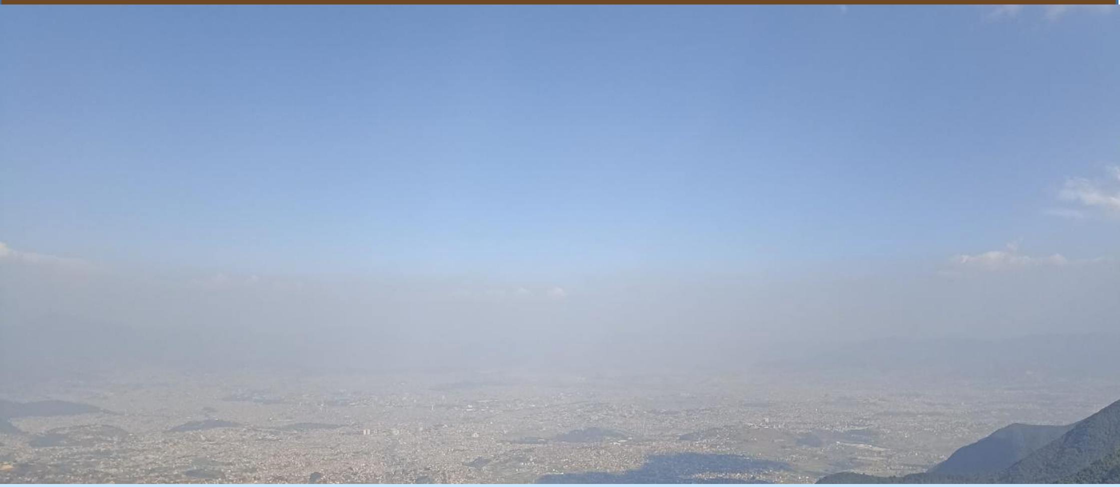
वायुप्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी



नेपाल सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग
बबरमहल, काठमाडौँ

लेखक:
गोविन्द प्रसाद लामिछाने, वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग
नविना महर्जन, वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग
प्रकाश के.सी., वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग

सम्पादक:
दीपक ज्ञवाली, सिनियर डिभिजनल केमिष्ट, वातावरण विभाग

भाषा सम्पादक:
डा. मीरा प्रधान

आवरण तस्विर:
चन्द्रागिरी डाँडाबाट लिइएको काठमाडौं उपत्यकाको दृश्य
सौजन्य प्रकाश के.सी., वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग

प्रकाशक:
नेपाल सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग
बबरमहल, काठमाडौं
फोन नं.: ०१-५३२०८३७, इमेल: info@doenv.gov.np
वेबसाईट: https://doenv.gov.np

सर्वाधिकार: प्रकाशकमा
प्रथम संस्करण: ४०० प्रति
प्रकाशित मिति: जेष्ठ, २०८२

यस पुस्तिकामा प्रकाशित सामग्रीहरू साभार गरी पुनः प्रकाशन वा प्रयोग गर्न प्रोत्साहित गरिन्छ।

डिजाइन तथा मुद्रण: एम. एस. अफसेट प्रेस
त्यौड-२७, काठमाडौं, फोन: ५९०४३८८
इमेल: msoffsetpress17@gmail.com

नेपाल सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग

पत्र संख्या :

चलानी नं. :

मन्तव्य

वर्तमान समयमा वातावरणीय प्रदूषण, विशेषतः वायुप्रदूषण, एक गम्भीर चुनौतीको रूपमा बढ्दै गएको अवस्था छ। नेपाल पनि यस समस्याबाट टाढा रहन सकेको छैन। तीव्र सहरीकरण, औद्योगीकरण, सवारी साधनको अत्यधिक प्रयोग तथा ऊर्जा स्रोतहरूको अव्यवस्थित व्यवस्थापनले वायु गुणस्तर निरन्तर खस्कदै गईरहेको छ। यसले मानव स्वास्थ्य, पारिस्थितिक प्रणाली तथा जलवायुमा दीर्घकालीन असर गर्दछ भने नेपालजस्तो भूगोलिक विविधता भएको मुलुकमा, विशेष गरी सहरी क्षेत्रमा वायु गुणस्तर दिन प्रतिदिन कमजोर बन्दै गएको तथ्यले हामी सबैलाई गम्भीर चिन्तन गर्न बाध्य बनाएको छ।

वातावरण विभाग, नेपाल सरकार, वायुप्रदूषण नियन्त्रण, अनुगमन र व्यवस्थापनको प्रमुख सरकारी निकायका रूपमा विगतदेखि नै नीतिगत, प्राविधिक तथा वैज्ञानिक प्रयासहरू गर्दै आएको छ। यस सम्बन्धमा वातावरण विभागले तयार पारेको यस पुस्तिका "वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभुत जानकारी" एक महत्वपूर्ण प्रयास हो जसले नेपालको सन्दर्भमा वायु प्रदूषण सम्बन्धी बहुआयामिक जानकारी प्रस्तुत गर्दछ। यसमा नेपालमा वायुप्रदूषणको अवस्था, स्रोतहरू, प्रभावहरू, अनुसन्धान तथा समाधानका उपायहरूको तथ्यमा आधारित सामाग्री प्रस्तुत गरिएको छ।

नेपालको संविधान धारा ३० ले प्रत्येक नागरिकलाई स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने मौलिक हक सुनिश्चित गरेको छ। साथै, यसले वातावरण संरक्षण ऐन २०७६, नियमावली २०७७, तथा नेपालको संविधानमा उल्लेखित वातावरणीय अधिकार र जिम्मेवारीलाई समेत उजागर गर्दछ। वायु प्रदूषणजस्तो विषयमा प्रभावकारी समाधान ल्याउन सरकारी संयन्त्र मात्र प्रयाप्त हुँदैन; नागरिक समाज, निजी क्षेत्र, स्थानीय सरकार, शिक्षाविद् र आम नागरिकको सक्रिय सहभागिता आवश्यक हुन्छ। यसकारण, वातावरण विभागले साझा उत्तरदायित्वको भावना जगाउन र समुचित वातावरणीय शासन प्रवर्द्धन गर्न निरन्तर क्रियाशील रहँदै आएको छ। वायुप्रदूषण नियन्त्रणका लागि वैज्ञानिक अनुसन्धान, तथ्यांकमा आधारित नीति निर्माण र जनचेतना अभिवृद्धि अपरिहार्य छन्। यस पुस्तिका प्रकाशन पनि त्यही उद्देश्यतर्फ अग्रसर एक कदम हो।

यस पुस्तिका तयार पार्न संलग्न वातावरण विभागका वातावरण निरीक्षकहरु श्री नविना महर्जन, श्री गोविन्द प्रसाद लामिछाने र श्री प्रकाश के.सी तथा अन्य विज्ञ सहकर्मीहरूलाई धन्यवाद दिन चाहान्छु। साथै आगामी दिनहरूमा पनि यस्ता अनुसन्धानमुखी, तथ्यमा आधारित तथा नीतिमुखी प्रकाशनहरू मार्फत वातावरणीय जागरूकता बढाउन वातावरण विभागको प्रतिबद्धता राख्दै यस पुस्तिकामा पाठक वर्गको अमूल्य सुझावको अपेक्षा समेत गर्दछु।

ज्ञानराज सुवेदी
महानिर्देशक

कार्यालयको ठेगाना: बबरमहल, काठमाडौं
कार्यालयको टेलिफोन नं. ०१-४२२१७९७/४२२०८३७
फ्याक्स: ०१-४२२१५५७
इमेल: info@doenv.gov.np
वेबसाईट: www.pollution.gov.np

नेपाल सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग

पत्र संख्या :
चलानी नं. :

सन्देश

बढ्दो वायु प्रदूषणका कारण नेपालमा पनि मानव स्वास्थ्य र वातावरणमा नकारात्मक असर परेको विभिन्न अध्ययनहरुले देखाइरहेका छन्। हाम्रा शहरहरूमा उत्सर्जन हुने धुलो, धुवाँ, र विभिन्न प्रदूषक ग्याँसहरूका कारण वायु गुणस्तरमा गिरावट आउने क्रम बढ्दो छ। यसले विशेष गरी बालबालिका, जेष्ठ नागरिक र दीर्घरोगीहरूमा प्रत्यक्ष स्वास्थ्य असर पारिरहेको अध्ययनहरुले देखाएका छन्।

नेपालको संविधान, २०७२ ले नागरिकलाई स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने हक मौलिक हकको रूपमा प्रत्याभूत गरेको छ। वातावरण विभाग वातावरणीय नीति, वातावरण संरक्षणका कानुनी व्यवस्थाहरुको कार्यान्वयन, तथा वातावरणीय गुणस्तरको निगरानी र सुधारका लागि जिम्मेवार सरकारी निकाय हो। यस विभागले वातावरणीय अनुगमन, अनुसन्धान, सूचना सङ्कलन तथा नीतिगत सल्लाह प्रदान मार्फत वातावरणीय सुरक्षालाई सुनिश्चित गर्न कार्य गर्दै आएको छ।

यसै सन्दर्भमा, विभागले जनमानसमा वायु प्रदूषणका विषयमा वैज्ञानिक तथा यथार्थ जानकारी पुऱ्याउने उद्देश्यले यो **"वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी"** पुस्तिका प्रकाशन गरेको छ। यस पुस्तिकाले वायु प्रदूषणका स्रोत, प्रकार, असर, मापन विधि, सूचकांक, कानुनी व्यवस्था र न्यूनीकरणका उपायहरूबारे सरल र बोधगम्य शैलीमा जानकारी दिन्छ। यसले वातावरण संरक्षणका लागि नीतिनिर्माता, अनुसन्धानकर्ता, विद्यार्थी तथा आम नागरिकहरूलाई उपयोगी सन्दर्भ सामाग्रीको रूपमा योगदान पुऱ्याउने विश्वास लिएको छु।

यस पुस्तिकाले नीति, कानुन र व्यवहारिक पक्षलाई जोडेर वातावरणीय शिक्षाको आधारभूत ढोका खोल्ने विश्वास लिएको छु। वातावरण संरक्षण हाम्रो साझा जिम्मेवारी हो। हामी सबैको सशक्त सहभागिता बिना वायु प्रदूषण न्यूनीकरण सम्भव छैन। तसर्थ, म सबै सरोकारवाला निकायहरू, संघसंस्थाहरू, शैक्षिक क्षेत्र, सञ्चार माध्यम, तथा आम जनसमुदायलाई वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका लागि जानकारीमूलक पहल र व्यवहारमा आधारित कदमहरू अवलम्बन गर्न अनुरोध गर्दछु।

यस पुस्तिका तयार गर्नमा संलग्न सम्पूर्ण कर्मचारी तथा सहकार्य गर्ने संस्थाहरूलाई धन्यवाद ज्ञापन गर्न चाहन्छु। भविष्यमा यस्ता सामग्रीहरूले वातावरणीय चेतनाको स्तर अझ सुदृढ बनाउने अपेक्षा गर्दछु।

शैलेस कुमार झा
उपमहानिर्देशक

कार्यालयको ठेगाना: बबरमहल, काठमाडौं
कार्यालयको टेलिफोन नं. ०१-४२११७९७/४२२०८३७
फ्याक्स: ०१-४२११५५७
इमेल: info@doenv.gov.np
वेबसाईट: www.pollution.gov.np

कृतज्ञता

यस पुस्तकको यात्रामा साथ दिनुहुने तथा यसलाई सम्भव बनाउन मद्दत गर्नुहुने सबैलाई हाम्रो तर्फबाट हार्दिक धन्यवाद तथा कृतज्ञता प्रकट गर्न चाहान्छौं ।

सर्वप्रथम, यस पुस्तिका तयार गर्न प्रेरणा दिनुहुने वातावरण विभागका महानिर्देशक श्री ज्ञानराज सुवेदीज्यू तथा उपमहानिर्देशक श्री शैलेस कुमार झाज्यू प्रति हामी आभारी छौं । पुस्तिका समीक्षा तथा पुनरावलोकन गरी निरन्तर मार्गदर्शन गरिदिनुहुने त्रिभूवन विश्वविद्यालय, वातावरण विज्ञान केन्द्रिय विभागका सह–प्राध्यापक डा. रमेश प्रसाद सापकोटाज्यू प्रति हामी अत्यन्त आभारी छौं । त्यस्तैगरी, वातावरण अभियन्ता श्री भुषण तुलाधरज्यू तथा ICIMOD का वायु प्रदूषण विश्लेषकद्वय श्री सागर अधिकारी र श्री खुश्बु शर्माज्यू प्रति हामी विशेष धन्यवाद ज्ञापन गर्न चाहन्छौं । उहाँहरूको विश्लेषणात्मक दृष्टिकोण, तथा क्षेत्रगत अनुभवले, पुस्तिका मार्फत सम्प्रेशन गर्न खोजिएको सन्देशलाई अझ प्रभावकारी तथा सशक्त बनाउन धेरै सहयोग मिलेको छ ।

यस पुस्तिकाको भाषा सम्पादनका लागि महत्त्वपूर्ण योगदान दिनुभएकोमा डा. मीरा प्रधान प्रति हार्दिक धन्यवाद ज्ञापन गर्न चाहान्छौं । साथै यस पुस्तिका तयारीका क्रममा वातावरण विभागका वातावरण निरीक्षकहरू श्री सवित देशार, श्री बिना घिमिरे र श्री टीका रेग्मीज्यूद्वारा प्रदान गरिएको सहयोग उल्लेखनीय छ । उहाँहरूको समयोचित सहयोगप्रति हामी हार्दिक आभार व्यक्त गर्दछौं । त्यसैगरी, नेपालको वायु गुणस्तर सम्बन्धी विभिन्न पक्षहरू बुझ्न मद्दत गर्ने सम्पूर्ण विज्ञहरु, अनुसन्धानकर्ताहरु तथा सरोकारवाला संघ संस्थाहरू प्रति हाम्रो गहिरो कृतज्ञता व्यक्त गर्दछौं ।

अन्तमा, यस पुस्तकले नेपालमा वायु प्रदूषण सम्बन्धी जनचेतना अभिवृद्धि गर्न, वातावरण प्रति उत्तरदायी सोच निर्माण गर्न, रणनीति निर्माणकर्ताहरूलाई वैज्ञानिक आधारमा निर्णय गर्न सहयोग पुऱ्याउनुका साथै विद्यार्थीहरुका लागि पनि यो पुस्तक उपयोगी हुने आशा गर्दछौं । यस प्रयासलाई सफल बनाउन मद्दत गर्नुहुने सबैलाई पुनः एक पटक हार्दिक धन्यवाद तथा कृतज्ञता ज्ञापन गर्दछौं ।

लेखक

विषय सूची

खण्ड एक १
परिचय **१**
१.१ विषय प्रवेश १
१.२ वायुप्रदूषण २
१.२.१ वायुप्रदूषणका प्रकार ३
१.३ वायुगुणस्तर सूचकाङ्क (Air Quality Index, AQI) ७
१.४ वायुप्रदूषणका मापन विधिहरू (Measurement Techniques of air pollution) १०
१.४.१ भू–सतहमा आधारित मापन (Ground based measurement).......... १०
१.४.२ भू–उपग्रहमा आधारित मापन (Satellite based measurement) १०
१.५ वायुगुणस्तर मोडलहरू (Air Quality Models)............................११
खण्ड दुई **१२**
वायुप्रदूषणका स्रोत..**१२**
२.१ वायुप्रदूषणका स्रोतहरू..१२
२.१.१ प्राकृतिक स्रोतहरू (Natural Sources) १२
२.१.२ मानव सिर्जित स्रोतहरू (Anthropogenic Sources).....................१२
खण्ड तीन..**१९**
नेपालमा वायुप्रदूषणको अवस्था र यसलाई प्रभाव पार्ने तत्त्वहरू................**१९**
३.१ परिचय (Itroduction).. १९
३.२ दिवा र रात्रि समयमा वायुप्रदूषणको अवस्था र कारणहरू.................. २२
३.२.१ वायुप्रदूषणको अवस्था २२
३.२.२ वायुप्रदूषणका कारणहरू..२४
३.३ वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को दैनिक औसत अवस्था..२४
३.४ मासिक वायुप्रदूषण अवस्था २६
३.५ नेपालमा वायुप्रदूषणमा प्रभाव पार्ने मुख्य कारक तत्त्वहरू.................... २९
३.५.१ एटमोस्फेरिक इन्भर्सन (Atmospheric inversion) २९
३.५.२ हावाको बहाव.. २९

३.५.३ वन डढेलो तथा कृषि जन्य अवशेषहरू जलाउने कार्य................ ३०
३.६ वायुप्रदूषण न्यूनीकरणका लागि नेपालमा विद्यमान नीतिगत एवम् कानुनी व्यवस्थाहरू.. ३४
३.६.१ नेपालको संविधानमा भएको व्यवस्था ३४
३.६.२ राष्ट्रिय वातावरण नीति – २०७६.. ३४
३.६.३ वातावरण संरक्षण ऐन २०७६ तथा वातावरण संरक्षण नियमावली २०७७ .... ३५
३.६.४ वातावरणीय मापदण्डहरू ३६
३.६.५ काठमाडौं उपत्यका वायुगुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना – २०७६. ३९
३.६.६ अन्य... ३९
३.७ वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड परिपालनाको अवस्था ४०
खण्ड चार... ४२
वायुप्रदूषणसम्बन्धी सूचना तथा जानकारीका स्रोतहरू ४२
४.१ प्रदूषणसम्बन्धी वातावरण विभागको वेभसाइट ४२
४.२ वातावरण विभागको वेभसाइट ४४
४.३ वायुप्रदूषण अनुगमन ड्यासबोर्ड... ४४
४.४ Air quality watch – HKH ४५
४.५ NASA Worldview ४६
४.६ FIRMS (Fire information for Resource Management System)........... ४६
४.७ Copernicus Sentinel -5P Mapping Portal.................................. ४७
खण्ड पाँच... ४८
वायुप्रदूषण कम गर्न हातेमालो गर्न सकिने क्षेत्रहरू ४८
५.१ वायुप्रदूषण कम गर्न अपनाउन सकिने उपायहरू ४८
सन्दर्भ सामग्री सूची.. ५१

खण्ड एक
परिचय

१.१ विषय प्रवेश

पृथ्वीको वरिपरि रहेको हावाको आवरणलाई वायुमण्डल भनिन्छ, जुन विभिन्न प्रकारका ग्यासहरू (नाइट्रोजन, अक्सिजन, कार्बन डाइअक्साइड आदि) पानीको बाफ तथा धुलाका कणहरू आदिको मिश्रणले बनेको हुन्छ । हामीलाई सास फेर्न आवश्यक पर्ने अक्सिजन पनि वायुमण्डलबाट नै प्राप्त हुन्छ । त्यसकारण वायुमण्डल हाम्रा लागि निकै महत्त्वपूर्ण रहेको छ । वायुमण्डलीय तहको घनत्व, उचाइ र तापक्रमका आधारमा यसलाई निम्नलिखित पाँच तहमा विभाजन गर्न सकिन्छः

