SOURCE APPORTIONMENT OF AEROSOLS IN GHAZIABAD USING ADVANCED RECEPTOR MODELLING TOOLS

LOVLEEN GUPTA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

OCTOBER 2022

SOURCE APPORTIONMENT OF AEROSOLS IN GHAZIABAD USING ADVANCED RECEPTOR MODELLING TOOLS

by

LOVLEEN GUPTA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

OCTOBER 2022

Dedicated to

THE CAUSE OF CLEAN AIR & HUMAN HEALTH

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled **"Source Apportionment of Aerosols in Ghaziabad using Advanced Receptor Modelling Tools"** being submitted by **Mrs. Lovleen Gupta** to the **Indian Institute of Technology Delhi**, for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** is a record of the original bonafide research work carried out by her under my guidance and supervision. The thesis work, in my opinion, has reached the requisite standards fulfilling the requirement for the Degree of Doctor of Philosophy.

The results contained in this thesis have not been submitted in part or in full to any other University or Institute for the award of any degree or diploma.

(Prof. Gazala Habib)
Associate Professor
Department of Civil Engineering,
Indian Institute of Technology Delhi,
Hauz Khas, New Delhi-110016, INDIA.
E-mail: gazala@civil.iitd.ac.in

(Prof. Ramya Sunder Raman)
Professor
Department of Earth and Environmental Sciences,
Indian Institute of Science and Education Research, Bhopal
Bhopal Bypass Road, Bhauri, Bhopal – 462066, INDIA.
E-mail: ramyasr@iiserb.ac.in

ACKNOWLEDGEMENT

The past few years at IIT Delhi have been an excellent learning experience, and it would not have been possible without the constant guidance, encouragement, and scientific inputs of my advisors Prof. Gazala Habib and Prof. Ramya Sunder Raman. I express my sincere gratitude to my advisors. In addition, there were many people/organizations who have supported me in different ways throughout my PhD. Therefore, I would like to thank:

- Uttar Pradesh Pollution Control Board for funding this research (Grant No.: H05539/CL/205/Source Apprt. Study/2014-17).
- My Research Committee (Prof. J. T. Sahu, Prof. Geetam Tiwari and Dr. Shaikh Z. Ahammad) for their scientific inputs throughout.
- Dr. Jai Prakash for scientific inputs and fruitful discussions.
- The heads and supporting staff of the locations where sampling was carried out.
- Mr. Kumail Zaidi, Mr. Rishabh and Mr. Imam Hussain of IIT Delhi for assisting with the sampling. Dr. Mahak Bansal, Ms. Swati Joshi, Mr. Kashish Jain, Ms. Jyoti Kumari at IIT Delhi and Mr. Ankur Bhardwaj, Mr. Priyabrata Nandi and Ms. Anusmita Das at IISER Bhopal for the support in the laboratories. Rest of the members of ARC lab at IIT Delhi for their unconditional support.
- Engineers and experts of Thermo Fischer Scientific India Private Limited, and MARS Bioanalytical for their prompt support for the instrument upkeep.
- Department of Civil Engineering at IITD and Dr. Sanjay Gupta, Mr. Ishwar, Mr. Deepak in the Environmental Laboratory at IIT Delhi for providing me with the necessary support required from the lab from time to time.
- All India Council of Technical Education, Government of India for sponsoring me to pursue my PhD.
- Delhi Technological University for relieving me full time to focus on my PhD.

And as life is not only about science, I am indebted to my late mother who with her dedication and hard work brought me to the platform I am on today. My sincere thanks go to my father for encouraging me during the lows. I am grateful to my husband for motivation, trust and love. My little daughter and son also deserve a mention here, who are the driving force to give my best to whatever I do. Last but not the least, I thank God for everything.

