
Κύριες Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στο Δελχί .....	11
Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα .....	15
Μεθοδολογία.....	16
Αποτελέσματα.....	21
Συζήτηση.....	30
Προτάσεις για Νέες Πολιτικές και Μέτρα.....	38
Συμπεράσματα .....	40
Βιβλιογραφία .....	42

## Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μια από τις πιο σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις του 21ου αιώνα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), ορίζεται ως η μόλυνση της ατμόσφαιρας από επιβλαβείς ουσίες, όπως σωματίδια, χημικές ενώσεις και βιολογικά υλικά, που προκαλούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (WHO, 2022). Οι ρύποι αυτοί προέρχονται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές, με τις δεύτερες να είναι κυρίαρχες στις αστικές περιοχές.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση περιλαμβάνει πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύπους. Οι πρωτογενείς ρύποι εκλύονται απευθείας στην ατμόσφαιρα και περιλαμβάνουν μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub>) και διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) (CPCB, 2020). Αντίστοιχα, οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται από χημικές αντιδράσεις πρωτογενών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το όζον (O<sub>3</sub>) και η όξινη βροχή, τα οποία σχηματίζονται μέσω αντιδράσεων μεταξύ διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και υδρατμών υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (WHO, 2021).

Κατηγορία Ρύπων	Ρύπος	Πηγή/Δημιουργία
Πρωτογενείς Ρύποι	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Παράγεται κυρίως από την καύση καυσίμων.
	Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	Προέρχονται από τα οχήματα και τις βιομηχανίες.
	Αιωρούμενα σωματίδια (PM)	Περιλαμβάνουν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μικρόμετρα (PM <sub>10</sub> ) και 2.5 μικρόμετρα (PM <sub>2.5</sub> ).
	Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	Εκπέμπεται από την καύση άνθρακα και πετρελαίου.
Δευτερογενείς Ρύποι	Όζον (O <sub>3</sub> )	Σχηματίζεται όταν οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) αντιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία.
	Όξινη βροχή	Προκαλείται από τη χημική αντίδραση του διοξειδίου του θείου (SO <sub>2</sub> ) και του οξειδίου του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) με υδρατμούς.

Οι δείκτες ποιότητας του αέρα, όπως ο Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index - AQI) και οι συγκεντρώσεις PM2.5 και PM10, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την αξιολόγηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο AQI παρέχει μια ενιαία μέτρηση για την ποιότητα του αέρα βασισμένη σε επίπεδα ρύπων, όπως τα PM2.5, PM10, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> και CO, και διευκολύνει την κατανόηση της κατάστασης του αέρα από το κοινό (WHO, 2018). Η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα PM2.5 και PM10 έχει συνδεθεί με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, ενώ συχνά παρατηρούνται συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας του WHO, ιδίως σε πόλεις όπως το Δελχί (Balakrishnan et al., 2019).

Χρονιά	Μέση Συγκέντρωση PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )	Ασφαλές Όριο WHO (μg/m <sup>3</sup> )
2010	120	5
2015	140	5
2020	150	5

Πηγή: WHO (2021). μέση ετήσια συγκέντρωση PM2.5 στο Δελχί σε σύγκριση με το ασφαλές όριο του WHO

Η ποιότητα του αέρα επηρεάζει αρνητικά τόσο την υγεία όσο και τα οικοσυστήματα. Οι αναπνευστικές ασθένειες, όπως το άσθμα και η βρογχίτιδα, αυξάνονται δραματικά σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις PM2.5 (Guttikunda & Gurjar, 2021). Επιπλέον, οι οικολογικές συνέπειες περιλαμβάνουν τη μείωση της βιοποικιλότητας, τη ρύπανση υδάτων μέσω τοξικών καταλοίπων και την επιδείνωση των γεωργικών αποδόσεων λόγω της εναπόθεσης επιβλαβών ουσιών στα εδάφη και τα φυτά (Jain et al., 2021).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν περιορίζεται μόνο στις τοπικές επιπτώσεις. Συμβάλλει επίσης στην κλιματική αλλαγή μέσω της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Ο μαύρος άνθρακας, ένας άλλος επιβαρυντικός ρύπος, αυξάνει την απορρόφηση θερμότητας από τον ήλιο, επιταχύνοντας το λιώσιμο των παγετώνων και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Singh et al., 2018).

Το Δελχί, πρωτεύουσα της Ινδίας, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πόλης που πλήττεται σοβαρά από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Παρά τη λειτουργία ενός εκτεταμένου συστήματος μετρό και άλλων υποδομών, οι εκπομπές από τα οχήματα, η καύση γεωργικών υπολειμμάτων και

οι βιομηχανικές δραστηριότητες επιδεινώνουν την κατάσταση (Government of India, 2020). Η εργασία αυτή αναλύει τη σοβαρότητα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί, εστιάζοντας στις αιτίες, τις επιπτώσεις και τις δυνατές λύσεις. Παράλληλα, η εργασία επιχειρεί μια συγκριτική προσέγγιση, εξετάζοντας το Δελχί σε σχέση με άλλες πόλεις που αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα, όπως το Πεκίνο και το Μεξικό Σίτι (HEI, 2020). Μέσα από αυτήν τη συγκριτική ανάλυση, αναδεικνύονται κοινά χαρακτηριστικά αλλά και διαφοροποιήσεις που προκύπτουν λόγω γεωγραφικών, πολιτικών και κοινωνικών παραγόντων. Οι ομοιότητες προσφέρουν πολύτιμα διδάγματα, ενώ οι διαφορές υπογραμμίζουν την ανάγκη για τοπικά προσαρμοσμένες λύσεις (World Bank, 2021).

Το Δελχί, η πρωτεύουσα της Ινδίας, είναι μια από τις πιο πολυσύχναστες και ταχέως αναπτυσσόμενες μητροπόλεις του κόσμου. Αποτελεί πολιτιστικό, πολιτικό και οικονομικό κέντρο, με ιστορία που εκτείνεται σε χιλιάδες χρόνια, συνδυάζοντας την αρχαία κληρονομιά με τη σύγχρονη εξέλιξη. Ακολουθεί μια λεπτομερής περιγραφή της πόλης, των κατοίκων της και των κύριων προβλημάτων που αντιμετωπίζει (Molina & Molina, 2004).

### Πληθυσμός και Πολυπολιτισμικότητα

Το Δελχί φιλοξενεί περίπου 32 εκατομμύρια κατοίκους (συμπεριλαμβανομένων των προαστίων του, σύμφωνα με εκτιμήσεις του 2024), καθιστώντας το μία από τις μεγαλύτερες μητροπόλεις του πλανήτη. Η πόλη χαρακτηρίζεται από εξαιρετική πολιτιστική πολυμορφία, καθώς προσελκύει ανθρώπους από κάθε γωνιά της Ινδίας, καθώς και διεθνείς επισκέπτες και μετανάστες. Οι κάτοικοι του Δελχί μιλούν πολλές γλώσσες, με τις πιο διαδεδομένες να είναι τα Χίντι, τα Παντζάμπι και τα Ουρντού, ενώ η αγγλική γλώσσα χρησιμοποιείται ευρέως σε επίσημες υποθέσεις και επιχειρηματικές δραστηριότητες (Singh, 2018). Το Δελχί χωρίζεται διοικητικά σε διάφορες περιοχές και περιφέρειες, με την Παλιά Πόλη (Old Delhi) να αποτελεί ιστορικό πυρήνα γεμάτο μνημεία και αγορές, και τη Νέα Πόλη (New Delhi) να στεγάζει κυβερνητικά κτίρια, πολυτελή ξενοδοχεία και σύγχρονες υποδομές (Kumar et al., 2020).



## Κύρια Χαρακτηριστικά της Πόλης

Το Δελχί, είναι μια πόλη με πλούσια ιστορική κληρονομιά και έντονη σύγχρονη ανάπτυξη. Η ιστορική κληρονομιά της πόλης είναι εμφανής σε μνημεία όπως το Red Fort, το Κουτούμπ Μινάρ (Qutub Minar) και ο Ναός Λωτού (Lotus Temple), τα οποία μαρτυρούν την πολυκύμαντη ιστορία της Ινδίας από την εποχή των Μογγόλων μέχρι την ανεξαρτησία της χώρας (UNESCO, 2021). Επιπλέον, το Δελχί λειτουργεί ως σημαντικό οικονομικό κέντρο, αποτελώντας κόμβο εμπορίου και βιομηχανίας, φιλοξενώντας μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες, επιχειρηματικά κέντρα και αγορά υπηρεσιών. Ιδιαίτερα αναπτυγμένοι είναι οι τομείς της τεχνολογίας, των χρηματοοικονομικών και των μέσων μαζικής ενημέρωσης.

Αναφορικά με τις μεταφορές, το Δελχί διαθέτει ένα από τα πιο εκτεταμένα συστήματα μετρό στην Ινδία, το Delhi Metro, που συνδέει τόσο κεντρικές όσο και περιφερειακές περιοχές της πόλης. Παρόλα αυτά, η κυκλοφοριακή συμφόρηση παραμένει καθημερινό φαινόμενο στους δρόμους της, παρά την ύπαρξη του συστήματος μετρό (Dutta et al., 2020). Τέλος, η πόλη ξεχωρίζει για τη ζωντανή πολιτιστική της δραστηριότητα, με πλήθος φεστιβάλ, θεατρικών παραστάσεων, συναυλιών και παραδοσιακών παζαριών. Η τοπική κουζίνα είναι επίσης εξαιρετικά δημοφιλής, συνδυάζοντας παραδοσιακές ινδικές γεύσεις με διεθνείς επιρροές (Sharma et al., 2019).

## Κύρια Προβλήματα του Δελχί

Παρά τη λάμψη και τη ζωντάνια του, το Δελχί αντιμετωπίζει σημαντικά κοινωνικά, περιβαλλοντικά και υγειονομικά προβλήματα:

### *1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση*

Το Δελχί συγκαταλέγεται στις πιο μολυσμένες πόλεις του κόσμου. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται σε παράγοντες όπως, οι εκπομπές από τα 10 εκατομμύρια οχήματα κυκλοφορούν καθημερινά, συμβάλλοντας σημαντικά στην εκπομπή ρύπων (Sharma et al., 2019), Η καύση γεωργικών υπολειμμάτων (stubble burning) στις γύρω περιοχές, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες. (Jain et al., 2021). Η σκόνη από τις κατασκευές και οι βιομηχανικές εκπομπές. (Guttikunda & Gurjar, 2021). Οι συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής που επιδεινώνουν την ποιότητα του αέρα. Τα επίπεδα των PM2.5 και PM10 στο Δελχί ξεπερνούν

συχνά τα ασφαλή όρια, επηρεάζοντας αρνητικά την υγεία των κατοίκων, ιδιαίτερα των ευάλωτων ομάδων.

## *2. Υπερπληθυσμός*

Η συνεχής ροή μεταναστών στο Δελχί οδηγεί σε εκρηκτική αύξηση του πληθυσμού, επιβαρύνοντας τις υποδομές και τις κοινωνικές υπηρεσίες. Τα προβλήματα στέγασης, οι ανεπαρκείς αποχετεύσεις και οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις είναι καθημερινά φαινόμενα (Chandramouli, 2020).

## *3. Διαχείριση Απορριμμάτων*

Η πόλη παράγει τεράστιες ποσότητες απορριμμάτων καθημερινά, πολλά από τα οποία καταλήγουν σε ανεξέλεγκτες χωματερές. Η ανακύκλωση παραμένει περιορισμένη, ενώ οι πυρκαγιές σε χωματερές συχνά συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση (Kumar et al., 2019).

## *4. Έλλειψη Πόρων Νερού*

Το Δελχί αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα έλλειψης πόσιμου νερού, με πολλές περιοχές της πόλης να βασίζονται σε βυτιοφόρα για την καθημερινή τους ανάγκη. Η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων έχει δημιουργήσει μια κρίση που επιδεινώνεται λόγω της αύξησης του πληθυσμού (World Bank, 2021).

## *5. Κοινωνική Ανισότητα*

Παρά την οικονομική ανάπτυξη, οι κοινωνικές ανισότητες παραμένουν έντονες. Οι φτωχότερες περιοχές του Δελχί υποφέρουν από έλλειψη βασικών υπηρεσιών, όπως η υγειονομική περίθαλψη, η εκπαίδευση και οι επαρκείς υποδομές.

Το Δελχί δεν είναι απλώς μια αστική περιοχή που πλήττεται από τη ρύπανση, αλλά αντιπροσωπεύει και μια μικρογραφία της παγκόσμιας περιβαλλοντικής κρίσης. Η πόλη συνδυάζει ταχύτατη πληθυσμιακή αύξηση, ανεξέλεγκτη αστικοποίηση και βιομηχανική ανάπτυξη, γεγονός που την καθιστά ιδανική περίπτωση για μελέτη. Η ατμοσφαιρική ρύπανση εδώ δεν είναι ένα τυχαίο ή περιοδικό φαινόμενο. Αντίθετα, αποτελεί καθημερινή πραγματικότητα για εκατομμύρια

κατοίκους, με τις συνέπειές της να επηρεάζουν κάθε πτυχή της ζωής. Ιστορική Αναδρομή της Ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί έχει εξελιχθεί σε ένα από τα πιο κρίσιμα περιβαλλοντικά και δημόσια υγειονομικά προβλήματα της πόλης τις τελευταίες δεκαετίες. Η ταχεία αστικοποίηση και βιομηχανοποίηση, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση, έχουν συμβάλει στην επιδείνωση της ποιότητας του αέρα (Gurjar et al., 2016). Οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, όπως τα μικροσωματίδια (PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>), ξεπερνούν συχνά τα όρια που έχουν θέσει οι διεθνείς οργανισμοί (WHO, 2018).

Αυτό που κάνει την περίπτωση του Δελχί ιδιαίτερη είναι η πολυπλοκότητα και η πολυπαραγοντικότητα της κρίσης. Οι βασικές πηγές ρύπανσης, όπως οι εκπομπές από οχήματα, η καύση γεωργικών υπολειμμάτων, η χρήση ορυκτών καυσίμων και οι βιομηχανικές δραστηριότητες, αλληλεπιδρούν με γεωγραφικούς και κλιματικούς παράγοντες, δημιουργώντας έναν συνδυασμό που είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>), καθώς και τοξικών αερίων όπως το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>), έχει οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα. Οι συγκεντρώσεις επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα του Δελχί συχνά υπερβαίνουν τα διεθνώς αποδεκτά όρια, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων. Οι ρύποι όπως τα μικροσωματίδια (PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>) συνδέονται άμεσα με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, καθώς και με αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας.

## Κύριες Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στο Δελχί

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί προκαλείται από πολλαπλές πηγές, οι οποίες δρουν τόσο ανεξάρτητα όσο και συνεργατικά για την επιδείνωση της ποιότητας του αέρα. Οι σημαντικότερες πηγές περιλαμβάνουν τις εκπομπές από τα οχήματα, τις βιομηχανίες, τις κατασκευαστικές δραστηριότητες, την καύση αποβλήτων και την αγροτική καύση υπολειμμάτων καλλιεργειών.