क. निम्न मण्डल (Troposphere)

पृथ्वीको सतहदेखि १६ कि.मी. सम्मको उचाइको तहलाई निम्न मण्डल भनिन्छ । यस तहको प्रत्येक १६५ मिटर उचाइमा १° से. तापक्रम घट्ने भएकाले यसलाई परिवर्तन मण्डल पनि भनिन्छ । वर्षा, असिना, तुसारो, शीत पर्ने, हुरीबतास चल्ने, मेघ गर्जने लगायतका मौसम गतिविधिहरू यसै मण्डलमा हुने गर्दछ ।

चित्र :पृथ्वीको वायुमण्डल

(स्रोत: https://byjus.com/physics/layers-of-atmsophere/)

ख. समताप मण्डल (Stratosphere)

पृथ्वीको सतहभन्दा १६ देखि ५० कि.मी. सम्मको उचाइमा ओजन तह रहेको हुन्छ । यस तहले पृथ्वीमा रहेको जीवनलाई सूर्यबाट आएका हानिकारक किरणहरूबाट बचाउने गर्दछ । ओजन तह भएकै कारणले यस तहलाई रक्षा मण्डल पनि भनिन्छ ।

ग. मध्य मण्डल (Mesosphere)

पृथ्वीको सतहभन्दा ५० देखि ८० कि.मी. सम्मको उचाइको तहलाई मध्य मण्डल भनिन्छ । यस तहबाट तापक्रम घट्दै जाने तथा उल्काबाट निस्कने तातो ग्यासको रेखा देखिने गर्दछ ।

घ. तापीय मण्डल (Thermosphere)

पृथ्वीको सतहभन्दा ८० देखि ७२० कि.मी. सम्मको उचाइको तहलाई तापीय मण्डल भनिन्छ । यस तहमा हावाको मात्रा निकै कम र पातलो हुनाका साथै वायुको तापक्रम धेरै हुने गर्दछ । यो ग्यासका अणु, परमाणु र आयोनका रूपमा रहने आयोनको तह हो । यो तह दूरसञ्चारसम्बन्धी भू-उपग्रहका लागि महत्त्वपूर्ण तह पनि हो ।

ङ. बाहिरी मण्डल (Exosphere)

यो तह पृथ्वीको सतहबाट ७२० कि.मी. देखि अन्तरिक्षसम्म फैलिएको हुन्छ । वायुमण्डलका यी पाँच तहहरूले पृथ्वीमा जीवनलाई सहारा दिन र वातावरणलाई सन्तुलनमा राख्न महत्त्वपूर्ण योगदान पुऱ्याउँछन् ।

१.२ वायुप्रदूषण

हाम्रो वरिपरिको वायु विभिन्न ग्यासहरू (नाइट्रोजन- करिब ७८%, अक्सिजन- करिब २१%, आर्गन- करिब ० ९%, कार्बन डाइअक्साइड- करिब ०.०३% इत्यादि) को मिश्रण हो । यसबाहेक कम मात्रामा हावामा थुप्रै अन्य ग्यासहरू (नियोन, हिलियम, मिथेन, हाइड्रोजन, पानीको बाफ, ओजोन, सल्फर डाइअक्साइड, नाइट्रोजन डाइअक्साइड आदि) पनि रहेका हुन्छन् । हावामा भएका धेरै जसो ग्यासहरू निष्क्रिय हुने भएकाले तिनीहरूले मानव स्वास्थ्य तथा पर्यावरणमा कुनै असर पुऱ्याउँदैनन् तर हाम्रो वरिपरि रहने हावामा यस्ता वस्तुहरू पनि मिसिएका हुन सक्छन्, जसले मानव स्वास्थ्य तथा पर्यावरणमा मात्र नभई अर्थतन्त्रमा समेत नकारात्मक असर पुऱ्याउँदछ । हावामा रहने यस्ता हानिकारक वस्तुहरूलाई प्रदूषक भनिन्छ भने यस्ता मानव स्वास्थ्य र पर्यावरणमा हानि पुऱ्याउने वस्तुहरू हावामा मिसिनु वायुप्रदूषण हो । वायुप्रदूषणका कारक प्राकृतिक र मानवीय दुवै हुन

सक्दछन् । यद्यपि अधिकांश अवस्थामा मानवीय कारणले नै वायु प्रदूषित हुने गरेको छ ।

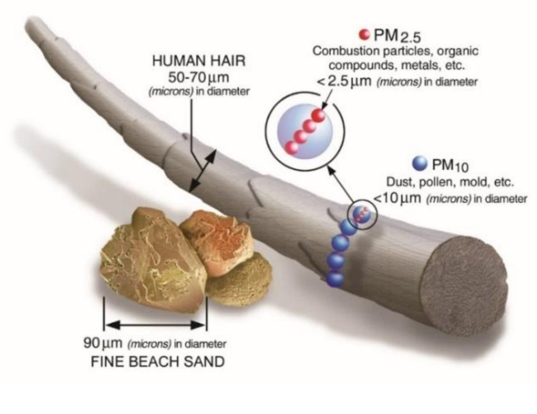
१.२.१ वायुप्रदूषणका प्रकार

कणजन्य पदार्थहरू (Particulate matter)

वायुप्रदूषणको मुख्य कारकको रूपमा कणजन्य पदार्थहरू रहेको पाइन्छ । कणजन्य पदार्थ अथवा PM (Particulate Matter) ले हावामा रहेका ठोस कण र तरल थोपाहरूलाई समेत जनाउँदछ । यस्ता कणहरू फरक फरक आकार प्रकारका हुन्छन् । कुनै कणहरू हामी नाङ्गो आँखाले देख्न सक्दछौं भने कुनै कणहरू यति साना हुन्छन् कि जसलाई नाङ्गो आँखाले देख्न सकिँदैन । कणजन्य पदार्थहरूलाई त्यसको आकार अथवा व्यासका आधारमा साधारणतया $PM_{2.5}$, PM_{10} र TSP गरी तीन प्रकारमा वर्गीकरण गर्न सकिन्छ ।

$PM_{2.5}$

$PM_{2.5}$ ले २.५ माइक्रोमिटर (माइक्रोन) वा सोभन्दा कम व्यास भएका कणजन्य पदार्थहरूलाई जनाउँदछ । एक माइक्रोमिटर भनेको १ मिलिमिटरको १ हजार भागमध्ये १ भाग हो । सामान्यतया मानिसको कपालको रौं बराबरको मोटाइ ५० देखि ७० माइक्रोनको हुन्छ । सँगैको चित्रबाट यी कणहरू कति मसिना हुन्छन् भन्ने कुरा बुझ्न सकिन्छ । यसर्थ $PM_{2.5}$ ले निकै मसिना कणजन्य पदार्थहरूलाई जनाउँदछ । निकै मसिनो हुने भएकाले यिनीहरू



चित्र : कणजन्य पदार्थहरूको आकारको तुलना

(स्रोत: US EPA)

सजिलैसँग हाम्रो फोक्सासम्म पुग्न सक्दछ । धेरै मसिना कणहरू फोक्साबाट रगतसम्म प्रवेश गरी शरीरका विभिन्न भागहरूसम्म पुग्न सक्दछ ।

कणजन्य पदार्थहरूको मापन माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर ($\mu g/m^3$) मा गरिन्छ । एक माइक्रोग्राम भनेको १ ग्रामको १० लाख भागको एक भाग हो । अर्थात् १० लाख माइक्रोग्राम बराबर १ ग्राम हुन्छ । कुनै स्थानमा २४ घण्टाको औसत $PM_{2.5}$ ४० माइक्रोग्राम प्रति घनमिटरमा (४० $\mu g/m^3$) छ भन्नुको अर्थ उक्त स्थानमा २४ घण्टाको औसत हिसाब गर्दा एक घनमिटर हावामा २.५ माइक्रोन वा सोभन्दा साना कणजन्य पदार्थहरूको मात्रा ४० माइक्रोग्राम छ भन्ने हो । साधारणतया मसिना कणहरू वायुमण्डलमा धेरै समयसम्म तैरिरहने र ती कणहरू श्वासप्रश्वास प्रणालीका माध्यमबाट शरीरका भित्री अङ्गहरूमा समेत प्रवेश गर्न सक्ने भएकाले स्वास्थ्यका दृष्टिकोणले उच्च जोखिमयुक्त मानिन्छन् । विशेषतः यिनीहरूले मुटु, मस्तिष्क र श्वासप्रश्वाससम्बन्धी समस्या निम्त्याउँछन् ।

PM_{10}

PM_{10} ले १० माइक्रोन वा सोभन्दा कम व्यास भएका कणजन्य पदार्थहरूलाई जनाउँदछ । PM_{10} भित्र PM_1 र $PM_{2.5}$ पनि पर्दछन् । तसर्थ PM_{10} को मात्रा सधैं PM_1 र $PM_{2.5}$ को मात्राभन्दा बढी हुने गर्दछ । यिनीहरू निकै साना भएकाले श्वासप्रश्वास प्रणालीमा सजिलै प्रवेश गर्न सक्दछन् र यसले श्वासप्रश्वाससम्बन्धी समस्या निम्त्याउँछन् । यद्यपि PM_{10} भित्र पर्ने सबै कणहरू $PM_{2.5}$ जस्ता अझ साना कणहरूको तुलनामा फोक्साको गहिराइसम्म नपुग्न सक्दछन् ।

Total suspended Particulate (TSP)

TSP ले हावामा तैरिरहेका सबै कणहरूलाई बुझाउँदछ । यसमा १० माइक्रोन वा सोभन्दा साना र १० माइक्रोनभन्दा ठुला आकारका कणहरू हुने भएकाले यसको मात्रा सधैं PM_{10} भन्दा बढी हुने गर्दछ । यस्ता कणहरू विभिन्न स्रोतबाट उत्सर्जन हुन्छन् । सवारी साधनहरूले फ्याँक्ने धुवाँदेखि घरायसी रूपमा खाना पकाउँदा निस्कने धुवाँमा यस्ता कणहरू हुन्छन् । निर्माण कार्य गर्दा, उद्योग कलकारखानामा इन्धन बाल्दा, विभिन्न औद्योगिक प्रक्रिया तथा निर्माणजन्य क्रियाकलापबाट पनि यस्ता कणहरू उत्सर्जन हुन्छन् । त्यसैगरी हावाहुरी चल्दा, वनमा डढेलो लाग्दा,

कृषिजन्य अवशेष जलाउँदा, फोहोर जलाउँदा पनि वायुमण्डलमा यस्ता कणहरू उत्सर्जन हुन्छन् । उत्सर्जनका स्रोतहरूबाट हावामा कणजन्य पदार्थहरू प्रत्यक्ष रूपमा आउन पनि सक्दछन् अथवा वायुमण्डलमा हुने विभिन्न रासायनिक प्रतिक्रियाबाट पनि कणहरू बन्न सक्दछन् ।

ओजन (O_3)

ओजनको अणु तीनवटा अक्सिजनका परमाणु मिलेर बनेको हुन्छ । यसको अणु सूत्र O_3 हो । हामीलाई सास फेर्न आवश्यक अक्सिजन अणु दुईवटा अक्सिजनका परमाणु मिलेर बनेको हुन्छ । अक्सिजन र ओजन दुवै अक्सिजनका परमाणुबाट बने तापनि यिनीहरूको रासायनिक गुण भिन्न हुन्छ । हाम्रो वायुमण्डलमा हुने ओजनमध्ये अधिकांश वायुमण्डलको समतापमण्डल (Stratosphere) तहमा रहेको हुन्छ । समतापमण्डलमा पाइने हुनाले यहाँ पाइने ओजनलाई समतापमण्डलीय (Stratospheric) ओजन पनि भनिन्छ । वास्तवमा पृथ्वीको वायुमण्डलमा पाइने ओजनमध्ये करिब ९० प्रतिशत ओजन पृथ्वीको सतहबाट १५ देखि ३० किलोमिटरभन्दा माथिको क्षेत्रमा पाइन्छ । वायुमण्डलको यो तहलाई ओजन तह पनि भनिन्छ । ओजन तहले सूर्यबाट आउने अधिकांश हानिकारक पराबैगनी किरणहरूलाई सोसेर पृथ्वीको सतहसम्म पुग्न दिँदैन । यस्ता किरणहरूले मानिसमा छालाको क्यान्सर र मोतिविन्दु गराउन सक्ने तथा बालीनाली र जलचरलाई समेत हानि पुऱ्याउँन सक्ने भएकाले ओजन तह मानिस तथा समग्र पारिस्थितिक प्रणालीका लागि निकै महत्त्वपूर्ण रहेको छ ।

यसबाहेक पृथ्वीको सतहनजिक पनि केही मात्रामा ओजन रहेको हुन्छ जसलाई Ground Level ओजोन भनिन्छ । पृथ्वीको यो सबैभन्दा तल्लो तहलाई निम्नमण्डल (Troposphere) पनि भनिने भएकाले यहाँ पाइने ओजनलाई निम्नमण्डलीय (Tropospheric) ओजन पनि भनिन्छ । यहाँ पाइने ओजन मुख्यतया मानवीय क्रियाकलापका कारण बन्ने गर्दछ । यहाँ पाइने ओजन कुनै पनि स्रोतबाट सिधै उत्सर्जन नभई वायुमण्डलमा नाइट्रोजनका अक्साइडहरू र भोलाटाइल अर्गानिक कम्पाउन्ड (VOC) भनिने समूहका रसायनहरू बिच सूर्यको किरणको उपस्थितिमा प्रतिक्रिया भई बन्ने गर्दछन् । ओजन बन्न सघाउ पुऱ्याउने रसायनहरूका मुख्य

स्रोतहरू डिजेल तथा पेट्रोलबाट सञ्चालित सवारीका साधन, औद्योगिक ब्वाइलर, पावर प्लान्ट आदिमा बालिने इन्धन, केमिकल प्लान्टहरू आदि हुन् । जमिनको नजिकै हुने ओजनले मानिसको स्वास्थ, वनस्पति तथा समग्र पर्यावरणलाई नै हानि पुऱ्याउने भएकाले यहाँ हुने ओजनलाई खराब ओजन भनिन्छ भने ओजन तहमा हुने ओजनलाई असल ओजन भनिन्छ ।

कार्बन मोनोअक्साइड (CO)

कार्बन मोनोअक्साइड कुनै पनि वस्तु बाल्ने क्रममा पर्याप्त अक्सिजनको अभावका कारण इन्धन पूर्ण रूपमा नबल्दा निस्किने रङ्गहीन, स्वादहीन, गन्धहीन ग्यास हो । कार्बन मोनोअक्साइडको मात्रा अत्यन्तै धेरै हुँदा मानिसको मृत्युसमेत हुन सक्दछ । घरबाहिर यस्तो अवस्था सम्भव नभए तापनि घरभित्र झ्याल ढोका थुनेर घर न्यानो पार्न गोल, आगो वा ग्यास हिटर बालेर सुत्दा मानिसको मृत्यु भएको घटनाहरू बेलाबेलामा समाचारमा आइरहेको हुन्छ । कार्बर्न मोनोअक्साइडले रगतमा अक्सिजनको मात्रा कम गरिदिन्छ जसले गर्दा महत्त्वपूर्ण अङ्गमा अक्सिजनको अभाव भई मानिसको मृत्यु हुन सक्दछ । घरबाहिर कार्बन मोनोअक्साइडको मात्रा यति घातक तहमा नपुगे तापनि यसले मुटुसम्बन्धी रोगीहरूलाई प्रभावित गर्न सक्दछ । कार्बन मोनोअक्साइडका प्रमुख स्रोतहरूमा सवारी साधनहरू, वन डढेलो, कृषिजन्य अवशेष तथा फोहोर जलाउने क्रियाकलाप आदि रहेका छन् ।

नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2)

नाइट्रोजन डाइअक्साइड उच्च तापक्रममा इन्धन बाल्दा निस्किने ग्यास हो । हावामा उच्च मात्रामा नाइट्रोजन डाइअक्साइड भएमा यसले श्वासनलीमा जलन पैदा गर्दछ । सवारी साधनहरू, उद्योग कलकारखाना, वन डढेलो आदि नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2) का प्रमुख स्रोतहरू हुन् । वायुमण्डलमा रासायनिक प्रतिक्रियापश्चात् निस्कने द्वितीयक प्रदूषकहरूको उत्सर्जनमा यस ग्यासको प्रमुख भूमिका रहन्छ ।

सल्फर डाइअक्साइड (SO_2)

सल्फर डाइअक्साइड सल्फर (गन्धक) युक्त इन्धन बाल्दा निस्किने ग्यास हो । विशेषगरी यो ग्यास सल्फरयुक्त कोइला बाल्दा निस्किन्छ । इँटा उद्योग र सिमेन्ट उद्योगमा धेरै कोइला प्रयोग हुने गर्दछ । त्यसैले यस प्रकारका उद्योगहरू सल्फर डाइअक्साइडका मुख्य स्रोतहरू हुन् । सल्फर डाइअक्साइडले अम्लीय वर्षा गराउनुका साथै श्वासप्रश्वास प्रणालीमा समेत असर पुऱ्याउँदछ । त्यसैगरी वायुमण्डलमा रासायनिक प्रतिक्रियापश्चात् निस्कने द्वितीयक प्रदूषकहरूको उत्सर्जनमा पनि यस ग्यासको भूमिका रहन्छ ।

सिसा (lead)

विगतमा सवारी साधनमा प्रयोग हुने इन्धनमा सिसा मिसाइएको हुन्थ्यो र यस्तो इन्धन बाल्दा हावामा सिसा मिसिने गर्दथ्यो । हाल इन्धनमा सिसा मिसाउन नपाइने भएकाले वायुमण्डलमा हुने सिसाको उत्सर्जन उल्लेख्य मात्रामा कमी भएको पाइन्छ । यद्यपि सिसा प्रयोग भएका सामानहरू (जस्तैः लिड एसिड ब्याट्री, रङ्ग आदि) तथा सिसा प्रयोग हुने केही उद्योगहरू (जस्तै लिड एसिड ब्याट्री उद्योग, पेन्ट उद्योग) बाट वायुमा उत्सर्जन भइरहेको हुन सक्छ । सिसा शरीरमा प्रवेश गरेसँगै रगतमा मिसिएर शरीरका विभिन्न भागमा पुग्दछ र हाडमा जम्मा भएर बस्दछ । यसले स्नायुप्रणाली, मृगौलाको कार्य, शरीरको रोग प्रतिरोधक प्रणाली आदिमा असर गर्दछ ।