ABSTRACT

Atmospheric aerosols consist of a wide range of solid or liquid particles suspended in air. These aerosols contribute to air pollution and are termed as Particulate Matter (PM). In addition to the climate effects by scattering and absorption of solar and terrestrial radiation and inducing changes in the cloud properties, PM is known to have acute and chronic human health effects. While it's accepted that higher the ambient PM concentration higher is the health risk, the gravity of health risk depends on the chemical composition of ambient PM. Also, to devise effective strategies, the quantification of emission sources is an essential precondition. Based on the aerodynamic diameter of the particle, PM is classified as PM_{10} (diameter <10 μm) and $PM_{2.5}$ (diameter< 2.5 μm). While the $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations are routinely monitored across India by the government, the information on the likely sources which impact the air quality is scarcely available. Most of the studies which quantify the sources impacting the air quality in India focuses on the metropolitan cities like Mumbai, Delhi, Chennai and Kolkata, very few have been carried out in other locations. Ghaziabad is an industrial city bordering on one side with Delhi, where the PM concentration have been reported to be exceeding the World Health Organization standards throughout the year and no detailed source apportionment study exists for it. The objective of this work is to understand:

1. Mass and chemical composition of $PM_{2.5}$ and PM_{10} over Ghaziabad;
2. Identification and quantification of sources responsible for ambient $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Ghaziabad; and
3. Identification of probable regional and local source locations.

To achieve the above stated objectives, $PM_{2.5}$ and PM_{10} samples and in-situ meteorological parameters were collected over two locations (hereafter called as "site A" and "site B") in Ghaziabad throughout the year from June 2018 - May 2019 (both months inclusive). 24-hour integrated samples (9:00AM – 9:00AM) were collected every third day on multiple filter substrates using medium volume samplers at both locations. $PM_{2.5}$ and PM_{10} mass and chemical constituents (viz., organic, elemental and pyrolytic carbon, thirteen water soluble inorganic ions and twenty-six trace elements) were measured for the entire sampling duration and at both locations. USEPA PMF5 was used to apportion $PM_{2.5}$ and PM_{10} sources at both locations. Finally, probable source locations (and/or preferred transport pathways) were inferred using two well-established probability functions: (a) the Conditional Bivariate Probability Function (CBPF), to correlate the

output of PMF model with local wind directional data, and (b) the Potential Source Contribution Function (PSCF), to correlate the output of PMF model with 120 h air-mass back-trajectories, arriving at the receptor sites during sampling duration. The key findings of the thesis are:

1. The annual average $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations were found to be 142±82 μgm^{-3} and 252±135 μgm^{-3} at site A and 157±95 μgm^{-3} and 278±151 μgm^{-3} at site B respectively. Both of which are orders of magnitude higher than the World Health Organization standards for ambient air quality. PM (both $PM_{2.5}$ and PM_{10}) concentrations at the two sites were also compared with the third site maintained by the Central Pollution Control Board and across the three sites, no statistically significant variability was seen, indicating rapid mixing in the city's airshed.
2. Temporally, the PM concentration (both size fractions) followed post-monsoon > winter > pre-monsoon > monsoon. The average $PM_{2.5}$ concentration in Ghaziabad during the monsoon, post-monsoon and pre-monsoon season were ~1.2 times higher than the $PM_{2.5}$ observed in Delhi during the same period. For winter, the concentrations were comparable. The PM_{10} concentration during the monsoon season were ~1.2 times higher than those observed for Delhi during the same period. For the other three seasons, the PM_{10} concentration were comparable. This indicated more combustion sources in Ghaziabad.
3. The relative contribution of $PM_{2.5}$ to PM_{10} was observed to be highest (~0.70 across the three sites) during the winter season and lowest (~0.4 across the three sites) during the monsoon season. This may be attributed to enhanced heating requirements during winter and windy meteorological conditions during the monsoon.
4. Spearman rank correlation revealed that ventilation coefficient (VC), temperature and relative humidity were the main local factors influencing the PM concentration, with the magnitude of association varying seasonally.
5. MLR revealed that the variability in local meteorological parameters accounted for ~ 50% of the variability (maximum) in $PM_{2.5}$ and PM_{10} mass during monsoon and post-monsoon respectively.
6. Cluster and CWT analysis revealed influence from regional sources during winter, post-monsoon and pre-monsoon, while the monsoon season had air-masses transporting dust aerosols as they passed over the African desert and western states in India.

