

आर्थिक संवृद्धि को उत्सर्जन से अलग करना: एक एलएमडीआई अपघटन विश्लेषण

मधुरेश कुमार, शोभित गोयल,
मनु शर्मा और मुस्कान गर्ग द्वारा ^

यह लेख एलएमडीआई अपघटन का उपयोग करके 2012 से 2022 तक भारत के CO₂ उत्सर्जन वृद्धि को प्रेरित करने वाले कारकों का विश्लेषण करता है। इस दौरान, ऊर्जा-संबंधी CO₂ उत्सर्जन में 706 मिलियन टन की वृद्धि हुई। इसका मुख्य कारण आर्थिक संवृद्धि (+1073 मीट्रिक टन) थी, जबकि अर्थव्यवस्था के ईंधन मिश्रण में बदलाव (+78 मीट्रिक टन) का प्रभाव कम था। हालाँकि, ऊर्जा दक्षता में वृद्धि (-399 मीट्रिक टन), संरचनात्मक परिवर्तन (-15 मीट्रिक टन), और नवीकरणीय ऊर्जा के बढ़ते उपयोग के कारण बिजली की उत्सर्जन तीव्रता में सुधार (-30 मीट्रिक टन) ने उत्सर्जन को कम करने में मदद की। भारत की ऊर्जा दक्षता में सालाना 1.9 प्रतिशत की वृद्धि हुई, जो वैश्विक औसत से अधिक है। इसके अतिरिक्त, भारत की वृद्धि उत्सर्जन से वियुग्मित हुई, जिसकी वियुग्मन लोच 0.59 है, जो अन्य निम्न-मध्यम आय वाले देशों के बराबर है।

परिचय

जलवायु परिवर्तन पर बढ़ते वैज्ञानिक प्रमाणों ने नीतियों, अर्थव्यवस्थाओं और समाजों को नया आकार देने वाले वैश्विक विमर्श को गति दी है। हाल के वर्षों में, दुनिया के जीवाश्म ईंधन से दूर हटने के साथ, जलवायु परिवर्तन के विरुद्ध शमनकारी कार्रवाइयों में तेजी आई है। वैश्विक उत्सर्जन के 90 प्रतिशत को कवर करने वाले 140 से अधिक देशों ने हजारों कंपनियों, शहरों और वित्तीय संस्थानों के साथ मिलकर नेट-ज़ीरो उत्सर्जन का

संकल्प लिया है (संयुक्त राष्ट्र, 2023)। नेट-ज़ीरो उत्सर्जन तक पहुँचने के दीर्घकालिक लक्ष्यों के बावजूद, देश हर पाँच साल में अपने राष्ट्रीय स्तर पर निर्धारित योगदान (एनडीसी) को अद्यतन करते हैं, जिसमें अल्प से मध्यम अवधि के लिए अपनी जलवायु कार्य योजनाओं का विवरण दिया जाता है। अधिकांश एनडीसी का केंद्रबिंदु उत्सर्जन की तीव्रता को कम करना है, जिसका उद्देश्य विकास से समझौता किए बिना आर्थिक विकास को कार्बन उत्सर्जन से अलग करना है।

नवीकरणीय ऊर्जा की गिरती कीमतों ने यह उम्मीद जगाई है कि नेट जीरो की ओर यह बदलाव पहले की कल्पना से कहीं कम कष्टदायक हो सकता है। फिर भी, नवीकरणीय ऊर्जा के उपयोग पर उत्कट ध्यान देने के बावजूद; सौर, पवन और अन्य नवीकरणीय ऊर्जा (बड़ी पनबिजली और परमाणु ऊर्जा को छोड़कर) वर्तमान में भारत की कुल प्राथमिक ऊर्जा खपत का मात्र 2.1 प्रतिशत है (ऊर्जा सांख्यिकी, 2024)। बिजली क्षेत्र के बाहर, नवीकरणीय ऊर्जा का प्रत्यक्ष उपयोग लगभग न के बराबर है, और ग्रीन हाइड्रोजन के माध्यम से अप्रत्यक्ष उपयोग, विशेष रूप से विनिर्माण क्षेत्र में, अपनी प्रारंभिक अवस्था में है और इसे परिपक्व होने में समय लगेगा। हालाँकि नवीकरणीय ऊर्जा का उपयोग आगे चलकर एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगा, वैश्विक अर्थव्यवस्थाओं ने ऐतिहासिक रूप से ऊर्जा दक्षता में सुधार करके और कोयले जैसे गंदे ईंधन से प्राकृतिक गैस जैसे स्वच्छ विकल्पों की ओर स्थानांतरित होकर अलगाव हासिल किया है।

अपने अद्यतन एनडीसी में, भारत ने 2005 के स्तर से 2030 तक अपने सकल घरेलू उत्पाद की उत्सर्जन तीव्रता को 45 प्रतिशत तक कम करके उत्सर्जन को विकास से महत्वपूर्ण रूप से अलग करने की प्रतिबद्धता जताई है (यूएनएफसीसीसी, 2022)। इस पृष्ठभूमि में, इस पत्र का उद्देश्य पिछले दशक के दौरान भारत में उत्सर्जन वृद्धि के चालकों की जांच करना और उस डिकप्लिंग लोच का पता लगाना है जो भारत ने इस अवधि के दौरान हासिल की। संरचनात्मक अपघटन विश्लेषण (एसडीए) और सूचकांक अपघटन विश्लेषण (आईडीए) CO₂ उत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारकों की जांच के लिए दो व्यापक रूप

^ मधुरेश कुमार आर्थिक एवं नीति अनुसंधान विभाग में सहायक महाप्रबंधक हैं। शोभित गोयल और मनु शर्मा पर्यवेक्षण विभाग से हैं। मुस्कान गर्ग आर्थिक नीति एवं अनुसंधान विभाग में प्रशिक्षु के रूप में कार्यरत हैं। इस लेख में व्यक्त विचार लेखकों के अपने हैं और भारतीय रिज़र्व बैंक के विचारों का प्रतिनिधित्व नहीं करते हैं।

से इस्तेमाल की जाने वाली विधियाँ हैं। एसडीए, जो इनपुट-आउटपुट विश्लेषण पर आधारित है, उत्सर्जन में बदलाव को विभिन्न आर्थिक क्षेत्रों के योगदान में विभाजित करता है, जिससे अर्थव्यवस्था में संरचनात्मक बदलावों की विस्तृत जांच संभव हो पाती है (मिलर और ब्लेयर, 2009)। नीति विश्लेषण में इसकी सरलता और अनुप्रयोग में आसानी के लिए इसे विशेष रूप से महत्व दिया जाता है (आंग और झांग, 2000)। इस पत्र में, 2012-22 के दौरान CO₂ उत्सर्जन में वृद्धि को लघुगणकीय माध्य विभाज्य सूचकांक (एलएमडीआई) का उपयोग करके विघटित किया गया है जो अपघटन की आईडीए विधि का एक हिस्सा है। उत्सर्जन वृद्धि को पांच कारकों में विघटित किया गया है, अर्थात् आउटपुट प्रभाव, संरचनात्मक प्रभाव, ऊर्जा तीव्रता प्रभाव, ईंधन मिश्रण प्रभाव और उत्सर्जन कारक प्रभाव। हालांकि एलएमडीआई अपघटन पर वैश्विक शोध में काफी विस्तार हुआ है, और भारत को कई क्रॉस-कंट्री अध्ययनों में शामिल किया गया है, भारतीय अर्थव्यवस्था के लिए एलएमडीआई अपघटन पर विशेष रूप से केंद्रित साहित्य की उल्लेखनीय कमी है। क्रॉस-कंट्री अध्ययनों के परिणामों को सावधानी से प्राप्त करना महत्वपूर्ण है, क्योंकि उपयोग किए गए डेटा अक्सर पूरी तरह से सजातीय या सीधे तुलनीय नहीं होते हैं।

