खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.4

COVID-19 के कारण लॉकडाउन से पहले और उसके दौरान परिवेशी वायु की गुणवत्ता का विश्लेषण: हापुड़ (NCR नगर), उत्तर प्रदेश - एक केस अध्ययन

संगीता अग्रवाल*, मानवेन्द्र सिंह बघेल
रसायन विज्ञान विभाग, श्री सरस्वती विद्यालय, हापुड़ रोड, रफीक नगर, उत्तर प्रदेश, भारत-245101
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- sagarwal.chem@gmail.com

आलेख प्राप्त: १३ जून २०२६; अंतिम संशोधन: २६ जून २०२६; स्वीकृत: ३० जून २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० जून २०२६

सारांश

प्रस्तुत अध्ययन दिल्ली के पास स्थित हापुड़ में परिवेशी वायु की गुणवत्ता की प्रवृत्ति का विश्लेषण करता है। इसमें अलग-अलग लॉकडाउन अवधि के दौरान कणिकीय पदार्थ-2.5(PM2.5 – Particulate Matter 2.5), कणिकीय पदार्थ-10(PM10), कार्बन मोनोऑक्साइड (CO), सल्फर डाइऑक्साइड (SO_2) और नाइट्रोजन डाइऑक्साइड (NO_2) जैसे प्रदूषकों के स्तरो की तुलना कोविड-19 लॉकडाउन से पहले और उसके दौरान लॉकडाउन अवधि से की गई है। प्रदूषकों का प्रतिदिन का डेटा (घंटे के औसत के आधार पर) दिल्ली में के०प्र०नि०बो०(CPCB) की वेबसाइट से लिया गया था। यह अध्ययन मुख्य रूप से वायु के प्रदूषण और वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) पर ध्यान केन्द्रित करती है। इसमें लॉकडाउन से पहले की अवधि (01 मार्च 2020 से 22 मार्च 2020, जिसमें जनता निषेधाज्ञा(Curfew) का एक दिन यानी 22 मार्च 2020 शामिल है), पहला लॉकडाउन (25 मार्च 2020 - 13 अप्रैल 2020), दूसरा लॉकडाउन (15 अप्रैल 2020 – 03 मई 2020), तीसरा लॉकडाउन (04 मई 2020 – 17 मई 2020) और चौथा लॉकडाउन (18 मई 2020 – 31 मई 2020) शामिल हैं। लॉकडाउन से पहले के 21 दिनों की तुलना में पहले और चौथे लॉकडाउन के दौरान वायु की गुणवत्ता में काफी सुधार हुआ। 22 मार्च 2020 को, यानी जनता निषेधाज्ञा(Curfew) वाले दिन, हापुड़ में वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) सामान्य श्रेणी (Moderate) का था, जो बाद के लॉकडाउन में भी सामान्य ही रहा और धीरे-धीरे उसमें सुधार हुआ। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान कणिकीय पदार्थ-2.5 की मात्रा का दायरा क्रमशः 14–98 $\mu g/m^3$, 19–60 $\mu g/m^3$, 18-74 $\mu g/m^3$, 22–65 $\mu g/m^3$ और 13–73 $\mu g/m^3$ दर्ज किया गया। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान कणिकीय पदार्थ-10 सांद्रता की सीमा क्रमशः 22-211 $\mu g/m^3$, 36-222 $\mu g/m^3$, 62-310 $\mu g/m^3$, 73-220 $\mu g/m^3$ और 18-232 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान SO_2 सांद्रता की सीमा क्रमशः 1-16 $\mu g/m^3$, 6-11 $\mu g/m^3$, 4-13 $\mu g/m^3$, 3-11 $\mu g/m^3$ और 2-7 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। लॉकडाउन से पूर्व और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के दौरान NO_2 सांद्रता की सीमा क्रमशः 35-72 $\mu g/m^3$, 42-69 $\mu g/m^3$, 42-67 $\mu g/m^3$, 45-63 $\mu g/m^3$ और 48-69 $\mu g/m^3$ दर्ज की गई। 8 घंटे के CO सांद्रता का विश्लेषण किया गया और पाया गया कि यह मानक सीमा से अधिक था। यह सीमा 0% (चौथे लॉकडाउन में 16:00 से 24:00 बजे के बीच) से लेकर 48% (पहले लॉकडाउन में 00:00 से 08:00 बजे के बीच) तक थी। लॉकडाउन के कारण कणिकीय पदार्थ के संघटन (Composition) में बारीक कणों के असर का विश्लेषण करने के लिए PM2.5 और PM10 का अनुपात भी निकाला गया, जो 0.3 से 0.6 के बीच पाया गया। मुख्य बात यह है कि इस अध्ययन में शामिल दूसरे समय की तुलना में लॉकडाउन-1 के दौरान सभी प्रदूषकों का स्तर काफी कम रहा। इस केस अध्ययन से पता चला कि गाड़ियों की संचालन, उद्योग(इंडस्ट्री), निर्माण और तोड़-फोड़ के कामों, बायोमास और बहुत ज़्यादा चीज़ें जलाने और सड़क की धूल से होने वाला प्रदूषण वायु की गुणवत्ता को काफ़ी खराब कर देता है। लॉकडाउन की पाबंदियों की वजह से इन गतिविधियों पर रोक लगी और परिणामस्वरूप वायु की गुणवत्ता में सुधार हुआ। देशव्यापी लॉकडाउन के दौरान दुनिया भर में वायु की गुणवत्ता अच्छी देखी गई। प्रदूषण को कम करने या उससे निपटने के लिए दिन भारी गाड़ियों पर रोक, एक दिन कारों पर रोक, सम-विषम(Odd-Even) जैसे नियम लागू करना, प्राइवेट गाड़ियों के बजाय सार्वजनिक परिवहन को बढ़ावा देना, अन्य वाहनों के इस्तेमाल को बढ़ावा देना, सड़कों की वैक्यूम क्लीनिंग करना, कंस्ट्रक्शन/तोड़-फोड़ के कामों से धूल उड़ने से रोकना और कचरे व पेड़-पौधों की पत्तियों को जलाने पर पूरी तरह रोक लगाना जैसे कदम भी उठाए जा सकते हैं।

सूचक शब्द - कणिकीय पदार्थ, जनता कर्फ्यू, कोविड-19, लॉकडाउन, वायु की गुणवत्ता, वायु गुणवत्ता सूचकांक, वायु

खंड ३, अंक १, मार्च –२०२६
ई–विज्ञानम
मासिक विज्ञान पत्रिका

Vol. 3, Issue 1, March-2026
e-vigyanam
Monthly Science Journal

आमंत्रित आलेख (Invited Article)

DOI: 10.66346/ev.v3i1.2026.4

Green-Synthesized ZnO Nanoparticles from Dahlia pinnata Leaf Extract: Structural, Optical, and Capillary-Driven Fluid Transport Studies under Variable Temperature Conditions

Sangeeta Agrawal*, Manvendra Singh Baghel
Department of Chemistry, Shri Saraswati Vidyalaya, Hapur Road, Rafiq Nagar, Uttar Pradesh, India-245101

Corresponding Author Email*: sagarwal.chem@gmail.com

Received On: 13 Jun 2026; Final Revision: 29 Jun 2026; Accepted On: 30 Jun 2026
Published Online First: 30 Jun 2026

ABSTRACT

The present study analyzes the trend of ambient air quality in Hapur, located near Delhi. It compares the levels of major air pollutants, including Particulate Matter-2.5 (PM2.5), Particulate Matter-10 (PM10), Carbon Monoxide (CO), Sulfur Dioxide (SO_2), and Nitrogen Dioxide (NO_2), during different phases of the COVID-19 lockdown with the pre-lockdown period. Daily pollutant data (based on hourly averages) were obtained from the Central Pollution Control Board (CPCB), Delhi. The study primarily focuses on air pollution and the Air Quality Index (AQI). The analysis includes the pre-lockdown period (1 March 2020 to 22 March 2020, including the one-day Janata Curfew on 22 March 2020), Lockdown Phase I (25 March 2020–13 April 2020), Phase II (15 April 2020–3 May 2020), Phase III (4 May 2020–17 May 2020), and Phase IV (18 May 2020–31 May 2020).

Compared with the 21-day pre-lockdown period, air quality improved significantly during the first and fourth phases of the lockdown. On 22 March 2020, the day of the Janata Curfew, the Air Quality Index (AQI) in Hapur was in the Moderate category, and it remained in the same category during the subsequent lockdown phases while showing gradual improvement. The concentration ranges of PM2.5 during the pre-lockdown period and Lockdown Phases I, II, III, and IV were recorded as 14–98 µg/m³, 19–60 µg/m³, 18–74 µg/m³, 22–65 µg/m³, and 13–73 µg/m³, respectively. Similarly, the PM10 concentration ranges were 22–211 µg/m³, 36–222 µg/m³, 62–310 µg/m³, 73–220 µg/m³, and 18–232 µg/m³, respectively. The SO_2 concentration ranges were 1–16 µg/m³, 6–11 µg/m³, 4–13 µg/m³, 3–11 µg/m³, and 2–7 µg/m³, respectively, while the NO_2 concentration ranges were 35–72 µg/m³, 42–69 µg/m³, 42–67 µg/m³, 45–63 µg/m³, and 48–69 µg/m³, respectively.

The 8-hour average CO concentration was also analyzed and was found to exceed the prescribed standard limits. The exceedance ranged from 0% (during Lockdown Phase IV between 16:00 and 24:00 hours) to 48% (during Lockdown Phase I between 00:00 and 08:00 hours). To assess the influence of fine particulate matter on overall particulate composition during the lockdown, the PM2.5/PM10 ratio was calculated and found to vary between 0.3 and 0.6. A key finding of the study is that pollutant concentrations were considerably lower during Lockdown Phase I than during the other study periods.

This case study demonstrates that emissions from vehicular traffic, industrial activities, construction and demolition work, biomass and waste burning, and road dust substantially deteriorate ambient air quality. The restrictions imposed during the lockdown significantly curtailed these activities, resulting in noticeable improvements in air quality. Similar improvements in air quality were observed worldwide during the nationwide lockdown. The study suggests that long-term air pollution mitigation strategies may include restricting the movement of heavy vehicles during the daytime, implementing car-free days and odd-even traffic schemes, promoting public transportation over private vehicles, encouraging the use of alternative modes of transport, vacuum cleaning of roads, controlling dust emissions from construction and demolition activities, and enforcing a complete ban on the open burning of waste and fallen leaves.