१.३ वायुगुणस्तर सूचकाङ्क (Air Quality Index, AQI)

AQI वायुको गुणस्तर सूचित गर्ने सूचकाङ्क हो । यसले हामीलाई हाम्रो वरिपरिको हावा कति सफा वा प्रदूषित छ र वायुको गुणस्तरको आधारमा मानव स्वाथ्यमा के प्रभाव हुन सक्दछ भनी जनाउँदछ । प्रदूषित हावा हाम्रो शरीरभित्र प्रवेश गरेपछिको केही घण्टा वा केही दिनभित्र हामीले अनुभव गर्न सक्ने स्वास्थ्य प्रभावमा केन्द्रित रहेर AQI तयार पारिएको हुन्छ । विभिन्न देशहरूले विभिन्न किसिमले AQI बनाएका हुन्छन् । वायुगुणस्तर सूचकाङ्कमा सङ्ख्या, रङ्ग, सङ्केत र AQI लाई व्याख्या गर्ने शब्दहरू पनि रहेका हुन्छन । सामान्यतया AQI मा ० देखि ५००

सम्मका सङ्ख्या प्रयोग गरिएका हुन्छन । जति जति AQI नम्बर बढी हुन्छ प्रदूषणको तह पनि त्यति नै बढी र यसले मानव स्वास्थमा पार्ने प्रभाव पनि त्यति नै बढी हुन्छ । नेपाल सरकारले $PM_{2.5}$, PM_{10} र ओजनमा आधारित रहेर AQI बनाएको छ । नेपालमा उक्त तीन प्रकारका पारामिटरका लागि छुट्टाछुट्टै स्केल बनाइएको छ र उक्त तीनवटा पारामिटरहरूमध्ये जसको AQI सबैभन्दा बढी हुन्छ, त्यो नै उक्त स्थानका लागि AQI हुन्छ । मानौं कुनै दिन कुनै स्थानमा ओजन $PM_{2.5}$ र PM_{10} को AQI क्रमशः ७०, ८५ र ७५ छ भने उक्त स्थानको सो दिनको AQI ८५ हुन्छ । अङ्क ० देखि ५०० सम्मका AQI नम्बरलाई सात वर्गमा वर्गीकरण गरिएको छ । नेपालको हकमा कुनै पनि प्रदूषणका लागि तोकिएको नेपालको राष्ट्रिय मापदण्डको मानसँग सम्बन्धित AQI को मान १०० रहेको छ । जस्तै नेपाल सरकारले $PM_{2.5}$ का लागि दैनिक औसतको मापदण्ड ४० माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर ($\mu g\ m^{-3}$) तोकेको छ र $PM_{2.5}$ को मात्रा ४० माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर ($\mu g\ m^{-3}$) पुग्दा यसको AQI मान १०० हुन्छ । AQI को मान १०० भन्दा कम हुनु सामान्यतया सन्तोषजनक मानिन्छ ।

AQI वर्ग, तिनीहरूको सम्बन्धित कलर सङ्केत र स्वास्थ्य चासोको तह निम्नानुसार रहेको छः

वायुगुणस्तर सूचकाङ्क (AQI) को मान	रङ्ग	स्वास्थ्य चासोको तह
० देखि ५०	हरियो	राम्रो
५१ देखि १००	पहेंलो	औसत
१०१ देखि १५०	सुन्तला	संवेदनशील समूहका लागि अस्वस्थकर
१५१ देखि २००	रातो	अस्वस्थकर
२०१ देखि ३००	बैजनी	धेरै अस्वस्थकर
३०१ देखि ४००	कलेजी	खतरनाक
४०१ देखि ५००	कलेजी	धेरै खतरनाक

माथि उल्लेख गरिएको सात तहका स्वास्थ्य चासाको तहहरूलाई निम्नानुसार व्याख्या गर्न सकिन्छः

- राम्रो (AQI ० देखि ५० सम्म) — यस तहमा वायुगुणस्तर राम्रो मानिन्छ । यसमा वायुप्रदूषणको जोखिम निकै कम हुन्छ ।
- औसत (AQI ५१ देखि १०० सम्म) — यस तहमा वायुगुणस्तर सन्तोषजनक वा स्वीकार्य तहको हुन्छ । यद्यपि कुनै प्रदूषकहरूका लागि स्वास्थ्य संवेदनशील वर्गका थोरै व्यक्तिहरूका लागि मध्यम स्तरको स्वास्थ्य चासो हुन सक्दछ ।
- संवेदनशील समूहका लागि अस्वस्थकर (AQI १०१ देखि १५० सम्म) - यस AQI को तहमा सर्वसाधारणलाई असर पर्ने सम्भावना कम भए तापनि मुटु र फोक्साको रोग भएका व्यक्तिहरू, वृद्धवृद्धाहरू र बालबालिकाहरूको स्वास्थ्यमा बढी जोखिम हुन्छ ।
- अस्वस्थकर (AQI १५१ देखि २०० सम्म) — यस तहमा सबै जनाले केही प्रतिकूल स्वास्थ्य असरहरू अनुभव गर्न सुरु गर्न सक्दछन्, र संवेदनशील समूहका सदस्यहरूले थप गम्भीर असरहरू अनुभव गर्न सक्दछन् ।
- धेरै अस्वस्थकर (AQI २०१ देखि ३०० सम्म) — यस तहमा स्वास्थ्य चेतावनीको अवस्था हुन्छ । यस तहको AQI ले सबैमा थप गम्भीर स्वास्थ्य प्रभावहरू अनुभव गर्न सक्नेतर्फ सङ्केत गर्दछ ।
- खतरनाक तह (AQI ३०१ देखि ४०० सम्म) — यस तहमा स्वास्थ्य चेतावनीको आपतकालीन अवस्था सुरु हुन्छ । यस अवस्थामा सम्पूर्ण जनसङ्ख्या प्रभावित हुने सम्भावना बढी हुन्छ ।
- धेरै खतरनाक तह (AQI- ४०१ देखि ५०० सम्म) — यो AQI को सबैभन्दा उच्च तह हो । यस तहमा जनस्वास्थ्यको आपतकालीन अवस्था हुन्छ । जनसङ्ख्याको ठुलो हिस्सामा गम्भीर स्वास्थ्य समस्याहरू देखिने सम्भावना रहन्छ ।

१.४ वायुप्रदूषणका मापन विधिहरू (Measurement Techniques of air pollution)

वायुप्रदूषणसम्बन्धी विभिन्न तथ्याङ्क मापनका लागि विभिन्न विधिहरू प्रयोग गर्ने गरिन्छ । सामान्यतया विभिन्न स्रोतबाट हुने उत्सर्जन र हावामा रहेको प्रदूषकको मात्रा मापन गर्ने गरिएको पाइन्छ । जसका लागि फरक फरक उपकरण र विधिहरू प्रयोग गरिन्छ । जस्तैः उद्योगको चिम्नीबाट हुने उत्सर्जन, सवारी साधनबाट हुने उत्सर्जन, घरभित्रको वायुप्रदूषण, घरबाहिरको वायुप्रदूषण मापन गर्न फरक फरक विधि र उपकरणहरू प्रयोग गरिन्छ । यहाँ विशेषगरी घरबाहिरको वायुप्रदूषण मापन गर्ने विधिहरूको बारेमा सङ्क्षिप्त चर्चा गरिएको छ ।

१.४.१ भू—सतहमा आधारित मापन (Ground based measurement)

रासायनिक विश्लेषण

- फिल्टर विधिः विशेष किसिमको उपकरणको प्रयोग गरी वायुमा तैरिरहेका कणहरू विशेष किसिमको फिल्टरमा सङ्कलन गरिन्छ र पछि प्रयोगशालामा रासायनिक विश्लेषण गरी प्रदूषणको नतिजा निकालिन्छ ।

उपकरणमा आधारित विधिहरू

- ग्यास एनालाइज़रः विभिन्न ग्यास जस्तै (CO, NOx, SO_2) को मात्रा मापन गर्न प्रयोग हुने उपकरण ।
- PM मापन उपकरणः कणजन्य पदार्थहरू (PM_{10}, $PM_{2.5}$) मापन गर्नका लागि विशेष उपकरणहरू जस्तैः लेजर प्रविधिमा आधारित उपकरणहरू, Beta Attenuation प्रविधिमा आधारित उपकरणहरू इत्यादि ।

१.४.२ भू—उपग्रहमा आधारित मापन (Satellite based measurement)

- भू—उपग्रह तथ्याङ्कः विभिन्न भू—उपग्रहरूको माध्यमबाट वायुप्रदूषणको स्तर मापन गर्नका लागि तथ्याङ्क सङ्कलन गरिन्छ, जसले ठूलो क्षेत्रमा प्रदूषणको स्तरको विश्लेषण गर्न मद्दत गर्छ ।

१.५ वायुगुणस्तर मोडलहरू (Air Quality Models)

वायुमण्डलको अवस्था र वायुप्रदूषण प्रवाहको भविष्यवाणी गर्नका लागि जटिल गणितीय मोडलहरू प्रयोग गरिन्छ । यसमध्ये केही मोडलहरूको बारेमा यहाँ सङ्क्षिप्त रूपमा वर्णन गरिएको छ ।

बक्स मोडेल (Box Models)

- एक निश्चित क्षेत्रमा प्रदूषणको गणना गर्ने सरल मोडेल
- शिक्षण र प्रारम्भिक विश्लेषणका लागि उपयोगी

गौसियन मोडेल (Gaussian Models):

- प्रायः स्थिर स्रोतबाट निष्कासन हुने प्रदूषणको फैलावटको अध्ययनका लागि प्रयोग हुन्छ।
- छोटो दुरीका लागि उपयुक्त
- उदाहरणः AERMOD, ISC3

लैग्रेन्जियन मोडेल (Lagrangian Models)

- यसले हावाको प्रवाहसँगै कणजन्य पदार्थहरू कसरी सर्छन् भन्ने ट्र्याक गर्छ ।
- उदाहरणः HYSPLIT, FLEXPART, STILT

युलरियन मोडेल (Eulerian Models)

- ठुलो क्षेत्र (जस्तै देश वा महादेश) मा प्रदूषणको फैलावटको अध्ययनका लागि प्रयोग गरिन्छ।
- रासायनिक प्रतिक्रिया र मौसमको असरलाई समेत समेट्छ ।
- उदाहरणः CMAQ, WRF-Chem

खण्ड दुई
वायुप्रदूषणका स्रोत, जोखिम तथा असरहरू

२.१ वायुप्रदूषणका स्रोतहरू

२.१.१ प्राकृतिक स्रोतहरू (Natural Sources)

विभिन्न प्राकृतिक प्रक्रिया, विपद् घटना तथा परिघटनाहरूबाट पनि वायुप्रदूषण भइरहेको हुन्छ । जलवायु परिवर्तनका कारण केही प्राकृतिक प्रक्रियाहरूमा परिवर्तन आउन सक्दछ जसले वायु गुणस्तरलाई प्रभावित गर्न सक्दछ यसैगरी हावाको बहाव र मौसममा हुने क्षणिक परिवर्तनले उत्सर्जित प्रदूषकहरूको प्रसारण (Dispersion) मा प्रभाव पार्दछ । वायुप्रदूषणका केही प्रमुख प्राकृतिक स्रोतहरू निम्नानुसार रहेका छन् ।

- प्राकृतिक रूपमा जङ्गलमा हुने आगलागीबाट निस्कने धुवाँमा कणजन्य पदार्थहरू र विभिन्न ग्यासहरूका साथै खरानीसमेत उत्सर्जन हुने गर्छ ।
- विशेषगरी सुख्खा र हुरी बतास चल्ने दिनमा प्राकृतिक रूपमा उड्ने धूलो पनि वायुप्रदूषणको प्रमुख स्रोत हो ।
- विभिन्न वनस्पतिहरूले प्रदूषक ग्यासहरूको उत्सर्जन गर्छन्, जस्तैः VOC, ओजोन, परागकण इत्यादि पनि वायुप्रदूषणको स्रोत हो ।
- ज्वालामुखी विस्फोटबाट सल्फर डाइअक्साइड, कार्बन डाइअक्साइड, र अन्य ग्यासहरूको उत्सर्जन हुन्छ ।

२.१.२ मानव सिर्जित स्रोतहरू (Anthropogenic Sources)

विभिन्न मानवीय गतिविधिहरूबाट थरीथरीका वायुप्रदूषणहरू उत्सर्जन हुन्छन् । सामान्यतया प्राकृतिक रूपमा उत्सर्जन हुने वायुप्रदूषणहरूलाई प्रकृतिबाट हटाउने क्षमता प्रकृति स्वयम् ले गर्ने र उक्त उत्सर्जनलाई हामीले न्यूनीकरण गर्न अत्यन्त कठिन हुने हुँदा प्राकृतिक स्रोतलाई त्यति समस्याका रूपमा हेरिएको हुँदैन, तर मानवीय क्रियाकलापबाट उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू प्रकृतिको आफैं सफा गर्ने

प्रणालीमा थप हुने हुँदा यस किसिमका उत्सर्जनलाई समस्याका रूपमा हेरिन्छ । मानवीय गतिविधिहरूबाट हुने उत्सर्जनलाई निराकरण गर्ने विषय मानिसकै क्षमताभित्र रहने हुनाले यसका लागि दिन प्रतिदिन नयाँनयाँ प्रविधिहरूको विकास हुँदै गइरहेको छ । उत्सर्जन हुने स्थानअनुसार मानव सिर्जित स्रोतहरूलाई मूलतः दुई प्रकारमा विभाजन गरिएको छ ।

घरबाहिरको वायुप्रदूषणका स्रोतहरू (Sources of Outdoor air pollution)

- उद्योग कलकारखानाबाट उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू (जस्तैः सल्फर डाइअक्साइड, नाइट्रोजनका अक्साइडहरू, पार्टिकुलेट म्याटर इत्यादि) ।
- खनिज इन्धनबाट सञ्चालित यातायातका साधनहरूबाट उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू ।
- खनिज इन्धन (कोइला, पेट्रोलियम पदार्थ आदि) बाट ऊर्जा उत्पादन गर्दा उत्सर्जन हुने प्रदूषकहरू ।
- कृषिकार्यमा रासायनिक मल र कीटनाशकको प्रयोग, साथै कृषिजन्य अवशेष बाल्दा उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू ।
- निर्माणजन्य क्रियाकलापहरूबाट उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू ।
- फोहोरमैला वा कृषिजन्य अवशेष जलाउँदा उत्सर्जन हुने प्रदूषणहरू ।
- वनडढेलोबाट उत्पन्न हुने धुवाँ
- निर्माण कार्य, बाटो वा अन्य स्थलको धुलो

औद्योगिक उत्सर्जन

सवारी साधनको उत्सर्जन

फोहरमैला जलाउँदा भएको उत्सर्जन

यसबाहेक वायुमण्डलमा रहेका प्रदूषणहरू एक आपसमा रासायनिक प्रतिक्रिया गरी विभिन्न किसिमका द्वितीयक वायुप्रदूषणहरू (जस्तैः ओजोन, द्वितीयक $PM_{2.5}$ आदि) उत्सर्जन हुने गर्दछन् । यी प्रदूषकहरूले मानव स्वास्थ्य, वातावरण र पारिस्थितिकीय प्रणालीमा गम्भीर प्रभाव पार्दछन् । तसर्थ वायुप्रदूषणको नियन्त्रणका लागि यी स्रोतहरूबाट हुने वायु प्रदूषकको उत्सर्जनको व्यवस्थापन अत्यावश्यक हुन्छ ।

घरभित्रको वायुप्रदूषणका स्रोतहरू (Sources of Indoor air pollution)

घरबाहिर जस्तै घरभित्र पनि विभिन्न किसिमका वायुप्रदूषणका स्रोतहरू रहेका हुन्छन् । ती स्रोतहरूबाट विभिन्न किसिमका वायुप्रदूषकहरू उत्सर्जन हुने गर्दछ र त्यसले सर्वप्रथम घरभित्रका मानिसहरूलाई असर गर्दछ । हाम्रो अधिकांश समय घरभित्र नै बित्ने हुँदा घरबाहिरको जस्तै घरभित्रको वायुप्रदूषणका बारेमा जान्नु पनि उत्तिकै महत्त्वपूर्ण रहेको छ । त्यस्तै सधैं घरबाहिरको भन्दा घरभित्रको हावा स्वच्छ हुन्छ भन्ने पनि हुँदैन । घरभित्रको प्रदूषण अन्ततः घरबाहिर नै जाने भएकाले पनि घरभित्रको वायुप्रदूषणले बाहिरी वातावरणमा पनि असर गर्दछ ।

घरभित्रको वायुप्रदूषणको मुख्य स्रोत भान्छाकोठा नै हो । विशेषतः ग्रामीण क्षेत्रमा खाना पकाउन दाउरा गुइँठा जस्ता परम्परागत उर्जाका स्रोतहरू प्रयोग हुन्छन् भने ती स्थानहरूमा परम्परागत चुलोहरू पनि प्रयोग भएको पाइन्छ । त्यसैगरी घरहरूमा पर्याप्त हावा खेल्न सक्ने गरी भेन्टिलेसनको व्यवस्था नहुँदा उत्सर्जित धुवाँ सजिलै बाहिर निस्किन पाउँदैन र त्यस्ता स्थानमा घरभित्रको वायुप्रदूषण निकै उच्च रहने गर्दछ । यस्तो स्थानमा $PM_{2.5}$ को मात्रा घरबाहिरको हावामा भन्दा कैयौं गुणा उच्च हुन सक्दछ ।

विश्व स्वास्थ्य सङ्गठनका अनुसार विश्वभरका करिब २.१ अर्ब मानिसहरूले (विश्वको जनसङ्ख्याको करिब एक तिहाइ) मट्टीतेल, बायोमास (काठ, गुईंठा र बालीनालीको अवशेष) र कोइलाको प्रयोग गरी खुल्ला आगामा वा अनुपयुक्त किसिमको चुलामा खाना पकाउँछन्, जसले अत्याधिक वायुप्रदूषण गर्दछ (https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health?utm_source=chatgpt.com)। भान्छाको काममा अधिकांश महिलाहरू संलग्न रहने भएकाले घरभित्रको वायुप्रदूषणबाट महिला तथा बालबालिकाहरू बढी जोखिममा रहेका हुन्छन् ।

