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

वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी (दोस्रो संस्करण)

वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी

नेपाल सरकार
कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग
बबरमहल, काठमाडौँ

वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी

नेपाल सरकार
कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग
बबरमहल, काठमाडौँ

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

सम्पादकः
कञ्चन कुमार नायक, सिनियर डिभिजनल केमिष्ट, वातावरण विभाग (दोस्रो संस्करण)
दीपक ज्ञवाली, पूर्व सिनियर डिभिजनल केमिष्ट, वातावरण विभाग (प्रथम संस्करण)

भाषा सम्पादक:
डा. मीरा प्रधान (प्रथम संस्करण)

आवरण तस्विरः
[१] सिन्धुपाल्चोक भैरवकुण्डमाथिको डाँडाबाट लिइएको हिमालको दृश्य
सौजन्य गोविन्द प्रसाद लामिछाने, वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग
[२] चन्द्रागिरी डाँडाबाट लिइएको काठमाडौं उपत्यकाको दृश्य
सौजन्य प्रकाश के.सी., वातावरण निरीक्षक, वातावरण विभाग

प्रकाशकः
नेपाल सरकार
कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग
बबरमहल, काठमाडौं
फोन नं.: ०१-५३२०८३७, इमेलः info@doenv.gov.np
वेबसाईटः https://doenv.gov.np

सर्वाधिकारः प्रकाशकमा

प्रथम संस्करणः ४०० प्रति
प्रकाशित मितिः जेठ, २०८२
दोस्रो संस्करणः अनलाईन संस्करण
प्रकाशित मितिः जेष्ठ, २०८३

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

नेपाल सरकार
कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय
वातावरण विभाग

पत्र संख्या :- ०८२/८३
चलानी नं.:-

मन्तव्य

वर्तमान समयमा वायु प्रदूषण विश्वव्यापी रूपमा गम्भीर वातावरणीय तथा जनस्वास्थ्य चुनौतीका रूपमा देखापरेको छ। नेपाल पनि यस समस्याबाट अछुतो रहन सकेको छैन। तीव्र सहरीकरण, औद्योगिकीकरण, सवारी साधनको बढ्दो प्रयोग तथा अन्य मानवीय गतिविधिका कारण वायु गुणस्तरमा ह्रास आइरहेको छ, जसले मानव स्वास्थ्य, पारिस्थितिक प्रणाली तथा जलवायुमाथि प्रतिकूल प्रभाव पारिरहेको छ।

वातावरण विभागले वायु प्रदूषणको नियन्त्रण, अनुगमन तथा व्यवस्थापनका क्षेत्रमा नीतिगत, प्राविधिक तथा वैज्ञानिक प्रयासहरू निरन्तर रूपमा अघि बढाउँदै आएको छ। यसै क्रममा प्रकाशित *"वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी"* पुस्तिकाले नेपालमा वायु प्रदूषणको अवस्था, स्रोत, प्रभाव तथा न्यूनीकरणका उपायहरूबारे संक्षिप्त र तथ्यपरक जानकारी प्रदान गरेको छ।

नेपालको संविधानले प्रत्येक नागरिकलाई स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने मौलिक हक सुनिश्चित गरेको छ। यस अधिकारको प्रभावकारी कार्यान्वयनका लागि सरकार, निजी क्षेत्र, शैक्षिक संस्था, नागरिक समाज तथा आम नागरिकको साझा प्रयास आवश्यक छ। वैज्ञानिक अनुसन्धान, तथ्याङ्कमा आधारित नीति निर्माण तथा जनचेतनाको अभिवृद्धि वायु प्रदूषण नियन्त्रणका महत्वपूर्ण आधार हुन्।

प्रस्तुत पुस्तिकाले वायु प्रदूषणसम्बन्धी ज्ञान अभिवृद्धि गर्न तथा वातावरण संरक्षणप्रति जिम्मेवार र सचेत समाज निर्माणमा योगदान पुऱ्याउने विश्वास लिएको छु। साथै, आगामी दिनहरूमा पनि यस्ता तथ्यमा आधारित प्रकाशनमार्फत वातावरणीय चेतना अभिवृद्धि गर्ने विभागको प्रतिबद्धता व्यक्त गर्दै पाठकवर्गबाट प्राप्त हुने सुझाव तथा प्रतिक्रियाको अपेक्षा गर्दछु।

....
ज्ञानराज सुवेदी
महानिर्देशक

"निजामती सेवाको सपना: समृद्ध नेपालको रचना"

कार्यालयको ठेगाना:	कार्यालयको फोन नं:	फ्याक्स नं.	ईमेल:	वेब साईट:
बबरमहल, काठमाडौं	०१-४२२०४९७/४२२०८३७		info@doenv.gov.np	www.doenv.gov.np

नेपाल सरकार

वन तथा वातावरण मन्त्रालय

वातावरण विभाग

पत्र संख्या :

चलानी नं. :

सन्देश (प्रथम संस्करण)

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.** ०१-४२२१७९७/४२२०८३७ | **फ्याक्स:** ०१-४२२१५५७ | **इमेल:** info@doenv.gov.np | **वेबसाईट:** www.pollution.gov.np

नेपाल सरकार

कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय

वातावरण विभाग

पत्र संख्या :- ०८२/८३

चलानी नं.:-

सन्देश (दोस्रो संस्करण)

वायु प्रदूषण वर्तमान समयको प्रमुख वातावरणीय तथा जनस्वास्थ्य चुनौतीका रूपमा विश्वभर देखा परेको छ । नेपाल पनि यस समस्याबाट अछुतो रहन सकेको छैन । तीव्र शहरीकरण, बढ्दो सवारी साधनको प्रयोग, औद्योगिक गतिविधि, निर्माण कार्य, सडकको धुलो, खुला फोहोर तथा कृषि अवशेष जलाउने कार्य लगायतका कारण वायु गुणस्तरमा निरन्तर ह्रास आइरहेको छ । विशेषगरी शहरी क्षेत्रहरूमा वायु प्रदूषणको स्तरले मानव स्वास्थ्य, वातावरणीय सन्तुलन तथा समग्र जीवनस्तरमा गम्भीर प्रभाव पारिरहेको छ । यसले श्वासप्रश्वास सम्बन्धी रोग, मुटु तथा रक्तनली सम्बन्धी समस्या लगायत विभिन्न दीर्घकालीन स्वास्थ्य जोखिमहरू बढाइरहेको छ । त्यसैले वायु प्रदूषणको विषयलाई वैज्ञानिक, प्राविधिक तथा सामाजिक दृष्टिकोणबाट बुझ्नु आजको आवश्यकता बनेको छ। तसर्थ वायु प्रदूषण सम्बन्धी सही जानकारी तथा वैज्ञानिक तथ्यहरू आम नागरिकसम्म पुऱ्याउन सकेमा मात्र यसको प्रभावकारी न्यूनीकरण सम्भव हुन्छ ।

यसै सन्दर्भमा वातावरण विभागद्वारा प्रकाशित"वायु प्रदूषण सम्बन्धी आधारभूत जानकारी"नामक यस पुस्तकले वायु प्रदूषणका आधारभूत पक्षहरूलाई सरल, व्यवस्थित तथा तथ्यपरक रूपमा प्रस्तुत गरेको छ । पुस्तकमा वायु प्रदूषणको परिचय, यसका प्रमुख स्रोतहरू, वायु प्रदूषण गर्ने विभिन्न प्रदूषक तत्वहरूको प्रकृति, यसले स्वास्थ्य तथा वातावरमा पार्ने प्रभाव, वायु गुणस्तर मापन प्रणाली तथा वायु प्रदूषण, नियन्त्रण तथा न्यूनीकरणका उपायहरू लगायतका विषयहरू समेटिएका छन् । साथै नेपालमा वायु गुणस्तर व्यवस्थापनका लागि भइरहेका प्रयास तथा नीतिगत व्यवस्थाहरूलाई समेत समावेश गरिएको छन् ।

मलाई विश्वास छ, यो पुस्तक विद्यार्थी, शिक्षक, अनुसन्धानकर्ता, वातावरण क्षेत्रमा कार्यरत प्राविधिक जनशक्ति, नीति निर्माता तथा सर्वसाधारण सबैका लागि उपयोगी सन्दर्भ सामग्री बन्नेछ । स्वच्छ वायु प्राप्त गर्नु प्रत्येक नागरिकको अधिकार मात्र नभई साझा जिम्मेवारी पनि हो । त्यसैले वातावरण संरक्षण तथा वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि सबै क्षेत्र र तहबाट सहकार्य, प्रतिबद्धता र व्यवहारिक प्रयास आवश्यक रहेको छ ।

यो पुस्तक तयार पार्न अहोरात्र खटिनु भएका विभागका वातावरण निरीक्षकहरु श्री गोविन्द प्रसाद लामिछाने, श्री नविना महर्जन र श्री प्रकाश के.सी. लाई विषेश धन्यवाद व्यक्त गर्न चाहान्छु । साथै यो पुस्तक तयार तथा प्रकाशन गर्ने कार्यमा प्रत्यक्ष तथा अप्रत्यक्ष रूपमा सहयोग पुऱ्याउनुहुने वातावरण विभागका अन्य कर्मचारीहरू, विज्ञ तथा सहयोगी संस्थाहरूप्रति हार्दिक धन्यवाद व्यक्त गर्दछु । उहाँहरूको ज्ञान, अनुभव, सुझाव तथा मेहनतले यो पुस्तकका संशोधित संस्करणलाई अझ प्रभावकारी र उपयोगी बनाउन महत्वपूर्ण योगदान पुऱ्याएको छ ।

अन्त्यमा, यस पुस्तकले वायु प्रदूषण सम्बन्धी जनचेतना अभिवृद्धि गर्न, वातावरण संरक्षणप्रति जिम्मेवार व्यवहार विकास गर्न तथा स्वच्छ, स्वस्थ र दिगो वातावरण निर्माणतर्फ सबैलाई प्रेरित गर्ने विश्वास लिएको छ ।

....

सरोज कुमार चौधरी

उप-महानिर्देशक

"निजामती सेवाको सपना: समृद्ध नेपालको रचना"

कार्यालयको ठेगाना:	कार्यालयको फोन नं:	फ्याक्स नं.	ईमेल:	वेब साईट:
बबरमहल, काठमाडौं	०१-४२२०४९७/४२२०८३७		info@doenv.gov.np	www.doenv.gov.np

कृतज्ञता

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

सर्वप्रथम, यस पुस्तक तयार गर्न प्रेरणा दिनुहुने वातावरण विभागका महानिर्देशक श्री ज्ञानराज सुवेदीज्यू तथा वातावरण विभागका पूर्व उपमहानिर्देशक श्री शैलेस कुमार झाज्यू र वातावरण विभागका उपमहानिर्देशक श्री सरोज कुमार चौधरीज्यू प्रति हामी आभारी छौं । यस पुस्तकको प्रथम संस्करणको सम्पादन गर्नुहुने वातावरण विभाग प्रदूषण नियन्त्रण तथा नियमन शाखाका पूर्व शाखा प्रमुख सि.डि.के. श्री दीपक ज्ञवालीज्यू र दोस्रो संस्करणको सम्पादन गर्नुहुने वातावरण विभाग प्रदूषण नियन्त्रण तथा नियमन शाखाका शाखा प्रमुख सि.डि.के. श्री कञ्चन कुमार नायकज्यू प्रति आभार व्यक्त गर्दछौं । यस पुस्तक समीक्षा तथा पुनरावलोकन गरी निरन्तर मार्गदर्शन गरिदिनुहुने त्रिभूवन विश्वविद्यालय, वातावरण विज्ञान केन्द्रिय विभागका प्राध्यापक डा. रमेश प्रसाद सापकोटाज्यू साथै त्रिभुवन विश्वविद्यालयका उप-प्राध्यापकद्वय श्री बिना घिमिरेज्यू र श्री टीका रेग्मीज्यू, वातावरण अभियन्ता श्री भुषण तुलाधरज्यू तथा ICIMOD का वायु प्रदूषण विश्लेषकद्वय श्री सागर अधिकारीज्यू र श्री खुश्बु शर्माज्यू प्रति हामी विशेष धन्यवाद ज्ञापन गर्न चाहन्छौं । उहाँहरूको विश्लेषणात्मक दृष्टिकोण र गहन क्षेत्रगत अनुभवले यस पुस्तकमार्फत सम्प्रेषण गर्न खोजिएको सन्देशलाई थप प्रभावकारी एवं सशक्त बनाउन महत्त्वपूर्ण सहयोग पुऱ्याएको छ ।

यस पुस्तकको प्रथम संस्करणमा भाषा सम्पादनका लागि महत्त्वपूर्ण योगदान पुऱ्याउनुभएकोमा डा. मीरा प्रधानज्यू प्रति हार्दिक धन्यवाद ज्ञापन गर्न चाहान्छौं । साथै, पुस्तक तयारीको विभिन्न चरणमा वातावरण विभागका वातावरण निरीक्षकहरू श्री सवित देशारज्यू, श्री आरती श्रेष्ठज्यू र श्री मनिषा घिमिरेज्यूले पुऱ्याउनुभएको सक्रिय सहयोगका लागि हामी आभार प्रकट गर्दछौं । त्यसैगरी, नेपालको वायु गुणस्तरका विविध पक्षहरूलाई बुझ्न सहयोग पुऱ्याउनुहुने सम्पूर्ण विज्ञहरू, अनुसन्धानकर्ताहरू तथा सरोकारवाला संघ-संस्थाहरूप्रति हामी हार्दिक कृतज्ञता व्यक्त गर्दछौं ।

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

धन्यवाद !

लेखक

विषय सूची

खण्ड एकः परिचय १

१.१ विषय प्रवेश १

१.२ वायु प्रदूषण २

१.२.१ वायु प्रदूषकका प्रकार ३

१.३ वायु गुणस्तर सूचकाङ्क (Air Quality Index, AQI) ८

१.४ वायु प्रदूषणका मापन विधिहरू (Measurement Techniques of air pollution) १०

१.४.१ भू-सतहमा आधारित मापन (Ground based measurement) ११

१.४.२ भू-उपग्रहमा आधारित मापन (Satellite based measurement) १३

१.५ वायु गुणस्तर मोडलहरू (Air Quality Models) १५

खण्ड दुईः वायु प्रदूषणका स्रोत १८

२.१ वायु प्रदूषणका स्रोतहरू १८

२.१.१ प्राकृतिक स्रोतहरू (Natural Sources) १८

२.१.२ मानव सिर्जित स्रोतहरू (Anthropogenic Sources) १८

२.२ वायु प्रदूषणका जोखिम तथा असरहरू २२

२.२.१ वायु प्रदूषणबाट बढी प्रभावित तथा उच्च जोखिममा पर्ने समुदायहरू २३

२.२.२ वायु प्रदूषण र जलवायु परिवर्तन २६

खण्ड तीनः नेपालमा वायु प्रदूषणको अवस्था र यसलाई प्रभाव पार्ने तत्त्वहरू ३०

३.१ परिचय (Itroduction) ३०

३.२ दिवा र रात्रि समयमा वायु प्रदूषणको अवस्था र कारणहरू ३३

३.२.१ $PM_{2.5}$ ३३

३.२.२ निम्ममण्डलिय ओजोन (Tropospheric Ozone-O_3) ३६

३.३ वायु प्रदूषणको वर्षभरिको दैनिक औसत अवस्था ३७

३.३.१ $PM_{2.5}$ ३७

३.३.२ निम्ममण्डलिय ओजोन (Tropospheric Ozone-O_3) ३९

३.४ मासिक वायु प्रदूषण अवस्था ३९

३.५ वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड परिपालनाको अवस्था............................ ४२
३.६ भू-उपग्रहबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरु.. ४४
३.७ देशव्यापी रुपमा $PM_{2.5}$ को बार्षिक औसत... ४७
३.८ वायु प्रदूषणमा प्रभाव पार्ने मुख्य कारक तत्त्वहरू... ४८
३.८.१.वायुमण्डलीय प्रतिलोम (Atmospheric inversion) ४८
३.८.२ हावाको बहाव ४८
३.८.३ वन डढेलो तथा कृषि जन्य अवशेषहरू जलाउने कार्य.............................. ४९
३.९ काठमाडौं उपत्यकामा वायु प्रदूषणको अवस्था ५२
३.१० तराई क्षेत्रमा किन वायु प्रदूषण उच्च रहेको छ ?...५५

खण्ड चारः वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका उपायहरू र रणनीतिहरु...............................५८
४.१ स्वच्छ तथा वैकल्पिक इन्धनको प्रवर्द्धन.. ५८
४.२ प्रदूषण नियन्त्रण प्रविधिहरू अवलम्बन गर्ने...५९
४.३ उत्पादन प्रकिया वा प्रविधिमा परिवर्तन.. ६२
४.४ फोहरमैलाको उचित व्यवस्थापन... ६३
४.५ बालीनालीको अवशेष (Residue) जलाउने कार्य नियन्त्रण गर्ने ६५
४.६ वनडढेलो नियन्त्रण...६८
४.७ दिगो यातायात प्रणाली..६९
४.८ निर्माण क्षेत्रबाट हुने वायु प्रदूषण नियन्त्रण ७२
४.९ व्यक्तिगत तहमा वायु प्रदूषण कम गर्न हातेमालो गर्न सकिने क्षेत्रहरू.................... ७३

खण्ड पाँचः वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका नीतिगत र कानुनी उपायहरू ७६
५.१ वायु प्रदूषणसम्बन्धी नीति तथा कानून...७६
५.२ वायु प्रदूषण सम्बन्धी मापदण्डहरु ८०
५.३ वायु गुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना.. ८४
५.४ अन्य नीति तथा कानुनहरू... ८५

खण्ड छः वायु प्रदूषण सम्बन्धी सूचना तथा जानकारीका स्रोतहरू **८६**

६.१ वायु प्रदूषण सम्बन्धी वातावरण विभागको वेभसाइट ८६

६.२ वातावरण विभागको वेभसाइट ८७

६.३ वायु प्रदूषण अनुगमन ड्यासबोर्ड ८८

६.४ Air quality watch – Hindu Kush Himalaya (HKH) ८९

६.५ NASA Worldview ८९

६.६ FIRMS (Fire information for Resource Management System) ९०

६.७ Copernicus Sentinel -5P Mapping Portal ९०

सन्दर्भ सामग्री सूची **९२**

शब्द र परिभाषा (Terms and Definition) **९४**

खण्ड एक

परिचय

१.१ विषय प्रवेश

पृथ्वीको वरिपरि रहेको वायुको 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

चित्र :पृथ्वीको वायुमण्डल

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

क. निम्न मण्डल (Troposphere)

पृथ्वीको सतहदेखि करिब १६ कि.मी. सम्मको उचाइमा फैलिएको वायुमण्डलको तहलाई निम्न मण्डल भनिन्छ । यस तहको प्रत्येक १६५ मिटर उचाइमा १° सेल्सियसका दरले तापक्रम घट्ने भएकाले यसलाई परिवर्तन मण्डल पनि भनिन्छ । वर्षा, असिना, तुसारो, शीत पर्ने, हुरीबतास चल्ने, र मेघ गर्जने जस्ता मौसमी गतिविधिहरू यसै मण्डलमा हुने गर्दछन् ।

ख. समताप मण्डल (Stratosphere)

पृथ्वीको सतहबाट करिब १६ देखि ५० कि.मी. सम्मको उचाइमा रहेको वायु मण्डलको तहलाई समताप वायुमण्डल भनिन्छ, जहाँ ओजोन तह रहेको हुन्छ । यस तहले पृथ्वीमा रहेको जीवनलाई सूर्यबाट आउने हानिकारक किरण (पराबैजनी किरण- (Ultraviolet Rays-UV rays) लाई पृथ्वीसम्म आउनबाट रोकी सम्पूर्ण जीवहरूको रक्षा गर्दछ । ओजोन तह भएकै कारणले यस तहलाई रक्षा मण्डल पनि भनिन्छ ।

ग. मध्य मण्डल (Mesosphere)

पृथ्वीको सतहबाट ५० देखि ८० कि.मी. सम्मको उचाइको तहलाई मध्य मण्डल भनिन्छ । यस तहमा उचाइ बढ्दै जाँदा तापक्रम घट्दै जाने तथा उल्काबाट निस्कने तातो ग्यासको रेखा देखिने गर्दछ । पृथ्वीमा प्रवेश गर्ने अधिकांश उल्का पिण्डहरू यहीं वायुमण्डलसँग घर्षण भएर जल्छन्।

घ. तापीय मण्डल (Thermosphere)

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

ङ. बाहिरी मण्डल (Exosphere)

यो तह पृथ्वीको सतहबाट ७२० कि.मी. देखि अन्तरिक्षसम्म फैलिएको हुन्छ । वायुमण्डलका यी पाँच तहहरूले पृथ्वीमा जीवनको अस्तित्व बचाउन र वातावरणीय सन्तुलन कायम राख्न महत्त्वपूर्ण योगदान पुऱ्याउँछन् ।

१.२ वायु प्रदूषण

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 पदार्थहरूलाई प्रदूषक भनिन्छ भने मानव स्वास्थ्य र वातावरणका लागि हानिकारक मानिने पदार्थहरू वायुमण्डलमा मिसिनु नै वायु प्रदूषण हो । वायु प्रदूषणका कारक प्राकृतिक र मानवीय दुवै हुन सक्दछन् । यद्यपि अधिकांश अवस्थामा मानवीय कारणले नै वायु प्रदूषित हुने गरेको छ ।

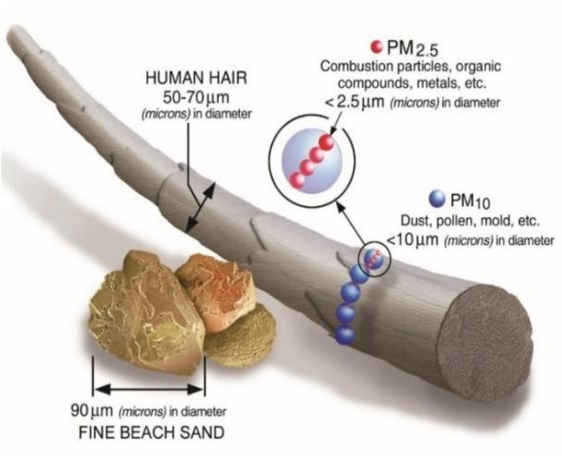
१.२.१ वायु प्रदूषकका प्रकार

कणजन्य पदार्थहरू (Particulate matter)

वायु प्रदूषणको मुख्य कारकको रूपमा कणजन्य पदार्थहरू रहेको पाइन्छ । कणजन्य पदार्थ (Particulate Matter-PM) ले हावामा रहेका ठोस कण र तरल पदार्थका निकै साना थोपाहरूलाई समेत जनाउँदछ । यस्ता कणहरू विभिन्न आकार, प्रकार र रासायनिक संरचनाका हुने गर्दछन् । कुनै कणहरू हामी नाङ्गो आँखाले देख्न सक्दछौं भने कुनै कणहरू यति साना हुन्छन् कि जसलाई नाङ्गो आँखाले समेत 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 रौंको मोटाइ ५० देखि ७० माइक्रोनको हुन्छ । सँगैको चित्रबाट यी कणहरू कति सूक्ष्म हुन्छन् भन्ने कुरा बुझ्न सकिन्छ । निकै सूक्ष्म हुने भएकाले यिनीहरू श्वासप्रश्वासको माध्यमबाट सजिलैसँग हाम्रो फोक्सोसम्म पुग्न सक्दछ । $PM_{2.5}$ अन्तर्गत पर्ने कणहरुमध्ये निकै सुक्ष्म कणहरू फोक्साबाट रक्तसंचार प्रणालीमा प्रवेश गरी शरीरका विभिन्न अङ्गहरूसम्म पुग्न सक्दछन् ।



चित्र : कणजन्य पदार्थहरूको आकारको तुलना
(स्रोतः US EPA)

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 बुझिन्छ ।

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 बुझाउँछ । PM_{10} को परिभाषा 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 । यी कणहरु निकै साना हुने भएकाले श्वासप्रश्वास प्रणालीमा सजिलै प्रवेश गरी श्वासप्रश्वाससम्बन्धी समस्या निम्त्याउँछन् । यद्यपि PM_{10} भित्र पर्ने सबै कणहरू $PM_{2.5}$ जस्ता अझ साना कणहरूको तुलनामा फोक्साको गहिराइसम्म भने पुग्न सक्दैनन ।

Total suspended Particulate (TSP)

TSP ले हावामा तैरिएर रहेका सबै कणजन्य पदार्थलाई (धुलोका कण, धुवाँ, परागकण, अन्य सूक्ष्म कणहरू आदि) बुझाउँदछ । यसमा १० माइक्रोन वा सोभन्दा साना र १० माइक्रोनभन्दा ठुला आकारका कणहरू हुने भएकाले यसको मात्रा PM_{10} भन्दा बढी हुने गर्दछ । यस्ता कणहरू विविध स्रोतबाट उत्सर्जन हुने गर्दछन्। सवारी साधन र घरायसी इन्धनबाट निस्कने धुवाँ, निर्माण कार्य, औद्योगिक प्रक्रिया तथा कलकारखानामा इन्धनको दहन यसका प्रमुख स्रोतहरू हुन्। यसका साथै, हावाहुरी, वन डढेलो, कृषिजन्य अवशेष र फोहोर जलाउँदा पनि ठूलो मात्रामा यस्ता कणहरू वायुमण्डलमा थपिन्छन्। कणजन्य पदार्थहरू उत्सर्जनका स्रोतहरूबाट हावामा प्रत्यक्ष रूपमा आउन सक्दछन् अथवा वायुमण्डलमा हुने विभिन्न रासायनिक प्रतिक्रियाबाट पनि बन्न सक्दछन् ।

ओजोन (O_3)

ओजोनको 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 ओजोन दुवै अक्सिजनका परमाणुबाट बने तापनि यिनीहरूको रासायनिक गुण फरक हुन्छ । हाम्रो वायुमण्डलमा हुने ओजोनमध्ये अधिकांश वायुमण्डलको समतापमण्डल (Stratosphere) तहमा रहेको हुन्छ । समतापमण्डलमा पाइने हुनाले यहाँ पाइने ओजोनलाई समतापमण्डलीय (Stratospheric) ओजोन पनि भनिन्छ । वास्तवमा पृथ्वीको वायुमण्डलमा पाइने ओजोनमध्ये करिब ९० प्रतिशत ओजोन पृथ्वीको सतहबाट १५ देखि ३० किलोमिटरभन्दा माथिको तहमा पाइन्छ । वायुमण्डलको यो तहलाई ओजोन तह पनि भनिन्छ । ओजोन 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 ओजोन तह मानिस तथा समग्र पारिस्थितिक प्रणालीका लागि निकै महत्त्वपूर्ण रहेको छ ।

यसबाहेक पृथ्वीको सतहनजिक पनि केही मात्रामा ओजोन रहेको हुन्छ जसलाई Ground level ओजोन भनिन्छ ।पृथ्वीको तल्लो तहमा पाइने ओजोनलाई निम्नमण्डलीय (Tropospheric) ओजोन पनि भनिन्छ । यहाँ पाइने ओजोन कुनै पनि स्रोतबाट सिधै उत्सर्जन नभई वायुमण्डलमा रहेका नाइट्रोजनका अक्साइडहरू र भोलाटाइल अर्गानिक कम्पाउन्ड (Volatile Organic Compound-VOC) भनिने समूहका रसायनहरू बीच सूर्यको किरणको उपस्थितिमा रासायनिक प्रतिक्रियाबाट बन्दछ। जसका मुख्य स्रोतहरू डिजेल तथा पेट्रोलबाट सञ्चालित सवारीका साधन, औद्योगिक ब्वाइलर, पावर प्लान्ट आदिमा बालिने इन्धन, केमिकल प्लान्टहरू आदि हुन् । जमिनको नजिकै हुने ओजोनले मानिसको स्वास्थ, वनस्पति तथा समग्र वातावरणलाई नै हानि पुऱ्याउने भएकाले यहाँ हुने ओजोनलाई खराब ओजोन (Bad ozone) भनिन्छ भने ओजोन तहमा हुने ओजोनलाई असल ओजोन भनिन्छ ।

कार्बन मोनोअक्साइड (CO)

कार्बन मोनोअक्साइड एक रङ्गहीन, स्वादहीन र गन्धहीन ग्यास हो, जुन कुनै पनि वस्तु दहन गर्ने वा हुने क्रममा पर्याप्त अक्सिजनको अभावका कारण इन्धन पूर्ण रूपमा नबल्दा उत्पन्न हुन्छ ।

पूर्ण दहनः $C + O_2 \rightarrow CO_2$ (कार्बन डाइअक्साइड)

अपूर्ण दहनः $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ (कार्बन मोनोअक्साइड)

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 । कावर्न मोनोअक्साइडले रगतको अक्सिजन प्रवाह गर्ने क्षमता कम गरिदिन्छ जसले गर्दा महत्त्वपूर्ण अङ्गमा अक्सिजनको अभाव भई मानिसको मृत्यु हुन सक्दछ । घरबाहिरको वातावरणमा 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 दहन गर्दा निस्किने ग्यास हो । विशेषगरी यो ग्यास सल्फरयुक्त कोइला बाल्दा निस्किन्छ । ईंटा उद्योग र सिमेन्ट उद्योगमा धेरै कोइला प्रयोग हुने गर्दछ । त्यसैले यस प्रकारका उद्योगहरू सल्फर डाइअक्साइडका मुख्य स्रोतहरू हुन् । सल्फर डाइअक्साइडले अम्लीय वर्षा (acid rain) 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, रङ 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 ।

तुवाँलो के हो ?

वायुमण्डलमा धुलोका कण, धुवाँ र अन्य सूक्ष्म प्रदूषकहरू मिसिएर आकाश धमिलो देखिने र टाढाका वस्तुहरू स्पष्ट नदेखिने अवस्थालाई तुवाँलो भनिन्छ। 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

बेलाबेलामा हामीले तुवाँलोको कारण आकाश धुम्म परेको देखिरहेका छौं । तुवाँलो लागेको बेला दृश्यता (visibility) कम हुने भएकाले हामी टाढासम्म देख्न सक्दैनौं । यसैगरी तुवाँलोको कारण दृश्यता (visibility) कम हुने भएकाले जहाजहरू उड्न र अवतरण गर्न समस्या हुन्छ । कहिलेकाहीं त अत्यधिक तुवाँलोका कारण उडानहरू नै रद्द गर्नुपर्ने अवस्था पनि आउँछ । त्यस्तै तुवाँलोले प्रत्यक्ष असर पार्ने अर्को क्षेत्र पर्यटन पनि हो । पर्यटकहरू दृश्यावलोकनका लागि विभिन्न ठाँउमा पुगिरहेका हुन्छन् । तुवाँलोका कारण टाढासम्म देख्न नसकिने भएर यस्तो बेलामा पर्यटकहरूको आगमनमा कमी आउँछ । यसले समग्र पर्यटन तथा अर्थतन्त्रमा नै असर पार्दछ ।

यसका अतिरिक्त नाइट्रेट तथा सल्फेट जस्ता कणहरूले अम्लीय वर्षा (acid rain) गराउने भएकाले तालतलैया, नदी तथा खोलानालाहरूमा आश्रित माछा लगायतका जलचरहरू तथा माटोको उर्वराशक्तिमा नकारात्मक असर पर्दछ भने ऐतिहासिक भवन तथा स्मारकहरूमा क्षयीकरण हुने तथा घरको रङसमेत चाँडै खुइलिने हुन्छ ।

तस्विरः कोशीको चतराबाट देखिएको तुवाँलो

तस्विरः बोसन दक्षिणकालीबाट काठमाडौं उपत्यकामा देखिएको तुवाँलो

१.३ वायु गुणस्तर सूचकाङ्क (Air Quality Index, AQI)

वायु गुणस्तर सूचकाङ्क (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 । वायु गुणस्तर सूचकाङ्कमा सङ्ख्या, रङ, सङ्केत र AQI लाई व्याख्या गर्ने शब्दहरू पनि रहेका हुन्छन् । सामान्यतया AQI मा ० देखि ५०० सम्मका सङ्ख्या प्रयोग गरिएका हुन्छन् । AQI नम्बर बढी हुँदा प्रदूषणको तह र यसले मानव स्वास्थमा पार्ने प्रभाव पनि त्यति नै बढी हुन्छ । नेपाल सरकारले $PM_{2.5}$, PM_{10} र ओजोनमा 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 ओजोन $PM_{2.5}$ 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 वटा श्रेणीमा 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 ($\mu g\ m^{-3}$) र वार्षिक औसतको मापदण्ड २५ 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 छ।

वायु गुणस्तर सूचकाङ्क (AQI) को मान	रङ	स्वास्थ्य चासोको तह
० देखि ५०	हरियो	राम्रो
५१ देखि १००	पहेंलो	मध्यम
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 सकिन्छ:

- राम्रो (AQI ० देखि ५० सम्म) — यस तहमा वायु गुणस्तर राम्रो मानिन्छ । यसमा वायु प्रदूषणको जोखिम निकै कम हुन्छ ।
- मध्यम (AQI ५१ देखि १०० सम्म)— यस तहमा वायु गुणस्तर 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 ।

AQI गणना विधि

नेपालमा हाल प्रयोग हुने AQI गणना प्रणालीमा $PM_{2.5}$, PM_{10} र ओजोन (O_3) का आधारमा सूचकांक निर्धारण गरिन्छ। सर्वप्रथम, यी प्रत्येक प्रदूषकका लागि छुट्टाछुट्टै AQI गणना गरिन्छ। त्यसपछि प्राप्त भएका AQI मानहरूमध्ये सबैभन्दा ठूलो मानलाई नै समग्र AQI मानिन्छ। प्रत्येक प्रदूषकका लागि AQI गणनाका लागि तत्कालिन वन तथा वातावरण मन्त्रालय मार्फत नेपाल सरकार (मन्त्रिस्तर) को मिति २०७५/०४/२९ को निर्णयानुसार ब्रेकप्वाइन्टहरू यस प्रकार निर्धारण गरिएको छः

AQI	Ozone(ppb)	$PM_{2.5}$ (µg m^{-3})	PM_{10} (µg m^{-3})
०–५०	०–४०	०–२०	०–६०
५१–१००	४१–७५	२०–४०	६१–१२०
१०१–१५०	७६–८५	४१–६०	१२१–२५४
१५१–२००	८६–१०५	६१–१६०	२५५–३५४
२०१–३००	१०६–२००	१६१–२६०	३५५–४२४
३०१–४००	२००–४००	२६१–३६०	४२५–५०४
४०१–५००	>४००	>३६०	>५०५

१.४ वायु प्रदूषणका मापनविधिहरू (Measurement Techniques of air pollution)

वायु प्रदूषण सम्बन्धी 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 वायु प्रदूषण, घरबाहिरको वायु

प्रदूषण मापन गर्न फरक फरक विधि र उपकरणहरू प्रयोग गरिन्छ । यहाँ विशेषगरी घरबाहिरको वायु प्रदूषण मापन गर्ने विधिहरूको बारेमा सङ्क्षिप्त चर्चा गरिएको छ ।

१.४.१ भू-सतहमा आधारित मापन (Ground based measurement)