Keyword: Particulate Matter (PM), Janata Curfew, COVID-19, Lockdown, Air Quality, Air Quality Index (AQI), Ambient Ai

लेखक परिचय

संगीता अग्रवाल

प्रोफेसर संगीता अग्रवाल ने एमएससी व पीएचडी रसायन विज्ञान विषय में उपाधि गोरखपुर विश्वविद्यालय गोरखपुर से प्राप्त करी। तत्पश्चात वह सीएस आई आर की रिसर्च एसोसिएट फैलोशिप को अर्जित किया। इसी दौरान उन्हें उत्तर प्रदेश उच्चतर शिक्षा आयोग इलाहाबाद द्वारा प्राध्यापक पद के लिए चयनित 1994 में चयनित कर लिया गया। 1998 में वह वरिष्ठ अध्यापक पद पर रहे।2003 में उन्हें चयन वेतनमान रीडर का पद प्राप्त हुआ।तत्पश्चात वह एसोसिएट प्रोफेसर के पद पर रहे और 2021 में उन्हें प्रोफेसर का पद प्राप्त हुआ।अपनी शोध के दौरान तथा इस लंबे अध्यापन काल के दौरान पांच शोधार्थियों को पी एचडी का उपाधि के लिए उन्होंने सुपरवाइज किया।तथा लगभग 40 के करीब शोध पत्रों को स्कूपर् जनरल में प्रकाशित किया है ISCA,INCAS,ACS आदि के लाइफ मेंबर भी हैं।पर्यावरण विज्ञान में रुचि रखते हुए अब वायु तथा जल में शोध कार्य करवा रहे हैं।

मानवेंद्र सिंह बघेल

डॉ मानवेंद्र सिंह बघेल ने एमएससी ऑर्गेनिक केमिस्ट्री से सन 1994 में तथा पीएचडी सन 2000 में आगरा कॉलेज आगरा से उपाधि प्राप्त करने के बाद एस एस वी कॉलेज हापुड़ में रसायन विभाग में उन्होंने 2006 में उत्तर प्रदेश उच्चतर शिक्षा विभाग इलाहाबाद द्वारा उनका चयन हुआ। मानवेंद्र सिंह बघेल अभी एसोसिएट प्रोफेसर के पद पर कार्यरत हैं। उनके मार्गदर्शन में एनसीसी 38 बटालियन का सफलतापूर्वक निर्वहन किया जा रहा है जिसमें कि उन्होंने कप्तान पद को संभाला हुआ है।उनके मार्गदर्शन में चार शोधार्थियों ने अपनी पीएचडी की उपाधि प्राप्त कर ली है। और एक शोधकर्ता अभी पीएचडी कर रहा है।अपने शैक्षणिक कार्यकाल में उन्होंने 30 से ज्यादा शोध पत्र प्रकाशित किए हैं कई समितियां के वह लाइफ मेंबर है।

1. परिचय

केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (CPCB — Central Pollution Control Board) भारत सरकार के पर्यावरण, वन एवं जलवायु परिवर्तन मंत्रालय के अधीन एक सांविधिक निकाय है, जो देश भर में वायु गुणवत्ता की निरंतर निगरानी करता है। सेंट्रल पॉल्यूशन कंट्रोल बोर्ड (के०प्र०नि०बो०) की वेबसाइट के अनुसार, भारत में वाहनों की संख्या 2004 में 72.7 मिलियन से बढ़कर 141.8 मिलियन से अधिक हो गई थी एवं देश के कुल उत्सर्जन में परिवहन क्षेत्र का योगदान लगभग 90% है (खांडार एवं कोसंकर, 2014)।

विश्व स्वास्थ्य संगठन (WHO — World Health Organisation) के अनुसार, बाह्य वायु प्रदूषण के कारण प्रतिवर्ष विश्वभर में 4-मिलियन से अधिक व्यक्तियों की समयपूर्व मृत्यु होती है। इसके लिए मुख्यतः 2.5 माइक्रोमीटर या उससे कम वायुगतिकीय व्यास वाले सूक्ष्म कण (PM2.5) उत्तरदायी हैं, जो श्वसन तंत्र की सूक्ष्म कोशिकाओं, हृदय एवं रक्त परिसंचरण तंत्र को गंभीर क्षति पहुँचाते हैं (Xiangdong Li एवं अन्य, 2019)। मिलर (2020) ने प्रतिपादित किया है कि वायु प्रदूषकों के संपर्क में आने से हृदयवाहिकीय क्षति के विभिन्न स्तरों पर 'ऑक्सीडेटिव स्ट्रेस' (Oxidative Stress — मुक्त मूलकों द्वारा उत्पन्न कोशिकीय क्षति) एक केंद्रीय कारक के रूप में कार्य करता है।

वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI — Air Quality Index) वायु प्रदूषण की स्थिति को एक संख्यात्मक पैमाने पर व्यक्त करने की मानकीकृत प्रणाली है, जिसे के०प्र०नि०बो०(CPCB) ने अक्टूबर 2014 में भारत के लिए प्रसारित किया। कोविड-19 (Coronavirus Disease-2019) महामारी के नियंत्रण हेतु भारत सरकार द्वारा 25 मार्च 2020 से लागू राष्ट्रव्यापी लॉकडाउन ने अप्रत्यक्ष रूप से एक अनोखा प्राकृतिक प्रयोग (Natural Experiment) प्रस्तुत किया, जिसमें परिवहन, उद्योग एवं निर्माण गतिविधियाँ लगभग स्थगित रहीं तथा वायु गुणवत्ता पर इसका स्पष्ट एवं मापनीय प्रभाव देखा गया।

शहरी इलाकों में गाड़ियों और निर्माण कार्यों में तेज़ी से हो रही बढ़ोतरी से कई तरह के प्रदूषक निकलते हैं, जो प्रदूषण में काफ़ी योगदान देते हैं (श्रीवास्तव आदि, 2018; CPCB, 2010)। 2015 में सिंह और ग्रोवर ने बताया कि तेज़ी से हो रहे शहरीकरण के कारण पेड़-पौधों वाले बड़े इलाकों की जगह, कंक्रीट की इमारतें, हाईवे और पक्की सड़कें ले रही हैं (सिंह, आदि, 2015)। गाड़ियाँ, सड़क की धूल और ठोस ईंधन का इस्तेमाल करके खाना पकाना शहरी इलाकों में वायु प्रदूषण के मुख्य स्रोत हैं। खांडार और कोसंकर (2014) के अनुसार, मोटर गाड़ियों की संख्या 2004 में 72.7 मिलियन से बढ़कर लगभग 141.8 मिलियन हो गई थी और उन्होंने बताया कि भारत में कुल उत्सर्जन में लगभग 90% योगदान ट्रांसपोर्ट सेक्टर का है (खांडार, आदि, 2014)। श्रीवास्तव, आदि (2013) ने बताया है कि शहरी इलाकों में सड़क परिवहन प्रणाली और वायु प्रदूषण के बीच सीधा संबंध है (श्रीवास्तव, आदि, 2013)। गुर्जर, आदि (2016) ने वायु प्रदूषण के रुझानों का अध्ययन किया और पाया कि सभी बड़े शहरों में NOx बढ़ा है और SOx कम हुआ है। ऐसा रजिस्टर्ड गाड़ियों की संख्या बढ़ने के कारण हो सकता है (गुर्जर, आदि, 2016; अंबाष्ट, आदि, 2006)। वोंग, आदि के शोध पत्र से पता चला है कि भारत के घनी आबादी वाले शहरी इलाकों में यह एक बड़ी समस्या है (वोंग, आदि, 2010)। 2014 में लखनऊ में लॉरेंस और फातिमा द्वारा किये गये एक अध्ययन में बताया गया कि घनी आबादी वाले और सड़क के किनारे के इलाकों में PM10 और PM2.5 का औसत स्तर विश्व स्वास्थ्य संगठन(WHO) द्वारा तय की गई स्वीकार्य सीमा से ज़्यादा था; ये स्तर क्रमशः 189$\mu g/m^3$ (PM2.5, 76 $\mu g/m^3$) और 226 $\mu g/m^3$ (PM2.5, 91 $\mu g/m^3$) पाए गए

(लॉरेंस और अन्य, 2014)। 2008 में ढेरे और अन्य ने बताया कि SPM, SO_2 और NOx की मात्रा भारत की राष्ट्रीय मानक सीमा से काफी ज़्यादा थी (ढेरे और अन्य, 2008; गुर्जर और अन्य, 2016)। पुणे में कचरा निस्तारण स्थल (Waste Disposal Site) पर निलम्बित कणकीय पदार्थ (SPM - Suspended Particulate Matter) का औसत वार्षिक उत्सर्जन 1708 $\mu g/m^3$ पाया गया, जबकि कचरा भराव क्षेत्र (Land Fill) पर SO_2 और NOx का औसत वार्षिक उत्सर्जन क्रमशः 285 $\mu g/m^3$ और 234 $\mu g/m^3$ था। शर्मा और अन्य ने बताया है कि PM10 के अनुमानित औसत मान में सबसे ज़्यादा योगदान कणकीय कार्बनिक पदार्थ (24%) का होता है, इसके बाद मिट्टी/क्रिस्टलीय पदार्थ (16%), प्रकाश-अवशोषित करने वाला कार्बन (4%), अमोनियम नाइट्रेट (6%), पुराना समुद्री नमक (5%) और अमोनियम सल्फेट (7%) जैसे अन्य पदार्थ आते हैं। दिल्ली में PM10 में क्षेत्रवार(Sector wise) योगदान मुख्य रूप से द्वितीयक एरोसोल(Secondary Aerosol) (21.7%), मिट्टी की धूल (20.7%), जीवाश्म ईंधन के जलने (17.4%), वाहनों से निकलने वाले धुएं (16.8%) और बायोमास जलाने (13.4%) से होता है (शर्मा और अन्य, 2014)। गुप्ता, 2008., WHO की रिपोर्ट (1992) के अनुसार, भारत के कई बड़े शहरों में वायु में प्रदूषण का स्तर WHO के मानकों से ज़्यादा है और कणिकीय पदार्थ (वायु में मौजूद बारीक कण) से होने वाले प्रदूषण के मामले में दुनिया के बीस सबसे ज़्यादा प्रदूषित शहरों में भारत के तेरह शहर शामिल हैं ("एम्बिएंट एयर पॉल्यूशन डेटाबेस", विश्व स्वास्थ्य संगठन, मई 2014) (गुप्ता यू., 2008)। इस अद्ययन के लिए PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO जैसे पांच मापदंड (Parameter) चुने गए हैं क्योंकि हापुड़ में कई स्रोतों से बहुत ज़्यादा प्रदूषण हो रहा है और हापुड़ में प्रदूषण के स्तर का विश्लेषण करना और वायु की खराब गुणवत्ता को कम करने के लिए कदम उठाना ज़रूरी है। सेहत से जुड़ी कई समस्याएं सिर्फ़ प्रदूषण की वजह से होती हैं (के०प्र०नि०बो०, 2009; जैन और अन्य, 2016; WHO, 1992; जामवाल 2006; त्यागी और अन्य, 2016) और इनका समाधान खोजने के लिए कई रिसर्च चल रही हैं। इनमें से, वायु के प्रदूषण से होने वाली ज़्यादातर मृत्यु के लिए दिल और रक्त वाहिकाओं (कार्डियोवैस्कुलर) से जुड़ी समस्याएं ज़िम्मेदार मानी गई हैं। इसके लिए कई जैविक क्रियायें(Biological Processes) ज़िम्मेदार हैं; हालांकि, प्रदूषकों के संपर्क में आने से दिल और रक्त वाहिकाओं को होने वाले नुकसान के कई स्तरों पर 'ऑक्सीडेटिव स्ट्रेस' एक अहम बात देखी गई है (मिलर एम.आर., 2020)। यह अध्ययन हापुड़ जैसे छोटे शहर में प्रदूषण को रोकने की दिशा में एक छोटा सा कदम है।