लेख का शेष भाग पाँच खंडों में व्यवस्थित है। खंड II में साहित्य समीक्षा शामिल है, जबकि खंड III में आँकड़े और कार्यप्रणाली का वर्णन किया गया है। खंड IV और V में क्रमशः अनुभवजन्य परिणामों और वियुग्मन विश्लेषण पर चर्चा की गई है। अंतिम खंड में समापन टिप्पणियाँ दी गई हैं।

II. साहित्य समीक्षा

सूचकांक अपघटन विश्लेषण (आईडीए) ऊर्जा और पर्यावरण अर्थशास्त्र में एक महत्वपूर्ण उपकरण है, जिसका उपयोग ऊर्जा खपत, कार्बन उत्सर्जन, या अन्य समग्र संकेतकों में परिवर्तनों को उनके योगदान कारकों में विघटित करने के लिए किया जाता है। वर्षों से, इन अपघटनों की सटीकता और विश्वसनीयता में सुधार के लिए विभिन्न विधियों का विकास और परिशोधन किया गया है। अपघटन विश्लेषण की प्रारंभिक विधियाँ, जिनमें लासपेयर्स सूचकांक जैसी विधियाँ शामिल हैं, अवशिष्ट पदों से बचने में असमर्थता के कारण सीमित थीं, जो व्याख्या को जटिल बना सकती थीं और अशुद्धियों को जन्म दे सकती थीं (आंग और झांग, 2000)। परिष्कृत लासपेयर्स सूचकांक दृष्टिकोण, जैसे कि फिशर आदर्श सूचकांक और शैप्ली और सन दृष्टिकोण, पूर्ण अपघटन प्रदान करते हैं, जिसके परिणामस्वरूप अधिक सटीक अंतिम परिणाम प्राप्त होते हैं। लघुगणकीय माध्य दिविशिया सूचकांक (एलएमडीआई) और अंकगणितीय माध्य दिविशिया सूचकांक (एमडीआई) दिविशिया सूचकांक परिवार की प्रमुख विधियाँ हैं। एंग (2004) ने अपघटन विधि की उपयुक्तता का मूल्यांकन करने के लिए सूचकांक संख्या सिद्धांत से चार परीक्षणों—कारक-उत्क्रमण, समय-उत्क्रमण, आनुपातिकता और एकत्रीकरण—की रूपरेखा प्रस्तुत की है। इनमें से, उपयुक्त विधि का चयन करते समय कारक-उत्क्रमण परीक्षण सबसे महत्वपूर्ण होता है। सारणी 1 विभिन्न अपघटन विधियों के गुणों को प्रस्तुत करती है।

कारक-उत्क्रमण परीक्षण बिना किसी अस्पष्टीकृत अवशेष के पूर्ण अपघटन सुनिश्चित करता है। समय-उत्क्रमण परीक्षण

सारणी 1: आईडीए विधियों के गुण

आईडीए विधि	कारक उत्क्रमण परीक्षण	समय उलट परीक्षण	आनुपातिकता परीक्षण	एकत्रीकरण परीक्षण	शून्य मूल्य मजबूत	नकारात्मक मूल्य मजबूत
लासपेयर्स	नहीं	नहीं	हाँ	हाँ	हाँ	हाँ
संशोधित फिशर अपघटन	हाँ	हाँ	हाँ	नहीं	हाँ	हाँ
शैप्ली और सन	हाँ	हाँ	हाँ	हाँ	हाँ	हाँ
एमडीआई	नहीं	हाँ	हाँ	नहीं	नहीं	नहीं
एलएमडीआई	हाँ	हाँ	नहीं	हाँ	हाँ	नहीं

टिप्पणी: यहाँ संदर्भित एलएमडीआई, लघुगणकीय माध्य विभाजन विधि (एलएमडीआई I) से संबंधित है। इसका एक संबंधित प्रकार, एलएमडीआई II, एलएमडीआई I की तुलना में थोड़ी अधिक जटिल भार योजना प्रस्तुत करता है (आंग एवं अन्य, 2003)।

स्रोत: आंग (2004)।

इंगित करता है कि समयावधि को उलटने पर व्युत्क्रम परिणाम प्राप्त होने चाहिए। आनुपातिकता परीक्षण का तात्पर्य है कि यदि निर्धारक λ के कारक से बदलते हैं, तो सूचकांक मान भी λ से बदलेगा। एकत्रीकरण में संगति का अर्थ है कि उप-समूहों के लिए प्राप्त परिणामों को लगातार उच्च स्तर पर एकत्रित किया जा सकता है (वर्तिया 1976, बाल्क 1996, आंग 2000)। इसके अतिरिक्त, शून्य-मान प्रबल परीक्षण (आंग और चोई, 1997) और ऋणात्मक-मान प्रबल परीक्षण (चुंग और री, 2001) का उपयोग सबसे उपयुक्त अपघटन विधि निर्धारित करने के लिए किया जाता है।

एलएमडीआई अपघटन, ऋणात्मक मान वाले प्रबल परीक्षण को छोड़कर, अधिकांश परीक्षणों में सफल होता है। हालाँकि, हमारे डेटासेट में कोई ऋणात्मक मान नहीं है और इसलिए इस अध्ययन में अपघटन के लिए एलएमडीआई का उपयोग किया गया है। शैप्ले/सन विधि सूत्रीकरण में पदों की संख्या कारकों की संख्या बढ़ने के साथ-साथ उल्लेखनीय रूप से बढ़ जाती है, जिससे इसे लागू करना कठिन हो जाता है। परिणामस्वरूप, यदि तीन से अधिक कारक हों, तो अपघटन के लिए एलएमडीआई का अधिक उपयोग किया जाता है (आंग, 2004)।

एलएमडीआई अपघटन पर साहित्य का प्रसार एंग एवं अन्य (1998) के मौलिक शोधपत्र के बाद हुआ है, जिसने ऊर्जा-संबंधी कार्बन उत्सर्जन विश्लेषण में एलएमडीआई पद्धति के अनुप्रयोग की नींव रखी। लेखकों ने सिंगापुर में कार्बन उत्सर्जन में परिवर्तनों का अपघटन करने के लिए एलएमडीआई पद्धति का प्रयोग किया और पाया कि ऊर्जा तीव्रता कार्बन उत्सर्जन में कमी का मुख्य कारण थी, जबकि आर्थिक गतिविधियों ने उत्सर्जन में वृद्धि में योगदान दिया। कई अन्य अध्ययनों में भी इस सामान्य प्रवृत्ति को देखा गया है जिसमें ऊर्जा तीव्रता में सुधार उत्सर्जन में कमी का प्राथमिक चालक है (झांग एवं अन्य, (2009); वांग एवं अन्य, (2005); ली एट अल., (2018); मैटिसॉफ और एडवर्ड्स (2014); राउपच एट अल., (2007); नाग और पारिख (2000); वाज़हायिल और बालासुब्रमण्यन (2019); अज़ेवेदो एट अल., (2011); अचौर और बेलौमी (2016); रोमैन-कोलाडो और कोलिनेट (2018))।

भारत को कई क्रॉस-कंट्री अध्ययनों में शामिल किया गया है (आंद्रेओनी और गैल्मारिनी (2016); शुआंग एवं अन्य (2016); कांग्यिन एवं अन्य (2019); हेनरिक्स और कैंडर (2010); इंगलेसी-लोर्टज़ (2018); कानिटकर एवं अन्य (2015); लीमा एवं अन्य (2017); मार्कुची और फ्रैगोस (2015); सोलायमानी (2019) और वोइग्ट एवं अन्य (2014))। हालांकि, इन अध्ययनों के निष्कर्षों की व्याख्या करते समय सावधानी बरतने की आवश्यकता है, क्योंकि उपयोग किए गए डेटा पूरी तरह से सजातीय या सीधे तुलनीय नहीं हैं। इसके अलावा, इनमें से कई अध्ययनों में अधिक विस्तृत, बारीक डेटा तक पहुंच का अभाव है।