7. Premature mortality estimates attributable to ambient $PM_{2.5}$ in Ghaziabad was ~873 per million, which is ~ 70% higher than Delhi.
8. The average distribution of chemical components of $PM_{2.5}$ over the year was ~50% carbonaceous mass; ~32-33% ionic mass; and ~16-19% elemental mass at both sites. For PM_{10}, carbonaceous mass was ~30%; WSII mass was ~16-22% and elemental mass was ~21-26% at both sites.
9. Major WSIIs contributing to the PM mass were: NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- and NH_4^+ contributing on average ~ 90% of the $PM_{2.5}$ ionic mass and ~ 82% of the PM_{10} ionic mass across both sites. Aerosols were found to be acidic/moderately acidic (pH ~ 4) throughout the year with lower pH in monsoon compared to the other seasons. $PM_{2.5}$ mass (including water) doubled at RH ~90% due to high AWC
10. Major trace elements that contributed on average >90% total elemental mass were Al, Si, Fe, nwsK, Zn and Pb across both PM size fractions and sites.
11. Eight sources were resolved using USEPA PMF5. The sources in decreasing order of their contribution to the $PM_{2.5}$ mass were: vehicular emissions (22%), secondary formation (21%), combustion aerosol (18%), resuspended dust I (14%), resuspended dust II (10%), brick manufacturing (9%), mixed metal processing (5%) and copper smelter (4%). Source contribution to the PM_{10} mass were: resuspended dust I (25%), resuspended dust II (24%), combustion aerosol (24%), secondary formation (12%), vehicular emissions (7%), copper smelter (5%), brick manufacturing (3%) and mixed metal processing (1%).
12. On days when 24-hour average $PM_{2.5}$ concentration was >90 μgm^{-3}, brick processing and vehicular were mainly responsible. In case of PM_{10}, when the 24-hour average concentration was >250 μgm^{-3}, mixed combustion and resuspended dust (I&II) were the main contributors.
13. The probable source regions were local as well as regional in nature, with states in the upper Indo Gangetic Plain namely Punjab, Haryana, Delhi being important source regions for $PM_{2.5}$ and PM_{10} measured at the receptor site. Also, specifically, for resuspended dust II which is one of the main contributors to PM_{10} during high PM_{10} days, the probable source is the teh construction, prevailing in the city.

The outcomes of this study are expected to strengthen the air quality management plans for Ghaziabad. The results from this study can be used by the regulatory bodies for devising appropriate control strategies. Also, given its proximity to Delhi, it is expected that improvements in air quality management over Ghaziabad will benefit the entire National Capital Region in India. Further, it is hoped that the results of this study will provide inputs to validate emission inventories as well as climate model outputs over the region.

*****

सार

वायुमंडलीय एरोसोल में हवा में विद्यमान ठोस या तरल कणों की एक विस्तृत श्रृंखला होती है। ये एरोसोल वायु प्रदूषण में योगदान करते हैं और इन्हें पार्टिकुलेट मैटर (पीएम) कहा जाता है। सौर और स्थलीय विकिरण के प्रकीर्णन और अवशोषण और बादल के गुणों में परिवर्तन को प्रेरित करके जलवायु प्रभावों के अलावा, पीएम को मानव स्वास्थ्य पर विकट और दीर्घकालिक प्रभावों के लिए जाना जाता है। हालांकि यह माना जाता है कि बाहरी पीएम सांद्रता जितनी अधिक होती है, स्वास्थ्य जोखिम उतना ही अधिक होता है, स्वास्थ्य जोखिम की गंभीरता बाहरी पीएम की रासायनिक संरचना पर निर्भर करती है। इसके अलावा, प्रभावी रणनीति तैयार करने के लिए, उत्सर्जन स्रोतों की मात्रा का निर्धारण एक आवश्यक शर्त है। कण के वायुगतिकीय व्यास के आधार पर, पीएम को PM_{10} (व्यास <10 μm) और $PM_{2.5}$ (व्यास <2.5 μm) के रूप में वर्गीकृत किया गया है। हालाँकि सरकार द्वारा पूरे भारत में $PM_{2.5}$ और PM_{10} सांद्रता की नियमित रूप से निगरानी की जाती है, परन्तु वायु गुणवत्ता को प्रभावित करने वाले संभावित स्रोतों की जानकारी अत्यंत दुर्लभ है। भारत में वायु गुणवत्ता को प्रभावित करने वाले स्रोतों को मापने वाले अधिकांश अध्ययन मुंबई, दिल्ली, चेन्नई और कोलकाता जैसे महानगरीय शहरों पर केंद्रित हैं, बहुत कम अन्य स्थानों पर किए गए हैं। गाजियाबाद एक औद्योगिक शहर है जो दिल्ली के साथ जुड़ा हुआ है है, और जहां पूरे वर्ष पीएम सांद्रता विश्व स्वास्थ्य संगठन के मानकों से अधिक होने सम्बन्धी सूचना उपलब्ध है परन्तु इसके लिए कोई विस्तृत विनियोजित स्रोत अध्ययन मौजूद नहीं है। इस कार्य का उद्देश्य यह समझना है कि:

