



भारत में वायु प्रदूषण: स्थिति, प्रभाव, कारण और नियंत्रण उपाय



- वायु प्रदूषण, रासायनिक, भौतिक या जैविक कारकों द्वारा वायुमंडल का प्रदूषण है जो इसकी प्राकृतिक संरचना को बदल देते हैं।
- कणिकीय पदार्थ (PM2.5, PM10), कार्बन मोनोऑक्साइड (CO), ओज़ोन (O₃), नाइट्रोजन डाइऑक्साइड (NO₂), और सल्फर डाइऑक्साइड (SO₂) जैसे प्रदूषक मानव स्वास्थ्य, पारिस्थितिक तंत्र और जलवायु को प्रभावित करते हैं।
- प्रमुख स्रोतों में वाहन, उद्योग, बायोमास जलाना, निर्माण धूल और धूल भरी आंधी जैसी प्राकृतिक घटनाएँ शामिल हैं।

भारत में वायु प्रदूषण की स्थिति

- **वैश्विक संदर्भ:** 2024 विश्व वायु गुणवत्ता रिपोर्ट (IQAir) के अनुसार, भारत पाँचवाँ सबसे प्रदूषित देश है, जिसका औसत PM2.5 स्तर 50.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ है, जो विश्व स्वास्थ्य संगठन की सुरक्षित सीमा (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) से 10 गुना अधिक है।
- **शहर:** दिल्ली दुनिया की सबसे प्रदूषित राजधानी है। दुनिया के शीर्ष 10 में से छह और शीर्ष 20 सबसे प्रदूषित शहरों में से 13 भारत में हैं।
- लगभग 97% आबादी विश्व स्वास्थ्य संगठन के दिशानिर्देशों से अधिक PM2.5 के स्तर के संपर्क में है, जिससे गंभीर स्वास्थ्य समस्याओं का खतरा बढ़ रहा है।
- **मृत्यु दर:** भारत में वायु प्रदूषण के कारण प्रतिवर्ष 21 लाख लोगों की मृत्यु होती है (स्वच्छ वायु कोष, 2024)।

भारत में वायु प्रदूषण के कारण

1. **वाहनों से उत्सर्जन:** पुराने वाहन, यातायात की भीड़भाड़ और खराब ईंधन गुणवत्ता CO, NO_x और PM उत्सर्जित करते हैं।
2. **औद्योगिक प्रदूषण:** कोयला आधारित बिजली संयंत्र और कारखाने SO₂, NO_x और कणिकीय पदार्थ छोड़ते हैं।
3. **कृषि गतिविधियाँ:** पंजाब और हरियाणा में पराली जलाना, अत्यधिक उर्वरक उपयोग NO_x बढ़ाता है।
4. **घरेलू बायोमास जलाना:** लकड़ी, गोबर और कोयले के उपयोग से CO और ब्लैक कार्बन उत्सर्जित होता है।
5. **निर्माण और सड़क की धूल:** सीमेंट, सिलिका और कच्ची सड़कें इसमें महत्वपूर्ण योगदान देती हैं।
6. **अन्य स्रोत:** अपशिष्ट जलाना, वनों की कटाई और मौसमी धूल भरी आँधियाँ।

वायु प्रदूषण के प्रभाव

क. स्वास्थ्य पर प्रभाव

- श्वसन संबंधी रोग: अस्थमा, ब्रोंकाइटिस, सीओपीडी।
- हृदय संबंधी जोखिम: दिल के दौरों और स्ट्रोक में वृद्धि।
- अकाल मृत्यु: भारत में वायु प्रदूषण के कारण प्रतिवर्ष लगभग 20 लाख अकाल मृत्यु दर्ज की जाती हैं।

ख. आर्थिक प्रभाव

- बीमारी और अनुपस्थिति के कारण श्रम उत्पादकता में कमी।
- स्वास्थ्य सेवा की लागत में वृद्धि।
- उपभोक्ता गतिविधि और परिसंपत्ति दक्षता में कमी के कारण सकल घरेलू उत्पाद की वृद्धि दर में कमी।
- सौर ऊर्जा दक्षता में कमी: 2041-2050 तक लगभग 2.3% की गिरावट अपेक्षित है, जिससे लगभग 840 गीगावाट प्रति घंटा वार्षिक हानि होगी।