हैरानी की बात है कि एलएमडीआई अपघटन विश्लेषण का उपयोग करके भारतीय अर्थव्यवस्था से संबंधित अध्ययन बहुत कम हैं। जी। ओर्टेगा-रुइज़ एवं अन्य (2018) ने एलएमडीआई का उपयोग करके पाया है कि भारत की आर्थिक वृद्धि CO2 उत्सर्जन में वृद्धि में योगदान देने वाली प्रमुख प्रेरक शक्ति रही है, जबकि ऊर्जा तीव्रता में सुधार उत्सर्जन को कम करने का प्रमुख कारक रहा है। अध्ययन की समय अवधि 1990-2015 तक फैली हुई है और अंतर्राष्ट्रीय ऊर्जा एजेंसी, संयुक्त राज्य पर्यावरण संरक्षण एजेंसी और परमाणु ऊर्जा के लिए अंतर्राष्ट्रीय एजेंसी के डेटा का उपयोग करती है। दास और रॉय (2020) ने MoSPI द्वारा प्रकाशित ऊर्जा सांख्यिकी से ऊर्जा डेटा का उपयोग करके भारतीय अर्थव्यवस्था के लिए CO2 उत्सर्जन के चालकों को विघटित करने के लिए एलएमडीआई तकनीक का भी उपयोग किया। उनका अध्ययन 1990-2013 तक फैला था।

III. डेटा और कार्यप्रणाली

III.1 डेटा

वर्तमान अध्ययन के उद्देश्य के लिए, अर्थव्यवस्था को मोटे तौर पर प्राथमिक क्षेत्र (कृषि, वानिकी और मछली पकड़ना), द्वितीयक क्षेत्र (खनन और उत्खनन, विनिर्माण, बिजली, गैस, जलापूर्ति और अन्य उपयोगिता सेवाएं और निर्माण) में वर्गीकृत किया गया है और शेष आर्थिक गतिविधियों को तृतीयक क्षेत्र के रूप में रखा गया है। MoSPI भारत के ऊर्जा आंकड़े सालाना

सारणी 2: ईंधन का उत्सर्जन कारक

ईंधन	उत्सर्जन कारक (किलोग्राम CO ₂ प्रति किलोवाट घंटा)
कोयला	0.323
तेल उत्पाद	0.25
प्राकृतिक गैस	0.2106
बिजली	0.741 (2012); 0.739 (2017); 0.713 (2022)

स्रोत: यूएस ईपीए; और अवर वर्ल्ड इन डेटा

प्रकाशित करता है जो ईंधन के अनुसार क्षेत्रीय अंतिम ऊर्जा खपत प्रदान करता है। ईंधन¹ की उत्सर्जन तीव्रता का उपयोग करके ऊर्जा खपत से क्षेत्रीय उत्सर्जन का अनुमान लगाया गया है। प्रति ईंधन प्रकार उत्सर्जन कारक यूएस ईपीए (2019) से लिया गया है, जिसे दीर्घकालिक औसत मूल्यों (सारणी 2) का प्रतिनिधित्व करने के लिए माना जाता है। ग्रिड बिजली के लिए उत्सर्जन कारक हमारे विश्व के डेटा से प्राप्त किया गया है। CO₂ उत्सर्जन की गणना सरल सूत्र का उपयोग करके की जाती है:

$$C_{ij}^t = EC_{ij}^t XEF_j^t \quad (3.1)$$

जहाँ, C_{ij}^t = ईंधन प्रकार j और क्षेत्र के लिए CO₂ उत्सर्जन समय अवधि t में i .

EC_{ij}^t = ईंधन प्रकार j और क्षेत्र के लिए ऊर्जा खपत समय अवधि t में i ,

XEF_j^t = समय अवधि t में ईंधन प्रकार j के लिए उत्सर्जन कारक। इस अध्ययन की समयावधि 2012-13 से 2022-23 तक है। इसका ध्यान पूरी तरह से ऊर्जा-संबंधी उत्सर्जन पर है, प्रक्रिया उत्सर्जन को इसमें शामिल नहीं किया गया है।

III.2 कार्यप्रणाली

ऊर्जा पहचान विश्लेषण के अनुसार, CO₂ उत्सर्जन को पांच कारकों के लिए जिम्मेदार ठहराया जा सकता है: आउटपुट प्रभाव, संरचनात्मक प्रभाव, ऊर्जा तीव्रता प्रभाव, ईंधन-मिश्रण प्रभाव और उत्सर्जन-कारक प्रभाव (एंग, 2003) (सारणी 3)।

¹ यह दृष्टिकोण सुनिश्चित करता है कि क्षेत्रों के स्कोप 1 और स्कोप 2 उत्सर्जनों को दोहरी गणना के जोखिम से बचाते हुए, ध्यान में रखा जाए। उत्सर्जन की एक से अधिक गणना की संभावना को रोकने के लिए स्कोप 3 उत्सर्जनों को बाहर रखा गया है।

सारणी 3: CO₂ उत्सर्जन का अपघटन

विघटित घटक	विवरण
आउटपुट प्रभाव	आर्थिक गतिविधि के पैमाने में परिवर्तन के कारण ऊर्जा-संबंधी CO ₂ उत्सर्जन में भिन्नता।
संरचनात्मक प्रभाव	उत्सर्जन में परिवर्तन को अर्थव्यवस्था की संरचना में बदलाव द्वारा समझाया गया है, विशेष रूप से समग्र सकल घरेलू उत्पाद में व्यक्तिगत क्षेत्र के योगदान में परिवर्तन द्वारा।
ऊर्जा तीव्रता प्रभाव	अलग-अलग क्षेत्रों में ऊर्जा तीव्रता में बदलाव के कारण उत्सर्जन में होने वाले बदलाव को जीवीए उत्पादन की प्रति इकाई खपत की गई ऊर्जा के रूप में परिभाषित किया जाता है। यह बदलाव उत्पादन और उपभोग दक्षता में वृद्धि या अधिक उन्नत पूंजीगत उपकरणों को अपनाने को दर्शाता है।
ईंधन मिश्रण प्रभाव	उत्सर्जन में परिवर्तन, जिसका कारण ईंधन संरचना में परिवर्तन हो सकता है।
उत्सर्जन कारक प्रभाव	उत्सर्जन में परिवर्तन जिसे ईंधन के उत्सर्जन कारक या कार्बन तीव्रता में परिवर्तन के कारण माना जा सकता है।

समग्र उत्सर्जन को आर्थिक क्षेत्रों और ईंधन के प्रकारों के अनुसार विभाजित किया गया है। अपघटन पहचान को निम्न प्रकार से दर्शाया जा सकता है:

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{E_i} \frac{E_{ij}}{E_i} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{ij} Q S_i I_i M_{ij} U_{ij} \quad (3.2)$$

जहाँ C कुल CO₂ उत्सर्जन है और C_{ij} सेक्टर i द्वारा ईंधन j की खपत से निकलने वाला CO₂, उत्सर्जन है; $Q (= \sum_i Q_i)$ आउटपुट प्रभाव को दर्शाता है; $S_i (= \frac{Q_i}{Q})$ संरचनात्मक प्रभाव है; $I_i (= \frac{E_i}{Q_i})$ ऊर्जा तीव्रता प्रभाव है; E_{ij} सेक्टर i में E Q_i ईंधन j से ऊर्जा खपत है, जहाँ $E_i = \sum_j E_{ij}$ सेक्टर i द्वारा सभी ईंधनों से खपत की गई कुल ऊर्जा है; ईंधन-मिश्रण चर $M_{ij} (= \frac{E_{ij}}{E_j})$ द्वारा दिया गया है और CO, उत्सर्जन कारक $U_{ij} (= \frac{C_{ij}}{E_{ij}})$ द्वारा दिया गया है।

$$\Delta C_{tot} = C_T - C_0 = \Delta C_{out} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{enf} \quad (3.3)$$