1. गाजियाबाद के ऊपर $PM_{2.5}$ और PM_{10} का द्रव्यमान और रासायनिक संरचना
2. गाजियाबाद में बाहरी $PM_{2.5}$ और PM_{10} के लिए जिम्मेदार स्रोतों की पहचान और परिमाणीकरण तथा
3. संभावित क्षेत्रीय और स्थानीय स्रोत स्थानों की पहचान।

उपर्युक्त उद्देश्यों को प्राप्त करने के लिए जून 2018 से मई 2019 (दोनों महीने शामिल) तक पूरे वर्ष में गाजियाबाद में दो स्थानों (इसके बाद में इन्हे साइट ए और साइट बी लिखा गया है) पर $PM_{2.5}$ और PM_{10} नमूने और इन सीटू मौसम संबंधी मापदंडों को एकत्र किया गया था। 24 घंटे एकीकृत नमूने 9:00 पूर्वाह्न से 9:00 पूर्वाह्न, प्रत्येक तीसरे दिन, दोनों स्थानों पर मध्यम मात्रा के नमूनों का उपयोग करके कई फिल्टर सबस्ट्रेट्स पर एकत्र किए गए थे। $PM_{2.5}$ और PM_{10} के द्रव्यमान और रासायनिक घटक (अर्थात, जैविक, तात्विक और पाइरोलाइटिक कार्बन, तेरह पानी में घुलनशील अकार्बनिक आयन और छब्बीस ट्रेस तत्व) पूरे नमूने की अवधि के लिए और दोनों स्थानों पर मापा गया। USEPA पीएमऍफ़5 का उपयोग दोनों स्थानों $PM_{2.5}$ और PM_{10} स्रोतों को विभाजित करने के लिए किया गया था। अंत में, संभावित स्रोत स्थानों (और/या पसंदीदा परिवहन मार्ग) को दो सुस्थापित प्रायिकता फलन का उपयोग करके अनुमान लगाया गया था: अ) कंडीशनल बाईवैरिएट प्रोबैबिलिटी फंक्शन - स्थानीय पवन दिशात्मक डेटा के साथ पीएमएफ मॉडल के आउटपुट को सहसंबंधित करने के लिए, ब) पोटेंशियल सोर्स कॉन्ट्रिब्यूशन फंक्शन - नमूना अवधि के दौरान रिसेप्टर साइटों पर पहुंचने वाले 120 एच एयर-मास बैक-ट्रैजेक्टरी के साथ पीएमएफ मॉडल के आउटपुट को सहसंबंधित करने के लिए। थीसिस के प्रमुख निष्कर्ष हैं:

1. वार्षिक औसत पीएम$_{2.5}$ और पीएम$_{10}$ सांद्रता साइट ए पर क्रमशः 142±82 μgm^{-3} और 252±135 μgm^{-3} और साइट बी पर 157±95 μgm^{-3} और 278±151 μgm^{-3} पाए गए। ये दोनों बाहरी वायु गुणवत्ता के लिए विश्व स्वास्थ्य संगठन के मानकों से अधिक हैं। दोनों स्थलों पर पीएम (पीएम$_{2.5}$ और पीएम$_{10}$ दोनों) की सांद्रता की तुलना केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड द्वारा बनाए गए तीसरे स्थल से भी की गई और तीनों स्थलों पर कोई सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण परिवर्तनशीलता नहीं देखी गई, जो शहर के एयरशेड में तेजी से मिश्रण का संकेत देती है।
2. अस्थायी रूप से, पीएम सांद्रता रूझान (दोनों आकार के अंश) मानसून के बाद> सर्दी> प्री-मानसून> मानसून के बाद है। गाजियाबाद में मानसून, पोस्ट-मानसून और प्री-मानसून सीजन के दौरान औसत पीएम$_{2.5}$ सांद्रता इसी अवधि के दौरान दिल्ली में देखे गए पीएम$_{2.5}$ की तुलना में ~1.2 गुना अधिक थी। सर्दियों के लिए, सांद्रता तुलनीय थी। मानसून के मौसम के दौरान पीएम$_{10}$ की सांद्रता इसी अवधि के दौरान दिल्ली में देखी गई तुलना में ~1.2 गुना अधिक थी। अन्य तीन मौसमों के लिए, पीएम$_{10}$ सांद्रता तुलनीय थी। इसने गाजियाबाद में अधिक दहन स्रोतों का संकेत दिया।
3. पीएम$_{2.5}$ और पीएम$_{10}$ का सापेक्षिक योगदान सर्दियों के मौसम के दौरान उच्चतम (तीन स्थलों में ~0.70) और मानसून के मौसम के दौरान सबसे कम (तीन स्थलों में ~0.4) देखा गया। यह सर्दियों के दौरान बढ़ी हुई ऊष्मा आवश्यकताओं और मानसून के दौरान हवा की मौसम संबंधी स्थितियों के के कारण हो सकता है।
4. स्पीयरमैन रैंक कौरीलेशन से पता चला कि वेंटिलेशन गुणांक (वीसी), तापमान और सापेक्ष आर्द्रता पीएम सांद्रता को प्रभावित करने वाले मुख्य स्थानीय कारक थे, जो की मौसम के अनुसार बदलते रहते हैं।
5. एमएलआर द्वारा परिणाम निकला कि स्थानीय मौसम संबंधी मापदंडों में परिवर्तनशीलता क्रमशः पीएम$_{2.5}$ और पीएम$_{10}$ द्रव्यमान में परिवर्तनशीलता; अधिकतम का 50% मानसून और मानसून के बाद के दौरान होती है।
6. क्लस्टर और सीडब्ल्यूटी विश्लेषण ने सर्दियों, मानसून के बाद और पूर्व-मानसून के दौरान क्षेत्रीय स्रोतों से प्रभाव का खुलासा किया जबकि मानसून के मौसम वायु में धूल के एरोसोल विद्यमान थे क्योंकि वे भारत में अफ्रीकी रेगिस्तान और पश्चिमी राज्यों से गुजरते थे।
7. गाजियाबाद में बाहरी पीएम$_{2.5}$ के कारण समय से पहले समाप्त होने की दर का अनुमान ~873 प्रति मिलियन था, जो दिल्ली की तुलना में ~ 70% अधिक है।
8. दोनों स्थलों पर वर्ष के दौरान पीएम$_{2.5}$ के रासायनिक घटकों का औसत वितरण ~ 50% कार्बनयुक्त द्रव्यमान; ~32-33% आयनिक द्रव्यमान; और ~16-19% तात्विक द्रव्यमान था। दोनों स्थलों पर पीएम$_{10}$ के लिए, कार्बनयुक्त द्रव्यमान ~ 30%; WSII द्रव्यमान ~ 16-22% तात्विक द्रव्यमान ~ 21-26% था।
9. दोनों जगहों पर पीएम द्रव्यमान में विद्यमान प्रमुख WSII थे: NO_3-, SO_4^{2}-, Cl- और NH_4+ जो की पीएम$_{2.5}$ आयनिक द्रव्यमान का औसतन ~ 90% और पीएम$_{10}$ आयनिक द्रव्यमान का ~ 82% हिस्सा रखते हैं। अन्य मौसमों की तुलना में मानसून में कम पीएच के साथ एरोसोल पूरे वर्ष अम्लीय/मध्यम

अम्लीय (पीएच ~ 4) पाए गए। उच्च एडब्ल्यूसी के कारण पीएम$_{2.5}$ द्रव्यमान (पानी सहित) RH ~90% पर दोगुना हो गया।

