

शहरी धूलकण प्रदूषण का स्थानीय वनस्पति स्वास्थ्य पर प्रभाव

डॉ. शैलेंद्र कुमार

एसोसिएट प्रोफेसर

राजनीति विज्ञान विभाग

जे. पी. महाविद्यालय, नारायणपुर

ति. मां. भागलपुर विश्वविद्यालय, भागलपुर, बिहार।

सारांश : शहरी सड़कें, निर्माण गतिविधियाँ और औद्योगिक परिसर वायुमंडल में ऐसे धूलकण उत्पन्न करते हैं जो पौधों की पत्तियों पर जमा होते हैं। पत्तियाँ इन कणों को पकड़कर आसपास की वायु से उनका एक भाग हटाती हैं, पर लंबे समय तक जमाव पौधों की शारीरिक क्रियाओं को भी प्रभावित कर सकता है। इस शोधपत्र का उद्देश्य प्रकाशित अध्ययनों के आधार पर पर्णाय धूल-जमाव और स्थानीय वनस्पति स्वास्थ्य के बीच संबंध की समीक्षा करना है। इसके लिए भारत तथा अन्य शहरी क्षेत्रों के अध्ययनों में मापी गई पर्णाय धूल, क्लोरोफिल, प्रकाश-संश्लेषण, रंघ्रीय चालकता और वायु प्रदूषण सहिष्णुता से जुड़े निष्कर्षों का तुलनात्मक विश्लेषण किया गया। दिल्ली में पाँच शाकीय प्रजातियों के अध्ययन में *Achyranthes aspera* पर अधिकतम 0.49 मिलीग्राम प्रति वर्ग सेंटीमीटर धूल दर्ज हुई और प्रदूषित स्थल के पौधों में कई शारीरिक सूचकों में गिरावट मिली। इसके विपरीत, हंगरी के एक अपेक्षाकृत कम धूल-जमाव वाले शहरी मार्ग पर जुलाई में धूल और क्लोरोफिल के बीच धनात्मक संबंध पाया गया। ये परिणाम दिखाते हैं कि पत्ती पर अधिक धूल मिलना अपने-आप में हर प्रजाति के लिए समान क्षति का प्रमाण नहीं है। प्रजाति, मौसम, कणों की प्रकृति और प्रदूषण की तीव्रता को साथ मापना आवश्यक है। शोधपत्र स्थानीय निगरानी के लिए एक समन्वित मापन-पद्धति भी प्रस्तुत करता है। सभी संख्यात्मक परिणाम उनके प्रकाशित मूल अध्ययनों से लिए गए हैं; वे किसी एक नए क्षेत्रीय सर्वेक्षण के परिणाम नहीं हैं।

प्रमुख शब्द: शहरी धूलकण, पर्णाय धूल-जमाव, वनस्पति स्वास्थ्य, क्लोरोफिल, प्रकाश-संश्लेषण, जैव-सूचक

परिचय

शहरी वनस्पति धूलकण प्रदूषण के संबंध में दो भूमिकाएँ निभाती है। उसकी पत्तियाँ वायु में उपस्थित कणों को रोक सकती हैं, जबकि उन्हीं कणों का जमाव पत्ती तक पहुँचने वाले प्रकाश, गैसों के आदान-प्रदान और सतही संरचना को प्रभावित कर सकता है। इसलिए किसी सड़क किनारे पेड़ की धूलभरी पत्तियों को देखकर दो अलग प्रश्न पूछने चाहिए: उसने कितनी धूल रोकी है और उस जमाव का उसके स्वास्थ्य से क्या संबंध है?

भारत में इस विषय का व्यावहारिक महत्व है। राष्ट्रीय स्वच्छ वायु कार्यक्रम के संबंध में भारत सरकार द्वारा प्रकाशित आकलन के अनुसार, वित्त वर्ष 2023-24 में 130 में से 97 शहरों की वार्षिक PM_{10} सांद्रता में आधार वर्ष 2017-18 की तुलना में सुधार दर्ज हुआ। उसी आकलन में 55 शहरों में कम-से-कम 20% कमी दर्ज की गई। ये आँकड़े नगर-स्तरीय वायु गुणवत्ता बताते हैं; इनसे किसी विशिष्ट

प्रजाति के स्वास्थ्य में सुधार सिद्ध नहीं होता। इसके लिए पत्तियों और परिवेश का स्थानीय अध्ययन चाहिए। [Press Information Bureau](#)