यस मापन विधिमा कुनै स्थानमा राखिएका उपकरणहरूको सहायताले वायु गुणस्तर मापन गरिन्छ । यसका लागि सो स्थानको वायुको नमूना सङ्कलन गरी प्रयोगशालामा विश्लेषण गरिन्छ, जसबाट वायु गुणस्तरको मापन र मूल्याङ्कन सम्भव हुन्छ । उदाहरणका लागि, High Volume Sampler नामक उपकरणको सहायताले कुनै स्थानमा निश्चित समयावधिका लागि हावामा रहेका कणजन्य पदार्थहरू (Particulate Matter) फिल्टरमा जम्मा गरिन्छ । त्यसपछि उक्त फिल्टरलाई प्रयोगशालामा जोखेर प्रदूषणको स्तर सम्बन्धी तथ्याङ्क प्राप्त गरिन्छ । यस विधिबाट प्रदूषणको अवस्थाको मूल्याङ्कन मात्र नभई फिल्टरमा जम्मा भएका कणजन्य पदार्थहरूको रासायनिक विश्लेषण गरी तिनको भौतिक र रासायनिक गुणहरू पनि पत्ता लगाउन सकिन्छ ।

यस बाहेक, हाल वास्तविक समय (Real time) मा नै वायु प्रदूषणको तथ्याङ्क प्रदान गर्ने आधुनिक उपकरणहरूको प्रयोगबाट पनि तथ्याङ्क सङ्कलन गरिन्छ । यस्ता उपकरणबाट प्राप्त तथ्याङ्कको विश्लेषणका लागि प्रयोगशालामा अलग प्रक्रिया आवश्यक पर्दैन जसका कारण अत्यन्त छोटो समय अन्तरालका तथ्याङ्कहरू पनि सजिलै प्राप्त गर्न सकिन्छ । उदाहरणका लागि, यस्ता उपकरणबाट प्रत्येक मिनेटको तथ्याङ्क समेत उपलब्ध हुन्छ ।

यहाँ चर्चा गरिएको विधिहरुको तुलना निम्नानुसार गर्न सकिन्छ ।

विधि	फाइदा	सीमितता
नमूना सङ्कलन तथा प्रयोगशाला विश्लेषण विधि	• प्रदूषणको अवस्थाको विस्तृत मूल्याङ्कन सम्भव • कणजन्य पदार्थको रासायनिक संरचना र गुणहरू पत्ता लगाउन सकिने • दीर्घकालीन औसत प्रदूषण स्तर मूल्याङ्कनमा उपयुक्त	• वास्तविक समयको जानकारी उपलब्ध नहुने • परिणाम पाउन समय लाग्ने • नमूना सङ्कलन र विश्लेषणमा जनशक्ति, उपकरण र प्रयोगशाला आवश्यक

विधि	फाइदा	सीमितता
वास्तविक समय (Real-time) मापन विधि	• तत्काल प्रदूषणको अवस्था पत्ता लगाउन सकिने • अत्यन्त छोटो समय अन्तराल (जस्तै प्रति मिनेट) को तथ्याङ्क उपलब्ध • तीव्र प्रदूषण परिवर्तनको निगरानीमा उपयोगी	• उपकरणको खरिद र मर्मत महँगो हुन सक्ने • कणजन्य पदार्थको रासायनिक संरचना पत्ता लगाउन उपयुक्त नहुने • उपकरणको नियमित क्यालिब्रेशन (calibration) आवश्यक

वायु गुणस्तरको निरन्तर मापनको लागि वायु गुणस्तर मापन केन्द्रहरु स्थापना र संचालन गरिएको हुन्छ।सरकारले तोकेको मापदण्डहरु पालनको अवस्था कस्तो भन्ने कुराको मूल्याङ्कनका लागि यस्ता मापन केन्द्रहरुको तथ्याङ्क महत्वपूर्ण हुन्छन । यसै गरी आम नागरिकलाई कुनै स्थानका वायु गुणस्तरको सूचना प्रदान गरी प्रदूषण उच्च भएको समयमा सावधानीका उपाय अपनाउनका लागि महत्वपूर्ण जानकारी तथा सूचनाहरु उपलब्ध गराउँछन् । यसका अतिरिक्त मापन केन्द्रहरुबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरु सरकारलाई वायु गुणस्तर व्यवस्थापन सम्बन्धी नीति तथा कार्यक्रमहरु तर्जुमा गर्नका लागि महत्वपूर्ण आधारहरु पनि हुन । वायु गुणस्तर मापन केन्द्रहरु स्थापना तथा संचालनको लागि धेरै स्रोत साधनहरु आवश्यक पर्ने भएकोले मुख्तया कम विकसित देशहरुमा यस्ता मापन केन्द्रहरु सीमित सङ्ख्यामा मात्र हुन्छन्। जसका कारण सबै स्थानको प्रतिनिधित्व हुने गरी तथ्याङ्क प्राप्त गर्नु ठुलो चुनौतीको रुपमा रहेको छ ।

तस्विरः वातावरण विभागमा रहेको Mercury Deposition Sampler

तस्विरः वातावरण विभागमा रहेको High Volume Sampler

तस्विरः वातावरण विभागद्वारा स्थापना गरिएको वायु गुणस्तर मापन केन्द्र

१.४.२ भू-उपग्रहमा आधारित मापन (Satellite based measurement)

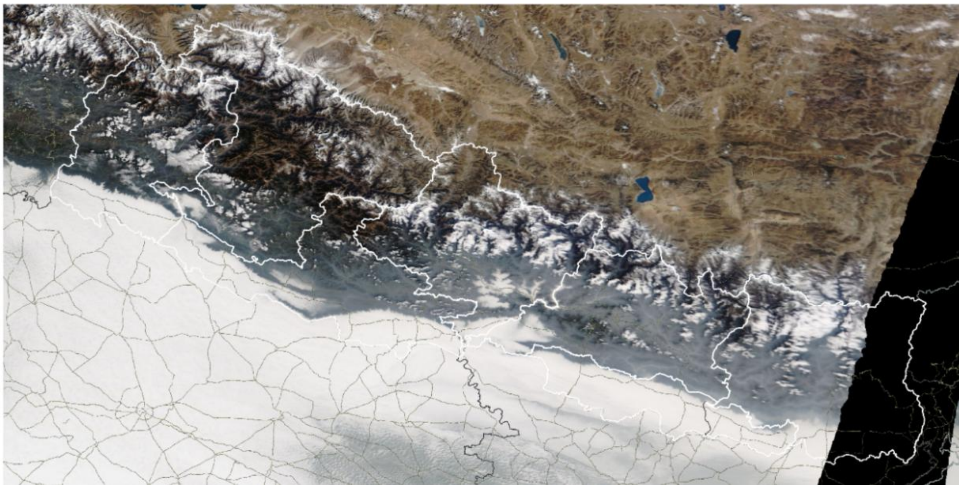
विभिन्न भू-उपग्रहहरुको माध्यमबाट वायु प्रदूषणको स्तर मापन गर्नका लागि तथ्याङ्क सङ्कलन गरिन्छ जसले ठूलो क्षेत्रमा प्रदूषणको स्तरको विश्लेषण गर्न मद्दत गर्छ । हाल भू-उपग्रहबाट धेरै किसिमको तथ्याङ्कहरु निशुल्क रुपमा प्राप्त हुने भएकोले वायु प्रदूषणको अनुगमन कार्यलाई यस्ता तथ्याङ्कहरुले निकै नै सहयोग गरेका छन् । विशेषत हाम्रो जस्तो कम विकसित देशमा यस्ता तथ्याङ्कहरु निकै महत्वपूर्ण सावित भएका छन् । विशेष गरी अमेरिकी अन्तरिक्ष अनुसन्धान संगठन (National Aeronautics and Space Administration-NASA) तथा युरोपियन युनियनको कपर्निकस (Copernicus) को भू-उपग्रहरुबाट धेरै किसिमको तथ्याङ्कहरु प्राप्त गर्न सकिन्छ । यद्यपी यसका पनि धेरै सिमितता भने छन् । यस कारण यस्ता तथ्याङ्कहरुको प्रयोग गर्दा पर्याप्त सावधानी अपनाउनु पर्दछ । भू-उपग्रहमा आधारित मापनका केही सिमितताहरुलाई निम्नानुसार उल्लेख गर्न सकिन्छ ।

- धेरै जसो भू-उपग्रहहरुले कुनै स्थानमा दिनको एक वा दूई पटकमात्र अवलोकन गर्दछन् । जसका कारण भू-उपग्रहरुले अवलोकन गरेको समयको मात्र तथ्याङ्क प्राप्त गर्न सकिन्छ । उदाहरणका लागि कुनै एउटा भू-उपग्रहले कुनै स्थानमा हरेक दिन बिहान १०:३० बजे

आइपुग्छ भने हामीलाई त्यति बेलाको मात्र तथ्याङ्क प्राप्त हुन्छ । दिनभरी अरु समयमा के भयो हामीले थाहा पाउन सक्दैनौ ।

- बादल लागेको बेला, कुहिरो र हुस्सुले भू-उपग्रहहरुले दिने तथ्याङ्कलाई प्रभावित गर्ने भएकोले यस्तो बेला गुणस्तरिय तथ्याङ्क उपलब्ध हुन कठिन हुन्छ ।
- स्तम्भ मापन (Columnar measurement): धेरै जसो स्याटेलाईट तथ्याङ्कले कुनै प्रदूषकको जमिनमा मात्रा कति छ भन्दा पनि जमिन देखि माथि समग्र वायु मण्डल (Total column) को मात्राको तथ्याङ्क प्रदान गर्ने हुनाले जमिनको सतहमा कति मात्रा छ भन्ने यकिन तथ्याङ्क उपलब्ध हुँदैन ।
- भू-उपग्रहहरुबाट सबै प्रदुषकको तथ्याङ्क उपलब्ध हुँदैन। उदाहरणका लागि भू-उपग्रहहरुबाट सोझै $PM_{2.5}$ को तथ्याङ्क प्राप्त हुदैन ।
- भू-उपग्रहहरुबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरुको प्रशोधन, बिश्लेषणका लागि प्राविधिक ज्ञान र सिपहरुको आवश्यकता पर्दछ। जुन सबै संस्था वा व्यक्तिहरुमा उपलब्ध नहुन सक्दछ।

भू-उपग्रहमा आधारित मापनबाट कस्ता तथ्याङ्क तथा सूचना प्राप्त हुन सक्छ केही उदाहरुणहरु हेरौं । तलका चित्रहरू वातावरण विभागद्वारा प्रकाशित सन् २०२४ को नेपालको वायु प्रदूषण सम्बन्धी स्थिति प्रतिवेदनबाट लिइएका हुन् । यी चित्रहरूलाई True Color Image भनिन्छ, जसमा देखिने दृश्य मानव आँखाले देख्ने प्राकृतिक रङ र स्वरूपसँग मिल्दोजुल्दो हुन्छ ।

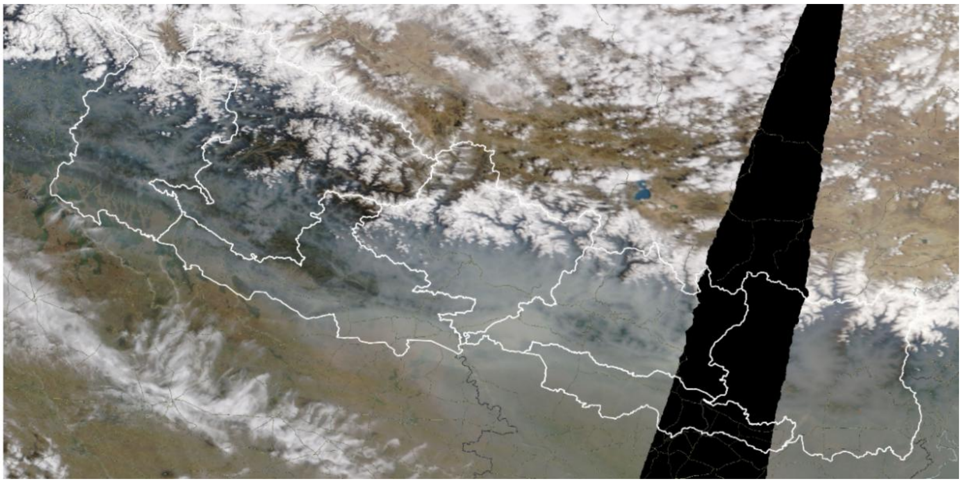


चित्रः जनवरी २०, २०२४ को Terra MODIS बाट प्राप्त भू-उपग्रह तस्वीर

माथिको चित्र जनवरी २०, २०२४ मा देशभर लागेको तुँवालो देख्न सकिन्छ । तराई क्षेत्रमा हुस्सु लागेको बेला त्याहाँको वायु गुणस्तरको अवस्था के छ यसबाट मुल्यांकन गर्न सकिदैन ।

कर्णाली प्रदेशको माथिल्लो बाहेक देशका प्राय सबै स्थान बाक्लो तुवाँलोले ढाकेको देखिन्छ। अर्थात ती सबै स्थानमा कणजन्य पदार्थ (मुख्तया $PM_{2.5}$) को प्रदूषण अत्याधिक रहेको छ ।

त्यसै गरी तलको चित्र एप्रिल ९ २०२४ को True Color Image हो । यसमा देखिने खैरो रङ डढेलोको कारण फैलिएको तुवाँलो हो । यति बेला डढेलोको कारण फैलिएको तुँवालोले लगभग देशभरको भू-भाग ढाकिएको देखिन्छ । यस्तै नेपालको मध्यभाग विशेषत चितवन आसपासको क्षेत्रमा भने निकै बाक्लो तुँवालोले ढाकिएको देखिन्छ ।



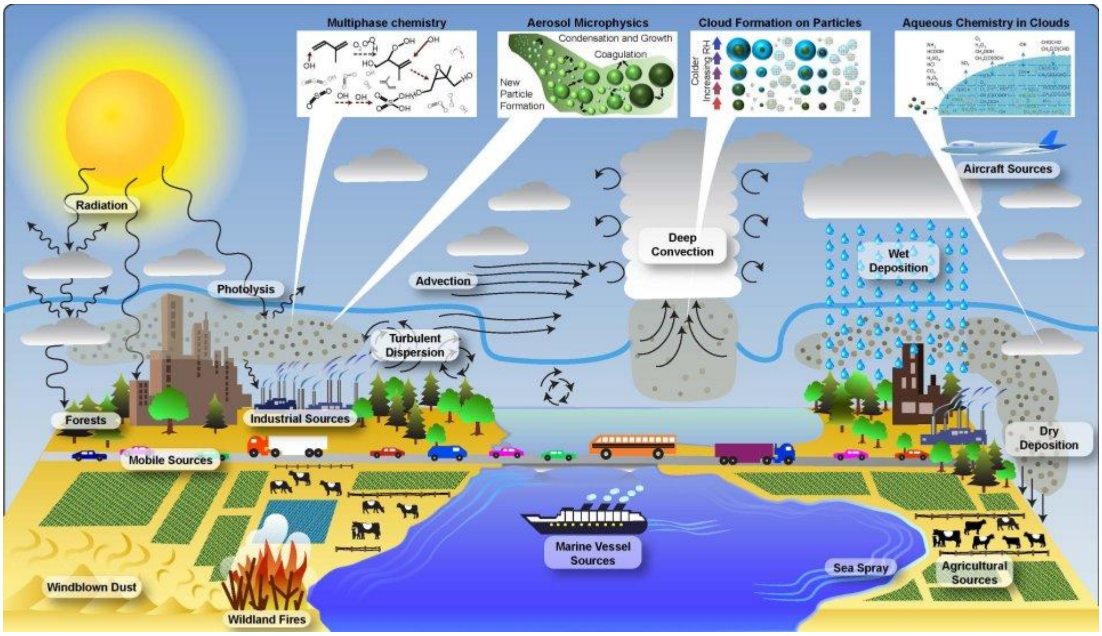
चित्रः अप्रिल ०९ २०२४ को Terra MODIS बाट प्राप्त भू-उपग्रह तस्वीर

१.५ वायु गुणस्तर मोडलहरू (Air Quality Models)

वायु गुणस्तरको मूल्याङ्कनका लागि विभिन्न मोडलहरूको विकास गरिएको छ । शक्तिशाली कम्प्युटर र सूचना प्रविधिको प्रगतिसँगै यस्ता मोडेलहरू अझ प्रभावकारी र परिष्कृत हुँदै गइरहेका छन् । यी मोडेलहरूले प्रकृतिमा हुने भौतिक तथा रासायनिक प्रक्रियाहरूको अनुकरण गर्ने प्रयास गर्छन् ।

हामीले आवश्यक तथ्याङ्क प्रविष्ट (Input Data) गरेपछी मोडलले त्यसको आधारमा नतिजा दिन्छ । आवश्यक तथ्याङ्कमा मौसम सम्बन्धी तथ्याङ्क, विभिन्न स्रोतहरुबाट हुने उत्सर्जन सम्बन्धी तथ्याङ्कहरु र अन्य विविध तथ्याङ्क (जस्तैः विभिन्न स्रोतको चिम्निको उचाइ जस्ता तथ्याङ्कहरु) पर्दछन्। उक्त प्रविष्ट तथ्याङ्कको आधारमा, यी मोडेलहरूले वायुमण्डलमा सिधै उत्सर्जित हुने प्राथमिक प्रदूषकहरू र वायुमण्डल भित्र जटिल रासायनिक प्रतिक्रियाहरूको परिणामस्वरूप बनेका द्वितिय प्रदूषकहरूलाई चित्रण गर्दछन्। तलको चित्रमा वायु प्रदूषणको चक्र देखाईएको छ जसले कुनैपनि मोडलमा वायु

प्रदूषणको वास्तविक स्थिति र कारण पत्ता लगाउन कस्ता तथ्याङ्कहरु आवश्यक पर्न सक्दछन् भन्ने देखाउँदछ।



चित्रः वायु गुणस्तर मोडलको चित्रात्मक प्रस्तुती *(स्रोत: US EPA को वेभसाइट)*

यी मोडेलहरू हाम्रो वायु गुणस्तर व्यवस्थापन प्रणालीको लागि महत्त्वपूर्ण छन् किनभने तिनीहरू वायु प्रदूषण नियन्त्रण गर्ने जिम्मेवारी पाएका निकायहरुलाई वायु प्रदूषणका विभिन्न स्रोतहरुको के कति योगदान छ सोको मुल्याङ्कन गर्न र वायु प्रदूषणलाई कम गर्न प्रभावकारी रणनीतिहरूको तर्जुमामा सहयोग गर्न व्यापक रूपमा प्रयोग गरिन्छ । उदाहरणका लागि, मानौं सरकारले काठमाडौं उपत्यकामा पाँच वर्षभित्र ५० प्रतिशत सवारी साधनलाई विद्युतीय बनाउने लक्ष्यका बारेमा छलफल सुरु गरेको छ । अब, यस्तो अवस्थामा ५० प्रतिशत सवारी साधन विद्युतीय भएमा उपत्यकाको वायु प्रदूषणमा कति कमी आउँछ भन्ने प्रश्न उठ्छ । वायु गुणस्तर मोडेलको प्रयोग गरी उक्त कार्यक्रमले कस्तो नतिजा ल्याउनेछ भन्ने अनुमान गर्न सकिन्छ । यसरी सरकारले ल्याउने कार्यक्रमहरुको प्रभावकारीता अनुमान गर्न मात्र नभई वायु प्रदूषणको भविष्यवाणी गर्न समेत यस्ता मोडेलको प्रयोग गरिन्छ । वायु गुणस्तर व्यवस्थापनमा धेरै प्रयोग हुने मोडेलहरु निम्न प्रकारका रहेका छन् ।

डिस्पर्शन मोडेलिङ (Dispersion Modelling)

डिस्पर्शन मोडेलिङले वायुमण्डलमा प्रदूषकहरू कुनै स्रोतबाट उत्ससर्जन भएपछी कसरी फैलिन्छन् भन्ने अनुमान गर्दछ । यस्ता मोडेलहरू सामान्यतया अनुमति (Permitting) प्रक्रियामा प्रयोग

गर्न सकिन्छ । कुनै नयाँ उद्योग वा प्रदूषणको अन्य स्रोतहरूको संचालन अगावै उक्त उत्सर्जन स्रोतको वरिपरि तोकिएको क्षेत्रसम्मको वायु गुणस्तरमा के कस्तो प्रभाव पर्दछ भन्ने पूर्वानुमान गर्न सकिन्छ ।

फोटोकेमिकल मोडेलिङ (Photochemical Modeling)

फोटोकैमिकल मोडेलहरू नियामक र नीतिगत मूल्याङ्कनहरूमा व्यापक रूपमा प्रयोग गरिन्छन्। यी मोडेलहरूले विभिन्न प्रदूषण स्रोतहरूबाट उत्सर्जित निष्क्रिय (inert) र रासायनिक रूपमा प्रतिक्रियाशील (chemically reactive) प्रदूषकहरूको वायुमण्डलमा फैलावट, रासायनिक प्रतिक्रिया, र थिग्रिने (deposition) प्रक्रियाहरूको अनुकरण गर्छन् । विशेष गरी ठूलो भौगोलिक क्षेत्रमा यी मोडेलहरूले प्रदूषणको स्तरको अनुमान गरी, मानव स्वास्थ्य र वातावरणमा पर्ने दीर्घकालीन प्रभावहरूको मूल्याङ्कन गर्न मद्दत गर्छन् । यसले नीतिगत निर्णयहरू लिन र प्रभावकारी प्रदूषण नियन्त्रण कार्यक्रमहरू डिजाइन गर्न महत्वपूर्ण भूमिका खेल्दछ ।

उदाहरणको लागि काठमाडौं उपत्यकामा विभिन्न सवारी साधन, उद्योग र अन्य स्रोतहरूबाट उत्सर्जित हुने नाइट्रोजनका अक्साइडहरू (NO_x), VOCs जस्ता रासायनिक प्रतिक्रियाशील प्रदूषकहरूलाई फोटोकैमिकल मोडेलको माध्यमबाट मोडेलिङ गरी, ओजोन (O_3) र द्वितीयक कणजन्य पदार्थहरूको (Secondary Particulate Matter) उत्पादन र वितरण कस्तो हुन्छ भनेर अनुमान लगाउन सकिन्छ । यसले उपत्यकामा हुने वायु प्रदूषणको जटिलताहरू बुझ्न र नियन्त्रण रणनीतिहरू बनाउने आधार तयार गर्न सहयोग पुऱ्याउँदछ ।

रिसेप्टर मोडेलिङ (Receptor Modeling)

रिसेप्टर मोडेलिङ अवलोकनात्मक विधि हो, जसले वायु प्रदूषण स्रोत र रिसेप्टर (जहाँ वायु प्रदूषणको मापन गरिन्छ) दुबै ठाउँमा मापन गरिएका ग्यास तथा कणजन्य पदार्थहरूको रासायनिक र भौतिक विशेषताहरूको आधारमा प्रदूषणको स्रोतको पहिचान र तिनले रिसेप्टरमा (वायु प्रदूषण मापन गरिएको स्थान) पुऱ्याएको योगदानको विश्लेषण गर्न सकिन्छ ।

यस विधिबाट कुनै विशेष स्थानमा देखिएका प्रदूषकहरू कुन स्रोतहरूबाट आएका हुन् र प्रत्येक स्रोतले कति मात्रामा योगदान गरेको छ भन्ने थाहा पाउन सकिन्छ । यो जानकारी वायु गुणस्तर व्यवस्थापन र प्रदूषण नियन्त्रणका रणनीतिहरू तयार पार्न अत्यन्त उपयोगी हुन्छ ।

खण्ड दुई
वायु प्रदूषणका स्रोत, जोखिम तथा असरहरू

२.१ वायु प्रदूषणका स्रोतहरू

२.१.१ प्राकृतिक स्रोतहरू (Natural Sources)

विभिन्न प्राकृतिक प्रक्रिया, विपद् घटना तथा परिघटनाहरूबाट पनि वायु प्रदूषण 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 । वायु प्रदूषणका केही प्रमुख प्राकृतिक स्रोतहरू निम्नानुसार रहेका छन् ।

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

२.१.२ मानव सिर्जित स्रोतहरू (Anthropogenic Sources)

विभिन्न मानवीय क्रियाकलापबाट विभिन्न थरीका वायुप्रदूषकहरू उत्सर्जन हुन्छन् । सामान्यतया प्राकृतिक रूपमा उत्सर्जन हुने वायु प्रदूषणहरूलाई 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 सामर्थ्यभित्र

रहने हुनाले यसका लागि दिनानुदिन प्रतिदिन नयाँनयाँ प्रविधिहरूको विकास हुँदै गइरहेको छ । उत्सर्जन हुने स्थानअनुसार मानव सिर्जित स्रोतहरूलाई मूलतः दुई प्रकारमा विभाजन गरिएको छ ।

घरबाहिरको वायु प्रदूषणका स्रोतहरू (Sources of Outdoor air pollution)

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

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

घटना 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।

तस्विरः औद्योगिक उत्सर्जन

तस्विरः सवारी साधनको उत्सर्जन

तस्विरः फोहरमैला जलाउँदा भएको उत्सर्जन

घरभित्रको वायु प्रदूषणका स्रोतहरू (Sources of Indoor air pollution)

घर, भवन वा कार्यस्थल जस्ता बन्द संरचनाभित्रको हावामा हानिकारक ग्यास, धुलो र अन्य प्रदूषकहरू मिसिएर स्वास्थ्यमा प्रतिकूल असर पार्ने अवस्थालाई घरभित्रको वायु प्रदूषण (Indoor Air Pollution) भनिन्छ । घरबाहिर जस्तै घरभित्र पनि विभिन्न किसिमका वायु प्रदूषणका 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 वायु प्रदूषणका 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 वायु प्रदूषणले बाहिरी वातावरणमा पनि असर गर्दछ ।

घरभित्रको वायु प्रदूषणको मुख्य स्रोत भान्छाकोठा नै हो । विशेषतः ग्रामीण क्षेत्रमा खाना पकाउन दाउरा, गुइँठा जस्ता परम्परागत उर्जाका स्रोतहरू प्रयोग भइरहेका छन् । अझ हावा राम्रोसँग आवतजावत (Ventilation) नहुने घरहरूमा वा जाडोको मौसममा झ्याल-ढोका बन्द राख्ने गर्नाले धुवाँ सजिलै बाहिर निस्कन पाउँदैन र त्यस्ता स्थानमा घरभित्रको वायु प्रदूषण 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 वायु प्रदूषण गर्दछ (WHO, 2025) । भान्छाको काममा अधिकांश महिलाहरू संलग्न रहने भएकाले घरभित्रको वायु प्रदूषणबाट महिला तथा बालबालिकाहरू बढी जोखिममा रहेका हुन्छन् ।

तस्विरः: घरभित्रको वायु प्रदूषण उत्सर्जन

तस्विरः उत्सर्जन कम गर्न सुधारिएको चुलोको प्रयोग

तस्विरः बायोग्यास चुलो

तस्विरः इण्डक्सन चुलो

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 वायु प्रदूषणको जोखिम धेरै हदसम्म कम गर्न सकिन्छ ।

२.२ वायु प्रदूषणका जोखिम तथा असरहरू

वायु प्रदूषणले हाम्रो वातावरणको धेरै पक्षमा असर पारिरहेको हुन्छ । वायु प्रदूषणले विश्वव्यापी रूपमा गम्भीर स्वाथ्य जोखिम निम्त्याइरहेको छ । यसबाहेक वायु प्रदूषणका कारण दृश्यता (Visibility) कम हुने, कृषि उत्पादकत्व ह्रास हुने, वनस्पति र वन्य जन्तुमा असर पार्ने मात्र नभई यो जलावायु परिर्वतनसँग पनि जोडिएको छ ।

विश्व स्वास्थ्य सङ्गठन (World Health Organization-WHO) का अनुसार वायु प्रदूषण मानव स्वास्थ्यका लागि सबैभन्दा ठुलो वातावरणीय जोखिममध्ये एक रहेको छ र यसका कारण प्रत्येक वर्ष करिब ६७ लाख मानिसको मृत्यु हुने गरेको छ । जसमध्ये घरबाहिरको वायु प्रदूषणका कारण सन् २०१९ मा करिब ४२ लाख मानिसको अकालमा ज्यान गएको अनुमान गरिएको छ (WHO, 2024) । वायु प्रदूषणबाट मृत्यु हुने मानिसको सङ्ख्या दक्षिण र दक्षिण पूर्वी एसियामा अधिक रहेको छ । वायु प्रदूषणका 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 (WHO, 2024) । यसैगरी सन् २०२१ मा घरभित्रको वायु प्रदूषणका कारण विश्वभरि करिब २९ लाख मानिसहरूको अकालमा मृत्यु भएको थियो जसमध्ये ३ लाख ९ हजारभन्दा बढी ५ वर्षमुनिका बालबालिका थिए (WHO, 2024)।

घटना 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 बिरामी भएका नागरिकहरूलाई प्रतिकूल रहेको थियो ।

घटना ३

मिति २०७७ चैत्र, २०८० तथा २०८१ को वैशाख महिनामा वायु प्रदूषणका कारण पोखरा लगायत देशका धेरै विमानस्थलमा हवाई उडान हुन सकेन । यसरी उडानहरू रोकिँदा वायु प्रदूषणले 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।

नेपाल स्वास्थ्य अनुसन्धान परिषदको प्रतिवेदनअनुसार नेपालमा सन् २०१९ मा मृत्युका कारणमध्ये धुम्रपान र उच्च रक्तचाप पछाडि तेस्रो नम्बरमा घरभित्रको वायु प्रदूषण (household air pollution) र चौथो नम्बरमा घरबाहिरको वायु प्रदूषण रहेको छ (NHRC, 2021)। 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, 2022) ।

२.२.१ वायु प्रदूषणबाट बढी प्रभावित तथा उच्च जोखिममा पर्ने समुदायहरू

वायु प्रदूषणको असर हामी सबैमा पर्ने भएतापनि केहि निश्चित उमेर समुह, वर्ग र समुदायका मानिसमा यसको जोखिम उच्च रहेको हुन्छ । यहाँ वायु प्रदूषणको उच्च जोखिममा भएका केही उमेर समुह, वर्ग र समुदायका बारेमा चर्चा गरिएको छ ।

क. बालबालिका

बालबालिकामा वायु प्रदूषणको असर बढी पर्दछ । बालबालिकाको रोग प्रतिरोधी क्षमता कम हुन्छ । उनिहरुको श्वास नली वयस्कको भन्दा सानो हुन्छ भने साथै श्वास प्रश्वास प्रणाली विकासकै क्रममा रहेको हुन्छ । बालबालिकाहरु शारीरिक रुपले बढी सक्रिय हुन्छन । त्यसकारण बच्चाहरुको श्वास प्रश्वास दर वयस्कको तुलनामा बढी हुन्छ । शरिरको आकारको अनुपातमा बालबालिकाले धेरै हावा श्वासको क्रममा लिन्छन । यसै गरी बालबालिकाले वयस्कको तुलानामा घर बाहिर बढी समय बिताउँछन् । जसले गर्दा उनीहरु धुलो धुवाँको बढी सम्पर्कमा आउँछन् । बालबालिकाको उचाइ कम हुने भएकाले उनीहरूले जमिनको सतह नजिकको हावा फेर्दछन्, जहाँ प्रदूषक कणहरू बढी थुप्रिएका हुन्छन् । ग्रामीण क्षेत्रमा आमाहरूले बच्चालाई ढाडमा बोकेर खाना पकाउँदा चुलोबाट निस्कने जैविक इन्धनको धुवाँले बालबालिकालाई सिधै असर गर्छ । त्यस्तै गरी श्वासप्रश्वास सम्बन्धी बिरामीहरुमा वायु प्रदूषणको असर बढी पर्ने र वयस्कको तुलनामा बालबालिमा श्वासप्रश्वास सम्बन्धी रोगहरु बढी लाग्ने भएकोले पनि उनीहरु वायु प्रदूषणको उच्च जोखिममा हुन्छन् । धेरै प्रदूषित हावामा हुर्कने बालबालिकाको फोक्सो ठीकसँग विकास नहुन सक्छ, जसका कारण उनीहरूलाई उमेरसँगै फोक्सोसम्बन्धी दीर्घकालिन रोगको उच्च जोखिम हुने सम्भावना हुन्छ । वायु प्रदूषणका कारण सन् २०२१ मा ५ वर्षमुनिका ७ लाखभन्दा बढी बालबालिकाको ज्यान गएको थियो, जुन विश्वभर सो उमेर समूहका बालबालिकाको कुल मृत्युको १५ प्रतिशत हिस्सा हो (HEI, 2024) ।

ख. वृद्धवृद्धा

वृद्ध व्यक्तिहरू वायु प्रदूषणको असरका दृष्टिले उच्च जोखिममा रहने संवेदनशील समूहका हुन् । उमेर वृद्धिसँगै फोक्सोको कार्यक्षमतामा आउने ह्रास यसको प्रमुख कारणमध्ये एक हो । यस्तो अवस्थामा वायु प्रदूषणको सम्पर्कले फोक्सोको अवस्थालाई थप कमजोर बनाउने सम्भावना अत्यधिक रहन्छ । साथै, उमेरसँगै शरिरको प्रतिरक्षा प्रणाली पनि कमजोर हुँदै जाने भएकोले शरीरले वायु प्रदूषकजस्ता हानिकारक पदार्थहरूबाट फोक्सोलाई सुरक्षा प्रदान गर्न गाह्रो हुन्छ । यसले गर्दा वृद्ध व्यक्तिहरूमा श्वासप्रश्वाससम्बन्धी सङ्क्रमणहरू, जस्तै निमोनिया, दम हुने जोखिम उल्लेख्य रूपमा बढ्दछ । त्यसमाथि, धेरै वृद्ध वृद्धाहरुमा फोक्सो तथा मुटुसम्बन्धी विभिन्न दीर्घरोगहरु पहिलेदेखि नै विद्यमान हुने भएकाले प्रदूषित वायुले स्वास्थ्य समस्यालाई थप जटिल बनाउन सक्ने खतरा रहन्छ ।

ग. गर्भवती महिलाहरु

गर्भवती महिलाहरु वायु प्रदूषण लगायतका वातावरणीय प्रदूषकहरूबाट हुने असरको दृष्टिले विशेष रूपले संवेदनशील अवस्थामा हुन्छन् । गर्भावस्थामा हुने व्यापक जैविक तथा हर्मोनजन्य परिवर्तनहरूले शरीरमा पहिले नै एक किसिमको अतिरिक्त तनाव सिर्जना गरिरहेका हुन्छन् । यस्तो अवस्थामा, वायु प्रदूषणको सम्पर्कबाट उत्पन्न हुने सूजन (Inflammation) र शारीरिक तनावले गर्भावस्थामा देखिने उच्च रक्तचापसम्बन्धी समस्याको जोखिम वृद्धि गराउन सक्छ । यसका साथै, वायु प्रदूषणको असरले गर्भाशयभित्र सूजन ल्याउन सक्ने र सालनाल (Placenta) मा क्षति पुऱ्याउने सम्भावना हुन्छ, जसले भ्रूणको समुचित वृद्धि र विकासमा प्रतिकूल प्रभाव पार्न सक्छ । विभिन्न अध्ययनहरूले वायु प्रदूषणका कारण समय नपुगी शिशुको जन्म हुने, कम तौलका शिशु जन्मिने तथा मृतशिशु जन्मिने (Stillbirth) जस्ता गम्भीर समस्याहरू समेत उत्पन्न हुने देखाएका छन्।