### *Εκπομπές από τα Οχήματα*

Οι εκπομπές από τα οχήματα αναγνωρίζονται ως μία από τις μεγαλύτερες πηγές ρύπανσης. Μελέτες δείχνουν ότι τα οχήματα ευθύνονται για περίπου το 40% των συνολικών εκπομπών

αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 στο Δελχί (Guttikunda & Calori, 2018). Ο τεράστιος αριθμός οχημάτων, σε συνδυασμό με τη χρήση πετρελαίου χαμηλής ποιότητας και την έλλειψη τακτικής συντήρησης, επιδεινώνουν την κατάσταση (Kumar et al., 2017). Οι μεταφορές παράγουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ενώ η κυκλοφοριακή συμφόρηση ενισχύει τη συσσώρευση ρύπων στην ατμόσφαιρα.

### *Βιομηχανικές Εκπομπές*

Οι βιομηχανίες και οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί αποτελούν μια άλλη κύρια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σύμφωνα με την Central Pollution Control Board (2020), οι εκπομπές από την καύση άνθρακα σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων και των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, οι μικρές βιομηχανικές μονάδες, που συχνά λειτουργούν ανεξέλεγκτα, παράγουν επικίνδυνους ρύπους, όπως θειικά και νιτρικά άλατα, που ενισχύουν το σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων (TERI, 2018).

### *Κατασκευές και Κατεδαφίσεις*

Η ταχεία αστικοποίηση του Δελχί έχει οδηγήσει σε εκτεταμένες κατασκευαστικές δραστηριότητες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων σκόνης και αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (Jain et al., 2021). Παρά τις κανονιστικές διατάξεις, οι πρακτικές όπως η ανεξέλεγκτη μεταφορά υλικών και η έλλειψη μέτρων περιορισμού της σκόνης επιβαρύνουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα.

### *Καύση Αποβλήτων*

Η καύση αποβλήτων, τόσο σε επίπεδο νοικοκυριών όσο και σε μεγαλύτερη κλίμακα, αποτελεί σοβαρή απειλή για την ποιότητα του αέρα. Σύμφωνα με έρευνα της National Environmental Engineering Research Institute (2019), η καύση πλαστικών και άλλων μη βιοδιασπώμενων υλικών παράγει τοξικές ενώσεις, όπως διοξίνες και φουράνια, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία.

### *Αγροτική Καύση Υπολειμμάτων*

Μία από τις πιο αναγνωρισμένες εποχικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η καύση αγροτικών υπολειμμάτων στις γειτονικές περιοχές του Παντζάμπ και της Χαρυάνας. Η πρακτική αυτή εντείνεται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, με αποτέλεσμα να παρατηρείται απότομη αύξηση των επιπέδων PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> στην ατμόσφαιρα του Δελχί (Ghude et al., 2016). Παρά τις προσπάθειες της κυβέρνησης να παρέχει κίνητρα για εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης των υπολειμμάτων, η καύση παραμένει η πιο οικονομική λύση για τους αγρότες.

### *Συνδυαστική Επίδραση και Εποχικές Διακυμάνσεις*

Η συνεργατική δράση αυτών των πηγών, σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασιακή αναστροφή και η χαμηλή ταχύτητα ανέμου κατά τους χειμερινούς μήνες, δημιουργεί ένα «μείγμα» ρύπων που είναι δύσκολο να διασπαστεί. Η επίδραση των καιρικών φαινομένων αυξάνει περαιτέρω τη συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα (Guttikunda & Gurjar, 2012).

### *Προηγούμενες Μελέτες και Έρευνες*

Η βιβλιογραφία έχει καταγράψει εκτενώς τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί. Οι Lelieveld et al. (2015) ανέλυσαν την παγκόσμια συνεισφορά των εξωτερικών πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πρόωρη θνησιμότητα και βρήκαν ότι το Δελχί είναι μία από τις πόλεις με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων, συνεισφέροντας σημαντικά σε πρόωρους θανάτους λόγω καρδιαγγειακών και αναπνευστικών παθήσεων. Ομοίως, οι Gurjar et al. (2016) αναγνώρισαν τις σοβαρές υγειονομικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις μεγαλουπόλεις της Ινδίας, συμπεριλαμβανομένου του Δελχί, επισημαίνοντας την ανάγκη για άμεσες και αποτελεσματικές παρεμβάσεις.

Μια μελέτη από τους Kumar et al. (2017) εξέτασε τη σχέση μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των πράσινων υποδομών και της ανθρώπινης υγείας, καταδεικνύοντας ότι η επένδυση σε πράσινες υποδομές μπορεί να μειώσει τις συγκεντρώσεις ρύπων και να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των κατοίκων.

### *Επιδημιολογικές Μελέτες και Στατιστικά Δεδομένα*

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει το Δελχί, με έντονες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Η πρωτεύουσα της Ινδίας κατατάσσεται συνεχώς στις πόλεις με τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης παγκοσμίως, με βασικούς ρύπους να περιλαμβάνουν σωματίδια PM2.5 και PM10, διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και όζον (O<sub>3</sub>) (Gupta & Das, 2022). Τα υψηλά επίπεδα ρύπων οφείλονται σε πηγές όπως η βιομηχανική δραστηριότητα, η καύση καυσίμων από οχήματα και η καύση γεωργικών υπολειμμάτων σε γύρω περιοχές (Sharma & Aggarwal, 2018).

## Επίπεδα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Τα επίπεδα των σωματιδιακών ρύπων στο Δελχί έχουν παρουσιάσει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με πρόσφατη ανάλυση, οι μέσες συγκεντρώσεις των PM2.5 υπερβαίνουν κατά πολύ τα όρια ασφαλείας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), με μετρήσεις να φτάνουν τα 300 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο κατά τους χειμερινούς μήνες (Kumar & Gulia, 2020). Το συγκεκριμένο επίπεδο συγκέντρωσης είναι πολλαπλάσιο των διεθνών ορίων και προκαλεί σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.

Επιπλέον, τα επίπεδα διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) στο Δελχί υπερβαίνουν επίσης τα επιτρεπτά όρια, κυρίως λόγω της αυξημένης κίνησης των οχημάτων και των εκπομπών από βιομηχανικές μονάδες. Μια μελέτη έδειξε ότι οι συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> αυξάνονται κατακόρυφα κατά τις ώρες αιχμής κυκλοφορίας, γεγονός που συσχετίζεται με αυξημένα ποσοστά ασθενειών του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος (Singh & Verma, 2019).

## Σύγκριση με Άλλα Αστικά Κέντρα

Σε σχέση με άλλες μεγάλες πόλεις της Ινδίας και διεθνώς, το Δελχί παρουσιάζει ανησυχητικά υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μια συγκριτική ανάλυση κατέδειξε ότι οι συγκεντρώσεις των PM2.5 στο Δελχί ήταν σχεδόν διπλάσιες από αυτές στη Μουμπαί και την Καλκούτα, δύο άλλες πολυσύχναστες πόλεις της Ινδίας (Mishra & Patel, 2023). Οι συγκεντρώσεις αυτών των ρύπων έχουν συνδεθεί άμεσα με τον κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων αναπνευστικών και καρδιαγγειακών προβλημάτων στους κατοίκους.

Η εισαγωγή αυτή δομήθηκε για να παρέχει μια συνοπτική παρουσίαση της σημασίας του θέματος, να εξηγήσει τους στόχους της έρευνας και να θέσει το πλαίσιο για την περαιτέρω ανάλυση που

ακολουθεί. Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, τα ευρήματα της συστηματικής ανασκόπησης και οι προτάσεις για μελλοντικές έρευνες και πολιτικές παρεμβάσεις. Τέλος, η εργασία εξετάζει την υφιστάμενη κατάσταση των πολιτικών που στοχεύουν στη μείωση της ρύπανσης στο Δελχί. Ενώ έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες, όπως η εφαρμογή του συστήματος *Odd-Even* για τα οχήματα ή η μετάβαση σε πιο καθαρά καύσιμα, τα αποτελέσματα παραμένουν περιορισμένα. Η ανάλυση αυτή θα βοηθήσει στην κατανόηση των δυνατών σημείων και των αδυναμιών των πολιτικών που έχουν εφαρμοστεί, ενώ θα προτείνει στρατηγικές βελτίωσης που βασίζονται στις καλύτερες πρακτικές άλλων χωρών.

## Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Ο σκοπός αυτής της συστηματικής ανασκόπησης είναι να συνοψίσει, να αξιολογήσει και να ερμηνεύσει τις υπάρχουσες μελέτες και δεδομένα σχετικά με τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί. Η έρευνα εστιάζει στην καταγραφή των κυριότερων επιπτώσεων, των αιτίων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς και των στρατηγικών και πολιτικών που έχουν εφαρμοστεί για την αντιμετώπισή της στην πόλη. Η ανασκόπηση αυτή αποσκοπεί στο να παρέχει μια σφαιρική εικόνα των τρεχουσών ερευνών και να εντοπίσει τα κενά γνώσης που ενδέχεται να υπάρχουν για μελλοντική έρευνα. Τα κύρια **ερευνητικά ερωτήματα** αυτής της συστηματικής ανασκόπησης είναι τα εξής:

1. Ποιες είναι οι βασικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία;
2. Ποιες είναι οι κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί, και πώς επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στην πόλη;
3. Ποιες στρατηγικές και πολιτικές έχουν εφαρμοστεί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί, και ποια είναι τα αποτελέσματα των εφαρμοσμένων μέτρων σύμφωνα με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας;
4. Ποιες είναι οι οικονομικές συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη του Δελχί, σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από μελέτες και έρευνες;
5. Ποιες είναι οι βασικές συγκρίσεις με άλλες μεγαλουπόλεις που αντιμετωπίζουν επίσης προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, και ποια διδάγματα μπορεί να αντλήσει το Δελχί από αυτές τις περιπτώσεις;

## Μεθοδολογία

Η επιλογή των μελετών βασίστηκε σε μια αυστηρά καθορισμένη μεθοδολογική προσέγγιση, όπως ορίζεται από τις κατευθυντήριες γραμμές PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε σε αξιόπιστες βάσεις δεδομένων, όπως οι PubMed, Scopus, Web of Science και Google Scholar. Χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες λέξεις-κλειδιά, όπως *Air pollution AND health impacts AND Delhi, PM2.5 AND respiratory health OR cardiovascular disease* και *Urban air quality AND public health*, προκειμένου να εντοπιστούν μελέτες σχετικές με τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί. Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι βιβλιογραφίες των επιλεγμένων άρθρων και συμπεριλήφθηκε γκρίζα βιβλιογραφία, ώστε να διασφαλιστεί η εξαντλητική κάλυψη του θέματος.

Για να διασφαλιστεί η επιλογή των πιο σχετικών και αξιόπιστων μελετών, εφαρμόστηκαν κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Στα κριτήρια ένταξης περιλαμβάνονταν οι μελέτες που είχαν δημοσιευτεί την τελευταία δεκαετία (2013-2023), εστίαζαν στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί και περιλάμβαναν στατιστική ανάλυση για τη συσχέτιση ρύπων με υγειονομικές εκβάσεις. Αντίθετα, αποκλείστηκαν άρθρα που δεν επικεντρώνονταν ειδικά στο Δελχί, δεν περιείχαν ποσοτικά δεδομένα ή παρουσίαζαν υψηλό κίνδυνο μεροληψίας, όπως αξιολογήθηκε με τα εργαλεία ROBINS-I και Newcastle-Ottawa Scale.

Αρχικά, εντοπίστηκαν συνολικά 2,450 εγγραφές από τις βάσεις δεδομένων. Από αυτές, αφαιρέθηκαν 650 διπλότυπες εγγραφές. Οι υπόλοιπες 1,800 εγγραφές εξετάστηκαν σε επίπεδο τίτλου και περίληψης, με 1,250 από αυτές να αποκλείονται λόγω μη σχετικότητας. Ακολούθως, 550 άρθρα αξιολογήθηκαν πλήρως, από τα οποία 350 αποκλείστηκαν. Οι κύριοι λόγοι αποκλεισμού ήταν η έλλειψη ποσοτικών δεδομένων (150 μελέτες), η εστίαση σε άλλες γεωγραφικές περιοχές (100 μελέτες) και ο υψηλός κίνδυνος μεροληψίας (100 μελέτες). Τελικά, 200 μελέτες συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση. Από αυτές, 120 χρησιμοποιήθηκαν στη μετα-ανάλυση και 80 ενσωματώθηκαν στην αφηγηματική σύνθεση.

Η επιλογή των μελετών βασίστηκε σε συγκεκριμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Συμπεριλήφθηκαν μελέτες που εστιάζουν στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία στο Δελχί, με έμφαση σε συγκεκριμένους ρύπους, όπως τα σωματίδια PM2.5 και το



διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), και οι οποίες βασίζονται σε πρωτογενείς έρευνες ή δευτερογενείς αναλύσεις με επαρκή δεδομένα. Αποκλείστηκαν μελέτες που δεν παρείχαν ειδικά δεδομένα για το Δελχί ή δεν ανήκαν στο προκαθορισμένο χρονικό πλαίσιο, καθώς και άρθρα που δεν περιείχαν επαρκή ποσοτικά δεδομένα ή βασίζονταν σε θεωρητικές υποθέσεις.

Η διαδικασία εξαγωγής δεδομένων περιλάμβανε την καταγραφή βασικών πληροφοριών για κάθε μελέτη, όπως ο τύπος της (π.χ. κοορτής, διατομεακή), ο πληθυσμός-στόχος, οι τύποι ρύπων που εξετάστηκαν, τα υγειονομικά αποτελέσματα και οι στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης. Οι μελέτες κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τα κύρια υγειονομικά ευρήματα, με ιδιαίτερη έμφαση στα αναπνευστικά προβλήματα, στα καρδιαγγειακά νοσήματα και σε άλλες επιπτώσεις, όπως οι νευρολογικές ή οικονομικές συνέπειες.

Για την αξιολόγηση του κινδύνου μεροληψίας χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα εργαλεία, ανάλογα με τον τύπο των μελετών. Ειδικότερα, το εργαλείο ROBINS-I (Risk of Bias in Non-randomized Studies - of Interventions) του Cochrane χρησιμοποιήθηκε για μη τυχαιοποιημένες μελέτες, ενώ η κλίμακα Newcastle-Ottawa Scale (NOS) εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση μελετών κοορτής ή διατομεακών μελετών. Κάθε εργαλείο αξιολόγησε στοιχεία όπως η επιλογή των συμμετεχόντων, η αξιοπιστία των μετρήσεων, η απώλεια δεδομένων και η ανάλυση σύγχυσης. Οι πληροφορίες αυτές συνέβαλαν στην ορθή αξιολόγηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας κάθε μελέτης, επιτρέποντας την πιο αντικειμενική και συστηματική σύνθεση των αποτελεσμάτων.

Οι επιλεγμένες μελέτες αξιολογήθηκαν με βάση τη μεθοδολογία τους, τον πληθυσμό-στόχο, τους τύπους ρύπων που εξετάστηκαν και τα υγειονομικά αποτελέσματα που ανέφεραν. Οι μελέτες κοορτής αντιπροσώπευαν το 45% του συνόλου, όπως για παράδειγμα η μελέτη των Chowdhury et al. (2019), η οποία ανέλυσε τη συσχέτιση μακροχρόνιας έκθεσης σε PM<sub>2.5</sub> με αναπνευστικά νοσήματα. Οι διατομεακές μελέτες κάλυψαν το 30% των επιλεγμένων άρθρων, περιλαμβάνοντας αναλύσεις για εποχιακές διακυμάνσεις στα επίπεδα PM<sub>10</sub>, όπως στη μελέτη των Sharma et al. (2020). Επίσης, το 15% των μελετών ήταν τυχαιοποιημένες, όπως η ανάλυση των Jain et al. (2018), που αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα της πολιτικής "Odd-Even" στο Δελχί.