पर्णाय धूल-जमाव और वनस्पति स्वास्थ्य के संबंध को सरल रेखीय नियम में बदलना कठिन है। दिल्ली में प्रकाशित शोध ने अधिक प्रदूषित स्थान के पौधों में क्लोरोफिल तथा गैस-विनिमय संबंधी सूचकों में गिरावट दर्ज की। दूसरी ओर, हंगरी के डेब्रेसेन नगर में *Celtis occidentalis* की पत्तियों पर अपेक्षाकृत कम जमाव की दशा में जुलाई में अधिक धूल के साथ अधिक क्लोरोफिल मिला। दोनों निष्कर्ष वास्तविक हैं, पर इनके स्थल, प्रजाति और जोखिम स्तर अलग हैं। pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

इस शोधपत्र का मुख्य प्रश्न है: शहरी धूलकणों का पत्तियों पर जमाव स्थानीय वनस्पति स्वास्थ्य से किन परिस्थितियों में और किस प्रकार जुड़ा पाया गया है? इसके तीन उद्देश्य हैं—प्रकाशित मापों को स्पष्ट रूप से प्रस्तुत करना, अलग-अलग अध्ययनों के परिणामों में भिन्नता की व्याख्या करना, और भविष्य के स्थानीय सर्वेक्षण के लिए ऐसे स्वास्थ्य-सूचक तय करना जो धूल की मात्रा के साथ मापे जा सकें।

साहित्य समीक्षा

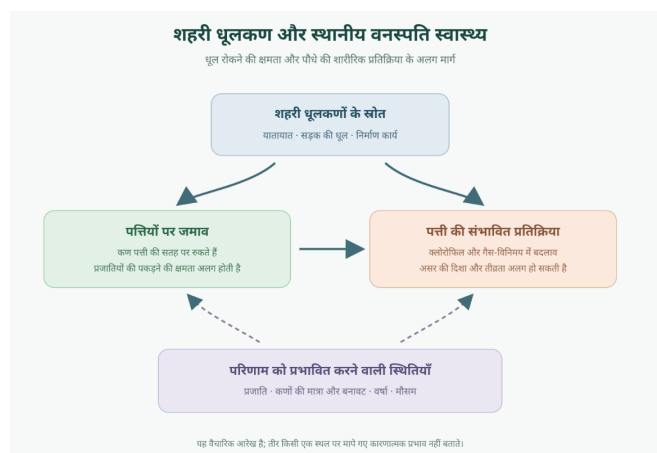
धूलकणों का पत्तियों पर जमाव

किसी पत्ती की धूल पकड़ने की क्षमता केवल उसके आकार पर निर्भर नहीं करती। उसकी सतह की खुरदराहट, रोमों की उपस्थिति, छत्रक की बनावट, सड़क से दूरी और आसपास की वायु-गति भी महत्वपूर्ण हैं। नई दिल्ली में सड़क किनारे पत्तियों पर जमा 600 कणों का सूक्ष्मदर्शीय विश्लेषण करने वाले अध्ययन में 69.9% कण 2-5 माइक्रोमीटर, 27% कण 2 माइक्रोमीटर से छोटे और 3.1% कण 5 माइक्रोमीटर से बड़े पाए गए। अध्ययन में *Polyalthia longifolia* ने जाँची गई प्रजातियों में 2 माइक्रोमीटर से छोटे कणों का सबसे अधिक अनुपात पकड़ा। यह कण-पकड़ने का प्रमाण है, किंतु इस अध्ययन से अकेले क्लोरोफिल अथवा प्रकाश-संश्लेषण में परिवर्तन की मात्रा ज्ञात नहीं होती। [Springer Nature Link](#)

चौधरी और राठौर ने शहरी सड़क किनारे वृक्षों में धूल हटाने की क्षमता के साथ पत्तियों की शारीरिक प्रतिक्रियाओं का परीक्षण किया। उनके निष्कर्षों में धूल पकड़ना और धूल के प्रभाव को सहन करना अलग गुण के रूप में सामने आते हैं। किसी प्रजाति की पत्तियों पर अधिक जमाव इस बात का संकेत हो सकता है कि वह अच्छा कण-अवरोधक है; यह निष्कर्ष निकालने के लिए अतिरिक्त शारीरिक माप चाहिए कि वह स्वस्थ भी बनी हुई है। [ScienceDirect](#)