घ. श्वास प्रश्वास तथा मुटुका बिरामीहरु

दम, सीओपीडी (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), मुटु तथा रक्तनलीसम्बन्धी रोगहरू, मधुमेहजस्ता दीर्घरोगहरू भएका व्यक्तिहरू पहिलेदेखि नै शारीरिक रूपमा संवेदनशील अवस्थामा हुन्छन् । यस्ता व्यक्तिहरूले प्रदूषणयुक्त हावामा श्वास फेर्दा पहिले नै कमजोर भइसकेका फोक्सो, मुटु तथा अन्य अङ्गहरूमा थप असर पुऱ्याउँछ । यसको परिणामस्वरूप ती व्यक्तिहरूमा उक्त रोगका लक्षणहरू झनै गम्भीर हुन सक्छन् । यसले गर्दा यस्ता बिरामीहरुमा अस्पताल भर्ना दर उच्च हुन सक्दछ । जसले गर्दा यस्ता बिरामीहरुमा समयपूर्व नै मृत्यु हुने जोखिम पनि बढाउँछ ।

ङ. *आर्थिक तथा सामाजिक रुपले पिछडिएको वर्ग/समुदाय*

आर्थिक तथा सामाजिक रुपले पिछडिएको वर्ग/समुदायहरु वायु प्रदूषणको उच्च जोखिममा रहेका हुन्छन् । यस्ता समुदायमा स्वच्छ इन्धन (जस्तैः ग्यास, बायोग्यास, इन्डक्सन चुलो) प्रयोगको पहुँच कम हुन्छ, तसर्थ उनीहरुले इन्धनको रुपमा कृषिजन्य वस्तु (ढोड, छवाली, पराल इत्यादि) दाउरा तथा गूईँठा प्रयोग गरिरेहका हुन्छन् ।यसका साथै परम्परागत चुल्होको प्रयोगले घरभित्रको हावा प्रदूषित हुन्छ । त्यसै गरी स्वास्थ्य समस्या भएमा गुणस्तरीय स्वास्थ्य सेवाको पहुँच सीमित हुने भएकाले प्रदूषणजन्य असर थप गहिरो हुन जान्छ । यी समुदायमा शिक्षाको कमीको कारण वायु प्रदूषणबाट कसरी बच्ने, सावधानीका उपायहरु कसरी अपनाउने भन्ने कुरा सूचना तथा जानकारीको अभावले पनि यस्तो समुदायको जोखिमलाई बढाएको हुन्छ । आर्थिक रुपले विपन्न समुदायका मानिसहरु खुला स्थानमा शारीरिक श्रम गर्ने काम (निर्माण, ढुवानी, सफाइ आदि) मा संलग्न हुन्छन्, जसले गर्दा धुलो—धुवाँमा बढी सम्पर्कमा रहन्छन् । शहरी क्षेत्रका सडक छेउका झुपडी वा अस्थायी बस्तीहरूमा बसोबास गर्ने मानिसहरू सवारी प्रदूषण, निर्माणजन्य धुलो र फोहोरबाल्दा निस्किने धुवाँबाट बढी प्रभावित हुन्छन् । यस्ता समुदायहरूले सामना गरिरहेका समस्याहरू जस्तैः सुरक्षित बासको अभाव र पौष्टिक तथा गुणस्तरीय खाद्य सामग्रीमा पहुँचको कमीले उनीहरूमा दीर्घकालीन मानसिक तनाव र सामाजिक—मनोवैज्ञानिक असरहरू (Psychosocial distress) निम्त्याउने गर्दछ । यस प्रकारको दीर्घ तनावले यस्ता वर्ग र समुदायका मानिसमा वायु प्रदूषणको जोखिमलाई बढाइरहेको हुन्छ ।

च. *वायु प्रदूषण बढी हुने स्थानमा काम गर्ने पेशा व्यवसायका मानिसहरु*

केही पेशा व्यवसायका मानिसहरुले तुलनात्मक रुपमा उच्च वायु प्रदूषण भएको स्थानमा बढी समय बिताउनुपर्ने हुन्छ । यसकारण यस्ता मानिसहरु वायु प्रदूषणका कारण बढी प्रभावित हुन्छन् । उदाहरणका लागि उद्योग कलकारखानामा काम गर्ने मानिसहरु, ट्राफिक प्रहरीहरु, कुचिकारहरु सवारी चालकहरु आदि । खुला स्थानमा काम गर्ने व्यक्तिहरू वायु प्रदूषणको प्रत्यक्ष सम्पर्कमा रहने समय बढी हुने भएकाले, वायु गुणस्तर अत्यधिक खराब हुने दिनहरूमा, उनीहरू उच्च जोखिममा रहन्छन् । यस्ता कामदारहरू प्रायः शारीरिक श्रममा संलग्न हुने हुँदा सास फेर्ने दर उच्च हुन्छ, जसका कारण प्रदूषित हावा बढी मात्रामा श्वासमार्फत शरीरमा प्रवेश गर्न सक्छ । धेरैजसो बाहिरी वातावरणमा काम गर्ने कामदारहरूसँग वायु प्रदूषणको सम्पर्क घटाउने विकल्प सीमित हुन्छन् किनभने त्यस्ता उपायहरूले उनीहरूको जीविकोपार्जनमा प्रत्यक्ष असर पर्न सक्छ ।

यसका अतिरिक्त व्यस्त सडकको नजिक बसोबास गर्ने व्यक्तिहरू विभिन्न हानिकारक प्रदूषकहरूको सम्पर्कमा रहने गर्छन् । यी प्रदूषकहरू सवारी साधन (कार, ट्रक, बस) का इन्जिनबाट निस्कने धुवाँ तथा सडक छेउबाट उड्ने धुलो जस्ता विभिन्न स्रोतहरूबाट उत्पन्न हुने गर्दछन् । सवारी प्रदूषणले ठूलो क्षेत्रको वायु गुणस्तरमा असर पार्ने भएता पनि राजमार्ग वा अत्यधिक ट्राफिक भएका सडकहरूको नजिक बसोबास गर्ने व्यक्तिहरूमा यसको असर बढी हुने सम्भावना हुन्छ । सवारीसाधनजन्य वायु प्रदूषणको दीर्घकालीन सम्पर्कले बालबालिका र वयस्कमा दम सुरु हुने जोखिम, बालबालिकामा श्वासप्रश्वास प्रणालीमा सङ्क्रमण हुने सम्भावना तथा समयपूर्व मृत्यु हुने जोखिम समेत बढाएको देखिएको छ ।

२.२.२ वायु प्रदूषण र जलवायु परिवर्तन

वायु प्रदूषण र जलवायु परिवर्तन गहिरो रूपमा अन्तरसम्बन्धित विषयहरू हुन् । यी एकै सिक्काका दुई पाटाजस्तै भएकाले, प्रभावकारी नीतिगत हस्तक्षेपका लागि एकीकृत दृष्टिकोण आवश्यक हुन्छ । वायु प्रदूषणका धेरै स्रोतहरू जस्तै जीवाश्म इन्धनको प्रयोग, औद्योगिक प्रक्रिया, र जैविक पदार्थ (Biomass) दहनबाट हरितगृह ग्यास (Green House Gases-GHGs) र हानिकारक वायु प्रदूषक दुवै उत्सर्जन हुन्छन् । त्यसै गरी धेरै जसो वायु प्रदूषकहरु (Air pollutants) हरित गृह ग्यास पनि हुन् जसले जलवायु परिवर्तनमा मुख्य भुमिका खेल्छन् । उदाहरणका लागि, ब्ल्याक कार्बन (Black Carbon) ले विश्वव्यापी तापक्रम वृद्धि (Global warming) मा योगदान गर्ने मात्र होइन, मानव स्वास्थ्यमा पनि गम्भीर असर पार्दछ ।

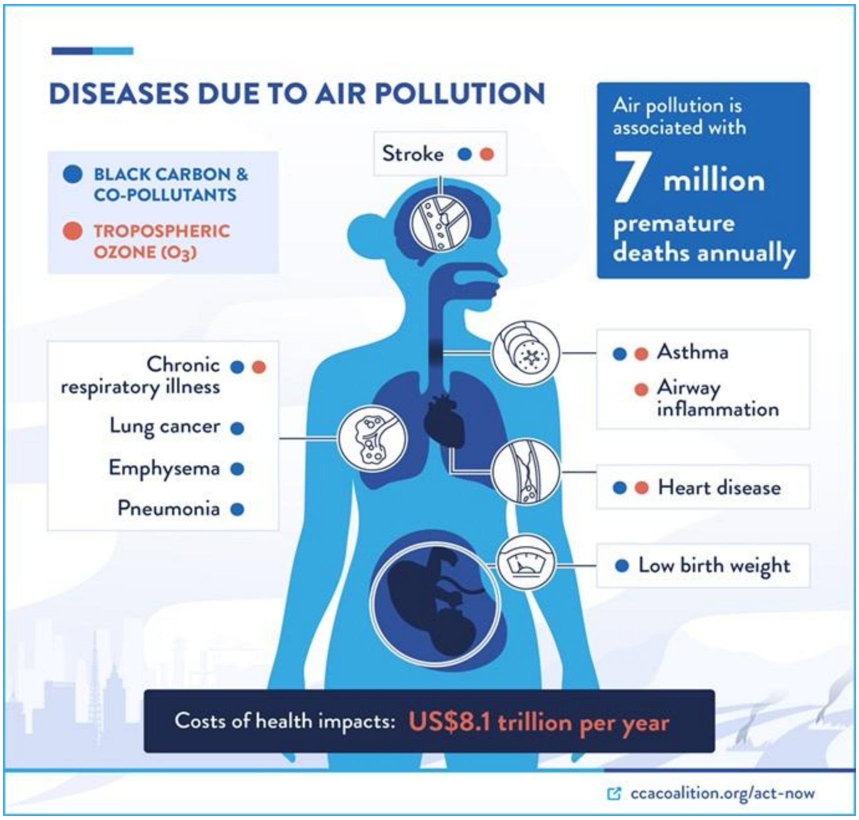
जलवायु परिवर्तनका कारण तापक्रम, वर्षाको ढाँचा, र विषम मौसमी घटनाहरूमा हुने परिवर्तनले वायु गुणस्तरमा प्रत्यक्ष असर पुऱ्याउन सक्छ । तातो र सुक्खा मौसममा वनडढेलो प्राकृतिक रुपमा उड्ने धुलोको मात्रामा पनि वृद्धि हुन्छ, जसले वायु गुणस्तरमा ह्रास ल्याउँछ । यसरी वायु प्रदूषण र जलवायु परिवर्तनबीचको परस्पर प्रभावलाई बेवास्ता गर्दा, समाधानका प्रयासहरू दोहोरिने, स्रोतको उपयोग विखण्डित हुने, र दीर्घकालीन प्रभाव न्यूनीकरणमा कमजोरी आउन सक्छ । तर व्यवहारमा, यी दुई विषयहरूलाई प्रायः छुट्टाछुट्टै रूपमा सम्बोधन गर्ने प्रवृत्ति रहँदै आएको छ, जसले समग्र नतिजालाई सीमित बनाएको छ ।

Short lived Climate pollutants (SLCPs)

SLCPs (Short-Lived Climate Pollutants) भनेका ती हरितगृह ग्यासहरू वा प्रदूषकहरू हुन् जो वायुमण्डलमा निकै छोटो अवधि (धेरैजसो केही दिनदेखि केही वर्षसम्म) सम्म मात्र रहन्छन् । तर यी ग्यासहरू वा कणहरूले छोटो अवधिमानै धेरै बढी तापक्रम बढाउने क्षमता राख्दछन् ।

यसको मुख्य उदाहरणहरूमाः

- मिथेन (CH_4)
- कालो कार्बन (Black Carbon)
- हाइड्रोफ्लोरोकार्बन (HFCs)
- निम्नमण्डलिय ओजोन (O_3)



चित्र : वायु प्रदूषणका असरहरू (साभारः Climate and Clean Air Coalition (CCAC) को वेवसाइट

छोटो अवधिका जलवायु प्रदूषक (SLCPs) हरू कार्बन डाइअक्साइड पछि मानवीय गतिविधिका कारण सिर्जित विश्वव्यापी तापमान बृद्धीमा सबैभन्दा महत्वपूर्ण योगदानकर्ताहरू हुन्, जो हालको

विश्वव्यापी तापमान बृद्धिको करिब ४५% सम्मको लागि जिम्मेवार छन् । त्यसै गरी यिनिहरुले मानव स्वास्थ्यमा पनि व्यापक रुपमा असर पुऱ्याईरहेका हुन्छन ।

ब्ल्याक कार्बन $PM_{2.5}$ को एक महत्वपूर्ण हिस्सा हो । यो दाउरा, जीवाश्म इन्धन, फोहोर जस्ता वस्तुहरू जलाउँदा निस्किन्छ । ब्ल्याक कार्बन वायुमण्डलमा केही दिनसम्म मात्र रहन्छ, तर यसको प्रभाव धेरै गम्भीर हुन्छ । ओजोनका बारेमा यस अघि नै हामीले चर्चा गरिसकेका छौं । मिथेन (CH_4) ले प्रत्यक्ष रूपमा मानव स्वास्थ्यमा असर नगरे पनि, यसले सतह नजिकको ओजोन निर्माणमा महत्वपूर्ण भूमिका खेल्छ, जसका कारण मानव स्वास्थ्य र वातावरणमा नकारात्मक असर पर्छ ।

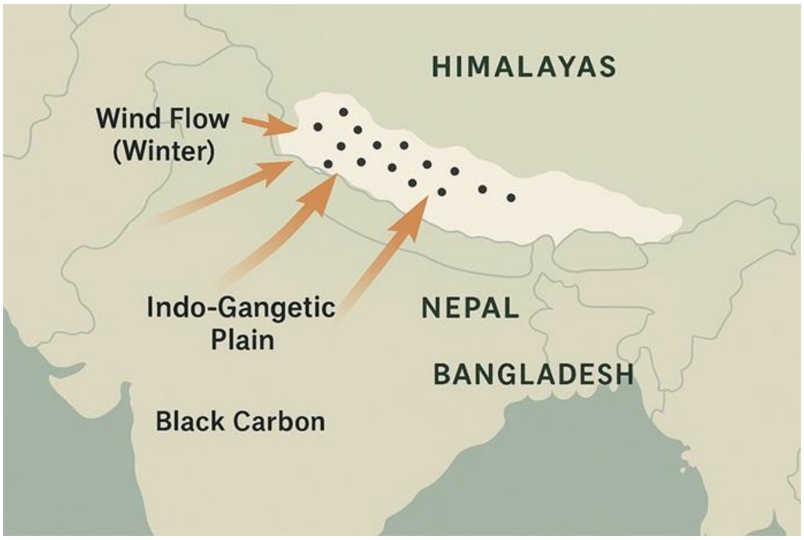
हिउँ तथा हिमनदी पग्लिनुमा ब्ल्याक कार्बन (Black Carbon-BC) को भुमिका

नेपालमा बग्ने धेरै नदीको स्रोत हिमालमा रहेको हिउँ हो । हालैका बर्षहरुमा जलवायु परिवर्तनका कारण हिमालय क्षेत्रको हिउँ तथा हिमनदीहरु तिब्र गतिमा पग्लिरहेका छन् । जसले भविष्यमा यस क्षेत्रमा जलसंकट निम्त्याउने जोखिम बढ्दै गएको छ । यस बाहेक हिमनदीहरु पग्लदै जाँदा हिमतालहरु बन्ने र तिनिहरुको आकार बढ्दै जाने हुँदा उक्त हिमतालहरु बिष्फोट हुने खतरा रहन्छ । जसले ठुलो मात्रामा धनजनको क्षति पुऱ्याउन सक्दछ । हिउँ तथा हिमनदी पग्लिनुमा कार्बन डाईअक्साईड को प्रमुख भुमिका भएता पनि विभिन्न अनुसन्धानहरुले ब्ल्याक कार्बनको भुमिका पनि ठुलो हुने देखाएका छन् ।

ब्ल्याक कार्बन उत्सर्जन भएपश्चात वायुमण्डलमा धेरै समय रहँदैन । केही दिनभित्रै यो जमिनको सतहमा थिग्रिन (Deposit हुन) थाल्छ । हावाको बहावले उत्सर्जन भएका स्थानबाट ब्ल्याक कार्बनलाई हिउँ भएको क्षेत्रमा पुऱ्याउँछ र त्यहाँ जम्मा हुन्छ । हिउँको सतह सेतो हुने भएकाले यसले सूर्यबाट आएको ताप र प्रकाशको ठूलो भाग परावर्तन गर्छ । सतहको ताप र प्रकाश परावर्तन गर्ने क्षमतालाई अल्बिडो (Albedo) भनिन्छ, जुन प्रतिशत वा एकाइमा मापन गरिन्छ । हिउँको अल्बिडो धेरै उच्च हुने भएकाले सतह लामो समय चिसो रहन्छ र हिउँ पग्लिने दर कम हुन्छ । तर ब्ल्याक कार्बनको रङ कालो हुने भएकाले यसको अल्बिडो कम हुन्छ र यसमा सूर्यको ताप र प्रकाश शोषण गर्ने क्षमता धेरै हुन्छ । जब ब्ल्याक कार्बन हिउँको सतहमा जम्मा हुन्छ, यसले सतहको अल्बिडो घटाउँछ र सूर्यको ताप बढी सोस्छ । यसका कारण सतहको तापक्रम बढ्छ, जसले हिउँ पग्लिने दर उच्च हुन्छ ।

सम्पूर्ण गंगिय मैदान (Indo Gangetic Plain) विश्वका अत्यधिक वायु प्रदूषण हुने क्षेत्रहरूमध्ये एक हो । यो विश्वको ठूलो जनसंख्या बसोबास गर्ने क्षेत्र मात्र नभई उच्च जनघनत्व भएको स्थान पनि हो । यस क्षेत्रमा ब्ल्याक कार्बनको उत्सर्जनको मात्रा पनि धेरै उच्च छ ।

विशेषगरी हिउँदको समयमा, जतिबेला वायु प्रदूषणको स्तर उच्च हुन्छ, यहाँको हावाको प्रवाह प्रायः पश्चिमबाट पूर्वतर्फ हुन्छ । यस पश्चिमी हावाले गंगाको मैदानी क्षेत्रबाट उत्सर्जित केही ब्ल्याक कार्बनलाई हिमाली क्षेत्रसम्म पुऱ्याउँछ। त्यहाँ पुग्दा ब्ल्याक कार्बन हिउँको सतहमा जम्मा हुन्छ, जसले सतहको अल्बिडो घटाउँछ र हिउँ पग्लिने दर तीव्र बनाउँछ।



चित्रः हिमाली क्षेत्रमा ब्ल्याक कार्बन जम्मा हुने प्रकृयाको चित्रात्मक प्रस्तुती (AI द्वारा तयार गरिएको)

हिउँ वा बरफ पग्लिँदा ब्ल्याक कार्बन सतहमा नै अवशेषको रूपमा रहन्छ र क्रमशः सतहमा अझ बढी जम्दै जान्छ । यसले सतहको एल्बिडो घटाई थप हिउँ वा बरफ पग्लिन मद्दत गर्ने देखिन्छ (Kang et al., 2020) । एक अध्ययनका आधारमा पछिल्ला ४० वर्षमा तिब्बती पठारका हिमनदीहरूले करिब ४५० घन किलोमिटर हिउँ गुमाएका छन्, जस मध्ये करिब २०–८० घन किलोमिटर हिउँ ब्ल्याक कार्बन (BC) र अन्य प्रकाश सोस्ने अशुद्धिहरूका कारण गुमेको (Zhang et al., 2018) देखिएको छ ।

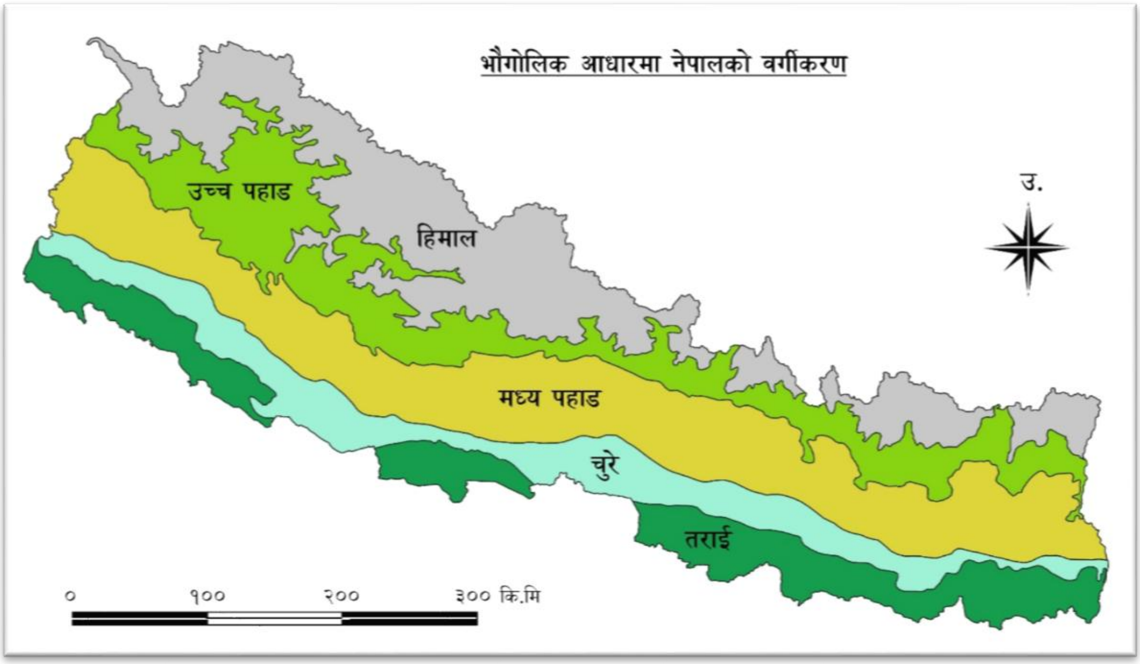
ब्ल्याक कार्बनबाट हिउँ र हिमनदी पग्लिनुमा पर्ने असर सम्बन्धमा अझै पर्याप्त अध्ययन हुन बाँकी नै छ भने नेपालको हिमाल र हिमनदीमा भने निकै कम मात्रामा अनुसन्धानहरु भएको पाइन्छ।

खण्ड तीन

नेपालमा वायु प्रदूषणको अवस्था र यसलाई प्रभाव पार्ने तत्त्वहरू

३.१ परिचय (Itroduction)

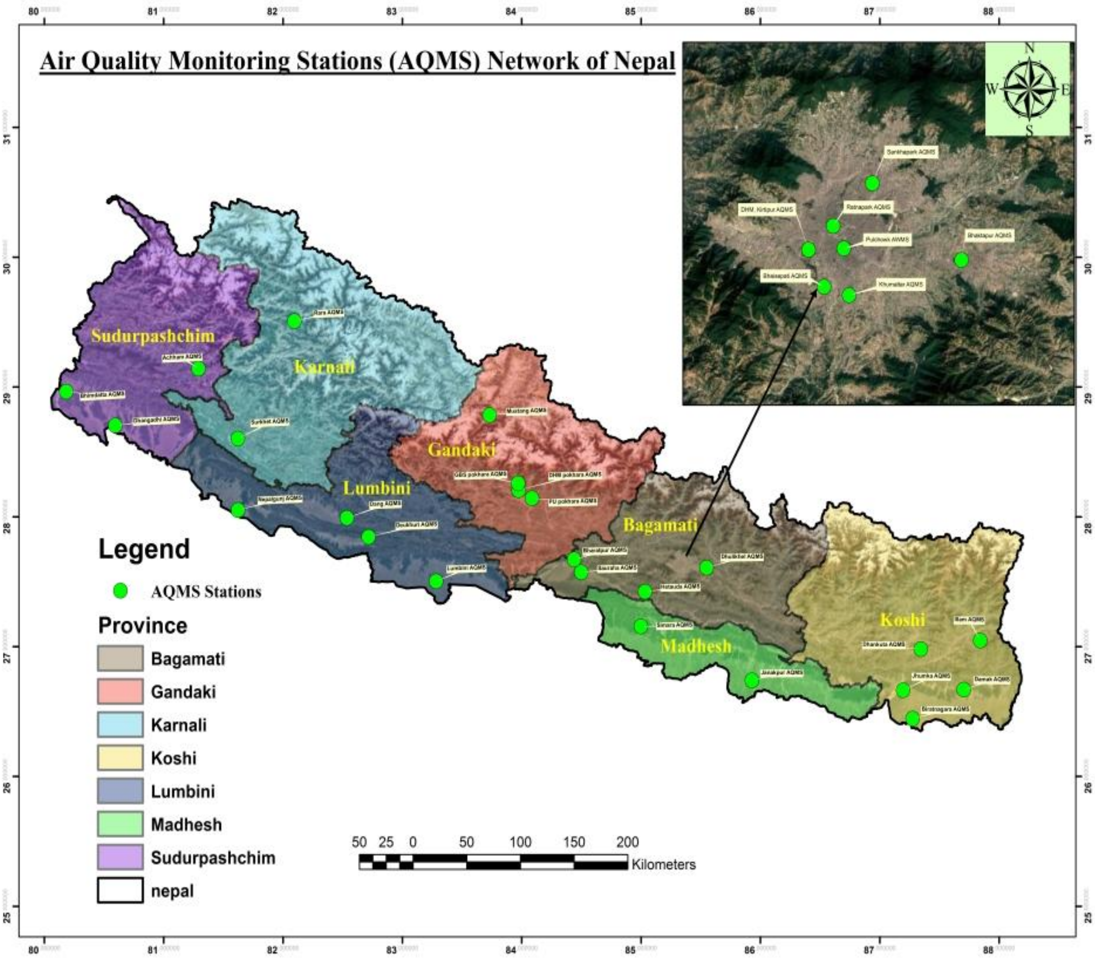
नेपाल दक्षिण एसियामा १४७,५१६ वर्ग किलोमिटर क्षेत्रफलमा फैलिएको भूपरिवेष्ठित देश हो । नेपाल समुन्द्र सतहबाट ६० मिटरदेखि ८,८४८.८६ मिटरको उचाइसम्म फैलिएको छ भने यसको पूर्वपश्चिम लम्बाइ करिब ८०० कि.मी. र उत्तर दक्षिण चौडाइ करिब १५० देखि २५० कि.मी. सम्म रहेको छ । भौगोलिक दृष्टिले नेपाललाई हिमाल, उच्च पहाड, 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 वायु प्रदूषणमा उल्लेखनीय प्रभाव पुऱ्याउन सक्दछ, जसलाई ध्यानमा राख्दै वातावरण विभागले २०८१ सम्ममा देशभरि ३० वटा वायु

प्रदूषण मापन केन्द्रहरू स्थापना गरेको छ । तलको नक्सामा विभागबाट स्थापना गरिएका वायु गुणस्तर मापन केन्द्र Air Quality Monitoring Station (AQMS) हरुको अवस्थिति देखाइएको छ।



चित्रः नेपालमा रहेका वायु गूणस्तर मापन केन्द्रहरुको अवस्थिती

त्यसै गरी तलको तालिकामा उक्त मापन केन्द्रको अक्षांश, देशान्तर र उचाई दिइएको छ।

तालिका : वायु प्रदूषण मापन केन्द्रहरूको अवस्थिति

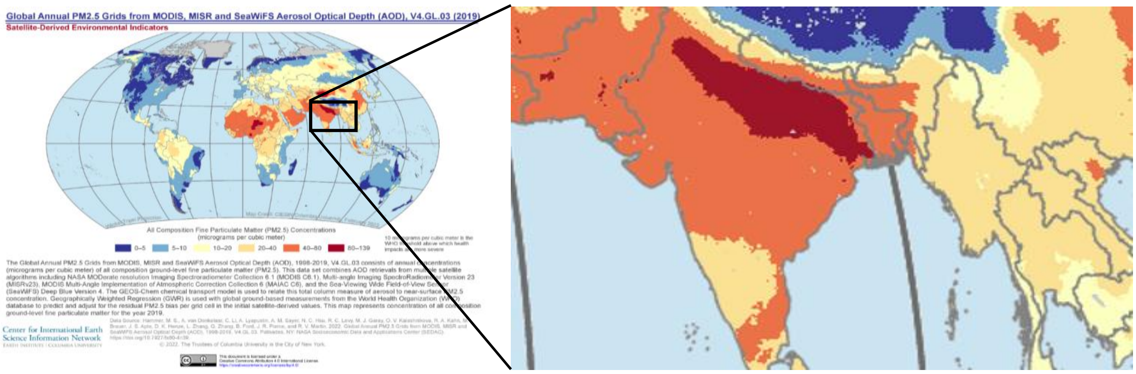
क्र.सं.	स्थान	प्रदेश	देशान्तर	अक्षांश	उचाइ मी.
१	धनकुटा	कोशी	८७.३४३९२	२६.९८०६६	१२००
२	ईलाम		८७.८४०८३	२७.०४७७७	२८३८
३	झुम्का		८७.१९५१७	२६.६४४५	१००
४	दमक		८७.७०३२६	२६.६६९३६३	१३६

क्र.सं.	स्थान	प्रदेश	देशान्तर	अक्षांश	उचाइ मी.
५	विराटनगर		८७.२७५०९	२६.४४५०९	७१
६	जनकपुर	मधेश	८५.९२८५४	२६.७३९८०	७६
७	सिमरा		८४.९९७७६	२७.१५६७०	१२८
८	भैंसेपाटी	बागमती	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	१३२७
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, पोखरा		८३.९६८९६४	२८.२५८३८	९७८
२१	पोखरा विश्वविद्यालय, पोखरा		८४.०८५५४	२८.१४३३७	६६४
२२	जोमसोम, मुस्ताङ्ग		८३.७३०००७	२८.७८४०७१	२७३०
२३	लुम्बिनी	लुम्बिनी	८३.२७९०८	२७.४८९५२	९७
२४	दाङ		८२.५३४६	२७.९९१४	६८४
२५	दाङ, देउखुरी		८२.७१६१५	२७.८४५००	३११
२६	नेपालगञ्ज		८१.६२२२	२८.०५२७५	१५१
२७	रारा राष्ट्रिय निकुञ्ज, रारा	कर्णाली	८२.०९३७८	२९.५०८३०	३१२१
२८	सुर्खेत		८१.६२१०२	२८.६०२९२	७२९
२९	महेन्द्रनगर		८०.१८२९२	२८.९६५०५	२१७

क्र.सं.	स्थान	प्रदेश	देशान्तर	अक्षांश	उचाइ मी.
३०	धनगढी	सुदूर पश्चिम	८०.५९४५	२८.७०४१३	१७८
३१	अछाम		८१.२८९२	२९.१४२७२	१४८५

यी मापन केन्द्रहरूबाट वायु गुणस्तरको अध्ययन गरिनुका साथै प्रदूषण नियन्त्रणका उपायहरू पहिचान गरिन्छ । वातावरण विभागले देशका विभिन्न स्थानमा फैलिएको वायु प्रदूषण मापन केन्द्रहरूको तथ्याङ्क विश्लेषण गरी प्रत्येक वर्ष वायु प्रदूषणको स्थिति प्रतिवेदन प्रकाशन गर्ने गरेको छ । यहाँ सन् २०२३ र २०२४ मा विभागले प्रकाशन गरेको वायु प्रदूषणको स्थिति प्रतिवेदन र अन्य प्रकाशनहरूलाई समेत आधार मानेर नेपालको वायु प्रदूषणको 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 ।

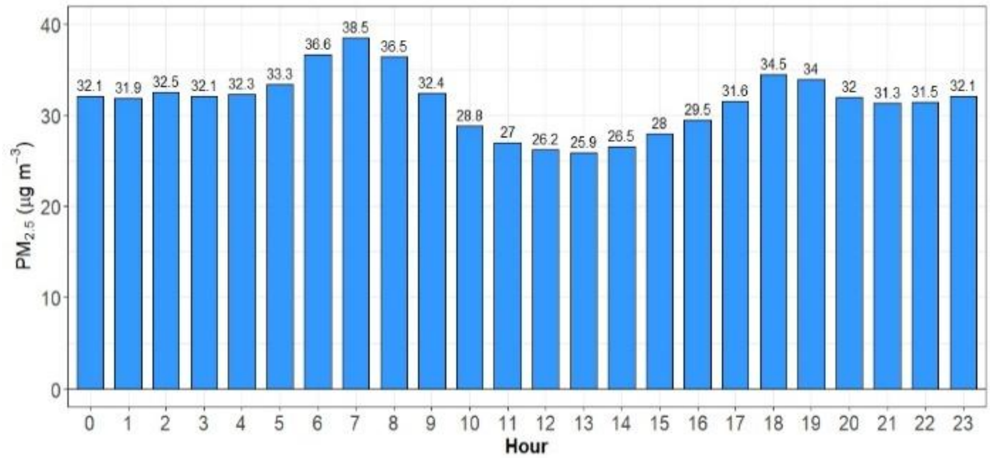


चित्रः Center for International Earth Science Information Network ले सन् २०१९ का लागि स्याटलाइट डाटा प्रयोग गरी तयार गरेको $PM_{2.5}$ को मोडेल नक्सा

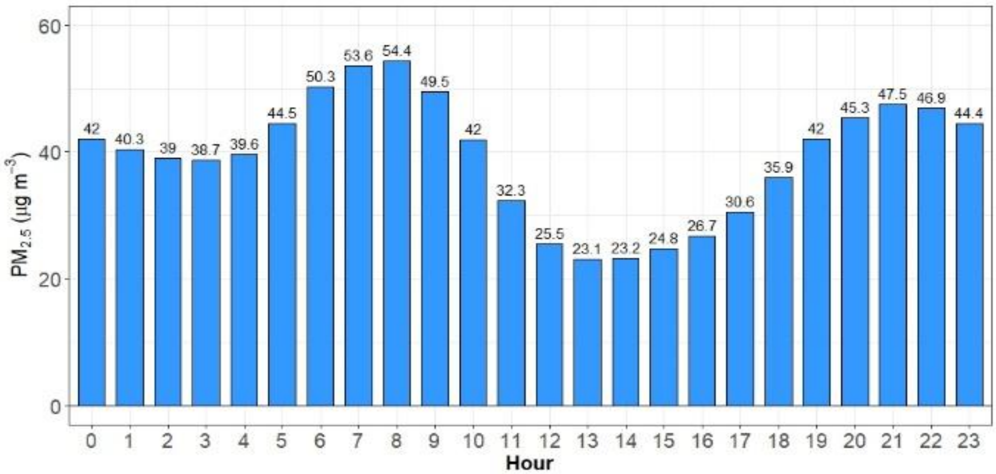
३.२ दिवा र रात्रि समयमा वायु प्रदूषणको अवस्था र कारणहरू