ग. पर्यावरणीय प्रभाव

- SO₂ और NO_x उत्सर्जन से होने वाली अम्लीय वर्षा फसलों, जंगलों और जलीय पारिस्थितिक तंत्रों को नुकसान पहुँचाती है।
- ओजोन क्षति और नाइट्रोजन जमाव के माध्यम से मिट्टी की गुणवत्ता को कम करता है और फसल की पैदावार को कम करता है।
- ग्रीनहाउस गैसों में वृद्धि करके जलवायु परिवर्तन को तेज़ करता है।

वायु गुणवत्ता मानक और मापन

A. राष्ट्रीय मानक

- **राष्ट्रीय परिवेशी वायु गुणवत्ता मानक (NAAQS):** 12 प्रमुख प्रदूषकों के लिए अनुमेय सीमाएँ निर्धारित करते हैं, जो निगरानी का आधार बनती हैं।
- **निगरानी किए जाने वाले प्रदूषक:** PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃, NH₃, Pb, और अन्य।

B. वायु गुणवत्ता सूचकांक (AQI)

- एक रंग-कोडित प्रणाली जो आसानी से समझने योग्य वायु गुणवत्ता जानकारी प्रदान करती है।
- अधिकारियों को यातायात प्रतिबंधों और औद्योगिक बंद जैसे आपातकालीन उपायों को लागू करने में मदद करता है।
- **AQI में शामिल प्रदूषक:** PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO, O₃ (ओजोन), NH₃ (अमोनिया), Pb (लेड)

संस्थागत तंत्र

- **केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (CPCB):** देश भर में वायु गुणवत्ता की निगरानी और विनियमन करता है।
- **राज्य प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (SPCB):** राज्य-स्तरीय वायु प्रदूषण उपायों को लागू करता है।

- **वायु गुणवत्ता प्रबंधन आयोग (CAQM):** एनसीआर और आसपास के क्षेत्रों में वायु गुणवत्ता प्रबंधन का समन्वय करता है।
- **वायु गुणवत्ता और मौसम पूर्वानुमान एवं अनुसंधान प्रणाली (SAFAR):** वास्तविक समय में वायु गुणवत्ता की निगरानी और पूर्वानुमान प्रदान करता है।

भारत में AQI श्रेणियाँ (केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड)

AQI मान	श्रेणी	स्वास्थ्य पर प्रभाव / सलाह
0-50	अच्छा	वायु गुणवत्ता संतोषजनक है; जोखिम बहुत कम या नगण्य है।
51-100	संतोषजनक	वायु गुणवत्ता स्वीकार्य है; अति संवेदनशील लोगों के लिए मामूली स्वास्थ्य प्रभाव संभव है।
101-200	मध्यम प्रदूषित / मध्यम	संवेदनशील समूहों को स्वास्थ्य संबंधी प्रभाव हो सकते हैं; आम जनता पर इसका प्रभाव पड़ने की संभावना नहीं है।
201-300	खराब	सभी को स्वास्थ्य संबंधी प्रभाव हो सकते हैं; संवेदनशील समूहों को अधिक गंभीर प्रभाव का सामना करना पड़ सकता है।
301-400	बहुत खराब	स्वास्थ्य चेतावनी; सभी को अधिक गंभीर स्वास्थ्य प्रभाव हो सकते हैं।
401-500	गंभीर	स्वास्थ्य आपातकाल; संपूर्ण जनसंख्या के लिए गंभीर स्वास्थ्य प्रभाव।

श्रेणी (भारत AQI)	पीएम2.5 माइक्रोग्राम/घन मीटर	विश्व स्वास्थ्य संगठन का 24 घंटे का सुरक्षित स्तर $\mu\text{g}/\text{m}^3$
अच्छा	0-50	≤ 15
संतोषजनक	51-100	$>15-35$
मध्यम / मध्यम	101-200	$>35-75$
खराब	201-300	$>75-100$
बहुत खराब	301-400	$>100-250$
गंभीर	401-500	>250

भारतीय AQI बनाम PM2.5 के लिए WHO सुरक्षा स्तर

अवलोकन:

- भारत की AQI श्रेणियाँ WHO के दिशानिर्देशों की तुलना में अधिक उदार हैं, जिसका अर्थ है कि भारत में "अच्छी" हवा भी WHO के सुरक्षित स्तर से अधिक हो सकती है।