ये उप-अंक आउटपुट प्रभाव, संरचनात्मक प्रभाव, ऊर्जा तीव्रता प्रभाव, ईंधन मिश्रण प्रभाव और उत्सर्जन कारक प्रभाव दर्शाते हैं। इन प्रभावों के लिए एलएमडीआई सूत्र इस प्रकार हैं:

$$\Delta C_{out} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (3.4)$$

$$\Delta C_{str} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (3.5)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_{ij} \frac{c_{ij}^T - c_{ij}^O}{\ln c_{ij}^T - \ln c_{ij}^O} \ln \left(\frac{I_{ij}^T}{I_{ij}^O} \right) \quad (3.6)$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_{ij} \frac{c_{ij}^T - c_{ij}^O}{\ln c_{ij}^T - \ln c_{ij}^O} \ln \left(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^O} \right) \quad (3.7)$$

$$\Delta C_{emf} = \sum_{ij} \frac{c_{ij}^T - c_{ij}^O}{\ln c_{ij}^T - \ln c_{ij}^O} \ln \left(\frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^O} \right) \quad (3.8)$$

गणनाओं में, यह माना गया है कि बिजली को छोड़कर, ईंधनों के उत्सर्जन कारक नहीं बदलते। चूँकि बिजली एक द्वितीयक ऊर्जा स्रोत है, इसलिए इसके ईंधन मिश्रण और तकनीकी मापदंडों में बदलाव के कारण इसका उत्सर्जन कारक समय के साथ बदलता रहता है।

चूँकि एलएमडीआई विधि लघुगणकीय फलनों पर निर्भर करती है, इसलिए यह शून्य मानों को संभाल नहीं सकती। हालाँकि, शून्यों के स्थान पर बहुत छोटी धनात्मक संख्याएँ (जैसे, 10^{-20}) प्रतिस्थापित करके इस समस्या का समाधान किया जा सकता है। आंग और चोई (1997) ने प्रदर्शित किया है कि जब डेटासेट में शून्य मानों के स्थान पर छोटी धनात्मक संख्याएँ आती हैं, तो एलएमडीआई अभिसारी हो जाता है। एलएमडीआई की एक और सीमा ऋणात्मक मानों को संसाधित करने में इसकी अक्षमता है। हालाँकि, हमारे डेटासेट में कोई भी ऋणात्मक मान मौजूद नहीं है।

III.3 वियुग्मन विश्लेषण

टैपियो डिक्ॉप्लिंग विश्लेषण एक ऐसी विधि है जिसका उपयोग यह आकलन करने के लिए किया जाता है कि आर्थिक प्रदर्शन में परिवर्तन और पर्यावरणीय प्रभाव किस प्रकार

संबंधित हैं, विशेष रूप से कार्बन उत्सर्जन से आर्थिक संवृद्धि के डिक्ॉप्लिंग पर ध्यान केंद्रित करते हुए। यह यह समझने में मदद करता है कि क्या कोई अर्थव्यवस्था बढ़ रही है और साथ ही साथ अपने पर्यावरणीय प्रभाव को कम कर रही है। वर्तमान अध्ययन के संदर्भ में, हम CO₂ उत्सर्जन की आय लोच में रुचि रखते हैं, जिसे इस प्रकार परिभाषित किया गया है:

$$\text{लोच} = (\text{CO}_2 \text{ उत्सर्जन में प्रतिशत परिवर्तन}) / (\text{उत्सर्जन / (जीडीपी में प्रतिशत परिवर्तन)}) \quad (3.9)$$

लोच गुणांक के आधार पर, टैपियो मॉडल संबंध को नौ अवस्थाओं में वर्गीकृत करता है (सारणी 4)।

IV. अनुभवजन्य परिणाम

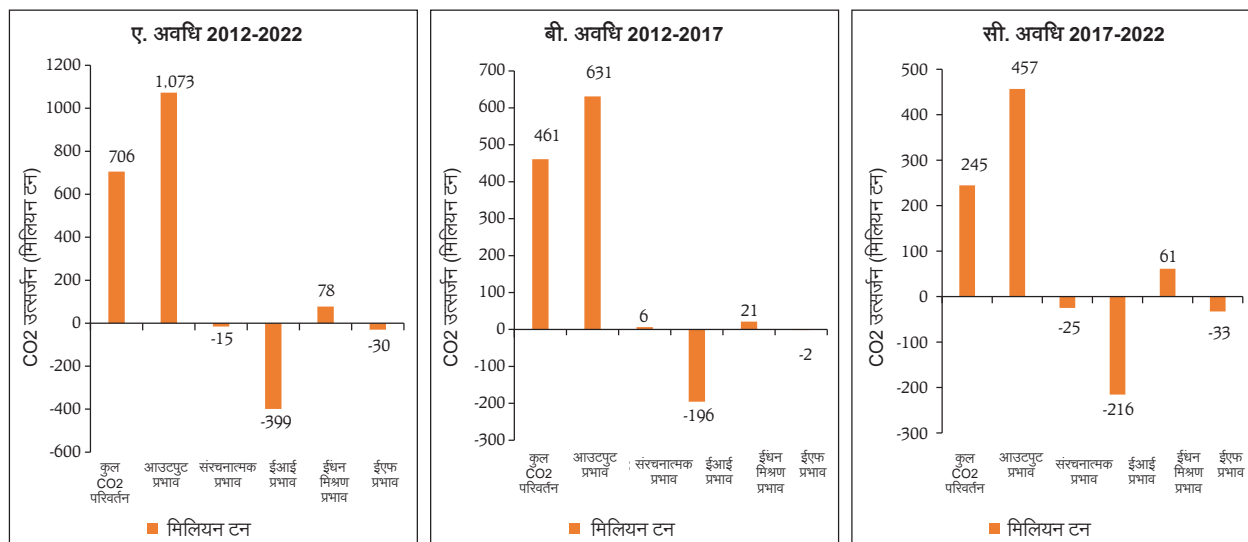
2012-13 से 2022-23 की अवधि के दौरान कुल ऊर्जा संबंधी उत्सर्जन में 706 मिलियन टन की वृद्धि हुई। एलएमडीआई अपघटन से पता चलता है कि CO₂ उत्सर्जन में कुल परिवर्तन को एक सकारात्मक आउटपुट प्रभाव (+1073 मीट्रिक टन) और ईंधन मिश्रण प्रभाव (+78 मीट्रिक टन) में विघटित किया जा सकता है, जिसे आंशिक रूप से एक नकारात्मक ऊर्जा तीव्रता प्रभाव (-399 मीट्रिक टन)² द्वारा ऑफसेट किया जाता है। संरचनात्मक (-15 मीट्रिक टन) और उत्सर्जन कारक प्रभाव (-30 मीट्रिक टन) थोड़ा नकारात्मक थे (चार्ट 1 ए)। हम व्यक्तिगत प्रभावों की जांच करने के लिए 10 साल की लंबी अवधि को दो समान उप-अवधियों 2012-17 और 2017-22 में तोड़ते हैं। हम समान रुझान देखते हैं कि आउटपुट प्रभाव उत्सर्जन को चला रहा है जबकि ऊर्जा तीव्रता में सुधार उत्सर्जन में वृद्धि को कम कर रहा है (चार्ट 1 बी और सी)।

सारणी 4: टैपियो डिक्ॉप्लिंग विश्लेषण

CO ₂ उत्सर्जन में प्रतिशत परिवर्तन	सकल घरेलू उत्पाद में प्रतिशत परिवर्तन	वियुग्मन लोच (e)	वियुग्मन स्थिति
< 0	> 0	ई < 0	एसडी (मजबूत वियुग्मन)
> 0	> 0	ई = 0	WD (कमजोर वियुग्मन)
< 0	< 0	0.8 ≤ ई < 1.2	आरसी (रिसेसिव कपलिंग)
> 0	> 0	ई > 1.2	END (विस्तारक नकारात्मक वियुग्मन)
> 0	< 0	ई < 0	एसएनडी (मजबूत नकारात्मक वियुग्मन)
< 0	< 0	0 < ई ≤ 0.8	WND (कमजोर नकारात्मक वियुग्मन)
> 0	> 0	0.8 ≤ ई < 1	ईडी (विस्तारक वियुग्मन)
> 0	> 0	ई = 1	ईसी (विस्तारक युग्मन)
< 0	< 0	ई > 1.2	आरडी (रिसेसिव डिक्ॉप्लिंग)