३.२.१ $PM_{2.5}$

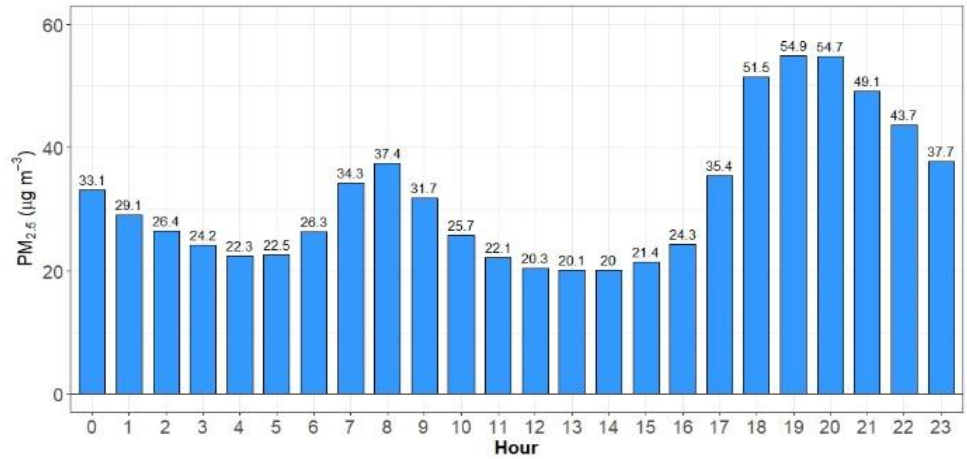
वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको प्रतिवेदन Status of Air Quality in Nepal, Annual Report, 2023 अनुसार केही मापन केन्द्रहरूबाट प्राप्त तथ्याङ्कका आधारमा दिनको विभिन्न समयमा हुने $PM_{2.5}$ को विविधता तलको स्तम्भ चित्र (Bar Diagram) मा देखाइएको छ ।



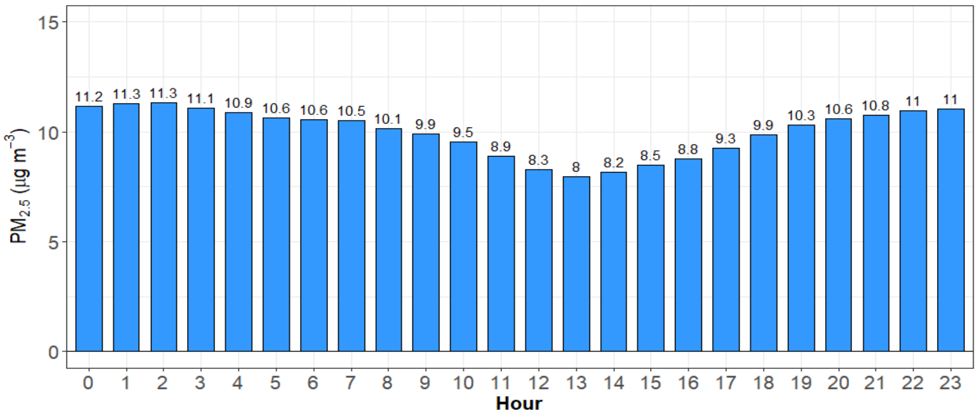
धनकुटा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



रत्नपार्क वायु गुणस्तर मापन केन्द्र ,काठमाडौं



महेन्द्रनगर वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर



रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

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

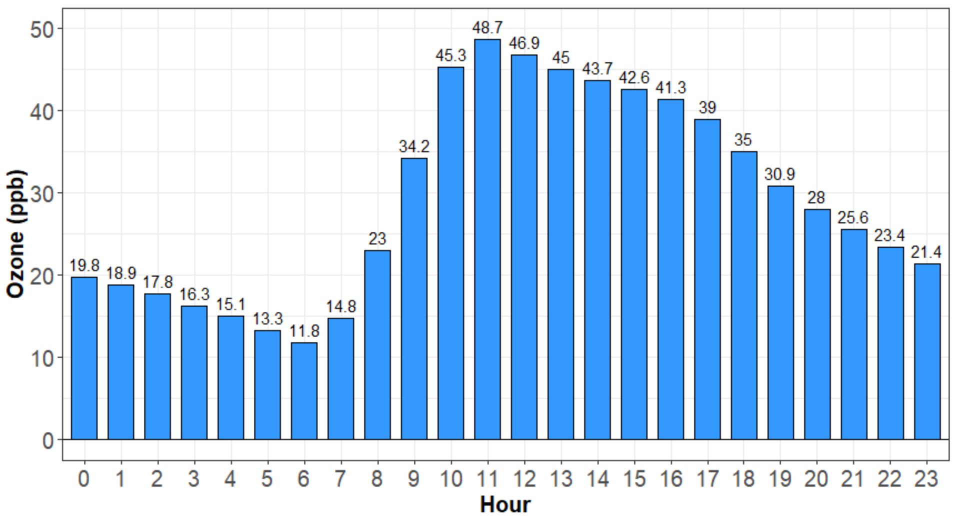
माथिका चित्रले देखाएजस्तै अधिकांश स्थानमा प्रायजसो बिहान र बेलुकाको समयमा $PM_{2.5}$ को मात्रा बढी हुने गरेको देखिन्छ । अन्य स्टेसनको स्तम्भ चित्रमा बिहान र बेलुकाको समयमा दुईवटा उच्चतम विन्दु (Peak) देख्न सकिन्छ भने राराको स्तम्भ चित्र फरक रहेको छ । रत्नपार्क वायु गुणस्तर मापन केन्द्रको स्तम्भ चित्र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

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 ।

३.२.२ निम्नमण्डलिय ओजोन (Tropospheric Ozone-O_3)

वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको प्रतिवेदन Status of Air Quality in Nepal, Annual Report, 2024 अनुसार खुमलटार वायु गुणस्तर मापन केन्द्रबाट प्राप्त तथ्याङ्कका आधारमा दिनको विभिन्न समयमा हुने सतह नजिकको ओजोनको विविधता तलको स्तम्भ चित्रमा देखाइएको छ ।

बिहान सूर्य उदाएपछि विकिरण बढ्दै जान्छ भने सवारीसाधनहरूको गतिविधि बढेसँगै तीव्र मात्रामा NO_2 उत्सर्जन हुन्छ । सूर्यको प्रकाशको उपस्थितिमा NO_2 विस्तारै Nitrous Oxide (NO) मा रूपान्तरण हुँदै परमाणविक अक्सिजन (O_2) उत्पादन हुन्छ, जसले O_2 सँग संयोजन भएर ओजोन (O_3) निर्माण गर्छ । वायुमण्डलमा रहेका वाष्पशील कार्बनका यौगिकहरू (VOCs) ले यस प्रक्रियालाई अझ तीव्र बनाउँछन् । यस कारण दिउँसो ११ देखि १२ बजेको बीचमा सतह नजिकको ओजोनको मात्रा सबैभन्दा उच्च स्तरमा पुग्छ । त्यसपछि सूर्यको विकिरण क्रमशः घट्दै जान्छ र यसअघि बनेका NO र O_3 बीच पुनः रासायनिक प्रतिक्रिया ($O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$) हुने भएकाले ओजोनको मात्रा बिस्तारै घट्न थाल्छ । रातिको समयमा सूर्यको प्रकाश नहुने भएकाले NO_2 को प्रकाश विघटन (Photolysis) हुन पाउँदैन, जसका कारण नयाँ ओजोन निर्माण नहुने र ओजोनको मात्रा निकै न्यून रहने गर्दछ ।



चित्रः सन् २०२४ मा खुमलटार स्टेसनमा लिइएको निम्नमण्डलिय ओजोनको औसत अवस्था

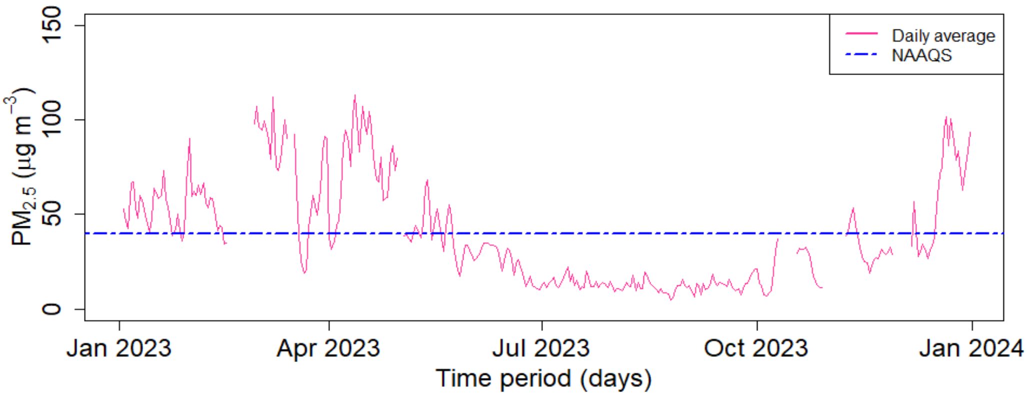
यदि हामी ओजोन र $PM_{2.5}$ को दैनिक विविधताको चार्ट हेर्ने हो भने, यसबाट केही रोचक प्रतिमान देख्न सकिन्छ । $PM_{2.5}$ को मात्रा प्रायः बिहान र साँझको समयमा बढी हुन्छ, जबकि

दिउँसोको समयमा तुलनात्मक रूपमा कम हुन्छ । यसको विपरीत, ओजोनको मात्रा दिउँसोको समयमा बढी देखिन्छ ।

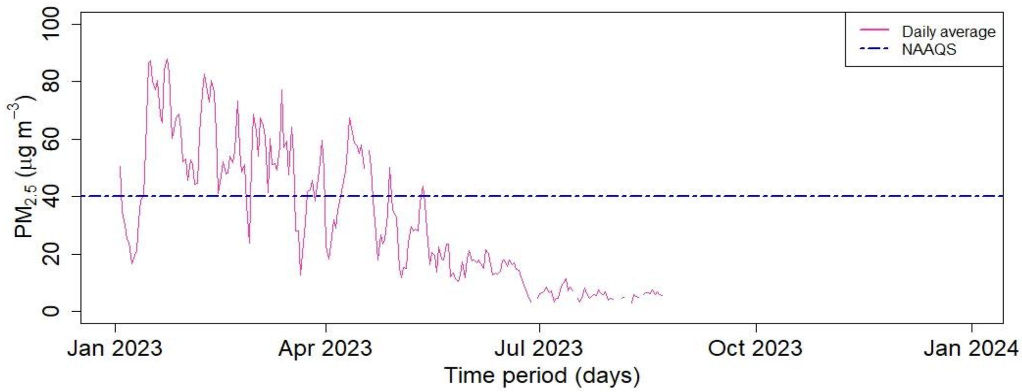
३.३ वायु प्रदूषणको वर्षभरिको दैनिक औसत अवस्था

३.३.१ $PM_{2.5}$

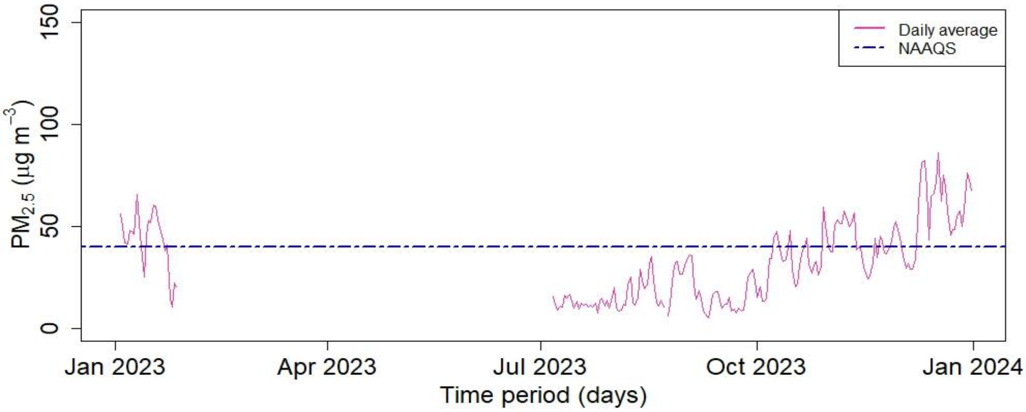
वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको प्रतिवेदन Status of Air Quality in Nepal, Annual Report, 2023 अनुसार केही स्टेसनमा वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को दैनिक औसतको ग्राफ यहाँ प्रस्तुत गरिएको छ।



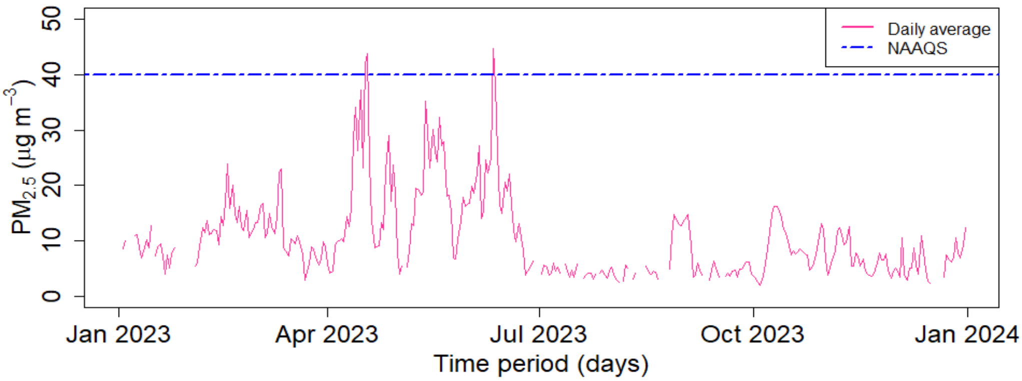
रत्नपार्क वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



धनकुटा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



महेन्द्रनगर वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर



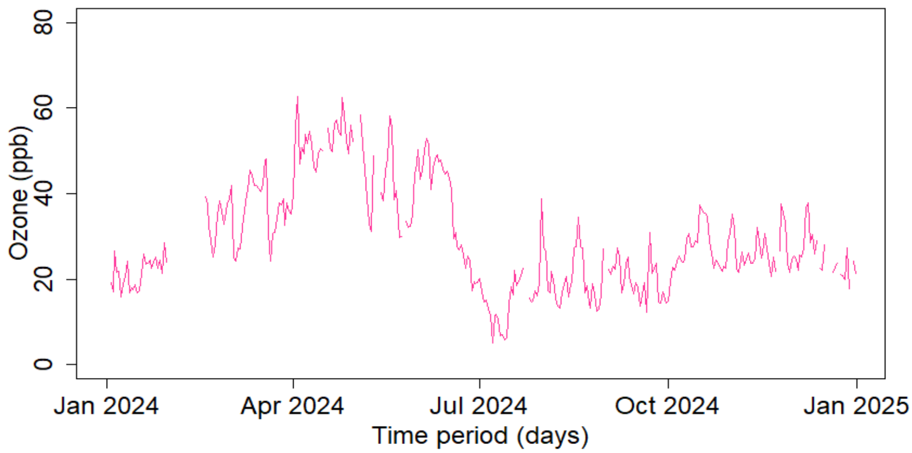
रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

चित्र: सन् २०२३ अनुसार विभिन्न वायु गुणस्तर 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 बेलाका 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 ।

३.३.२ निम्ममण्डलिय ओजोन (Tropospheric Ozone-O_3)

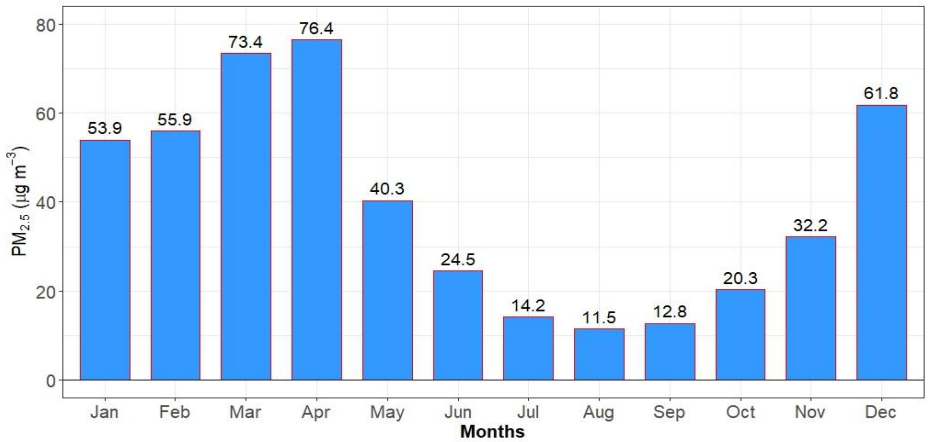
तलको चित्रमा खुमलटार स्टेशनको सन २०२४ को दैनिक औसतको अवस्था देखाइएको छ। उक्त चित्रमा मार्च देखि जुन महिना सम्म दैनिक औसत बढी देखिएको छ ।



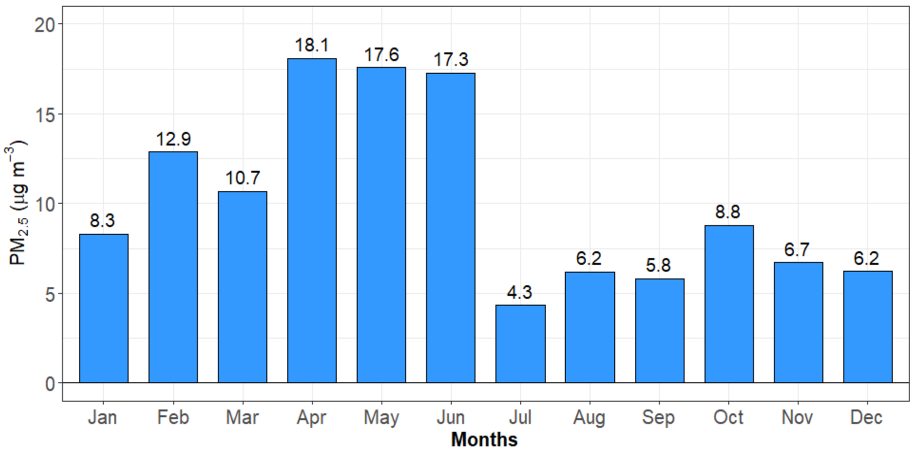
चित्रः सन् २०२४ मा खुमलटार स्टेसनमा लिइएको निम्नमण्डलिय ओजोनको दैनिक औसत अवस्था

३.४ मासिक वायु प्रदूषण अवस्था

वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको प्रतिवेदन Status of Air Quality in Nepal, Annual Report, 2023 बाट केही स्टेसनमा वर्षभरिको $PM_{2.5}$ को मासिक औसतको स्तम्भ चित्रलाई यहाँ प्रस्तुत गरिएको छ ।



रत्नपार्क वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु

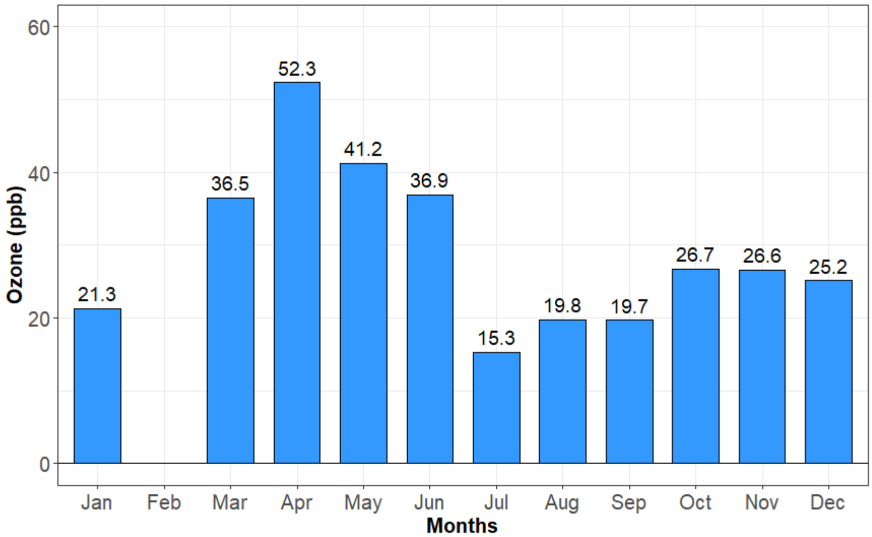
चित्र: सन् २०२३ मा विभिन्न वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा $PM_{2.5}$ को मासिक औसत अवस्था

मुख्यतया हिंउदको समयमा प्रदूषण उच्च हुनुमा मौसमको भूमिका महत्त्वपूर्ण रहेको हुन्छ । वर्षा याममा वर्षाले हावामा रहेका कणजन्य पदार्थहरू पखाल्ने हुनाले वायु प्रदूषण 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 वायु प्रदूषण केही कम हुने गरेको पाइन्छ । त्यस्तै वायु प्रदूषण उच्च हुनुमा तापक्रमको पनि उत्तिकै महत्त्वपूर्ण भूमिका हुन्छ । विशेषगरी पुस र माघ महिनामा तापक्रम निकै कम हुन्छ भने वायु प्रदूषण 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 वायु प्रदूषण कम हुन्छ । यदि मिक्सिङ हाइट कम छ भने जमिनको नजिकबाट हुने प्रदूषण राम्रोसँग फैलिन पाउँदैन र जमिनको नजिकै थुप्रिएर बस्ने भएकाले जमिननजिक वायु प्रदूषण उच्च हुन पुग्दछ ।

यस बाहेक चैत-वैशाखमा वायु प्रदूषण 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 वायु प्रदूषण 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 वायु प्रदूषण बढाउन भूमिका खेलेको हुन्छ । यसबाहेक हिउँदको समयमा फोहोर बाल्ने कार्य बढी हुने गरेको पाइन्छ भने ईंटा भट्टाहरू पनि हिंउदको समयमा नै सञ्चालन हुन्छन् । त्यसले गर्दा पनि हिउँदको समयमा वायु प्रदूषण उच्च हुने गरेको पाइन्छ ।

तलको चित्रमा सन् २०२४ मा खुमलटार स्टेशनबाट प्राप्त जमिनको सतह नजिकको ओजोनको मासिक औसत देखाइएको छ ।



चित्रः सन् २०२४ मा खुमलटार स्टेसनमा लिइएको निम्नमण्डलिय ओजोनको मासिक औसत अवस्था

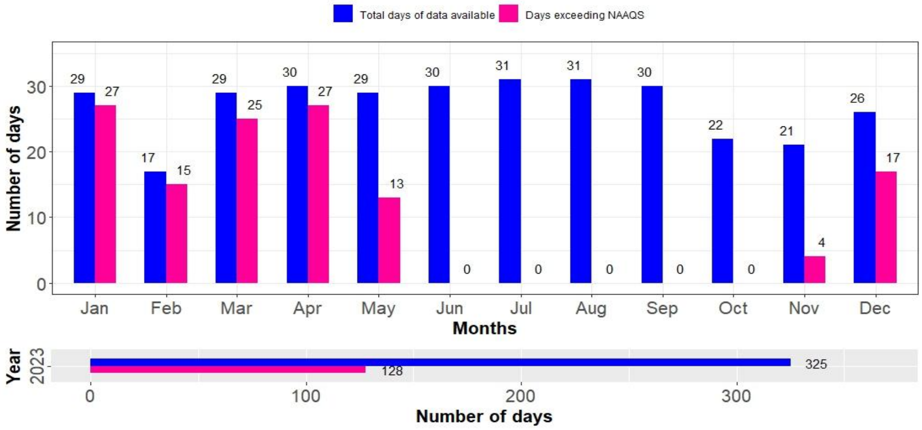
ओजोनको मासिक औसत अप्रिल महिनामा सबैभन्दा बढी रहेको देखिन्छ भने अन्य महिनाको तुलनामा मार्च देखि जुन सम्म ओजोनको मासिक औसत बढी रहेको देखिन्छ । ओजोन कुनै प्राथमिक स्रोतबाट सिधै निस्कने नभई, सूर्यको प्रकाशको उपस्थितिमा वायुमण्डलमा हुने रासायनिक प्रतिक्रियाबाट बन्ने एक द्वितीय प्रदूषक हो । यस रासायनिक प्रतिक्रियामा नाइट्रोजन अक्साइडहरू (NOx) र वाष्पशील कार्बनका यौगिकहरू (VOCs) को मुख्य भूमिका हुन्छ । मार्च देखि जुन महिनासम्म सूर्यको विकिरण

तीव्र हुने र तापक्रम उच्च रहने भएकाले यी प्रतिक्रियाहरू अझ सक्रिय हुन्छन्, जसले सतह नजिकको ओजोन निर्माणलाई तीव्र बनाउँछ ।

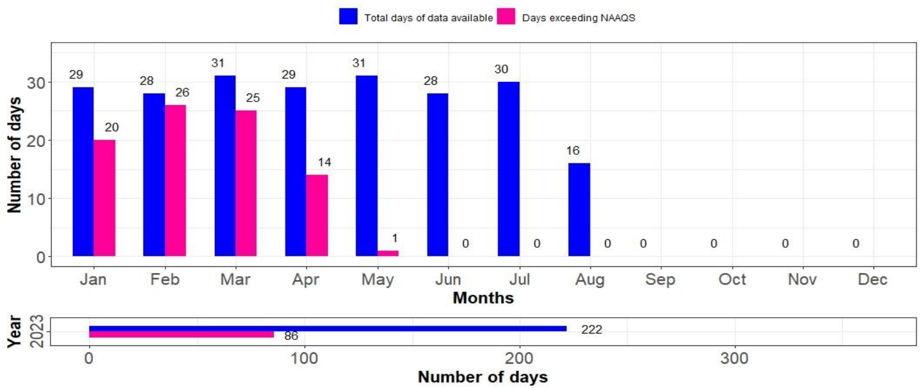
यसै समयमा देशभर व्यापक रूपमा वनमा डढेलो लाग्ने र बाली अवशेष जलाइने गरिन्छ । यस्ता क्रियाकलापका कारण ठूलो मात्रामा नाइट्रोजन अक्साइडहरू (NOx) र वाष्पशील कार्बनिक यौगिकहरू (VOCs) वायुमण्डलमा उत्सर्जन हुन्छन् । यी प्रदूषकहरूले सूर्यको विकिरणको उपस्थितिमा रासायनिक प्रतिक्रिया गरी सतह नजिकको ओजोन निर्माणमा महत्वपूर्ण भूमिका खेल्छन् ।

३.५ वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड परिपालनाको अवस्था

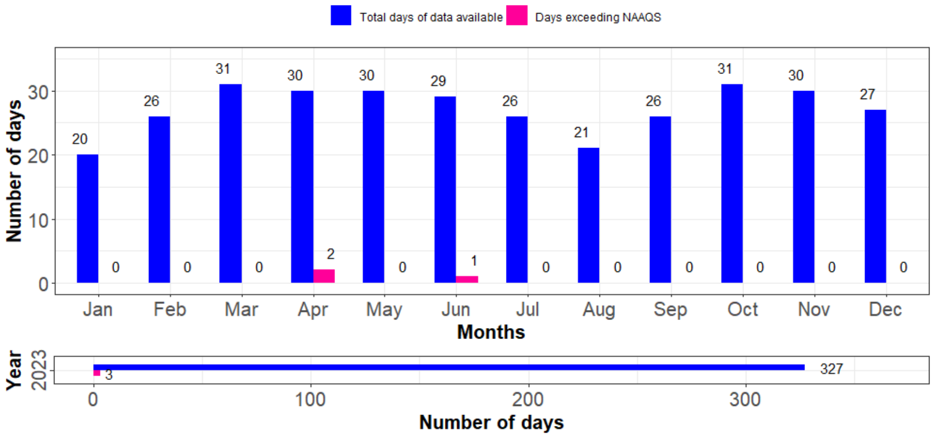
तल दिइएको चित्र विभागले सन् २०२३ का लागि प्रकाशन गरेको वायु गुणस्तरको स्थिति प्रतिवेदनबाट लिइएको हो । यसमा सन् २०२३ मा केही वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा $PM_{2.5}$ को मापदण्ड परिपालनाको स्थिति देखाइएको छ ।



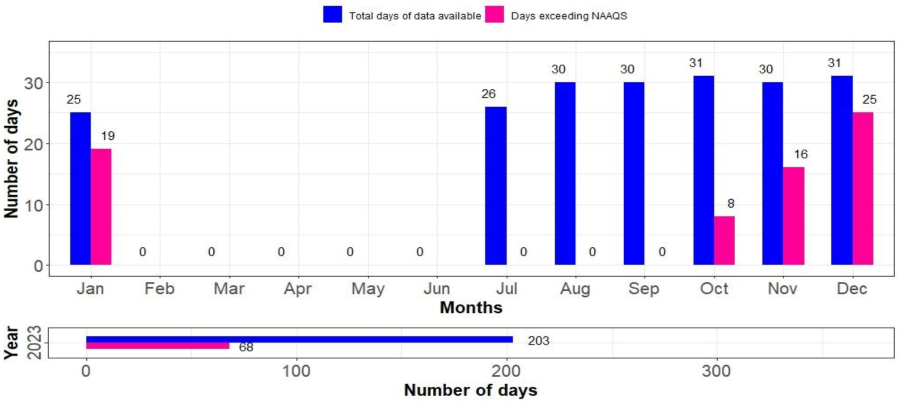
रत्नपार्क वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, काठमाडौं



धनकुटा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, धनकुटा



रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, मुगु



महेन्द्रनगर वायु गुणस्तर मापन केन्द्र, कञ्चनपुर

चित्र: सन् २०२३ मा विभिन्न वायु गुणस्तर 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 वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको छ । त्यसैगरी धनकुटा वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा २२२ दिनमध्ये ८६ (करिब ३९%) दिन, रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा ३२७ दिनमध्ये ३ (करिब १%) दिन र महेन्द्रनगर वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा २०३ दिनमध्ये ६८ (करिब ३३%) दिन राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको छ । माथि प्रस्तुत गरिएका चित्रअनुसार रारा वायु गुणस्तर मापन केन्द्रबाहेक अधिकांश वायु गुणस्तर मापन केन्द्रमा वर्षाको समयबाहेक अन्य महिनाका धेरै दिनमा वायु गुणस्तरको स्थिति राष्ट्रिय मापदण्डभन्दा बढी रहेको पाइएको छ ।

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

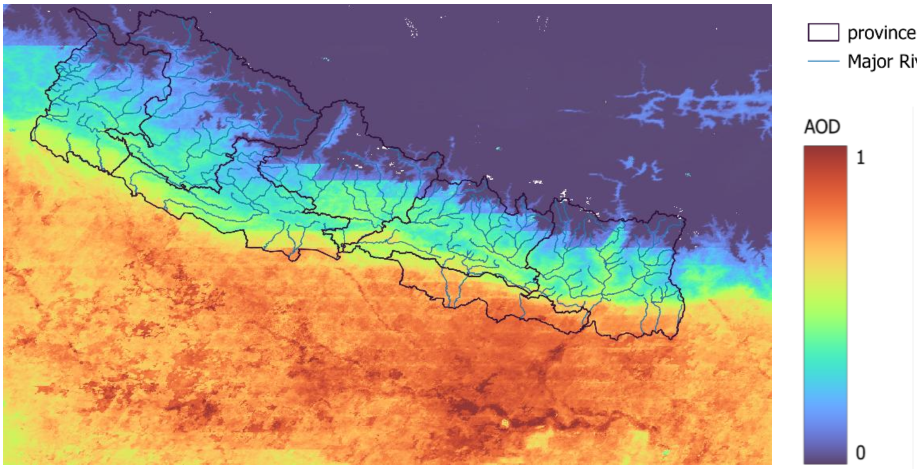
३.६ भू-उपग्रहबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरु

यहाँ वातावरण विभागले प्रकाशन गरेको वायु गुणस्तर स्थिति प्रतिवेदन सन २०२४ बाट साभार गरिएका केही भू-उपग्रहबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरु सम्बन्धी जानकारीहरु प्रस्तुत गरिएको छ।

Aerosol Optical Depth (AOD)

वायुमण्डलमा रहेका कणजन्य पदार्थहरूले सूर्यको प्रकाशलाई तितरबितर (Scatter) पार्छन् । प्रकाश कति मात्रामा तितरबितर भयो भन्ने परिमाणलाई AOD एकाइमा मापन गरिन्छ । वायुमण्डलमा कणजन्य पदार्थको मात्रा बढे अनुसार AOD पनि बढ्छ । वायुमण्डलीय एरोसोलको मात्रात्मक मूल्याङ्कनका लागि विभिन्न भू–उपग्रह प्रणालीहरू प्रयोग गरिन्छ । तिनमध्ये, नासाको Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) उपकरणबाट प्राप्त तथ्याङ्क व्यापक रूपमा प्रयोग हुनेमध्ये एक हो । MODIS उपकरण दुई फरक भू–उपग्रहहरूमा स्थापित छन्—Terra MODIS र Aqua MODIS। नेपाल क्षेत्रमा, Terra MODIS करिब बिहान १०:३० बजे (स्थानीय समय) वरिपरि पुग्ने गर्छ, जबकि Aqua MODIS दिउँसो करिब १:०० बजे वरिपरि पुग्छ । यसरी MODIS प्रणालीले दिनको दुई फरक समयमा एरोसोल अप्टिकल डेप्थ (AOD) सम्बन्धी तथ्याङ्क उपलब्ध गराउँछ, जसले वायुमण्डलीय प्रदूषणको दैनिकी भिन्नता बुझ्न सहयोग पुऱ्याउँछ ।

तल प्रस्तुत नक्साले MODIS प्रणालीबाट प्राप्त AOD तथ्याङ्कको वार्षिक औसतलाई दर्शाउँछ।

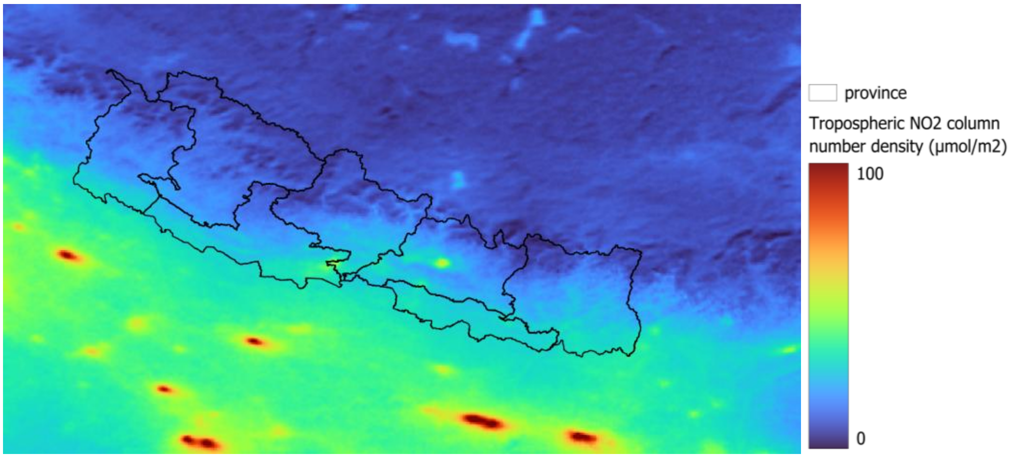


चित्र : सन् २०२४ को वार्षिक औसत AOD विस्लेषण

सन् २०२४ को वार्षिक औसत विश्लेषणबाट मुख्यतः तराई क्षेत्र, विशेषगरी पूर्वी तराईमा, $PM_{2.5}$ को वार्षिक औसत उच्च देखिन्छ । तथापि, यस नतिजाका केही सीमितताहरू छन् । वायु प्रदूषण दिनको विभिन्न समयमा फरक पर्न सक्ने भएकाले, MODIS तथ्याङ्कमा आधारित यो मूल्याङ्कन दिनमा केवल दुई समयमा) Terra र Aqua MODIS को आगमन समय (गरिएको मापनमा निर्भर हुन्छ । त्यसैले, यस आधारमा कुनै दुई स्थानलाई प्रत्यक्ष तुलना गर्नु सम्भव हुँदैन । उदाहरणका लागि, यहाँको तथ्याङ्कमा काठमाडौँ र पोखराको तुलनामा सम्पूर्ण तराई क्षेत्र अत्यधिक प्रदूषित देखिन्छ । तर, वास्तविक प्रदूषण स्तरमा अन्य भौगोलिक, मौसमी, र मौसम सम्बन्धी कारकहरूले समेत प्रभाव पार्ने भएकाले, तुलनात्मक रूपमा कुन क्षेत्र सबैभन्दा बढी प्रदूषित छ भन्ने निश्चित रुपमा निष्कर्ष निकाल्न सकिँदैन । यद्यपि, AOD, मा आधारित यस्तो विश्लेषणले प्रदूषणका हटस्पट, (Hotspot) क्षेत्रहरू पहिचान गर्न भने उपयोगी जानकारी प्रदान गर्छ, जसले विस्तृत अध्ययन तथा नीति निर्माणको लागि आधार तयार पार्छ ।