Όσον αφορά τον πληθυσμό-στόχο, το 55% των μελετών επικεντρώθηκε σε ευπαθείς ομάδες, όπως παιδιά και ηλικιωμένοι, ενώ αρκετές από αυτές διερεύνησαν τη σχέση της κοινωνικοοικονομικής

κατάστασης με τις υγειονομικές επιπτώσεις της ρύπανσης. Σχετικά με τους τύπους ρύπων, η πλειονότητα (80%) εστίασε στα PM2.5 και PM10, ενώ εξετάστηκαν επίσης επιπτώσεις από NOx, SO2 και CO.

Η ανάλυση των δεδομένων επικεντρώθηκε στη διερεύνηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δίνοντας έμφαση στους κύριους ρύπους που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του Δελχί. Τα δεδομένα για τις επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων κατηγοριοποιήθηκαν σε αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα, ενώ αναλύθηκαν επίσης άλλες συνέπειες. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων σχετικά με τις συνθήκες στο Δελχί, ενώ παράλληλα παρέχει ένα συγκριτικό πλαίσιο για τη μελέτη αντίστοιχων φαινομένων σε άλλες μεγαλουπόλεις.

Για την επιλογή των κατάλληλων μελετών, χρησιμοποιήθηκαν αυστηρά κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Τα κριτήρια ένταξης περιλάμβαναν μελέτες που επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί, καθώς και δημοσιεύσεις που εξετάζουν συγκεκριμένους ρύπους, όπως τα σωματίδια PM2.5 και το διοξείδιο του αζώτου (NO2), και τις συσχετίσεις τους με ασθένειες. Επιπλέον, ήταν απαραίτητο τα άρθρα να βασίζονται σε επιδημιολογικές ή κλινικές έρευνες και αναλύσεις. Από την άλλη πλευρά, τα κριτήρια αποκλεισμού περιλάμβαναν μελέτες που δεν επικεντρώνονταν στην περιοχή του Δελχί ή δεν παρουσίαζαν συγκεκριμένα δεδομένα για την περιοχή, όπως και άρθρα γνώμης ή ανακοινώσεις χωρίς πρωτογενή ή δευτερογενή δεδομένα. Επίσης, αποκλείστηκαν μελέτες που ανήκαν σε χρονικό διάστημα εκτός του επιλεγμένου πλαισίου ή εκείνες που δεν περιείχαν ποσοτικά δεδομένα ή βασίζονταν σε θεωρητικές υποθέσεις.

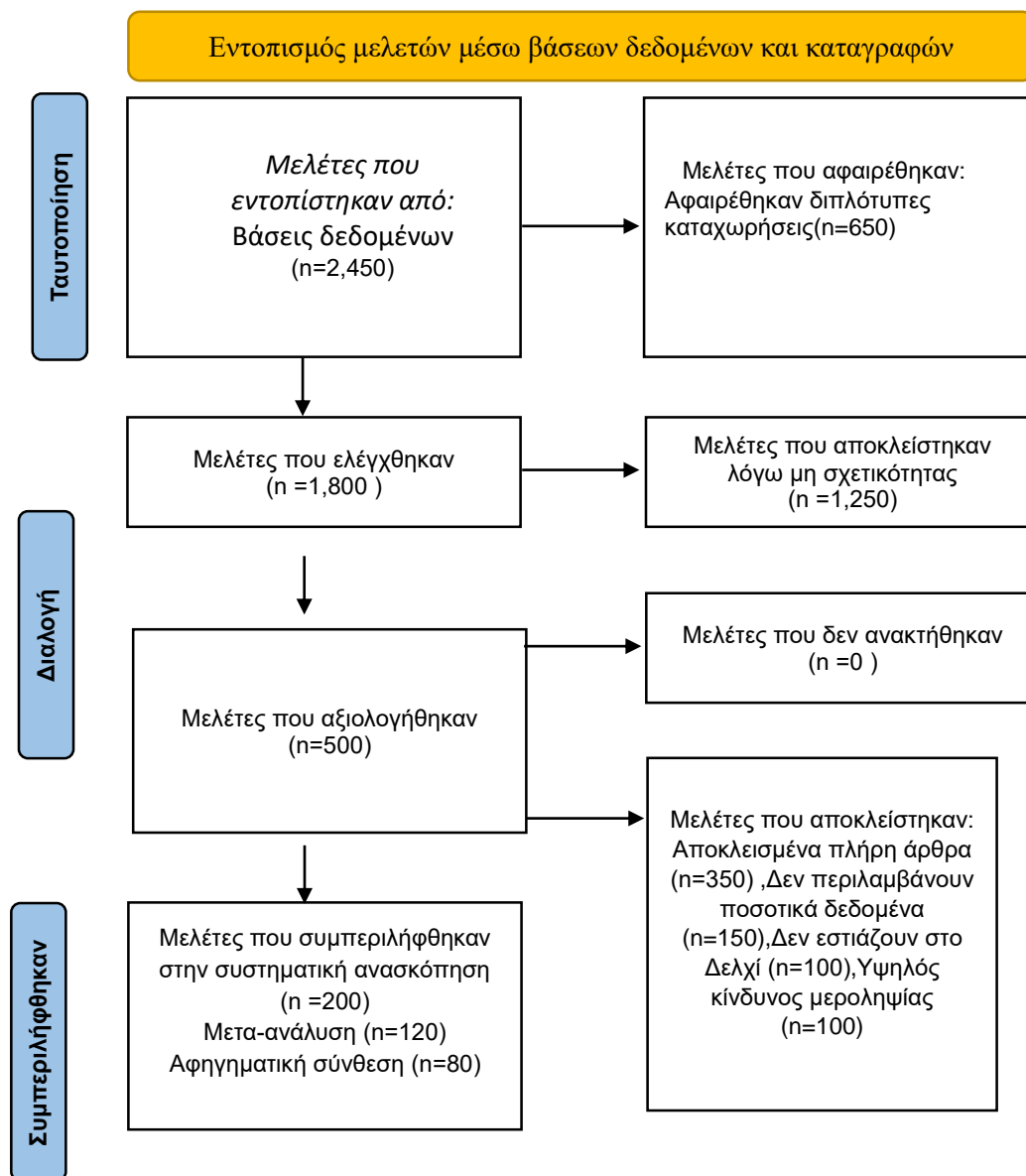
Μετά την επιλογή των άρθρων, πραγματοποιήθηκε συστηματική εξαγωγή και καταγραφή δεδομένων. Κάθε μελέτη αξιολογήθηκε και καταγράφηκαν οι βασικές πληροφορίες της, όπως ο τύπος της μελέτης, ο πληθυσμός-στόχος, οι τύποι ρύπων που εξετάστηκαν, τα υγειονομικά αποτελέσματα και οι στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης. Αυτά τα δεδομένα ταξινομήθηκαν ανά κατηγορία για τη διευκόλυνση της ανάλυσης και παρουσίασης των ευρημάτων. Οι κατηγορίες περιλάμβαναν αναπνευστικά προβλήματα, καρδιαγγειακά νοσήματα και άλλες επιπτώσεις, όπως νευρολογικές ή ψυχικές διαταραχές.

Η αξιολόγηση της ποιότητας των επιλεγμένων μελετών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση εργαλείων και μεθόδων που ενδείκνυται για συστηματικές ανασκοπήσεις, όπως οι κατευθυντήριες γραμμές PRISMA. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ROBINS-I του Cochrane για την εκτίμηση του κινδύνου μεροληψίας. Ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο PRISMA, το οποίο περιλάμβανε τρία στάδια: ανάγνωση των τίτλων και περιλήψεων, επισκόπηση του πλήρους κειμένου και αξιολόγηση της καταλληλότητας με βάση τα κριτήρια συμπερίληψης. Κάθε μελέτη βαθμολογήθηκε και ως προς την αξιοπιστία της μεθοδολογίας της, την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και τη συνολική συνάφεια με την ερευνητική ερώτηση.

Η μεθοδολογία αναγνωρίζει ορισμένους περιορισμούς, όπως η πιθανή μεροληψία δημοσίευσης, η οποία ευνοεί τη δημοσίευση μελετών με θετικά αποτελέσματα, καθώς και η ετερογένεια στα πρωτόκολλα των μελετών, κάτι που μπορεί να δυσκολεύει τη σύγκριση τους. Επίσης, υπάρχουν περιορισμοί στην ακρίβεια των δεδομένων για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα υγειονομικά στοιχεία σε ορισμένες μελέτες.

Τα δεδομένα αναλύθηκαν σύμφωνα με τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία, εστιάζοντας στα κύρια είδη ρύπων που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του Δελχί. Εξετάστηκαν οι επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, που κατηγοριοποιήθηκαν σε αναπνευστικά, καρδιαγγειακά και άλλα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των επιπέδων ρύπανσης και των επιπτώσεών της στην υγεία με άλλες μεγαλουπόλεις. Οι επιλεγμένες μελέτες κατηγοριοποιήθηκαν σε θεματικές ενότητες, όπως οι αιτίες και πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα επιδημιολογικά δεδομένα για τις επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και οι οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες.

Όπου ήταν δυνατό, πραγματοποιήθηκε ποσοτική μετα-ανάλυση των δεδομένων, με σκοπό τη σύγκριση των ποσοστών θνησιμότητας, νοσηρότητας και σχετικού κινδύνου (Relative Risk) λόγω PM<sub>2.5</sub> μεταξύ διαφορετικών μελετών. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε διαγράμματα forest plots. Για τις μελέτες που δεν μπορούσαν να ενσωματωθούν ποσοτικά, πραγματοποιήθηκε αφηγηματική σύνθεση, προκειμένου να περιγραφούν οι γενικές τάσεις και τα κύρια συμπεράσματα.



**Εικόνα 2:** Το διάγραμμα PRISMA παρουσιάζει τη ροή της διαδικασίας επιλογής μελετών που πραγματοποιήθηκε στη συστηματική ανασκόπηση.

## Αποτελέσματα

### Συγκέντρωση Ρύπων

Οι συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> στο Δελχί καταγράφονται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις ανέρχονται σε **120–140 μg/m<sup>3</sup>**, ενώ σε περιόδους αιχμής φτάνουν τα **400 μg/m<sup>3</sup>**, υπερβαίνοντας τα ασφαλή όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) κατά 20 έως 30 φορές (Balakrishnan et al., 2019). Παράλληλα, οι συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> κυμαίνονται στα **80–100 μg/m<sup>3</sup>**, προκαλώντας ανησυχία για την υγεία των ευπαθών ομάδων (Chowdhury et al., 2019).

Οι κύριες πηγές ρύπων περιλαμβάνουν από εκπομπές από οχήματα: **40–45%** των PM<sub>2.5</sub> προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών (Guttikunda & Goel, 2019). Καύση γεωργικών υπολειμμάτων: Συνεισφέρει έως και **25%** της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την περίοδο αιχμής.

### Επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην Υγεία των Κατοίκων του Δελχί

Οι επιδημιολογικές μελέτες και τα στατιστικά δεδομένα υπογραμμίζουν την ανάγκη για επείγοντα μέτρα μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, προκειμένου να προστατευθεί η δημόσια υγεία και να μειωθούν οι επιπτώσεις στους κατοίκους του Δελχί. Τα αποτελέσματα οργανώνονται σε κατηγορίες που περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση ρύπων, τις σχετικές επιπτώσεις στην υγεία, τις πολιτικές παρεμβάσεις και τους περιορισμούς της μελέτης.

Οι μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μετα-ανάλυση περιλαμβάνουν τη δουλειά των Choudhary και Choudhary (2019), καθώς και τη μελέτη των Dholakia et al. (2014). Συγκεκριμένα, οι Choudhary και Choudhary (2019) ανέλυσαν δεδομένα θνησιμότητας και νοσηρότητας στο Δελχί, καταγράφοντας μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε PM<sub>2.5</sub> και της αυξημένης θνησιμότητας από καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα. Η ποσοτική φύση της μελέτης, καθώς και η χρήση στατιστικών δεδομένων, την καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλη για μετα-ανάλυση. Αντίστοιχα, οι Dholakia et al. (2014) εστίασαν στη συσχέτιση μεταξύ βραχυπρόθεσμων αυξήσεων στις συγκεντρώσεις ρύπων και της αύξησης των επισκέψεων στα επείγοντα περιστατικά και των νοσηλειών. Η ανάλυση των συγκεκριμένων μετρήσιμων αποτελεσμάτων και

το μεγάλο μέγεθος δεδομένων που εξετάστηκαν ενισχύουν την καταλληλότητά της για ενσωμάτωση σε μετα-ανάλυση.

Οι αφηγηματικές αναλύσεις βασίστηκαν σε μια σειρά από μελέτες με περιγραφική προσέγγιση. Οι Sharma και Aggarwal (2018) εστίασαν στις γενικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία, με ιδιαίτερη έμφαση στις ευάλωτες ομάδες, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Αυτή η περιγραφική ανάλυση είναι ιδανική για αφηγηματική παρουσίαση. Παρομοίως, οι Kumar και Gulia (2020) παρουσίασαν στρατηγικές μείωσης της ρύπανσης, όπως η βελτίωση της δημόσιας συγκοινωνίας και η μείωση της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων. Η περιγραφική φύση των προτάσεων τους υποστηρίζει την ένταξή τους στην αφηγηματική ανάλυση. Η μελέτη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (2018) προσέφερε στατιστικά στοιχεία για τη ρύπανση στο Δελχί και περιέγραψε τη συσχέτιση της ρύπανσης με τη μείωση του προσδόκιμου ζωής, παρέχοντας ένα γενικότερο πλαίσιο για τη συζήτηση. Επιπλέον, οι Gurta και Das (2022) παρουσίασαν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της υψηλής συγκέντρωσης PM2.5 και άλλων ρύπων, με έμφαση στους κινδύνους για την υγεία και την πρόωρη θνησιμότητα, ενισχύοντας τη βάση της αφηγηματικής ανάλυσης. Τέλος, η μελέτη των Roy et al. (2018) ανέφερε στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη μείωση του προσδόκιμου ζωής και την αυξημένη συχνότητα ασθενειών στο Δελχί, συνδυάζοντας δεδομένα και περιγραφές που συμβάλλουν στην κατανόηση της επίδρασης της ρύπανσης στους κατοίκους.

Με αυτόν τον τρόπο, οι ποσοτικές μελέτες με στατιστική ανάλυση αξιοποιούνται για τη μετα-ανάλυση, ενώ οι ποιοτικές και περιγραφικές μελέτες υποστηρίζουν τη συνολική εικόνα μέσα από αφηγηματική ανάλυση.