2. सामग्री और विधि

2.1 अध्ययन क्षेत्र

हापुड़ को गाज़ियाबाद ज़िले से अलग करके हाल ही में उत्तर प्रदेश के राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र (NCR) ज़ोन में एक ज़िले के तौर पर बनाया गया है। 2016 में इसकी आबादी 1,281,272 थी। हापुड़ 28.72°N 77.78°E पर स्थित है। इसकी औसत ऊंचाई 213 मीटर (699 फ़ीट) है। इसके उत्तर में मेरठ और दक्षिण में बुलंदशहर है, जबकि गाज़ियाबाद और अमरोहा इसकी पश्चिमी और पूर्वी सीमाएँ बनाते हैं। यहाँ 4 ब्लॉक हैं - हापुड़, गढ़मुक्तेश्वर, सिम्भावली और धौलाना; और 3 तहसीलें हैं - हापुड़, गढ़मुक्तेश्वर और धौलाना। यहाँ 4 नगर पालिकाएँ और एक नगर पंचायत है। सिम्भावली ब्लॉक में एक बहुत प्रसिद्ध चीनी मिल है और एक चीनी मिल बैजनाथपुर, हापुड़ में है। ज़िले में सेंचुरी प्लाईवुड की एक यूनिट के साथ-साथ कई अन्य निजी प्लाईवुड कल-कारखाने(फ़ैक्टरियाँ) भी हैं। हापुड़ स्टेनलेस स्टील पाइप, सिलाई मशीन और लकड़ी व कागज़ के उत्पादों के निर्माण केंद्र के रूप में भी जाना जाता है। ज़िला मुख्यालय - हापुड़ - सड़क और रेल मार्ग से उत्तर प्रदेश और भारत के प्रमुख शहरों से अच्छी तरह जुड़ा हुआ है। नई दिल्ली और गाज़ियाबाद के पास होने के कारण इसमें विकास की बहुत संभावनाएँ हैं।

2.2 साइट और डेटा कलेक्शन का विवरण

सामुदायिक बहुस्तरीय वायु गुणवत्ता (CMAQ) स्टेशन हापुड़ शहर में आनंद विहार, हापुड़ पिलखुवा विकास प्राधिकरण ऑफ़िस में स्थित है (मैप-1)। यह साइट रेलवे स्टेशन से सीधे हाईवे तक जाने वाली मुख्य सड़कों के पास है, इसलिए यहाँ ट्रैफ़िक काफ़ी ज़्यादा रहता है। साइट के पास उद्योग भी हैं, खासकर कागज़ बनाने का प्लांट और प्लाईवुड उद्योग। विश्लेषण के लिए, के०प्र०नि०बो० वेबसाइट से PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO (सभी $\mu g/m^3$ में) की सांद्रता (concentration) का डेटा इकट्ठा किया गया है।

चित्र-1 हापुड़ में मॉनिटरिंग स्टेशन की लोकेशन

PM2.5, PM10, SO_2, NO_2, और CO जैसे प्रदूषकों की मात्रा ($\mu g/m^3$) के विश्लेषण के लिए संख्यात्मक डेटा के०प्र०नि०बो० की वेबसाइट से इन समय-सीमाओं के दौरान लिया गया:

i.) लॉकडाउन से पहले: 1 मार्च 2020 - 21 मार्च 2020 (21 दिन)

ii.) लॉकडाउन 1: 25 मार्च 2020 - 14 अप्रैल 2020 (21 दिन)

iii.) लॉकडाउन 2: 15 अप्रैल 2020 - 3 मई 2020 (19 दिन)

iv.) लॉकडाउन 3: 4 मई 2020 - 17 मई 2020 (14 दिन)

v.) लॉकडाउन 4: 18 मई 2020 - 31 मई 2020 (14 दिन)

यह डेटा के०प्र०नि०बो० (CPCB) की वेबसाइट से लिया गया है। अध्ययन किए गए सभी प्रदूषकों की मात्रा का विश्लेषण मूलभूत वायु गुणवत्ता साँख्यिकी और वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI) के लिए किया गया है। प्रदूषक की परिवेश मात्रा के आधार पर, सब-इंडेक्स परिकलित किया जाता है, जो मात्रा का एक लीनियर फंक्शन है। सबसे खराब उप-अनुक्रमणिका(Sub Index) ही कुल वायु गुणवत्ता सूचकांक तय करता है। छह प्रदूषकों के लिए वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी और हेल्थ ब्रेकपॉइंट इस प्रकार हैं (धेरे और अन्य, 2008; गुर्जर और अन्य, 2016), तालिका-1। के०प्र०नि०बो० ने उप-अनुक्रमणिका मान और वायु गुणवत्ता सूचकांक का मान परिकलित करने के तरीके तय किए हैं, और अध्ययन में उन नतीजों को लागू करना ज़रूरी है (के०प्र०नि०बो०, अक्टूबर 2014)। भारतीय वायु गुणवत्ता सूचकांक तरीके में, किसी प्रमुख प्रदूषक के उप-अनुक्रमणिका को नीचे दिए गए फ़ॉर्मूले के अनुसार मापा गया है।

$$I_P = \left\{ \frac{(I_{HI} - I_{LO})}{(B_{HI} - B_{LO})} \right\} \times (C_P - C_{LO}) + I_{LO}$$

जहाँ,

B_{HI} = Breakpoint concentration greater or equal to given concentration.

B_{LO} = Breakpoint concentration smaller or equal to given concentration.

I_{HI} = AQI value corresponding to B_{HI}

I_{LO} = AQI value corresponding to B_{LO}

अंततः,

AQI = Max (I_P) (जहाँ; p= 1, 2, ..., n; n प्रदूषकों को प्रदर्शित करते हैं)

तालिका-1: **अलग-अलग प्रदूषकों की वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी**

वायु गुणवत्ता सूचकांक श्रेणी	AQI	प्रदूषक					
		PM 10	PM 2.5	NO_2	SO_2	CO	Ozone
अच्छी	0-50	0-50	0-30	0-40	0-40	0-1.0	0-50
सन्तोषजनक	51-100	51-100	31-60	41-80	41-80	1.1-2.0	51-100
मध्यम प्रदूषित	101-200	101-250	61-90	81-180	81-380	2.1-10	101-16
खराब	201-300	251-350	91-120	181-280	381-800	10-17	169-20
अत्यधिक खराब	301-400	351-430	121-250	281-400	801-1600	17-34	209-74
गम्भीर	401-500	430+	250+	400+	1600+	34+	748+

3 नतीजे और चर्चा:

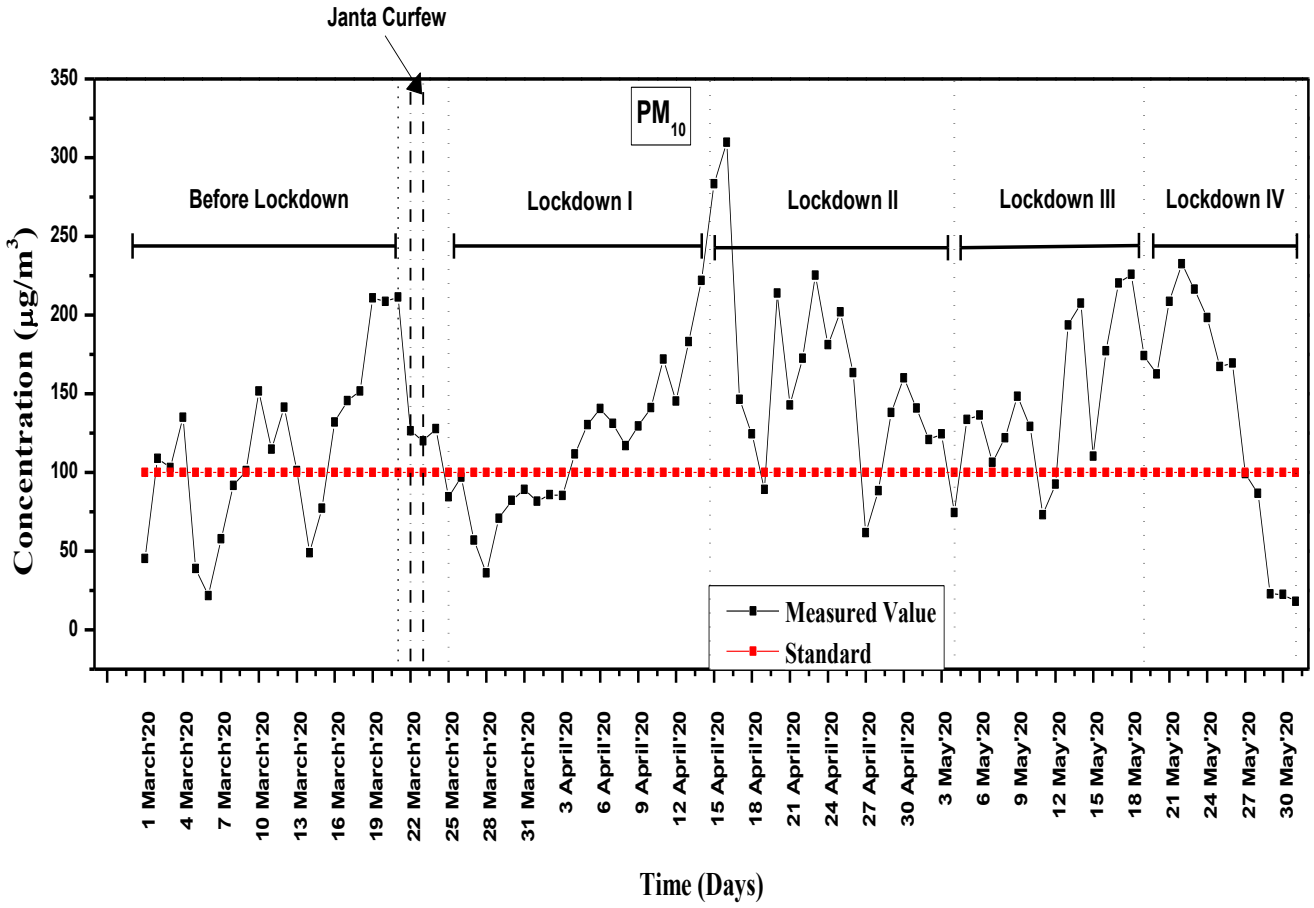
प्रदूषकों (जैसे PM2.5, PM10, SO_2, NO_2 और CO) की मात्रा ($\mu g/m^3$ में) का हर घंटे का डेटा CPCB की वेबसाइट से कोविड-19 से पहले और चार लॉकडाउन अवधि के दौरान लिया गया। फिर CO को छोड़कर बाकी सबके लिए 24 घंटे का औसत निकाला गया; CO के लिए 8 घंटे के आधार पर गणना की गई। इसके बाद माइक्रोसॉफ्ट एक्सिल का इस्तेमाल करके डेटा का संख्यात्मक विश्लेषण किया गया। साँख्यिकी विश्लेषण और वायु गुणवत्ता सूचकांक, तालिका 2 से 7 में दिए गए हैं।