नाइट्रोजन डाईअक्साईड (NO_2)

नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2) मुख्यतया उच्च तापक्रममा हुने दहन प्रक्रियाबाट उत्सर्जित हुने प्रदूषक हो । यसका प्रमुख स्रोतहरूमा सवारीसाधन, उद्योग, ताप तथा ऊर्जा उत्पादनका संयन्त्रहरू पर्छन् । यो ग्यासले वायु प्रदूषण, अम्लीय वर्षा र ओजोन प्रदूषणमा समेत महत्वपूर्ण भूमिका खेल्छ । त्यसैले, NO_2 को वार्षिक औसत तथ्याङ्कले उच्च औद्योगिक र यातायात गतिविधि भएका क्षेत्रहरू पहिचान गर्न तथा वायु प्रदूषण व्यवस्थापन रणनीति तयार गर्न महत्त्वपूर्ण आधार प्रदान गर्दछ । तल प्रस्तुत गरिएको नक्साले युरोपियन युनियनको Copernicus कार्यक्रमअन्तर्गतको Sentinel-5 भू–उपग्रहमा स्थापित TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) बाट प्राप्त NO_2 तथ्याङ्कको सन् २०२४ को वार्षिक औसत वितरण दर्शाउँछ ।

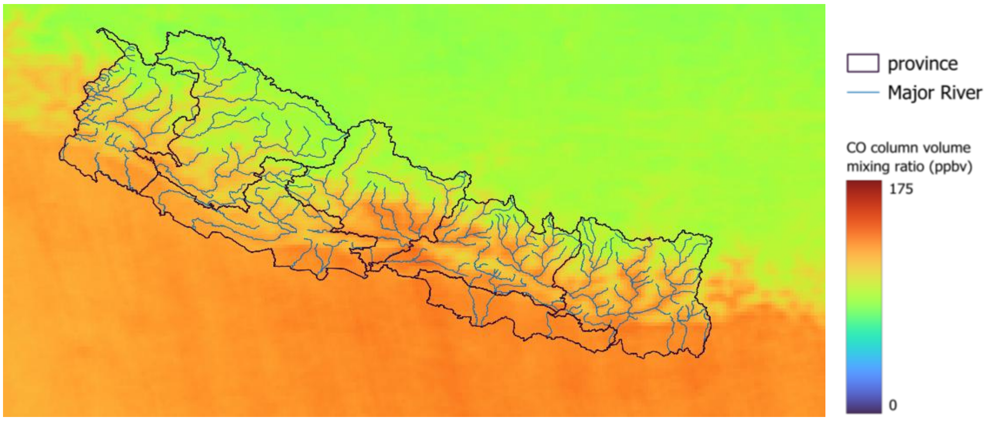


चित्र: सन् २०२४ मा NO_2 को वार्षिक औसत

माथिको चित्रमा काठमाडौं उपत्यकामा, साथै उपत्यका बाहिरका केही सीमित स्थानहरूमा, तुलनात्मक रूपमा बढी NO_2 को मात्रा देखिएको छ। काठमाडौं उपत्यकामा उच्च सवारीसाधन चापका कारण यहाँ को प्रमुख स्रोत सवारीसाधन हुने सम्भावना बढी छ । यसको विपरीत, उपत्यका बाहिर NO_2 उच्च देखिएका क्षेत्रहरूमा औद्योगिक गतिविधिहरू प्रमुख स्रोत हुन सक्ने अनुमान गर्न सकिन्छ।

कार्बन मनोक्साइड (CO)

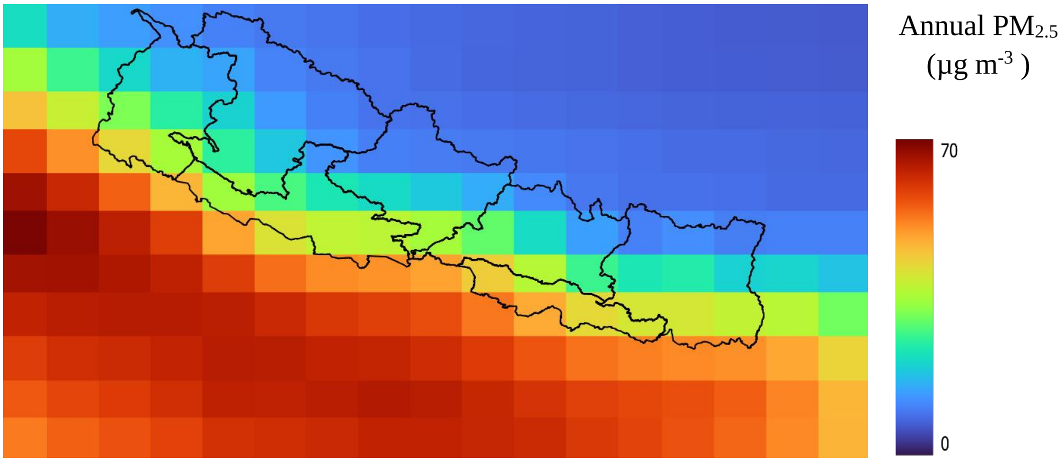
कुनै वस्तु दहन हुने क्रममा अक्सिजनको अपर्याप्तताका कारण पूर्ण रुपमा जल्न सकेन भने कार्बनमनोक्साइड ग्यास उत्सर्जन हुन्छ । यसका प्रमुख स्रोतहरूमा सवारी साधनको धुवाँ, औद्योगिक उत्सर्जन, वन डढेलो, फोहोर जलाउने कार्य, बालीनालीको अवशेष जलाउने कार्य र अन्य मानविय गतिविधिहरू पर्दछन् । त्यसै गरी तलको चित्रमा TROPOMI बाट प्राप्त कार्बन मनोक्साइडको सन् २०२४ को बार्षिक औसत देखाइएको छ । सन् २०२४ को उक्त तथ्याङ्क अनुसार कार्बनमनोक्साइडको बार्षिक औसत तराई क्षेत्र मा बढी देखिएको छ । पहाडी क्षेत्रमा भने नदिहरुको उपत्यकामा यसको मात्रा बढी देखिएको छ । यो तथ्याङ्कले यस अघी हामीले चर्चा गरेको AOD को तथ्याङ्कलाई थप पुष्टि गर्दछ । यसले तराई क्षेत्रमा वायु प्रदूषण उच्च रहेको थप पुष्टी गर्दछ ।



चित्र: सन् २०२४ मा CO को वार्षिक औसत

३.७ देशव्यापी रुपमा $PM_{2.5}$ को बार्षिक औसत

वातावरण विभागबाट नेपालमा सन् २०२४ का लागि $PM_{2.5}$ को वार्षिक औसत अनुमान गर्न Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) को मौसम सम्बन्धी तथ्याङ्क र वायु गुणस्तर मापन केन्द्रका अवलोकन तथ्याङ्कहरू प्रयोग गरी र्‍यान्डम फरेस्ट मोडेल (Random forest model) लागू गरिएको थियो । नेपालको सम्पूर्ण भौगोलिक क्षेत्रलाई करिब ५५×५५ कि.मि. (०.५°×०.६२५°) आकारका ग्रिडहरूमा विभाजन गरी प्रत्येक ग्रिडको औसत $PM_{2.5}$ स्तरको गणना गरिएको छ । यद्यपि यस नक्साले सहर–स्तरको सूक्ष्म विवरण प्रदान गर्दैन तर क्षेत्रीय स्तरमा वायु प्रदूषणको अवस्था आकलन गर्न भने यो उपयोगी हुन्छ । तल दिईएको चित्रमा सन् २०२४ को $PM_{2.5}$ को वार्षिक औसत देखाईएको छ । उक्त नक्सामा देखिएअनुसार तराई क्षेत्रमा उच्च प्रदूषण (रातो–गाढा सुन्तला रंग) तथा पहाडी र हिमाली क्षेत्रमा तुलनात्मक रूपमा कम प्रदूषण (हरियो–निलो रंग) देखिन्छ । यसले तराई क्षेत्रमा वायु प्रदूषणको उच्च जोखिम रहेको स्पष्ट गर्दछ ।



३.८ वायु प्रदूषणमा प्रभाव पार्ने मुख्य कारक तत्त्वहरू

३.८.१.वायुमण्डलीय प्रतिलोम (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 कहिलेकाहीँ 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 बस्दछन् । यस्तो प्रक्रियालाई वायुमण्डलीय प्रतिलोम (Atmospheric inversion) भनिन्छ । जाडो समयको बेला राति आकाश खुला छ भने बिहानीको समयमा यस्तो अवस्था सृजना हुने सम्भावना धेरै हुन्छ । प्रतिलोमका कारण पनि जाडो मौसममा प्रदूषण उच्च हुन जान्छ ।

३.८.२ हावाको बहाव

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

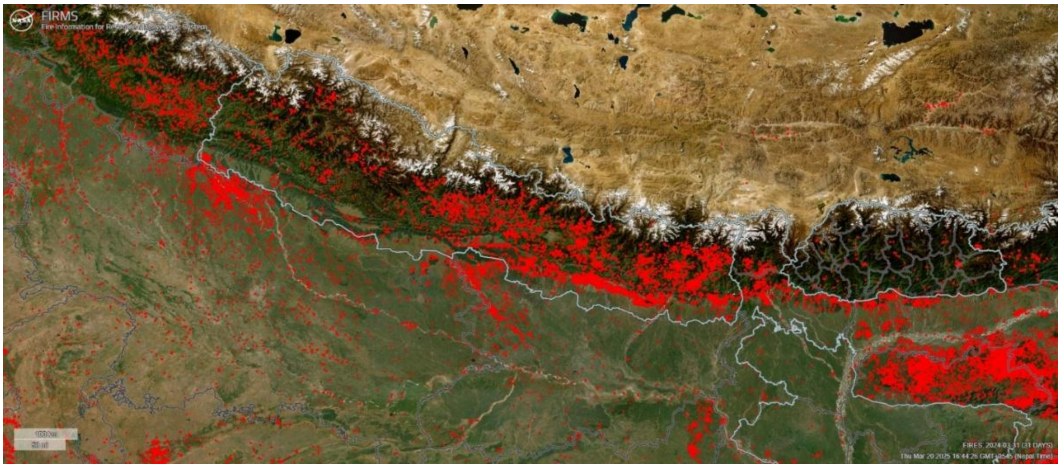
मसिना कणजन्य पदार्थहरूलाई हजारौं किलोमिटरको दुरीसम्म उडाएर पुऱ्याएका उदाहरण पनि छन् ।

३.८.३ वन डढेलो तथा कृषि जन्य अवशेषहरू जलाउने कार्य

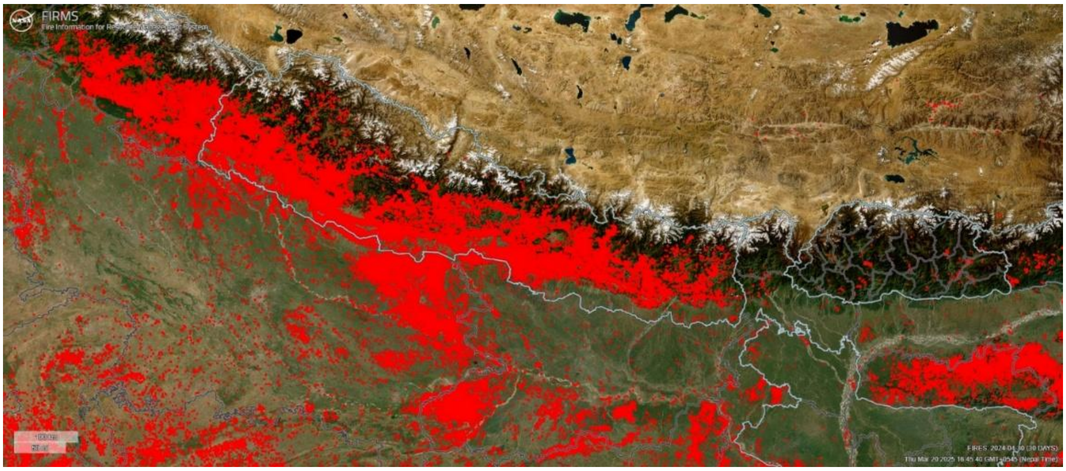
सामान्यतया चैत र वैशाख महिनामा वनडढेलो वायु प्रदूषणको प्रमुख कारक बन्ने गरेको पाइन्छ । कार्तिक-मङ्सिरमा नेपालमा यस्ता आगलागीका घटनाहरू कमै भए तापनि छिमेकी देश भारतमा भने यस्ता घटनाहरू प्रशस्तै हुने गरेका छन् । विशेषगरी भारतको पन्जाब र हरियाणामा धान काटेपछि परालमा आगो लगाउँदा त्यसको असर निकै टाढाटाढाका क्षेत्रसम्म पनि पर्ने गरेको पाइन्छ, जसले नेपालका धेरै स्थानहरूलाई प्रभावित गरेको पाइन्छ ।

NASA को Fire Information for Resource Management System (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 ।

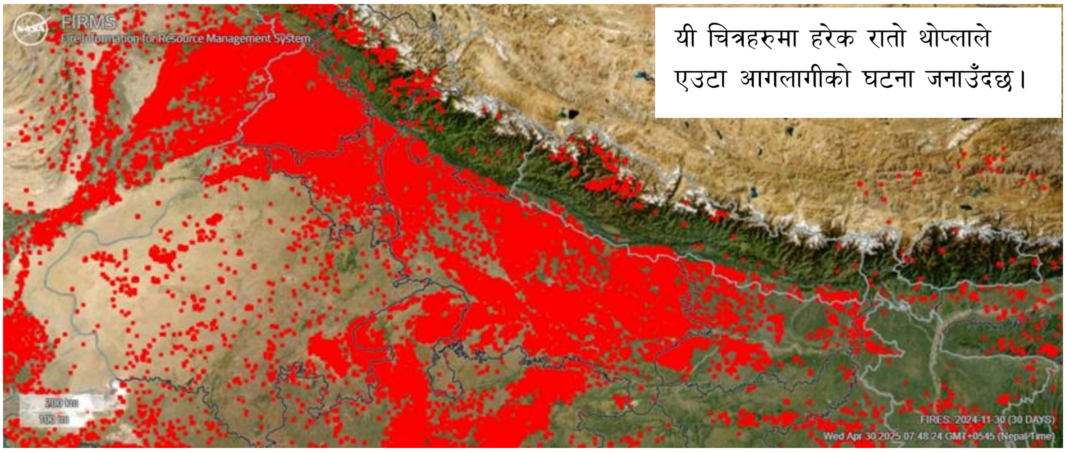
तल चित्रमा देखाइएझैं मार्च (फागुन/चैत) मा नेपालको पूर्वी भेगको तुलनामा पश्चिम भेगमा आगलागीका घटनाहरू कम रहेको देखिन्छ भने अप्रिल (चैत/वैशाख) मा उक्त भेगमा समेत व्यापक रूपमा आगलागीका घटनाहरू भएको पाइएको छ । त्यसैगरी नेपालको तराईसँगै जोडिएको भारतको उत्तरी भेगमा समेत अप्रिलमा ठुलो मात्रामा आगलागीका घटना भएको पाइएको छ । उक्त क्षेत्रमा यस समयमा कृषिजन्य अवशेषहरू जलाउने गरेको पाइन्छ । यसैगरी नोभेम्बर (कार्तिक/मंसिर) मा नेपालको तराई क्षेत्रमा केही मात्रामा आगलागिका घटनाहरु भएको देखिन्छ भने छिमेकी भारतको पंजाब तथा अधिकाँस गंगीय मैदान र पाकिस्तानको पंजाब क्षेत्रमा ठुलो मात्रामा आगलागीका घटना भएको पाइएको छ । उक्त क्षेत्रमा यस समयमा मुख्यतया पराल 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 ।



चित्रः सन् २०२४ मार्च महिनामा आगलागीका घटनाहरू



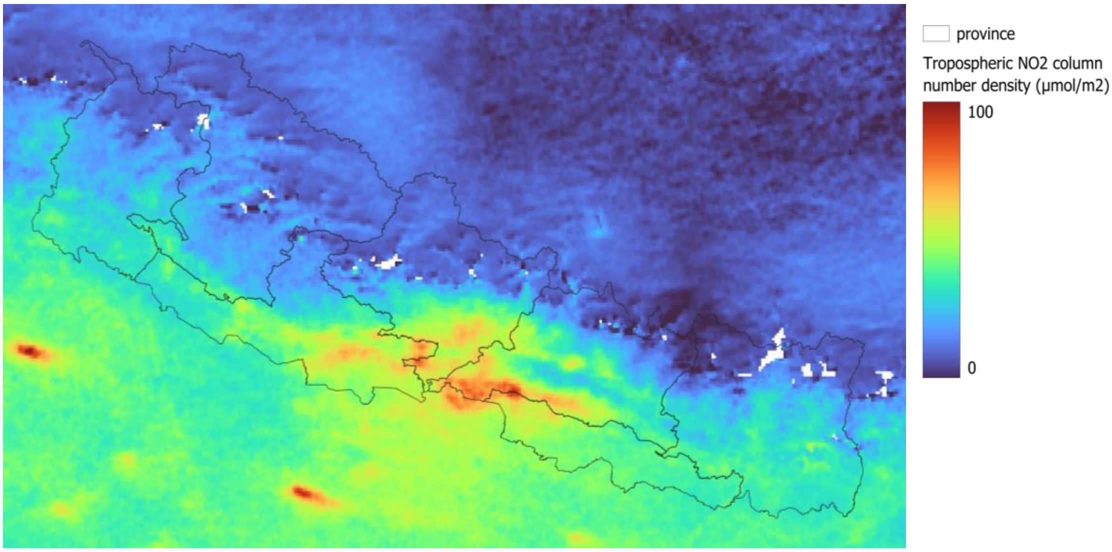
चित्रः सन् २०२४ अप्रिल महिनामा आगलागीका घटनाहरू



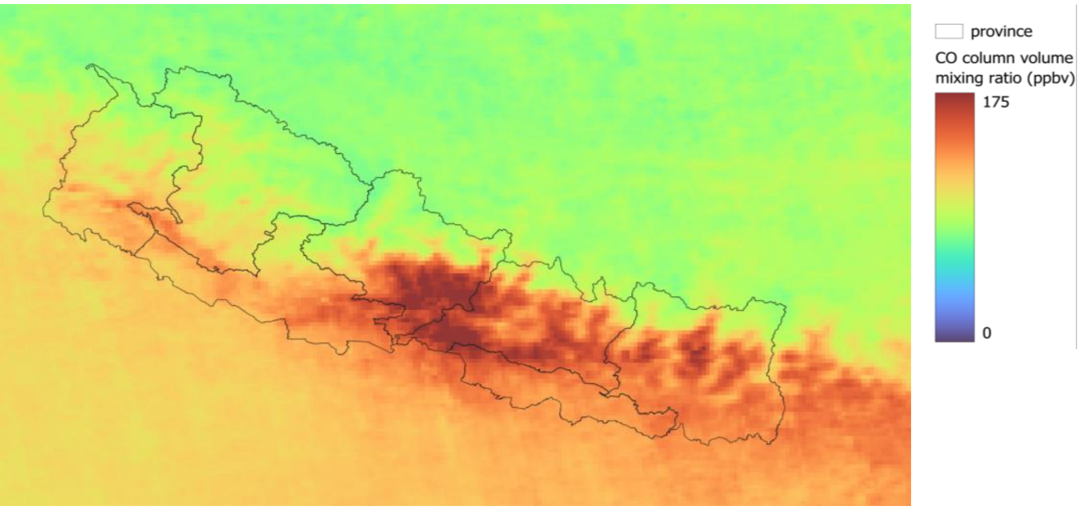
चित्रः सन् २०२४ नोभेम्बरमा आगलागीका घटनाहरू

श्रोतः NASA/FIRMS

यहाँ वातावरण विभागको वायु गुणस्तर स्थिति प्रतिवेदन सन् २०२३ बाट 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 प्रदूषित भएको थियो ।



चित्रः सन् २०२३ अप्रिलमा नाइट्रोजन डाइअक्साइड (NO_2) को सघनता

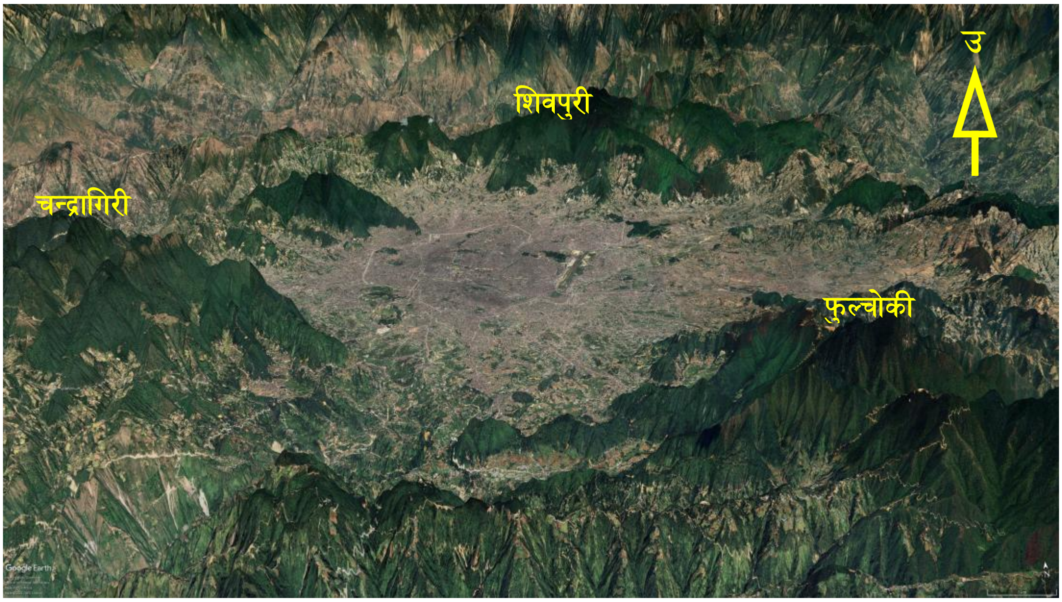


चित्रः सन् २०२३ अप्रिलमा कार्बनमोनोअक्साइड (CO) को सघनता

३.९ काठमाडौं उपत्यकामा वायु प्रदूषणको अवस्था

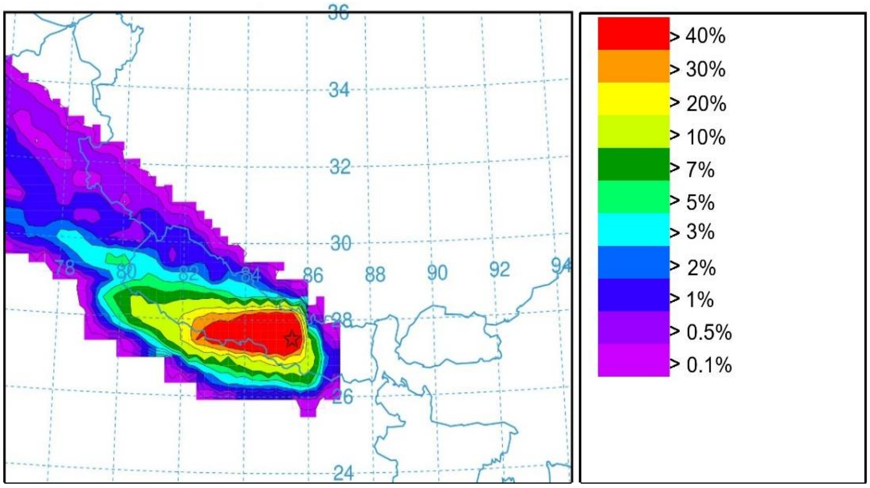
काठमाडौं नेपालको राजधानी सहर हो । काठमाडौं उपत्यकामा काठमाडौं जिल्ला, ललितपुर जिल्ला र भक्तपुर जिल्लाका भागहरु समेटिएका छन् । यस उपत्यकाको क्षेत्रफल करिब ६६५ वर्ग किलोमिटर रहेको छ । पछिल्लो जनगणना अनुसार काठमाडौं उपत्यकाको जनसंख्या करिब ३० लाख रहेको छ । काठमाडौं देशको राजधानी सहर मात्र नभएर आर्थिक केन्द्र पनि हो । काठमाडौं उपत्यका देशको उच्च प्रदूषण हुने क्षेत्र मध्ये एक हो । उपत्यकामा सवारी साधनबाट हुने प्रदूषणका अतिरिक्त उद्योग कलकारखानाबाट हुने प्रदूषण, घरायसी क्षेत्रबाट हुने प्रदूषण, फोहोरमैला र कृषि जन्य अवशेष जलाउँदा हुने प्रदूषण तथा काठमाडौं उपत्यका बाहिरबाट आउने प्रदूषण पनि रहेका हुन्छन् । काठमाडौं उपत्यकामा ईंटा उद्योग लगायत विभिन्न प्रकारका उद्योगहरु संचालनमा रहेका छन् ।

काठमाडौं उपत्यकाको भौगोलिक अवस्थितिले पनि यहाँ वायु प्रदूषण उच्च बनाउन भुमिका खेलेका छ । काठमाडौं उपत्यका कचौरा आकारको छ। उपत्यकाको चारैतिर पहाडहरु रहेका छन् । जसले काठमाडौं उपत्यकाको हावालाई सजिलै बाहिर निस्किन दिदैनन । यसकारण यहाँबाट उत्सर्जन भएका र भित्रिएका वायु प्रदूषकहरु छरिएर काठमाडौं बाहिर सजिलै जान पाउँदैनन । जसले गर्दा यहाँको वायु प्रदूषण उच्च हुन पुग्दछ ।

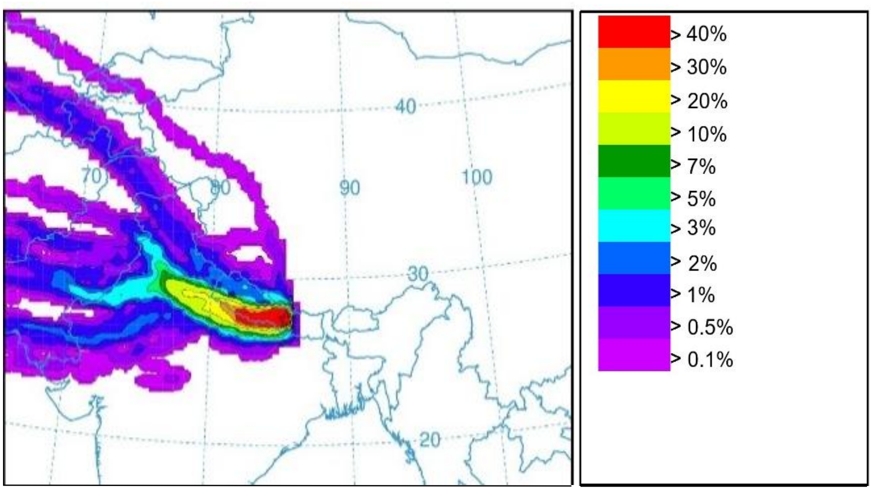


चित्र: गुगलअर्थबाट लिईएको काठमाडौं उपत्यकाको चित्र

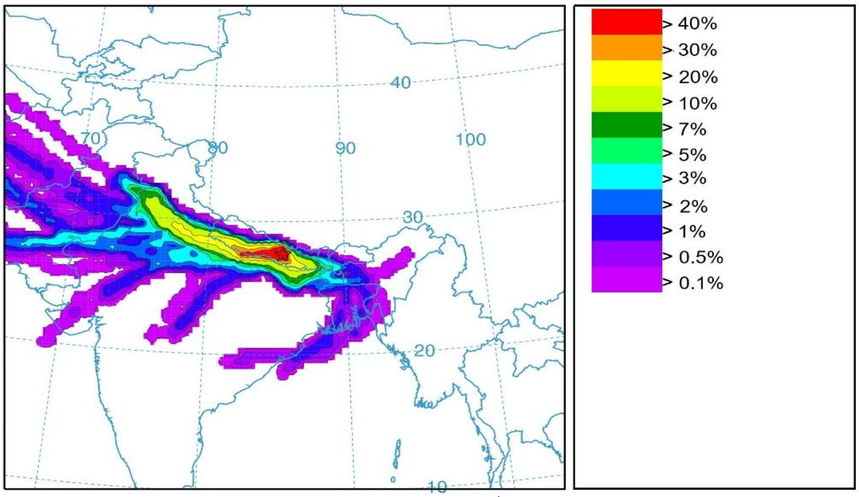
यसका अतिरिक्त काठमाडौं उपत्यका बाहिरबाट आउने प्रदूषणले समेत यहाँको प्रदूषण बढाउन मद्दत गरिरहेको हुन्छ । वातावरण विभागले प्रकाशित गरेको सन् २०२४ को वायु प्रदूषण सम्बन्धी स्थिति प्रतिवेदनमा काठमाडौं उपत्यकामा प्रदूषण उच्च हुने समयमा कहाँ कहाँबाट काठमाडौं हावा आएको थियो भन्ने देखाइएको छ । उक्त प्रतिवेदनमा HYSPLIT मोडेल प्रयोग गरी काठमाडौं उपत्यकामा आउने हावाको पाँच दिनअघिसम्मको मार्ग (Back trajectory) विश्लेषण गरिएको छ । यस विश्लेषणमार्फत सन् २०२४ को जनवरी देखि अप्रिल तथा नोभेम्बर र डिसेम्बर महिनामा कुन कुन क्षेत्रबाट हावा काठमाडौं उपत्यकातर्फ प्रवेश गरेको थियो भन्ने देखाएको छ ।



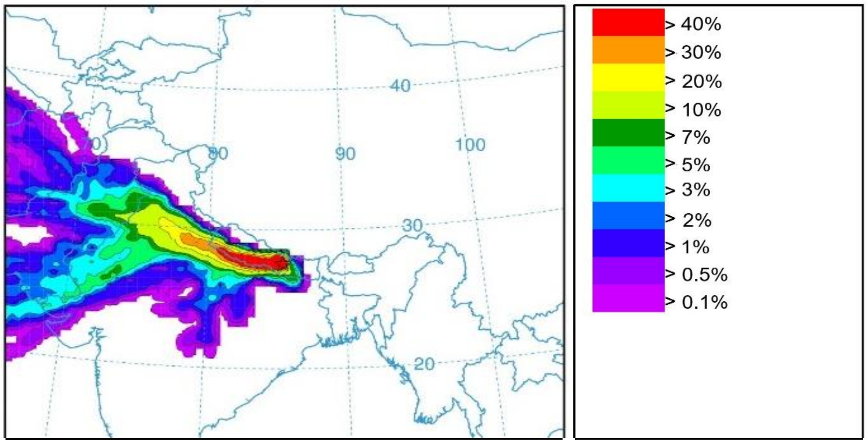
जनवरी (पुष/माघ)



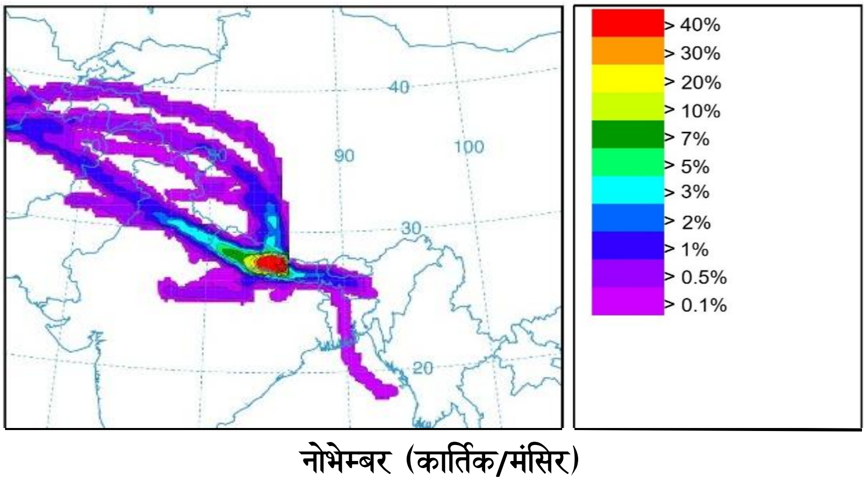
फेब्रुअरी (माघ/फागुन)



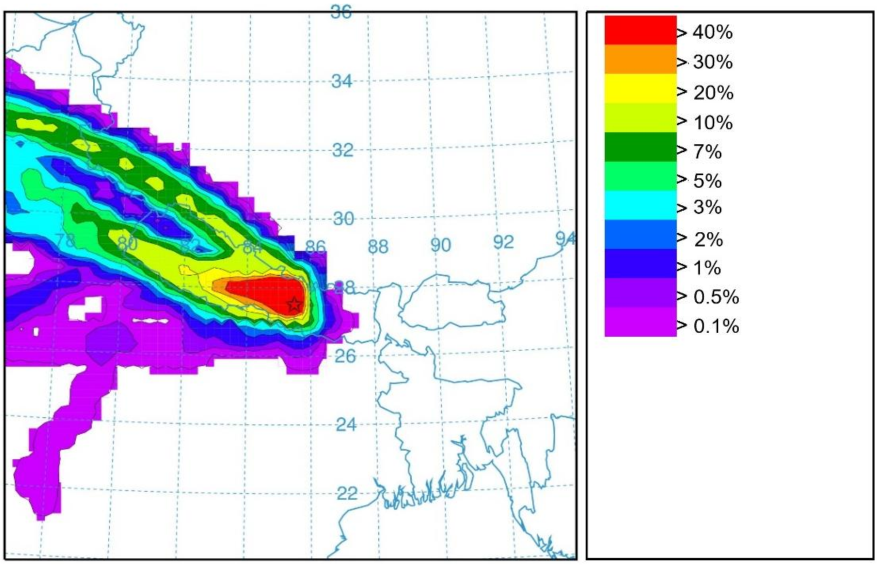
मार्च (फागुन/चैत्र)



अप्रिल (चैत्र/वैशाख)



नोभेम्बर (कार्तिक/मंसिर)



डिसेम्बर (मंसिर/पौष)

चित्रहरु: विभिन्न महिनामा काठमाडौं उपत्यकामा वायु प्रबाह हुने क्षेत्र

माथिका चित्रहरूमा रातो रंगले काठमाडौं उपत्यकामा प्रवेश गर्ने वायुको प्रमुख स्रोतलाई जनाउँछ (पछिल्ला पाँच दिनमा कुल समयको ४०%) । जनवरीदेखि अप्रिल तथा नोभेम्बर र डिसेम्बर महिनामा काठमाडौं उपत्यकामा आउने वायु मुख्तया पश्चिमी क्षेत्रहरूबाट आएको देखिन्छ । यसले भारत र पाकिस्तानका केही भागहरू समेट्ने पञ्जाब क्षेत्रबाट समेत काठमाडौं उपत्यकामा वायु प्रवाह भएको देखाउँदछ । यो क्षेत्र मा बिशेषत नोभेम्बर, डिसेम्बरमा ठूलो मात्रामा पराल जलाउने गरिन्छ, जसले क्षेत्रीय स्तरमा वायु प्रदूषण बढाउन योगदान पुऱ्याउन सक्छ ।

यसै गरी चैत्र र वैशाख महिनामा काठमाडौं उपत्यकामा देशका विभिन्न भागमा लाग्ने वन डढेलो कारण वायु प्रदूषण उच्च हुन पुग्दछ । माथिको चित्रहरुले विशेषत काठमाडौं उपत्यका भन्दा दक्षिण तथा पश्चिम तर्फ हुने वन डढेलोको घटनाहरुले काठमाडौं उपत्यकाको वायु गुणस्तर बढी प्रभावित हुने देखाउँदछ।

३.१० तराई क्षेत्रमा किन वायु प्रदूषण उच्च रहेको छ ?