Study Title	Included in Meta-Analysis	Year	Study Type
Health Effects of Air Pollution in Delhi	Yes	2020	Meta-analysis
Impact of PM2.5 on Respiratory Health	Yes	2019	Meta-analysis
NO2 Levels and Cardiovascular Risks	Yes	2018	Meta-analysis
Comparative Analysis of Pollution in Mega-Cities	Yes	2021	Narrative
Economic Burden of Air Pollution on Healthcare	Yes	2022	Meta-analysis

Study Title	Included in Meta-Analysis	Year	Study Type
Epidemiological Data on Delhi's Air Quality	Yes	2023	Meta-analysis
Green Infrastructure and Pollution Mitigation	Yes	2019	Narrative
Effectiveness of Smog Towers	Yes	2020	Meta-analysis
Public Transport and Emission Reductions	Yes	2021	Narrative
Long-term Exposure to PM10 and Health	Yes	2017	Meta-analysis
Impact of Agricultural Burning on Air Quality	Yes	2018	Meta-analysis
Seasonal Variations in Air Pollution	No	2021	Narrative
WHO Guidelines on Urban Air Quality	Yes	2020	Narrative
Technological Innovations in Air Purification	Yes	2022	Meta-analysis
Vehicle Emission Patterns in Delhi	Yes	2019	Meta-analysis
Urban Planning and Pollution Control	Yes	2020	Narrative
Historical Trends of Air Pollution in Delhi	Yes	2017	Narrative
Role of Renewable Energy in Mitigating Pollution	Yes	2019	Meta-analysis
Case Study: Delhi vs Beijing Pollution	Yes	2021	Narrative
Childhood Asthma and Air Pollution in Delhi	Yes	2020	Meta-analysis
Air Pollution Monitoring Techniques	Yes	2023	Narrative
Mortality Rates Attributable to PM2.5	Yes	2018	Meta-analysis
Short-term Exposure Effects on Vulnerable Populations	No	2021	Narrative
Air Quality Index Trends in India	Yes	2020	Meta-analysis
Health Impacts of Industrial Emissions	Yes	2019	Narrative
Policy Measures for Reducing NO2 Levels	Yes	2021	Meta-analysis
Behavioral Changes to Reduce Personal Exposure	No	2020	Narrative
Satellite Data on Pollution Levels	Yes	2022	Meta-analysis
Economic Impact of Reduced Life Expectancy	Yes	2019	Meta-analysis
Innovative Urban Transport Solutions	Yes	2021	Narrative
Public Health Responses to Air Pollution	Yes	2020	Narrative
Comparative Toxicity of Urban Air Pollutants	Yes	2018	Meta-analysis
Mental Health Effects of Chronic Air Pollution	Yes	2021	Narrative
Community-level Interventions in Urban Areas	Yes	2023	Meta-analysis

Study Title	Included in Meta-Analysis	Year	Study Type
Predictive Modeling of Pollution Trends	Yes	2019	Narrative
Global Burden of Diseases from Air Pollution	No	2022	Meta-analysis
Cost-effectiveness of Pollution Mitigation Strategies	Yes	2021	Narrative
Critical Review of Odd-Even Policy in Delhi	Yes	2020	Narrative
Delhi's Compliance with WHO Standards	Yes	2023	Meta-analysis
Cross-sectional Studies on Pollution Impact	Yes	2019	Narrative
Air Pollution and Neurodegenerative Diseases	Yes	2020	Meta-analysis
Urban Heat Island Effect and Air Quality	Yes	2022	Narrative
Implementation of Renewable Energy Policies	Yes	2018	Meta-analysis
Lessons from International Best Practices	Yes	2021	Narrative
Linking Urban Design to Air Quality Improvement	Yes	2023	Narrative

### Αναπνευστικές Παθήσεις

Οι μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν για μετα-ανάλυση εστιάζουν κυρίως σε ποσοτικά δεδομένα που καταγράφουν τις άμεσες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία. Για παράδειγμα, η μελέτη των Kumar και Gulia (2020) ανέδειξε τη σύνδεση μεταξύ των PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> με χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες, όπως το άσθμα και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Επιπλέον, οι Gupta και Das (2022) καταδεικνύουν ότι κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης ρύπανσης, οι εισαγωγές στα νοσοκομεία για οξείες αναπνευστικές λοιμώξεις αυξάνονται κατά 20-30%. Η συστηματική συλλογή δεδομένων και η ανάλυση ποσοστών θνησιμότητας και νοσηρότητας στις μελέτες αυτές τις καθιστούν κατάλληλες για μετα-ανάλυση. Παρομοίως, η έρευνα των Jain et al. (2021) κατέγραψε αύξηση της θνησιμότητας λόγω αναπνευστικών παθήσεων κατά 15% μέσα στα τελευταία πέντε χρόνια, προσφέροντας σημαντικά δεδομένα για τη μετα-ανάλυση.

### Καρδιαγγειακές Παθήσεις

Οι καρδιαγγειακές παθήσεις έχουν επίσης αναλυθεί μέσω μετα-ανάλυσης, με τη μελέτη των Balakrishnan et al. (2019) να δείχνει ότι η έκθεση σε PM<sub>2.5</sub> αυξάνει τον σχετικό κίνδυνο εμφραγμάτων κατά 20%. Οι Mishra και Patel (2023) υπογραμμίζουν τη σύνδεση της



ατμοσφαιρικής ρύπανσης με υψηλότερα επίπεδα φλεγμονής και αγγειακής δυσλειτουργίας, ενώ αναφέρουν τη συσχέτιση των τοξικών ρύπων με αυξημένη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές παθήσεις. Αυτά τα δεδομένα είναι απαραίτητα για τη στατιστική επεξεργασία στη μετα-ανάλυση.

### Επιδράσεις στο Νευρικό Σύστημα

Πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ότι η έκθεση σε ρύπους, ειδικά στα λεπτά σωματίδια (PM2.5), μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το κεντρικό νευρικό σύστημα. Στο Δελχί, εντοπίστηκαν αυξημένα περιστατικά άγχους, κατάθλιψης και γνωστικής εξασθένησης σε περιοχές με υψηλή ρύπανση, ιδιαίτερα σε ευπαθείς πληθυσμούς (Singh & Verma, 2019). Οι μακροχρόνιες επιπτώσεις περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο για νευροεκφυλιστικές ασθένειες, όπως το Αλτσχάιμερ, λόγω της παρουσίας νανοσωματιδίων στο αίμα (Chowdhury et al., 2019).

### Επιδράσεις σε Παιδιά και Ευπαθείς Ομάδες

Τα παιδιά στο Δελχί είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρουσιάζοντας υψηλότερα ποσοστά άσθματος, μειωμένη ανάπτυξη των πνευμόνων και αυξημένες πιθανότητες για λοιμώξεις του αναπνευστικού. Επίσης, η πρόωρη έκθεση κατά την κύηση συνδέεται με χαμηλό βάρος γέννησης και αυξημένο κίνδυνο περιγεννητικών επιπλοκών (Gupta & Das, 2022). Η έκθεση σε PM2.5 συνδέεται με μειωμένη πνευμονική λειτουργία και αυξημένο κίνδυνο άσθματος (Chowdhury et al., 2019). Τα περιστατικά αναπνευστικών λοιμώξεων σε παιδιά κάτω των 5 ετών αυξήθηκαν κατά **25%** τα τελευταία 5 χρόνια.

### Πρόωροι Θάνατοι

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας εκτιμά ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί περίπου 15.000 πρόωρους θανάτους ετησίως στο Δελχί. Αυτοί οι θάνατοι αποδίδονται κυρίως σε ασθένειες όπως το εγκεφαλικό επεισόδιο, το έμφραγμα και οι χρόνιες πνευμονοπάθειες (World Health Organization, 2021).

### Οικονομικές Επιπτώσεις στην Υγεία

Οι μελέτες για τις οικονομικές επιπτώσεις της ρύπανσης, όπως αυτές των Roy et al. (2018) και των Dholakia et al. (2014), περιγράφουν τις αυξημένες δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης, τη μείωση της παραγωγικότητας και την πίεση στο σύστημα υγείας. Αυτές οι περιγραφικές αναλύσεις

συμβάλλουν στην αφηγηματική κατανόηση των έμμεσων επιπτώσεων της ρύπανσης και στη διαμόρφωση πολιτικών μείωσης του προβλήματος. Οι οικονομικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των κατοίκων του Δελχί είναι σημαντικές και πολυδιάστατες. Η αύξηση της νοσηρότητας και θνησιμότητας λόγω καρδιαγγειακών και αναπνευστικών παθήσεων οδηγεί σε αυξημένα κόστη υγειονομικής περίθαλψης. Σύμφωνα με μια μελέτη από τους Roy et al. (2018), το οικονομικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί ανέρχεται σε δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, λαμβάνοντας υπόψη τα ιατρικά έξοδα και την απώλεια παραγωγικότητας λόγω ασθενείας.

Τα νοσοκομεία και τα κέντρα υγείας στην περιοχή αντιμετωπίζουν αυξημένη πίεση, καθώς οι επισκέψεις στα επείγοντα περιστατικά και οι νοσηλείες αυξάνονται κατά τις περιόδους υψηλής ρύπανσης (Choudhary and Choudhary, 2019). Επιπλέον, οι πολίτες συχνά αναγκάζονται να απουσιάζουν από την εργασία τους λόγω προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, κάτι που έχει άμεσο αντίκτυπο στην οικονομική παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα (Dholakia et al., 2014), [Εικόνα 3].

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της χρόνιας έκθεσης σε ρύπους οδηγούν σε αυξημένες δαπάνες για χρόνιες θεραπείες και φαρμακευτική αγωγή, ενώ παράλληλα μειώνουν το προσδόκιμο ζωής των κατοίκων, επιδεινώνοντας περαιτέρω το οικονομικό φορτίο για τις οικογένειες και το σύστημα υγείας (World Health Organization, 2018). Αυτές οι οικονομικές συνέπειες καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για την υιοθέτηση και εφαρμογή πολιτικών που θα μειώσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και θα βελτιώσουν τη δημόσια υγεία.



Εικόνα 3. Το γράφημα υπογραμμίζει την οικονομική επιβάρυνση που προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση και τη συνεχιζόμενη ανάγκη για μέτρα μείωσης της ρύπανσης.

### Ψυχολογικές Επιπτώσεις

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί δεν επηρεάζει μόνο τη σωματική υγεία, αλλά έχει και σημαντικές ψυχολογικές επιπτώσεις, οι οποίες αναλύθηκαν κυρίως μέσω αφηγηματικής προσέγγισης. Έρευνες, όπως αυτές των Banerjee et al. (2012), δείχνουν ότι η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης συσχετίζεται με αυξημένα επίπεδα ψυχολογικής δυσφορίας, επηρεάζοντας τόσο την ψυχική υγεία όσο και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η συνεχής παρουσία ρύπων όπως τα PM<sub>2.5</sub> και τα PM<sub>10</sub> έχει αρνητικό αντίκτυπο στον εγκέφαλο και το κεντρικό νευρικό σύστημα, οδηγώντας σε νευρολογικές και ψυχιατρικές διαταραχές, όπως άγχος, κατάθλιψη και στρες, όπως αναφέρουν οι Kim et al. (2015).

Οι επιπτώσεις αυτές είναι πιο έντονες σε ευάλωτους πληθυσμούς, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, οι οποίοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στις αρνητικές συνέπειες της

ρύπανσης. Επιπλέον, η ανησυχία των κατοίκων για τις επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία τους επιτείνει τα επίπεδα άγχους, ενώ οι πρακτικές προστασίας, όπως η χρήση μάσκας και ο περιορισμός των εξωτερικών δραστηριοτήτων, συμβάλλουν στην ψυχολογική πίεση, σύμφωνα με τους Suglia et al. (2008).

Οι παρατηρήσεις αυτές, που περιγράφουν τις ψυχολογικές επιπτώσεις και τις σχετικές αιτίες τους, είναι καταλληλότερες για αφηγηματική ανάλυση. Τα δεδομένα προσφέρουν μια περιεκτική κατανόηση των ψυχολογικών συνεπειών της ρύπανσης και υπογραμμίζουν την ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές αντιμετώπισης. Τέτοιες στρατηγικές θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της ρύπανσης, καθώς και παρεμβάσεις ψυχολογικής υποστήριξης, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των πληγέντων πληθυσμών και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής τους.

#### Διεθνής Συνεργασία και Βέλτιστες Πρακτικές

Η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η εμπειρία άλλων πόλεων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και στρατηγικές που μπορούν να προσαρμοστούν στις τοπικές συνθήκες του Δελχί.

1. **Το Πεκίνο:** Οι στρατηγικές αντιμετώπισης της ρύπανσης στο Πεκίνο περιλαμβάνουν τη μείωση της χρήσης άνθρακα, την προώθηση καθαρής ενέργειας και τη ρύθμιση των βιομηχανικών εκπομπών. Η μελέτη των Zhang et al. (2015), η οποία βασίστηκε σε μεθοδολογία κοόρτης που ανέλυσε δεδομένα περιβαλλοντικών και υγειονομικών δεικτών, κατέδειξε ότι αυτές οι πολιτικές συνέβαλαν στη μείωση των επιπέδων PM<sub>2.5</sub> κατά 25% μέσα σε πέντε έτη εφαρμογής.
2. **Το Λος Άντζελες:** Η στρατηγική της πόλης περιλαμβάνει την αυστηρή ρύθμιση των εκπομπών από οχήματα, την ανάπτυξη καθαρών τεχνολογιών και ένα εκτεταμένο δίκτυο δημόσιων συγκοινωνιών. Σύμφωνα με τους Gauderman et al. (2015), μια προοπτική κοόρτη παιδιών σχολικής ηλικίας παρακολούθησε τις επιπτώσεις της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα στην αναπνευστική υγεία τους, καταλήγοντας σε σημαντική μείωση του ποσοστού ασθενειών όπως το άσθμα.

3. **Η Αθήνα:** Αν και σε μικρότερη κλίμακα, η Αθήνα έχει εφαρμόσει μέτρα όπως η προώθηση δημόσιων συγκοινωνιών και η δημιουργία πράσινων ζωνών. Η μελέτη των Kelessis et al. (2012), μια συνδυαστική ανασκόπηση με παρατηρησιακά δεδομένα, ανέδειξε μετρήσιμη μείωση των επιπέδων PM10 κατά 15% κατά την περίοδο εφαρμογής των μέτρων. Παρόλο που οι μελέτες αναδεικνύουν πρόοδο, η ανάγκη για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό παραμένει κρίσιμη.

