भारत सरकार
पृथ्वी विज्ञान मंत्रालय
राज्य सभा
अतारांकित प्रश्न संख्या 3246
21/08/2025 को उत्तर दिए जाने के लिए

भारत पूर्वानुमान प्रणाली

3246 श्री हारिस बीरान:

क्या **पृथ्वी विज्ञान** मंत्री यह बताने की कृपा करेंगे कि:

(क) क्या सरकार, भारत पूर्वानुमान प्रणाली (बीएफएस) मॉडल के सभी मुख्य घटकों की पूरी सूची और विवरण उपलब्ध कराएगी;
(ख) क्या बीएफएस में प्रयुक्त त्रिकोणीय घन अष्टफलकीय (टीसीओ) ग्रिड मूल रूप से भारत में विकसित की गयी था, यदि हाँ, तो तत्संबंधी ब्यौरा क्या है;
(ग) यदि नहीं, तो उस अन्य देश या संस्थान का नाम क्या है जहाँ से इसे अपनाया गया है;
(घ) क्या टीसीओ ग्रिड के लिए एल्गोरिदम पूरी तरह से भारतीय वैज्ञानिकों और संस्थानों द्वारा विकसित किए गए थे;
(ङ) क्या बीएफएस में प्रयुक्त पूर्वानुमान एल्गोरिदम पूरी तरह से स्वदेशी है या किसी विदेशी मॉडल से अनुकूलित है;
(च) यदि हाँ, तो तत्संबंधी ब्यौरा क्या है; और
(छ) क्या, जैसा कि कहा गया है, बीएफएस पूरी तरह से स्वदेशी है, यदि नहीं, तो स्वदेशी और विदेशी योगदान का घटक-वार पृथक-पृथक ब्यौरा क्या है?

उत्तर
विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी तथा पृथ्वी विज्ञान राज्य मंत्री (स्वतंत्र प्रभार)
(डॉ. जितेंद्र सिंह)

(क) जी हाँ। न्यूमेरिकल मौसम पूर्वानुमान मॉडल के दो प्रमुख घटक—मॉडल के डायनामिक्स एवं फिजिक्स हैं। डायनामिक्स कंपोनेंट वायुमंडलीय गति के रिजॉल्व्ड स्केल्स की देखरेख करता है, जबकि फिजिक्स कंपोनेंट सब-ग्रिड स्केल प्रोसेसेज का प्रतिनिधित्व करता है। भारतएफएस में, त्रिकोणीय घन अष्टफलकीय ग्रिड (टीसीओ) नामक एक नई ग्रिड संरचना का उपयोग करके डायनामिक्स को संशोधित किया गया है। फिजिक्स कंपोनेंट अपने पूर्ववर्ती के समान ही हैं। मॉडल विकास और परिणामों से संबंधित सभी विवरणों को एक पियर-रिव्यूड रिसर्च जर्नल में प्रकाशित किया गया है।

भारतएफएस के बारे में अधिक जानकारी हाल ही में प्रकाशित नीचे संदर्भित शोध पत्र में सुलभ रूप से उपलब्ध है।

फणि, एम.के.आर., कुमार, एस., प्रजीश, ए.जी., बेचटोल्ड, पी., वेदी, एन., रॉय, के., गनई, एम., रेड्डी, बी.आर., तिर्की, एस., गोस्वामी, टी., कनासे, आर., सरकार, एस., देशपांडे, एम., और मुखोपाध्याय, पी. (2025)।भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान (आईआईटीएम) हाई-रिजोल्यूशन ग्लोबल फोरकास्ट मॉडल वर्जन 1:एन अटेम्प्ट टू रिजॉल्व दि मॉनसून प्रिडिक्शन डेडलॉक। जियोसाइंटिफिक मॉडल डेवलपमेंट, 18, 1879–1894. https://doi.org/10.5194/gmd-18-1879-2025.