चतुर्वेदी और सहकर्मियों ने कम प्रदूषण वाले विश्वविद्यालय परिसर तथा अधिक प्रदूषित औद्योगिक क्षेत्र में चार वृक्ष प्रजातियों के पत्ती-गुणों की तुलना की। उन्होंने पर्णाय धूल के साथ पत्ती क्षेत्रफल, जल-अंश, क्लोरोफिल, अधिकतम रंघ्रीय चालकता और अधिकतम प्रकाश-संश्लेषण दर जैसे सूचक जाँचे। यह व्यापक मापन इस विषय के लिए

उपयोगी है, क्योंकि केवल पत्ती पर धूल तौलने से पौधे की कार्यात्मक स्थिति नहीं समझी जा सकती। [PubMed](#)



वनस्पति की शारीरिक और जैवरासायनिक प्रतिक्रिया

दिल्ली में चौरसिया और सहकर्मियों ने सड़क किनारे उगने वाली पाँच शाकीय प्रजातियों की पत्तियों पर धूल और उनसे जुड़े स्वास्थ्य-सूचक मापे। *Achyranthes aspera* पर सर्वाधिक **0.49 मिलीग्राम प्रति वर्ग सेंटीमीटर** धूल मिली। प्रदूषित स्थल के पौधों में क्लोरोफिल, प्रकाश-संश्लेषण दर, रंघ्रीय चालकता और वाष्पोत्सर्जन दर में उल्लेखनीय कमी दर्ज हुई। यह अध्ययन पत्ती की सतह पर जमा कणों को वास्तविक शारीरिक मापों से जोड़ता है; फिर भी स्थल पर धूल के साथ मौजूद दूसरे प्रदूषकों का योगदान पूरी तरह अलग मान लेना उचित नहीं होगा। [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](#)

गुप्ता और सहकर्मियों ने दिल्ली राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र में *Morus alba* की पत्तियों पर आवासीय और औद्योगिक स्थलों से संबंधित धूल तथा जैवरासायनिक परिवर्तन का अध्ययन किया। पत्ती की बाहरी संरचना, रंघ और रंजकों की जाँच ने दिखाया कि कणों की रासायनिक प्रकृति भी महत्वपूर्ण है। समान भार की दो धूल-परतें आवश्यक नहीं कि पौधे पर समान प्रभाव डालें। [PubMed](#)

हालाँकि सभी स्थल एक जैसी प्रतिक्रिया नहीं दिखाते। अब्रीहा-मोलनार और सहकर्मियों ने डेब्रेसेन में एक चौराहे से दूर जाते मार्ग पर *Celtis occidentalis* की पत्तियाँ जाँचीं। जुलाई में औसत जमाव अलग-अलग नमूना-बिंदुओं पर 4.5 ± 1.7 से 99.6 ± 41.2 माइक्रोग्राम प्रति वर्ग सेंटीमीटर के बीच था। उसी माह धूल-जमाव और क्लोरोफिल के बीच धनात्मक सहसंबंध, $r = 0.684$, $p < 0.001$, पाया गया। सितंबर में यह संबंध सांख्यिकीय रूप से स्पष्ट नहीं था। लेखकों ने उस स्थल पर मापी गई धूल के आधार पर क्लोरोफिल-हानि का निष्कर्ष नहीं निकाला। उनका परिणाम दिल्ली में दर्ज प्रतिकूल प्रतिक्रियाओं को निरस्त नहीं करता; वह प्रभावों की स्थल-विशिष्टता दिखाता है। [Scientific Reports](#)

जैव-सूचक और प्रजाति चयन

वायु प्रदूषण सहिष्णुता सूचकांक, जिसे APTI कहा जाता है, सामान्यतः क्लोरोफिल, एस्कॉर्बिक अम्ल, पत्ती के सापेक्ष जल-अंश और पत्ती-अर्क

के pH को साथ लेकर प्रजातियों की प्रतिक्रिया का अध्ययन करता है। मोलनार और सहकर्मियों ने हंगरी के शहरी, औद्योगिक तथा ग्रामीण स्थलों पर पत्तियों की धूल और अन्य मापों के साथ APTI का प्रयोग किया। इससे प्रदूषण की निगरानी में पत्तियों की उपयोगिता सामने आई; फिर भी एक सूचकांक को प्रकाश-संश्लेषण या वृद्धि का सीधा पर्याय नहीं समझना चाहिए। [PMC](#)

असिफ और मा ने लाहौर के व्यस्त मार्ग के किनारे पौधों में मौसमी धूल-जमाव तथा APTI का परीक्षण किया। सिंगरौली के कोयला-खनन क्षेत्र पर प्रकाशित शोध ने वृक्षों और झाड़ियों की धूल पकड़ने की क्षमता, पत्ती-आकृति तथा प्रदूषण-सहिष्णुता को साथ जाँचकर हरित पट्टी के लिए प्रजातियाँ चुनने का आधार दिया। दोनों अध्ययन संकेत देते हैं कि केवल सजावटी गुण या तेज वृद्धि के आधार पर सड़क किनारे पौधरोपण तय करना अपर्याप्त है। [mdpi.com](#)