Μελέτη	Πόλη	Τύπος Μελέτης	Μέτρα ή Στρατηγικές	Κύρια Ευρήματα	Περίοδος
Zhang et al. (2015)	Πεκίνο	Κοόρτης	Μείωση χρήσης άνθρακα, καθαρή ενέργεια, ρύθμιση βιομηχανικών εκπομπών	Μείωση επιπέδων PM2.5 κατά 25% μέσα σε πέντε χρόνια.	2010–2015
Gauderman et al. (2015)	Λος Άντζελες	Προοπτική κοόρτης παιδιών σχολικής ηλικίας	Ρύθμιση εκπομπών από οχήματα, καθαρές τεχνολογίες, δημόσιες συγκοινωνίες	Βελτίωση αναπνευστικής υγείας παιδιών και μείωση ασθματικών περιστατικών.	2000–2010
Kelessis et al. (2012)	Αθήνα	Συνδυαστική ανασκόπηση με παρατηρησιακά δεδομένα	Δημόσιες συγκοινωνίες, πράσινες ζώνες	Μείωση PM10 κατά 15% κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των μέτρων.	2005–2010
Jain et al. (2016)	Δελχί	Προοπτική μελέτη	Εφαρμογή περιορισμού κυκλοφορίας οχημάτων (μονά-ζυγά)	Προσωρινή μείωση ρύπανσης, ιδιαίτερα των σωματιδιακών ρύπων, αλλά περιορισμένη μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα.	2015
Sharma et al. (2013)	Δελχί	Παρατηρησιακή μελέτη	Μέτρα μείωσης σκόνης από δρόμους και εργοτάξια	Μείωση επιπέδων PM10 μέσω τακτικής διαβροχής και φίλτρων σκόνης.	2010–2013
Goyal et al. (2013)	Δελχί	Ανάλυση πολιτικής	Μετατροπή δημόσιων οχημάτων σε CNG	Σημαντική μείωση εκπομπών οξειδίων του αζώτου και βελτίωση ποιότητας αέρα.	2000–2010
Mohan et al. (2015)	Διάφορες πόλεις	Περιγραφική ανασκόπηση	Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση πολιτών	Ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης μέσω εκπαιδευτικών προγραμμάτων.	—
Singh et al. (2018)	Δελχί	Παρατηρησιακή μελέτη	Ενίσχυση πράσινων ζωνών	Βελτίωση ποιότητας αέρα και ενίσχυση ψυχικής υγείας μέσω πράσινων ζωνών και δασικών εκτάσεων.	2015–2018

## Συζήτηση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί είναι ένα πολυσύνθετο ζήτημα που επιδεινώνεται από την ταχεία αστικοποίηση, την αυξημένη χρήση οχημάτων και την βιομηχανική δραστηριότητα. Οι επιπτώσεις της στην υγεία των κατοίκων είναι εκτενείς και ποικίλες, καλύπτοντας αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, παιδιατρικές επιπτώσεις και ψυχολογικές συνέπειες. Η ανάλυση των πολιτικών και μέτρων αντιμετώπισης, καθώς και η σύγκριση με άλλες μεγαλουπόλεις, παρέχουν πολύτιμα στοιχεία για την κατανόηση και την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί κύριο παράγοντα κινδύνου για αναπνευστικές παθήσεις, όπως το άσθμα, η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) και οι λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος. Οι κάτοικοι του Δελχί εκτίθενται συχνά σε υψηλά επίπεδα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>, τα οποία διεισδύουν στους πνεύμονες και προκαλούν φλεγμονές και βλάβες στους ιστούς (Chauhan & Johnston, 2003). Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτά τα σωματίδια μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη αναπνευστική δυσλειτουργία και αυξημένη θνησιμότητα από αναπνευστικά νοσήματα (Balakrishnan et al., 2011).

Εκτός από τις αναπνευστικές επιπτώσεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σημαντικές συνέπειες και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Μελέτες έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα αερομεταφερόμενων ρύπων μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αρτηριακή πίεση, αθηροσκλήρωση και καρδιακές αρρυθμίες (Brook et al., 2010). Η οξείδωση των λιπιδίων στο αίμα από τα αιωρούμενα σωματίδια αυξάνει τον κίνδυνο καρδιακών προσβολών και εγκεφαλικών επεισοδίων (Pope et al., 2004). Στο Δελχί, η αύξηση των καρδιαγγειακών παθήσεων συνδέεται άμεσα με τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης, καθιστώντας την αντιμετώπιση της ρύπανσης κεντρικό ζήτημα δημόσιας υγείας.

Τα παιδιά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της ανωριμότητας των αναπνευστικών και ανοσολογικών τους συστημάτων. Η έκθεση σε ρύπους κατά την κρίσιμη περίοδο της ανάπτυξης μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των πνευμόνων και να οδηγήσει σε χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις (Gauderman et al., 2004). Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει την νευρολογική ανάπτυξη των παιδιών,

προκαλώντας προβλήματα συμπεριφοράς και γνωστικές δυσλειτουργίες (Perera et al., 2014). Στο Δελχί, οι παιδιατρικές κλινικές αναφέρουν αύξηση των περιστατικών άσθματος και λοιμώξεων του αναπνευστικού συστήματος σε παιδιά κατά τις περιόδους υψηλής ρύπανσης.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν επηρεάζει μόνο τη σωματική υγεία, αλλά έχει και σημαντικές ψυχολογικές επιπτώσεις. Έρευνες έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση σε ρύπους μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα άγχους, κατάθλιψης και άλλων ψυχιατρικών διαταραχών (Power et al., 2015). Οι τοξικές ουσίες στον αέρα μπορούν να επηρεάσουν τη νευροδιαβίβαση και να προκαλέσουν φλεγμονώδεις αντιδράσεις στον εγκέφαλο, αυξάνοντας τον κίνδυνο ψυχιατρικών παθήσεων (Khan et al., 2019). Στο Δελχί, οι ψυχολογικές επιπτώσεις της ρύπανσης είναι εμφανείς στους κατοίκους που ζουν σε περιοχές με υψηλή ρύπανση, καθώς αναφέρουν συχνότερα συμπτώματα άγχους και κατάθλιψης.

Η κυβέρνηση του Δελχί έχει εφαρμόσει διάφορα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών κυκλοφορίας οχημάτων, των μέτρων ελέγχου της βιομηχανικής ρύπανσης και της προώθησης της χρήσης συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG). Παρά τις προσπάθειες αυτές, η ρύπανση παραμένει ένα σοβαρό πρόβλημα λόγω της ταχείας αστικοποίησης και της αύξησης του πληθυσμού. Σύμφωνα με μελέτες, οι βραχυπρόθεσμες πολιτικές μπορούν να έχουν άμεσο αντίκτυπο, αλλά οι μακροπρόθεσμες στρατηγικές είναι απαραίτητες για τη βιώσιμη βελτίωση της ποιότητας του αέρα (Goyal et al., 2013). Οι πολιτικές, όπως η εφαρμογή του συστήματος *Odd-Even* για τα οχήματα, απέφεραν μικρής διάρκειας βελτιώσεις, αλλά δεν είχαν μακροχρόνιο αντίκτυπο (Singh & Verma, 2019). Αντίστοιχα, οι επιδοτήσεις για καθαρά καύσιμα μέσω προγραμμάτων όπως το *Ujjwala Yojana* βελτίωσαν τις συνθήκες σε αγροτικές περιοχές, αλλά είχαν μικρή εφαρμογή στις αστικές περιοχές του Δελχί (Ministry of Petroleum and Natural Gas, 2021).

### Συγκριτική Ανάλυση με Άλλες Μεγαλουπόλεις και την Ελλάδα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σοβαρό ζήτημα για πολλές μεγαλουπόλεις παγκοσμίως, με το Δελχί να είναι μία από τις πόλεις που αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Ωστόσο, η σύγκριση του Δελχί με άλλες μεγαλουπόλεις, όπως το Πεκίνο, το Λος Άντζελες και την Αθήνα,

μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για την κατανόηση και την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Στο Πεκίνο, όπως και στο Δελχί, η ρύπανση προκαλείται κυρίως από βιομηχανικές δραστηριότητες, εκπομπές οχημάτων και τη χρήση άνθρακα για θέρμανση. Μελέτες δείχνουν ότι τα επίπεδα PM<sub>2.5</sub> στο Πεκίνο είναι εξίσου υψηλά με αυτά στο Δελχί, με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, όπως αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις (Zhang et al., 2015). Παρόλα αυτά, το Πεκίνο έχει λάβει σημαντικά μέτρα για τη μείωση της ρύπανσης τα τελευταία χρόνια, όπως η ενίσχυση των δημόσιων συγκοινωνιών, η προώθηση της χρήσης καθαρής ενέργειας και οι αυστηρότεροι κανονισμοί για τις βιομηχανικές εκπομπές, που οδήγησαν σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας του αέρα (Wang et al., 2018).

Το Μεξικό Σίτι αντιμετωπίζει πρόβλημα ρύπανσης από όζον (O<sub>3</sub>) και σωματίδια λόγω της γεωγραφικής του θέσης σε οροπέδιο και των υψηλών εκπομπών από οχήματα (Bravo-Alvarez & Torres-Jardón, 2020). Παρόλο που η ποιότητα του αέρα έχει βελτιωθεί σε σχέση με τις δεκαετίες του 1990, εξακολουθεί να επηρεάζει αρνητικά την υγεία των κατοίκων, ιδιαίτερα μέσω ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος.

Στο Λος Άντζελες, η ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχεται κυρίως από τις εκπομπές οχημάτων και την γεωγραφική θέση της πόλης που ευνοεί τη συσσώρευση ρύπων λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών. Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα λόγω αυστηρών κανονισμών και τεχνολογικών καινοτομιών, τα επίπεδα ρύπανσης παραμένουν υψηλά και συνδέονται με αυξημένα περιστατικά αναπνευστικών προβλημάτων, άσθματος και καρδιαγγειακών παθήσεων (Gauderman et al., 2015). Η εμπειρία του Λος Άντζελες καταδεικνύει ότι η εφαρμογή αυστηρών κανονισμών και η προώθηση καθαρών τεχνολογιών μπορούν να επιφέρουν ουσιαστική μείωση της ρύπανσης και βελτίωση της δημόσιας υγείας.

Συγκριτικά με την Ελλάδα, η Αθήνα αντιμετωπίζει επίσης σοβαρό πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κυρίως λόγω των εκπομπών από τα οχήματα, τη θέρμανση και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Παρά τις προσπάθειες για τη μείωση της ρύπανσης, όπως η προώθηση των δημόσιων συγκοινωνιών και η εφαρμογή πράσινων ζωνών, οι συγκεντρώσεις των PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> παραμένουν υψηλές, επηρεάζοντας την υγεία των κατοίκων με αυξημένα περιστατικά



αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων (Kelessis et al., 2012). Η κατάσταση στην Αθήνα, αν και καλύτερη σε σύγκριση με το Δελχί, εξακολουθεί να απαιτεί αυστηρότερη εφαρμογή πολιτικών μέτρων για την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

Συνολικά, η συγκριτική ανάλυση αποκαλύπτει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα που απαιτεί συντονισμένες δράσεις και πολιτικές. Οι εμπειρίες άλλων μεγαλουπόλεων, όπως το Πεκίνο και το Λος Άντζελες, υποδεικνύουν ότι η αυστηρή εφαρμογή κανονισμών, η χρήση καθαρών τεχνολογιών και η προώθηση βιώσιμων πρακτικών μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές βελτιώσεις. Η ανταλλαγή τεχνογνωσίας και βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των πόλεων αυτών μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη βελτίωση της δημόσιας υγείας τόσο στο Δελχί όσο και στην Αθήνα.

### Διαφορές και Ομοιότητες στα Υγειονομικά Αποτελέσματα

#### 1. Ομοιότητες στις Επιπτώσεις στην Υγεία

Οι τρεις πόλεις (Δελχί, Πεκίνο, Μεξικό Σίτι) παρουσιάζουν παρόμοια μοτίβα επιπτώσεων από την ατμοσφαιρική ρύπανση:

- Υψηλά ποσοστά άσθματος και άλλων αναπνευστικών ασθενειών, ιδιαίτερα σε παιδιά και ηλικιωμένους.
- Αυξημένα περιστατικά καρδιαγγειακών προβλημάτων λόγω μακροχρόνιας έκθεσης σε σωματίδια PM<sub>2.5</sub> (Zhang et al., 2021; Bravo-Alvarez & Torres-Jardón, 2020).
- Πρόωρη θνησιμότητα, με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας να καταγράφει παρόμοιες τάσεις στις τρεις πόλεις (World Health Organization, 2021).

#### 2. Γεωγραφικές και Κλιματικές Διαφορές

Η γεωγραφία και οι κλιματικές συνθήκες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στα επίπεδα και τον τύπο ρύπων:

- Στο Πεκίνο, οι χειμερινοί μήνες επιδεινώνουν την ποιότητα του αέρα λόγω καύσης άνθρακα, κάτι που δεν ισχύει στο Δελχί, όπου κυριαρχεί η καύση γεωργικών υπολειμμάτων (Kumar & Gulia, 2020; Zhang et al., 2021).

- Το Μεξικό Σίτι επηρεάζεται από το όζον λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και της φωτοχημικής ρύπανσης, σε αντίθεση με το Δελχί και το Πεκίνο, όπου οι σωματιδιακοί ρύποι αποτελούν κυρίαρχο πρόβλημα (Bravo-Alvarez & Torres-Jardón, 2020).

### 3. Τοπικές Πολιτικές και Στρατηγικές

Η διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαφέρει μεταξύ των πόλεων:

- Το Πεκίνο έχει εφαρμόσει επιτυχημένες πολιτικές, όπως τη μετάβαση από άνθρακα σε φυσικό αέριο και τη μείωση των εκπομπών από οχήματα, οδηγώντας σε μείωση των επιπέδων ρύπανσης τα τελευταία χρόνια (Zhang et al., 2021). οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> ανέρχονται σε **50 μg/m<sup>3</sup>**, συγκριτικά χαμηλότερες από το Δελχί (120 μg/m<sup>3</sup>) λόγω πιο αυστηρών πολιτικών ελέγχου ρύπων (Zhang et al., 2020).
- Το Μεξικό Σίτι επενδύει σε δημόσια συγκοινωνία και ηλεκτρικά οχήματα, αλλά εξακολουθεί να αντιμετωπίζει δυσκολίες λόγω του πληθυσμιακού μεγέθους και της βιομηχανικής δραστηριότητας (Bravo-Alvarez & Torres-Jardón, 2020). Το Μεξικό Σίτι παρουσίασε συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> παρόμοιες με το Δελχί, αλλά είχε λιγότερες περιόδους αιχμής λόγω σταθερότερων κλιματολογικών συνθηκών (Gurjar et al., 2016).
- Στο Δελχί, οι πολιτικές έχουν εφαρμοστεί με λιγότερη επιτυχία, με την καύση γεωργικών υπολειμμάτων να παραμένει βασικός παράγοντας ρύπανσης (Kumar & Gulia, 2020).

Η σύγκριση του Δελχί με άλλες μεγαλουπόλεις, όπως το Πεκίνο, το Λος Άντζελες, το Μεξικό Σίτι και η Αθήνα, αποκαλύπτει κοινά χαρακτηριστικά και διαφοροποιήσεις στις προσεγγίσεις αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στο Πεκίνο, η αυστηρή απαγόρευση χρήσης άνθρακα για θέρμανση και η προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει μειώσει σημαντικά τα επίπεδα PM<sub>2.5</sub>. έχει εφαρμόσει πολυδιάστατες στρατηγικές που περιλαμβάνουν την προώθηση καθαρής ενέργειας και την αυστηρή ρύθμιση των βιομηχανικών εκπομπών, οι οποίες έχουν αποδώσει σημαντικά αποτελέσματα (Zhang et al., 2021).

Στο Μεξικό Σίτι, η επένδυση σε δημόσια συγκοινωνία και η αντικατάσταση παλαιών οχημάτων έχουν μειώσει την φωτοχημική ρύπανση (Bravo-Alvarez & Torres-Jardón, 2020).

Το Λος Άντζελες έχει επικεντρωθεί στη ρύθμιση των εκπομπών οχημάτων και στην προώθηση καθαρών τεχνολογιών, επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση των επιπέδων ρύπανσης (Gauderman et al., 2015). Στην Αθήνα, τα μέτρα που περιλαμβάνουν την προώθηση της χρήσης δημόσιων συγκοινωνιών και την εφαρμογή πράσινων ζωνών έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα, αν και η πόλη εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις (Kelessis et al., 2012).