3.1 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM10 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान PM10 की मात्रा के ट्रेंड का तुलनात्मक सांख्यिकीय विश्लेषण तालिका 2 और रेखा चित्र-1 में दिखाया गया है। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान 24 घंटे का औसत PM10 सांद्रता क्रमशः 114 $\mu g/m^3$, 114 $\mu g/m^3$, 162 $\mu g/m^3$, 138 $\mu g/m^3$ और 143 $\mu g/m^3$ था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 की न्यूनतम मात्रा क्रमशः 22 $\mu g/m^3$, 36 $\mu g/m^3$, 62 $\mu g/m^3$, 73 $\mu g/m^3$ और 18 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 की अधिकतम मात्रा क्रमशः 211 $\mu g/m^3$, 222 $\mu g/m^3$, 310 $\mu g/m^3$, 220 $\mu g/m^3$ और 233 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान मानक विचलन क्रमशः 56 $\mu g/m^3$, 45 $\mu g/m^3$, 63 $\mu g/m^3$, 47 $\mu g/m^3$ और 78 $\mu g/m^3$ आंका गया था। मोटे कणों (coarse particles) में कमी का कारण उद्योगों, ट्रांसपोर्ट, सड़क की धूल (तोड़-फोड़ और निर्माण कार्यों) और गाड़ियों की आवाजाही पर लगी रोक हो सकती है। लॉकडाउन-1, 2, 3 और 4 के दौरान मापी गई मान, मानक सीमा से ज़्यादा रही, उनकी संख्या क्रमशः 11 (21 दिनों में से), 16 (19 दिनों में से), 11 (14 दिनों में से) और 9 (14 दिनों में से) थी। औसत सांद्रता की यह तुलना PM10 के स्तर में साफ़ तौर पर कमी का प्रवृत्ति दिखाती है, जो सिर्फ़ लॉकडाउन 1 में काफ़ी ज़्यादा थी। लॉकडाउन 2 के दौरान सांद्रता 310 $\mu g/m^3$ ज़्यादा थी, जिसका कारण सड़कों पर गाड़ियों की अचानक बढ़ी हुई संख्या थी। ऐसा अप्रैल महीने में आए दो खास मौकों की वजह से हो सकता है।

तालिका-2: PM10 **का सांख्यकीय विश्लेषण**

PM10 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	**लॉकडाउन-1**	**लॉकडाउन-2**	**लॉकडाउन-3**	**लॉकडाउन-4**
न्यूनतम	22	36	62	73	18
अधिकतम	211	222	310	220	233
औसत(Average)	114	114	162	138	143
मानक विचलन(SD)	56	45	63	47	78
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	14 (21)	11(21)	16(19)	11(14)	9(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	66.67%	52.38%	84.21%	78.57%	64.29%



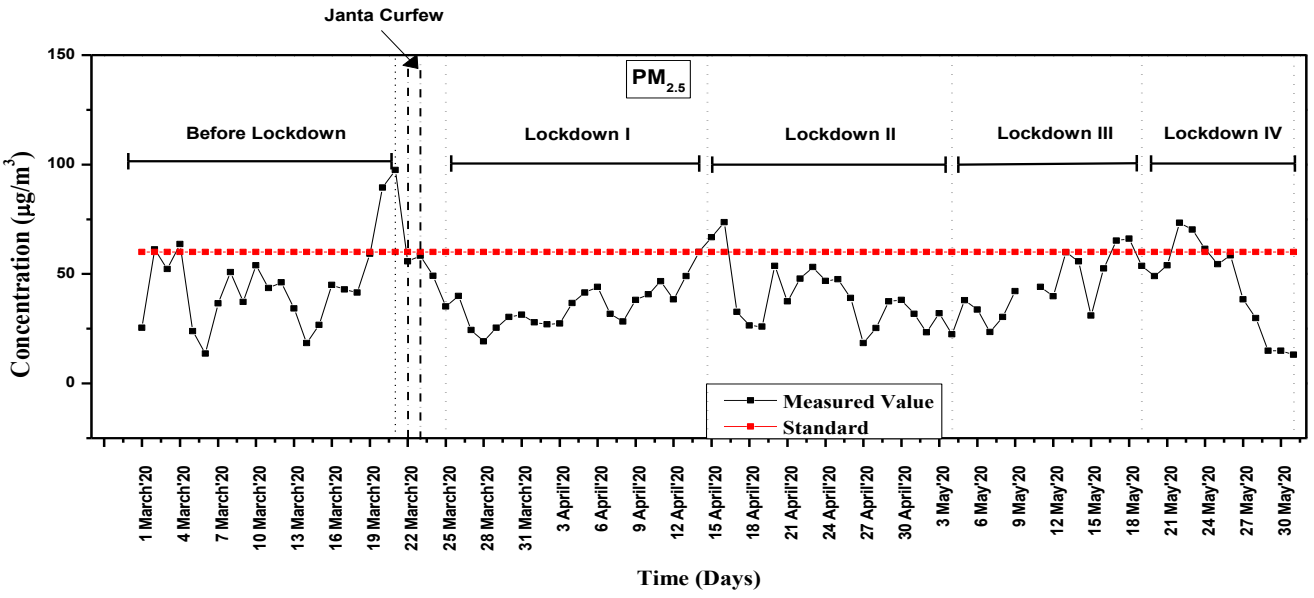
रेखा-चित्र-1: 24 घण्टे के औसत PM10 तुलना

3.2 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM2.5 का ट्रेंड और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान PM2.5 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-3 और रेखा-चित्र-2 में दिखाई गयी है। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान 24 घंटे का औसत PM2.5 स्तर क्रमशः 46 µg/m^3, 35 µg/m^3, 40 µg/m^3, 41 µg/m^3 और 47 µg/m^3 था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM10 का न्यूनतम स्तर क्रमशः 14 µg/m^3, 19 µg/m^3, 18 µg/m^3, 22 µg/m^3 और 13 µg/m^3 था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान PM2.5 का अधिकतम स्तर क्रमशः 98 µg/m^3, 60 µg/m^3, 74 µg/m^3, 65 µg/m^3 और 73 µg/m^3 था। लॉकडाउन से पहले, और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान मानक विचलन क्रमशः 21 µg/m^3, 10 µg/m^3, 15 µg/m^3, 14 µg/m^3 और 21 µg/m^3 आंका गया था। लॉकडाउन 4 में, कुल 21 दिनों में से 4 दिन PM2.5 का स्तर 60 µg/m^3 की मानक मान से नीचे रहा, यानी कुल दिनों का 28.57% हिस्सा मानक मान से अधिक रहा। इसका कारण सड़क पर ट्रैफिक को माना गया है।

तालिका-3: **सांख्यिकीय विश्लेषण PM2.5**

PM2.5 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	14	19	18	22	13
अधिकतम	98	60	74	65	73
औसत	46	35	40	41	47
मानक विचलन(SD)	21	10	15	14	21
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	4(21)	1(21)	2(19)	1(14)	4(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	19.05%	4.76%	10.53%	6.67%	28.57%



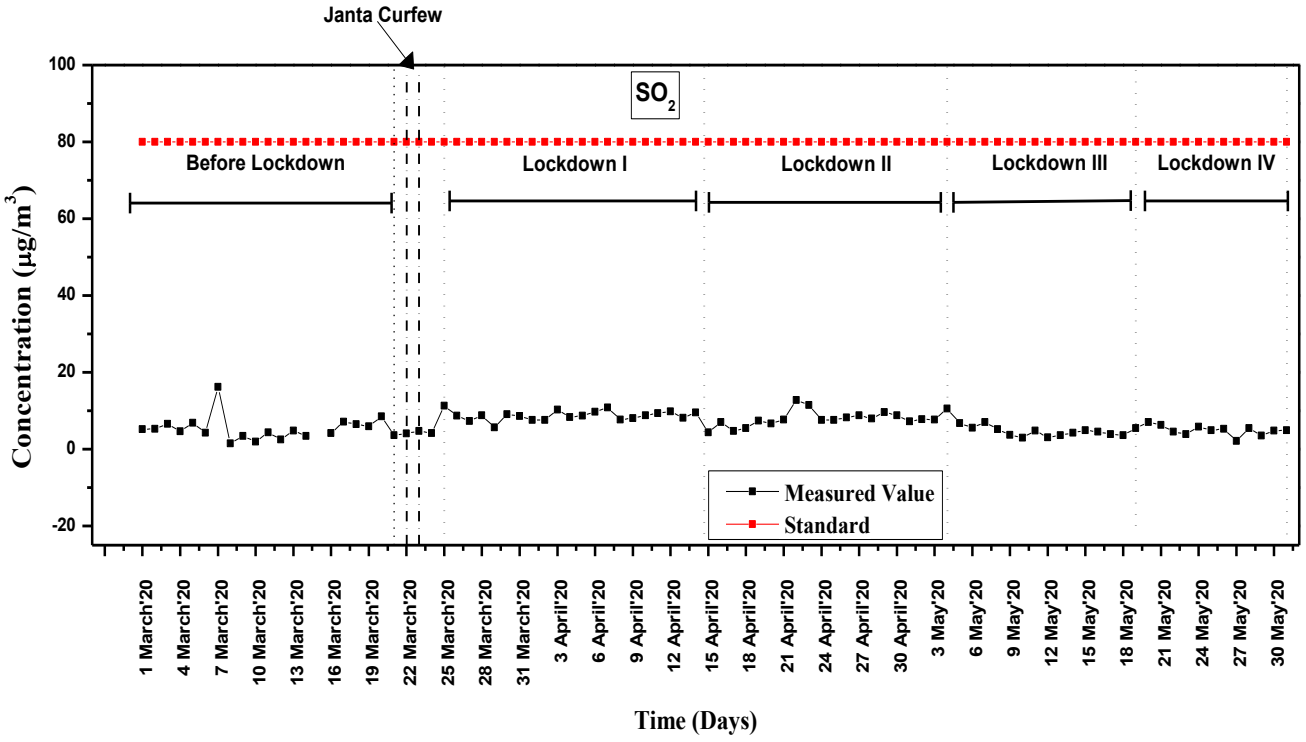
रेखा-चित्र-2: 24 घण्टे के औसत PM2.5 की तुलना