(ख) भारतएफएस मॉडल में इस स्पेसिफिक ट्रंकेशन पर त्रिकोणीय घन अष्टफलकीय ग्रिड (टीसीओ) भारत में विकसित किया गया था, हालाँकि यह अवधारणा वैज्ञानिक साहित्य में भली-भाँति स्पष्ट की गई है। यह एक ऑक्टाहेड्रन पर एक स्फियर के कोलिगननप्रोजेक्शन का प्रयोग करता है। लीनियर रिड्यूस्ड गॉसियन ग्रिड के विपरीत, टीसीओ ग्रिड का रिजोल्यूशन ध्रुव से भूमध्य रेखा तक सरलता से बदलता रहता है, और भूमध्य रेखा के पास इसका रिजोल्यूशन सबसे अधिक होता है। यह डिज़ाइन पारंपरिक रिइयूज किए गए गॉसियन ग्रिड की तुलना में कई लाभ प्रदान करता है, जिनमें कम गणनात्मक लागत, बेहतर ऑरोग्राफिक रिप्रजेंटेशन, बेहतर फ़िल्टरिंग, और द्रव्यमान, संवेग, ऊर्जा और ट्रेसर्स के बेहतर संरक्षण गुण शामिल हैं।

आगे का विवरण प्रश्न के भाग (क) के उत्तर में उल्लिखित संदर्भ में दिया गया है।

(ग) लागूनहीं ।

(घ) जी हाँ। टीसीओ ग्रिड संरचना और भारतएफएस मॉडल में इसका विकास भारतीय उष्णदेशीय मौसम विज्ञान संस्थान, पुणे के वैज्ञानिकों द्वारा किया गया था।

(ङ) भारतएफएस का विकास इसके पूर्ववर्ती, ऑपरेशनल न्यूमेरिकल वेदर प्रिडिक्शन मॉडल (~12 किमी रिज़ॉल्यूशन) पर आधारित है, जो अल्पावधि से मध्यम अवधि के मौसम पूर्वानुमान के लिए प्रचालन में था। टीसीओ (ट्राएंगुलर क्यूबिक ऑक्टाहेड्रल) ग्रिड, यूरोपीय मध्यम-अवधि मौसम पूर्वानुमान केंद्र (ईसीएमडब्ल्यूएफ) के कार्य से प्रेरित था। आईआईटीएम, पुणे के वैज्ञानिकों ने ईसीएमडब्ल्यूएफ के कुछ वैज्ञानिकों के साथ अनौपचारिक सहयोग बनाए रखा; हालाँकि, मॉडल के विकास चरण के दौरान किसी भी बाहरी स्रोत से कोई घटक नहीं लिया गया।

(च) न्यूमेरिकल वेदर प्रिडिक्शन (NWP) मॉडल एक स्पेसिफाइड ग्रिड स्ट्रक्चर पर संख्यात्मक तकनीकों का उपयोग करके द्रव गति का संचालन करने वाले नॉनलीनियर पार्शियल डिफरेंशियल ईक्वेशेन्स को हल करते हैं। मॉडल की ग्रिड स्पेसिंग से भी ज्यादा छोटे पैमाने पर होने वाली प्रोसेस को रिजॉल्व्ड-स्केल वैरियेबेल्स कीक्रिया के रूप में पैरामीटराइज्ड किया जाता है।जलवायु परिवर्तन के संदर्भ में, छोटे पैमाने पर भारी वर्षा की घटनाओं में वृद्धि हो रही है, जिससे इन घटनाओं के संबंध में इन्हें रिकार्ड करने के लिए बेहतर मॉडल रिज़ॉल्यूशन का उपयोग करना आवश्यक हो गया है। हालाँकि, मॉडल रिज़ॉल्यूशन को बढ़ाने के लिए गणना संबंधी पर्याप्त संसाधनों की आवश्यकता होती है और समस्या की प्रकृति के कारण, न्यूमेरिकल इनस्टेबिलिटीज और शोर हो सकता है। इन चुनौतियों का समाधान करने के लिए, ट्राएंगुलर क्यूबिक ऑक्टाहेड्रल (TCO) ग्रिड को अपनाया गया।

आगे का विवरण प्रश्न के भाग (क) के उत्तर में उल्लिखित संदर्भ में दिया गया है।

(छ) भारतएफएस मॉडल (~ 6 किमी रिजॉल्यूशन) को ऑपरेशनल आईएमडी-जीएफएस (~ 12 किमी रिजॉल्यूशन) के इवोल्यूशन के रूप में विकसित किया गया था। इसका डायनामिकल कोर बिल्कुल नए सिरे से बनाया गया था, जिसमें संदर्भ के लिए प्रकाशित साहित्य का उपयोग किया गया था। मॉडल का फिजिक्स कंपोनेंट अपने पूर्ववर्ती, आईएमडी-जीएफएस के समान ही है।

*****