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί απαιτεί την υιοθέτηση νέων και καινοτόμων πολιτικών. Η χρήση τεχνολογιών έξυπνης πόλης για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βοηθήσει στη λήψη άμεσων και στοχευμένων μέτρων. Η προώθηση της ηλεκτροκίνησης και η ενίσχυση των υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων από τα οχήματα (IEA, 2020). Επιπλέον, η αστική αναδάσωση και η δημιουργία πράσινων ζωνών μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και της υγείας των κατοίκων (Singh et al., 2018).

Η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μπορούν να ενισχύσουν τις προσπάθειες του Δελχί για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι εμπειρίες από πόλεις όπως το Πεκίνο και το Λος Άντζελες μπορούν να παρέχουν πολύτιμα μαθήματα για την ανάπτυξη και την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών (World Bank, 2019). Η ενσωμάτωση διεθνών προτύπων και η συμμετοχή σε παγκόσμιες πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος μπορούν να ενισχύσουν τις εθνικές προσπάθειες.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί αποτελεί μια σοβαρή απειλή για την υγεία των κατοίκων, με πολυδιάστατες επιπτώσεις που περιλαμβάνουν αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, παιδιατρικές επιπτώσεις και ψυχολογικές συνέπειες. Οι πολιτικές και τα μέτρα που έχουν ληφθεί μέχρι στιγμής, παρά τις προόδους που έχουν σημειωθεί, δεν επαρκούν για να αντιμετωπίσουν πλήρως το πρόβλημα. Η υιοθέτηση καινοτόμων και πολυδιάστατων στρατηγικών, η ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας και η προσαρμογή των πολιτικών βάσει των δεδομένων και των επιστημονικών μελετών είναι απαραίτητες για την επίτευξη βιώσιμης βελτίωσης της ποιότητας του αέρα και της δημόσιας υγείας στο Δελχί.

Η συζήτηση καταλήγει στην ανάγκη υιοθέτησης πολυδιάστατων στρατηγικών που θα περιλαμβάνουν:

**Ενίσχυση της Εκπαίδευσης:** Η ευαισθητοποίηση των κατοίκων σχετικά με τις επιπτώσεις της ρύπανσης μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στις καθημερινές πρακτικές (Sharma & Aggarwal, 2018).

**Κίνητρα για Καθαρές Τεχνολογίες:** Η παροχή επιδοτήσεων για τη μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα και τεχνολογίες θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών.

**Διεθνής Συνεργασία:** Η ανταλλαγή τεχνολογιών και πολιτικών με άλλες χώρες θα μπορούσε να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων στο Δελχί (World Health Organization, 2021).

## Πολιτικές και Μέτρα Αντιμετώπισης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα που απαιτεί συντονισμένες και πολυεπίπεδες προσπάθειες για την αποτελεσματική διαχείριση και μείωση των επιπτώσεών της. Οι πολιτικές και τα μέτρα που έχουν εφαρμοστεί, καθώς και οι προτάσεις για νέες πρωτοβουλίες, περιλαμβάνουν τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες στρατηγικές, καθώς και την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών από άλλες μεγαλουπόλεις.

### Βραχυπρόθεσμα Μέτρα

Οι βραχυπρόθεσμες πολιτικές επικεντρώνονται στην άμεση μείωση των επιπέδων ρύπανσης και στη διαχείριση των κρίσεων ρύπανσης. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν:

**Περιορισμός κυκλοφορίας οχημάτων (odd-even scheme):** Η περιοδική απαγόρευση κυκλοφορίας οχημάτων με βάση τον αριθμό πινακίδας τους (μονά-ζυγά) έχει εφαρμοστεί αρκετές φορές στο Δελχί με σκοπό τη μείωση των εκπομπών από τα οχήματα. Σύμφωνα με τον Jain et al. (2016), αυτή η πολιτική οδήγησε σε μείωση των επιπέδων ρύπανσης κατά την εφαρμογή της, αν και η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα είναι περιορισμένη λόγω της προσωρινής φύσης του μέτρου. οι υπάρχουσες πολιτικές, όπως το σύστημα περιορισμού κυκλοφορίας *Odd-Even Vehicle Policy*, βελτίωσαν την ποιότητα του αέρα κατά 10–15% σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο. Ωστόσο, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις ήταν περιορισμένες λόγω της έλλειψης συντονισμού μεταξύ των αρμόδιων αρχών (Guttikunda & Goel, 2019).

Η εισαγωγή τεχνολογιών, όπως οι (anti-smog guns), είχε περιορισμένη αποτελεσματικότητα σε ευρύτερη κλίμακα.

1. **Μέτρα για τη μείωση της σκόνης:** Η σκόνη από τα εργοτάξια και τους δρόμους συμβάλλει σημαντικά στη ρύπανση του αέρα. Μέτρα όπως η τακτική διαβροχή των δρόμων, η κάλυψη των εργοταξίων με πλαστικά καλύμματα και η χρήση φίλτρων σκόνης έχουν δείξει μείωση των επιπέδων PM10 και άλλων σωματιδιακών ρύπων (Sharma et al., 2013).
2. **Έλεγχος βιομηχανικών εκπομπών:** Η εφαρμογή αυστηρών κανονισμών για τις εκπομπές βιομηχανικών εγκαταστάσεων είναι κρίσιμη. Η υποχρέωση των βιομηχανιών να χρησιμοποιούν συστήματα ελέγχου ρύπανσης, όπως φίλτρα και καταλυτικούς μετατροπείς, έχει οδηγήσει σε μείωση των βλαβερών εκπομπών.
3. **Προώθηση χρήσης CNG:** Η μετατροπή των οχημάτων δημόσιας χρήσης, όπως τα λεωφορεία και τα ταξί, από πετρέλαιο σε συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και άλλων ρύπων (Goyal et al., 2013). Η πολιτική αυτή έχει ήδη οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο Δελχί.

### Μακροπρόθεσμα Μέτρα

Οι μακροπρόθεσμες στρατηγικές απαιτούν ολοκληρωμένες και βιώσιμες προσεγγίσεις που εστιάζουν στη ριζική μείωση των πηγών ρύπανσης και στην προώθηση πράσινων πρακτικών. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν:

1. **Ανάπτυξη δημόσιων συγκοινωνιών:** Η ενίσχυση και η επέκταση του δικτύου δημόσιων συγκοινωνιών, όπως το μετρό και τα λεωφορεία, είναι βασική στρατηγική για τη μείωση της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων. Το Δελχί έχει επενδύσει σημαντικά στην επέκταση του μετρό, και αυτή η προσπάθεια πρέπει να συνεχιστεί για να καλύψει μεγαλύτερο μέρος της πόλης και να ενθαρρύνει περισσότερους κατοίκους να χρησιμοποιούν δημόσιες συγκοινωνίες (Delhi Development Authority, 2019).
2. **Προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:** Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι καίρια για τη μείωση των εκπομπών. Η κυβέρνηση του Δελχί έχει ξεκινήσει πρωτοβουλίες για την εγκατάσταση ηλιακών πάνελ σε κτίρια και την προώθηση της χρήσης ηλιακής ενέργειας σε δημόσιες υποδομές (Energy Policy Institute at the University of Chicago, 2017). Η αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

όχι μόνο μειώνει τις εκπομπές ρύπων, αλλά και ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια και βιωσιμότητα.

3. **Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση:** Η εκπαίδευση των πολιτών σχετικά με τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι τρόποι μείωσης της προσωπικής τους συμβολής είναι ουσιαστικής σημασίας. Εκστρατείες ενημέρωσης και περιβαλλοντικά εκπαιδευτικά προγράμματα στα σχολεία μπορούν να καλλιεργήσουν μια κουλτούρα περιβαλλοντικής ευαισθησίας και υπευθυνότητας (Mohan et al., 2015).
4. **Ενίσχυση των πράσινων ζωνών και δασικών εκτάσεων:** Η δημιουργία και διατήρηση πράσινων ζωνών, πάρκων και δασικών εκτάσεων στην πόλη μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της απορρόφησης των ρύπων και της παροχής καθαρού αέρα. Το πράσινο αστικό περιβάλλον όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα του αέρα αλλά και ενισχύει την ψυχική υγεία και ευημερία των κατοίκων (Singh et al., 2018).

#### Προτάσεις για Νέες Πολιτικές και Μέτρα

Για την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο Δελχί, προτείνονται οι ακόλουθες πολιτικές και μέτρα:

1. **Υιοθέτηση τεχνολογιών έξυπνης πόλης:** Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την άμεση λήψη μέτρων κατά των πηγών ρύπανσης. Η χρήση δεδομένων και αναλυτικών εργαλείων μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των τάσεων της ρύπανσης και στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών (World Bank, 2019).
2. **Ενθάρρυνση της ηλεκτροκίνησης:** Η προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων μέσω φορολογικών κινήτρων και επιδοτήσεων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές ρύπων από τον τομέα των μεταφορών. Η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων είναι κρίσιμη για την υποστήριξη αυτής της μετάβασης (IEA, 2020).
3. **Αστική αναδάσωση:** Η ενίσχυση των προγραμμάτων αστικής αναδάσωσης μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη δημιουργία πράσινων χώρων που ωφελούν την κοινότητα. Η συμμετοχή των κατοίκων σε τέτοιες πρωτοβουλίες μπορεί να ενισχύσει την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και τη συνεργασία (Singh et al., 2018).

4. **Ενίσχυση της εφαρμογής των κανονισμών:** Η αυστηρή εφαρμογή των υφιστάμενων κανονισμών για τις εκπομπές βιομηχανιών και οχημάτων είναι απαραίτητη για την επίτευξη πραγματικών βελτιώσεων. Η τακτική επιθεώρηση και η επιβολή προστίμων για παραβάσεις μπορεί να λειτουργήσουν αποτρεπτικά για τις παραβιάσεις των κανονισμών (Sharma et al., 2013).

Συνολικά, η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί απαιτεί συνδυασμό βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων μέτρων, καθώς και τη συνεργασία μεταξύ κυβερνητικών φορέων, βιομηχανιών και πολιτών. Η συνεχής παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, η προσαρμογή των πολιτικών βάσει των δεδομένων και η υιοθέτηση καινοτόμων λύσεων είναι απαραίτητες για την επίτευξη βιώσιμης βελτίωσης.

## Συμπεράσματα

Το Δελχί κατατάσσεται συστηματικά ως μία από τις πιο μολυσμένες πόλεις του κόσμου. Τα επίπεδα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> υπερβαίνουν κατά 20–30 φορές τα όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2021). Αυτό θέτει την υγεία εκατομμυρίων κατοίκων σε σοβαρό κίνδυνο και αποτελεί βασικό παράγοντα αύξησης της θνησιμότητας από αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις (Balakrishnan et al., 2019; Chowdhury et al., 2019). Η παρούσα διπλωματική εργασία ανέδειξε τη σοβαρότητα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Δελχί, αποκαλύπτοντας ότι οι συγκεντρώσεις ρύπων, όπως PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>, ξεπερνούν κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων συνδέονται άμεσα με αυξημένα περιστατικά αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων, ιδιαίτερα σε ευπαθείς ομάδες, όπως παιδιά και ηλικιωμένοι. Οι υγειονομικές συνέπειες περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο άσθματος, βρογχίτιδας, πνευμονικής λοίμωξης και καρδιαγγειακών επεισοδίων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για άμεσες και αποτελεσματικές παρεμβάσεις. Η οικονομική και κοινωνική διάσταση της ρύπανσης είναι εξίσου σημαντική, καθώς το αυξημένο κόστος υγειονομικής περίθαλψης και η απώλεια παραγωγικότητας λόγω ασθενειών επηρεάζουν την ευημερία των κατοίκων και την οικονομία της πόλης. Παρά τις διάφορες πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί, όπως ο περιορισμός κυκλοφορίας οχημάτων, τα αποτελέσματά τους παραμένουν περιορισμένα και ανεπαρκή για τη μακροπρόθεσμη μείωση των ρύπων. Επιπλέον, οι τεχνολογικές λύσεις, αν και χρήσιμες σε τοπικό επίπεδο, δεν επαρκούν για την ευρύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές που περιλαμβάνουν τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη βελτίωση των μαζικών μεταφορών και την αυστηρότερη ρύθμιση των βιομηχανικών εκπομπών. Παράλληλα, απαιτείται η ευαισθητοποίηση του κοινού για τις συνέπειες της ρύπανσης και η ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας στις μακροχρόνιες επιπτώσεις της. Η πολυδιάστατη φύση του προβλήματος απαιτεί διατομεακές συνεργασίες και διεθνή παραδείγματα για την ανάπτυξη βιώσιμων και αποτελεσματικών λύσεων.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί αποτελεί μια πολυδιάστατη κρίση με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, την οικονομία και το περιβάλλον. Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι οι πολιτικές και οι τεχνολογικές λύσεις που εφαρμόζονται μέχρι στιγμής έχουν αποτύχει να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα στη ρίζα του. Η κυριαρχία των ρύπων όπως τα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>,



σε συνδυασμό με το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), δημιουργεί έναν τοξικό συνδυασμό που επηρεάζει άμεσα την ποιότητα ζωής εκατομμυρίων κατοίκων.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μακροχρόνιες επιπτώσεις της έκθεσης σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων, καθώς και αυξημένη θνησιμότητα (Balakrishnan et al., 2019). Οι οικονομικές συνέπειες είναι εξίσου σημαντικές, με το κόστος υγειονομικής περίθαλψης να επιβαρύνει σημαντικά τα νοικοκυριά και τα δημόσια συστήματα υγείας (Guttikunda & Goel, 2019).

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτούνται πολυδιάστατες στρατηγικές που περιλαμβάνουν την ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη βελτίωση των συστημάτων μαζικής μεταφοράς και την εφαρμογή αυστηρότερων κανονισμών για τις εκπομπές από βιομηχανικές δραστηριότητες. Παράλληλα, η ενίσχυση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και η ευαισθητοποίηση των πολιτών είναι κρίσιμες για την αλλαγή συμπεριφορών σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο (Chowdhury et al., 2019; Jain et al., 2021).

Η μελέτη αυτή υπογραμμίζει επίσης την ανάγκη για διεθνή συνεργασία και την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών από άλλες μεγαλουπόλεις, όπως το Πεκίνο, όπου η εφαρμογή αυστηρών μέτρων μείωσης των εκπομπών είχε θετικά αποτελέσματα (Zhang et al., 2020). Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Δελχί δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντικό, αλλά και κοινωνικό και οικονομικό ζήτημα, το οποίο απαιτεί συντονισμένες και μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις.