नेपालको तराई क्षेत्रमा वायु प्रदूषण उच्च रहेको पाइन्छ । त्यसमा पनि पश्चिम तराईको तुलनामा पुर्वी तराईमा वायु प्रदूषण बढी रहेको देखिन्छ । विशेष गरी हिउँद याममा यस क्षेत्रमा वायु प्रदूषण उच्च हुन पुग्दछ । तराई क्षेत्रमा वायु प्रदूषण उच्च हुनुका धेरै कारणहरु रहेका छन् ।

देशका अन्य क्षेत्रको तुलनामा तराईमा जनघनत्व उच्च रहेको छ । तराईले देशको कुल भूभागको करिब १७ प्रतिशत क्षेत्रफल ओगट्दछ भने यस क्षेत्रको जनसंख्या देशको कुल जनसंख्यको आधा भन्दा बढी रहेको छ । ग्रामिण क्षेत्रमा खाना पकाउनको लागि दाउरा, गुईठा आदि प्रयोग गरिन्छ । त्यसै गरी गाई वस्तुको लागि आहार पकाउन पनि दाउरा, गुईठा आदि प्रयोग हुन्छ । यस्ता इन्धन दहन प्रकृयामा बढी धुवाँ निस्किने हुँदा यस क्षेत्रमा घरायसी क्षेत्रबाट हुने उत्सर्जन बढी रहेको छ ।

यस्तै औद्योगिक क्षेत्रबाट हुने उत्सर्जन पनि यस क्षेत्रमा बढी नै रहेको पाइन्छ । अधिकाशं ठुला उद्योगहरु तराईमा नै रहेका छन् । बिशेष गरी मोरङ, सुनसरी, बारा पर्सा, नवलपरासी, रुपन्देही जिल्लामा धैरै उद्योगहरु संचालनमा रहेका पाइन्छन् । अधिकांश सिमेन्ट उद्योगहरु पनि तराई क्षेत्रमा नै छन् । त्यस्तै तराई क्षेत्रमा धेरै ईंटा उद्योगहरु पनि संचालनमा रहेका छन् । यस्ता उद्योगहरुले इन्धनका रुपमा कोइला, धानको भुस आदि बाल्ने गर्दछन् । यस क्रममा निस्किने धुलो धुवाँ पनि वायु प्रदूषणको प्रमुख स्रोत हो ।

तराई क्षेत्रमा कृषि जन्य अवशेषहरु जलाउने कार्य पनि धेरैनै भएको पाइन्छ । खेतिपाती गर्दा निस्किने बालीनालीका अवशेषहरु जस्तै पराल, गहुँको छवाली आदि बाल्ने गरेको पाइन्छ। जसले प्रदूषण बढाउन भुमिका खेलेको छ। यसै गरी तराईमा घुर बाल्ने चलन पनि रहेको छ।

त्यस्तै चैत्र र वैशाख महिनमा चुरे र तराईका जंगलमा लाग्ने डढेलोको कारण यस क्षेत्रको वायु प्रदूषित बन्न पुग्दछ।

तराईमा रहेका ठुला सहरहरुमा सवारीका साधनबाट हुने उत्स्रजन पनि वायु प्रदूषणको प्रमुख स्रोतको रुपमा रहेको छ। विराटनगर, जनकपुर, विरगंज, भरतपुर, बुटवल, नेपालगंज, धनगढी जस्ता ठुला सहरहरुमा तिब्र शहरीकरण भईरहेको छ। उक्त सहरहरुमा सवारी साधनको संख्या पनि तिब्ररुपमा बृद्धि भइरहेको छ।

तराईको भुगोल र मौसमको भुमिका

तराईको भुगोल र यहाँको मौसमले पनि वायु प्रदूषण उच्च हुनुमा भुमिका खेलेको छ । तराई क्षेत्र बृहत गंगिय मैदानको अंश हो । यो समथर भूभागको उचाई कम रहेको छ । नेपालको तराई क्षेत्रको उचाई समुन्द्र सतहबाट करिब ६० देखि ३०० मिटर सम्म रहेको छ । तराईको उत्तर तर्फ चुरे पहाड रहेको छ भने दक्षिण तर्फ भारतको उच्च भुमि रहेको छ । जसले गर्दा तराईको यो होचो

र साँघुरो मैदान उपत्यका जस्तै रहेको छ।यसकारण यहाँ उत्सर्जन हुने प्रदूषण सजिलै फैलिएर जान पाउँदैन ।

पौष माघ महिनामा मौसमले पनि वायु प्रदूषण उच्च गराउन भुमिका खेल्दछ । यस समयमा जमिन सँगैको हावा चिसो हुन्छ भने उक्त चिसो हावा माथि तातो हावाको तहले ढाकेको हुन्छ । उक्त तातो हावाको तहले ढकनीको जस्तो काम गर्दछ जसले गर्दा जमिन नजिकको हावा फैलिन पाउँदैन र यो हावा स्थिर भएर बस्दछ । जसले गर्दा प्रदूषण पनि बढ्न पुग्दछ । यस्तो क्रिया लाई वायुमण्डलीय प्रतिलोम भनिन्छ । यो प्रक्रियाको बारेमा अगाडी पनि चर्चा गरिएको छ । हिउँदको समयमा तराईमा शित लहर चल्दछ । यस्तो बेला हुस्सु लाग्दछ र कैयौ दिन सम्म घाम लाग्दैन । यस्तो बेला वायु प्रदूषणको जोखिम पनि उच्च हुन्छ । प्राय यो हुस्सु सँगै वायु प्रदूषकहरु मिसिएर रहेका हुन्छन् ।

सिमापार प्रदूषण (Transboundary air pollution) को असर

पाकिस्तानदेखि बंगलादेशसम्मको विशाल समथर भागलाई गंगिय मैदान (Indo gangetic plain) भनिन्छ । नेपालको तराई क्षेत्र पनि यो विशाल मैदानको एक भाग हो । यहाँको जमिन उर्वर रहेको छ । त्यसकारण यस क्षेत्रको जनघनत्व पनि उच्च रहेको छ । यो क्षेत्र विश्वमै अति प्रदूषित क्षेत्र मध्ये एक हो । विशेषत हिउँदको समयमा जतिबेला वायु प्रदूषण उच्च हुन्छ यो समयमा हावा पश्चिम दिशाबाट पूर्व दिशा तर्फ बहन्छ । यस मैदानको एक स्थानमा हुने प्रदूषणले अर्को ठाउँको वायुको गुणस्तरमा असर गरिरहेको हुन्छ । तराई क्षेत्रको वायु गुणस्तरमा स्थानीय स्रोतहरू मात्र नभई छिमेकी क्षेत्रका प्रदूषणका स्रोतहरूको पनि ठूलो प्रभाव परेको पाइन्छ। यस्तो सिमापार प्रदूषणका कारण नेपालले आफ्ना प्रयासहरूले मात्र वायु गुणस्तर सुधार गर्न गाह्रो हुने देखिन्छ । यसका लागि क्षेत्रीय तथा अन्तर्राष्ट्रिय समन्वय र सहकार्य अपरिहार्य रहन्छ ।

खण्ड चार

वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका उपायहरू र रणनीतिहरु

यस अघिका खण्डहरुमा हामीले वायु प्रदूषण भनेको के हो, वायु प्रदूषणका स्रोतहरु के के हुन्, यसका असरहरु के के हुन्छन्, वायु प्रदूषणका असरहरु कति गम्भिर छन् र नेपालमा वायु प्रदूषणको अवस्था कस्तो छ जस्ता विषयमा चर्चा गर्‍यौं । यस खण्डमा हामीले वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका उपायहरु के के हुनसक्दछन् र यसका लागि हामीले के-कस्ता रणनीतिहरु अपनाउन सकिन्छ भन्ने बारेमा चर्चा गर्नेछौं ।

४.१ स्वच्छ तथा वैकल्पिक इन्धनको प्रवर्द्धन

वायु प्रदूषणको प्रमुख स्रोत उर्जा दहन प्रकृयाबाट हुने उत्सर्जन हो । तसर्थ परम्परागत इन्धनको प्रयोगको विकल्पमा स्वच्छ तथा वैकल्पिक इन्धनको प्रयोग गरेर वायु प्रदूषणलाई प्रभावकारी रूपमा कम गर्न सकिन्छ । नेपाली समाजमा परम्परागत रूपमा खाना पकाउनका लागि दाउरा, गुइँठा, कृषिजन्य वस्तुहरु आदिको प्रयोग हुँदै आएको छ । यस्ता इन्धनले अत्यधिक धुवाँ तथा हानिकारक प्रदूषक उत्सर्जन गर्ने भएकाले यसले वायु प्रदूषण वृद्धि हुने र स्वास्थ्यमा नकारात्मक असर पर्ने गरेको छ । यी परम्परागत इन्धनको सट्टामा कम प्रदूषण उत्सर्जन गर्ने इन्धनहरू जस्तै बायोग्यास, विद्युतिय चुलो, एलपी ग्यास (LPG) आदिको प्रयोगबाट घरायसी क्षेत्रबाट हुने वायु प्रदूषणलाई न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ । साथै, सुधारिएको चुल्होको प्रयोगले पनि इन्धनको खपत घटाउँदै प्रदूषण नियन्त्रण गर्न मद्दत गर्दछ ।

घरायसी क्षेत्रबाहेक यातायात र उद्योग क्षेत्रहरू पनि वायु प्रदूषणका प्रमुख स्रोतहरू हुन् । यातायात क्षेत्रमा डिजेल तथा पेट्रोलबाट सञ्चालित सवारी साधनहरूको सट्टामा विद्युतिय सवारी साधन (Electric Vehicle- EV) को प्रयोगलाई प्रवर्द्धन गर्न सकिन्छ । यसले शहरी क्षेत्रमा हुने प्रदूषण न्यूनीकरण गर्न सहयोग गर्दछ । साथै ठूलो मात्रामा इन्धन आयात गर्न खर्चिने विदेशी मुद्रा बचत गर्न मद्दत पुग्छ, जसले देशको अर्थतन्त्रलाई समेत सुदृढ बनाउँन मद्दत गर्दछ ।

नेपालका उद्योग तथा कलकारखानाहरूमा विभिन्न प्रकारका इन्धनहरू प्रयोग हुँदै आएका छन् । उद्योगको प्रकृति र प्रक्रिया अनुसार प्रयोग हुने इन्धनको प्रकार तथा मात्रा फरक–फरक हुने गर्दछ । विशेषतः धेरै ताप आवश्यक पर्ने उद्योगहरू जस्तै ईंटा, सिमेन्ट, फलाम, स्टिल उद्योगहरूमा जीवाश्म इन्धनको प्रयोग अत्यधिक देखिन्छ । नेपालको सन्दर्भमा हेर्दा, ईंटा तथा सिमेन्ट उद्योगहरूमा

कोइलाको प्रयोग सबैभन्दा बढी हुने गरेको पाइन्छ । कोइलाको प्रयोगबाट नाइट्रोजनका अक्साइडहरु (NOx), सल्फर डाइअक्साइड (SO_2), कार्बन मोनोअक्साइड (CO), कणजन्य पदार्थ (PM) लगायतका प्रदूषक ग्यासहरू उत्सर्जन हुने गर्दछ । कोइलाको गुणस्तरले पनि उद्योगबाट हुने उत्सर्जनमा फरक पार्दछ । धेरै सल्फर भएको कोइलाले सल्फर डाइअक्साइड जस्ता हानिकारक ग्यासहरूको उत्सर्जन अत्यधिक गराउँछ, जसले मानव स्वास्थ्य र वातावरणमा गम्भीर असर पुऱ्याउँछ ।

यसैगरी उद्योगहरूमा कोइलासँगै फर्नेस आयल, डिजेल, धानको भुस, दाउरा जस्ता इन्धनहरू प्रयोग गरिन्छ । केही उद्योगहरूले परम्परागत इन्धनको विकल्पमा विद्युत तथा सौर्य ऊर्जाको प्रयोगसमेत गर्न थालेका छन्, यद्यपि यसको प्रयोग हालसम्म न्यून रहेको छ । उद्योगहरूमा प्रयोग भइरहेको कोइला, फर्नेस आयल, डिजेल जस्ता जिवाष्म इन्धनको सट्टामा बायोमास ब्रिकेट, बायोग्यास, सौर्य ऊर्जा, तथा विद्युतको प्रयोग विस्तार गर्न सकिने सम्भावना छ । यसले नविकरणीय उर्जाको प्रयोग बढाउँदै वायु प्रदूषणलाई न्यूनीकरण गर्नुका साथै ऊर्जा सुरक्षामा समेत टेवा पुऱ्याउँछ ।

उद्योगहरुमा उर्जा चुहावट नियन्त्रण गर्नु अर्को महत्वपूर्ण विषय हो । उर्जा चुहावट कम गर्न सकेमा उर्जाको खपत पनि कम हुने र यसबाट हुने वायु प्रदूषण समेत कम गर्न सकिन्छ । उद्योगहरूमा ऊर्जा लेखापालन (Energy audit) गरेर काहाँ ऊर्जा खेर गइरहेको छ भन्ने मूल्याङ्कन गरी त्यसअनुसार सुधारात्मक उपायहरू अवलम्बन गर्न सकिन्छ।

४.२ प्रदूषण नियन्त्रण प्रविधिहरू अवलम्बन गर्ने

उद्योग कलकारखाना, यातायातका साधन तथा विभिन्न उपरकरणको संचालनबाट हुने प्रदूषण नियन्त्रणका लागि विभिन्न प्रदूषण नियन्त्रणका उपकरणहरु प्रयोग गरी वायु प्रदूषण कम गर्न सकिन्छ । यहाँ उद्योगहरुमा प्रयोग हुने केही प्रदूषण नियन्त्रणका उपकरणहरुको बारेमा संक्षिप्त रुपमा चर्चा गरिएको छ ।

साइक्लोन/मल्टि साइक्लोन

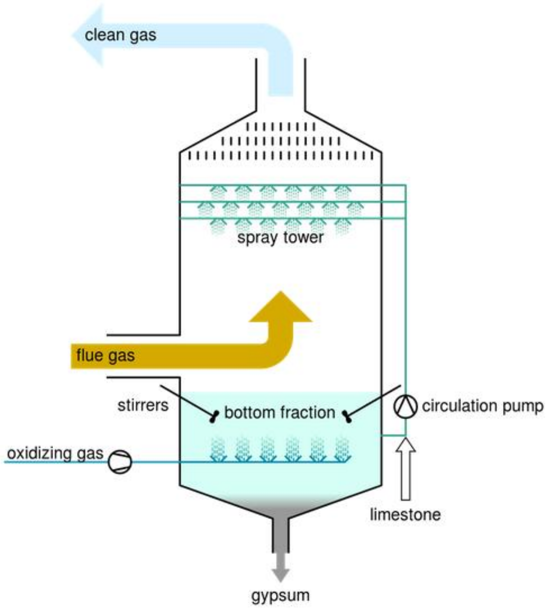
साईक्लोन/मल्टिसाइक्लोन कणजन्य पदार्थ (PM) नियन्त्रणका लागि प्रयोग गरिन्छ । विशेष गरी उद्योगको ब्वाइलरबाट निस्किने कणजन्य पदार्थ (PM) नियन्त्रणका लागि यिनिहरुको प्रयोग गरिन्छ । तुलनात्मक रुपमा ठुला आकारका कणहरुलाई नियन्त्रण गर्न यो उपकरण बढी प्रभावकारी हुन्छ ।

चित्रः साइक्लोन

चित्रः मल्टि साईक्लोन

वेट स्क्रबर

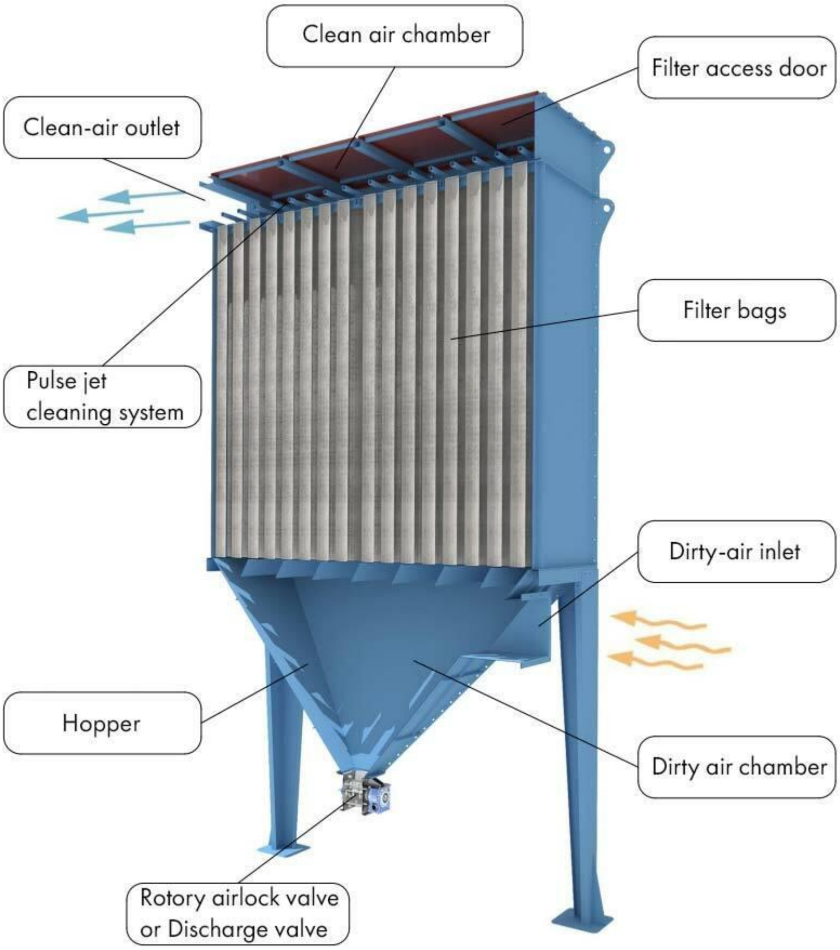
वेट स्क्रबर (Wet Scrubber) वायु प्रदूषण नियन्त्रण गर्ने एक उपकरण हो, जसले प्रदूषित ग्यास वा कणजन्य पदार्थ (PM) भएको हावालाई पानीसँग सम्पर्क गराइ प्रदूषक हटाउने काम गर्छ । उद्योगमा जडान गरिएका व्वाइलर, फर्नेसका साथै ईंटा उद्योग लगायतमा यसको प्रयोग हुन्छ । यसले कणजन्य पदार्थ (PM) का अतिरिक्त विभिन्न ग्यासजन्य प्रदुषकहरु (जस्तै SO_2) तथा केही विषालु ग्यास हटाउन मद्दत गर्दछ ।



चित्रः वेट स्क्रबर

ब्याग फिल्टर/ब्याग हाउस फिल्टर (Bag filter/Bag house filter)

यसले दूषित हावालाई विशेष प्रकारका फिल्टर ब्यागहरु मार्फत प्रवाह गराई काम गर्छ । हावामा रहेका धुलो तथा सूक्ष्म कणहरू फिल्टर झोलाको सतहमा अड्किन्छन् भने सफा हावा बाहिर निस्कन्छ । यस प्रणालीलाई औद्योगिक धुलो नियन्त्रणका लागि अत्यन्त प्रभावकारी प्रविधिका रूपमा प्रयोग गरिन्छ । यो उपकरण मसिना कणजन्य पदार्थहरु ($PM_{2.5}$ र PM_{10}) नियन्त्रणमा प्रभावकारी हुन्छ ।



चित्रः ब्याग हाउस फिल्टर

४.३ उत्पादन प्रकिया वा प्रविधिमा परिवर्तन

वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका लागि उत्पादन प्रक्रियामा सुधार र स्वच्छ प्रविधिको अवलम्बन महत्त्वपूर्ण उपाय हो । उत्पादन प्रक्रिया वा प्रविधिमा परिवर्तन गरेर वायु प्रदूषण नियन्त्रण गर्नु एक दिगो र प्रभावकारी उपाय हो। यस अन्तर्गत पुराना बढी धुवाँ र हानिकारक ग्यास उत्सर्जन गर्ने प्रविधिलाई विस्थापित गरी आधुनिक, वातावरणमैत्री र ऊर्जा-दक्ष प्रविधि (Cleaner Production Technologies) अपनाइन्छ । उदाहरणका लागि, जीवाश्म इन्धन (कोइला वा खनिज तेल) को सट्टा सौर्य ऊर्जा, जलविद्युत वा प्राकृतिक ग्यास जस्ता स्वच्छ ऊर्जाका स्रोतहरू प्रयोग गर्न सकिन्छ । उत्पादन प्रक्रियामा कच्चा पदार्थको छनोट गर्दा कम प्रदूषक गर्ने सामग्रीहरू रोज्ने र रासायनिक प्रतिक्रियाहरूलाई परिमार्जन गरेर हानिकारक ग्यासहरूको उत्पादन सुरुमै न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ । यसका साथै, उद्योगभित्रै प्रदूषण गर्ने सामग्रीहरूलाई पुनः चक्रण (Recycling) गरी पुनः प्रयोग गर्ने

प्रविधि जडान गर्दा वायुमण्डलमा हानिकारक तत्वहरू थपिन पाउँदैनन् । यसरी प्रदूषणको स्रोत (Source) मै प्रविधि सुधार गर्दा वायुको गुणस्तर जोगिनुका साथै उत्पादकत्व र ऊर्जा बचतमा समेत टेवा पुग्छ । यस सन्दर्भमा नेपालका ईंटा उद्योगहरूलाई उदाहरणका रूपमा लिन सकिन्छ ।

सुरुमा, सार्न मिल्ने चिम्नी (Movable chimney) भएका परम्परागत ईंटा उद्योगहरू सञ्चालनमा थिए, जसबाट उच्च मात्रामा वायु प्रदूषण हुने गर्दथ्यो । पछि स्थिर चिम्नी (fixed chimney) भएका ईंटा उद्योगहरू सञ्चालनमा आए, जसबाट तुलनात्मक रूपमा कम प्रदूषण उत्सर्जन हुन्छ । विस्तारै प्रविधिमा सुधार गर्दै Vertical Shaft Brick Kiln (VSBK) नामक प्रविधिको प्रयोग थालियो, जुन अघिल्ला प्रविधिहरूको तुलनामा बढी स्वच्छ र उर्जा-कुशल (Energy efficient) थियो । तर विविध प्राविधिक तथा संस्थागत कारणले यो प्रविधि दिगो रूपमा सफल हुन भने सकेन । हाल नेपालमा भएका स्थिर चिम्नी (fixed chimney) प्रणालीका उद्योग मध्ये केही उद्योगहरुमा परिमार्जन गरी Zig-Zag प्रविधि अपनाइएको छ, जसले ईंटाको गुणस्तरमा सुधार गर्नुका साथै वायु प्रदूषण पनि उल्लेखनीय रूपमा घटाउने गरेको छ । पछिल्लो समय अझै नयाँ प्रविधिहरू पनि भित्रिएका छन्, जसमध्ये Hybrid Hoffman Kiln (HHK) तुलनात्मक रूपमा कम प्रदूषण गर्ने र दक्ष प्रविधि हो भने Tunnel Kiln अत्यधिक स्वच्छ, उर्जा-कुशल र वातावरणमैत्री प्रविधि हो ।

४.४ फोहरमैलाको उचित व्यवस्थापन

खुला रूपमा फोहोरमैला जलाउने कार्य पनि वायु प्रदूषणको एक प्रमुख कारक हो । फोहोरमैला जलाउँदा कणजन्य पदार्थका अतिरिक्त विभिन्न हानिकारक ग्यासहरु उत्सर्जन हुन्छन् । यसकारण फोहोमैलाको वातावरणमैत्री तथा दिगो व्यवस्थापनमार्फत यसबाट हुने वायु प्रदूषणको न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ । खुला रूपमा फोहोर नजलाउने तथा फोहोरको उचित व्यवस्थापनका लागि ३ आर (3R) सिद्धान्तलाई मनन गरी व्यावहारिक रूपमा लागु गरेमा फोहोरमैलाबाट हुने वायु प्रदूषण न्यूनिकरण गर्न सकिन्छ ।

१. पहिलो आर   फोहोरको उत्पादन कम गर्ने (Reduce) ।

अनावश्यक वस्तुहरूको प्रयोग नगरेर (Refuse), फोहोर कम उत्पादन हुनेवस्तुहरू प्रयोग गरेर फोहोरको उत्पादन नै कम गर्न सकिन्छ । उदाहरणका लागि प्लाष्टिक झोलाहरु को प्रयोग नगर्ने (सामान खरिद गर्न जाँदा पटक पटक प्रयोग गर्न सकिने कपडाको झोला प्रयोग गर्ने) धेरै फोहोर उत्पादन हुने वस्तुहरु

(जस्तै धेरै प्याकेजिङ भएका वस्तुहरु खरिद नगर्ने, खानाहरु खेर नफालेर) पनि फोहोर उत्पादन कम गर्न सकिन्छ ।

२. दोस्रो आर एउटै वस्तु धेरैपटक प्रयोग गर्ने (Reuse)।
उदाहरणका लागि सिसाको बोतलहरु पटक पटक प्रयोग गर्न सकिन्छ । कुनै सामान बिग्रिने बित्तिकै फ्याक्नुको सट्टा मर्मत गरेर पुनः प्रयोग गर्ने आदि ।

३. तेस्रो आर खेर गएका सामग्रीहरुबाट उपयोगी सामग्रीहरु बनाउनको लागि खेर गएका सामग्रीहरुलाई कच्चा पदार्थको रूपमा पुनः प्रशोधन (Recycle) गर्ने ।
उदाहरणका लागि प्लाष्टिक रिसाइक्लिङ, कागज रिसाइक्लिङ आदि । घरबाट निस्किएको प्लाष्टिकहरु, कागजहरु, धातुहरु आदिलाई फोहोरको रुपमा फ्याँक्नुको सट्टामा यस्ता वस्तुहरु सङ्कलन गर्न आउने मानिसहरुलाई दिएर हामीले रिसाइक्लिङमा योगदान गर्न सक्छौ ।

फोहोरमैलाको वातावरणमैत्री व्यवस्थापनको पहिलो खुड्किलो फोहोरको वर्गीकरण हो। फोहोरलाई स्रोत (अर्थात् फोहोर उत्पादन हुने स्थान) मा नै वर्गीकरण गर्नुपर्दछ । फोहोर सङ्कलन भएपश्चात यसको वर्गीकरण गर्ने कुरा निकै गाह्रो हुन्छ । फोहोर वर्गीकरण गरेपश्चात कुहिने फोहोरबाट कम्पोस्ट मल बनाई खेतबारीमा प्रयोग गर्न सकिन्छ । त्यसबाहेक बिक्री हुने फोहोर बिक्री गर्न सकिन्छ भने यसो गर्दा ल्यान्डफिलमै फाल्नु पर्ने फोहोरको मात्रा निकै कम हुन्छ।

स्वास्थ्यसंस्थाजन्य फोहोर व्यवस्थापनमा नजलाउने प्रविधिको प्रयोग

स्वास्थ्यसंस्थाबाट निस्किने केही फोहोर हानिकारक हुने भएकोले यस्तो फोहोरको सोही अनुरुप व्यवस्थापन गर्नु पर्दछ । अस्पतालबाट निस्किने केही फोहोर संक्रामक हुन्छ । यस्तो फोहोरमा रोगका किटाणु, जिवाणु वा परजिवीहरु हुन्छन् । यस्तो फोहोरलाई विना उपचार ल्यान्डफिलमा वा अन्यत्र विसर्जन गर्दा रोगको संक्रमण फैलिने जोखिम रहन्छ ।

अस्पतालजन्य फोहोरलाई खुल्ला रुपमा वा कम तापक्रममा इन्सिनिरेसन (Incineration) गर्ने गरेको पनि पाइन्छ । इन्सनिरेसन भनेको फोहोरलाई इन्सिनिरेटर भन्ने विशेष उपकरणमा नियन्त्रित रुपमा निस्चित तापक्रममा जलाउने प्रविधि हो । फोहोरलाई खुला रुपमा जलाउँदा वा कम तापक्रममा इन्सिनिरेसन गर्दा अन्य प्रदुषकका अतिरिक्त डाइक्सिन र फ्युरान जस्ता क्यान्सर गराउन सक्ने

ग्यासहरुको उत्सर्जन हुन सक्छ । उक्त ग्यासहरुको उत्सर्जन हुन नदिन फोहोरलाई उच्च तापक्रममा इन्सिनिरेसन गर्नुपर्दछ । नेपाल सरकारले इन्सिनिरेसनमा फोहोर जलाउन कायम गर्नुपर्ने तापक्रमको मापदण्ड १९०० डि. से. तोकेको छ।

फोहोरलाई इन्सिनिरेसन गर्नुको सट्टामा अन्य नजलाउने प्रविधिहरुको प्रयोगलाई प्राथमिकता दिनुपर्दछ। धेरै देशहरुले इन्सिनिरेटरको सट्टामा अन्य प्रविधिहरुलाई बढावा दिएका छन् । यसका केही कारणहरु यस्ता रहेका छन् ।

- इन्सिनिरेटरले हानिकारक वायु प्रदुषकहरु उत्सर्जन गर्दछन् ।
- इन्सिनिरेटरबाट हानिकारक खरानी निस्किन्छ जसको व्यवस्थापन सोही अनुरुप गर्नुपर्दछ।
- इन्सिनिरेटर स्थापना तथा संचालन खर्चिलो हुन्छ ।

हाल नेपालमा धेरै प्रयोगमा भएको प्रविधि अटोकेलेभ (Autoclave) हो । फोहोरलाई अटोकेलेभमा निर्मलिकरण गरे पश्चात उक्त फोहोरलाई सामान्य फोहोरजस्तै व्यवस्थापन गर्न पनि सकिन्छ ।

४.५ बालीनालीको अवशेष (Residue) जलाउने कार्य नियन्त्रण गर्ने

दक्षिण एसियाका अन्य देशहरुमा जस्तै नेपालमा पनि बालीनाली भित्र्याएपछि बालीनालीको अवशेषहरूमा आगो लगाउने प्रचलन रहेको पाइन्छ । यस्ता क्रियाकलापले वायु प्रदूषण गराउनुका साथै माटोमा रहेको जैविक पदार्थ नष्ट गरी माटोको उर्वराशक्तिमा समेत ह्रास ल्याउने गरेका छन् । परम्परागत रुपमा कृषि र पशुपालन सँगसँगै गरिने भएकोले कृषिबाट निस्किने बालीनालीका अवशेषहरु जस्तै धानको पराल, गहुँको छवाली पशुहरुको आहार हुने भएकोले बालीनालीको अवशेषहरुको व्यवस्थापनमा कुनै समस्या थिएन । कृषिको यान्त्रीकरण, व्यवसायीकरण तथा अन्य विविध कारणले यो सन्तुलन बिग्रँदै जान थालेको छ ।

त्यसै गरी बाली भित्र्याउने क्रममा आधुनिक उपकरणहरुको प्रयोगले पनि बालीनालीको अबशेष जलाउने कार्यलाई थप बल पुऱ्याइरहेको पाइन्छ। उदाहरणको लागि कम्बाइन हार्भेष्टरको प्रयोग गरी धान वा गहुँ काट्दा वा थ्रेसरको प्रयोग गरी धान वा गहुँ चुट्दा बाँकी रहने बालीनालीको ठुटाहरु हटाउने सजिलो उपाय त्यसमा आगो लगाउने भएको छ । यसै गरी एउटा बाली काटिसकेपछी अर्को बालीको लागि छिट्टै जमिन तयार गर्न पनि बालीनालीका अवशेषमा आगो लगाउने गरिएको पाइन्छ ।

किसानहरुमा बालीनालीका अवशेषमा आगो लगाउने विषयमा केही भ्रमहरु पनि रहेको पाइन्छ। यसबाहेक किसानहरुमा बालीनालीका अवशेषहरू जलाउँदा माटोको पोषक तत्वहरू पुनःपूर्ति गरेर माटोको उर्वरता बढ्छ भन्ने गलत धारणा रहेको छ भने अवशेषहरुको व्यवस्थापन गर्ने वैकल्पिक तरिकाहरू महँगो वा उपलब्ध छैनन् भन्ने विश्वास पनि रहेको छ । बालीनालीको अवशेषहरूको प्रशोधनगरी उपयोगी सामाग्रीहरू बनाउनका लागि उक्त अवशेषहरुको ढुवानी गर्ने स्रोतसाधन वा बन्दोबस्ती सुविधाहरूको अभाव पनि त्यत्तिकै छ । यसका साथ साथै किसानहरुमा कृषि अवशेष जलाउँदा वातावरण, जलवायु र स्वास्थ्यमा पर्ने पूर्ण प्रभावहरूको बारेमा चेतनाको अभाव रहेको पाइन्छ (Saikia, 2025)। पशुहरुको आहारको रुपमा प्रयोग गर्ने बाहेक बालीनालीको अवशेषहरुलाई अन्य वैकल्पिक प्रयोगमा समेत ल्याउन सकिन्छ । यसका लागि तल उल्लेख गरिएका केही उपायहरु अवलम्वन गर्न सकिन्छ।

१. उत्पादन स्थलमा नै व्यवस्थापन गर्ने .