उदाहरण १

उपत्यका र वरपरका क्षेत्रमा २०७५ साल असार १ गते शुक्रबार रातीदेखि हिलो मिसिएको वर्षा भएको थियो जसलाई रेड रेन भनिन्छ। जल तथा मौसम विज्ञान विभागका अनुसार, यस्तो वर्षाको मुख्य कारण भारतको राजस्थान र नजिकका क्षेत्रहरूमा आएको हुरी र बतासले उडाएको धूलोका कणहरू रहेको थियो। सामान्य समयमा आकाशे पानी संकलन गरेर पशुपक्षीलाई खुवाउने र सरसफाइमा प्रयोग गरिन्छ, तर रेड रेनको पानीमा क्षारीय वा अम्लीय पदार्थका साथै कणजन्य पदार्थहरु धेरै हुनसक्ने भएकाले त्यस्तो पानी यस्ता कामका लागि प्रयोग गर्नु हानिकारक हुनसक्दछ।

घरभित्रको वायुप्रदूषण उत्सर्जन

उत्सर्जन कम गर्न सुधारिएको चुलोको प्रयोग

यसैगरी ग्रामीण तथा पहाडी र हिमाली भेगमा अगेनामा आगो बाली आगो ताप्ने चलन रहेकाले यसबाट महिला, बालबालिका, दिर्घरोगी तथा वृद्ध वृद्धाहरू बढी

जोखिममा रहेका हुन्छन् । खाना पकाउन स्वच्छ उर्जाको प्रयोग गरेर र सुधारिएको चुलो प्रयोग गरेर घरभित्रको वायुप्रदूषणको जोखिम धेरै हदसम्म कम गर्न सकिन्छ ।

वायुप्रदूषणका जोखिम तथा असरहरू

वायुप्रदूषणले हाम्रो वातावरणको धेरै पक्षमा असर पारिरहेको हुन्छ । वायुप्रदूषणले विश्वव्यापी रूपमा गम्भीर स्वाथ्य जोखिम निम्त्याइरहेको छ । यसबाहेक वायुप्रदूषणका कारण भिजिबिलिटी कम हुने, कृषि उत्पादकत्व ह्रास हुने, वनस्पति र वन्य जन्तुमा असर पार्ने मात्र नभई यो जलावायु परिर्वतनसँग पनि जोडिएको छ ।

विश्व स्वास्थ्य सङ्गठन (WHO) का अनुसार वायुप्रदूषण मानव स्वास्थ्यका लागि सबैभन्दा ठुलो वातावरणीय जोखिममध्ये एक रहेको छ र यसका कारण प्रत्येक वर्ष करिब ८१ लाख मानिसको मृत्यु हुने गरेको छ । जसमध्ये घरबाहिरको वायुप्रदूषणका कारण सन् २०१९ मा करिब ४२ लाख मानिसको अकालमा ज्यान गएको अनुमान गरिएको छ । वायुप्रदूषणबाट मृत्यु हुने मानिसको सङ्ख्या दक्षिण र दक्षिण पूर्वी एसियामा अधिक रहेको छ । वायुप्रदूषणका कारण हुने मृत्युका मुख्य कारकहरूमा मस्तिष्कघात, मुटु रोग (ischemic heart disease), दिर्घकालीन फोक्साको रोग, श्वासप्रश्वाससम्बन्धी रोग (acute lower respiratory infections) र फोक्साको क्यान्सर रहेका छन् । यसैगरी सन् २०२० मा घरभित्रको वायुप्रदूषणका कारण विश्वभरि करिब ३२ लाख मानिसहरूको अकालमा मृत्यु भएको थियो जसमध्ये २ लाख ३७ हजारभन्दा बढी ५ वर्षमुनिका बालबालिका थिए ।

उदाहरण २

मिति २०७७ साल चैत्र महिनामा काठमाडौं उपत्यका सहित देशका विभिन्न स्थानमा वायु प्रदूषण निकै बढेको थियो। सो समयमा वातावरण विभागले नागरिकहरुलाई सकेसम्म घरभित्रै रहन अपिल जारी गरेको थियो भने शिक्षा, विज्ञान तथा प्रविधि मन्त्रालयले देशभरिका शिक्षण संस्था चैत्र १७ गतेबाट चार दिनका लागि बन्द गर्ने निर्णय गरेको थियो। यस समयमा वायुको अवस्था विशेष गरी बालबालिका, जेष्ठ नागरिक, दम खोकी जस्ता श्वासप्रश्वास सम्बन्धी बिमारी भएका नागरिकहरूलाई प्रतिकूल रहेको थियो ।

नेपाल स्वास्थ्य अनुसन्धान परिषदको प्रतिवेदनअनुसार नेपालमा सन् २०१९ मा मृत्युका कारणमध्ये धुम्रपान र उच्च रक्तचाप पछाडि तेस्रो नम्बरमा घरभित्रको वायुप्रदूषण (household air pollution) र चौथो नम्बरमा घरबाहिरको वायुप्रदूषण रहेको छ (NHRC et al., २०२१)। विश्व बैंकको सन् २०२१ को प्रतिवेदनअनुसार $PM_{2.5}$ का कारण स्वास्थ्यमा परेको क्षतिको विश्वव्यापी लागत सन् २०१९ मा ८१ खरब अमेरिकी डलर थियो, जुन सन् २०१९ को विश्वव्यापी कूल गार्हस्थ उत्पादन (GDP, PPP अनुसार समायोजित) को ६.१ प्रतिशत बराबर हो (World Bank, २०२२) ।

उदाहरण ३

मिति २०७७ चैत्र, २०८० तथा २०८१ को वैशाख महिनामा वायुप्रदूषणका कारण पोखरा लगायत देशका धेरै विमानस्थलमा हवाई उडान हुन सकेन । यसरी उडानहरू रोकिँदा वायुप्रदूषणले आर्थिक रूपमा पनि धेरै नोक्सानी पुऱ्यायो। तत्कालीन पोखरा विमानस्थलका प्रमुख विक्रमराज गौतमका अनुसार २०७७ साल चैत्र महिनामा मात्र हवाई यात्रा रोकिँदा एयरलाइन्सले करिब ११ करोड रुपैंया नोक्सानी व्यहोर्नु परेको थियो। (स्रोतः नागरिक न्यूज २०७७/१२/२२) यसका साथै उडान हुन नसकेको कारण पर्यटन क्षेत्रमा पनि धेरै असर परेको थियो।

तुवाँलो के हो ?

बेलाबेलामा हामीले तुवाँलोको कारण आकाश धुम्म परेको देखिरहेका छौं । तुवाँलो लागेको बेला भिजिबिलीटि कम हुने भएकाले हामी टाढासम्म देख्न सक्दैनौं । मसिना कणजन्य पदार्थहरू अर्थात् $PM_{2.5}$ को कारण तुवाँलो देखिन्छ । सानासाना कणहरूले सूर्यको प्रकाशलाई सोस्ने र छरिदिने (scattering) हुनाले हामीले टाढासम्म स्पष्ट देख्न सक्दैनौं । तुवाँलो लागेको समयमा हावामा $PM_{2.5}$ को मात्रा धेरै हुने भएकाले यस्तो हावाले हाम्रो स्वास्थ्यमा नकारात्मक असर पार्दछ । यसैगरी तुवाँलोको कारण भिजिबिलिटी कम हुने भएकाले जहाजहरू उड्न र अवतरण गर्न समस्या हुन्छ । कहिलेकाहीँ त अत्यधिक तुवाँलोका कारण उडानहरू नै रद्द गर्नुपर्ने अवस्था पनि आउँछ । त्यस्तै तुवाँलोले प्रत्यक्ष असर पार्ने अर्को क्षेत्र पर्यटन पनि हो ।

पर्यटकहरू निकै टाढाबाट दृश्यालोकनका लागि विभिन्न ठाँउमा पुगिरहेका हुन्छन् । तुवाँलोका कारण टाढासम्म देख्न नसकिने भएर यस्तो बेलामा पर्यटकहरूको आगमनमा नै कमी आउँछ ।

यसले समग्र पर्यटन तथा अर्थतन्त्रमा नै असर पार्दछ । यसका अतिरिक्त नाइट्रेट तथा सल्फेट जस्ता कणहरूले अम्लीय वर्षा गराउने भएकाले तालतलैया, नदी तथा खोलानालाहरूमा रहने माछा जस्ता जलचरहरू तथा माटाको उर्वराशक्तिमा नकारात्मक असर पर्दछ भने ऐतिहासिक भवन तथा स्मारकहरूमा क्षयीकरण हुने तथा घरको रङ्गसमेत चाँडै खुइलिने हुन्छ ।

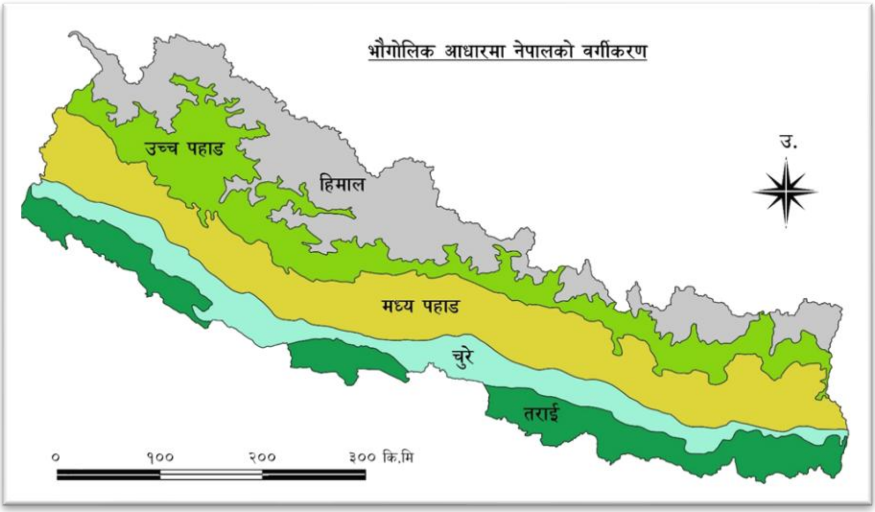
फोटोः कोशीको चतराबाट देखिएको तुवाँलो

फोटोः नाला भञ्ज्याङ्गबाट काठमाडौं उपत्यकामा देखिएको तुवाँलो

खण्ड तीन
नेपालमा वायुप्रदूषणको अवस्था र यसलाई प्रभाव पार्ने तत्त्वहरू

३.१ परिचय (Itroduction)

नेपाल दक्षिण एसियामा १४७,५१६ वर्ग किलोमिटर क्षेत्रफलमा फैलिएको भूपरिवेष्ठित देश हो । नेपाल समुन्द्र सतहबाट ६० मिटरदेखि ८,८४८.८६ मिटरको उचाइसम्म फैलिएको छ भने यसको पूर्वपश्चिम लम्बाइ करिब ८०० कि.मी. र उत्तर दक्षिण चौडाइ करिब १५० देखि २५० कि.मी. सम्म रहेको छ । भौगोलिक दृष्टिले नेपाललाई हिमाल, उच्च पहाड, मध्य पहाड, चुरे र तराई गरी पाँच प्रमुख क्षेत्रहरूमा बाँडिएको छ ।



स्रोतः नापी विभाग

सानो क्षेत्रफलभित्र रहेको नेपाल उचाइगत विविधताका कारण यहाँको मौसम र हावापानीमा पनि निकै विविधता छ; यहाँ तराईको मौसम तातो र हिमालको मौसम अत्यधिक चिसो हुने गर्दछ । यहाँको भौगोलिक र मौसमको विविधताअनुसार

मानिसहरूको चालचलन, रहनसहन र जीविकोपार्जनको तरिकामा पनि धेरै नै विविधता पाइन्छ । यी सबै कुराहरूले वायुप्रदूषणमा उल्लेखनीय प्रभाव पुऱ्याउन सक्दछ, जसलाई ध्यानमा राख्दै वातावरण विभागले २०८१ सम्ममा देशभरि ३० वटा वायुप्रदूषण मापन केन्द्रहरू स्थापना गरेको छ ।

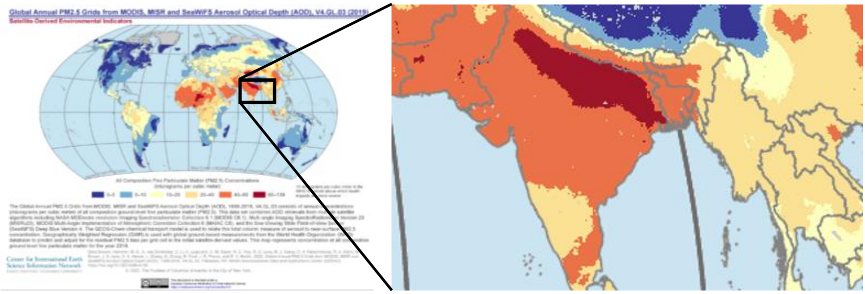
तालिका : वायुप्रदूषण मापन केन्द्रहरूको अवस्थिति

क्र.सं.	स्थान	प्रदेश	देशान्तर	अक्षांश	उचाइ मी.
१	धनकुटा	कोशी	८७.३४३९२	२६.९८०६६	१२००
२	ईलाम		८७.८४०८३	२७.०४७७७	२८३८
३	झुम्का		८७.१९५१७	२६.६६४४५	१००
४	दमक		८७.७०३२६	२६.६६९३६३	१३६
५	विराटनगर		८७.२७५०९	२६.४४५०९	७१
६	जनकपुर	मधेश	८५.९२८५४	२६.७३९८०	७६
७	सिमरा		८४.९९७७६	२७.१५६७०	१२८
८	भैंसेपाटी	वाग्मती	८५.३०२२५२	२७.६५३११	१३४७
९	भरतपुर		८४.४३८३९	२७.६७२५०	२१३
१०	भक्तपुर		८५.४१७५२	२७.६७३७६	१३२७
११	खुमल्टार		८५.३२३४	२७.६४६६५	
१२	धुलीखेल		८५.५४७८०	२७.६०८४८	१५९८
१३	शङ्खपार्क		८५.३४२८२	२७.७३२८२	१३३९
१४	हेटौंडा		८५.०३४४१	२७.४२२६७	४५८
१५	रत्नपार्क		८५.३१५४१	२७.७०७०१४	१३१७
१६	सौराहा		८४.४९८५	२७.५७३४८३	१९५
१७	पुल्चोक इञ्जिनियरिङ्ग क्याम्पस, पुल्चोक		८५.३१८८४	२७.६८२५८	१३०५
१८	त्रि.वि.वि. कीर्तिपुर		८५.२८९३१	२७.६८१७१९	१३१४
१९	डि.एच.एम. पोखरा	गण्डकी	८३.९७३६८	२८.२०५५४	८२३
२०	गण्डकी बोर्डिङ्ग स्कुल,		८३.९६८९६४	२८.२५८३८	९७८

क्र.सं.	स्थान	प्रदेश	देशान्तर	अक्षांश	उचाइ मी.
	पोखरा				
२१	पोखरा विश्वविद्यालय, पोखरा		८४.०८५५४	२८.१४३३७	६६४
२२	लुम्बिनी	लुम्बिनी	८३.२७९०८	२७.४८९५२	९७
२३	दाङ		८२.५३४६	२७.९९१४	६८४
२४	दाङ, देउखुरी		८२.७१६१५	२७.८४५००	
२५	नेपालगञ्ज		८१.६२२२	२८.०५२७५	१५१
२६	रारा राष्ट्रिय निकुञ्ज, रारा	कर्णाली	८२.०९३७८	२९.५०८३०	३१२१
२७	सुर्खेत		८१.६२१०२	२८.६०२९२	७२९
२८	महेन्द्रनगर	सुदूर पश्चिम	८०.१८२९२	२८.९६५०५	२१७
२९	धनगढी		८०.५९४५	२८.७०४१३	१७८
३०	अछाम		८१.२८९२	२९.१४२७२	१४८५

यी मापन केन्द्रहरूबाट वायुगुणस्तरको अध्ययन गरिनुका साथै प्रदूषण नियन्त्रणका उपायहरू पहिचान गरिन्छ । वातावरण विभागले देशका विभिन्न स्थानमा फैलिएको वायुप्रदूषण मापन केन्द्रहरूको तथ्याङ्क विश्लेषण गरी प्रत्येक वर्ष वायुप्रदूषणको स्थिति प्रतिवेदन प्रकाशन गर्ने गरेको छ । यहाँ सन् २०२३ मा विभागले प्रकाशन गरेको वायुप्रदूषणको स्थिति प्रतिवेदन (Lamichhane et al., 2024) र अन्य प्रकाशनहरूलाई समेत आधार मानेर नेपालको वायुप्रदूषणको वर्तमान अवस्था विश्लेषण गर्ने प्रयास गरिएको छ ।

तलको चित्रमा सोही नक्साको नेपालसहित दक्षिण एसियाको भूभागलाई नजिकबाट नियालिएको छ । उक्त क्षेत्रमा $PM_{2.5}$ को मात्रा उच्च रहेको देख्न सकिन्छ । नेपालको तराई क्षेत्रलगायत समग्र गङ्गाको मैदान नै विश्वमा $PM_{2.5}$ को मात्रा उच्चतम भएको क्षेत्र मध्येमा पर्दछ । त्यसैगरी नेपालको अन्य क्षेत्रको तुलनामा तराई क्षेत्रमा $PM_{2.5}$ को मात्रा बढी रहेको देखिन्छ ।

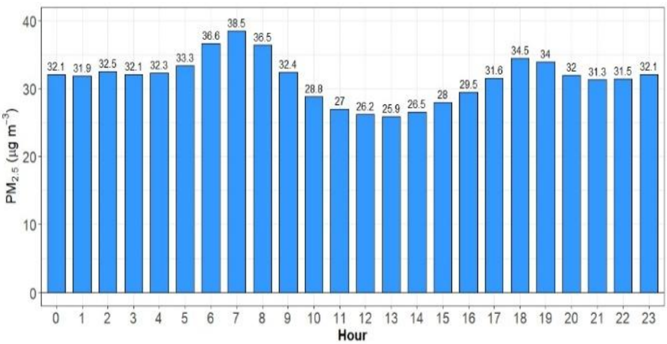


चित्रः Center for International Earth Science Information Network ले सन् २०१९ का लागि स्याटलाइट डाटा प्रयोग गरी तयार गरेको $PM_{2.5}$ को मोडेल नक्सा

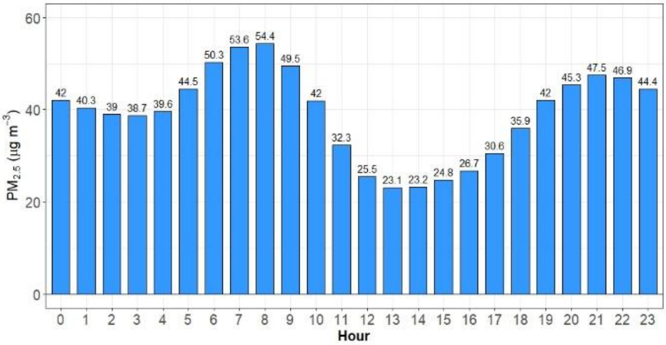
३.२ दिवा र रात्रि समयमा वायुप्रदूषणको अवस्था र कारणहरू