3.3 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान SO_2 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान SO_2 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-4 और चित्र-3 में दिखाई गई है। नीचे दिया गया ग्राफ़ और सांख्यिकीय विश्लेषण लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन के समय SO_2 की 24 घंटे की मात्रा के प्रवृत्ति को दिखाते हैं। सभी दिनों में SO_2 की मात्रा मानक स्तर से कम रही है। ऐसा मौसम की स्थितियों के कारण हो सकता है।

तालिका-4: SO_2 का सांख्यिकीय विश्लेषण

SO_2 ($\mu g/m^3$)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	1	6	4	3	2
अधिकतम	16	11	13	1	7
औसत	5	9	8	5	5
मानक विचलन(SD)	3	1	2	2	1
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	0(21)	0(21)	0(19)	0(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



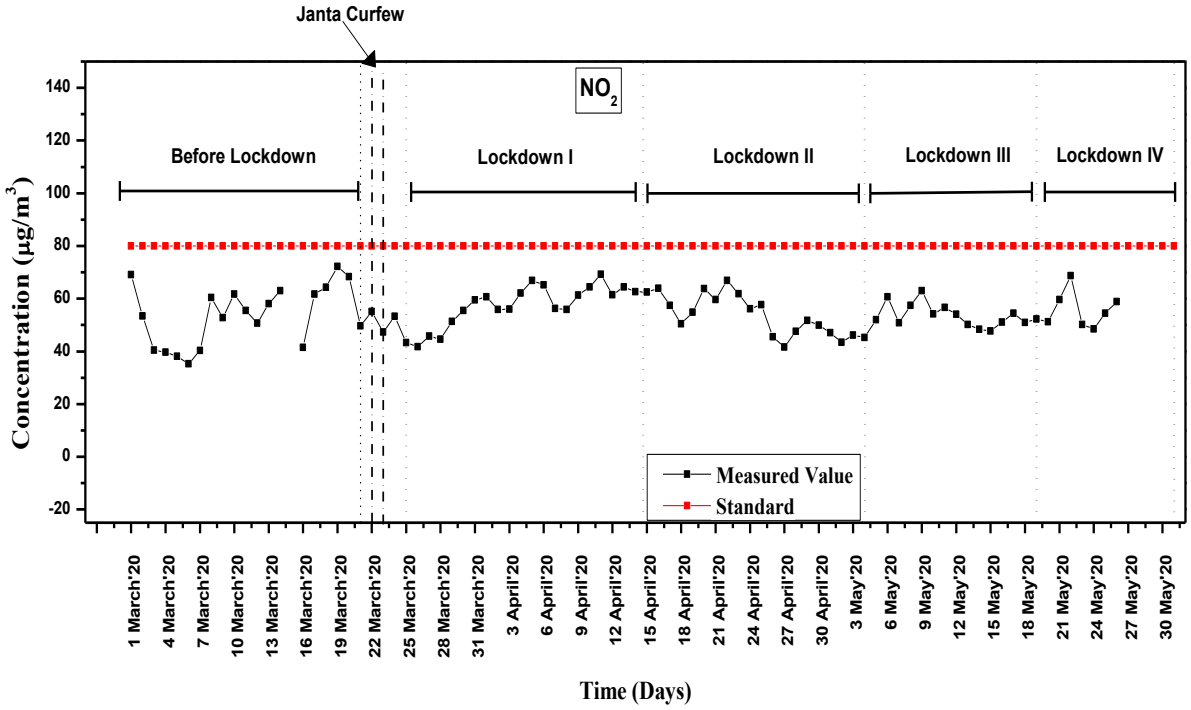
रेखा-चित्र-3: 24 के घण्टे के औसत SO_2 की तुलना

3.4 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान NO_2 का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान NO_2 की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-5 और चित्र-4 में दिखाई गई है। नीचे दिया गया ग्राफ़ और सांख्यिकीय विश्लेषण लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन के समय NO_2 की 24 घंटे की मात्रा का ट्रेंड दिखाते हैं। सभी दिनों में इसकी मात्रा 80µg/m3 के मानक स्तर से कम रही।

तालिका-5: NO_2 का साँख्कीय विश्लेषण

NO_2 (µg/m^3)					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	35	42	42	45	48
अधिकतम	72	69	67	63	69
औसत	54	57	54	53	55
मानक विचलन(SD)	11	8	8	5	6
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी (100 µg/m^3)	0(21)	0(21)	0(19)	0(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



रेखा चित्र-4: 24 के घण्टे के औसत NO_2 की तुलना

3.5 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान CO का प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1 से 4 के दौरान CO की मात्रा के प्रवृत्ति और सांख्यिकीय विश्लेषण की तुलना तालिका-6(a), 6(b) और 6(c) और रेखाचित्र-5 में दिखाई गई है। पहले 8 घंटों के समय अंतराल (00.00 से 08.00 बजे) के लिए, CO की औसत मात्रा और मानक विचलन क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1095 ±509 $\mu g/m^3$, 1949 ± 514 $\mu g/m^3$, 1953 ± 544 $\mu g/m^3$, 2052 ± 911 $\mu g/m^3$ और 1204 ± 764 $\mu g/m^3$ थे। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय अंतराल के लिए, CO की औसत मात्रा क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1190 ± 643 $\mu g/m^3$, 1688 ± 517 $\mu g/m^3$, 1812 ± 947 $\mu g/m^3$, 1160 ± 640 $\mu g/m^3$ और 1212 ± 659 $\mu g/m^3$ थी। आखिरी 8 घंटों यानी 16.00 से 24.00 बजे के समय अंतराल के लिए, CO की औसत मात्रा क्रमशः लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए 1396 ± 731 $\mu g/m^3$, 1807 ± 787 $\mu g/m^3$, 1973 ± 598 $\mu g/m^3$, 1645 ± 538 $\mu g/m^3$ और 1019 ± 424 $\mu g/m^3$ थी। 00.00 से 08.00 बजे के 8 घंटे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 550 $\mu g/m^3$, 1140 $\mu g/m^3$, 1080 $\mu g/m^3$, 740 $\mu g/m^3$ और 160 $\mu g/m^3$ थी। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 550 $\mu g/m^3$, 1020 $\mu g/m^3$, 150 $\mu g/m^3$, 370 $\mu g/m^3$ और 610 $\mu g/m^3$ थी। आखिरी 8 घंटों यानी 16.00 से 24.00 बजे के समय में CO की कम से कम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 430 $\mu g/m^3$, 820 $\mu g/m^3$, 1060 $\mu g/m^3$, 770 $\mu g/m^3$ और 430 $\mu g/m^3$ थी। 00.00 से 08.00 बजे के 8 घंटे के समय में CO की ज़्यादा से ज़्यादा मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 2370 $\mu g/m^3$, 3260 $\mu g/m^3$, 2790 $\mu g/m^3$, 3420 $\mu g/m^3$ और 2460 $\mu g/m^3$ थी। अगले 8 घंटों यानी 08.00 से 16.00 बजे के समय में CO की ज़्यादा से ज़्यादा मात्रा 2800 $\mu g/m^3$, 3100 $\mu g/m^3$, 3790 $\mu g/m^3$, 2030 $\mu g/m^3$ और 2470 $\mu g/m^3$ थी। लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए ये मात्राएँ क्रमशः $\mu g/m^3$ में थीं। पिछले 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के समय के दौरान CO की अधिकतम मात्रा लॉकडाउन से पहले, लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के लिए क्रमशः 2900 $\mu g/m^3$, 4400 $\mu g/m^3$, 2950 $\mu g/m^3$, 2420 $\mu g/m^3$ और 1840 $\mu g/m^3$ थी।

पहले 8 घंटों की अवधि यानी 00:00 से 08:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः एक, दस, चार, चार और 3 दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। अगले 8 घंटों के अंतराल यानी 08:00 से 16:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः दो, पाँच, तीन, एक और दो दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। पिछले 8 घंटों के अंतराल यानी 16:00 से 24:00 बजे के बीच, CO की मात्रा लॉकडाउन से पहले, पहले लॉकडाउन, दूसरे लॉकडाउन, तीसरे लॉकडाउन और चौथे लॉकडाउन के दौरान क्रमशः पाँच, पाँच, चार, एक और शून्य दिनों तक मानक स्तर से ज़्यादा रही। कुल मिलाकर, 00:00 से 8:00 बजे के अंतराल के दौरान CO का स्तर मानक से ज़्यादा होने की दर 4.76% (लॉकडाउन से पहले) से 47.62% (लॉकडाउन-1) के बीच रही; 08:00 से 16:00 बजे के अंतराल के दौरान यह दर 9.5% (लॉकडाउन से पहले और चौथे लॉकडाउन) से 23.81% (पहले लॉकडाउन) के बीच रही। आखिर में, पिछले 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के दौरान यह दर 23.81% (लॉकडाउन से पहले) से घटकर 0% (चौथे लॉकडाउन) हो गई। यहाँ यह बताना ज़रूरी है कि विश्लेषण से पता चला कि लॉकडाउन 4 के दौरान किसी भी दिन CO का स्तर मानक सीमा से ऊपर नहीं गया, क्योंकि फ़ॉसिल फ़्यूल और बची हुई सामग्री को जलाने की प्रक्रिया न्यूनतम हो गई थी और CO का उत्सर्जन भी कम हो गया था, जैसा कि तालिका-6(c) से साफ़ पता चलता है।