² एलएमडीआई अपघटन के परिणामों की व्याख्या अन्य सभी बातों के समान रहने पर होने वाले प्रभावों के रूप में की जा सकती है।

चार्ट 1: CO2 उत्सर्जन का योगात्मक अपघटन



स्रोत: लेखकों की गणना

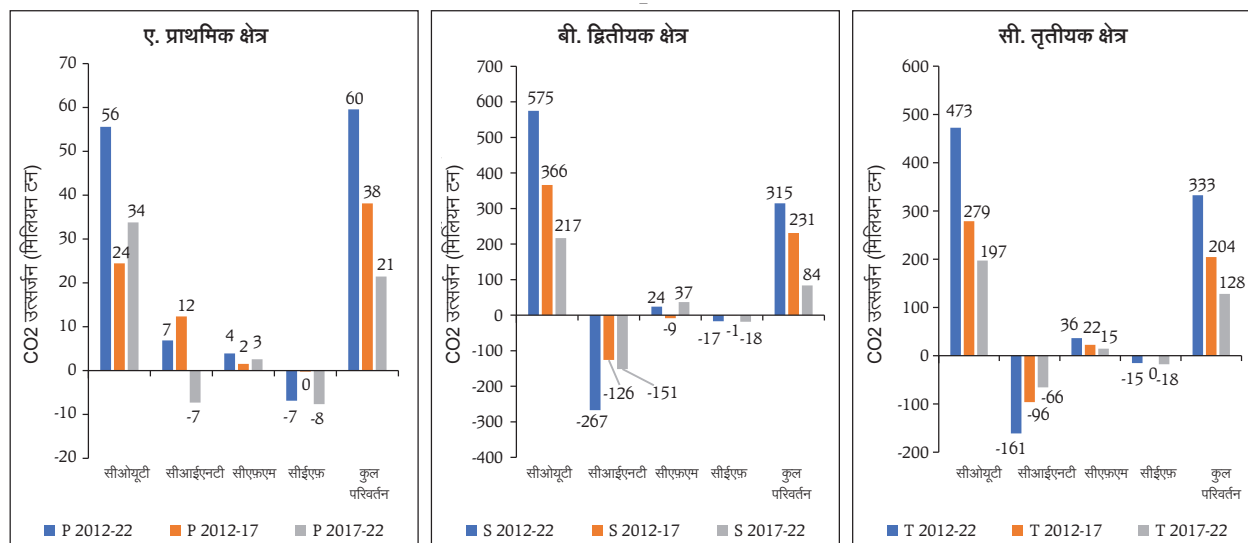
हमने क्षेत्रों के भीतर गतिशीलता की जांच करने के लिए CO2 उत्सर्जन में क्षेत्रवार परिवर्तनों को चार कारकों में विभाजित किया है, अर्थात् आउटपुट प्रभाव, ऊर्जा तीव्रता प्रभाव, ईधन मिश्रण और उत्सर्जन कारक प्रभाव (चार्ट 2)।

IV.1 आउटपुट प्रभाव

आउटपुट प्रभाव, आर्थिक गतिविधि के पैमाने में बदलाव के कारण ऊर्जा-संबंधी CO2 उत्सर्जन में वृद्धि को दर्शाता है। इस

अध्ययन के निष्कर्ष, व्यापक शोध से मेल खाते हैं, जो दर्शाता है कि ऊर्जा खपत और CO2 उत्सर्जन में वृद्धि में आउटपुट वृद्धि एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। 2012-2017 की अवधि में, आउटपुट प्रभाव का पूर्ण परिमाण बाद की अवधि की तुलना में अधिक था क्योंकि इस अवधि के दौरान भारत की वृद्धि दर दूसरी छमाही की तुलना में कहीं अधिक तीव्र थी, जो कोविड-19 से ग्रस्त थी। क्षेत्रीय स्तर पर, केवल कृषि क्षेत्र में ही 2017-22

चार्ट 2: CO2 उत्सर्जन का क्षेत्रवार अपघटन



स्रोत: लेखकों की गणना

की अवधि में अपने आउटपुट प्रभाव में वृद्धि देखी गई क्योंकि यह अन्य क्षेत्रों की तुलना में कोविड-19 से कम प्रभावित हुआ था।

IV.2 संरचनात्मक प्रभाव

इस अवधि के दौरान तृतीयक क्षेत्र की हिस्सेदारी बढ़ी है, जिससे प्राथमिक और द्वितीयक दोनों क्षेत्रों की हिस्सेदारी कम हुई है। हालांकि उत्सर्जन-प्रधान द्वितीयक क्षेत्र में गिरावट से आमतौर पर एक नकारात्मक संरचनात्मक प्रभाव पड़ता है, लेकिन प्राथमिक क्षेत्र, जो सबसे कम उत्सर्जन-प्रधान है, की घटती हिस्सेदारी ने इसकी भरपाई कर दी। परिणामस्वरूप, कुल मिलाकर केवल एक मामूली नकारात्मक संरचनात्मक प्रभाव देखा गया।

IV.3 ऊर्जा तीव्रता प्रभाव

अकेले ऊर्जा तीव्रता (ईआई) प्रभाव ने 399 मीट्रिक टन CO₂ उत्सर्जन में कमी लाने में योगदान दिया, जो 2012 और 2022 के बीच कुल 706 मीट्रिक टन उत्सर्जन का 56 प्रतिशत है। यह प्रभाव 2017-22 की अवधि के दौरान विशेष रूप से महत्वपूर्ण था, जहां इसके परिणामस्वरूप 216 मीट्रिक

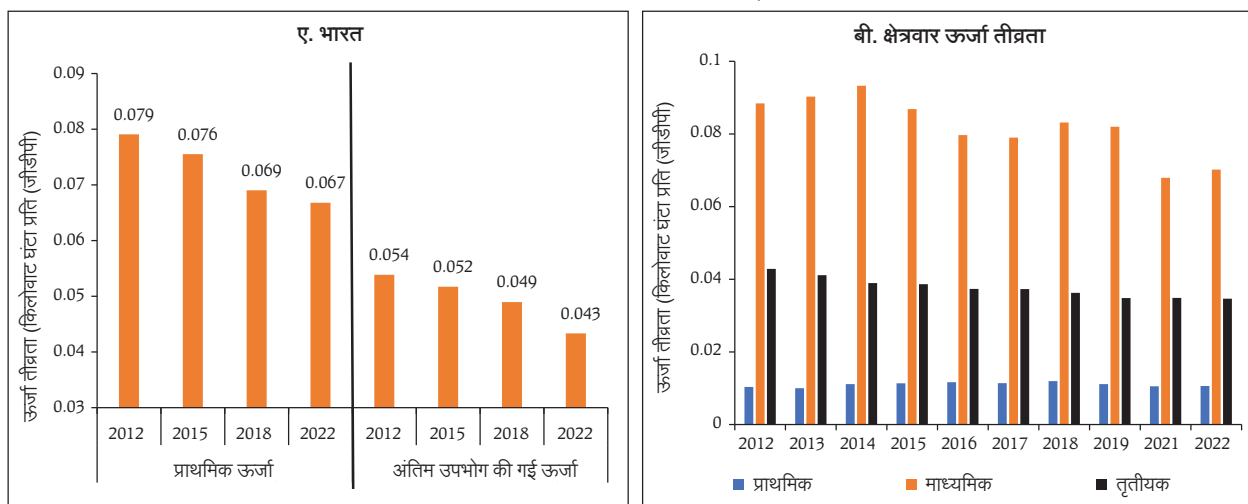
सारणी 5: ऊर्जा दक्षता का रुझान

क्षेत्र	ऊर्जा दक्षता में सुधार [2000 - 2023 (%/वर्ष)]	क्षेत्र	ऊर्जा दक्षता में सुधार [2000 - 2023 (%/वर्ष)]
दुनिया	1.35	जर्मनी	2.38
ओईसीडी	1.91	संयुक्त राज्य अमेरिका	2.10
जी7	1.91	चीन	1.81
बीआरआईसी	1.62	भारत	1.86
यूरोपीय संघ	2.13	ऑस्ट्रेलिया	1.92
उत्तरी अमेरिका	2.00	वियतनाम	0.37
लैटिन अमेरिका	0.67	यूनाइटेड किंगडम	3.22