३.२.१ वायुप्रदूषणको अवस्था

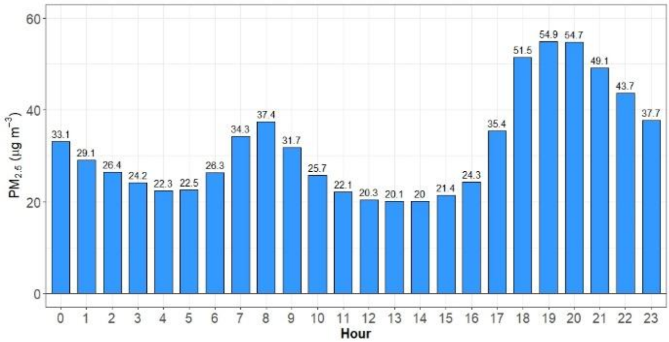
वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको प्रतिवेदन Status of Air Quality in Nepal, Annual Report 2023 अनुसार केही मापन केन्द्रहरूबाट प्राप्त तथ्याङ्कका आधारमा दिनको विभिन्न समयमा हुने $PM_{2.5}$ को विविधता तल चित्रमा देखाइएको छ (Lamichhane et al, 2024) ।



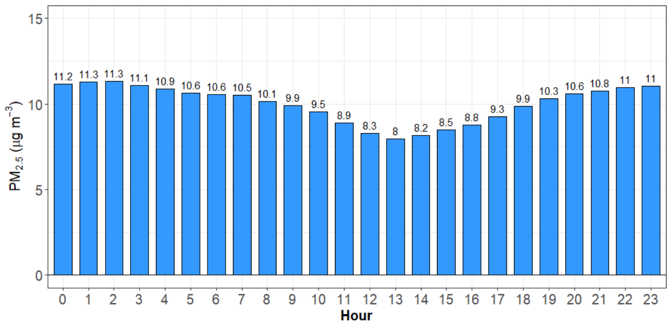
धनकुटा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



रत्नपार्क वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



महेन्द्रनगर वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर



रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

चित्रः सन् २०२३ मा देशका विभिन्न स्टेसनमा लिइएको $PM_{2.5}$ को औसत अवस्था

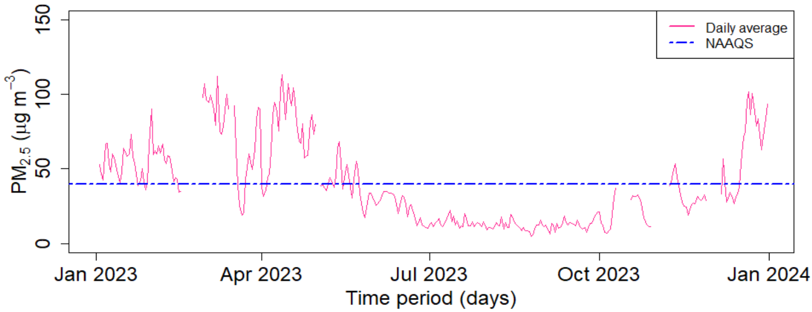
माथिका चित्रले देखाएजस्तै अधिकांश स्थानमा प्रायजसो बिहान र बेलुकाको समयमा $PM_{2.5}$ को मात्रा बढी हुने गरेको देखिन्छ । अन्य स्टेसनको ग्राफमा बिहान र बेलुकाको समयमा दुईवटा चुचुरो (Peak) देख्न सकिन्छ भने राराको ग्राफ फरक रहेको छ । रत्नपार्क वायुगुणस्तर मापन केन्द्रको ग्राफ हेर्दा त्यहाँ बिहान ७ देखि ९ बजेको समयमा र बेलुका ९ देखि ११ बजेको समयमा $PM_{2.5}$ उच्चतम पुगेको देखिन्छ ।

३.२.२ वायुप्रदूषणका कारणहरू

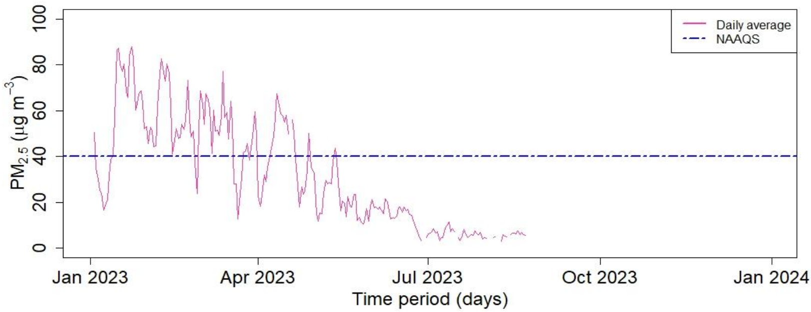
बिहानको चिसो समयमा जब मानवीय गतिविधिहरू बिस्तारै बढ्दै जान्छन्, विभिन्न स्रोतहरूबाट हुने उत्सर्जनहरू जमिननजिकैको हावामा थुप्रिँदै जान्छ । यो प्रक्रिया तबसम्म जारी रहन्छ, जबसम्म बिहानको सूर्यको तापले हावालाई तातो पार्दै, प्रदूषकहरूलाई वायुमण्डलको माथि फैलाउन सक्दैन । दिउँसोको समयमा सूर्यको तापले जमिनसँगै जमिननजिकैको हावा पनि तात्न पुग्दछ, जुन हलुका हुनाले माथि उड्छ । फलस्वरूप वायुमण्डलमा हावा राम्रोसँग मिसिन पाउँदछ र जमिन नजिकको वायु प्रदूषकहरू पनि मिसिएको वायुसँगै वायुमण्डलको निकै माथिसम्म छरिन पुग्दछन् । अतः जमिननजिकै $PM_{2.5}$ को मात्रा कम हुन पुग्दछ । प्रायः दिउँसो हावाको वेग बढी हुने र यसले कणजन्य पदार्थहरूलाई उडाएर तिनीहरूको फैलावट ठुलो क्षेत्रमा गराउने भएकाले प्रदूषणको स्तर कम हुन्छ । त्यसैगरी साँझको समयमा पनि बिस्तारै जमिनसँगैको हावा चिसो हुँदै जान्छ र कणजन्य पदार्थहरू जमिननजिकैको हावामा थुप्रिँदै जान्छन् । तसर्थ कणजन्य पदार्थहरूको फैलावटमा हावाले पनि महत्त्वपूर्ण भूमिका खेल्ने देखिन्छ ।

३.३ वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को दैनिक औसत अवस्था

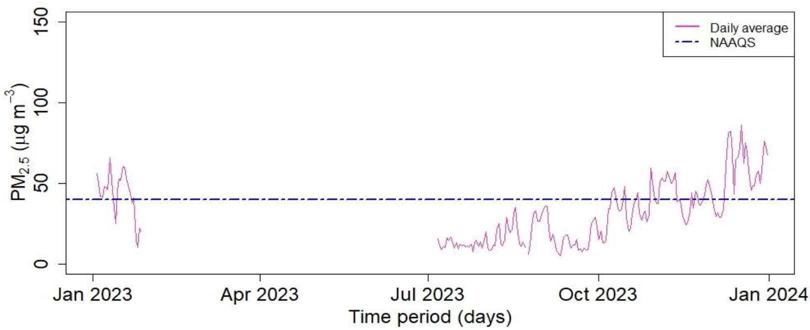
वातावरण विभागको सोही रिपोर्टअनुसार केही स्टेसनमा वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को दैनिक औसतको ग्राफ यहाँ प्रस्तुत गरिएको छ ।



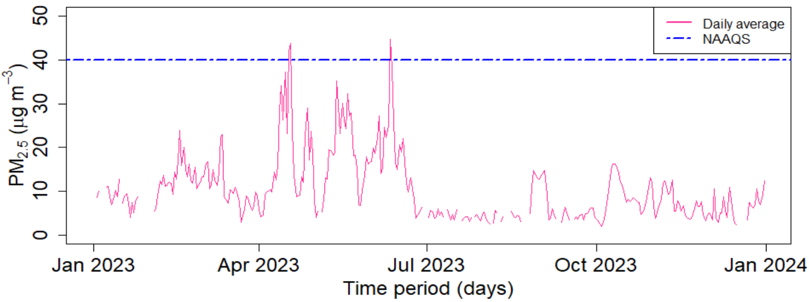
रत्नपार्क वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



धनकुटा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



महेन्द्रनगर वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर



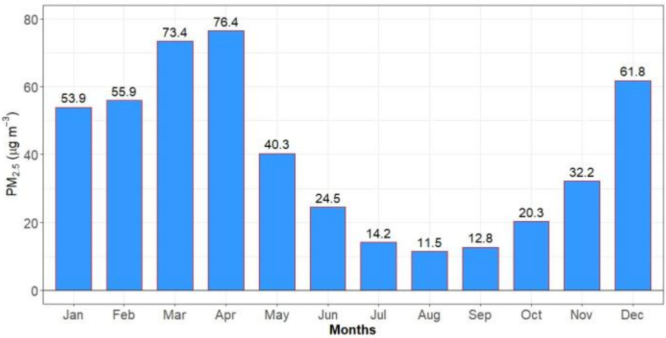
रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

चित्र: सन् २०२३ अनुसार विभिन्न वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा $PM_{2.5}$ को वार्षिक औसत अवस्था

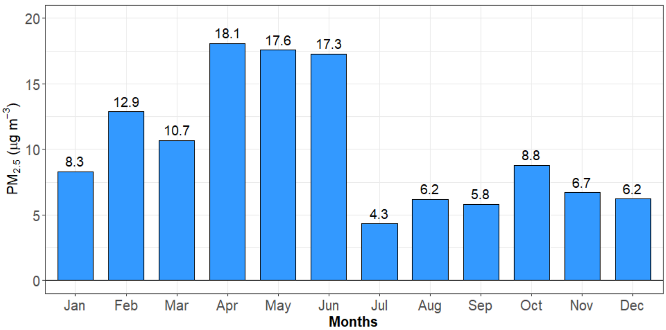
माथिको चित्रमा ग्राफको रातो लाइनले $PM_{2.5}$ को दैनिक औसत अवस्था देखाउँदछ भने निलो लाइनले नेपाल सरकारले $PM_{2.5}$ को २४ घण्टाका लागि तोकेको मापदण्ड देखाउँदछ । निलो लाइनभन्दा माथि परेको रातो लाइनले $PM_{2.5}$ मापदण्ड भन्दा बढी भएको अवस्था देखाउँदछ । उक्त ग्राफहरू हेर्दा अधिकांश स्थानमा वर्षातको समयमा बाहेक अन्य बेलामा अधिकांश दिनहरूमा $PM_{2.5}$ को मात्रा मापदण्ड भन्दा बढी रहेको देखिन्छ । रारा स्टेशनमा एकाध दिनबाहेक अन्य दिनमा $PM_{2.5}$ को मात्रा मापदण्डभित्र नै रहेको पाइन्छ । रारा स्टेशनमा अन्य महिनामा भन्दा चैत, वैशाख र जेठ महिनामा $PM_{2.5}$ को मात्रा बढी रहेको देखिन्छ ।

३.४ मासिक वायुप्रदूषण अवस्था

वातावरण विभागको सोही रिपोर्टबाट केही स्टेसनमा वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को मासिक औसतको स्तम्भ चित्रलाई यहाँ प्रस्तुत गरिएको छ ।



रत्नपार्क वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

चित्र: सन् २०२३ मा विभिन्न वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा $PM_{2.5}$ को मासिक औसत अवस्था

मुख्यतया हिंउदको समयमा प्रदूषण उच्च हुनुमा मौसमको भूमिका महत्त्वपूर्ण रहेको हुन्छ । वर्षा याममा वर्षाले हावामा रहेका कणजन्य पदार्थहरू पखाल्ने हुनाले वायुप्रदूषण न्यून हुन्छ । हिंउदको समयमा निकै कम वर्षा हुन्छ । जसले गर्दा वायुमा एक पटक प्रवेश गरेका प्रदूषक लामो समय सम्म हावामा नै रहिरहन्छ । जुन वर्षको हिउँदमा बढी वर्षा हुन्छ उक्त वर्ष वायुप्रदूषण केही कम हुने गरेको पाइन्छ । त्यस्तै वायुप्रदूषण उच्च हुनुमा तापक्रमको पनि उत्तिकै महत्त्वपूर्ण भूमिका हुन्छ । विशेषगरी पुस र माघ महिनामा तापक्रम निकै कम हुन्छ भने वायुप्रदूषण

उच्च हुन्छ । जमिनको सतहबाट वायुमण्डलको जुन उचाइसम्म हावा राम्रोसँग मिसिन पाउँछ त्यस्तो उचाइलाई मिक्सिङ हाइट भनिन्छ र यो मौसमअनुसार परिवर्तन भइरहन्छ । मानौं कुनै स्थानमा कुनै समयमा मिक्सिङ हाइट ५०० मिटर छ भने यसको अर्थ जमिनदेखि ५०० मिटरसम्मको हावा राम्रोसँग मिसिन पाएको छ भन्ने हो ।

मिक्सिङ हाइट बिहान, बेलुका र रातिको समयमा दिउँसोको तुलनामा कम हुन्छ । त्यसैगरी गर्मी याममा भन्दा जाडो याममा मिक्सिङ हाइट कम हुन्छ । यसका साथै अन्य कुराहरू जस्तै हावाको बहाब, भौगोलिक अवस्थिति आदिले वायुमण्डलको मिक्सिङ्ग हाइटलाई प्रभाव पार्न सक्दछ । यदि मिक्सिङ हाइट बढी छ भने जमिनबाट उत्सर्जन भएको प्रदूषण जमिनबाट निकै माथिसम्म फैलिन पाउँदछ र जमिननजिक वायुप्रदूषण कम हुन्छ । यदि मिक्सिङ हाइट कम छ भने जमिनको नजिकबाट हुने प्रदूषण राम्रोसँग फैलिन पाउँदैन र जमिनको नजिकै थुप्रिएर बस्ने भएकाले जमिननजिक वायुप्रदूषण उच्च हुन पुग्दछ ।

यस बाहेक चैत-वैशाखमा वायुप्रदूषण उच्च हुने कारण वनमा लाग्ने डढेलो पनि हो । हरेक वर्ष जस्तो यस समयमा नेपालको वनजङ्गलमा व्यापक रूपमा डढेलो लाग्ने गर्दछ । नेपालमा जुन वर्ष धेरै स्थानमा वन डढेलो लागेको छ, उक्त वर्ष चैत-वैशाखमा वायुप्रदूषण पनि अत्यधिक हुने गरेको पाइन्छ । त्यसैगरी उक्त समयमा नै देशका केही स्थानमा (विशेषगरी तराई क्षेत्रमा) कृषिजन्य अवशेषहरू (खास गरी गहुँको छवाली, पराल आदि) जलाउने गरेको पाइन्छ । त्यसले पनि वायुप्रदूषण बढाउन भूमिका खेलेको हुन्छ । यसबाहेक हिउँदको समयमा फोहोर बाल्ने कार्य बढी हुने गरेको पाइन्छ भने इँटा भट्टाहरू पनि हिंउदको समयमा नै सञ्चालन हुन्छन् । त्यसले गर्दा पनि हिउँदको समयमा वायुप्रदूषण उच्च हुने गरेको पाइन्छ ।

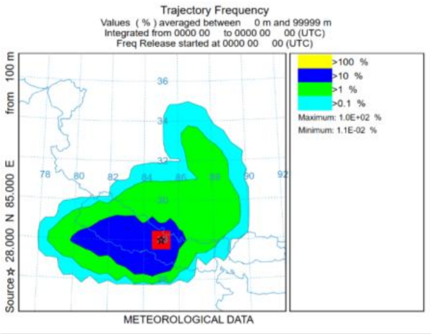
३.५ नेपालमा वायुप्रदूषणमा प्रभाव पार्ने मुख्य कारक तत्त्वहरू

३.५.१ एटमोस्फेरिक इन्भर्सन (Atmospheric inversion)

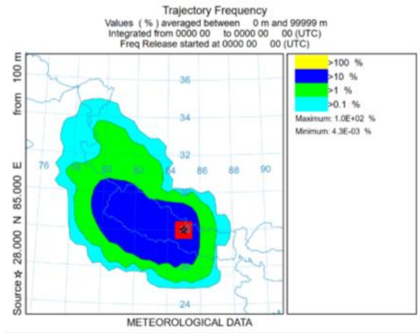
प्रायजसो वायुमण्डलको हामी जति जति माथि जान्छौं त्यति त्यति हावाको तापक्रम कम हुँदै जान्छ । सामान्यतया प्रत्येक १०० मिटर उचाइ बढ्दा ०.६५ डिग्री से. को दरमा तापक्रम घट्ने गर्दछ । चिसो हावा तातो हावाभन्दा गह्रौं हुन्छ जसले गर्दा वायुमण्डलको माथिल्लो भागको चिसो हावा तल जान्छ र जमिनसँगैको तातो हावा माथि उड्छ यसले गर्दा वायुमण्डलमा हावा राम्रोसँग मिसिन पाउँदछ तर कहिलेकाहीं चिसो मौसममा जमिनको सतह चिसो भएसँगै जमिनसँगैको हावा चिसो बन्न पुग्दछ भने यो चिसो हावाको तहभन्दा माथि तातो हावाको तह रहन पुग्दछ । यस्तो तातो हावाको तहले ढकनीको जस्तो काम गर्दछ । त्यसमाथि रहेको तातो हावाको तहको कारण जमिनको नजिकै रहेको चिसो हावा माथि जान पाउँदैन र वायुमण्डलमा हावा राम्रोसँग मिसिन पाउँदैन । यसका साथै जमिनबाट उत्सर्जन हुने प्रदूषकहरू पनि उक्त चिसो हावाको तहमा नै थुप्रिएर बस्दछन । यस्तो प्रक्रियालाई atmospheric inversion भनिन्छ । जाडो समयको बेला राति आकाश खुला छ भने बिहानीको समयमा यस्तो हुने सम्भावना धेरै हुन्छ । इन्भर्सनका कारण पनि जाडो समयमा प्रदूषण उच्च हुन जान्छ ।