तालिका-6 (अ): 00:00 से 08:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

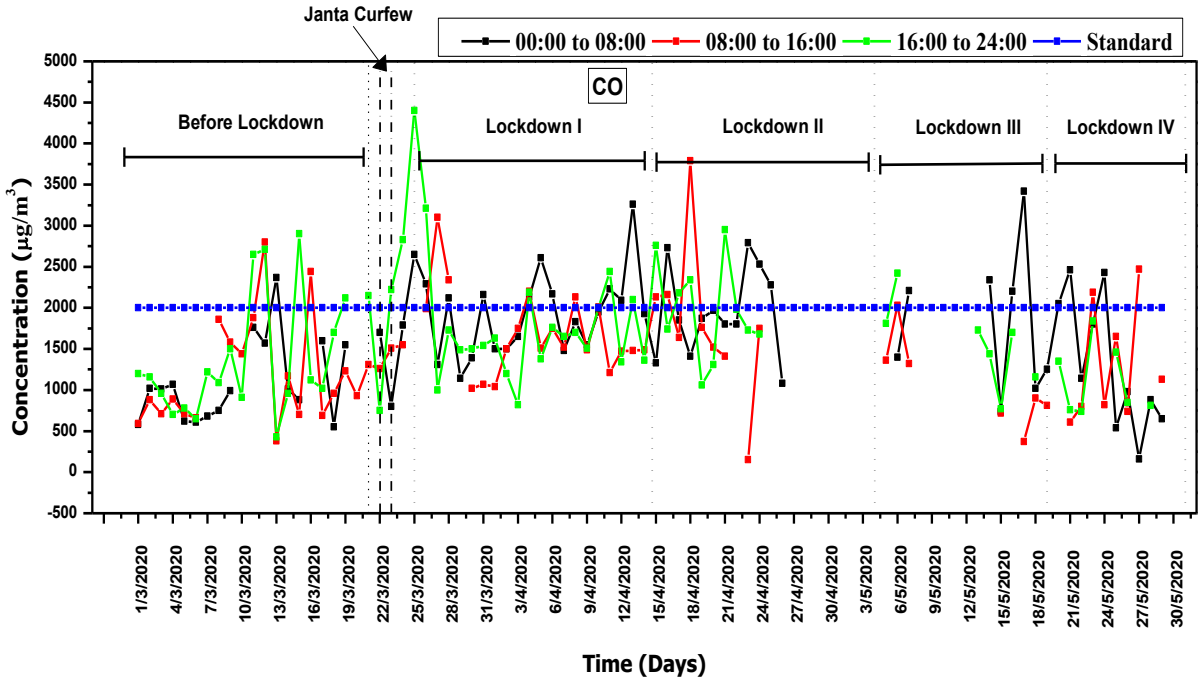
CO ($\mu g/m^3$) समय-अंतराल 00:00 to 08:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	550	1140	1080	740	160
अधिकतम	2370	3260	2790	3420	2460
औसत	1095	1949	1953	2052	1204
मानक विचलन(SD)	509	514	544	911	765
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	1(21)	10(21)	4(19)	4(14)	3(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	4.76%	47.62%	19.05%	19.05%	14.29%

तालिका-6 (ब): 08:00 से 16:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

CO ($\mu g/m^3$) समय-अंतराल 08:00 to 16:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	550	1020	150	370	610
अधिकतम	2800	3100	3790	2030	2470
औसत	1190	1688	1812	1160	1212
मानक विचलन(SD)	643	517	947	640	659
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	2(21)	5(21)	3(19)	1(14)	2(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	9.52%	23.81%	14.29%	4.76%	9.52%

तालिका-6 (स): 16:00 से 24:00 बजे के समय-अंतराल के लिये CO का साँख्यिकीय विश्लेषण

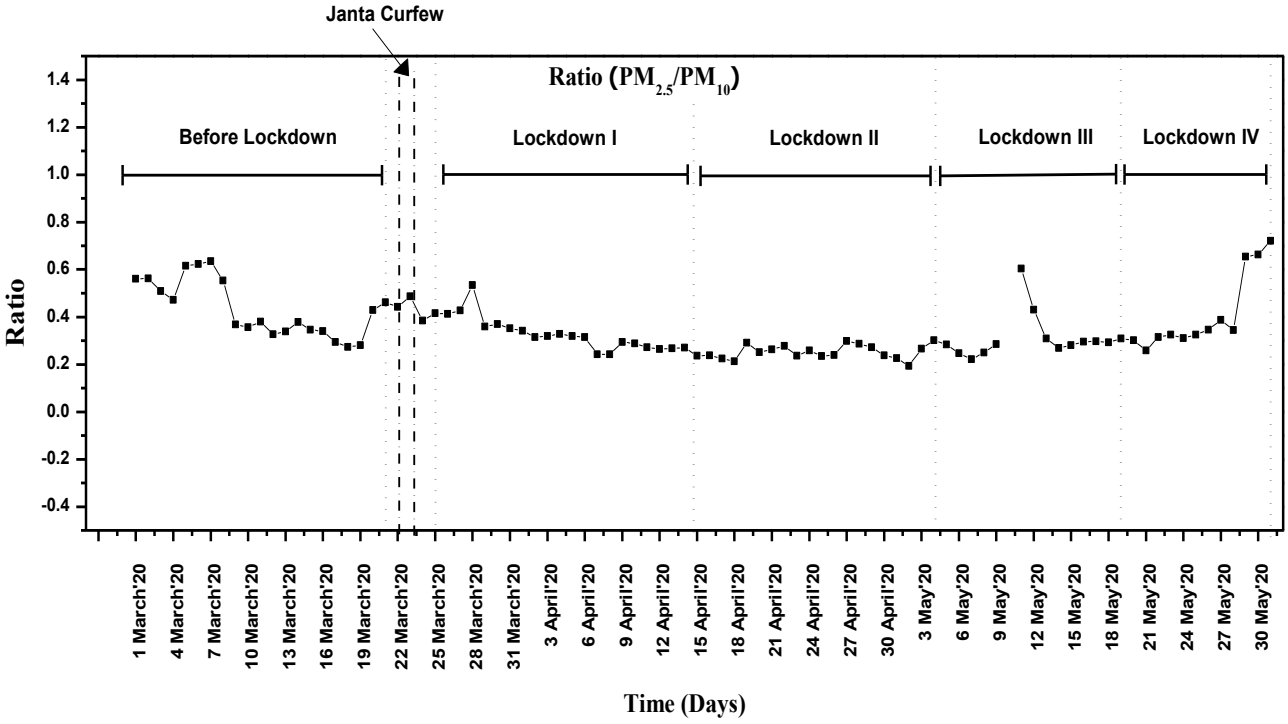
CO ($\mu g/m^3$) समय-अंतराल 16:00 to 24:00 के लिये					
	लॉकडाउन से पूर्व	लॉकडाउन-1	लॉकडाउन-2	लॉकडाउन-3	लॉकडाउन-4
न्यूनतम	430	820	1060	770	430
अधिकतम	2900	4400	2950	2420	1840
औसत	1396	1807	1973	1645	1019
मानक विचलन(SD)	731	787	598	538	424
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	5(21)	5(21)	4(19)	1(14)	0(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	23.81%	23.81%	19.05%	4.76%	0.00



रेखा चित्र 5: तीन अलग-अलग समय-अंतरालों के लिये 8-घण्टे के औसत की तुलना

3.6 लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1-4 के दौरान PM2.5/PM10 अनुपात का ग्राफ़

चित्र-6 में दिखाए गए PM2.5/PM10 अनुपात के ग्राफ़ से पता चलता है कि 28 मार्च के बाद यह अनुपात कम होने लगा और लॉकडाउन के दौरान ज़्यादातर समय 0.6 से नीचे रहा। इससे पता चलता है कि लॉकडाउन के दौरान बारीक कणों (fine particles) की मात्रा कम हुई, जिनकी हवा की गुणवत्ता में मुख्य भूमिका होती है। 11 मई के बाद इस अनुपात में भारी गिरावट आई और 21 मई को यह लगभग 0.3 तक पहुँच गया। PM2.5 और PM10 के अनुपात और ऊपर दिए गए ग्राफ़ से यह साफ़ है कि दोनों पैरामीटर के उत्सर्जन में कमी आई।



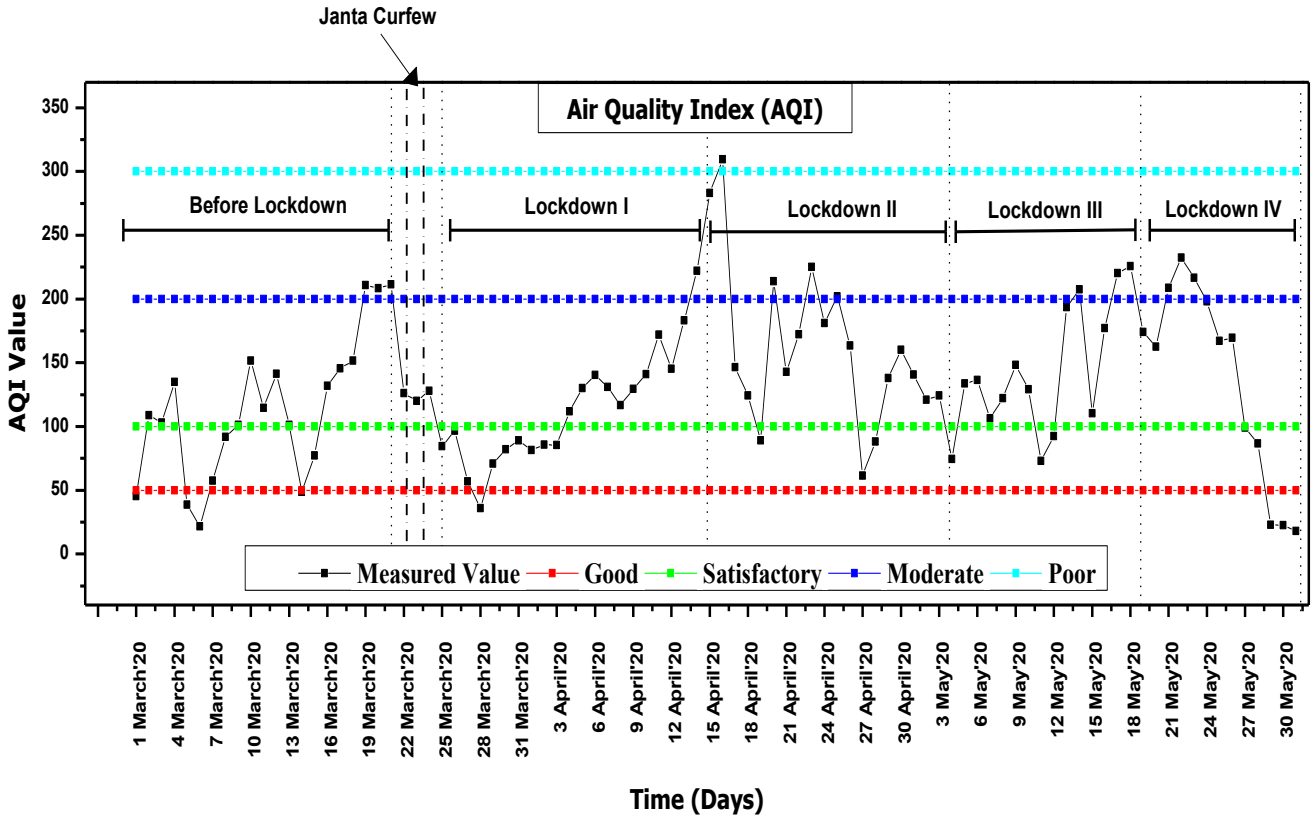
रेखाचित्र-6: PM2.5/PM10 का 24 घण्टे का औसत अनुपात