सरकारी पहल

1. **राष्ट्रीय स्वच्छ वायु कार्यक्रम (NCAP):** 2024 तक PM के स्तर को 20-30% तक कम करने के लिए 2019 में शुरू किया गया; 2026 तक 40% कमी के लिए संशोधित।
2. **ग्रेडेड रिस्पांस एक्शन प्लान (GRAP):** उच्च AQI अवधि के दौरान दिल्ली-एनसीआर में आपातकालीन उपाय।
3. **भारत स्टेज VI (BS-VI) उत्सर्जन मानक:** 2020 से कड़े वाहन मानदंड।

4. **प्रधानमंत्री उज्ज्वला योजना (PMUY):** बायोमास खाना पकाने के स्थान पर LPG को बढ़ावा देती है।
5. **FAME II (इलेक्ट्रिक वाहन):** EV अपनाने को प्रोत्साहित करती है।
6. **स्वच्छ भारत मिशन:** खुले में कचरा जलाने को कम करता है।
7. **एनसीआर में कोयले का चरणबद्ध उन्मूलन:** औद्योगिक उत्सर्जन को कम करता है।
8. **डिजिटल उपकरण:** एआई डैशबोर्ड, स्मॉग टावर और उत्सर्जन ट्रैकिंग सिस्टम।

वायु प्रदूषण से निपटने में चुनौतियाँ

- कमज़ोर शासन और धन का कम उपयोग (2019-2023 के बीच केवल ~60% उपयोग)।
- तेज़ी से बढ़ता शहरीकरण और जनसांख्यिकीय दबाव।
- सामाजिक-आर्थिक असमानताएँ: ग्रामीण और अनौपचारिक क्षेत्रों में अक्सर स्वच्छ तकनीकों का अभाव होता है।
- व्यवहार संबंधी मानदंड: बायोमास और ठोस ईंधन का निरंतर उपयोग।
- प्रमुख स्रोतों से निपटने के बिना उच्च तकनीक समाधानों (स्मॉग टावर, एआई डैशबोर्ड) पर अत्यधिक निर्भरता।
- मौसमी उछाल: पराली जलाना, सर्दियों में स्मॉग और धूल भरी आंधियाँ।
- राज्यों के बीच समन्वय की कमी।

आगे की राह

1. डेटा-संचालित, विकेन्द्रीकृत शासन: स्थानीय उत्सर्जन प्रोफ़ाइल बनाएँ और लक्षित कार्यों के लिए धन को जोड़ें।
2. तकनीकी एवं संरचनात्मक सुधार: नवीकरणीय ऊर्जा अपनाने और कोयला प्रतिबंध के साथ नवाचारों को संयोजित करें।
3. क्षेत्र-विशिष्ट रणनीतियाँ:
 - o वाहन: ईवी अवसंरचना का विस्तार करें, स्कैपेज नीतियों को लागू करें और सार्वजनिक परिवहन में सुधार करें।
 - o उद्योग: उत्सर्जन मानदंडों को कड़ा करें और कोयला आधारित संयंत्रों को चरणबद्ध तरीके से समाप्त करें।
 - o कृषि एवं निर्माण: पराली जलाने के विकल्पों को बढ़ावा दें, धूल नियंत्रण करें और बेहतर अपशिष्ट प्रबंधन करें।
4. व्यवहार परिवर्तन: जागरूकता बढ़ाएँ, समुदायों को शामिल करें और स्थायी प्रथाओं को प्रोत्साहित करें।
5. वैश्विक सर्वोत्तम प्रथाओं से सीखें

क्वांटम कम्प्यूटिंग



- क्वांटम कम्प्यूटिंग, शास्त्रीय कम्प्यूटिंग से एक क्रांतिकारी बदलाव का प्रतिनिधित्व करती है, जो क्वांटम यांत्रिकी के सिद्धांतों का उपयोग करके सूचना को मौलिक रूप से नए तरीकों से संसाधित करती है।
- जहाँ शास्त्रीय कम्प्यूटर सूचना की मूल इकाई के रूप में बिट्स का उपयोग करते हैं, वहीं क्वांटम कम्प्यूटर क्वांटम बिट्स या क्यूबिट का उपयोग करते हैं, जो सुपरपोज़िशन और एन्टैंगलमेंट जैसी घटनाओं के कारण एक साथ कई अवस्थाओं में मौजूद हो सकते हैं।