स्रोत: विश्व बैंक; अवर वर्ल्ड इन डेटा; और लेखकों की गणना।

टन की कमी आई, जो उस समय के दौरान कुल उत्सर्जन का 88 प्रतिशत था, जबकि पिछली अवधि में यह 42 प्रतिशत था। 2012-22 के दौरान, भारत की ऊर्जा दक्षता प्राथमिक ऊर्जा³ के लिए 1.67 प्रतिशत और अंतिम ऊर्जा खपत के लिए 2.15 प्रतिशत की सीएजीआर के साथ बेहतर हुई, जो मोटे तौर पर इसके दीर्घकालिक औसत 1.9 प्रतिशत के अनुरूप है (चार्ट 3)। भारत की ऊर्जा दक्षता 2000-23 के दौरान विश्व औसत की तुलना में अधिक दर से सुधर रही है (सारणी 5)।

चार्ट 3: ऊर्जा तीव्रता के रुझान



नोट: विभिन्न वर्षों के सकल घरेलू उत्पाद (जीडीपी) की रिपोर्ट 2011-12 के मूल्यों पर दी गई है।
स्रोत: लेखकों की गणना का उपयोग; और भारत के ऊर्जा सांख्यिकी।

³ प्राथमिक ऊर्जा उन ऊर्जा स्रोतों को संदर्भित करती है जो किसी भी रूपांतरण या परिवर्तन से गुजरने से पहले प्रकृति में पाए जाते हैं। प्राथमिक ऊर्जा का एक महत्वपूर्ण भाग रूपांतरण और वितरण में नष्ट हो जाता है। अंतिम उपभोगित ऊर्जा वह ऊर्जा है जो अंतिम उपयोगकर्ताओं को उपभोग के लिए प्रदान की जाती है। यह उस ऊर्जा का प्रतिनिधित्व करती है जिसका वास्तव में घरों, व्यवसायों और उद्योगों में उपयोग किया जाता है।

IV.4 ईंधन मिश्रण प्रभाव

भारत की अंतिम ऊर्जा खपत बिजली की ओर बढ़ रही है, जिससे कोयले का हिस्सा कम हो रहा है (सारणी 6)⁴। हालाँकि तेल और प्राकृतिक गैस में मामूली वृद्धि देखी गई है, लेकिन बिजली, जो अन्य ईंधनों की तुलना में अधिक उत्सर्जन-गहन है, ने ईंधन मिश्रण प्रभाव में शुद्ध सकारात्मक बदलाव लाया है।

बिजली की स्थिति पर गहन अध्ययन की आवश्यकता है। परिवहन और उद्योग में विद्युतीकरण को अक्सर जलवायु परिवर्तन के विरुद्ध लड़ाई में एक बड़ा कदम माना जाता है। अन्य जीवाश्म ईंधनों की तुलना में बिजली वास्तव में ऊर्जा का एक अत्यधिक कुशल रूप है। हालाँकि, उन देशों में जो अपने ताप विद्युत संयंत्रों को चलाने के लिए कोयले या लिग्नाइट पर अत्यधिक निर्भर हैं, प्रति किलोवाट-घंटा (किलोवाट) CO₂ उत्सर्जन काफ़ी अधिक है। उदाहरण के लिए, भारत में, 1 किलोवाट ग्रिड बिजली की खपत से 0.741 किलोग्राम CO₂ उत्सर्जित होती है, जो अन्य ऊर्जा स्रोतों की तुलना में तीन गुना अधिक प्रदूषणकारी है। एक पारंपरिक कोयला-आधारित बिजली संयंत्र में, कोयले से प्राप्त ऊर्जा का लगभग 70-73 प्रतिशत रासायनिक ऊर्जा से ऊष्मा और फिर विद्युत ऊर्जा में रूपांतरण की प्रक्रिया में नष्ट हो जाता है। इसके अतिरिक्त, शेष 21 प्रतिशत बिजली पारेषण और वितरण के दौरान नष्ट हो जाती है। हालाँकि, बिजली की उच्च दक्षता इसके उच्च उत्सर्जन कारक को कुछ हद तक संतुलित कर देती है।

IV.5 उत्सर्जन कारक प्रभाव

नकारात्मक उत्सर्जन कारक प्रभाव मुख्य रूप से नवीकरणीय ऊर्जा के उपयोग से प्रेरित है, जिसमें मौजूदा ताप

सारणी 6: भारत का ईंधन मिश्रण*

ईंधन	2012	2017	2022
कोयला	36.0	33.4	30.6
तेल	40.1	41.5	41.2
एनजी	6.0	5.7	6.4
बिजली	17.9	19.4	21.9

*: अंतिम ऊर्जा खपत पर आधारित।

स्रोत: भारत के ऊर्जा सांख्यिकी; और लेखकों की गणनाएँ।

⁴ अंतिम उपभोग की जाने वाली ऊर्जा में कोयले की घटती हिस्सेदारी का यह अर्थ नहीं लगाया जाना चाहिए कि प्राथमिक ऊर्जा आपूर्ति में कोयले की हिस्सेदारी कम हो गई है। भारत में, अधिकांश बिजली का उत्पादन कोयला ऊर्जा से किया जा रहा है और नवीकरणीय ऊर्जा की हिस्सेदारी हाल ही में बढ़ रही है।

विद्युत संयंत्रों की दक्षता में सुधार से अतिरिक्त योगदान मिलता है। नवीकरणीय ऊर्जा का बड़े पैमाने पर उपयोग एक अपेक्षाकृत हालिया विकास है, जो बताता है कि 2012-2017 के दौरान उत्सर्जन कारक प्रभाव न्यूनतम क्यों था और अध्ययन अवधि के उत्तरार्ध में ही महत्वपूर्ण हो गया। वर्तमान में, सौर और पवन ऊर्जा कुल प्राथमिक ऊर्जा आपूर्ति का केवल 2.1 प्रतिशत ही प्रदान करते हैं। हालाँकि, आगे चलकर, नवीकरणीय ऊर्जा द्वारा बहुत बड़ी भूमिका निभाने की उम्मीद है क्योंकि उनकी गिरती लागत न केवल बिजली क्षेत्र में बल्कि हरित हाइड्रोजन के माध्यम से उद्योगों के अप्रत्यक्ष विद्युतीकरण के माध्यम से भी जीवाश्म ईंधनों का स्थान ले रही है। भारत ने पहले ही राष्ट्रीय हरित हाइड्रोजन मिशन के तहत पर्याप्त मात्रा में हरित हाइड्रोजन क्षमता की नीलामी कर दी है, जिसके जल्द ही ऑनलाइन होने की उम्मीद है।

V. वियुग्मन विश्लेषण

टैपिओ डिक्लिफिंग विश्लेषण दर्शाता है कि भारत ने इस अवधि के दौरान कमज़ोर डिक्लिफिंग हासिल की है, जिसकी डिक्लिफिंग लोच 0.59 है, जो अन्य निम्न-मध्यम आय वाले देशों (एलएमआईसी) के समान है। तेज़ी से बढ़ते शहरीकरण और सड़कों, इमारतों और ऊर्जा सुविधाओं सहित बुनियादी ढाँचे के विकास की माँग के कारण ऊर्जा की खपत और उत्सर्जन बढ़ता है, जिससे लोच बढ़ती है। हालाँकि, उच्च मध्यम आय और उच्च आय वाले देशों ने इस अवधि के दौरान बहुत कम लोच हासिल की है (सारणी 7)।