दूरसंवेदी अध्ययन भी एक पद्धतिगत सावधानी जोड़ता है। लिन और सहकर्मियों ने पाया कि पत्ती पर जमा धूल उसके परावर्तन-संकेत को प्रभावित कर सकती है। अतः बिना पत्ती की सतह की दशा जाँचे, चित्र या वर्णक्रम से अनुमानित क्लोरोफिल को वास्तविक ऊतक-परिवर्तन मान लेना त्रुटिपूर्ण हो सकता है। [mdpi.com](#)

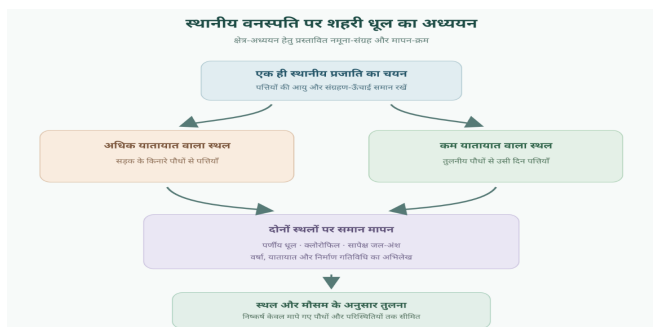
शोध-अंतर और उद्देश्य

उपलब्ध अध्ययनों में धूल पकड़ने की क्षमता और वनस्पति स्वास्थ्य को अक्सर साथ चर्चा में रखा जाता है, लेकिन दोनों के लिए मापे गए प्रमाण हमेशा समान नहीं होते। कुछ शोध कणों की संख्या और आकार बताते हैं; कुछ पर्णाय धूल का भार तथा पत्ती के रंजक मापते हैं; कुछ प्रदूषण सहिष्णुता का संयुक्त सूचकांक देते हैं। इन्हें एक ही तरह के परिणाम की तरह पढ़ने से गलत निष्कर्ष निकल सकता है।

इस शोधपत्र का विशिष्ट योगदान मापन और निष्कर्ष के बीच स्पष्ट संबंध स्थापित करना है। धूल की मात्रा से जमाव के बारे में, क्लोरोफिल और गैस-विनिमय से पत्ती की कार्यप्रणाली के बारे में, तथा समय-समय पर दोहराए गए माप से मौसमी परिवर्तन के बारे में निष्कर्ष निकाला गया है। नगर-स्तरीय PM_{10} आँकड़ों को केवल व्यापक वायु-गुणवत्ता संदर्भ में रखा गया है।

शोध-पद्धति

यह प्रकाशित अध्ययनों और आधिकारिक आँकड़ों का द्वितीयक तुलनात्मक विश्लेषण है। इसमें नया पत्ती-नमूना, प्रयोगशाला परीक्षण या नगर-स्तरीय वायु मापन नहीं किया गया। चयनित स्रोतों में वे अध्ययन शामिल किए गए जिनमें कम-से-कम एक स्पष्ट पर्णाय धूल-माप या वनस्पति स्वास्थ्य-सूचक उपलब्ध था। भारत के अध्ययन स्थानीय पर्यावरण और प्रजाति चयन की चर्चा के लिए प्राथमिक रहे; डेब्रेसेन का अध्ययन अलग प्रदूषण-परिस्थिति में मिले विपरीत क्लोरोफिल परिणाम को समझने के लिए शामिल किया गया। सरकारी PM_{10} आँकड़ों का उपयोग किसी पत्ती-अध्ययन के परिणाम के रूप में नहीं किया गया।



हर स्रोत से अध्ययन-स्थल, पौध-प्रजाति, धूल-मापन की इकाई, स्वास्थ्य-सूचक और सांख्यिकीय निष्कर्ष दर्ज किए गए। माइक्रोग्राम तथा मिलीग्राम प्रति वर्ग सेंटीमीटर में व्यक्त पत्ती-जमाव को वायु में माइक्रोग्राम प्रति घनमीटर PM_{10} सांद्रता से सीधे तुलनीय नहीं माना गया। इसी तरह अलग अध्ययनों के सहसंबंधों और प्रतिशतों को जोड़कर कोई नया संयुक्त प्रभाव-आकार नहीं निकाला गया।