३.५.२ हावाको बहाब

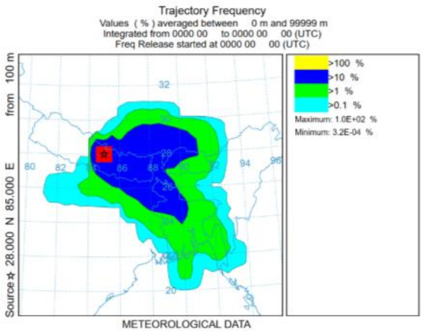
हावाले मसिना कणजन्य पदार्थहरूलाई निकै टाढाटाढा उडाएर लैजान सक्छ । कुनै पनि स्थानमा हुने प्रदूषण उक्त स्थानमा भएका स्थानीय स्रोतहरूको कारण मात्रै नहुन सक्छ । एक स्थानमा उत्सर्जन भएको प्रदूषणले अन्य स्थानको वायु गुणस्तरलाई असर पुऱ्याइरहेको हुन्छ । हावाले मसिना कणजन्य पदार्थहरूलाई हजारौं किलोमिटरको दुरीसम्म उडाएर पुऱ्याएका उदाहरण पनि छन् । वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको वायुगुणस्तर सम्बन्धी स्थिति प्रतिवेदन, २०२३ मा (Lamichhane et al., 2024) काठमाडौं उपत्यकाका लागि सन् २०२३ का विभिन्न महिनामा HYSPLIT model प्रयोग गरी वायुको बहाबको विश्लेषण गरिएको छ । यहाँ निलो रङ्गले काठमाडौं उपत्यकामा ४८ घण्टाको समयावधिभित्र ९० प्रतिशत वायु आइपुग्ने क्षेत्रलाई जनाउँदछ ।



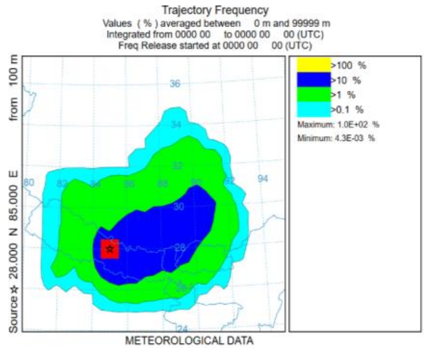
a. **January 2023**



b. **April 2023**



c. **September 2023**



d. **November 2023**

चित्र: वर्षको विभिन्न समयमा काठमाडौं उपत्यकामा आउने वायुको बहाव क्षेत्र

माथिको चित्रबाट वायुप्रदूषण उच्च हुने समय जनवरी (पुस/माघ) र एप्रिल (चैत/वैशाख) मा काठमाडौंमा हावा पश्चिम र दक्षिणबाट आउने गर्दछ । यसले काठमाडौंभन्दा पश्चिमतर्फका स्थानमा हुने वायुप्रदूषणले काठमाडौंको वायुको गुणस्तर बढी प्रभावित हुने देखिन्छ ।

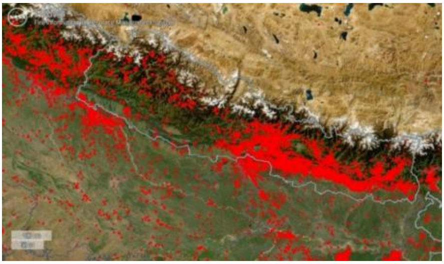
३.५.३ वन डढेलो तथा कृषि जन्य अवशेषहरू जलाउने कार्य

सामान्यतया चैत र वैशाख महिनामा वनडढेलो वायुप्रदूषणको प्रमुख कारक बन्ने गरेको पाइन्छ । कार्तिक-मङ्सिरमा नेपालमा यस्ता आगलागीका घटनाहरू कमै भए

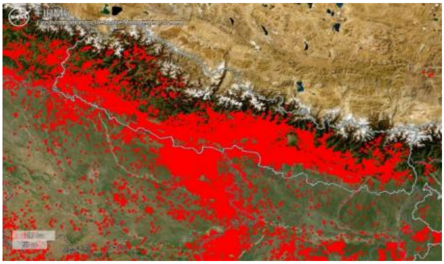
तापनि छिमेकी देश भारतमा भने यस्ता घटनाहरू प्रशस्तै हुने गरेका छन् । विशेषगरी भारतको पन्जाब र हरियाणामा धान काटेपछि परालमा आगो लगाउँदा त्यसको असर निकै टाढाटाढाका क्षेत्रसम्म पनि पर्ने गरेको पाइन्छ, जसले नेपालका धेरै स्थानहरूलाई प्रभावित गरेको पाइन्छ ।

NASA को FIRMS भन्ने वेभसाइटबाट भू-उपग्रहले पहिचान गरेका आगलागीका घटनाहरूको तथ्याङ्क प्राप्त गर्न सकिन्छ । यस्ता आगलागीका घटनाहरूमा वनमा लागेको डढेलो, कृषिजन्य अवशेष जलाउन लगाइएको आगो वा अन्य आगलागीका घटनाहरू पनि हुन सक्दछ । चित्रमा विभिन्न महिनामा भएका आगलागीका घटनाहरू देखाइएको छ । यहाँ हरेक रातो थोप्लाले एउटा आगलागीको घटना जनाउँदछ ।

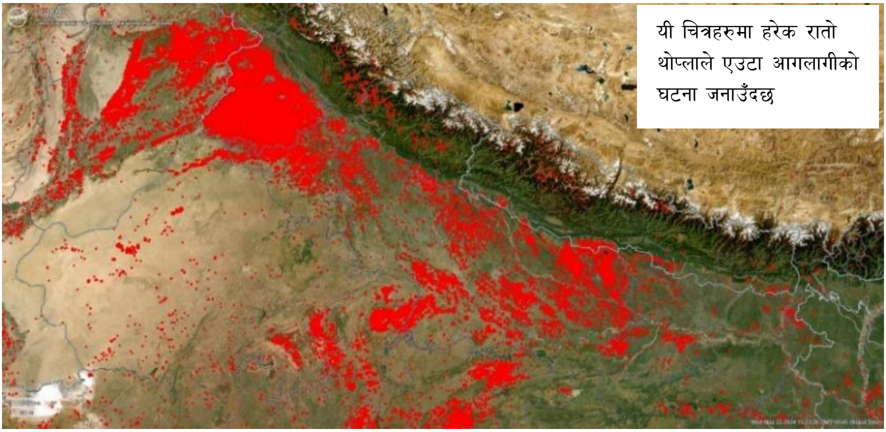
तल चित्रमा देखाइएझैं मार्च (फागुन/चैत) मा नेपालको पूर्वी भेगको तुलनामा पश्चिम भेगमा आगलागीका घटनाहरू कम रहेको देखिन्छ भने अप्रिल (चैत/वैशाख) मा उक्त भेगमा समेत व्यापक रूपमा आगलागीका घटनाहरू भएको पाइएको छ । त्यसैगरी नेपालको तराईसँगै जोडिएको भारतको उत्तरी भेगमा समेत अप्रिलमा ठुलो मात्रामा आगलागीका घटना भएको पाइएको छ । उक्त क्षेत्रमा यस समयमा कृषिजन्य अवशेषहरू जलाउने गरेको पाइन्छ । यहाँ प्रत्येक रातो थोप्लाले एउटा आगलागीको घटना जनाउने भए तापनि यसले उक्त घटना कति ठुलो हो वा यसबाट कति मात्रामा प्रदूषण उत्सर्जन भइरहेको छ भन्ने बताउँदैन । यस्ता आगलागीका घटनामा कार्बनमोनोक्साइड (CO) र नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2) जस्ता ग्यासहरू उत्सर्जन हुने हुँदा उक्त ग्यासहरू आगलागीबाट हुने प्रदूषणका महत्त्वपूर्ण सूचक हुन सक्दछन् ।



२०२३ मार्च महिनामा आगलागीका घटनाहरू

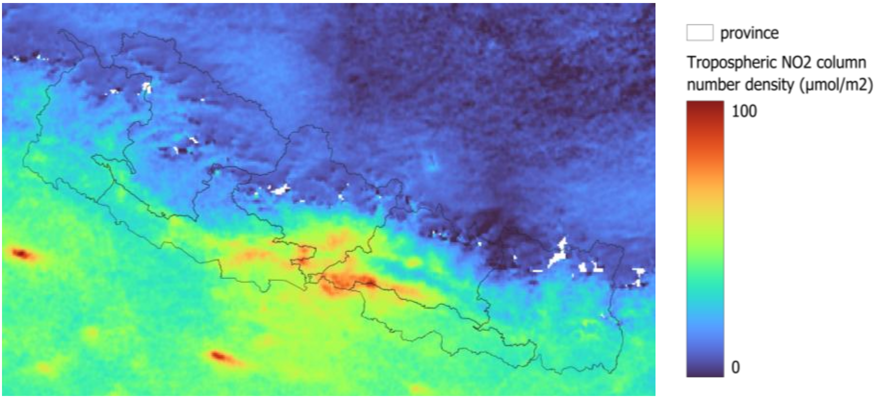


२०२३ अप्रिल महिनामा आगलागीका घटनाहरू

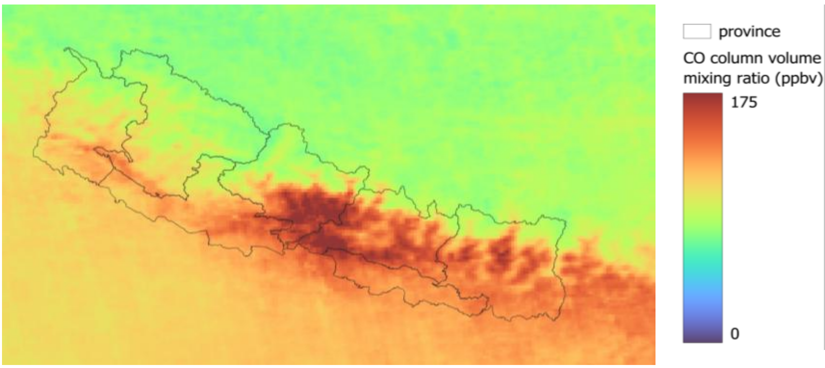


सन् २०२३ नोभेम्बरमा आगलागीका घटनाहरू

यहाँ वातावरण विभागको वार्षिक प्रतिवेदनबाट Sentinel भूउपग्रहबाट प्राप्त NO_2 र CO को तथ्याङ्क विश्लेषण गरी तयार गरिएको नक्सा राखिएको छ । तल दिइएको चित्रमा सन् २०२३ को अप्रिलमा नेपालको मध्य भागमा NO_2 को मात्रा बढी रहेको देखिन्छ भने CO को मात्रा देशको मध्य तथा पूर्वी भेगमा बढी रहेको छ । यसबाट हामी के निष्कर्षमा पुग्न सक्दछौं भने यस समयमा नेपालको मध्य तथा पूर्वी क्षेत्र वन डढेलोका कारण बढी प्रदुषित भएको रहेछ ।



चित्रः सन् २०२३ अप्रिलमा नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2) को सघनता



चित्रः सन् २०२३ अप्रिलमा कार्बनमोनोअक्साइड (CO) को सघनता

३.६ वायुप्रदूषण न्यूनीकरणका लागि नेपालमा विद्यमान नीतिगत एवम् कानुनी व्यवस्थाहरू

३.६.१ नेपालको संविधानमा भएको व्यवस्था

नेपालको संविधानले नागरिकको स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने हकलाई मौलिक हकको रूपमा स्थापित गरेको छ । नेपालको संविधानको धारा ३० मा स्वच्छ वातावरणको हकलाई यस प्रकार उल्लेख गरिएको छ ।

धारा ३०: स्वच्छ वातावरणको हक

(१) प्रत्येक नागरिकलाई स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने हक हुनेछ ।

(२) वातावरणीय प्रदूषण वा ह्रासबाट हुने क्षतिवापत पीडितलाई प्रदूषकबाट कानून बमोजिम क्षतिपूर्ति पाउने हक हुनेछ ।

(३) राष्ट्रको विकाससम्बन्धी कार्यमा वातावरण र विकासबिच समुचित सन्तुलनका लागि आवश्यक कानूनी व्यवस्था गर्न यस धाराले बाधा पुऱ्याएको मानिने छैन ।

३.६.२ राष्ट्रिय वातावरण नीति - २०७६

यस नीतिले प्रदूषण नियन्त्रण, फोहोरमैला व्यवस्थापन र हरियाली प्रवर्द्धन गरी नागरिकको स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने हकको सुनिश्चितता गर्ने लक्ष्य लिएको छ ।

यस नीतिका उद्देश्यहरू यस प्रकार रहेका छन्ः

१. जल, वायु, माटो, ध्वनि, विद्युत चुम्बकीय तरङ्ग, रासायनिक तथा रेडियोधर्मीलगायत सबै प्रकारका प्रदूषणको रोकथाम, नियन्त्रण तथा न्यूनीकरण गर्ने ।
२. घरेलु, औद्योगिक तथा सेवा क्षेत्रलगायत सबै स्रोतबाट सिर्जित फोहोरमैलाको व्यवस्थापन गर्ने ।
३. सहरी तथा नगर क्षेत्रमा उद्यान विकास तथा हरियाली विस्तार गर्ने ।
४. विकासका सबै आयामहरूमा वातावरणीय चासोलाई मूल प्रवाहीकरण गर्ने ।

५. प्रदूषण पीडितलाई वातावरणीय न्यायको सुनिश्चितता गर्ने ।
६. वातावरण संरक्षण तथा प्राकृतिक स्रोतको दिगो व्यवस्थापनमा जनसहभागिता जुटाउने ।
७. वर्तमान तथा भावी पुस्ता बिचमा न्यायोचित हुने गरी प्राकृतिक तथा मानव निर्मित स्रोतहरूको उपयोग गर्ने ।
८. वातावरण संरक्षण र व्यवस्थापनका लागि शोध, अनुसन्धान र क्षमता अभिवृद्धि गर्ने ।
९. जमिनको प्रयोग भू-उपयोग योजना बमोजिम गर्ने ।
१०. सम्भव भएसम्म उपलब्ध स्रोत साधनको पुन:प्रयोग र पुन:प्रशोधन गर्ने ।

३.६.३ वातावरण संरक्षण ऐन - २०७६ तथा वातावरण संरक्षण नियमावली - २०७७

वातावरण संरक्षण ऐन तथा नियमावलीले प्रदूषण नियन्त्रणलगायत समग्र वातावरण व्यवस्थापनका लागि विभिन्न व्यवस्थाहरू गरेको छ । उक्त ऐन र निवयमावलीले सङ्घीय सरकारका अतिरिक्त प्रदेश सरकार र स्थानीय सरकारलाई विभिन्न अधिकार र जिम्मेवारीहरू प्रदान गरेको छ । वातावरण संरक्षण ऐन २०७६ मा भएका केही प्रावधानहरू यसप्रकार रहेका छन्:

- कसैले पनि यस ऐनबमोजिम वातावरणीय अध्ययन प्रतिवेदन स्वीकृत नगराई कुनै पनि प्रस्ताव कार्यान्वयन गर्न वा गराउनु हुँदैन ।
- नेपाल सरकारले नेपाल राजपत्रमा सूचना प्रकाशन गरी कुनै सवारी साधन, यन्त्रउपकरण, औद्योगिक प्रतिष्ठान, होटेल, रेस्टुरेन्ट वा अन्य स्थान वा मालवस्तु वा कुनै क्रियाकलापबाट हुने प्रदूषण वा जोखिमपूर्ण पदार्थ निष्कासन वा उत्सर्जनबाट हुने असर न्यूनीकरण वा निराकरण गर्नका लागि आवश्यक मापदण्ड निर्धारण गर्न सक्नेछ ।
- मन्त्रालय वा प्रदेश मन्त्रालयले प्रदूषण नियन्त्रणमा उल्लेखनीय योगदान गर्ने उद्योगलाई तोकिएबमोजिम प्रदूषण नियन्त्रण प्रमाणपत्र उपलब्ध गराउन सक्नेछ ।
- ऐनले जरिवाना तथा क्षतिपूर्तिसम्बन्धी व्यवस्थाहरू समेत गरेको छ ।

वातावरण संरक्षण नियमावली- २०७७ मा भएका केही प्रावधानहरू यसप्रकार रहेका छन्ः

- नियमावलीले वातावरणीय अध्ययन गर्नुपर्ने आयोजना, त्यसको ढाँचा, वातावरणसम्बन्धी वार्षिक प्रतिवेदन विभिन्न प्रमाणपत्र, अनुमतिपत्र आदिको ढाँचालगायत समेटेर कुल २१ अनुसूचीहरूको व्यवस्था गरेको छ ।
- वातावरण अध्ययन प्रतिवेदन स्वीकृत भएको मितिले निश्चित समयमा प्रस्ताव कार्यान्वयन प्रारम्भ गर्नुपर्ने व्यवस्था गरेको छ ।
- प्रदूषण नियन्त्रणमा सघाउ पुऱ्याउने वैकल्पिक पदार्थ, इन्धन, औजार, यन्त्र वा उपकरणको प्रयोगका लागि आवश्यक व्यवस्था मिलाउन सक्ने व्यवस्था गरेको छ ।
- हिमाल वा उच्च पहाडी क्षेत्रमा हुने प्रदूषण हटाउनका लागि पर्वतीय वातावरण संरक्षकको रूपमा सेवा करारमा लिन पाउने व्यवस्था गरेको छ ।
- जोखिमपूर्ण पदार्थको निर्यात तथा व्यवस्थापनसम्बन्धी व्यवस्था गरेको छ ।
- तोकिएको वातावरण संरक्षण क्षेत्र, खुला वा हरियाली क्षेत्रमा निषेध गरिएका कार्यहरू समावेश गरिएको छ ।
- वातावरण संरक्षण कोष सञ्चालक समितिको व्यवस्था गरेको छ ।
- प्रस्तावकले प्रस्तावको निर्माण तथा सञ्चालन चरणबाट वातावरणमा परेको प्रभावको बारेमा स्वःअनुगमनसम्बन्धी प्रावधान समावेश गरेको छ ।
- वातावरण संरक्षण, प्रदूषण रोकथाम तथा नियन्त्रण र राष्ट्रिय सम्पदाको संरक्षणमा उल्लेखनीय योगदान पुऱ्याउने व्यक्ति वा संस्थालाई नगद पुरस्कार वा प्रशंसापत्र प्रदान गर्न सक्ने व्यवस्था गरेको छ ।

३.६.४ वातावरणीय मापदण्डहरू

नेपाल सरकारले विभिन्न वातावरणीय मापदण्डहरू जारी गरी लागू गरेको छ । उक्त मापदण्डहरूमध्ये वायुगुणस्तर तथा प्रदूषणसँग सम्बन्धित मापदण्डहरू निम्नानुसार रहेका छन्ः

नेपालका लागि वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड - २०६९ (National Ambient Air Quality Standard)

वायुगुणस्तरसम्बन्धी मापदण्डले जनस्वास्थ्यमा हानि नगरी घरबाहिरको हावामा हुन सक्ने प्रदूषकको निश्चित अवधिको औसतको अधिकतम मात्रा परिभाषित गर्दछ । यसरी यसले स्वच्छ हावालाई परिभाषित गर्दछ ।