10. दोनों पीएम आकार के अंशों और स्थलों में कुल मौलिक द्रव्यमान के औसतन > 90% योगदान देने वाले प्रमुख ट्रेस तत्व Al, Si, Fe, nwsK, Zn और Pb थे।
11. USEPA PMF5 का उपयोग करके आठ स्रोतों का पता किया गया। पीएम$_{2.5}$ द्रव्यमान में उनके योगदान के घटते क्रम में स्रोत थे: वाहन उत्सर्जन (22%), द्वितीयक गठन (21%), दहन एयरोसोल (18%), resuspended धूल I (14%), resuspended धूल II (10) %), ईंट निर्माण (9%), मिश्रित धातु प्रसंस्करण (5%) और कॉपर स्मेल्टर (4%)। पीएम$_{10}$ द्रव्यमान में स्रोत योगदान थे: resuspended धूल I (25%), resuspended धूल II (24%), दहन एयरोसोल (24%), माध्यमिक गठन (12%), वाहन उत्सर्जन (7%), कॉपर स्मेल्टर (5%)), ईंट निर्माण (3%) और मिश्रित धातु प्रसंस्करण (1%)।
12. उन दिनों जब 24 घंटे की औसत पीएम$_{2.5}$ सांद्रता>90 μgm^{-3} थी, ईंट प्रसंस्करण और वाहन उत्सर्जन मुख्य रूप से जिम्मेदार थे। पीएम$_{10}$ के मामले में, जब 24 घंटे की औसत सांद्रता>250 μgm-3 थी, मिश्रित दहन और resuspended धूल (I&II) मुख्य योगदानकर्ता थे।
13. संभावित स्रोत क्षेत्र स्थानीय होने के साथ-साथ क्षेत्रीय प्रकृति के थे, रिसेप्टर साइट पर मापे गए पीएम$_{2.5}$ और पीएम$_{10}$ के लिए ऊपरी इंडो गंगा क्षेत्र के राज्य, पंजाब, हरियाणा, दिल्ली महत्वपूर्ण स्रोत क्षेत्र हैं। इसके अलावा, विशेष रूप से, resuspended धूल II के लिए, जो उच्च पीएम$_{10}$ दिनों के दौरान पीएम$_{10}$ में मुख्य योगदानकर्ताओं में से एक है, संभावित स्रोत शहर में चल रहा निर्माण है।

इस अध्ययन के परिणामों से गाजियाबाद के लिए वायु गुणवत्ता प्रबंधन योजनाओं को मजबूत करने की उम्मीद है। इस अध्ययन के परिणामों का उपयोग नियामक निकायों द्वारा उचित नियंत्रण रणनीति तैयार करने के लिए किया जा सकता है। साथ ही, दिल्ली से इसकी निकटता को देखते हुए, यह उम्मीद की जाती है कि गाजियाबाद में वायु गुणवत्ता प्रबंधन में सुधार से भारत में पूरे राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र को लाभ होगा। इसके अलावा, यह आशा की जाती है कि इस अध्ययन के परिणाम उत्सर्जन सूची के साथ-साथ क्षेत्र में जलवायु मॉडल आउटपुट को मान्य करने के लिए इनपुट प्रदान करेंगे।

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

LIST OF ABBREVIATIONS

Acronyms	Expanded Form
AE	Anion Equivalents
BC	Black Carbon
$CBPF$	Conditional Bivariate Probability Function
CE	Cation Equivalents
CMB	Chemical Mass Balance
CoD	Coefficient of Divergence
$COPD$	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
$COPREM$	Constrained Physical Receptor Model
$CPCB$	Central Pollution Control Board
CWT	Concentration Weighted Trajectory
DRI	Desert Research Institute
EC	Elemental Carbon
EF	Enrichment Factor
EU	European Union
IGP	Indo Gangetic Plain
IHD	Ischemic Heart Disease
$IMPROVE$	Interagency Monitoring for Protected Visual Environments
$INDOEX$	Indian Ocean Experiment
LRI	Lower respiratory infection
MDL	Method Detection Limit
ME	Multilinear Engine
MLR	Multiple Linear Regression
MSA	Methane Sulfonic Acid
$NAAQ$	National Ambient Air Quality
$NAAQS$	National Ambient Air Quality Standards
NCR	National Capital Region
NH	National Highway
NS	Non-significant

Acronyms	Expanded Form
OC	Organic Carbon
$PBLH$	Planetary Boundary Layer Height
PCA	Principle Component Analysis
PM	Particulate Matter
PMF	Positive Matrix Factorization
$PSCF$	Potential Source Contribution Function
QBQ	Quartz Behind Quartz
QBT	Quartz Behind Teflon
RCM	Reconstructed Mass
RTI	Research Triangle Institute
TSP	Total Suspended Particles
$TTFA$	Target Transformation Factor Analysis
$USEPA$	United States Environmental Protection Agency
VC	Ventilation Coefficient
WHO	World Health Organization
$WSIIs$	Water Soluble Inorganic Ions