3.7 हापुड़ में लॉकडाउन का असर

लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1,2,3,4 की अवधि के लिए सीपीसीबी बुलेटिन के अनुसार वायु गुणवत्ता सूचकांक की गणना तालिका-**7** और चित्र-**7** में दिखाई गई है। तालिका-**7** में एक्यूआई मान दर्शाते हैं कि लॉकडाउन से पहले के सभी 21 दिनों में से 14 दिन एक्यूआई 100-200 के साथ मध्यम प्रदूषित श्रेणी में थे**,** संतोषजनक श्रेणी वाले 5 दिनों में एक्यूआई 50-100 की सीमा में था और केवल 5 और 6 मार्च के 2 दिनों में एक्यूआई 0-50 के साथ अच्छी श्रेणी थी। लॉकडाउन से पहले के 21 दिनों में PM10 66.67%, NO_2 19.04**%** और सीओ 14.28% समय के साथ हावी रहा। AQI कैटेगरी में सबसे अहम पैरामीटर PM10, 100-250 के बीच था और इसे औसत दर्जे का प्रदूषित हवा माना गया। लॉकडाउन से पहले के सभी 21 दिनों में से**,** 7 दिन ठीक-ठाक AQI वाले थे**,** यानी 67-89 की कतार में और 14 दिन AQI वैल्यू की कैटेगरी, 100 से 181 की कतार में थी। लॉकडाउन-1 के 21 दिनों में, PM10, 80.95% और CO, 19.05% समय तक हावी रहा। लॉकडाउन-1 के लिए**,** PM10 सबसे अहम पैरामीटर था। सबसे अहम पैरामीटर PM10 के लिए AQI 100 - 250 के बीच था और इसे औसत दर्जे की प्रदूषित हवा माना गया। लॉकडाउन-2 के दौरान**,** कुल 19 दिनों में से 3 दिन ऐसे थे जिनका AQI, 61 से 89 की सीमा में संतोषजनक था और 14 दिन ऐसे थे जब AQI, 116-183 की सीमा में मध्यम था और **2** दिन ऐसे थे जब AQI, 233-259 की सीमा में खराब था। लॉकडाउन-2 के लिए, PM10 प्रमुख पैरामीटर था। प्रमुख पैरामीटर PM10 के लिए AQI, 61 - 260 के बीच रहा और इसे खराब श्रेणी में रखा गया। लॉकडाउन-3 में कुल 14 दिनों में से 3 दिन ऐसे थे जिनका AQI, 73-92 की सीमा में संतोषजनक था और 11 दिन ऐसे थे कि जब AQI, 104-180 की सीमा में मध्यम था। लॉकडाउन के दौरान कुल 14 दिनों में से 4 दिन ऐसे थे जिनमें 3 दिन अच्छा AQI, 24 से 44 की सीमा में था और 2 दिन संतोषजनक AQI, 86 से 99 की सीमा में था और 9 दिन मध्यम AQI, 141-183 की सीमा में थे। लॉकडाउन-4 के 14 दिनों में, PM10, 78.57%, PM2.5, 7.14% और CO 14.29% समय के साथ हावी रहा। लॉकडाउन-4 के लिए PM10 प्रमुख पैरामीटर है। प्रमुख पैरामीटर PM10 के लिए AQI 86-188 के बीच था और इसे हवा की मध्यम प्रदूषित श्रेणी के लिए जिम्मेदार ठहराया गया था। AQI, 0-50 के साथ अच्छी श्रेणी की वायु गुणवत्ता लॉकडाउन से पहले 2 दिनों के लिए और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 में क्रमशः 0, 0, 0 और 3 दिनों के लिए बनी रही। लॉकडाउन से पहले 5 दिनों तक AQI, 51-100 के साथ संतोषजनक कैटेगरी की एयर क्वालिटी रही और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 में यह क्रमशः 7, 3, 3 और 2 दिनों तक रही। हालांकि**,** लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन-1 के दौरान संतोषजनक AQI (100) का ज़्यादा होना 61.90% और लॉकडाउन 2 के दौरान 84.21% के बीच देखा गया। नीचे दी गई तालिका-7 में लॉकडाउन के अलग-अलग स्टेज के दौरान AQI में बदलाव के प्रवृत्ति को बताया गया है।

तालिका 7: लॉक़डाउन से पूर्व और लॉकडाउन के अलग-अलग चरणों के दौरान हवा और उसकी कैटेगरी का विशलेषण

लॉकडाउन तथा उसके विभिन्न चरणों के दौरान AQI तथा कैटेगरी					
	लॉकडाउन से पूर्व	**लॉकडाउन-1**	**लॉकडाउन-2**	**लॉकडाउन-3**	**लॉकडाउन-4**
न्यूनतम	77 (satisfactory)	82 (Satisfactory)	114 (Mod. Poor)	104 (Mod. Poor)	87 (satisfactory)
अधिकतम	225 (Poor)	181 (Mod. Poor)	260 (Poor)	180 (Mod. Poor)	188 (Mod. Poor)
औसत	123 (Mod. Poor)	118 (Mod Poor)	154 (Mod. Poor)	135 (Mod. Poor)	150 (Mod. Poor)
SD	39 (Good)	24 (Good)	42 (Good)	25 (Good)	18 (Good)
दिनों की सँख्या (कुल दिनों में से) जब मापी गयी राशि मानक सीमा से अधिक हो गयी ($100\ \mu g/m^3$)	7(21)	9(21)	6(19)	4(14)	5(14)
मानक सीमाओं से अधिक वाले दिनों का प्रतिशत	33	43	31	28	36
न्यूनतम	13(21)	13(21)	16(19)	11(14)	9(14)
संतोषजनक स्तर से ऊपर AQI के दिनों का प्रतिशत	61.90	61.90	84.21	78.57	64.29
प्रमुख पैरामीटर	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}



रेखा-चित्र 7: 24 घण्टे की औसत वायु गुणवत्ता सूचकांक

4.0 निष्कर्ष

देशव्यापी लॉकडाउन के दौरान, कोई भी शहर वायु गुणवत्ता सूचकांक की खतरनाक या गंभीर श्रेणी में नहीं आया। अध्ययन के मुख्य निष्कर्ष यह हैं कि लॉकडाउन से पहले की अवधि की तुलना में, लॉकडाउन के सभी चरणों के दौरान वायु की गुणवत्ता 'संतोषजनक' और 'मध्यम' श्रेणी में रही। लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 की अवधि की तुलना में, संशोधित लॉकडाउन अवधि के दौरान वायु की गुणवत्ता खराब हो गई। सभी लॉकडाउन अवधियों में, PM10 का स्तर अधिक था और वायु गुणवत्ता सूचकांक के लिए यह मुख्य पैमाना (dominant parameter) रहा। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत PM10 और मानक विचलन (SD) क्रमशः 114 ± 55 $\mu g/m^3$, 114 ± 45 $\mu g/m^3$, 162 ± 63 $\mu g/m^3$, 138 ± 47 $\mu g/m^3$ और 143 ± 78 $\mu g/m^3$ आंका गया। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत PM2.5 और मानक विचलन क्रमशः 46 ± 21 $\mu g/m^3$, 35 ± 10 $\mu g/m^3$, 40 ± 15 $\mu g/m^3$, 41 ± 14 $\mu g/m^3$ और 46 ± 21 $\mu g/m^3$ आंका गया। लॉकडाउन से पहले और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए 24 घंटे का औसत SO_2 और मानक विचलन क्रमशः 5 ± 3 $\mu g/m^3$, 9 ± 1 $\mu g/m^3$, 8 ± 2 $\mu g/m^3$, 5 ± 2 $\mu g/m^3$ और 5 ± 1 $\mu g/m^3$ आंका गया। 24 घंटे का NO_2 प्री-लॉकडाउन और लॉकडाउन 1, 2, 3, 4 के लिए औसत और मानक विचलन का अनुमान क्रमशः 54 ± 11$\mu g/m^3$, 57 ± 8 $\mu g/m^3$, 54 ± 8 $\mu g/m^3$, 53 ± 5 $\mu g/m^3$ और 55 ± 6 $\mu g/m^3$ लगाया गया था। दे लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान कुल दिनों में से क्रमशः 66.67%, 52.38%, 84.21%, 78.57% और 64.29% दिनों में मानक मान से ज़्यादा रहा (सिर्फ़ लॉकडाउन 1 और 4 में PM10 के स्तर में कमी देखी गई)। PM2.5 का स्तर प्री-लॉकडाउन और लॉकडाउन 1, 2, 3 और 4 के दौरान कुल दिनों में से क्रमशः 19.05%, 4.76%, 10.53%, 6.67% और 28.57% दिनों में मानक मान से ज़्यादा रहा (लॉकडाउन 1, 2 और 3 में PM2.5 के स्तर में कमी देखी गई)। NO2 की कम वैल्यू मुख्य रूप से सड़कों पर गाड़ियों की कम मौजूदगी और बंद औद्योगिक गतिविधियों के कारण देखी गई। कुल मिलाकर, 00:00 से 8:00 बजे के समय में CO का स्तर 4.76% (प्री-लॉकडाउन) से 47.62% (लॉकडाउन-1) के बीच ज़्यादा रहा; 08:00 से 16:00 बजे के समय में यह 9.5% (प्री-लॉकडाउन और चौथा लॉकडाउन) से 23.81% (पहला लॉकडाउन) के बीच रहा। आखिर में, आखिरी 8 घंटों यानी 16:00 से 24:00 बजे के दौरान, ज़्यादा स्तर 23.81% (प्री-लॉकडाउन) से घटकर 0% (चौथा लॉकडाउन) हो गया। यहाँ यह बताना ज़रूरी है कि एनालिसिस से पता चला कि लॉकडाउन-4 के दौरान CO का स्तर कभी भी मानक मान से ऊपर नहीं गया, क्योंकि फॉसिल फ्यूल और बचा-खुचा कचरा जलाने का काम बहुत कम हो गया था और CO का उत्सर्जन भी घट गया था, जैसा कि तालिका-6(स) से साफ़ पता चलता है; इस दौरान CO के उत्सर्जन में सबसे ज़्यादा कमी देखी गई। लॉकडाउन के अलग-अलग चरणों और लॉकडाउन से पहले के समय के सांख्यिकीय विश्लेषण और तुलनात्मक प्रवृत्ति से पता चलता है कि SO_2 और NO_2 का सांद्रण मानक मान से नीचे रहा। PM10 का योगदान सबसे ज़्यादा रहा और यह ज़्यादातर मानक मान से ऊपर ही रहा, सिवाय 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16 मार्च, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 मार्च, 1-5, 19, 27, 28, 29 अप्रैल, 3, 10, 11, 12, 28, 29, 30 मई की तारीखों के लॉकडाउन के सभी चरणों के दौरान PM2.5 का सांद्रण लगभग मानक मान से नीचे रहा और लॉकडाउन के दौरान वायु में CO का डेटा बहुत उतार-चढ़ाव वाला रहा। इससे पता चलता है कि तय राष्ट्रीय मानक सीमा के अंदर इन्हें कंट्रोल करना छोटे शहर में भी एक चुनौती है। दिल्ली जैसे मेट्रोपॉलिटन शहर के मुकाबले 'राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र' के शहर में वायु प्रदूषण प्रवृत्ति के मामले में इस अध्ययय के नतीजे अनोखे हैं।