नेपाल सरकारले वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड - २०६९ (National Ambient Air Quality standard, 2012) तोकेको छ । उक्त मापदण्ड यस प्रकार रहेको छः

तालिकाः वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड - २०६९

SN	Parameters	Units	Averaging time	Concentration max	Test Methods
1	Total suspended particulate (TSP)	µg m^{-3}	Annual		
			24-hr*	230	High volume sampling and Gravimetric analysis
2	PM_{10}	µg m^{-3}	Annual		
			24-hr*	120	High volume sampler and Gravimetric analysis, TOEM, Beta Attenuation
3	$PM_{2.5}$	µg m^{-3}	Annual		
			24-hr*	40	$PM_{2.5}$ Sampling gravimetric analysis
4	Ozone	µg m^{-3}	Annual		
			8-hr*	157	UV spectrometer
5	Sulfur Dioxide	µg m^{-3}	Annual**	50	Ultraviolet fluorescence, West and Geake Method
			24-hr*	70	
6	Nitrogen Dioxide	µg m^{-3}	Annual**	40	Chemiluminescence
			24-hr*	80	
7	Carbon monoxide	µg m^{-3}			
			8-hr*	10,000	Non- Dispersive Infra-Red spectrometer (NDIR)
8	Lead	µg m^{-3}	Annual**	0.5	High volume sampling followed by atomic

SN	Parameters	Units	Averaging time	Concentration max	Test Methods
					absorption spectrometry
9	Benzene	µg m-3	Annual**	5	Gas Chromatographic Technique

- *२४ घण्टे र ८ घण्टे मात्रा एक आर्थिक वर्षको कम्तीमा ९५% दिनहरूमा तोकिएको सीमाभित्र रहेको हुनुपर्नेछ । एक वर्षको ३६५ दिन मध्ये १८ दिनभन्दा बढी तोकिएको सीमा नाघ्नु हुँदैन भने वर्षको कुनै पनि समय लगातार दुई दिन तोकिएको सीमा नाघ्नु हुँदैन ।
- ** कुनै निश्चित ठाँउमा एक हप्तामा दुई पटक लगातार २४ घण्टासम्म र हप्तामा एकै समयको अन्तरमा लिइएका कम्तीमा १०४ ओटा तथ्याङ्कको वार्षिक औसतका आधारमा माथि उल्लेखित तथ्याङ्क लिइनेछ ।

अन्य मापदण्डहरू

- इँटा उद्योगबाट निष्काशन हुने धुवाँ र चिम्नीको उचाइसम्बन्धी मापदण्ड - २०७४
- इन्सिनिरेटर सञ्चालनबाट निष्काशन हुने धुवाँ तथा चिम्नीको उचाइसम्बन्धी मापदण्ड - २०७१
- सिमेन्ट र क्रसर उद्योगबाट निष्काशन भई हावामा जाने धुलोसम्बन्धी मापदण्ड - २०६९
- डिजेल जेनेरेटरबाट निष्कासन भई हावामा जाने धुवाँको लागि उत्सर्जन सीमा - २०६९
- औद्योगिक ब्वाइलरको सञ्चालनबाट निष्काशन हुने धुवाँ तथा चिम्नीको उचाइसम्बन्धी मापदण्ड - २०६९
- नेपाल सवारी प्रदूषण मापदण्ड - २०६९
- ग्यास तथा पेट्रोलद्वारा चल्ने सवारी साधनको प्रदूषणसम्बन्धी मापदण्ड - २०५४
- उद्योगहरूलाई खुला रूपमा फोहोर जलाउन प्रतिबन्ध लगाइएको राजपत्रको सूचना - २०७५

उक्त मापदण्ड तथा सूचनाहरू वन तथा वातावरण मन्त्रालय तथा वातावरण विभागको वेभसाइटबाट हेर्न तथा डाउनलोड गर्न सकिन्छ ।
https://www.mofe.gov.np/resources/gazettes-5812
https://doenv.gov.np/acts-rules/10/9561889

३.६.५ काठमाडौं उपत्यका वायुगुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना - २०७६

काठमाडौं उपत्यकामा वायुप्रदूषणको रोकथाम र नियन्त्रण गरी नागरिकको स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने अधिकार सुनिश्चत गर्ने लक्ष्यसहित नेपाल सरकारले *काठमाडौं उपत्यका वायुगुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना - २०७६* कार्यान्वयनमा ल्याएको छ । यस कार्ययोजनाले निम्नलिखित उद्देश्यहरू लिएको छः

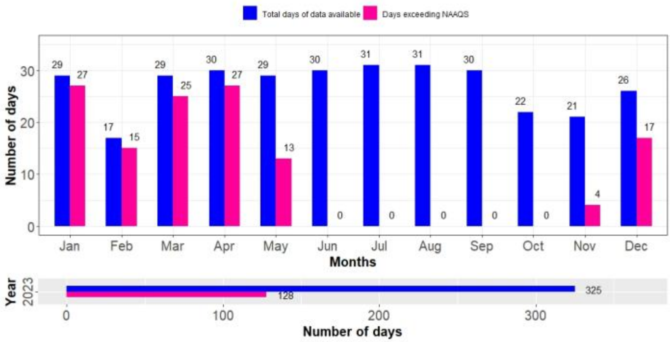
(१) यातायात क्षेत्र तथा निर्माण गतिविधिबाट हुने प्रदूषण न्यूनीकरण गर्नु
(२) उद्योग प्रतिष्ठानबाट हुने प्रदूषण न्यूनीकरण गर्नु
(३) वातावरणमैत्री तवरले फोहोरमैलाको व्यवस्थापन गरी वायुप्रदूषण न्यूनीकरण गर्नु
(४) घरभित्रको वायुप्रदूषण कम गर्नु
(५) वायुप्रदूषणको अवस्था, कारण र असर एवम् न्यूनीकरण र रोकथामका उपायका सम्बन्धमा जनचेतना जगाउनु
(६) वायुगुणस्तर व्यवस्थापन सहयोग प्रणालीको विकास गर्नु
(७) आपतकालीन अवस्थामा वायुप्रदूषणको व्यवस्थापन गर्नु
(८) वायुप्रदूषण नियन्त्रणका लागि नीतिगत, कानुनी तथा संस्थागत संरचनाको सुदृढीकरण गर्दै आर्थिक स्रोतको सुनिश्चतता गर्नु ।

३.६.६ अन्य

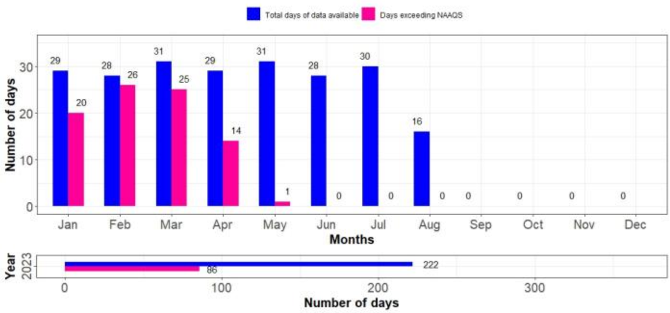
माथि उल्लेखित ऐनकानुनहरूका साथै अन्य ऐनकानुनहरूमा पनि वायुगुणस्तर तथा वायुप्रदूषण न्यूनीकरणका बारेमा उल्लेख गरिएको छ । यस्ता ऐनहरूमा स्वास्थ्य सेवा ऐन - २०७५, स्थानीय सरकार ऐन - २०७४, नेपालका विभिन्न नीति र योजनाहरू पर्यावरण संरक्षण ऐन - २०४९, उद्योग र श्रम ऐन - २०७२, जलवायु परिवर्तनसम्बन्धी नीति सवारी तथा यातायात व्यवस्था नियामावली - २०५४, सवारी तथा यातायात व्यवस्था ऐन - २०४९ आदि रहेका छन् ।

३.७ वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड परिपालनाको अवस्था

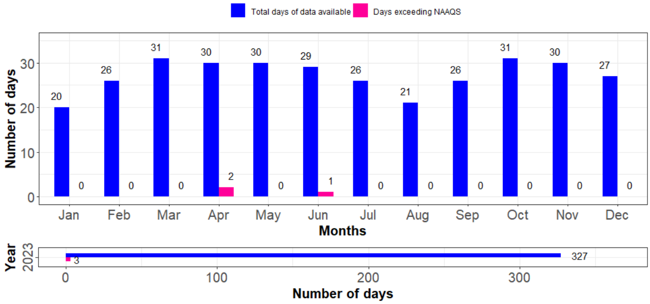
तल दिइएको चित्र विभागले सन् २०२३ का लागि प्रकाशन गरेको वायुगुणस्तरको स्थिति प्रतिवेदनबाट लिइएको हो (Lamichhane et al., 2024) । यसमा सन् २०२३ मा केही वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा $PM_{2.5}$ को मापदण्ड परिपालनाको स्थिति देखाइएको छ ।



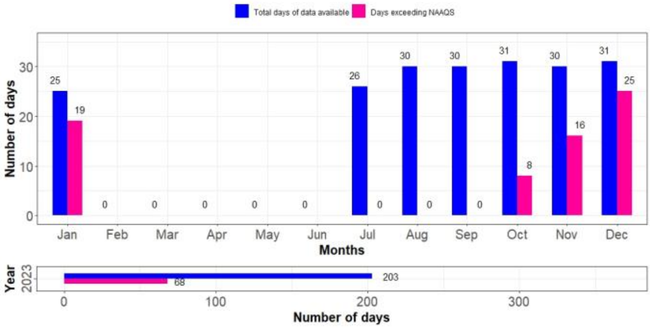
रत्नपार्क वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



धनकुटा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु



महेन्द्रनगर वायुगुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर

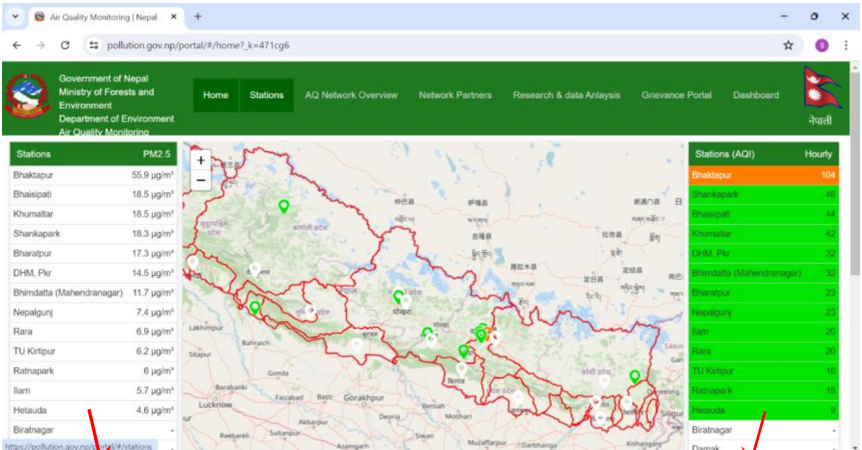
चित्र: सन् २०२३ मा विभिन्न वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा दैनिक औसत $PM_{2.5}$ को राष्ट्रिय मापदण्डसँग तुलना

माथिको चित्रबाट रत्नपार्क स्टेसनमा जम्मा ३२५ दिनको दैनिक औसतको तथ्याङ्क उपलब्ध भएकोमा १२८ (करिब ३९%) दिन $PM_{2.5}$ को मात्रा वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको छ । त्यसैगरी धनकुटा वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा २२२ दिनमध्ये ८६ (करिब ३९%) दिन, रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा ३२७ दिनमध्ये ३ (करिब १%) दिन र महेन्द्रनगर वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा २०३ दिनमध्ये ६८ (करिब ३३%) दिन राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको छ । माथि प्रस्तुत गरिएका चित्रअनुसार रारा वायुगुणस्तर मापन केन्द्रबाहेक अधिकांश वायुगुणस्तर मापन केन्द्रमा वर्षाको समयबाहेक अन्य महिनाका धेरै दिनमा वायुगुणस्तरको स्थिति राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको पाइएको छ ।

खण्ड चार

वायुप्रदूषणसम्बन्धी सूचना तथा जानकारीका स्रोतहरू

वायुप्रदूषणसम्बन्धी विभिन्न तथ्याङ्कहरू तथा जानकारीहरू विभिन्न स्रोतहरूबाट सजिलैसँग प्राप्त गर्न र हेर्न सकिन्छ । यहाँ यस्तै केही महत्त्वपूर्ण जानकारीका स्रोतहरूका बारेमा चर्चा गरिएको छ ।



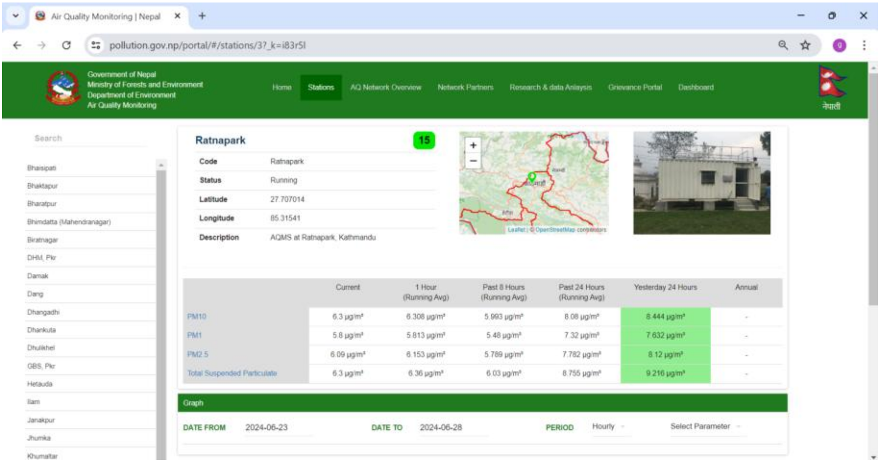
पछिल्लो मिनेटको विभिन्न पारामिटरको तथ्याङ्क पालैपालो देखिने

पछिल्लो घण्टा र दिनको AQI पालैपालो देखिने

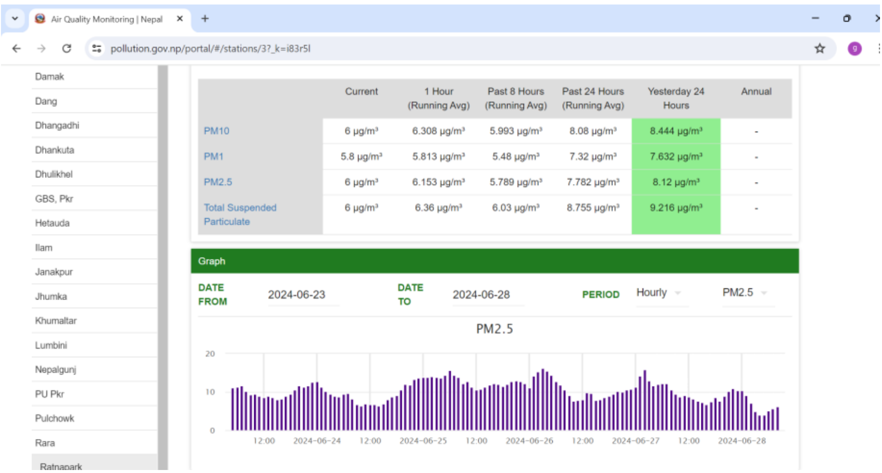
४.१ प्रदूषणसम्बन्धी वातावरण विभागको वेभसाइट

वातावरण विभागले देशका विभिन्न भागमा हाल ३० वटा वायुगुणस्तर मापन केन्द्रहरू स्थापना र सञ्चालन गरिरहेको छ । उक्त मापन केन्द्रबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरू विभागको वेभसाइट https://pollution.gov.np बाट हेर्न सकिन्छ ।

त्यसैगरी यसमा देखिएको कुनै पनि स्टेसनमा क्लिक गरेर उक्त स्टेसनबाट आएको तथ्याङ्क अझ विस्तृतमा प्राप्त गर्न सकिन्छ ।



यहाँ रहेको select parameter क्लिक गरी कुनै पारामिटर (जस्तैः $PM_{2.5}$, PM_{10}, TSP इत्यादि) को बितेको एक हप्तासम्मको तथ्याङ्क हेर्न सकिन्छ ।



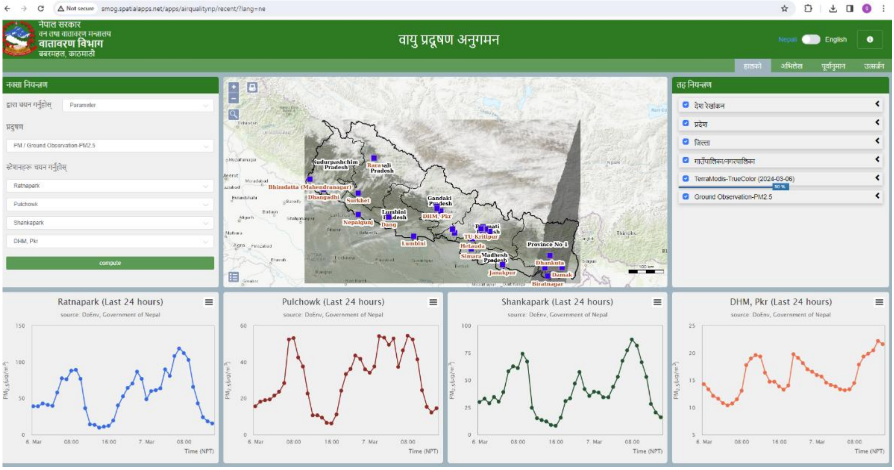
४.२ वातावरण विभागको वेभसाइट

वातावरण विभागको वेभसाइट https://doenv.gov.np/# बाट विभागका विभिन्न प्रकाशनहरू र वायुगुणस्तरसम्बन्धी तथ्याङ्कहरू प्राप्त गर्न सकिन्छ ।

वातावरण विभागले प्रत्येक वर्ष वायुगुणस्तरसम्बन्धी तथ्याङ्कहरू विश्लेषण गरी स्थिति प्रतिवेदन प्रकाशन गर्दछ । उक्त प्रतिवेदनहरू पनि विभागको वेभसाइट https://doenv.gov.np/progress/14/98676877 बाट पढ्न र डाउनलोड गर्न सकिन्छ । त्यसैगरी विभागका वायुगुणस्तर मापन केन्द्रहरूबाट प्राप्त दैनिक औसत तथ्याङ्कहरू समेत विभागको वेभसाइट https://doenv.gov.np/progress/6/28416357 बाट प्राप्त गर्न सकिन्छ । वातावरण विभागले गरेका विभिन्न अध्ययन प्रतिवेदन पनि विभागको वेभसाइट https://doenv.gov.np/sources/४/७५७१९८३४ बाट प्राप्त गर्न सकिन्छ । यसबाहेक विभागको वेभसाइटबाट वातावरणीय मापदण्डहरू, वातावरणसम्बन्धी ऐन, नियम, वातावरणसम्बन्धी प्रश्नोत्तर आदि प्राप्त गर्न सकिन्छ ।