तालिका 1. द्वितीयक विश्लेषण में माप और उनके अर्थ

माप	इकाई या विधि	इससे मिलने वाली जानकारी	इसकी सीमा
पर्णिय धूल-जमाव	पत्ती क्षेत्रफल पर धूल का भार	पत्ती पर संचित कण	अकेले पौधे की क्षति नहीं बताता
कणों का आकार	सूक्ष्मदर्शीय विश्लेषण; माइक्रोमीटर	पकड़े गए कणों का आकार-वितरण	पत्ती की शारीरिक प्रतिक्रिया अलग मापनी होगी
क्लोरोफिल	पत्ती-ऊतक का विश्लेषण	प्रकाश-संश्लेषी रंजक की स्थिति	प्रजाति और मौसम से भी बदलता है
गैस-विनिमय	प्रकाश-संश्लेषण और रंध्रीय चालकता	पत्ती की कार्यात्मक प्रतिक्रिया	धूल के साथ अन्य प्रदूषक भी प्रभाव डाल सकते हैं
APTI	अनेक पत्ती-सूचकों का संयुक्त आकलन	प्रदूषण-सहिष्णुता का तुलनात्मक संकेत	धूल के एकमात्र प्रभाव का माप नहीं
परिवेशी PM_{10}	वायु में वार्षिक औसत सांद्रता	व्यापक प्रदूषण-संदर्भ	किसी विशिष्ट पत्ती पर जमाव नहीं बताता

स्थानीय स्तर पर इस प्रश्न की प्रत्यक्ष जाँच के लिए सड़क किनारे और अपेक्षाकृत कम यातायात वाले स्थलों पर एक ही प्रजाति के परिपक्व पौधे चुनने होंगे। दोनों समूहों में पत्तियों की आयु, संग्रहण-ऊँचाई और नमूना लेने का समय समान रखना होगा। धूल का भार धुली और अधुली पत्तियों से, जबकि क्लोरोफिल और जल-अंश अलग ऊतक-नमूनों से मापे जा सकते हैं। वर्षा, यातायात और निर्माण कार्य का अभिलेख परिणामों की व्याख्या के लिए आवश्यक होगा। यह प्रत्यक्ष अध्ययन की प्रस्तावित प्रक्रिया है; नीचे दिए परिणाम प्रकाशित स्रोतों के हैं।

परिणाम

प्रकाशित आँकड़ों का तुलनात्मक अध्ययन तीन स्तरों पर परिणाम देता है: पत्तियाँ कण पकड़ती हैं; अधिक प्रदूषित स्थलों पर कुछ प्रजातियों में शारीरिक गिरावट मिली है; और कम या बदलते जमाव वाले स्थल पर क्लोरोफिल की प्रतिक्रिया अलग हो सकती है।

तालिका 2. प्रकाशित अध्ययनों से प्राप्त संख्यात्मक परिणाम

मूल अध्ययन और स्थल	मूल अध्ययन का माप	प्रकाशित परिणाम	इस शोधपत्र में उसका अर्थ
चौरसिया एवं सहकर्म; दिल्ली	पाँच शाकीय प्रजातियों की पर्णिय धूल और शारीरिक सूचक	A. aspera पर अधिकतम 0.49 मिलीग्राम/सेमी ² धूल	प्रजातियों में धूल-जमाव भिन्न था; प्रदूषित स्थल पर कई स्वास्थ्य-सूचक घटे
कौर एवं सहकर्म; नई दिल्ली	पत्तियों पर जमा 600 कणों का आकार	69.9% कण 2–5 μm ; 27% <2 μm ; **3.1%** >5 μm	पत्तियाँ विभिन्न आकार के कण पकड़ती हैं
अब्रीहा-मोलनार एवं सहकर्म; डेब्रेसेन, जुलाई	C. occidentalis पर पर्णिय धूल	4.5 $\pm$ 1.7 से 99.6 $\pm$ 41.2 $\mu g/सेमी^2$	उसी मार्ग पर स्थान के अनुसार जमाव बहुत बदला
वही अध्ययन; जुलाई	पर्णिय धूल और क्लोरोफिल का संबंध	r = 0.684; p < 0.001	इस स्थल और मौसम में संबंध धनात्मक था
वही अध्ययन;	नमूना-तिथियों के बीच औसत धूल-अंतर	सितंबर में औसतन 30.9	मौसम और वर्षा परिणाम

जुलाई से सितंबर		$\mu\text{g}/\text{सेमी}^2$ कम	बदल सकते हैं
--------------------	--	-----------------------------------	-----------------