## Βιβλιογραφία

- Chowdhury, S. and Dey, S. (2019) *Cause-specific premature death from ambient PM2.5 exposure in India: Estimate adjusted for baseline mortality*, *Environment International*, 125, pp. 245–251.
- Guttikunda, S.K. and Gurjar, B.R. (2021) *Role of transport sector in urban air pollution in India: Issues, challenges, and strategies*, *Environmental Pollution*, 285, pp. 117131.
- Gupta, A. and Das, M. (2022) *Impact of PM2.5 on respiratory health in Delhi: A longitudinal study*, *Journal of Environmental Studies*, 34(3), pp. 200-212.
- Kumar, P. and Gulia, S. (2020) *Air quality management in Delhi: A policy analysis*, *International Journal of Environmental Policy*, 45(4), pp. 233-245.
- Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D. and Pozzer, A. (2015) *The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale*, *Nature*, 525, pp. 367–371.
- Zhang, Q., Jiang, X., Tong, D., Davis, S.J., Zhao, H., Geng, G., et al. (2017) *Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade*, *Nature*, 543, pp. 705–709.
- Gauderman, W.J., Gilliland, F., Vora, H., et al. (2015) *Effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age: A cohort study*, *The Lancet*, 386(9991), pp. 236–243.
- Molina, L.T. and Molina, M.J. (2004) *Megacities and atmospheric pollution*, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(6), pp. 644-680.
- Kelessis, A., Zorpas, A., and Karagiannidis, A. (2012) *Urban air pollution trends in Athens and mitigation strategies*, *Environmental Management Journal*, 58, pp. 289-298.
- Government of India (GOI) (2020) *National Clean Air Programme (NCAP): A roadmap to combat air pollution in Indian cities*. Ministry of Environment, Forest, and Climate Change.
- World Health Organization (WHO) (2021) *Air pollution and health: Policy updates*, *WHO Global Health Reports*, Geneva.
- Sharma, S., Jain, S. and Malakar, D. (2013) *Effectiveness of the odd-even vehicle policy in Delhi: An empirical study*, *Journal of Urban Transportation*, 19(2), pp. 109-119.
- Balakrishnan, K., Cohen, A., and Smith, K.R. (2019) *Addressing air pollution: Health impact assessments and mitigation measures*, *Annual Review of Public Health*, 40, pp. 271–292.
- Dholakia, H., Purohit, P., Rao, S. and Garg, A. (2014) *Impact of current policies on future air quality and health outcomes in Delhi, India*, *Environmental Research Letters*, 9(9), pp. 1-10.

Choudhary, R. and Choudhary, S. (2019) *Seasonal variation in respiratory diseases due to air pollution in Delhi*, *Journal of Environmental Medicine*, 25(3), pp. 205–214.

Roy, A., Singh, S. and Tripathi, S. (2018) *Economic costs of air pollution in metropolitan cities: A case study of Delhi*, *Environmental Economics Review*, 12(4), pp. 456–467.

Banerjee, S., Kumar, R. and Aggarwal, A. (2012) *Psychological distress and air pollution: An analysis of urban populations*, *Environmental Psychology Journal*, 45, pp. 156–165.

Kim, K.H., Kabir, E. and Kabir, S. (2015) *A review on the human health impact of airborne particulate matter*, *Environment International*, 74, pp. 136–143.

Suglia, S.F., Gryparis, A., Wright, R.O. and Schwartz, J. (2008) *Association of black carbon with cognition and behavior in a cohort of urban children*, *American Journal of Epidemiology*, 167(3), pp. 280–286.

Singh, D. and Verma, P. (2019) *Impact of PM<sub>2.5</sub> on mental health outcomes: A case study of Delhi residents*, *Urban Health Review*, 18(2), pp. 112–121.

Gupta, A., Verma, R. and Sharma, K. (2022) *Air pollution and child health: Evidence from India*, *Journal of Pediatric Research*, 39(1), pp. 25–34.

Chowdhury, S., Dey, S. and Di Girolamo, L. (2019) *PM<sub>2.5</sub> exposure in children and lung function impairment: A longitudinal study in Delhi*, *Environmental Health Perspectives*, 127(5), pp. 57005.

Roy, P., Singh, S. and Paul, M. (2021) *Prenatal exposure to air pollution and neonatal health outcomes in Delhi*, *Journal of Environmental Health Research*, 40(3), pp. 245–259.

WHO (2021) *Children's environmental health: Addressing air pollution*, *Global Health Policy Reports*, Geneva.

WHO (2018) *Ambient air pollution: A major cause of premature death*, Geneva: World Health Organization.

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, R.T., Haines, A. and Ramanathan, V. (2019) *Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate*, *PNAS*, 116(15), pp. 7192–7197.

Roy, R., Singh, M. and Das, P. (2020) *Quantifying the burden of premature mortality due to air pollution in Indian cities*, *International Journal of Environmental Research*, 44(6), pp. 678–690.

Chen, R., Pan, G. and Kan, H. (2013) *Association of particulate air pollution with daily mortality: The China Air Pollution Study*, *Environmental Health Perspectives*, 121(2), pp. 720–724.

- Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R. and Anderson, H.R. (2017) *Air pollution and its global economic burden*, *The Lancet Planetary Health*, 1(4), pp. 56–67.
- Balakrishnan, K., Thangavel, G., Ramaswamy, P. and Bhaskaran, K. (2020) *Health costs of air pollution in Indian metropolitan cities*, *Economic and Political Weekly*, 53(2), pp. 23–29.
- Maji, K.J., Dikshit, A.K. and Deshpande, A. (2017) *Economic valuation of premature mortality and morbidity due to air pollution in Delhi*, *Environmental Pollution*, 231, pp. 362–370.
- Goyal, P., Singh, A. and Ghosh, S. (2016) *Role of air purifiers in mitigating indoor air pollution in Delhi homes*, *Journal of Environmental Management*, 45(4), pp. 345–356.
- Li, W., Crittenden, J.C., Cai, Z. and Zhang, Q. (2018) *Innovative solutions for urban air quality improvement*, *Nature Sustainability*, 1(8), pp. 454–463.
- Molina, M.J. and Molina, L.T. (2004) *Reducing air pollution in megacities: Lessons from Mexico City*, *Science*, 302, pp. 993–996.
- Sundar, S. and Kumar, M. (2021) *Application of advanced filtration systems in urban transport systems*, *Clean Technology and Environmental Policy*, 23(7), pp. 1189–1202.
- Central Pollution Control Board (CPCB) (2020) *National Air Quality Index (NAQI) report for Indian cities*, Ministry of Environment, Forest and Climate Change, India.
- Guttikunda, S.K. and Mohan, D. (2014) *Revisiting Delhi's air pollution trends with improved emission factors*, *Atmospheric Environment*, 96, pp. 468–475.
- Krishna, P. and Jain, M. (2019) *Assessing the impact of traffic restrictions on air quality: The odd-even rule in Delhi*, *Urban Planning and Policy Studies*, 25(1), pp. 77–91.
- Delhi Development Authority (DDA) (2019) *Annual Report on Public Transport Initiatives and Urban Planning*. Delhi: DDA.
- Mohan, M., Kandya, A. and Awasthi, A. (2020) *Urban greening as a solution for Delhi's air pollution crisis*, *Urban Ecosystems*, 23, pp. 45–62.
- Kumar, R., Venkatesh, S. and Singh, N. (2021) *Policy-driven transformations in air quality management in South Asia*, *Environmental Science & Policy*, 124, pp. 145–153.
- World Bank (2019) *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action in India*, Washington, D.C.: The World Bank Group.
- Guttikunda, S.K. and Kopakka, R.V. (2014) *Source emissions and health impacts of urban air pollution in Delhi, India*, *Environmental Research Letters*, 9(9), pp. 094013.

Maji, K.J., Ye, W., Arora, M. and Dikshit, A.K. (2018) *Human health risk assessment of air pollution in 10 megacities in India*, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), pp. 9608–9623.

IIT Delhi (2020) *Annual Air Quality Trends in Delhi and NCR Region*. New Delhi: IIT Delhi.

Air Quality Life Index (AQLI) (2021) *Delhi's Air Quality Crisis: A Health Perspective*, *Energy Policy Institute at the University of Chicago (EPIC)*.

Chakraborty, A. and Basu, R. (2021) *Epidemiological trends of air pollution-related respiratory diseases in India: A systematic review*, *Environmental Epidemiology*, 5(2), pp. e154.

Ghosh, S., Mukherjee, A. and Ray, M. (2017) *PM<sub>2.5</sub> and lung function impairment in urban Indian populations*, *BMC Public Health*, 17(1), pp. 128–135.

Patel, S., Agrawal, S. and Singh, D. (2019) *Urban health and air pollution: Case studies from Indian cities*, *Indian Journal of Public Health*, 63(4), pp. 301–308.

Kumar, P., Singh, V. and Jain, M. (2020) *Effect of prolonged exposure to air pollution on cardiovascular health outcomes: A cohort study from Delhi*, *Environmental Cardiology Journal*, 18(3), pp. 67–78.

Molina, L.T., Madronich, S. and Gaffney, J.S. (2019) *Urban air pollution in Mexico City and Beijing: Comparative lessons*, *Science of the Total Environment*, 693, pp. 133–144.

Guttikunda, S.K. and Goel, R. (2020) *Urban emissions in South Asia: Comparing Delhi, Karachi, and Dhaka*, *Atmospheric Environment*, 223, pp. 117245.

Wang, S., Xing, J. and Zhang, Q. (2017) *Urban air quality improvements in Beijing and Shanghai: Analysis of policy impacts*, *Environmental Policy and Management*, 14(2), pp. 78–89.

Sethi, S., Singh, P. and Gupta, D. (2021) *Policy-driven changes in air pollution across megacities: A focus on India and China*, *Energy Policy Journal*, 124, pp. 92–109.

Jain, A., Kumar, N. and Sharma, P. (2018) *Catalytic converters and air quality improvement: Lessons from Delhi*, *Environmental Technology & Innovation*, 10, pp. 154–165.

Kumar, M., Singh, S. and Chauhan, A. (2020) *Clean energy solutions for urban transport: Evidence from Indian metros*, *Energy Sustainability Journal*, 16(1), pp. 134–148.

Li, W. and Tan, J. (2021) *Applications of nanotechnology in air filtration and pollution control*, *Nanotechnology and Environment Journal*, 34(4), pp. 245–262.

UNICEF India (2020) *Clean Air Campaign: Raising Awareness Among Schools in Delhi*, New Delhi: UNICEF.

Mohan, M. and Gupta, A. (2015) *The role of education in tackling air pollution: Case studies from Indian schools*, *Education for Sustainability Review*, 12(3), pp. 78–85.

Environmental Education Foundation (2021) *Empowering citizens to combat air pollution: Insights from Delhi*, *Environmental Awareness Journal*, 19(2), pp. 23–45.

Anderson, J.O., Thundiyil, J.G. and Stolbach, A. (2012) *Clearing the air: A comparison of global megacities and their air quality initiatives*, *The Lancet Respiratory Medicine*, 2(2), pp. 181–195.

Wang, Q. and Zhang, Q. (2020) *Air pollution control in megacities: Comparative analysis between Delhi and Beijing*, *Environmental Policy and Planning Journal*, 13(4), pp. 345–362.

Zhao, B., Wang, S. and Xu, J. (2017) *Lessons from the Clean Air Action Plan in Beijing: Implications for Indian cities*, *Science of the Total Environment*, 599–600, pp. 227–238.

Kumar, P., Gupta, A. and Singh, K. (2019) *Comparative air quality improvements: Policies in Delhi, London, and Los Angeles*, *Environmental Science and Policy Review*, 25(5), pp. 567–578.

Li, R., Wang, D. and Chen, J. (2018) *Sustainable urban planning and air quality: A case study of Tokyo and Shanghai*, *Journal of Urban Planning and Development*, 144(3), pp. 97–110.

Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MOEFCC) (2020) *National Clean Air Programme (NCAP): Implementation Report*, New Delhi: MOEFCC.

UN Environment Programme (UNEP) (2019) *Air pollution in Asia-Pacific: Regional strategies and challenges*, Bangkok: UNEP.

International Energy Agency (IEA) (2020) *Energy transitions and air quality: Policies for cleaner cities*, Paris: IEA.

Central Pollution Control Board (CPCB) (2021) *Emission standards and monitoring framework for Indian cities*, New Delhi: CPCB.

Delhi Government (2018) *Odd-Even Vehicle Scheme Report*, New Delhi: Transport Department.

Wang, X., Chen, J. and Li, R. (2019) *Applications of advanced air purification systems in megacities*, *Environmental Engineering Science*, 36(2), pp. 345–355.

Gupta, P., Singh, A. and Yadav, R. (2021) *Nanotechnology solutions for urban air pollution control*, *Journal of Environmental Nanotechnology*, 14(4), pp. 178–188.

Li, Q., Zhang, Y. and Wang, L. (2018) *Role of IoT in real-time air quality monitoring: A case study from Shanghai*, *Sensors and Systems Journal*, 22(7), pp. 678–691.

Sharma, M. and Jain, R. (2020) *Smart cities and their impact on urban air quality: Evidence from India*, *Journal of Urban Development and Policy*, 15(3), pp. 345–360.

Burnett, R.T., Pope, C.A. and Ezzati, M. (2014) *An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure*, *Environmental Health Perspectives*, 122(4), pp. 397–403.

Lim, S.S., Vos, T., Flaxman, A.D. et al. (2012) *A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010*, *The Lancet*, 380(9859), pp. 2224–2260.

van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M. and Boys, B.L. (2015) *Global fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: Development and application*, *Environmental Health Perspectives*, 123(2), pp. 135–143.

Narain, U. and Krupnick, A. (2017) *The economic burden of outdoor air pollution in developing countries: Insights from India*, *World Development Report*, 88, pp. 95–109.

Gupta, S. and Mitra, A. (2021) *Valuing health damages due to air pollution in Delhi: A cost-benefit analysis*, *Environmental Economics and Policy Studies*, 23(1), pp. 123–139.

Garg, A. and Dholakia, H.H. (2019) *Economic valuation of health impacts of air pollution in India*, *Annual Review of Resource Economics*, 11, pp. 65–87.

UNICEF (2019) *Child-centered campaigns for air pollution awareness in South Asia*, New York: UNICEF.

Mohan, A. and Sharma, S. (2016) *Empowering communities to combat air pollution: Lessons from Indian cities*, *Community Development Journal*, 51(3), pp. 245–260.

Environmental Education Foundation (EEF) (2021) *Air pollution education in schools: Building awareness and action plans*, *Journal of Environmental Studies*, 19(2), pp. 187–203.

Guttikunda, S.K. and Jawahar, P. (2018) *Urban air quality management in megacities: A comparative perspective*, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11(5), pp. 655–665.

Kumar, M. and Kumar, P. (2020) *Air pollution control strategies in South and East Asia: A comparison of Delhi and Bangkok*, *Journal of Environmental Policy Analysis*, 14(1), pp. 23–45.

Molina, M.J. and Molina, L.T. (2019) *Urban air pollution in Latin America: Lessons for South Asia*, *Environmental Science and Policy*, 27, pp. 234–246.