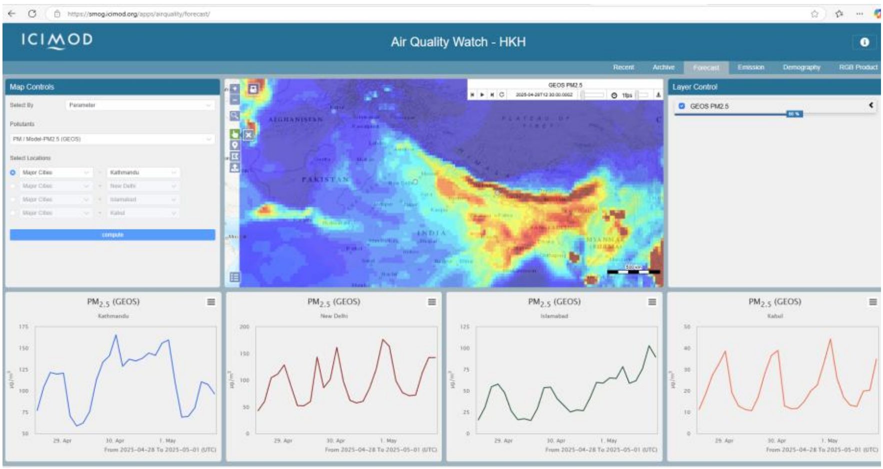
४.३ वायुप्रदूषण अनुगमन ड्यासबोर्ड

इसिमोडको सहयोगमा निर्माण गरिएको यस अनुगमन ड्यासबोर्डमा http://smog.spatialapps.net/apps/airqualitynp/recent/?lang=ne विभागका मापन केन्द्रबाट प्राप्त तथ्याङ्क हेर्न र डाउनलोड गर्न सकिन्छ । विभागको प्रदूषणसम्बन्धी वेभसाइट https://pollution.gov.np बाट पनि यो ड्यासबोर्ड खोल्न सकिन्छ । यस ड्यासबोर्डले धेरै स्रोतहरूबाट सार्वजनिक रूपमा उपलब्ध वायुगुणस्तरसम्बन्धी तथ्याङ्क तथा जानकारीहरू जस्तै- भूउपग्रहमा आधारित Remote Sensing तथ्याङ्कहरू (satellite based remote sensing observation), वायुगुणस्तर मोडेल डेटा (air quality model data) र उत्सर्जन लगतसम्बन्धी तथ्याङ्कहरू (emission inventory) एउटै डिजिटल प्लेटफर्ममा ल्याउँछ । यसमा रहेको अभिलेख ट्याब प्रयोग गरी कुनै निश्चित वायुगुणस्तर मापन केन्द्रबाट प्राप्त पछिल्लो एक हप्ताको तथ्याङ्कसमेत डाउनलोड गर्न सकिन्छ ।



४.४ Air quality watch – HKH

https://smog.icimod.org/apps/airquality/ इसिमोडले निर्माण गरेको यस प्लेटफर्मले प्रयोगकर्ताहरूलाई विभिन्न तथ्याङ्कका स्रोतबाट उपलब्ध प्रदूषण र प्रदूषकको उत्सर्जनको तथ्याङ्क एवम् जानकारीहरूको तुलना गरी परिस्थितिको विस्तृत आकलन गर्ने अवसर प्रदान गर्दछ । यस प्लेटफर्मबाट वायुगुणस्तरको पूर्वानुमानसम्बन्धी जानकारीसमेत प्राप्त गर्न सकिन्छ ।



४.५ NASA Worldview

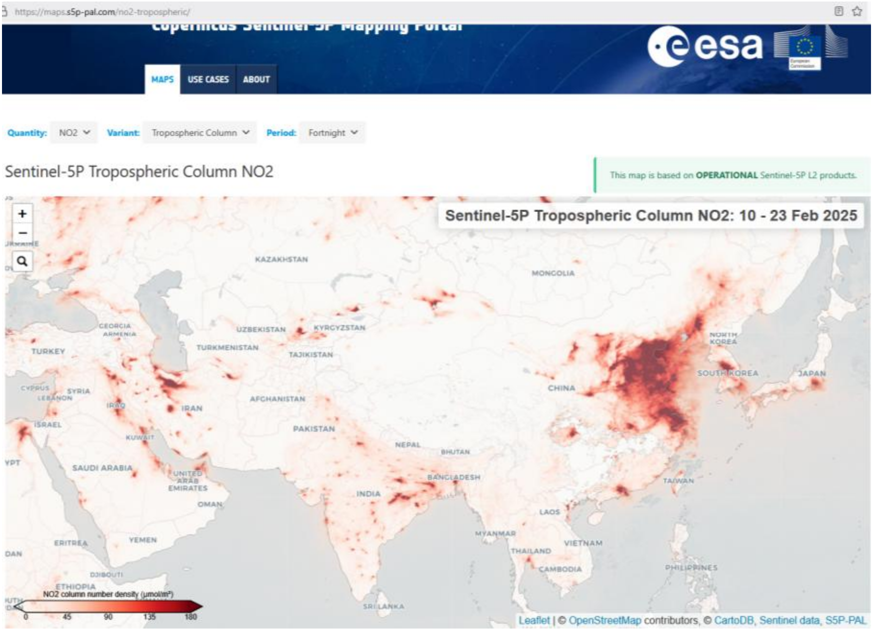
https://worldview.earthdata.nasa.gov/ नासाको Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) को application बाट विभिन्न भू-उपग्रहबाट प्राप्त तस्बिरहरू हेर्नका साथै तथ्याङ्कहरू डाउनलोड गर्न सकिन्छ । यहाँ दिइएको लिङ्कबाट सजिलैसँग खोजी गर्न सकिन्छ । उक्त भू-उपग्रहबाट प्राप्त तस्बिरहरू (True color image हरू) वायुप्रदूषण अनुगमनका लागि निकै महत्त्वपूर्ण हुन्छन् । उदाहरणका लागि वेभसाइटबाट १६ फेब्रुअरी, २०२३ मा नेपालको विभिन्न भाग र सँगैको भारतमा तुवाँलो फैलिएको तस्बिर तल प्रस्तुत गरिएको छ । बादल र हिउँ सेतो रङ्गको हुने र तुवाँलो केही खैरो हुने भएकाले यसलाई सजिलै छुट्ट्याउन सकिन्छ ।

४.६ FIRMS (Fire information for Resource Management System)

https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/ FIRMS को पोर्टलबाट मोडिस (MODIS) र भिर्स (VIIRS) भू-उपग्रहबाट प्राप्त तथ्याङ्कका आधारमा विभिन्न समयावधिमा भएका आगलागीका घटनासम्बन्धी जानकारी प्राप्त गर्न सकिन्छ ।

४.७ Copernicus Sentinel -5P Mapping Portal

https://maps.s5p-pal.com/ Copernicus Sentinel -5P म्यापिङ पोर्टलबाट Copernicus Sentinel-5P भू-उपग्रहबाट प्राप्त तथ्याङ्कको विश्वव्यापी नक्सा प्राप्त गर्न सकिन्छ ।



Copernicus Sentinel-5P भू-उपग्रहले नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2), कार्बनमनोक्साइड (CO), ओजन (O_3), सल्फरडाइअक्साइड (SO_2), मिथेन (CH_4) जस्ता ग्यासहरूको तथ्याङ्क सङ्कलन गर्दछ । यस पोर्टलबाट मासिक, ऋतुगत तथा वार्षिक औसतको नक्सासमेत हेर्न सकिन्छ ।

खण्ड पाँच

वायुप्रदूषण कम गर्न हातेमालो गर्न सकिने क्षेत्रहरू

हाम्रो आफ्नो व्यक्तिगत व्यवहारका कारण पनि वायुप्रदूषण भइरहेको हुन सक्दछ । वायुप्रदूषण न्यूनीकरणका लागि हामीहरू सबै सचेत हुन र सोहीअनुसार व्यवहार गर्न आवश्यक हुन्छ ।

५.१ वायुप्रदूषण कम गर्न अपनाउन सकिने उपायहरू

वायुप्रदूषण कम गर्न अपनाउन सकिने केही उपायहरू निम्नलिखित हुन सक्दछन्:

- वातावरणमैत्री यात्रा गर्नेः छोटो दुरीका लागि पैदल यात्रा गर्ने, पैदल सम्भव नभएको अवस्थामा साइकल अथवा सार्वजनिक यातायातका साधनहरू प्रयोग गर्ने । निजी सवारीको प्रयोग सकेसम्म कम गर्ने । यदि सवारी साधन खरिद गर्ने बारेमा सोच्दै हुनुहुन्छ भने विद्युतीय गाडीलाई प्राथमिकता दिन सकिन्छ । एउटा सार्वजनिक सवारी जस्तैः बसले एकै पटकमा धेरै जना यात्रुहरूलाई सुविधा दिएको हुन्छ, जसले गर्दा अन्य सवारी साधनको प्रयोग कम हुन सक्दछ र समग्रमा प्रतिव्यक्ति इन्धन खपत कम हुन गई प्रदूषण पनि कम हुन्छ । त्यसैगरी समथर स्थान र छोटो दुरीमा सकेसम्म साइकलको प्रयोग गर्दा पनि सवारी साधनबाट हुने प्रदूषण कम गर्न सकिन्छ ।
- वातावरणमैत्री विकास निर्माणलाई प्राथमिकता दिनेः बाटो बनाउँदा पर्याप्त पैदल यात्रुमैत्री फुटपाथको निर्माणलाई प्राथमिकतामा राख्ने । साइकल चलाउन मिल्ने स्थानहरूमा बाटो निर्माण गर्दा साइकल लेनको व्यवस्था गर्ने । अन्य विकास निर्माणका कार्यहरू गर्दा सकेसम्म धुलोधुवाँ नउड्ने गरी निर्माण गर्ने । विकास निर्माण गर्दा वातावरणीय अध्ययन प्रतिवेदनले दिएका नकारात्मक वातावरणीय प्रभाव न्यूनीकरणका उपायहरूलाई प्रभावकारी रूपमा कार्यान्वयन गर्ने लगायत व्यवस्थाहरू गर्ने ।
- विद्युतीय उपकरणहरूको प्रयोगलाई प्राथमिकता दिनेः उदाहरणका लागि हामी भान्छामा इन्डक्सन चुलो, विद्युतीय कुकर, विद्युतीय कित्लीलगायत उपकरण

प्रयोग गर्न सक्दछौं । यसैगरी घरको कोठा न्यानो राख्न विद्युतीय उपकरणहरू प्रयोग गर्ने ।

- घर तथा भान्छामा पर्याप्त भेन्टिलेसनको व्यवस्था गर्नेः हामीले थाहा पायौं कि घरभित्रको वायुप्रदूषणको समस्या कति गम्भीर छ भनेर । यदि हामीले खाना पकाउन दाउरा प्रयोग गर्दछौं भने सुधारिएको अथवा स्वच्छ इन्धनबाट चल्ने चुलो प्रयोग गरौं, जसले घरभित्र हुने वायुप्रदूषण धेरै मात्रामा कम गराउँदछ । त्यसैगरी भान्छामा प्रशस्त हावा खेल्न सक्ने गरी भेन्टिलेसनको व्यवस्था मिलाउने ।
- सवारी साधनको नियमित मर्मत सम्भार गर्नेः सवारीका साधनहरू वायुप्रदूषणका प्रमुख स्रोतहरू मध्ये एक हुन । सवारी साधनको लामो समयसम्म मर्मत सम्भार नगरी सञ्चालन गर्दा यसले बढी धुवाँ फाल्नुका साथै इन्धनको खपत पनि बढी गर्दछ । तसर्थ यदि तपाईंसँग सवारीका साधन छन् भने तिनीहरूको नियमित रूपमा मर्मत सम्भार गराउनुहोस् । यसले गर्दा इन्धनको पनि बचत हुन्छ, वातावरण पनि सफा हुन्छ ।
- फोहोरमैला नजलाउनेः हामीले जान अन्जानमा फोहोरमैला बालिरहेका हुन्छौं । यसले हामी आफ्नै स्वास्थ्यमा गम्भीर खतरा निम्त्याइरहेका हुन्छौं । फोहोरमैला बाल्दा वायुप्रदूषण हुन्छ, जसको पहिलो असर हामीमा नै पर्दछ । यसैगरी फोहोरमैला (विशेषगरी प्लास्टिकजन्य फोहोर) जलाउँदा डाइअक्सिन र फ्युरान जस्ता क्यान्सर गराउन सक्ने ग्यास पनि उत्सर्जन हुन सक्दछन् । यसैले फोहोरमैला जलाउनुको सट्टा वैकल्पिक ढङ्गले व्यवस्थापन गर्नुपर्दछ ।
- कृषिजन्य अवशेषहरू नजलाउनेः खेतबारीबाट निस्किने झारपात, घाँस, पराल, छवाली जस्ता वस्तुहरू जलाउँदा पनि वायुप्रदूषण हुन्छ । यस्ता वस्तुहरू जलाउनुको साटो तिनीहरूको वैकल्पिक प्रयोग र व्यवस्थापन गर्न सकिन्छ । यस्ता वस्तुहरू कुहाएर मल बनाई प्रयोग गर्न सकिन्छ ।
- वनजङ्गललाई सम्भावित डढेलोबाट जोगाउने र डढेलो नलगाउनेः वनजङ्गलमा लाग्ने अधिकांश डढेलो मानिसकै कारण हुन्छ । जानेर वा नजानेर मानिसले वनजङ्गलमा डढेलो लगाएका हुन्छन् । कहिलेकाहीं हाम्रो लापरबाहीका कारण पनि वनमा आगो लाग्न सक्दछ । उदाहरणका लागि चुरोट खाएर ठुटो

ननिभाई फ्याँक्दा, वनजङ्गलमा केही खानेकुरा पकाएर खाइसकेपछि आगो ननिभाउँदा पनि वनमा आगो लाग्न सक्दछ । यसबाट जोगाउन वनजङ्गलको वैज्ञानिक व्यवस्थापनलाई प्राथमिकतामा राखी सम्भावित डढेलोबाट जोगाउन सकिन्छ । तसर्थ यस्ता सानातिना कुरामा पनि सावधानी अपनाउन जरुरी छ । यसैगरी वनडढेलो नियन्त्रणका लागि निर्माण गरिएका अग्निरेखाहरू नियमित रूपमा सफा गरौं ।

- वायुप्रदूषण बढी भएको समयमा आफू र आफ्नो परिवारलाई प्रदूषणबाट बचाउन ध्यान दिऔं ।
- प्रदूषण बढी भएको समयमा घरबाहिर निस्किँदा मास्कको प्रयोग गरौं र अरूलाई पनि मास्क लगाउन सल्लाह सुझाब दिऔं । प्रदूषण अत्यधिक भएको समयमा सरकारको विभिन्न निकायहरूले विभिन्न सल्लाह सुझाव दिएका हुन्छन, त्यसको पालना गरौं ।
- उद्योग कलकारखाना निर्माण तथा सञ्चालन गर्दा स्वच्छ उर्जा र वातावरणमैत्री प्रविधिको प्रयोग गरौं ।

यसका साथै वायुप्रदूषण नियन्त्रण तथा वातावरण संरक्षणसम्बन्धी आफूलाई जानकारी भएको कुरा अरूलाई पनि सिकाउँदै जाने र कुनै पनि कार्य गर्दा आफू वातावरणप्रति सचेत हुने । आफ्नो कारणले वातावरणमा हुनसक्ने खतराबाट सचेत होऔं । वातावरण स्वच्छ राख्ने हामी सबैको जिम्मेवारी हो, तसर्थ वातावरण प्रदुषित गर्ने काम आफू पनि नगरौं र कसैले गरेको पाउनु भएमा नगर्न सुझाव दिऔं । यसो गर्न नमानेमा सम्बन्धित निकायमा खबर गरी वातावरणप्रति आफ्नो जिम्मेवारी पूरा गरौं । यससम्बन्धी थप जानकारीका लागि वन तथा वातावरण मन्त्रालय, वातावरण विभाग, बबरमहल काठमाडौं, फोन नम्बर ०१-५३२०४९७, ५३२०८३७, इमेल info@doenv.gov.np, वेभसाइट https://doenv.gov.np/ र https://pollution.gov.np/ मा सम्पर्क गर्न सकिनेछ ।

सन्दर्भ सामग्री सूची

नेपालको संविधान २०७२

राष्ट्रिय वातावरण नीति – २०७६

वातावरण संरक्षण ऐन- २०७६

वातावरण संरक्षण नियमावली– २०७७

नेपाल सरकारले वायुगुणस्तरसम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड - २०६९

काठमाडौं उपत्यका वायुगुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना– २०७६

स्वास्थ्य सेवा ऐन– २०७५

स्थानीय सरकार ऐन– २०७४

नेपालका विभिन्न नीति र योजनाहरू पर्यावरण संरक्षण ऐन– २०४९

उद्योग र श्रम ऐन- २०७२

जलवायु परिवर्तनसम्बन्धी नीति सवारी तथा यातायात व्यवस्था नियामावली - २०५४

सवारी तथा यातायात व्यवस्था ऐन– २०४९

Lamichhane, G.P., Maharjan, N. & Gyawali, D., (2024). *Status of Air Quality in Nepal: Annual Report, 2023*, Department of Environment, Kathmandu, Nepal.

NHRC, MoHP, IHME, & MEOR. (2021). Nepal Burden of Disease 2019: A Country Report based on the 2019 Global Burden of Disease Study. In *NHRC, MoHP, IHME, and MEOR*. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

World Bank. (2022). The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021. In *The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021*. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1816-5

वेभसाईटहरुः

https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health?utm_source=chatgpt.com
https://www.mofe.gov.np/resources/gazettes-5812
https://doenv.gov.np/acts-rules/10/9561889
https://pollution.gov.np
https://doenv.gov.np/#
https://doenv.gov.np/progress/14/98676877
https://doenv.gov.np/progress/6/28416357
https://doenv.gov.np/sources/75719834/4
http://smog.spatialapps.net/apps/airqualitynp/recent/?lang=ne
https://pollution.gov.np
https://smog.icimod.org/apps/airquality/
https://worldview.earthdata.nasa.gov/
https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/
https://maps.s5p-pal.com/

नेपाल सरकार

वन तथा वातावरण मन्त्रालय

वातावरण विभाग

बबरमहल, काठमाडौं
फोन नं.: ०१-५३२०८३७
इमेलः **info@doenv.gov.np**
वेबसाईटः **https://doenv.gov.np**