यह भी देखा गया कि लॉकडाउन के दौरान ज़रूरी सामान ले जाने वाली परिवहन गतिविधियाँ की इजाज़त थी और कभी-कभी 13, 14 अप्रैल को - खासकर बैसाखी और डॉ. अंबेडकर जयंती के मौके पर - लोगों की भारी आवाजाही के कारण यातायात भी बढ़ गया था। लॉकडाउन-1 के बाद, कई मज़दूर अलग-अलग तरह के परिवहन से यात्रा कर रहे थे और हापुड़ में तहसील क्रॉसिंग पर बड़ी संख्या में लोग रुक रहे थे। यह दिल्ली-हापुड़-गढ़ रोड है जो हाईवे को जोड़ती है, इसलिए हापुड़-दिल्ली रोड पर ट्रकों की आवाजाही ज़्यादा थी। उस समय सभी को राशन बांटने की सरकारी योजना भी लागू की गई थी; हापुड़ में गेहूं का माल गोदाम है, इसलिए गेहूं को स्टोर से सरकारी वितरण बिंदु तक ले जाने के लिए कई ट्रक और ट्रैक्टर सड़कों पर थे। ये वे कारण हो सकते हैं जिनकी वजह से हापुड़ में कुल प्रदूषण में कोई कमी नहीं दिखी। नतीजों से पता चलता है कि कुछ नई नीतियां अपनाकर और इस नज़रिए से राष्ट्रीय मानक सीमाओं और वायु गुणवत्ता सूचकांक के आधार की समीक्षा करके वायु प्रदूषण को कम करने की गुंजाइश पर ध्यान देने की ज़रूरत है। हमने पाया कि लॉकडाउन-1 में, उन इलाकों में भी प्रदूषण कम हुआ जो ज़्यादा प्रदूषित थे। "आमतौर पर, हर जगह हवा और पानी के प्रदूषण में काफ़ी कमी देखी गई।" असल में, प्रदूषण की समस्या को कम करने के लिए खास नीतियों की ज़रूरत है। प्रदूषण को कम करने या उससे निपटने के लिए, निजी वाहनों के बजाय सार्वजनिक परिवहन को बढ़ावा देने और बिना मोटर वाले वाहनों के इस्तेमाल को बढ़ावा देने के अलावा, कम से कम एक दिन भारी वाहनों पर रोक, एक दिन कारों पर रोक, और सम-विषम जैसे उपायों पर विचार किया जा सकता है; साथ ही सड़कों की वैक्यूम सफ़ाई तथा पानी की बौछारें जैसे उपाय भी किए जा सकते हैं।

मौसम विज्ञान विभाग (IMD — India Meteorological Department) के डेटा के आधार पर अध्ययन अवधि के दौरान तापमान (Temperature, °C), वर्षा (Rainfall, mm), सापेक्ष आर्द्रता (Relative Humidity, %) तथा पवन गति (Wind Speed, m/s) मौसम संबंधी कारक वायु प्रदूषकों की सांद्रता को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं। उच्च तापमान वायुमंडलीय अस्थिरता बढ़ाकर प्रदूषकों के फैलाव में सहायक होता है, जबकि वर्षा 'Wet Deposition' (आर्द्र निक्षेपण) के माध्यम से कणिकीय पदार्थ को वायुमंडल से निष्कासित करती है। अतः मौसम संबंधी कारक (बढ़ता तापमान, वर्षा, पवन गति) वायु गुणवत्ता में आंशिक सुधार के सह-कारक रहे। लॉकडाउन को एकमात्र कारण मानना वैज्ञानिक दृष्टि से अपर्याप्त होगा। मौसम संबंधी कारकों को प्रस्तुत अध्ययन में शामिल किया जा सकता था लेकिन अध्ययन में वायु प्रदूषकों का परिवहन गतिविधि तथा औद्योगिक गतिविधि का सापेक्ष प्रभाव देखने ज्यादा महत्वपूर्ण था यह निश्चित रूप से अध्ययन को आगे बढ़ाने में सहायक हो सकता है।जिसको की आगे के अध्ययन में पाठक द्वारा लिया जा सकता है।

5.0 आभार

हम स्टडी पूरी करने में डेटा और मैनुअल के रूप में मददगार गाइडेंस के लिए के०प्र०नि०बो० के बहुत शुक्रगुजार हैं। के०प्र०नि०बो० ने राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र के शहर हापुड़ में वायु प्रदूषण को कंट्रोल करने के एक्शन प्लान को 2016-18 के दौरान के०प्र०नि०बो० और उ०प्र०प्र०नि०बो० के आपसी सहयोग से इस CAAQM स्टेशन की योजना बनाई गई और इसे हापुड़ में बनाया गया। हम हापुड़ वेबसाइट के एडमिनिस्ट्रेशन के भी शुक्रगुजार हैं क्योंकि हमने शहर की वेबसाइटों के बारे में कुछ आम जानकारी ली।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Ambasht, R.S; and Ambasht, P.K; (2006), Environment & Pollution, 4th edition, New Delhi, CBS Publishers & Distributors, page 162,
2. Central Pollution Control Board (Ministry of Environment, Forest and Climate Change), CPCB. (2009). Comprehensive Environmental Assessment of Industrial Clusters. Ecological Impact Assessment Series: EIAS/5/2009– 2010. Central Pollution Control Board, Ministry of Environment and Forests, Govt. of India, New Delhi.
3. CPCB (2010). Status of the Vehicular Pollution Control Program in India Program Objective Series. PROBES/136⁄2010. CPCB, New Delhi.
4. CPCB. (2014). National Air Quality Index. Central Pollution Control Board, New Delhi. Retrieved from http://www.cpcb.gov.in
5. Dhere, A.M., Pawar, B.B., Pardeshi, P.B., andPatil, D.A. (2008). Municipal solid wastedisposal in Pune City – An Analysis of Air and Ground Water Pollution. Current Science, 95,773–777.
6. Gupta Usha; (2008). Valuation Of Urban Air Pollution-A case study of Kanpur City in India, Environ resource. Economics, Vol.41 Issue 3, PP. 315-326.
7. Gurjar, B.R., Khaiwal, R., and Nagpure, A.S.(2016). Air Pollution Trends Over Indian Megacities and their Local to Global Implications. Atmospheric Environment, 142, 475–495.
8. Jain R., Palwa K.. (2016). Air Pollution and health *The Energy and Resources Institute*
9. Jamwal, P.,Mittal,(2006). International POPs Elimination Project (IPEP), Country Situation on Persistent Organic Pollutants (POPs) in India. PP.57.http://ipen.org/sites/default/files/
10. Khandar, C. and Kosankar, S. (2014). A Review of Vehicular Pollution in Urban India and its Effects on Human Health. Journal of Advanced Laboratory Research in Biology, V, 54–61.
11. Lawrence, A. and Fatima, N. (2014) Urban air pollution and its assessment in Lucknow City – the second largest city of North India.Science of the Total Environment, 488–489, 447–455.

12. Miller, M.R., Oxidative stress and the cardiovascular effects of air pollution. Free Radical Biology and Medicine, 2020. 151: p. 69-87.
13. Sharma, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M.,Rashmi, Rohtash, Sharma, A., and Gautam,R. (2014). Source Apportionment of PM10 byusing Positive Matrix Factorization at an Urban Site of Delhi, India. *Urban Climate*,10, 656–670.
14. Singh, R.B. and Grover, A. (2015). Spatial Correlations of Changing Land Use, Surface Temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat Satellite Images. In: Singh, R.B.(ed.), *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities.* Advances in Geographical and Environmental Sciences; Springer, Japan,pp. 83–97
15. Shrivastav, R.K., Saxena, N., and Gautam, G.(2013). Air Pollution due to Road Transportation in India: A Review on Assessment and Reduction Strategies. Journal of Environmental Research and Development, 8, 69–77.
16. Shrivastava M., Ghosh A., Bhattacharyya R., Singh S.D.(2018).Urban Pollution in India. Centre for Environment Science and Climate Resilient Agriculture, Indian Agricultural Research Institute
17. Tyagi, S.K.; Upadhyay, V.K.; Kulshreshtha, D.; Kumar, S.; Krishnamurthy, P. and Sen, A.K. (2016). Study of Background Ambient Air Quality in Northern Himalayan Regions: Uttrakhand and Himachal Pradesh, India, Indian Journal of Air Pollution Control, Vol XVI, No. 1:1-9.
18. WHO/UNEP Report; (1992), Urban Air Pollution in Mega-Cities of The World. World Health Organisation and United Nations Environment Programme. Blackwell Publishers, 108 Cowley Road, Oxford OX4’ 1JF Cambridge, UK..
19. Wong, M.S., Nichol, J.E., To, P.H., and Wang, J.,(2010). A simple method for designation of urban ventilation corridors and itsapplication to urban heat island analysis.Building and Environment, 45, 1880–1889.
20. Xiangdong Li, Ling Jin & Haidong Kan, Air pollution: a global problem needs local fixes; Nature 570, 437-439 (2019)