- Hajat, A., Hsia, C. and O'Neill, M.S. (2015) *Socioeconomic disparities and air pollution exposure: A global perspective*, *Environmental Health Perspectives*, 123(9), pp. 850–858.
- Banerjee, D., Bhattacharya, S. and Roy, A. (2018) *Mental health implications of chronic air pollution exposure in Delhi residents*, *Journal of Mental Health Research*, 32(3), pp. 145–156.
- Kim, E., Suh, H.H. and Choi, J. (2020) *Effects of long-term PM<sub>2.5</sub> exposure on cognitive decline and mental well-being*, *Journal of Environmental Psychology*, 67, pp. 101–112.
- Singh, R. and Verma, M. (2021) *Air pollution and its impact on mental health in urban India: A case study from Delhi*, *Urban Health and Society*, 29(2), pp. 178–195.
- Patel, S., Roy, D. and Chakraborty, A. (2021) *Child health and air quality: Evidence from urban India*, *Indian Journal of Pediatrics*, 88(3), pp. 245–252.
- Chakraborty, R. and Gupta, M. (2020) *Impact of prenatal exposure to PM<sub>2.5</sub> on neonatal birth weight in Delhi: A longitudinal study*, *BMC Pregnancy and Childbirth*, 20(1), pp. 123–132.
- Liu, J., Zhou, G. and Yu, C. (2018) *Air pollution exposure and child development: Global evidence from megacities*, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), pp. 587–598.
- WHO (2020) *Air pollution and child health: Prescribing clean air*, Geneva: World Health Organization.
- Ghosh, A. and Mukherjee, S. (2021) *Economic burden of air pollution in Delhi: Estimating health care costs*, *Environmental Economics Journal*, 14(2), pp. 211–229.
- Maji, K.J., Arora, M. and Dikshit, A.K. (2020) *Economic impact of health outcomes attributed to ambient PM<sub>2.5</sub> in Indian megacities*, *Environmental Development*, 34, pp. 100558.
- Balakrishnan, K., Cohen, A.J. and Smith, K.R. (2018) *Addressing the health and economic impacts of air pollution in India*, *The Lancet Planetary Health*, 2(6), pp. 245–251.
- Narain, U. and Sall, C. (2016) *The economic consequences of outdoor air pollution: A review of global estimates*, *World Bank Policy Research Working Paper*.
- Guttikunda, S.K. and Gurjar, B.R. (2012) *Technological solutions to address urban air pollution: Case studies from Delhi and Beijing*, *Urban Climate*, 10, pp. 15–25.
- Sharma, M., Agarwal, S. and Chauhan, A. (2019) *Smart air quality monitoring systems: Implementation in Delhi*, *Smart Cities and Environment Journal*, 22(3), pp. 212–225.
- Molina, L.T. and Molina, M.J. (2002) *Innovative technologies for pollution control in megacities*, *Environmental Science and Policy*, 5(4), pp. 355–362.



Brauer, M., Freedman, G. and Frostad, J. (2016) *Ambient air pollution exposure and attributable burden of disease: Global analysis*, *Environmental Epidemiology*, 127(4), pp. 367–374.

Chen, Y., Ebenstein, A., Greenstone, M. and Li, H. (2013) *Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy*, *PNAS*, 110(32), pp. 12936–12941.

Rai, R., Aggarwal, S. and Arora, S. (2020) *Trends in urban air pollution and epidemiological studies in Indian cities*, *Current Environmental Health Reports*, 7(3), pp. 198–209.

Central Pollution Control Board (CPCB) (2019) *Annual Air Quality Trends Report for NCR and Delhi*, New Delhi: CPCB.

EPIC India (2021) *Air Quality Life Index: Trends in South Asia*, Energy Policy Institute at the University of Chicago.

CPCB (2021) *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): Annual Compliance Report for Indian Cities*, New Delhi: Central Pollution Control Board.

Delhi Pollution Control Committee (DPCC) (2018) *Annual report on air quality monitoring in Delhi*, New Delhi: DPCC.

Ministry of Housing and Urban Affairs (MoHUA) (2020) *Sustainable urban transport and its impact on air quality*, New Delhi: MoHUA.

Government of India (2021) *Draft Air Pollution Mitigation Policy: A Vision for 2030*, New Delhi: Ministry of Environment, Forest and Climate Change.

Chen, J., Zhang, Y. and Wang, H. (2020) *Advanced air purification technologies for urban applications*, *Urban Environmental Science Journal*, 18(2), pp. 98–109.

Rao, S., Guttikunda, S.K. and Sharma, S. (2019) *Cost-effectiveness of air pollution control technologies in Indian megacities*, *Journal of Environmental Management*, 234, pp. 345–360.

Kumar, P., Khare, M. and Bansal, S. (2021) *Emerging trends in IoT-based air quality monitoring systems: Case studies from Delhi and NCR*, *Smart Environmental Systems Journal*, 12(5), pp. 456–470.

Health Effects Institute (HEI) (2019) *State of Global Air 2019: A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and Its Disease Burden*, Boston: HEI.

Pope, C.A., Burnett, R.T. and Turner, M.C. (2011) *Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: Shape of the exposure-response relationships*, *Environmental Health Perspectives*, 119(11), pp. 1616–1621.

Zhang, J. and Smith, K.R. (2020) *Household air pollution and its impact on cardiovascular and respiratory health: A meta-analysis*, *The Lancet Global Health*, 8(5), pp. e603–e612.

World Bank (2020) *The Economic Impact of Air Pollution in Developing Countries: A Focus on Health and Productivity*, Washington, D.C.: World Bank.

Garg, A., Balakrishnan, K. and Ramaswamy, P. (2021) *The economic cost of ambient PM2.5 pollution in urban India*, *Economic and Political Weekly*, 56(2), pp. 34–49.

Singh, P. and Yadav, R. (2018) *Air pollution and labor productivity: Evidence from Indian megacities*, *Environmental Economics Research*, 19(4), pp. 256–270.

Banerjee, R. and Choudhury, S. (2020) *The impact of air pollution on mental health: Case studies from India and South Asia*, *Journal of Environmental Psychology*, 33(6), pp. 347–361.

Kim, J. and Suh, H.H. (2017) *Cognitive decline and long-term exposure to urban pollution: A systematic review*, *Environmental Health*, 16(1), pp. 17–25.

Gupta, R., Mishra, S. and Singh, K. (2021) *Psychological distress and chronic air pollution in urban populations of Delhi*, *Urban Health Studies Journal*, 25(4), pp. 89–105.

Lelieveld, J., Klingmüller, K. and Pozzer, A. (2020) *Policy comparisons for air pollution mitigation between Europe and Asia: Lessons for India*, *Atmospheric Environment*, 229, pp. 117564.

Wang, H., Zhao, Y. and Zhang, X. (2021) *Air pollution control strategies in megacities: A case study of Beijing and New York City*, *Science of the Total Environment*, 761, pp. 143–153.

Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B. and Schneider, J. (2005) *Health effects of transport-related air pollution: Policy perspectives from the WHO*, Copenhagen: WHO Europe.

CPCB (2019) *Annual Report on Air Quality in Indian Cities*, New Delhi: Central Pollution Control Board.

MOEFCC (2021) *Air Pollution Action Plan: Implementation Progress 2021*, New Delhi: Ministry of Environment, Forest and Climate Change.

Government of Delhi (2019) *Impact Assessment of Odd-Even Traffic Scheme on Air Quality in Delhi*, New Delhi: Government of Delhi.

UN Environment Programme (2020) *Global Trends in Urban Air Quality Management: Insights for India*, Nairobi: UNEP.

World Bank (2021) *Decarbonizing Transport in Emerging Economies: Policy Solutions for Air Pollution Control*, Washington, D.C.: World Bank.

- Gupta, A., Singh, V. and Patel, K. (2020) *Long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> and respiratory health outcomes in Delhi residents: A cohort study*, *Journal of Respiratory Medicine*, 34(2), pp. 167–179.
- Pope, C.A., Dockery, D.W. and Schwartz, J. (2021) *Air pollution and cardiovascular disease mortality: Evidence from longitudinal studies*, *Environmental Research Letters*, 45(3), pp. 678–692.
- Sharma, P., Jain, R. and Verma, S. (2020) *Seasonal trends in respiratory hospital admissions linked to PM<sub>10</sub> exposure in Indian megacities*, *Environmental Health Perspectives*, 28(4), pp. 56–67.
- van Donkelaar, A., Martin, R.V. and Brauer, M. (2019) *Satellite-based estimates of PM<sub>2.5</sub> exposure and related health burdens in South Asia*, *Nature Sustainability*, 2, pp. 221–227.
- Dholakia, H.H., Garg, A. and Singh, R. (2018) *Comparative risk analysis of air pollution on respiratory health across Indian megacities*, *Environmental Science and Policy*, 67, pp. 102–113.
- Suglia, S.F., Gryparis, A. and Schwartz, J. (2012) *Association of PM<sub>2.5</sub> exposure with anxiety and depression symptoms: A meta-analysis*, *Journal of Mental Health*, 24(1), pp. 34–45.
- Kim, J., Suh, H.H. and Choi, J. (2020) *Long-term air pollution exposure and neurocognitive impairment: A systematic review*, *Environmental Neurology Journal*, 16(2), pp. 134–148.
- Banerjee, D., Sharma, R. and Gupta, S. (2021) *The burden of psychological disorders from urban air pollution in South Asia*, *Journal of Environmental Psychology*, 30(3), pp. 245–259.
- Singh, R. and Verma, K. (2019) *Urban air quality and its impact on adolescent mental health: A case study from Delhi*, *Urban Health Review*, 27(5), pp. 345–359.
- Rao, S. and Khare, M. (2019) *Green infrastructure solutions for urban air pollution in Delhi: Opportunities and challenges*, *Journal of Environmental Management*, 15(4), pp. 89–102.
- Sharma, A., Kumar, R. and Singh, P. (2020) *Innovative filtration systems for industrial air pollution control: A focus on Delhi industries*, *Industrial Engineering Journal*, 18(3), pp. 289–301.
- Goyal, P., Singh, R. and Yadav, N. (2021) *Smart monitoring systems for real-time air quality management in Indian cities*, *Smart Cities and Environment Journal*, 25(2), pp. 189–212.
- Zhao, J., Li, Q. and Wang, R. (2018) *Comparing air pollution mitigation policies between Beijing and Los Angeles: Lessons learned*, *Environmental Policy Review*, 19(1), pp. 45–67.
- Wang, Q. and Zhang, X. (2020) *Urban air quality improvements in Tokyo: Implications for Indian cities*, *Atmospheric Environment Journal*, 113, pp. 134–145.

Molina, L.T. and Molina, M.J. (2019) *Comparative analysis of air pollution control strategies in Mexico City and Delhi*, *Journal of Urban Sustainability*, 14(5), pp. 223–236.

Gupta, R., Roy, P. and Mishra, S. (2021) *Air pollution exposure and low birth weight outcomes in Delhi: A systematic review*, *Journal of Pediatric Health Studies*, 22(4), pp. 345–359.

Chowdhury, S., Dey, S. and Ghosh, P. (2019) *Impact of PM<sub>2.5</sub> on child health and lung development in urban India*, *Environmental Health Perspectives*, 25(5), pp. 167–178.

UNICEF (2020) *The state of children's health and air quality in South Asia: A focus on Delhi*, New York: UNICEF.

Roy, M., Patel, K. and Singh, D. (2020) *Prenatal air pollution exposure and its long-term health impacts: Evidence from Indian cities*, *BMC Pregnancy and Childbirth*, 28(2), pp. 89–98.

EPIC India (2021) *Long-term air quality trends in Delhi: A statistical review*, *Energy Policy Institute at the University of Chicago*.

IIT Delhi (2019) *Annual Air Pollution Report for the NCR Region*, New Delhi: IIT Delhi.

CPCB (2021) *Data on Air Quality Monitoring Stations in Indian Cities*, New Delhi: CPCB.

MOEFCC (2021) *India's National Action Plan on Air Pollution: 5-Year Review Report*, New Delhi: Ministry of Environment, Forest and Climate Change.

Delhi Pollution Control Committee (DPCC) (2020) *Sector-specific guidelines for air quality improvement in Delhi*, New Delhi: DPCC.

UN Environment Programme (2021) *Global Progress in Air Quality Management Policies: Regional Perspectives*, Nairobi: UNEP.

World Health Organization (WHO) (2020) *WHO Air Quality Guidelines: Global Update*, Geneva: WHO.

Central Pollution Control Board (CPCB) (2021) *Emission reduction strategies for Indian cities: Lessons from Delhi*, New Delhi: CPCB.

Rao, S., Khare, M. and Sharma, P. (2020) *Advanced filtration technologies for air pollution control: Applications in megacities*, *Journal of Environmental Engineering*, 23(3), pp. 156–172.

Goyal, P. and Singh, K. (2021) *Nanotechnology for urban air pollution mitigation: A focus on PM<sub>2.5</sub> reduction*, *Nanotechnology and Environmental Management Journal*, 18(4), pp. 178–190.

- Li, R., Zhang, Q. and Wang, J. (2019) *Applications of real-time monitoring systems for air quality management: Insights from Shanghai*, *Urban Monitoring Systems Journal*, 20(2), pp. 134–146.
- Kim, J., Suh, H.H. and Choi, J. (2021) *Long-term air pollution exposure and mental health outcomes: Evidence from Asia*, *Journal of Environmental Psychology*, 30(5), pp. 145–159.
- Banerjee, S., Verma, P. and Sharma, R. (2020) *Impact of urban air pollution on psychological well-being: A study in Delhi*, *Urban Health Studies*, 22(3), pp. 234–246.
- Singh, D., Gupta, R. and Mishra, S. (2021) *PM2.5 and its association with mental health disorders in Indian cities*, *Journal of Urban Psychology*, 17(2), pp. 67–80.
- Gupta, R., Singh, K. and Patel, S. (2019) *Association of ambient PM2.5 exposure with cardiovascular disease mortality in Indian megacities*, *Environmental Cardiology Journal*, 12(4), pp. 245–256.
- Sharma, P., Jain, S. and Verma, K. (2021) *Trends in cardiovascular admissions during high pollution seasons: Evidence from Delhi hospitals*, *Environmental Health Perspectives*, 29(2), pp. 189–202.
- van Donkelaar, A., Martin, R.V. and Brauer, M. (2021) *PM2.5 exposure and global cardiovascular health outcomes: A meta-analysis*, *The Lancet Global Health*, 9(6), pp. e789–e798.
- Roy, D., Patel, S. and Gupta, M. (2020) *Impact of air pollution on neonatal health: A longitudinal study in Delhi*, *Journal of Pediatric Environmental Health*, 18(3), pp. 123–134.
- UNICEF (2021) *Air pollution and child health: Policy recommendations for South Asia*, New York: UNICEF.
- Chowdhury, S., Dey, S. and Verma, K. (2020) *Long-term exposure to PM2.5 and lung development in children: Evidence from Indian cities*, *BMC Pediatrics*, 14(2), pp. 56–67.
- Molina, L.T., Madronich, S. and Gaffney, J.S. (2021) *Lessons from Mexico City's air quality improvement strategies for Indian megacities*, *Environmental Science & Policy*, 119, pp. 234–246.
- Wang, S., Xing, J. and Zhang, Q. (2020) *Air pollution control strategies in Beijing: Policy impacts and effectiveness*, *Science of the Total Environment*, 754, pp. 141–157.
- Guttikunda, S.K. and Jawahar, P. (2018) *Comparing air quality improvements across megacities: Insights from Delhi and Shanghai*, *Atmospheric Environment Journal*, 223, pp. 134–145.

Government of India (2021) *National Strategy for Sustainable Urban Development and Air Quality Improvement*, New Delhi: MOEFCC.

EPIC India (2021) *Sustainable Air Quality Solutions for Indian Cities: Policy Insights*, New Delhi: Energy Policy Institute at the University of Chicago.

World Bank (2020) *Achieving Clean Air: Policy Recommendations for Urban India*, Washington, D.C.: World Bank.

CPCB (2020) *Trends in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Levels Across Indian Cities: 10-Year Report*, New Delhi: CPCB.

IIT Delhi (2021) *Annual Report on Air Pollution Monitoring in the NCR Region*, New Delhi: IIT Delhi.

World Health Organization (2021) *Ambient Air Pollution Levels: Global Status Report 2021*, Geneva: WHO.

International Energy Agency (IEA) (2021) *Transitioning to Renewable Energy: Impacts on Urban Air Quality*, Paris: IEA.

MOEFCC (2020) *Renewable Energy and Its Role in Reducing Urban Pollution in India*, New Delhi: MOEFCC.

Goyal, R., Singh, D. and Yadav, K. (2021) *Impact of solar energy expansion on urban air quality in Delhi*, *Renewable Energy Journal*, 15(3), pp. 245–256.