तालिका में दिए मान संबंधित प्रकाशनों से लिए गए हैं। नई दिल्ली के 600 का अर्थ विश्लेषित कणों की संख्या है, पौधों या पत्तियों की संख्या नहीं। दिल्ली में $0.49 \text{ मिलीग्राम/सेमी}^2$ तथा डेब्रेसेन में दिए $\text{माइक्रोग्राम/सेमी}^2$ के मान अलग प्रजातियों और परिस्थितियों से हैं; उन्हें किसी एक प्रयोग के नियंत्रण और उपचार समूह की तरह नहीं पढ़ना चाहिए। pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

डेब्रेसेन के अध्ययन में जुलाई में चौराहे से दूरी बढ़ने पर पर्णिय धूल घटने का ऋणात्मक सहसंबंध, $r = -0.847$, $p < 0.001$, पाया गया। सितंबर में वही दूरी-संबंध स्पष्ट नहीं रहा। इस अंतर के साथ नमूने लेने से पहले की वर्षा को देखना महत्वपूर्ण है। इससे दोहराए गए मौसमी माप की आवश्यकता सामने आती है; एक दिन की पत्तियों को पूरे वर्ष के जोखिम का प्रतिनिधि नहीं मान सकते। Scientific Reports

भारतीय सरकारी आँकड़ों में कुछ शहरों में PM_{10} सुधार दर्ज है, लेकिन यह तालिका 2 के पौध-अध्ययनों से स्वतंत्र डेटा है। उदाहरण के लिए, प्रकाशित सरकारी सूची में वाराणसी का वार्षिक PM_{10} औसत 2017–18 में 230 और 2023–24 में 73 माइक्रोग्राम/मी^3 दिया गया है। इससे नगर की परिवेशी वायु में परिवर्तन का संदर्भ मिलता है; वाराणसी की किसी विशिष्ट प्रजाति के क्लोरोफिल में परिवर्तन का निष्कर्ष नहीं निकलता। Press Information Bureau

चर्चा

परिणामों का पहला निहितार्थ यह है कि धूल पकड़ने की क्षमता और प्रदूषण-सहिष्णुता का अलग मूल्यांकन होना चाहिए। सड़क किनारे रोपी गई प्रजाति बड़ी मात्रा में कण रोक सकती है, लेकिन लंबे समय में उसकी पत्तियों के रंजक या गैस-विनिमय में गिरावट आ सकती है। दूसरी प्रजाति कम धूल पकड़े, पर अपनी कार्यात्मक दशा बेहतर बनाए रखे। हरित पट्टी के लिए चयन में दोनों गुण महत्वपूर्ण हैं। नई दिल्ली में सूक्ष्म कणों की पकड़ पर अध्ययन और सिंगरौली में पत्ती-आकृति तथा सहिष्णुता का संयुक्त अध्ययन इस अंतर को स्पष्ट करते हैं। Springer Nature Link

दूसरा निहितार्थ है कि धूल-जमाव का प्रभाव परिस्थिति के अनुसार बदल सकता है। दिल्ली के अध्ययन में अधिक प्रदूषित स्थल के पौधों की कई शारीरिक क्रियाएँ प्रभावित हुईं। डेब्रेसेन में जुलाई के अपेक्षाकृत हल्के जमाव के साथ क्लोरोफिल बढ़ा हुआ मिला और सितंबर में वह संबंध नहीं रहा। यह भिन्नता प्रजाति की प्रतिक्रिया, कणों की मात्रा व संरचना तथा मौसम की संयुक्त भूमिका से संगत है। उपलब्ध आँकड़े इन कारणों में प्रत्येक का स्वतंत्र प्रभाव निर्धारित नहीं करते; अतः धनात्मक क्लोरोफिल संबंध को धूल का लाभ और ऋणात्मक संबंध को केवल धूल की क्षति कह देना उचित नहीं होगा। pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

तीसरा निहितार्थ मापन से जुड़ा है। वर्षा पत्ती की सतह से धूल हटा सकती है, जबकि वायु में उपलब्ध कणों की मात्रा भी मौसम के साथ बदलती है। यदि सड़क के किनारे और पार्क की पत्तियाँ अलग-अलग तिथियों पर एकत्र की जाएँ, तो मिला अंतर यातायात के बजाय वर्षा के

