

**भारत में स्पेटियोटेम्पोरल परिवर्तनशीलता और सतह ओजोन के रुझानों को समझना ।**

कुंचला रवि कुमार, भूपेंद्र बहादुर सिंह, राम कृष्ण करुमुरी, राजू अट्टादा, विवेक सीलंकी, और कोंडापल्ली निरंजन कुमार

**सार:**

बढ़ती मानवजनित गतिविधियों के साथ, भारत सहित दुनिया के विभिन्न हिस्सों में सतह ओजोन का स्तर बढ़ गया है। पिछले अध्ययनों से पता चला है कि सतह ओजोन पूरे भारत में अलग-अलग विशेषताओं को दिखाता है लेकिन ये परिणाम पृथक स्थानों पर आधारित हैं और सतह ओजोन परिवर्तनशीलता के बारे में किसी भी व्यापक और स्थानिक रूप से सुसंगत अध्ययन में अब तक कमी है। इन तथ्यों को ध्यान में रखते हुए, हम भू-आधारित अवलोकनों और पुनर्विश्लेषण डेटासेट का उपयोग करते हैं ताकि सतह ओजोन के स्पेटियोटेम्पोरल विविधताओं और भारतीय क्षेत्र में मौसम विज्ञान और अग्रदूतों के साथ इसके संबंधों की जांच की जा सके। एक सत्यापन अभ्यास से पता चलता है कि कोपर्निकस एटमॉस्फियर मॉनिटरिंग सर्विस रीएनालिसिस (सीएएमएसआरए) दक्षिणी क्षेत्रों में बेहतर सहसंबंध ( $> 0.7$ ) और उत्तरी और पूर्वी क्षेत्रों में अपेक्षाकृत कम ( $> 0.5$ ) सहसंबंध दिखाते हुए जमीन-आधारित टिप्पणियों की तुलना करता है। हमने आगे इस समझौते को सीमा, माध्य निरपेक्ष त्रुटि (MAE) और मूल माध्य वर्ग त्रुटि (RMSE) के संदर्भ में परिमाणित किया है। एक समय श्रृंखला विश्लेषण से पता चलता है कि सीएएमएसआरए स्थान के बावजूद मौसमी विविधताओं को पकड़ता है। सतह ओजोन का स्थानिक वितरण उत्तरी और पश्चिमी भागों और प्रायद्वीपीय भारत में प्री-मानसून (मानसून) महीनों के दौरान लगभग 40-60 पीपीबी (15-20 पीपीबी) की उच्च (कम) सांद्रता दिखाता है। मई के दौरान एक प्रमुख वृद्धि उत्तरी क्षेत्र में, विशेष रूप से भारत-गंगा के मैदानों (IGP) में देखी गई है। ये मौसमी बदलाव सौर विकिरण (एसआर), तापमान, निम्न-स्तर परिसंचरण और सीमा परत ऊंचाई (बीएलएच) से जुड़े हैं। CAMSRA-आधारित सतह ओजोन सभी चार क्षेत्रों (उत्तर, पूर्व, पश्चिम, और दक्षिण भारत) और पूरे भारत (0.069 ppb वर्ष<sup>-1</sup>,  $p = 0.001$ ) के रूप में पूर्वी क्षेत्र में उच्चतम रुझान के साथ बढ़ती प्रवृत्तियों को दर्शाता है। इसके अलावा, प्रिंसिपल कंपोनेंट एनालिसिस (पीसीए) से पता चलता है कि पहला (दूसरा) मोड 30 से 50% (10-20%) के बीच समझाया गया उच्च प्रतिशत विचरण दिखाता है। संबंधित पीसी-1 समय श्रृंखला दक्षिण और मध्य भारत में सतह ओजोन में उल्लेखनीय वृद्धि दर्शाती है, जो क्षेत्र औसत समय श्रृंखला के माध्यम से प्राप्त प्रवृत्ति की पुष्टि करती है। दूसरा मोड (पीसी-2) प्री-मानसून (मानसून के बाद) में आईजीपी (दक्षिणी भारत) पर प्रमुख अंतर वार्षिक परिवर्तनशीलता को इंगित करता है। मानसून के मौसम के दौरान, एक दिलचस्प द्विध्रुव पैटर्न ध्यान देने योग्य है, जो भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून के सक्रिय और ब्रेक स्पेल पैटर्न के समान है। इसके अलावा, हम सतह ओजोन सांद्रता पर अग्रदूतों और मौसम संबंधी मानकों के भार को मापते हैं। विश्लेषण से पता चलता है कि सतह ओजोन का PC1 CO और NO<sub>x</sub> (पूर्ववर्ती) से अत्यधिक प्रभावित होता है, जबकि मौसम विज्ञान प्री-मानसून सीजन के दौरान PC2 पर हावी होता है। कुल मिलाकर, परिणाम संकेत देते हैं कि पूर्ववर्ती या मौसम संबंधी स्थितियों में परिवर्तन पूरे भारत में सतह ओजोन सांद्रता पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालते हैं।

**Abstract:**

With rising anthropogenic activities, surface ozone levels have increased across different parts of the world including India. Previous studies have shown that surface ozone shows distinct characteristics across India but these results are based on isolated locations and any comprehensive and spatiotemporally consistent study about surface ozone variability lacks thus far. Keeping these facts in mind, we utilize ground-based observations and reanalysis datasets to investigate spatiotemporal variations of surface ozone and its linkages with meteorology and precursors over Indian region. A validation exercise shows that the Copernicus Atmosphere Monitoring Service Reanalysis (CAMSRA) reasonably compares against the ground-based observations showing better correlations ( $> 0.7$ ) over southern regions and relatively lesser ( $> 0.5$ ) correlations over northern and eastern regions. We have further quantified this agreement in terms of range, mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). A time series analysis shows that the CAMSRA captures seasonal variations irrespective of location. Spatial distribution of surface ozone shows higher (lower) concentrations of about 40–60 ppb (15–20 ppb) during pre-monsoon (monsoon) months over northern and western

parts and peninsular India. A prominent increase during May is noted over the northern region, especially over the Indo-Gangetic Plains (IGP). These seasonal variations are linked to solar radiation (SR), temperature, low-level circulation, and boundary layer height (BLH). CAMSRA-based surface ozone shows increasing trends across all four regions (north, east, west, and south India) and also India as a whole ( $0.069 \text{ ppb year}^{-1}$ ,  $p = 0.001$ ) with highest trends over the eastern region. Furthermore, principal component analysis (PCA) reveals that the first (second) mode shows a high percentage variance explained, ranging between 30 and 50% (10–20%). The corresponding PC-1 time series exhibits a notable increase in the surface ozone over south and central India, which corroborates the trend obtained through the area averaged time series. The second mode (PC-2) indicates prominent interannual variability over the IGP (southern India) in the pre-monsoon (post-monsoon). During the monsoon season, an interesting dipole pattern is noticeable, which closely resembles the active and break spell patterns of the Indian summer monsoon. Further, we quantify the weightage of precursors and meteorological parameters on surface ozone concentrations. The analysis suggests that PC1 of surface ozone is strongly influenced by CO and NO<sub>x</sub> (the precursors) while meteorology seems to dominate the PC2 during the pre-monsoon season. Overall, the results indicate that changes in the precursors or meteorological conditions have significant influences on the surface ozone concentrations across India.