बालीनालीको अवशेषलाई खेतबारीबाट नहटाइकन पनि व्यवस्थापन गर्न सकिन्छ । यसको एउटा विधि मल्चिङ (Mulching) हुन सक्छ । जैविक मल्चिङ विधिमा बाली लगाइसकेपछी माथि बाट जैविक वस्तुहरुको तहले छोपिन्छ । यसले माटोको ओसीलोपना जोगाईराख्छ भने यो जैविक वस्तु विस्तारै कुहिँदै पनि जाने भएकोले माटोमा जैविक पदार्थको मात्रा बृद्धि हुन्छ जसले गर्दा माटोको संरचना र गुणस्तरमा सुधार हुन्छ । मल्चिङ बाहेक खेतिबारी जोत्दा बालीनालीको अवशेषहरु नहटाईकन जोत्ने विधि पनि अपनाउन सकिन्छ । यसो गर्दा बालीनालीको अवशेष माटोमा नै मिसिन्छ र विस्तारै कुहिदै जान्छ । उपयुक्त विधिहरुबाट खेति गर्नका लागि किसानमा बिशेष ज्ञान सिपको आवश्यकता पर्नुका साथै बिशेष उपकरणहरु पनि आवश्यक पर्न सक्दछ । तर यो विधि अवलम्बन गर्न सकिएमा एकातर्फ बालीनालीको अवशेष जलाउँदा हुने प्रदूषण नियन्त्रण हुन्छ भने अर्को तर्फ माटोको संरचना र स्वास्थ्यमा राम्रो हुने भएकोले उत्पादन पनि वृद्धि हुँदै जान्छ ।

२. कम्पोस्ट मल बनाउने

बालीनाली काटिसकेपछिको बाँकी जैविक अवशेषहरू (जस्तैः गहुँको छवाली, धानको पराल, मकैका डाँठ, तरकारीका फोहोरहरू आदि) बाट कम्पोस्ट मल उत्पादन गर्न सकिन्छ । यसरी उत्पादन गरिएको कम्पोस्ट जैविक पदार्थको मुख्य स्रोत मानिन्छ, जुन माटोको उर्वरता कायम राख्न र दिगो कृषि प्रणाली प्रवर्द्धन गर्न अत्यन्त उपयोगी हुन्छ । कम्पोस्ट मलको प्रयोगले माटोको भौतिक,

रासायनिक र जैविक गुणहरूमा सुधार आउँछ, जसले गर्दा रासायनिक मल र विषादीहरूको प्रयोगमा कमी ल्याउन वा पूर्ण रूपमा विस्थापन गर्न सकिन्छ ।

बालीनालीको अवशेषलाई कम्पोस्ट बनाई प्रयोग गरेमा त्यसले उत्पादनमा वृद्धि ल्याउन सक्छ, साथै खडेरी तथा रोग किराहरुप्रती बालीनालीको सहनशीलता पनि बढ्छ । कम्पोस्टको प्रयोगले माटोमा सूक्ष्म जीवहरूको सक्रियता बढाएर पोषक तत्त्वहरूको अवशोषण र पोषक चक्रलाई अझ प्रभावकारी बनाउँछ । यसले विशेष गरी साना किसानहरूका लागि लागत घटाउने, माटो सुधार्ने र वातावरणमैत्री खेती प्रणाली अपनाउने अवसर प्रदान गर्छ ।

३. उर्जा उत्पादनमा प्रयोग

बालीनालीका अवशेषहरुलाई ब्रिकेट वा प्यालेट बनाई उद्योगहरुमा प्रयोग गर्न सकिन्छ । यसरी बनाइएको ब्रिकेट वा पेलेटलाई ईंटा उद्योग, सिमेन्ट उद्योगमा कोइलाको विकल्पको रुपमा प्रयोग गर्न सकिन्छ । यसका साथै विभिन्न उद्योगको ब्वाइलरमा वैकल्पिक इन्धनका रुपमा प्रयोग गर्न सकिन्छ । यसरी बालीनालीको अवशेषलाई इन्धनको रुपमा प्रयोग गर्दा स्थानीयस्तरमा रोजगारीको सिर्जना हुनुका साथै उर्जा खरिदका लागि देश बाहिर जाने रकम पनि जोगाउन सकिन्छ।

तस्विरः बायो पेलेट

तस्विरः बायो ब्रिकेट

बालीनालीका अवशेषहरु बर्षको छोटो समयमा सङ्कलन गर्नुपर्ने भएकोले उद्योगहरुले बर्षभरीमा चाहिने कच्चा पदार्थ निकै छोटो समयमा सङ्कलन गरी सक्नुपर्ने हुन्छ । यसका साथै उक्त

उद्योगहरुलाई चाहिने कच्चा पदार्थ कुनै उपकरण बिना मानिसलेनै सकंलन गर्न गाह्रो तथा खर्चिलो हुन सक्दछ । यसका अतिरिक्त कोइला, फर्नेस आयल, डिजेल आदिको तुलनामा मुल्य प्रतिस्पर्धी नभएमा बजारमा प्रतिस्पर्धा गर्न गाह्रो हुन सक्दछ । माथिका सबै कुराहरुलाई विचार पु्ऱ्याएर राम्रोसँग योजना बनाई अगाडी बढेमा यो राम्रो संभावना भएको क्षेत्र हो । यस सम्बन्धी प्रविधिको विकास गर्न तथा यस क्षेत्रमा अनुसन्धान गर्नका लागि विश्वविद्यालयहरु र अनुसन्धानमुलक संस्थाहरुको पनि महत्वपूर्ण भुमिका हुन्छ।

४. औद्योगिक कच्चा पदार्थको रुपमा प्रयोग

बालीनालीका अवशेषलाई विभिन्न औद्योगिक कच्चा पदार्थको रुपमा पनि प्रयोग गर्न सकिन्छ । उदाहरणका लागि, कागज र पल्प उद्योगमा काठको सट्टा पराल वा भुसा प्रयोग गर्न सकिन्छ । त्यस्तै, पार्टिकल बोर्ड, फाइबर बोर्ड र इन्सुलेसन सामग्री उत्पादनमा पनि यिनको प्रयोग बढ्दो छ । ऊर्जा उत्पादनका लागि बायोमास पावर प्लान्टमा कृषि अवशेष व्यवस्थित तरिकाले जलाएर विद्युत् उत्पादन गर्न पनि सकिन्छ वा ब्रिकेट तथा पेलेट बनाइ वैकल्पिक इन्धनका रूपमा प्रयोग गर्न पनि सकिन्छ । यस्तै बायोग्यास उत्पादन, जैविक मल (Compost) निर्माण, पशु आहार (Fodder) तथा ईंटा उद्योग आदिमा इन्धनको रूपमा समेत यसको उपयोग गर्न सकिन्छ ।

४.६ वनडढेलो नियन्त्रण

नेपालमा सुक्खायाममा वनडढेलो पनि वायु प्रदूषणको प्रमुख स्रोत हो । विशेष गरी चैत्र, वैशाख र जेठ महिनामा वनडढेलोले देशभरका जंगलहरुमा असर पार्ने गरेको पाइन्छ । प्राकृतिक कारणले वनडढेलो लाग्न सक्ने भएतापनि अधिकांश अवस्थामा मानविय क्रियाकलापका कारण नै वन डढेलो लाग्ने गरेको पाइन्छ । जलवायु परिवर्तनका कारण खडेरीको घटनामा वृद्धि हुने र अर्कोतर्फ तापक्रमपनि बढ्दै गएको कारण वन डढेलोको जोखिम बढ्दै गएको छ । वन डढेलोको कारण कणजन्य पदार्थका अतिरिक्त CO, NO_X जस्ता ग्यासहरुको पनि उत्सर्जन हुन्छ । Volatile organic carbon (VOC) जस्ता ग्यासहरुको उत्सर्जन पनि अत्याधिक मात्रमा हुने भएकोले डढेलोको कारण ओजोन प्रदूषणको समेत ठुलो समस्या देखिने गरेको छ । वन डढेलो नियन्त्रणका उपायहरु निम्नानुसार रहेका छन् ।

- जोखिम क्षेत्रको पहिचानः विगत बर्षहरुका वन डढेलोका घटनाहरु ध्यानमा लिएर वन डढेलोको उच्च जोखिम भएको क्षेत्रहरु पहिचान गर्नु पर्दछ;
- सचेतना कार्यक्रमहरु मार्फत;

- वन डढेलो नियन्त्रणका लागि सम्बन्धित जनशक्तिलाई तालिम दिने;
- आगलागी नियन्त्रणका लागि उपकरण र अन्य स्रोतहरुको यथोचित व्यवस्था गर्ने;
- अग्नि नियन्त्रण रेखाहरु बनाउने;
- वन डढेलोको घटनाहरुको नियमित निगरानी गर्नेः भू-उपग्रह तथ्याङ्कका अतिरिक्त विभिन्न माध्मबाट सूचना तथा तथ्याङ्कको नियमित सङ्कलन तथा विश्लेषण गर्ने;
- जंगल क्षेत्रको इन्धन लोड कम गर्नेः जंगल क्षेत्रको पात पतिङ्गर, झाडीहरु समय समयमा सफा गर्ने । यसरी आएको वस्तुलाई बायो बिक्रेट, बायो प्यालेट बनाई प्रयोग गर्ने;
- वन डढेलोको समयमा समुदाय र वन डढेलो नियन्त्रणमा जिम्मेवार जनशक्ति एकिकृत परिचालन गर्ने आदि ।

४.७ दिगो यातायात प्रणाली

दिगो यातायात प्रणालीले वातावरणीय असर कम हुने आवागमन प्रणालीलाई जनाउँदछ । यसले वायु प्रदूषण र हरित गृह ग्यासको उत्सर्जन न्यूनीकरण गर्नुका साथै यात्रुहरुको सुरक्षालाई प्राथमिकता दिन्छ । लागतका हिसाबले किफायती र सबै नागरिकको पहुँचमा हुने भएकोले सामाजिक समावेशितामा पनि टेवा पुग्दछ । यसले उर्जा तथा स्रोतहरुको दक्षतालाई प्रोत्साहन गर्छ ।

दिगो यातायात प्रणालीको लागि निजी सवारीका साधनबाट कम उत्सर्जन गर्ने धेरै यात्रु क्षमता भएका सार्वजनिक यातायात प्रणाली तर्फ स्थानान्तरण हुनुपर्दछ । यसका लागि सार्वजनिक यातायात प्रणाली सुरक्षित भरपर्दो र आरामदायी हुनुपर्दछ । एउटा ठुलो बसबाट जति मानिसले एक पटकमा आवागमन गर्न सक्छन् त्यसका लागि धेरैवटा निजी सवारीका साधनहरु आवश्यक पर्छन् । यसले सडकमा सवारी चाप बढाउने, जाम बढाउने, दुर्घटनाको जोखिम बढाउने मात्र नभई वायु प्रदूषण पनि उच्च गराउँछ । हाम्रो देशको सहरहरुमा नै हेर्ने हो भने मोटरसाइकलहरुको सङ्ख्या अत्याधिक छ भने विस्तारै निजी कारहरुको संख्या पनि थपिँदै गएको छ । यसबाहेक दिगो सार्वजनिक यातायात प्रणालीको विकासका लागि निम्न कुराहरुमा ध्यान दिन जरुरी छ ।

- पेट्रोल तथा डिजेल संचालित सार्वजनिक तथा निजी सवारी साधनहरुलाई विद्युतिय सवारी साधनले विस्थापन गर्ने;
- विद्युतीय बस र चार्जिङ पूर्वाधार सहित आम परिवहन प्रणालीमा लगानी गर्ने;
- पैदल यात्रा तथा साइकलको प्रबर्द्धन गर्ने;

- सवारीका साधनमा प्रयोग हुने ब्याट्रीको पुनःप्रयोग, रिसाइकल लाई प्रोत्साहन नीति अवलम्बन गर्ने;
- दिगो यातायातका लागि बृहत गुरुयोजना तथा दिगो शहरी परिवहन योजना विकास गरी कार्यान्वयन गर्ने;
- विद्युतिय रेल तथा मेट्रो रेलको पुर्वाधारमा लगानी गर्ने;
- स्वच्छ यातायातमा निजी लगानीलाई जोखिममुक्त बनाउन मिश्रित वित्तीय समाधान संरचना बनाउने आदि ।

तस्विर स्रोतः ***https://nepalauto.com***

तस्विर स्रोतः ***https://www.lokpath.com***

तस्विरः उपत्यकामा हाल प्रयोगमा रहेका विद्युतिय यात्रुबाहक बसहरु

पैदल यात्रा तथा साइकलको प्रवर्धन कसरी गर्न सकिन्छ ?

यहाँ विश्व स्वास्थ्य संगठनले तयार पारेको टुलकिट Promoting walking and cycling: a toolkit of policy options का आधारमा पैदल यात्रा तथा साइकलको प्रबर्द्धनका लागि गर्न सकिने विषयहरु उल्लेख गरिएको छ।

१. पैदल यात्रा र साइकल प्रयोगलाई सबै सम्बन्धित नीतिहरूमा एकीकृत गर्ने

नेपाल सरकारका विभिन्न नीतिहरु जस्तै यातायात नीति, स्वास्थ्य नीति, वातावरण नीति, शिक्षा नीति, पर्यटन नीति आदिमा पैदल यात्रा र साइकल प्रयोगलाई एकिकृत गर्ने ।

२. सुरक्षित र एक आपसमा जोडिएका पैदल तथा साइकल मार्गहरू

राम्रो संरचना विकास गर्नेः घरबाट विद्यालय, बस बिसौनी, बजार, कार्यस्थल जस्ता प्रमुख स्थानसम्म सहजै पुग्न मिल्ने गरी राम्रो फुटपाथ र साइकल लेनहरू विकास गर्ने र यस्ता फुटपाथ र साइकल लेनहरू एक आपसमा जोडिएको हुनुपर्ने ।

हरित क्षेत्रको विकास गर्नेः फुटपाथ र साइकल मार्गहरुसँगै पार्क, हरियाली क्षेत्र र खुला स्थानलाई एक आपसमा जोड्ने।

३. सबैका लागि समावेशी र सुरक्षित सडक

मानवकेन्द्रित डिजाइनः सडकको योजना र निर्माण गर्दा सबै प्रयोगकर्ता, पैदल यात्री, साइकल प्रयोगकर्ता, साना बच्चादेखि वृद्ध र अपाङ्गता भएका व्यक्तिहरूसम्म लाई ध्यान दिनुपर्दछ ।

सुरक्षित प्रणाली (Safe System): दुर्घटना कम गर्न सडक संरचना, नियम र व्यवहारलाई सुधार गर्नुपर्दछ । आवश्यक ठाउँमा गति सीमा (speed limit) तोक्ने, ट्राफिक बत्ति, ट्राफिक संकेत र अन्य सुरक्षात्मक प्रावधानहरू लागू गर्नुपर्दछ ।

४. सुरक्षित सडक प्रयोगकर्ताको व्यवहार सुधार

गति सीमा कडाइका साथ कार्यान्वयन गर्ने।

ध्यान विचलित हुने वा असक्षम अवस्थामा सवारी चलाउने व्यवहारलाई नियन्त्रण गर्ने, सवारी चलाउँदा मोबाईल फोन प्रयोग गर्ने, मदिरा वा लागू पदार्थ सेवन गरेर गाडी चलाउने जस्ता क्रियाकलापलाई नियन्त्रण गर्ने ।

सबै प्रयोगकर्ताले सुरक्षित तरिकाले सडक प्रयोग गरेको सुनिश्चित गर्ने, पैदल यात्री, साइकल यात्री, मोटरसाइकल चालक, सवारी चालक सबैले ट्राफिक नियम पालना गर्ने वातावरण बनाउने ।

५. पैदल यात्रा र साइकललाई प्राथमिकता दिने र संरक्षण गर्ने

फुटपाथ र साइकल लेनलाई पर्याप्त स्थान उपलब्ध गराउने ।

पैदल यात्री क्षेत्र (Pedestrian Zones) लागू गर्ने, सहरका महत्वपूर्ण क्षेत्र वा भीडभाड भएका स्थानमा पैदल यात्रा मात्र गर्न मिल्ने क्षेत्र तोक्ने ।

पार्किङ नियम कडाइका साथ लागू गर्ने, फुटपाथ, साइकल लेन वा पैदल यात्री क्षेत्रमा अनधिकृत पार्किङ हुन नदिने ।

६. एकीकृत यातायात विकल्पहरूलाई सहज बनाउने

पैदल यात्रा र साइकललाई सार्वजनिक यातायातसँग जोड्ने, बस वा अन्य सार्वजनिक यातायात सेवासम्म सजिलै पुग्ने गरी सुरक्षित पैदल मार्ग र साइकल पार्किङ सुविधा उपलब्ध गराउने ।

७. पैदल यात्रा र साइकललाई प्रवर्द्धन र प्रोत्साहन गर्ने

अभियान र कार्यक्रममार्फत प्रवर्द्धन गर्ने, जनचेतनामूलक अभियान, सार्वजनिक कार्यक्रम र विशेष दिवस (जस्तै साइकल डे) मनाएर पैदल यात्रा र साइकल संस्कृतिलाई प्रोत्साहन गर्ने ।

आर्थिक प्रोत्साहन उपलब्ध गराउने, साइकल खरिदमा अनुदान वा अन्य प्रोत्साहन दिने ।

विद्यालय र कार्यस्थलमा कार्यक्रम सञ्चालन गर्ने, विद्यार्थी र कर्मचारीलाई पैदल वा साइकल प्रयोग गर्न प्रोत्साहन गर्ने कार्यक्रम संचालन गर्ने । (WHO, 2025).

४.८ निर्माण क्षेत्रबाट हुने वायु प्रदूषण नियन्त्रण

विभिन्न निर्माण गतिविधिहरू जस्तै सडक, पुल, जलविद्युत आयोजनाहरू, भवनहरु आदिको निर्माणका दौरान हुने विभिन्न क्रियाकलापको कारण पनि वायु प्रदूषण हुन्छ । ठुला-ठुला आयोजना कार्यान्वयन गर्नुपूर्व र त्यसले वातावरणमा पार्ने असरका सम्बन्धमा अध्ययन गरी वातावरणीय अध्ययन प्रतिवेदन सरकारका निकायबाट स्वीकृत गर्नुपर्ने कानुनी व्यवस्था छ । उक्त अध्ययन प्रतिवेदनमा आयोजना कार्यान्वयनबाट वातावरणमा पर्ने नकारात्मक असरहरू न्यूनीकरण गर्न अपनाइने उपायहरु उल्लेख गरिएको हुन्छ । त्यसमा आयोजनाबाट वायु गुणस्तरमा पर्ने असहरू न्यूनीकरण गर्न अपनाइने उपायहरु समेत समावेश गरिएको हुन्छ । आयोजना कार्यान्वयनका क्रममा उक्त अध्ययन प्रतिवेदनमा उल्लेख भएका प्रभाव न्यूनीकरणका विषयहरुको कडाइका साथ पालना गरिनुपर्छ । यहाँ निर्माण गतिविधिबाट हुने वायु प्रदूषण नियन्त्रण गर्न अवलम्बन गर्न सकिने केही उपायहरु उल्लेख गरिएको छ।

- निर्माण स्थलमा धुलो उड्न नदिन नियमित रूपमा पानी छर्कने व्यवस्था गर्ने;
- निर्माण सामग्री (बालुवा, सिमेन्ट, गिट्टी आदि) लाई ढाकेर वा बन्द स्थानमा भण्डारण गर्ने;
- निर्माण स्थल वरिपरि अस्थायी बार लगाउने;
- निर्माण कार्यका लागि आधुनिक तथा कम धुलो उत्सर्जन गर्ने प्रविधि प्रयोग गर्ने;
- निर्माण सामग्री ढुवानी गर्दा ट्रक/टिपरलाई राम्रोसँग ढाक्ने व्यवस्था गर्ने;
- निर्माण स्थल र आसपासका सडकहरू नियमित रूपमा सफा गर्ने;
- खुला रूपमा निर्माणजन्य फोहोर जलाउने कार्य रोक्ने;
- निर्माण कार्यको समय व्यवस्थापन गरी हावाको गति बढी हुने समयमा धुलो उत्सर्जन हुने क्रियाकलाप कम गर्ने;
- कामदारहरूलाई मास्क र सुरक्षा उपकरण (PPE) प्रयोग गर्न अनिवार्य गर्ने;
- निर्माण सामग्री प्रशोधन गर्दा बन्द प्रणाली वा धुलो नियन्त्रण उपकरण प्रयोग गर्ने आदि ।

४.९ व्यक्तिगत तहमा वायु प्रदूषण कम गर्न हातेमालो गर्न सकिने क्षेत्रहरू

माथि उल्लेख गरिएका वायु प्रदूषण न्यूनिकरणका उपायहरुका साथ साथै व्यक्तिगत प्रयासबाट पनि वायु प्रदूषण न्यूनीकरण गर्न हातेमालो गर्न सकिन्छ । व्यक्तिगत तहमा वायु प्रदूषण 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 सवारी साधनलाई 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 ।
- 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 गर्ने: हामीले थाहा पायौं कि घरभित्रको वायु प्रदूषणको समस्या कति गम्भीर छ भनेर । यदि हामीले खाना पकाउन दाउरा प्रयोग गर्दछौं भने सुधारिएको चुलो प्रयोग गरौं, जसले घरभित्र हुने वायु प्रदूषण धेरै मात्रामा कम गराउँदछ । त्यसैगरी भान्छामा प्रशस्त हावा खेल्न सक्ने गरी भेन्टिलेसनको व्यवस्था मिलाउने ।
- सवारी साधनको नियमित मर्मत सम्भार गर्ने: सवारीका साधनहरू वायु प्रदूषणका 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 र वातावरण पनि सफा हुन्छ ।
- फोहोरमैला नजलाउने: हामीले जानेर वा नजानेर फोहोर जलाइरहेका हुनसक्छौं । फोहोरमैला जलाउँदा हुने वायु प्रदूषणको पहिलो मारमा हामी आफै पर्दछौं । 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 नजलाउने: खेतबारीबाट निस्किने झारपात, घाँस, पराल, छवाली जस्ता वस्तुहरू जलाउँदा पनि वायु प्रदूषण 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 नलगाउने: वनजङ्गलमा लाग्ने अधिकांश डढेलो जान अन्जानमा हुने मानविय क्रियाकलापकै कारण हुन्छ । 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 ।
- वायु प्रदूषण 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 ।

यसका साथै वायु प्रदूषण 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 प्रदूषित 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 कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय, वातावरण विभाग, बबरमहल काठमाडौं, फोन नम्बर ०१-५३२०४९७, ५३२०८३७, इमेल info@doenv.gov.np, मा सम्पर्क गर्न सकिनेछ र यस सम्बन्धी थप जानकारी विभागको वेभसाइट https://doenv.gov.np/ र https://pollution.gov.np/ बाट प्राप्त गर्न सकिनेछ ।

खण्ड पाँच

वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका नीतिगत र कानुनी उपायहरू

यस खण्डमा हामी वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका लागि नीतिगत तथा शासकिय प्रबन्धहरुको बारेमा चर्चा गर्ने छौ । यसमा वातावरणीय कानुनहरु, नीतिहरु, कार्ययोजनाहरु, तथा शासकिय प्रबन्धहरुको महत्व बारेमा चर्चा गर्ने छौ । हालका वर्षहरूमा, विश्वभरका सरकारहरूले वायु प्रदूषणका समस्या समाधान गर्नका लागि विविध नीतिगत, कानुनी, आर्थिक तथा संस्थागत उपायहरू अपनाउँदै आएका छन् ।

५.१ वायु प्रदूषणसम्बन्धी नीति तथा कानून

वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि विभिन्न देशहरुले विभिन्न प्रकारका नीतिहरु लिएको पाइन्छ। ती देशहरुमा वायु प्रदूषणसम्बन्धी कानुनी व्यवस्थाहरू फरक-फरक ढंगले गरिएको पाइन्छ । धेरै जसो देशहरुले वातावरण संरक्षणसम्बन्धी मूल कानुनहरूमै वायु प्रदूषण नियन्त्रणका प्रावधानहरू समेटेका छन्, भने केही देशहरूले वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि छुट्टै विशेष कानुन बनाइ कार्यान्वयनमा ल्याएका छन् । उदाहरुणको लागि अमेरिकामा छुट्टै Clean Air Act, 1963 रहेको छ । वातावरण सम्बन्धी कानुन बाहेक अन्य कानुनमा पनि वायु प्रदूषण नियन्त्रण सम्बन्धी व्यवस्थाहरु रहेका हुन सक्छन् ।

नेपालको संविधानमा नै स्वच्छ वातावरणको हकलाई मौलिक हकको रुपमा व्यवस्था गरिएको छ । वातावरण संरक्षण ऐन, २०७६ तथा वातावरण संरक्षण नियमावली, २०७७ मा वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि विभिन्न व्यवस्था गरिएको छ । यसबाहेक औद्योगिक व्यवसाय ऐन, २०७६ मा उद्योगहरुबाट हुने प्रदूषण नियन्त्रण सम्बन्धी व्यवस्था रहेको छ भने सवारी तथा यातायात व्यवस्था ऐन, २०४९ वा सवारी साधनबाट हुने प्रदूषण न्यूनीकरण सम्बन्धी व्यवस्थाहरु रहेको छ । फोहोरमैला व्यवस्थापन ऐन, २०६८ ले फोहोर सङ्कलन, वर्गीकरण, विसर्जन, पुनः प्रयोग तथा पुनःचक्रणसम्बन्धी कानुनी व्यवस्था स्पष्ट रूपमा गरेको छ । यो ऐनको मूल उद्देश्य फोहोरमैला व्यवस्थापन भए पनि, फोहोर जलाउने, नजिकै डम्प गर्ने वा असुरक्षित रूपमा विसर्जन गर्दा उत्पन्न हुने वायु प्रदूषणका पक्षहरूलाई पनि यसले समेटेको पाइन्छ । विशेषगरी खुला डम्पिङ र खुला जलाउने कार्यबाट उत्पन्न धुवाँ तथा हानिकारक ग्यासहरूले वायु गुणस्तरमा प्रतिकूल असर पार्ने हुँदा यो ऐन वायु प्रदूषण नियन्त्रणसँग पनि प्रत्यक्षरूपमा सम्बन्धित छ ।

त्यस्तै, स्थानीय सरकार सञ्चालन ऐन, २०७४ ले स्थानीय तहहरूलाई आफ्नो क्षेत्रमा वातावरण संरक्षण, फोहोरमैला व्यवस्थापन, सवारी नियन्त्रण तथा स्वच्छता सम्बन्धी जिम्मेवारी तोकेको छ । यस ऐनअनुसार स्थानीय तहले वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका लागि नीति, कार्य योजना तथा कार्यक्रमहरू बनाउने र कार्यान्वयन गर्ने अधिकार पाउँछन् । त्यसैले, यो ऐनले वायु प्रदूषण नियन्त्रणमा स्थानीय सरकारको भूमिकालाई कानुनी आधार प्रदान गरेको छ ।

नेपालको संविधान

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 ।

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 छन् ।

- 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 पुर्‍याउने 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 पुर्‍याउने व्यक्ति वा संस्थालाई नगद पुरस्कार वा प्रशंसापत्र प्रदान गर्न सक्ने व्यवस्था गरेको छ ।

राष्ट्रिय वातावरण नीति, २०७६

क्षेत्रगत नीतिहरूको सन्दर्भमा कुरा गर्दा, राष्ट्रिय वातावरण नीति, २०७६ एक महत्वपूर्ण दस्तावेज हो, जसले समग्र वातावरण व्यवस्थापनका विविध पक्षहरू समेटेको छ । यस नीतिमा प्रदूषण रोकथाम, नियन्त्रण र न्यूनीकरण, वातावरणीय मुल प्रवाहीकरण, वातावरणीय न्याय, वातावरण

व्यवस्थापनमा जन सहभागिता, दिगो विकास, सुशासन, अनुसन्धान र क्षमता विकास जस्ता बहुआयामिक विषयहरूलाई समेटिएको छ ।

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 छन्:

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 ।

यस बाहेक, वायु प्रदूषण नियन्त्रणसँग प्रत्यक्ष रूपमा सम्बन्धित अन्य नीतिहरू पनि पाइन्छन् । तीमध्ये राष्ट्रिय जलवायु परिवर्तन नीति, २०७६ एक महत्वपूर्ण नीति दस्तावेज हो, जसले वायु प्रदूषण न्यूनीकरणसँग सम्बन्धित विषयहरू समेटेको छ । यस नीतिका प्रमुख उद्देश्यहरूमध्ये "न्यून कार्बन उत्सर्जनयुक्त विकासको अवधारणा अवलम्बन गर्दै हरित अर्थतन्त्रको प्रवर्द्धन गर्नु" एक हो । त्यसबाहेक उर्जा सँग सम्बन्धित नीतिहरु, कृषिसँग सम्बन्धित नीतिहरु पनि वायु गुणस्तर सँग सम्बन्धित रहेका छन् । यस सन्दर्भमा नीतिहरुको प्रभावकारी कार्यान्वयनका लागि विभिन्न नीतिहरु बिचको नीतिगत समन्वय (Policy coherence) महत्वपूर्ण हून्छ ।

५.२ वायु प्रदूषण सम्बन्धी मापदण्डहरु

वायु गुणस्तर मापदण्डहरू सरकार र संस्थाहरूले सार्वजनिक स्वास्थ्य र वातावरणलाई हानिकारक वायु प्रदूषणबाट जोगाउन तोकेका मापदण्डहरू हुन् । यी मापदण्डहरूले निश्चित समय अवधिमा विभिन्न प्रदूषकहरूको लागि स्वीकार्य स्तरहरू परिभाषित गर्छन् । तिनीहरूले उत्सर्जन नियन्त्रण र प्रदूषण न्यूनीकरण रणनीतिहरूको लागि सन्दर्भ बिन्दुको रूपमा काम गर्छन् ।

वायु प्रदूषण सम्बन्धी मापदण्डहरु दुई किसिमका हुन्छन । पहिलो प्रकारका मापदण्डहरूले मानव स्वास्थ्य र वातावरणका लागि स्वीकृत वायु गुणस्तरको तहलाई परिभाषित गर्छन् । यस्ता मापदण्डहरूलाई वायु गुणस्तर मापदण्ड भनिन्छ । उदाहरणस्वरूप, राष्ट्रिय वायु गुणस्तर मापदण्डले विशेष प्रदूषकहरूको लागि निश्चित अवधिमा स्वीकृत अधिकतम सिमा निर्धारण गरेको हुन्छ । दोस्रो प्रकारका मापदण्डहरू भने विभिन्न प्रदूषण स्रोतहरूबाट निस्कने प्रदूषकहरूको लागि अनुमति भएको अधिकतम उत्सर्जन सीमालाई निर्धारण गर्छन् । यिनीहरूलाई उत्सर्जन मापदण्ड भनिन्छ । उदाहरणका लागि, उद्योग, सवारीसाधन वा उर्जा उत्पादन इकाइहरूबाट उत्सर्जित हुने प्रदूषकहरूको सीमालाई तोक्ने मापदण्डहरू यस अन्तर्गत पर्छन् ।

क. वायु गुणस्तर सम्बन्धी मापदण्ड

हामीले वायु प्रदूषण के कारणले हुन्छ यसले के कस्तो असर पार्दछ भन्ने बारेमा यस अघीका खण्डहरुमा चर्चा गर्यौं । अब प्रश्न आउँछ कुन हदसम्मको प्रदूषणलाई स्वीकार्य तह मान्ने ? कुन पारामिटरको तह कति नाघीसकेपछी वायु प्रदूषण भयो भन्ने ? वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि सरकारहरुले कुन तहलाई आधार लिने ? विभिन्न सरकारहरुले विशेषत वायु प्रदूषण मानव स्वाथ्यमा सिर्जना गरेको सम्बोधन गर्न र यसलाई सीमित गर्न वायु गुणस्तर सम्बन्धी मापदण्डहरू लागू गरेका छन् । यस्ता मापदण्डहरु मुख्यतया वायु प्रदूषणले मानव स्वास्थ्यमा पार्ने असरमा आधारित हुन्छन । यसका अतिरिक्त विभिन्न देशहरुले उक्त मापदण्ड कायम गर्ने आफ्नो आर्थिक तथा प्राविधिक क्षमतालाई समेत ध्यान दिएर यस्ता मापदण्डहरु निर्धारण गर्ने हुनाले देशैपिच्छे यस्ता मापदण्डमा फरक देख्न पाइन्छ ।

यी मापदण्डहरूले सर्वसाधारण, कामदारहरू तथा जोखिममा रहेका जनसमूहहरूका लागि सुरक्षित वायु गुणस्तर सुनिश्चित गर्न महत्वपूर्ण भूमिका खेल्दछन् । वायु प्रदूषणका हानिकारक प्रभावबाट जनस्वास्थ्य र वातावरणलाई जोगाउन राष्ट्रिय वायु गुणस्तर मापदण्डजस्ता नीति र निर्देशिकाहरू अत्यन्तै आवश्यक छन् । शहरीकरण र औद्योगिक क्रियाकलापहरू बिस्तार हुँदै जाँदा

स्वच्छ र सुरक्षित वायुको पहुँच सुनिश्चित गर्नु राज्यको दायित्व मात्र नभई सबै नागरिकको पनि साझा सरोकारको विषय बनेको छ । त्यसैले, वायु गुणस्तर मापदण्डहरू न केवल कानुनी दस्तावेज हुन्, अपितु ती वातावरणीय संरक्षण र सार्वजनिक स्वास्थ्य प्रवर्द्धनका आधारस्तम्भ पनि हुन् ।

यि मापदण्डहरुको कार्यान्वयनका लागि सरकारले विभिन्न अन्य मापदण्डहरु, निर्देशिकाहरु जारी गर्दछ । यसरी यस मापदण्ड कार्यान्वयनको जिम्मेवारी सरकार, नियामकहरु, सम्बन्धित सरोकारवालाहरु सबैको हुन्छ ।

विश्व स्वास्थ्य संगठनको वायु गुणस्तर गाइडलाईन (WHO Air quality Guideline)

विश्व स्वास्थ्य संगठनको वायु गुणस्तर गाइडलाईनले (Air Quality Guideline, AQG) ले स्वास्थ्य जोखिम निम्त्याउने प्रमुख वायु प्रदूषकहरूको विश्वाव्यापीरुपमा थ्रेसहोल्ड र सीमाहरूको लागि विश्वव्यापीरुपमा मार्गदर्शन प्रदान गर्दछ ।यी गाइडलाईनहरु वायु प्रदूषणहरुले मानव स्वाथ्यमा पार्ने प्रभावलाई आधार मानेर बनाइएको छ । यि मानहरु मानव स्वाथ्यमा पर्ने असरलाई अधिकतमा न्यूनीकरण गर्ने हिसाबले निर्धारण गरिएकोले सबै देशहरुले एकैचोटी यि मापदण्ड कार्यान्वयन गर्न संभव नहुने भएकोले देशहरुले अन्तरिम लक्ष्यहरु निर्धारण गरी क्रमश यो मापदण्डसम्म पुग्न सक्ने हिसाबले अन्तरिम लक्ष्यहरु (Interim target) समेत सिफिरस गरेको छ ।

Pollutant	Averaging time	Interim Target				AQG Level
		1	2	3	4	
$PM_{2.5}$ µg/m^3	Annual	35	25	15	10	5
	24-hour	75	50	37.5	25	15
PM_{10} µg/m^3	Annual	70	50	30	20	15
	24-hour	150	100	75	50	45
O3 µg/m^3	Peak season	100	70	-	-	60
	8-hour	160	120	-	-	100
NO_2 µg/m^3	Annual	40	30	20	-	10
	24-hour	120	50	-	-	25
SO2 µg/m^3	24-hour	125	50	-	-	40
CO µg/m^3	24-hour	7	-	-	-	4

स्रोत: WHO, 2021

उदाहरुणका लागि $PM_{2.5}$ को वार्षिक औसतका लागि WHO को गाइडलाइन मान ५ माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर रहेको छ । तर विभिन्न देशहरुले पहिलो चरणमा अन्तरिम लक्ष्य ३५

माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर लाई आफ्नो मापदण्ड तोकेर क्रमश २५, १५, १० हुदै गाइडलाइन मान ५ माइक्रोग्राम प्रति घनमिटर तर्फ जान सक्दछन् ।

नेपालका लागि वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड, २०८२ (National Ambient Air Quality Standard, 2026)

नेपाल सरकारले वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड, २०८२ (National Ambient Air Quality standard, 2026) तोकेको छ । उक्त मापदण्ड यस प्रकार रहेको छः

तालिकाः वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड, २०८२

क .स. (S.N.)	गुण (Parameters)	एकाई (Unit)	औसत समय (Averaging time)	अधिकतम मात्रा (Concentration-max)	परीक्षण विधिहरू (Test Methods)
1	Total Suspended Particulate (TSP)	µg/m³	Annual	-	High volume sampling and Gravimetric analysis or Reference grade optical measurement*
			24-hr	230	
2	PM_{10}	µg/m³	Annual	70	High volume sampling and Gravimetric analysis or Reference grade optical measurement* or Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) or Beta Attenuation
			24-hr	120	
3	$PM_{2.5}$	µg/m³	Annual	25	High volume sampling and Gravimetric analysis or Reference grade optical measurement* or Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) or Beta Attenuation
			24-hr	40	
4	Ozone	µg/m³	8-hr	157	UV spectrometer
5		µg/m³	Annual	50	

क्र .स. (S.N.)	गुण (Parameters)	एकाई (Unit)	औसत समय (Averaging time)	अधिकतम मात्रा (Concentration-max)	परीक्षण विधिहरू (Test Methods)
	Sulfur Dioxide		24-hr	70	Ultraviolet fluorescence or West and Gaeke Method
6	Nitrogen Dioxide	µg/m^3	Annual	40	Chemiluminescence
			24-hr	80	
7	Carbon monoxide	µg/m^3	8-hr	10,000	Non-Dispersive Infrared (NDIR) Spectrometry Method
8	Lead	µg/m^3	Annual	0.5	High volume sampling followed by atomic absorption spectrometry
9	Benzene	µg/m^3	Annual	5	Gas Chromatographic Technique

- *Reference Grade Optical Measurement: Instrument Recommended by Government of Nepal and/or USEPA and/or European Union for any one of the PM components (PM_1 or $PM_{2.5}$ or PM_{10}).