कारण भी हो सकता है। इसलिए एक स्थानीय अध्ययन में समान तिथि पर तुलनीय पत्तियाँ लेना और कई मौसमों में संग्रह दोहराना आवश्यक है। दूरसंवेदी क्लोरोफिल अनुमान के साथ धुली तथा अधुली पत्तियों की तुलना उपयोगी होगी, क्योंकि सतही धूल स्वयं पत्ती के प्रकाशीय संकेत को बदल सकती है। Scientific Reports

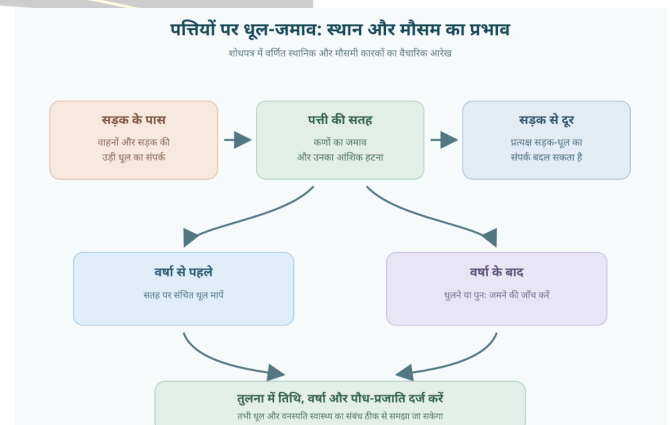
नगर नियोजन के लिए इन निष्कर्षों का आशय केवल “अधिक वृक्ष लगाना” नहीं है। जहाँ कणों का भार अधिक हो, वहाँ ऐसी स्थानीय रूप से उपयुक्त प्रजातियाँ चुननी होंगी जो धूल रोकने के साथ अपना स्वास्थ्य बनाए रखें। सड़क से दूरी, छत्रक की बनावट और रखरखाव की दशा भी दर्ज होनी चाहिए। प्रदूषण घटाने की मूल कार्रवाई—जैसे धूल-स्रोतों का प्रबंधन—का विकल्प केवल पौधरोपण नहीं बन सकता।



अध्ययन की सीमाएँ

यह शोधपत्र द्वितीयक विश्लेषण है। अलग-अलग प्रकाशित अध्ययनों में प्रजातियाँ, इकाइयाँ, ऋतुएँ और प्रदूषण-स्रोत अलग हैं। इसलिए यहाँ प्रस्तुत आँकड़ों से भारत के सभी शहरों के लिए एक साझा प्रतिशत हानि या एक साझा सुरक्षित धूल-सीमा निकालना संभव नहीं है।

अधिकांश क्षेत्रीय तुलनाओं में धूल के साथ गैसीय प्रदूषक, जल की उपलब्धता, मिट्टी की दशा और तापमान भी बदल सकते हैं। पत्ती पर अधिक धूल और कम क्लोरोफिल साथ मिलने से अकेले धूल को कारण सिद्ध नहीं किया जा सकता। इसके लिए नियंत्रित अथवा बार-बार मापा गया स्थानीय अध्ययन आवश्यक होगा।



निष्कर्ष

शहरी पत्तियाँ धूलकण रोकने में उपयोगी हैं, लेकिन उसी जमाव के साथ कुछ प्रदूषित स्थलों पर क्लोरोफिल, प्रकाश-संश्लेषण और रंघ्रीय क्रिया में गिरावट दर्ज हुई है। अन्य स्थल पर अपेक्षाकृत कम जमाव के साथ क्लोरोफिल का धनात्मक संबंध भी प्रकाशित हुआ है। इसलिए स्थानीय वनस्पति स्वास्थ्य का विश्वसनीय आकलन धूल के भार, पौधे की कार्यप्रणाली, प्रजाति और मौसम को साथ मापकर ही किया जा सकता है। ऐसा आकलन शहरों को हरित पट्टी के लिए अधिक उपयुक्त प्रजातियाँ चुनने और धूल-नियंत्रण उपायों के प्रभाव की जाँच करने में सहायता देगा।