क्वांटम कम्प्यूटिंग में प्रमुख अवधारणाएँ

- **क्यूबिट:** क्वांटम सूचना की मूलभूत इकाई, जो सुपरपोज़िशन के माध्यम से 0 और 1 दोनों को एक साथ दर्शाने में सक्षम है। यह क्वांटम कम्प्यूटरों को एक साथ कई गणनाएँ करने की अनुमति देता है।
- **सुपरपोज़िशन:** एक सिद्धांत जहाँ एक क्यूबिट 0 और 1 दोनों अवस्थाओं के संयोजन में मौजूद हो सकता है, जिससे क्वांटम कम्प्यूटर एक साथ कई संभावनाओं को संसाधित कर सकते हैं।
- **एन्टैंगलमेंट:** एक ऐसी घटना जहाँ क्यूबिट इस प्रकार परस्पर जुड़ जाते हैं कि एक क्यूबिट की अवस्था दूसरे क्यूबिट की अवस्था को तुरंत प्रभावित करती है, चाहे उनके बीच कितनी भी दूरी क्यों न हो। यह गुण क्वांटम संचार और कम्प्यूटिंग के लिए महत्वपूर्ण है।
- **क्वांटम व्यतिकरण:** वह प्रक्रिया जिसके द्वारा क्वांटम अवस्थाओं के संभाव्यता आयाम संयोजित होते हैं, जिससे कुछ परिणामों का निरस्तीकरण या संवर्द्धन होता है। इसका उपयोग क्वांटम एल्गोरिथम में सही समाधानों को बढ़ाने और गलत समाधानों को कम करने के लिए किया जाता है।
- **क्वांटम गेट:** वे प्रचालन जो क्वाबिट्स में हेरफेर करते हैं, शास्त्रीय लॉजिक गेट्स के समान, लेकिन क्वांटम अवस्थाओं पर कार्य करते हैं। ये गेट क्वांटम सर्किट और एल्गोरिथम के निर्माण खंड हैं।

क्वांटम कम्प्यूटिंग के अनुप्रयोग:

- **क्रिप्टोग्राफी:** क्वांटम कम्प्यूटर वर्तमान एन्क्रिप्शन विधियों को संभावित रूप से तोड़ सकते हैं, लेकिन क्वांटम एन्क्रिप्शन तकनीकों, जैसे क्वांटम कुंजी वितरण (QKD) के विकास को भी सक्षम बनाते हैं, जो सैद्धांतिक रूप से अटूट सुरक्षा प्रदान करते हैं।
- **औषधि खोज और स्वास्थ्य सेवा:** अभूतपूर्व पैमाने पर आणविक संरचनाओं और अंतःक्रियाओं का अनुकरण करके, क्वांटम कम्प्यूटर नई दवाओं और व्यक्तिगत उपचार योजनाओं की खोज में तेजी ला सकते हैं।
- **अनुकूलन समस्याएँ:** क्वांटम एल्गोरिदम रसद, आपूर्ति श्रृंखला प्रबंधन और वित्तीय मॉडलिंग में जटिल अनुकूलन समस्याओं को शास्त्रीय समकक्षों की तुलना में अधिक कुशलता से हल कर सकते हैं।

- **आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस और मशीन लर्निंग:** क्वांटम कंप्यूटिंग मशीन लर्निंग एल्गोरिदम को बेहतर बना सकती है, जिससे प्रशिक्षण समय तेज़ और मॉडल अधिक सटीक हो सकते हैं।
- **जलवायु मॉडलिंग:** क्वांटम सिमुलेशन जटिल पर्यावरणीय प्रणालियों का मॉडल तैयार कर सकते हैं, जिससे जलवायु परिवर्तन शमन के लिए बेहतर पूर्वानुमान और रणनीतियाँ बनाने में मदद मिलती है।

भारत का राष्ट्रीय क्वांटम मिशन (NQM)

- अप्रैल 2023 में, भारत ने 2023-2031 की अवधि के लिए ₹6,003 करोड़ के बजट के साथ राष्ट्रीय क्वांटम मिशन (NQM) शुरू किया।

इस मिशन का उद्देश्य है:

- **स्वदेशी क्वांटम प्रौद्योगिकियों का विकास:** देश के भीतर क्वांटम कंप्यूटर, संचार प्रणालियों और सेंसर के निर्माण पर ध्यान केंद्रित करना।
- **अनुसंधान और विकास को बढ़ावा देना:** अनुसंधान केंद्र स्थापित करना और शिक्षा जगत, उद्योग और सरकारी संस्थानों के बीच सहयोग को बढ़ावा देना।
- **कौशल विकास:** बढ़ते क्षेत्र का समर्थन करने के लिए क्वांटम प्रौद्योगिकियों में कुशल कार्यबल को प्रशिक्षित करना।
- **राष्ट्रीय पहलों के साथ तालमेल बिठाएँ:** क्वांटम प्रौद्योगिकियों में नवाचार और आत्मनिर्भरता को बढ़ावा देने के लिए डिजिटल इंडिया, मेक इन इंडिया और स्किल इंडिया जैसी पहलों को पूरक बनाएँ।

भारत के लिए क्वांटम कंप्यूटिंग में चुनौतियाँ

1. बुनियादी ढाँचा और हार्डवेयर

- **सीमित स्वदेशी क्वांटम हार्डवेयर:** आयातित घटकों पर भारी निर्भरता।
- **कच्चे माल की कमी:** अतिचालक पदार्थ, दुर्लभ समस्थानिक और क्रायोजेनिक घटक महंगे हैं और घरेलू स्तर पर प्राप्त करना कठिन है।
- निर्माण, रखरखाव और विशेष उपकरणों की उच्च इनपुट लागत।

2. प्रतिभा की कमी

- क्वांटम यांत्रिकी, इंजीनियरिंग और कंप्यूटर विज्ञान में विशेषज्ञों की कमी।
- अधिक उन्नत क्वांटम पारिस्थितिकी तंत्र वाले देशों में प्रतिभा पलायन।

3. नीतिगत और कानूनी मुद्दे

- क्वांटम एल्गोरिदम पर पेटेंट प्रतिबंध और नौकरशाही बाधाएँ नवाचार को धीमा करती हैं।

4. औद्योगिक भागीदारी और निवेश

- उच्च लागत और लंबे ROI चक्रों के कारण निजी क्षेत्र की सीमित भागीदारी।
- उच्च जोखिम वाली, दीर्घकालिक क्वांटम परियोजनाओं के लिए उद्यम पूंजी की कमी।

5. वैश्विक प्रतिस्पर्धा

- हार्डवेयर विकास और अनुसंधान उत्पादन में भारत, अमेरिका, चीन और यूरोपीय संघ जैसे वैश्विक नेताओं से पीछे है।



Air Pollution in India: Status, Impacts, Causes, and Control Measures



- Air pollution is the contamination of the atmosphere by chemical, physical, or biological agents that alter its natural composition.
- Pollutants such as particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), and sulfur dioxide (SO₂) affect human health, ecosystems, and climate.
- Major sources include vehicles, industries, biomass burning, construction dust, and natural events like dust storms.

Status of Air Pollution in India

- **Global Context:** According to the 2024 World Air Quality Report (IQAir), India is the **5th most polluted country**, with an average PM_{2.5} level of **50.6 µg/m³**, which is **10 times the WHO safe limit** (5 µg/m³).
- **Cities:** Delhi is the most polluted capital of the **world**. Six of the top 10, and 13 of the top 20 most polluted cities globally, are in India.
- Nearly **97% of the population is exposed** to PM_{2.5} levels exceeding WHO guidelines, increasing risks of severe health issues.
- **Mortality:** Air pollution causes **2.1 million deaths annually** in India (Clean Air Fund, 2024).

Causes of Air Pollution in India

1. **Vehicular Emissions:** Old vehicles, traffic congestion, and poor fuel quality emit CO, NO_x, and PM.
2. **Industrial Pollution:** Coal-based power plants and factories release SO₂, NO_x, and particulate matter.
3. **Agricultural Activities:** Stubble burning in Punjab and Haryana, excessive fertilizer use adds NO_x.
4. **Household Biomass Burning:** Use of wood, cow dung, and coal emits CO and black carbon.
5. **Construction & Road Dust:** Cement, silica, and unpaved roads contribute significantly.
6. **Other Sources:** Waste burning, deforestation, and seasonal dust storms.