प्राथमिक क्षेत्र ने शुरुआत में आर्थिक विकास और कार्बन उत्सर्जन के बीच बिगड़ते संबंध को प्रदर्शित किया। हालाँकि इस

सारणी 7: देश-समूहवार वियुग्मन लोच

इकाई	$\frac{\delta C_i^t}{C_i^0}$	$\frac{\delta Q_i^t}{Q_i^0}$	डी कपलिंग इलास्टिसिटी
भारत	0.43	0.73	0.59
उच्च आय वाले देश	-0.08	0.20	-0.41
निम्न-मध्यम आय वाले देश	0.34	0.58	0.59
उच्च-मध्यम आय वाले देश	0.12	0.54	0.23
कम आय वाले देश	0.17	0.29	0.61
विश्व	0.06	0.31	0.20

स्रोत: विश्व बैंक: अवर वर्ल्ड इनडाटा ; और लेखकों की गणना।

सारणी 8: विकास से CO2 उत्सर्जन का पृथक्करण

सेक्टर	अवधि	$\frac{\delta C_i^t}{C_i^0}$	$\frac{\delta Q_i^t}{Q_i^0}$	वियुग्मन लोच	स्कोर
कुल सकल घरेलू उत्पाद	2012-22	0.43	0.73	0.59	डब्ल्यूडी
	2012-17	0.34	0.21	1.65	ईएनडी
प्राथमिक क्षेत्र	2017-22	0.14	0.23	0.61	डब्ल्यूडी
	2012-22	0.53	0.49	1.09	ईसी
	2012-17	0.23	0.39	0.59	डब्ल्यूडी
द्वितीयक क्षेत्र	2017-22	0.07	0.18	0.37	डब्ल्यूडी
	2012-22	0.31	0.64	0.49	डब्ल्यूडी
	2012-17	0.34	0.49	0.69	डब्ल्यूडी
तृतीयक क्षेत्र	2017-22	0.16	0.26	0.62	डब्ल्यूडी
	2012-22	0.55	0.87	0.64	डब्ल्यूडी

स्रोत: एमओएसपीआई ; और लेखकों की गणना।

अवधि के उत्तरार्ध में इस प्रवृत्ति में सुधार हुआ, लेकिन उत्सर्जन जीडीपी वृद्धि से आगे बढ़ता रहा। द्वितीयक क्षेत्र में सबसे तेज़ वियोजन हुआ, उसके बाद तृतीयक क्षेत्र का स्थान रहा। इसके अलावा, अध्ययन के उत्तरार्ध में भारत की समग्र कार्बन तीव्रता में तीव्र गति से कमी आई, जो नवीकरणीय ऊर्जा को अपनाने में वृद्धि और व्यवसायों एवं जनता के बीच बढ़ती पर्यावरणीय जागरूकता के अनुरूप थी (सारणी 8)।

VI. निष्कर्ष

इस पत्र में एलएमडीआई अपघटन का उपयोग करके पिछले दशक (2012-2022) में भारत में उत्सर्जन वृद्धि को संचालित करने वाले कारकों का विश्लेषण किया गया है। इस अवधि के दौरान, ऊर्जा-संबंधी CO2 उत्सर्जन में 706 मिलियन टन की वृद्धि हुई। इस वृद्धि का प्राथमिक चालक आउटपुट प्रभाव (+1073 मीट्रिक टन) था, जिसमें ईंधन मिश्रण प्रभाव (+78 मीट्रिक टन) का मामूली योगदान था, जो भारत में अत्यधिक उत्सर्जन-गहन स्रोत—बिजली की बढ़ती हिस्सेदारी से प्रभावित था। हालांकि, ऊर्जा तीव्रता प्रभाव (-399 मीट्रिक टन) ने उत्सर्जन में वृद्धि को कम करने में मदद की, जो ऊर्जा दक्षता में 1.9 प्रतिशत वार्षिक सुधार को दर्शाता है। सुधार की यह दर 2000-2023 तक भारत के दीर्घकालिक रुझान के अनुरूप है और इसी अवधि के वैश्विक औसत से अधिक है।

संरचनात्मक प्रभाव (-15 मीट्रिक टन) थोड़ा नकारात्मक रहा, क्योंकि कम उत्सर्जन-गहन तृतीयक क्षेत्र का सकल घरेलू उत्पाद (जीडीपी) में हिस्सा अधिक उत्सर्जन-गहन द्वितीयक क्षेत्र की कीमत पर बढ़ा। हालाँकि, कम उत्सर्जन वाले प्राथमिक क्षेत्र के हिस्से में गिरावट ने संरचनात्मक परिवर्तनों से संभावित उत्सर्जन में कमी को सीमित कर दिया। इसके अतिरिक्त, उत्सर्जन कारक प्रभाव (-30 मीट्रिक टन) भी नकारात्मक रहा, जो ग्रिड में नवीकरणीय ऊर्जा की बढ़ती हिस्सेदारी के कारण ग्रिड बिजली की उत्सर्जन तीव्रता में कमी के कारण हुआ। यह ध्यान देने योग्य है कि यह प्रभाव 2012-2017 तक न्यूनतम था, लेकिन दशक के उत्तरार्ध में अधिक महत्वपूर्ण हो गया।

नवीकरणीय ऊर्जा पर जोर देने के बावजूद, 2022-23 में सौर और पवन ऊर्जा की कुल प्राथमिक ऊर्जा में हिस्सेदारी केवल 2.1 प्रतिशत थी। हालाँकि, आगे चलकर, उत्सर्जन कारक प्रभाव की भूमिका और भी ज़्यादा महत्वपूर्ण होने की उम्मीद है क्योंकि नवीकरणीय ऊर्जा तेज़ी से जीवाश्म ईंधन की जगह ले रही है और उद्योगों में हरित हाइड्रोजन का उपयोग बढ़ रहा है।

इस अवधि के दौरान भारत ने 0.59 की वियुग्मन लोचता हासिल की, जो अन्य निम्न-मध्यम आय वाले देशों में देखी गई वियुग्मन लोचता के अनुरूप है। हालाँकि उच्च-मध्यम और उच्च आय वाले देशों ने बहुत कम वियुग्मन लोचता हासिल की है, फिर भी भारत का यह आँकड़ा उसकी विकास आवश्यकताओं को

देखते हुए सराहनीय है, जिसमें तेज़ शहरीकरण और बुनियादी ढाँचे व निर्माण में महत्वपूर्ण निवेश शामिल हैं।

भारत ने आर्थिक संवृद्धि से उत्सर्जन को अलग करने में उल्लेखनीय प्रगति की है, लेकिन नेट-ज़ीरो उत्सर्जन प्राप्त करने की दिशा में प्रगति को तेज़ करने के लिए और प्रयास आवश्यक हैं। इस उद्देश्य के लिए, भारत को नवीकरणीय ऊर्जा के विस्तार पर अपना ध्यान केंद्रित करना चाहिए। सौर और पवन ऊर्जा शुल्क अब नए कोयला बिजली संयंत्रों की तुलना में कम हैं, जिससे नवीकरणीय ऊर्जा की उच्च लागत को लेकर पहले की चिंताएँ दूर हो गई हैं (सीईए, 2024 और सीईआरसी, 2024)। भारत में बैटरी भंडारण⁵ के साथ संयुक्त सौर पीवी के लिए बिजली की स्तरीकृत लागत (एलसीओई) पहले से ही नए कोयला-आधारित संयंत्रों⁶ की तुलना में अधिक प्रतिस्पर्धी है और इसके घटते रहने की उम्मीद है (आईईए, 2024)। नवीकरणीय ऊर्जा को बढ़ाने के अलावा, ऊर्जा दक्षता में सुधार पर जोर देना भी महत्वपूर्ण है, क्योंकि यह कार्बन उत्सर्जन को कम करने का एक शक्तिशाली साधन बना हुआ है।