सत्यापित संदर्भ सूची

1. अब्रीहा-मोलनार, बी. ई., साबो, एस., मगुरा, टी., तोथमैरैस, बी., अब्रीहा, डी., सिपोस, बी., एवं साइमन, ई. (2024)। शहरी वृक्षों पर कणीय पदार्थ और क्लोरोफिल की मात्रा के आधार पर पर्यावरणीय प्रभाव का आकलन। साइंटिफिक रिपोर्ट्स, 14, लेख 19911। <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70664-4>
www.nature.com
2. आसिफ, जेड., एवं मा, डब्ल्यू. (2024)। अधिक यातायात वाले मार्गों के किनारे शहरी पौधरोपण के वायु प्रदूषण सहिष्णुता सूचकांक का आकलन। एटमॉस्फियर, 15(6), लेख 659। <https://doi.org/10.3390/atmos15060659>
openurl.ebsco.com
3. चतुर्वेदी, आर. के., प्रसाद, एस., राणा, एस., ओबैदुल्लाह, एस. एम., पांडेय, बी., एवं सिंह, एच. (2013)। सड़क किनारे उगने वाली वृक्ष प्रजातियों की पत्तियों के गुणों पर धूल-जमाव का प्रभाव। एनवायरनमेंटल मॉनिटरिंग एंड असेसमेंट, 185, 383–391। <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2560-x> pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
4. चौधरी, आई. जे., एवं राठौर, डी. (2019)। शहरी वृक्षों द्वारा धूल हटाना और पत्तियों की शारीरिक क्रियाओं पर धूल का प्रभाव। सस्टेनेबल सिटीज़ एंड सोसाइटी, 51, लेख 101696। <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101696>
www.sciencedirect.com
5. चौरसिया, एम., पटेल, के., त्रिपाठी, आई., एवं राव, के. एस. (2022)। दिल्ली की चयनित शाकीय वनस्पतियों की शारीरिक क्रियाओं पर धूल-जमाव का प्रभाव। एनवायरनमेंटल साइंस एंड पॉल्यूशन रिसर्च, 29, 80739–80754। <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21484-4>
pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
6. गुप्ता, जी. पी., सिंह, एस., कुमार, बी., एवं कुलश्रेष्ठ, यू. सी. (2015)। दिल्ली राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र में औद्योगिक सल्फेट-युक्त धूल का शहतूत (Morus alba) की जैवरासायनिक एवं आकारिक विशेषताओं पर प्रभाव। एनवायरनमेंटल मॉनिटरिंग एंड असेसमेंट, 187, लेख 67। <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4301-4>
pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
7. कौर, एस., गांधी, एन., मिश्रा, एस. के., एवं अन्य। (2026)। नई दिल्ली में सड़क किनारे पौधों की प्रतियों पर कणीय पदार्थ का जमाव और पौध-स्वास्थ्य के लिए उसके निहितार्थ। एरोसोल साइंस एंड इंजीनियरिंग, 10, 591–602। <https://doi.org/10.1007/s41810-025-00318-z>
link.springer.com
8. कुमारी, एम., एवं भट्टाचार्य, टी. (2024)। सिंगरौली, मध्य प्रदेश के कोयला-खनन क्षेत्र में शहरी हरियाली के लिए उष्णकटिबंधीय वृक्षों और झाड़ियों का चयन। एनवायरनमेंटल साइंस एंड पॉल्यूशन रिसर्च, 31, 13003–13025। <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31910-4>
pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
9. लिन, डब्ल्यू., यू, एक्स., शू, डी., सन, टी., एवं सन, वाई. (2021)। परावर्तन और वनस्पति सूचकांकों से शहरी पौधों के क्लोरोफिल का अनुमान लगाने पर धूल-जमाव का प्रभाव। रिमोट सेंसिंग, 13(18), लेख 3570। <https://doi.org/10.3390/rs13183570> www.mdpi.com
10. मोलनार, बी. ई., तोझेर, डी., साबो, एस., तोथमैरैस, बी., एवं साइमन, ई. (2020)। वायु प्रदूषण के जैव-सूचक के रूप में पत्तियों का उपयोग:

सहिष्णुता सूचकांक, धूल की मात्रा और धातुओं की सांद्रता। प्लांट्स, 9(12), लेख 1743। <https://doi.org/10.3390/plants9121743>
agris.fao.org

11. राय, पी. के., एवं पांडा, एल. एल. एस. (2014)। आइज़ोल, मिज़ोरम में सड़क किनारे वृक्षों की धूल पकड़ने की क्षमता और वायु प्रदूषण सहिष्णुता सूचकांक। एयर क्वालिटी, एटमॉस्फियर एंड हेल्थ, 7, 93–101। <https://doi.org/10.1007/s11869-013-0217-8> hero.epa.gov
12. पर्यावरण, वन एवं जलवायु परिवर्तन मंत्रालय, भारत सरकार। (2024)। राष्ट्रीय स्वच्छ वायु कार्यक्रम के अंतर्गत वित्त वर्ष 2023–24 में शहरों की PM₁₀ सांद्रता में सुधार संबंधी आकलन। पत्र सूचना कार्यालय। [आधिकारिक प्रकाशन](#)