Impacts of Air Pollution

A. Health Impacts

- Respiratory diseases: asthma, bronchitis, COPD.
- Cardiovascular risks: increased heart attacks and strokes.
- Premature mortality: India records ~2 million early deaths annually due to air pollution.

B. Economic Impacts

- Reduces labor productivity due to illness and absenteeism.
- Increases healthcare costs.
- Lowers GDP growth through reduced consumer activity and asset efficiency.
- Reduces solar power efficiency: expected ~2.3% drop by 2041–2050, causing ~840 GWh annual loss.

C. Environmental Impacts

- Acid rain from SO₂ and NO_x emissions damages crops, forests, and aquatic ecosystems.
- Degrades soil quality and reduces crop yields via ozone damage and nitrogen deposition.
- Accelerates climate change by increasing greenhouse gases.

Air Quality Standards and Measurement

A. National Standards

- **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS):** Define permissible limits for 12 key pollutants, forming the basis for monitoring.
- **Pollutants Monitored:** PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃, NH₃, Pb, and others.

B. Air Quality Index (AQI)

- A **color-coded system** providing easy-to-understand air quality information.
- Helps authorities implement emergency measures like traffic restrictions and industrial shutdowns.
- Pollutants Covered in AQI: PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO, O₃ (Ozone), NH₃ (Ammonia), Pb (Lead)

Institutional Mechanisms

- **Central Pollution Control Board (CPCB):** Monitors and regulates air quality nationwide.
- **State Pollution Control Boards (SPCBs):** Implement state-level air pollution measures.
- **Commission for Air Quality Management (CAQM):** Coordinates air quality management in NCR and adjoining areas.
- **System of Air Quality and Weather Forecasting and Research (SAFAR):** Provides real-time air quality monitoring and forecasts.

AQI Categories in India (Central Pollution Control Board)

AQI Value	Category	Health Impact / Advice
0–50	Good	Air quality is satisfactory; little or no risk.
51–100	Satisfactory	Air quality is acceptable; minor health effects possible for very sensitive people.
101–200	Moderately Polluted / Moderate	Sensitive groups may experience health effects; general public unlikely affected.
201–300	Poor	Everyone may experience health effects; sensitive groups may face more serious effects.
301–400	Very Poor	Health alert; everyone may experience more serious health effects.

AQI Value	Category	Health Impact / Advice
401–500	Severe	Health emergency; serious health effects for entire population.

Indian AQI vs WHO Safety Levels for PM2.5

Category (India AQI)	PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 24-hr Safe Level $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Good	0–50	≤ 15
Satisfactory	51–100	$> 15–35$
Moderate / Moderate	101–200	$> 35–75$
Poor	201–300	$> 75–100$
Very Poor	301–400	$> 100–250$
Severe	401–500	> 250

Observation:

- India's AQI categories are **more lenient than WHO guidelines**, meaning even "Good" air in India may exceed WHO's safe levels.

Government Initiatives

- National Clean Air Programme (NCAP):** Launched in 2019 to reduce PM levels by 20–30% by 2024; revised to **40% reduction by 2026**.
- Graded Response Action Plan (GRAP):** Emergency measures in Delhi-NCR during high AQI periods.
- Bharat Stage VI (BS-VI) Emission Standards:** Stricter vehicle norms since 2020.
- Pradhan Mantri Ujjwala Yojana (PMUY):** Promotes LPG to replace biomass cooking.
- FAME II (Electric Vehicles):** Incentivizes EV adoption.
- Swachh Bharat Mission:** Reduces open waste burning.
- Coal Phase-Out in NCR:** Reduces industrial emissions.
- Digital Tools:** AI dashboards, smog towers, and emissions tracking systems.

Challenges in Combating Air Pollution

- Weak governance and underutilization of funds (only ~60% utilized between 2019–2023).
- Rapid urbanization and demographic pressures.
- Socio-economic disparities: rural and informal sectors often lack clean technologies.
- Behavioral norms: continued use of biomass and solid fuels.
- Over-reliance on high-tech solutions (smog towers, AI dashboards) without tackling major sources.
- Seasonal spikes: stubble burning, winter smog, and dust storms.
- Coordination gaps between states.