ख. उत्सर्जन सम्बन्धी मापदण्डहरु

उत्सर्जन मापदण्डहरू त्यस्ता नियमहरू हुन् जसले विभिन्न स्रोतहरूबाट हावामा उत्सर्जन गर्न सकिने प्रदूषणको मात्राको सिमा तोक्दछ । यी स्रोतहरूमा सवारी साधन, उद्योग कलकारखाना, कुनै बिशेष यन्त्र उपकरण हुनसक्दछन् । यस्ता मापदण्डहरुले कुनै एउटा स्रोतले कति सम्म प्रदूषण उत्सर्जन गर्न सक्दछ भन्ने सिमा तोक्दछन् । यी प्रदूषकहरूमा प्राय कणजन्य पदार्थ (PM), नाइट्रोजनका अक्साइड (NOx), सल्फर डाइअक्साइड (SO_2), र कार्बन मोनोअक्साइड (CO) समावेश हुन्छन् । यती मात्र नभई प्रदूषण नियन्त्रणका लागि गुर्नुपर्ने खास क्रियाकलापहरु, प्रयोग गुर्नु पर्ने प्रदूषण नियन्त्रणका उपकरणहरु समेत तोक्न सक्दछन् । यी प्रदूषकहरूमा प्रायः कण पदार्थ (PM), नाइट्रोजन अक्साइड (NOx), सल्फर डाइअक्साइड (SO_2), र कार्बन मोनोअक्साइड (CO) जस्ता प्यारामिटरहरु समावेश हुन्छन् । यी मापदण्डहरू नेपाल सरकारबाट जारी हुन्छन भने संघिय सरकार, प्रदेश सरकार र स्थानिय सरकारका विभिन्न निकायले कार्यान्वयन गर्दछन् ।

नेपाल सरकारद्वारा जारी उत्सर्जन सम्बन्धी मापदण्डहरू

- ईंटा उद्योगको चिम्नीबाट उत्सर्जन हुने धुवाँ, चिम्नीको उचाई तथा ईंटा उद्योगको सञ्चालन सम्बन्धी मापदण्ड, २०८२;
- सिमेन्ट उद्योगबाट उत्सर्जन हुने धुलो, धुवाँ तथा चिम्नीको उचाई सम्बन्धी मापदण्ड, २०८२;
- औद्योगिक फर्नेसको सञ्चालन, सञ्चालनबाट निष्कासन हुने धुवाँ तथा चिम्नीको उचाई सम्बन्धी मापदण्ड, २०८२;
- उद्योग प्रतिष्ठानहरूमा जडान भएका ब्वाइलरको सञ्चालनबाट निष्काशन हुने धुवाँ तथा चिम्नीको उचाइसम्बन्धी मापदण्ड, २०८२;
- नेपाल सवारी प्रदूषण मापदण्ड, २०८२;
- उद्योगहरूलाई खुला रूपमा फोहोर जलाउन प्रतिबन्ध लगाइएको राजपत्रको सूचना, २०७५;
- इन्सिनिरेटर सञ्चालनबाट निष्काशन हुने धुवाँ तथा चिम्नीको उचाइसम्बन्धी मापदण्ड, २०७१;
- क्रसर उद्योगबाट निष्काशन भई हावामा जाने धुलोसम्बन्धी मापदण्ड, २०६९
- डिजेल जेनेरेटरबाट निष्कासन भई हावामा जाने धुवाँको लागि उत्सर्जन सीमा, २०६९ र
- ग्यास तथा पेट्रोलद्वारा चल्ने सवारी साधनको प्रदूषणसम्बन्धी मापदण्ड, २०५४ ।

उक्त मापदण्ड तथा सूचनाहरू कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय तथा वातावरण विभागको वेभसाइटबाट हेर्न तथा डाउनलोड गर्न सकिन्छ ।

५.३ वायु गुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना

वायु गुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजनाले कुनै खास क्षेत्रमा वायु गुणस्तर सुधार गर्न अपनाइने रणनीति र क्रियाकलापहरूको रुपरेखा प्रस्तुत गर्दछ । यसमा सामान्यतया प्रदूषणका स्रोतहरू पहिचान गर्ने, लक्ष्यहरू निर्धारण गर्ने, उत्सर्जन घटाउने र जनस्वास्थ्यको सुरक्षा गर्ने उपायहरू कार्यान्वयन गर्ने विषयहरू समावेश हुन्छन् । यी योजनाहरू वायु प्रदूषण, वातावरण र मानव स्वास्थ्यमा यसको प्रभावलाई सम्बोधन गर्न महत्त्वपूर्ण हुन्छन् ।

काठमाडौं उपत्यकाका लागि वायु गुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना, २०७६

काठमाडौं उपत्यकामा वायु प्रदूषणको रोकथाम र नियन्त्रण गरी नागरिकको स्वच्छ र स्वस्थ वातावरणमा बाँच्न पाउने अधिकार सुनिश्चत गर्ने लक्ष्यसहित नेपाल सरकारले "काठमाडौं उपत्यकाका लागि वायु गुणस्तर 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 वायु प्रदूषण न्यूनीकरण गर्नु;

(४) घरभित्रको वायु प्रदूषण कम गर्नु;

(५) वायु प्रदूषणको अवस्था, कारण र असर एवम् न्यूनीकरण र रोकथामका उपायका सम्बन्धमा जनचेतना जगाउनु;

(६) वायु गुणस्तर व्यवस्थापन सहयोग प्रणालीको विकास गर्नु;

(७) आपतकालीन अवस्थामा वायु प्रदूषणको व्यवस्थापन गर्नु र

(८) वायु प्रदूषण नियन्त्रणका लागि नीतिगत, कानुनी तथा संस्थागत संरचनाको सुदृढीकरण गर्दै आर्थिक स्रोतको सुनिश्चतता गर्नु ।

५.४ अन्य नीति तथा कानुनहरू

माथि उल्लेखित नीति तथा कानुनहरूका साथै अन्य नीति तथा कानुनहरूमा पनि वायु गुणस्तर तथा वायु प्रदूषण न्यूनीकरणका बारेमा उल्लेख गरिएको छ । यस्ता नीति तथा कानुनहरूमा स्वास्थ्य सेवा ऐन, २०७५, स्थानीय सरकार ऐन, २०७४, नेपालका विभिन्न नीति र योजनाहरू वन ऐन, २०७६, औद्योगिक व्यावसाय ऐन, २०७६, जलवायु परिवर्तनसम्बन्धी नीति सवारी तथा यातायात व्यवस्था ऐन, २०४९, सवारी तथा यातायात व्यवस्था नियामावली, २०५४ आदि रहेका छन् ।

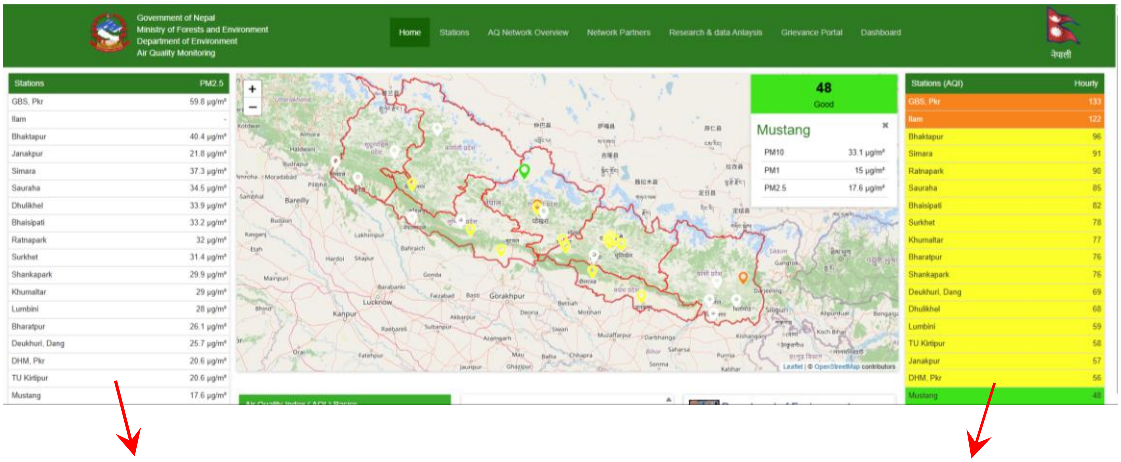
खण्ड छ

वायु प्रदूषण सम्बन्धी सूचना तथा जानकारीका स्रोतहरू

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

६.१ वायु प्रदूषण सम्बन्धी वातावरण विभागको वेभसाइट

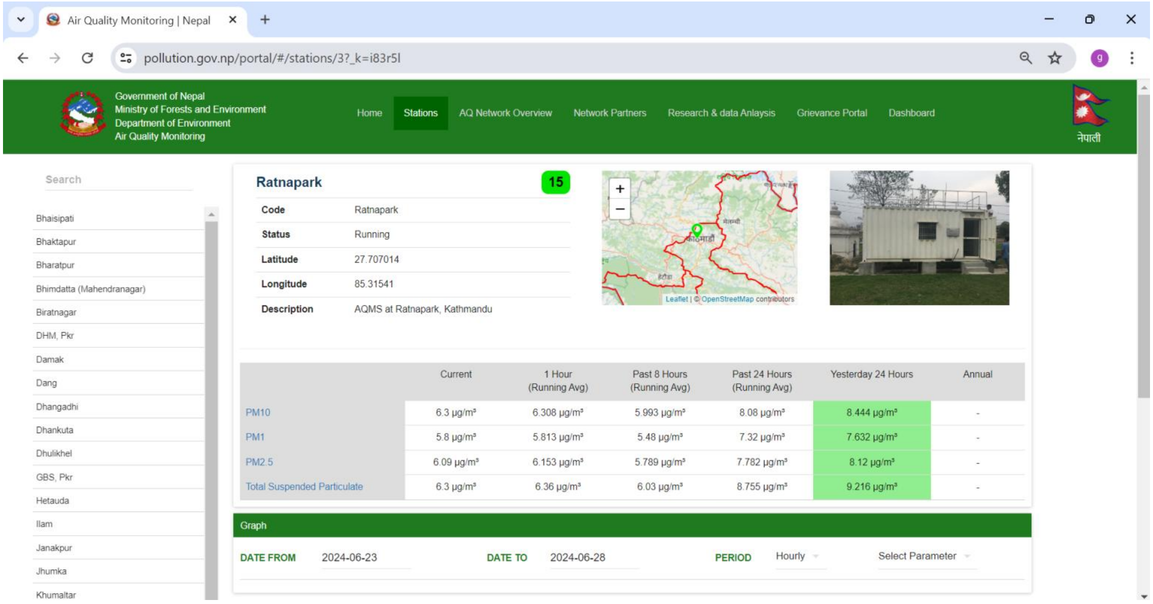
वातावरण विभागले देशका विभिन्न भागमा हाल ३० वटा वायु गुणस्तर मापन केन्द्रहरू स्थापना र सञ्चालन गरिरहेको छ । उक्त मापन केन्द्रबाट प्राप्त तथ्याङ्कहरू विभागको वेभसाइट https://pollution.gov.np बाट हेर्न सकिन्छ ।

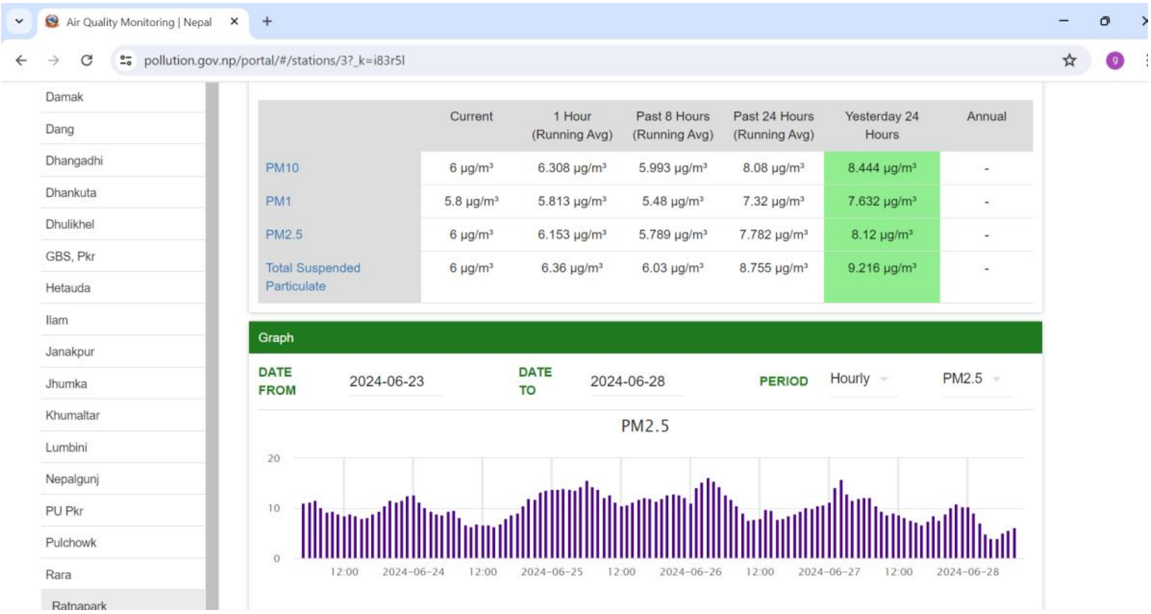


चित्र: वायुप्रदूषण सम्बन्धी वातावरण विभागको वेवसाईटको होमपेज

त्यसैगरी यसमा देखिएको कुनै पनि स्टेसनमा क्लिक गरेर उक्त वायु गुणस्तर मापन केन्द्रबाट आएको तथ्याङ्क अझ विस्तृतमा प्राप्त गर्न सकिन्छ ।

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





चित्रः वायूप्रदूषण सम्बन्धी वातावरण विभागको वेवसाईट

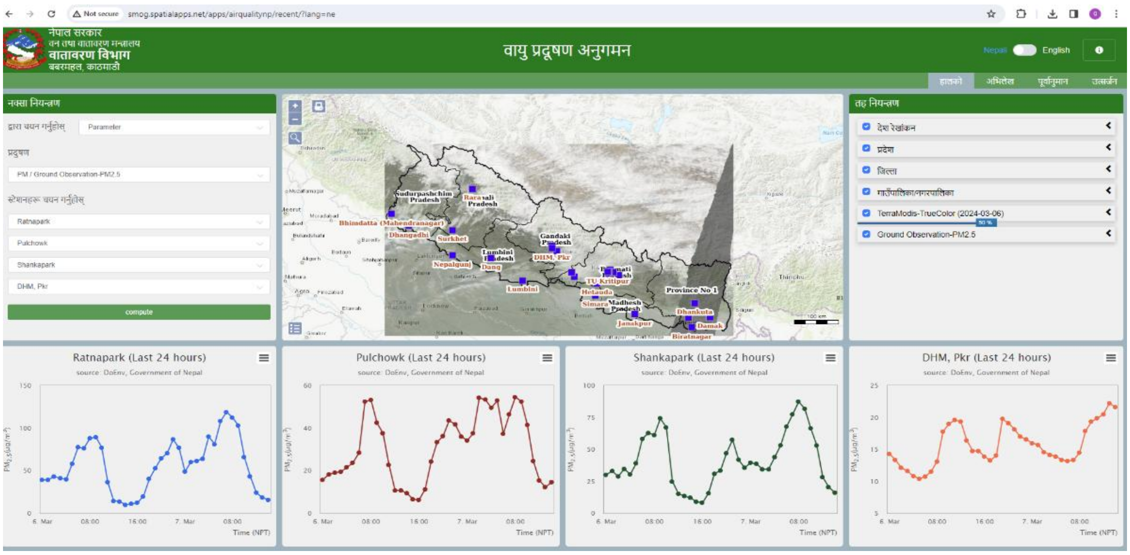
६.२ वातावरण विभागको वेभसाइट

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

वातावरण विभागले प्रत्येक वर्ष वायु गुणस्तर सम्बन्धी तथ्याङ्कहरू विश्लेषण गरी स्थिति प्रतिवेदन प्रकाशन गर्दछ । उक्त प्रतिवेदनहरू पनि विभागको वेभसाइटबाट पढ्न र डाउनलोड गर्न सकिन्छ । त्यसैगरी विभागका वायु गुणस्तर मापन केन्द्रहरूबाट प्राप्त दैनिक औसत तथ्याङ्कहरू समेत विभागको वेभसाइटबाट प्राप्त गर्न सकिन्छ । वातावरण विभागले गरेका विभिन्न अध्ययन प्रतिवेदन पनि विभागको वेभसाइटबाट प्राप्त गर्न सकिन्छ । यसबाहेक विभागको वेभसाइटबाट वातावरणीय मापदण्डहरू, वातावरणसम्बन्धी ऐन, नियम, वातावरणसम्बन्धी प्रश्नोत्तर आदि प्राप्त गर्न सकिन्छ ।

६.३ वायु प्रदूषण अनुगमन ड्यासबोर्ड

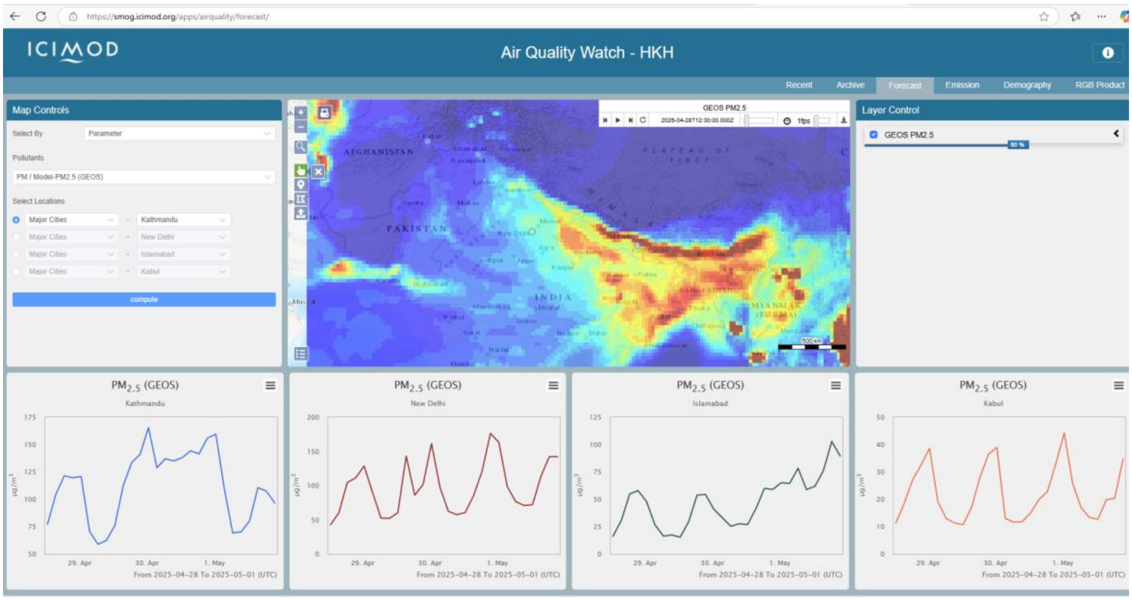
अन्तर्राष्ट्रिय एकीकृत पर्वतीय विकास केन्द्र (ICIMOD) को सहयोगमा निर्माण गरिएको यस अनुगमन ड्यासबोर्डमा http://smog.spatialapps.net/apps/airqualitynp/recent/?lang=ne विभागका मापन केन्द्रबाट प्राप्त तथ्याङ्क हेर्न र डाउनलोड गर्न सकिन्छ । विभागको प्रदूषणसम्बन्धी वेभसाइट https://pollution.gov.np बाट पनि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



चित्रः वायूप्रदूषण अनुगमन ड्यासबोर्डको होमपेज

६.४ Air quality watch – Hindu Kush Himalaya (HKH)

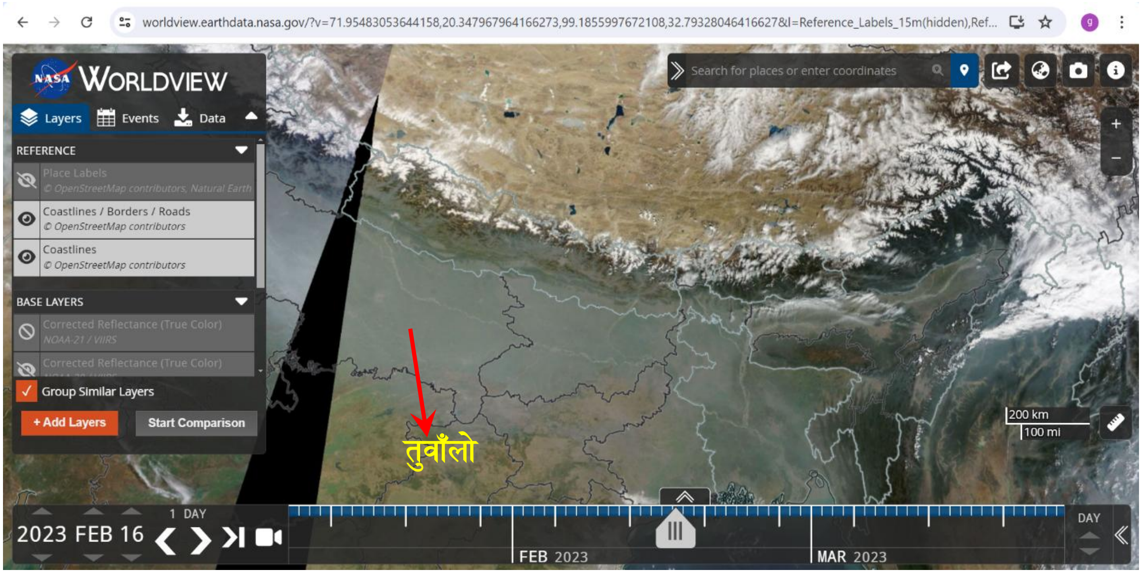
ICIMOD ले निर्माण गरेको यस प्लेटफर्मले प्रयोगकर्ताहरूलाई विभिन्न तथ्याङ्कका स्रोतबाट उपलब्ध प्रदूषण र प्रदूषकको उत्सर्जनको तथ्याङ्क एवम् जानकारीहरूको तुलना गरी परिस्थितिको विस्तृत आकलन गर्ने अवसर प्रदान गर्दछ । यस प्लेटफर्मबाट वायु गुणस्तरको पूर्वानुमानसम्बन्धी जानकारीसमेत प्राप्त गर्न सकिन्छ https://smog.icimod.org/apps/airquality/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



चित्रः Air quality watch-HKH को पेज

६.५ NASA Worldview

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 लिङ्क https://worldview.earthdata.nasa.gov/ बाट सजिलैसँग खोजी गर्न सकिन्छ । उक्त भू-उपग्रहबाट प्राप्त तस्बिरहरू (True color image हरू) वायु प्रदूषण 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 रङको हुने र तुवाँलो केही खैरो हुने भएकाले यसलाई सजिलै छुट्टयाउन सकिन्छ ।



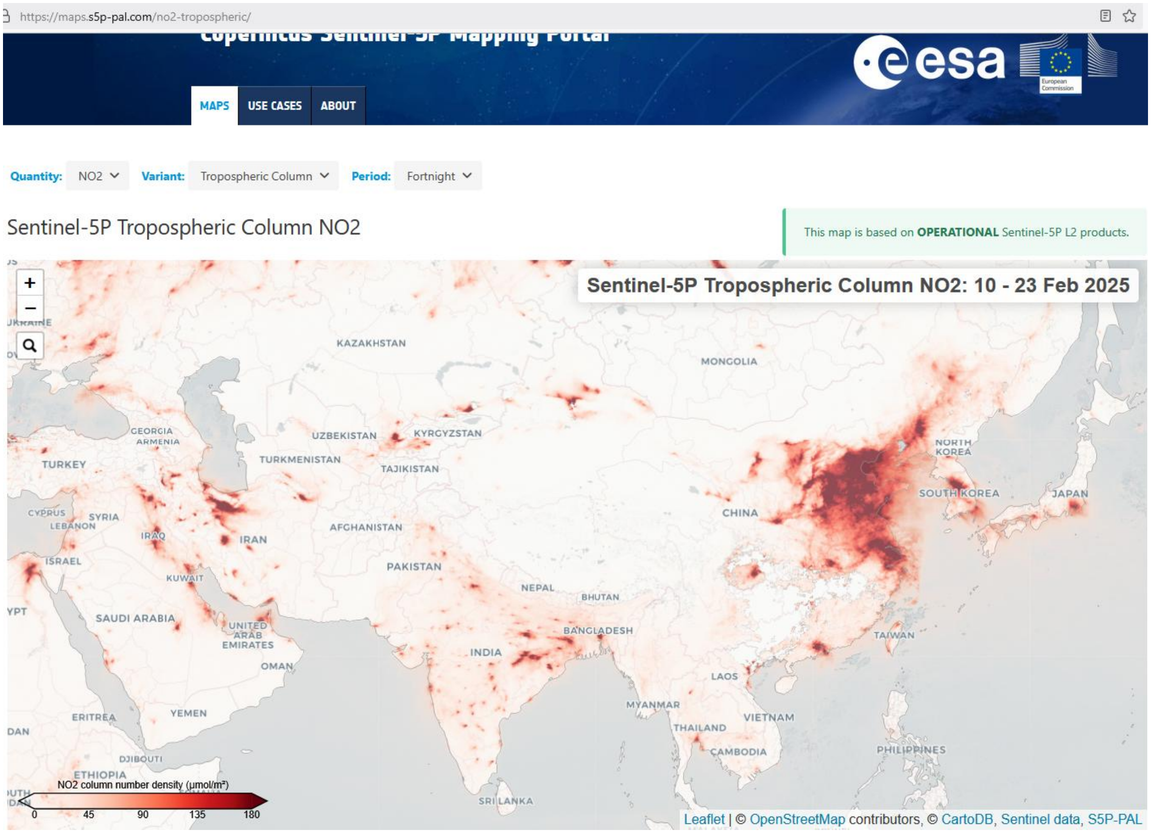
चित्रः NASA Worldview को पेज

६.६ FIRMS (Fire information for Resource Management System)

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

६.७ 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), ओजोन (O_3), सल्फरडाइअक्साइड (SO_2), मिथेन (CH_4) जस्ता ग्यासहरूको तथ्याङ्क सङ्कलन गर्दछ । यस पोर्टलबाट मासिक, ऋतुगत तथा वार्षिक औसतको नक्सासमेत हेर्न सकिन्छ ।



चित्रः Copernicus Sentinel -5P Maping Portal को पेज

सन्दर्भ सामग्री सूची

नेपालको संविधान

राष्ट्रिय वातावरण नीति, २०७६

वातावरण संरक्षण ऐन, २०७६

वातावरण संरक्षण नियमावली– २०७७

वायु गुणस्तर सम्बन्धी राष्ट्रिय मापदण्ड - २०८२

काठमाडौं उपत्यका वायु गुणस्तर व्यवस्थापन कार्ययोजना– २०७६

स्वास्थ्य सेवा ऐन–२०७५

स्थानीय सरकार ऐन– २०७४

नेपालका विभिन्न नीति र योजनाहरू

जलवायु परिवर्तनसम्बन्धी नीति

Kang, S., Zhang, Y., Qian, Y.& Wang, H.. (2020). *A review of black carbon in snow and ice and its impact on the cryosphere*. Earth-Science Reviews. 210. 103346. 10.1016/j.earscirev.2020.103346.

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

Lamichhane, G.P., Maharjan, N, K.C., P. & Gyawali, D., (2025). *Status of Air Quality in Nepal: Annual Report, 2024*, 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 $PM_{2.5}$ Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021*. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1816-5

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines. Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide.* World Health Organization. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/551b515e-2a32-4e1a-a58c-cdaecd395b19/content

World Health Organization. (2025). *Promoting walking and cycling: A toolkit of policy options*. World Health Organization. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/a66e049b-c6b3-497f-b315-d17787b80210/content

Zhang, Y., Kang, S., Sprenger, M., Cong, Z., Gao, T., Li, C., Tao, S., Li, X., Zhong, X., Xu, M., Meng, W., Neupane, B., Qin, X., & Sillanpää, M. (2018). Black carbon and mineral dust in snow cover on the Tibetan Plateau. *The Cryosphere*, *12*, 413–431.

वेभसाईटहरुः

https://blog.icimod.org/air/the-burning-issue-why-its-so-urgent-to-stop-burning-agricultural-residues-in-the-indo-gangetic-plain-and-himalayan-foothills-of-south-asia/

https://www.stateofglobalair.org/resources/archived/state-global-air-report-2024

https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health

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/4/75719834

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/

शब्द र परिभाषा (Terms and Definition)

तुसारो: तुसारो भनेको अत्यन्त चिसो तापक्रम (०°से वा त्यसभन्दा कम) हुँदा हावामा रहेको पानीको बाफ सिधै बरफमा परिणत भई जमिन, घाँस, पात वा अन्य वस्तुको सतहमा सेतो बरफको तहका रूपमा जम्ने प्रक्रिया हो ।

शीत: शीत भनेको राति वा बिहान चिसो तापक्रमका कारण हावामा रहेको पानीको बाफ चिसो सतहसँग सम्पर्कमा आउँदा साना थोपा बनेर घाँस, पात वा अन्य वस्तुको सतहमा जम्ने पानी हो ।

ओजन तह: ओजन तह भनेको वायुमण्डलको स्ट्राटोस्फियर तहमा अवस्थित ओजन (O_3) ग्यास बढी मात्रामा रहेको भाग हो, जसले सूर्यबाट आउने हानिकारक पराबैंगनी (Ultra Violet-UV) किरणहरूलाई अवशोषण गरी पृथ्वीमा रहेका जीवजन्तु र वनस्पतिलाई सुरक्षा प्रदान गर्छ ।

उल्का: अन्तरिक्षमा रहेका स-साना चट्टान वा धातुका पिण्डहरू (Meteor) पृथ्वीको वायुमण्डलमा तीव्र गतिले प्रवेश गर्दा घर्षणका कारण तातेर जल्छन् । यसरी जल्दा आकाशमा जुन प्रकाशको लामो रेखा देखिन्छ, त्यसैलाई उल्का भनिन्छ । यसलाई साधारण बोलचालीको भाषामा तारा खसेको (Shooting Star) पनि भनिन्छ ।

अणु: दुई वा दुईभन्दा बढी परमाणुहरू (Atoms) रासायनिक बन्धनद्वारा बाँधिएर बनेको पदार्थको सबैभन्दा सानो एकाइलाई अणु भनिन्छ ।

परमाणु: कुनै पनि तत्वको त्यो सानो कण, जसलाई थप भौतिक वा रासायनिक विधिद्वारा टुक्राउन सकिँदैन (परम्परागत धारणा) र जसले त्यस तत्वको सम्पूर्ण गुणहरू बोकेको हुन्छ, त्यसलाई परमाणु भनिन्छ ।

आयोन: विद्युतीय चार्ज (Electrical charge) भएको परमाणु वा परमाणुहरूको समूहलाई आयोन भनिन्छ । परमाणुमा प्रोटोन र इलेक्ट्रोनको संख्या बराबर नहुँदा आयोन बन्दछ ।

भोलाटाइल अर्गानिक कम्पाउन्ड (Volatile Organic Compound-VOC): भोलाटाइल अर्गानिक कम्पाउन्ड (VOC) भनेका ती कार्बनयुक्त रासायनिक यौगिकहरू हुन्, जुन सामान्य तापक्रममा सजिलै वाष्प (ग्यास) मा परिणत भएर हावामा मिसिन सक्छन्।

फोटोकेमिकल मोडेलिङ (Photochemical Modeling): फोटोकेमिकल मोडेलिङ भनेको वायुमण्डलमा विभिन्न रासायनिक पदार्थहरू (जस्तै प्रदूषकहरू) कसरी आपसमा प्रतिक्रिया गरेर नयाँ पदार्थ बनाउँछन् र समयसँगै कसरी फैलिन्छन् भन्ने कुरा गणितीय र कम्प्युटेशनल तरिकाले अध्ययन गर्ने प्रक्रिया हो।

ब्ल्याक कार्बन (Black Carbon): ब्ल्याक कार्बन भनेको अपूर्ण दहन (Incomplete combustion) बाट उत्पन्न हुने साना कालो कणहरू (Particulate matter) हुन्, जुन वायुमण्डलमा फैलिन्छन् र सूर्यको तापलाई सोस्ने क्षमताका कारण तापमान वृद्धि (Global warming) मा योगदान पुऱ्याउँछन्।

पठारः पठार भनेको उच्च जमिनको सपाट वा अलिकति उचाइ भएको क्षेत्र हो, जुन प्रायः पहाडको तुलनामा कम उचाइमा हुन्छ।

इन्सिनिरेसनः इन्सिनिरेसन (Incineration) भनेको ठोस, तरल वा संक्रामक/खतरनाक फोहरलाई उच्च तापक्रममा जलाएर त्यसको मात्रा र विषाक्तता घटाउने प्रक्रिया हो।

हरित अर्थतन्त्रः हरित अर्थतन्त्र आर्थिक वृद्धि र रोजगार सिर्जना गर्दै पनि वातावरणलाई क्षति नपुऱ्याउने, प्रदूषण घटाउने, र प्राकृतिक स्रोतको दिगो प्रयोग गर्ने अर्थतन्त्र हो।

नेपाल सरकार
कृषि, वन तथा पर्यावरण मन्त्रालय

वातावरण विभाग

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