संदर्भ

- Achour, H., & Belloumi, M. (2016). Decomposing the influencing factors of energy consumption in Tunisian transport sector using the LMDI method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 159-169.
- Andreoni, V., & Galmarini, S. (2016). Drivers in CO2 emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries. *Energy*, 103, 27-37.
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- Ang, B. W., Liu, F. L., & Chung, H. S. (2004). A generalized Fisher index approach to energy decomposition analysis. *Energy Economics*, 26(4), 757-763. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.019>

⁵ भंडारण के साथ सौर पी.वी. = चार घंटे की अवधि वाली बैटरी भंडारण के साथ सौर पी.वी. स्थापना, सौर पी.वी. की उत्पादन क्षमता के 20 प्रतिशत तक बढ़ाई गई।

⁶ अक्षय ऊर्जा चौबीसों घंटे (आरई-आरटीसी) निविदाओं में खोजे गए टैरिफ पारंपरिक स्रोतों के मुकाबले अत्यधिक प्रतिस्पर्धी बने हुए हैं, हाल ही में बोली टैरिफ 4.0-4.5 रुपये प्रति यूनिट (मिंट, 2023) की सीमा में हैं।

Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25(12), 1149-1176.

Ang, B. W., Zhang, F. Q., & Choi, K. H. (1998). Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, 23(6), 489-495.

Azevedo, I. M. L., Morgan, M. G., & Morgan, F. (2011). The transition to solid-state lighting. *Proceedings of the IEEE*, 99(10), 1780-1804.

Bansal, R. S., & Gupta, A. S. (2020). Impact of structural changes on energy-related CO2 emissions in India: A decomposition approach. *Energy Economics*.

Das, N., & Roy, J. (2020). India can increase its mitigation ambition: An analysis based on historical evidence of decoupling between emission and economic growth. *Energy for Sustainable Development*, 57, 189-199.

Henriques, S. T., & Kander, A. (2010). The modest environmental relief resulting from the transition to a service economy. *Ecological Economics*, 30, 271-282.

Inglesi-Lotz, R. (2018). Decomposing the South African CO2 emissions within SA BRICS countries context: Signaling potential energy rebound effects. *Energy*, 147, 648-654.

Jain, M., & Mukherjee, S. (2019). Estimating sectoral energy use in the Indian economy using input-output approach. *Indira Gandhi Institute of Development Research Working Paper*, WP-2019-019.

Kangyin, D., Hongdian, J., Renjin, S., & Xiucheng, D. (2019). Driving forces and mitigation potential of global CO2 emissions from 1980 through 2030: Evidence from countries with different income levels. *Science of The Total Environment*, 649, 335.

Kanitkar, T., Banerjee, R., & Jayaraman, T. (2015). Impact of economic structure on mitigation targets for developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 26, 56-61.

- Kant, S., Kumar, M., Khan, S., & Sharma, S. (2022). Carbon dioxide emissions from India's manufacturing sector: A decomposition analysis. *RBI Occasional Papers*, 43(1). Reserve Bank of India.
- Lima, F., Lopes Nunes, M., Cunha, J., & Lucena, A. F. P. (2017). Driving forces for aggregate energy consumption: A cross-country approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1033–1050.
- Li, W., Li, Z., & Ni, W. (2018). LMDI decomposition of energy-related CO₂ emissions based on energy and CO₂ allocation Sankey diagrams: The method and an application to China. *Sustainability*, 10(2), 344.
- Li, Y., Liu, X., & Feng, C. (2018). Exploring the driving forces of energy-related CO₂ emissions in China's agricultural sector. *Journal of Cleaner Production*, 195, 20–28.
- Mangla, S. K., & Ahuja, J. (2014). Carbon emission in BRICS countries: Trends, issues, and drivers using Kaya decomposition. *FIIB Business Review*, 3(3), 3–12.
- Matisoff, D. C., & Edwards, J. (2014). Kindred spirits or intergovernmental competition? Decomposing the effect of policy instruments on renewable energy growth. *Energy Policy*, 65, 743–753.
- Marcucci, A., & Fragkos, P. (2015). Drivers of regional decarbonization through 2100: A multimodel decomposition analysis. *Energy Economics*, 51, 111–124.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: Foundations and extensions*. Cambridge University Press.
- Nag, B., & Parikh, J. (2000). Indicators of carbon emission intensity from commercial energy use in India. *Energy Economics*, 22(4), 441–461.
- Ortega-Ruiz, G., Mena-Nieto, A., & Garcia-Ramos, J. E. (2020). Is India on the right pathway to reduce CO₂ emissions? Decomposing an enlarged Kaya identity using the LMDI method for the period 1990–2016. *Science of The Total Environment*, 737, 139638.
- Rao, P. S., & Bhattacharya, L. N. (2019). Sectoral decomposition of CO₂ emissions and its policy implications for India. *Journal of Cleaner Production*.
- Raupach, M. R., Marland, G., Ciais, P., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Klepper, G., & Field, C. B. (2007). Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(24), 10288–10293.
- Román-Collado, R., & Colinet, M. J. (2018). The impact of economic growth on energy consumption in European emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15624–15632.
- Sahu, N. C., & Narayanan, K. (2011). Decomposition of industrial energy consumption in Indian states: An application of the LMDI method. *Energy Policy*, 39(6), 3108–3119.
- Shahbaz, M., Farhani, S., & Ozturk, I. (2015). Do coal consumption and industrial development increase environmental degradation in China and India? *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3895–3907.
- Sharma, A. K., & Jain, R. K. (2017). Decoupling of economic growth and CO₂ emissions in India: A sectoral analysis. *Environmental Science and Policy*.
- Shuang, D., Ming, Z., & Wei, H. (2016). Decomposing the decoupling of CO₂ emission from economic growth in BRICS countries. *Natural Hazards*, 84(2), 1055–1073.
- Singh, S. K., & Ghosh, V. K. (2016). Decomposition analysis of CO₂ emissions in India: A study of sectoral and regional variations. *Energy Policy*.
- Solaymani, S. (2019). CO₂ emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. *Energy*, 168, 989–1001.
- Timilsina, G. R., & Shrestha, A. (2009). Transport sector CO₂ emission growth in Asia: Underlying factors and policy options. *Energy Policy*, 37(11), 4523–4539.

- United Nations. (2023). For a liveable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action. Retrieved from <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>
- UNFCCC. (2022). India's updated first nationally determined contribution under Paris Agreement. Retrieved from <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-08/India%20Updated%20First%20Nationally%20Determined%20Contrib.pdf>
- Vazhayil, J. P., & Balasubramanian, R. (2019). Decomposition analysis of carbon dioxide emissions in the Indian industrial sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), 24415-24429.
- Voigt, S., De Cian, E., Schymura, M., & Verdolini, E. (2014). Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement? *Energy Economics*, 41, 47–62.
- Wang, C., Chen, J., & Zou, J. (2005). Decomposition of energy-related CO₂ emission in China: 1957–2000. *Energy*, 30(1), 73-83.
- Wang, L., Wang, J. Y., Zhao, Y. F., Li, Z., & Guo, R. (2020). Spatiotemporal characteristics of the relationship between carbon emissions and economic growth in China's transportation industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 32962-32979.
- Yeo, Y., Shim, D., Lee, J. D., & Altmann, J. (2015). Driving forces of CO₂ emissions in emerging countries: LMDI decomposition analysis on China and India's residential sector. *Sustainability*, 7(12), 16108-16129.
- Zhang, M., Mu, H., Ning, Y., & Song, Y. (2009). Decomposition of energy-related CO₂ emissions over 1991–2006 in China. *Ecological Economics*, 68(7), 2122-2128.