Way Forward

- Data-Driven, Decentralized Governance:** Build local emissions profiles and link funding to targeted actions.
- Technological & Structural Reforms:** Combine innovations with renewable energy adoption and coal restriction.
- Sector-Specific Strategies:**
 - Vehicles: Expand EV infrastructure, enforce scrappage policies, and improve public transport.
 - Industry: Tighten emission norms and phase out coal-based plants.

- Agriculture & Construction: Promote alternatives to stubble burning, dust control, and better waste management.
- 4. **Behavioral Change:** Raise awareness, involve communities, and incentivize sustainable practices.
- 5. **Learn from Global Best Practices**

Quantum Computing



- Quantum computing represents a paradigm shift from classical computing, leveraging the principles of quantum mechanics to process information in fundamentally new ways.
- While classical computers use bits as the basic unit of information, quantum computers utilize **quantum bits or qubits**, which can exist in multiple states simultaneously due to phenomena like superposition and entanglement.

Key Concepts in Quantum Computing

- **Qubit:** The fundamental unit of quantum information, capable of representing both 0 and 1 simultaneously through superposition. This allows quantum computers to perform many calculations at once.
- **Superposition:** A principle where a qubit can exist in a combination of both 0 and 1 states, enabling quantum computers to process a vast number of possibilities simultaneously.
- **Entanglement:** A phenomenon where qubits become interconnected such that the state of one qubit instantly influences the state of another, regardless of the distance between them. This property is crucial for quantum communication and computing.
- **Quantum Interference:** The process by which the probability amplitudes of quantum states combine, leading to the cancellation or enhancement of certain outcomes. This is used to amplify correct solutions and diminish incorrect ones in quantum algorithms.
- **Quantum Gates:** Operations that manipulate qubits, analogous to classical logic gates but operating on quantum states. These gates are the building blocks of quantum circuits and algorithms.

Applications of Quantum Computing:

- **Cryptography:** Quantum computers can potentially break current encryption methods but also enable the development of quantum encryption techniques, such as Quantum Key Distribution (QKD), which offer theoretically unbreakable security.
- **Drug Discovery and Healthcare:** By simulating molecular structures and interactions at an unprecedented scale, quantum computers can accelerate the discovery of new drugs and personalized treatment plans.

- **Optimization Problems:** Quantum algorithms can solve complex optimization problems in logistics, supply chain management, and financial modeling more efficiently than classical counterparts.
- **Artificial Intelligence and Machine Learning:** Quantum computing can enhance machine learning algorithms, leading to faster training times and more accurate models.
- **Climate Modeling:** Quantum simulations can model complex environmental systems, aiding in better predictions and strategies for climate change mitigation.

India's National Quantum Mission (NQM)

- In April 2023, India launched the **National Quantum Mission (NQM)** with a budget of ₹6,003 crore for the period 2023–2031. The mission aims to:
 - **Develop Indigenous Quantum Technologies:** Focus on building quantum computers, communication systems, and sensors within the country.
 - **Promote Research and Development:** Establish research hubs and foster collaboration between academia, industry, and government institutions.
 - **Skill Development:** Train a skilled workforce in quantum technologies to support the growing sector.
 - **Align with National Initiatives:** Complement initiatives like Digital India, Make in India, and Skill India to promote innovation and self-reliance in quantum technologies.

National Quantum Mission

Deliverables

- » Developing intermediate scale quantum computers with 50–1000 physical qubits in 8 years in various platforms like superconducting and photonic technology
- » Satellite based secure quantum communications between ground stations over a range of 2000 kilometres within India

Challenges in Quantum Computing for India

1. **Infrastructure & Hardware**
 - Limited indigenous quantum hardware; heavy reliance on imported components.
 - **Raw material scarcity:** Superconducting materials, rare isotopes, and cryogenic components are expensive and hard to source domestically.
 - High input costs for fabrication, maintenance, and specialized equipment.
2. **Talent Gap**
 - Shortage of experts in quantum mechanics, engineering, and computer science.
 - Brain drain to countries with more advanced quantum ecosystems.
3. **Policy & Legal Issues**
 - Patent restrictions on quantum algorithms and bureaucratic hurdles slow innovation.
4. **Industrial Participation & Investment**

- Limited private sector engagement due to high costs and long ROI cycles.
- Venture capital deficit for high-risk, long-term quantum projects.

5. Global Competition

- India lags behind global leaders like USA, China, and EU in hardware development and research output.

