*धारणीय कृषि के लिए सिंचाई प्रबंधन**

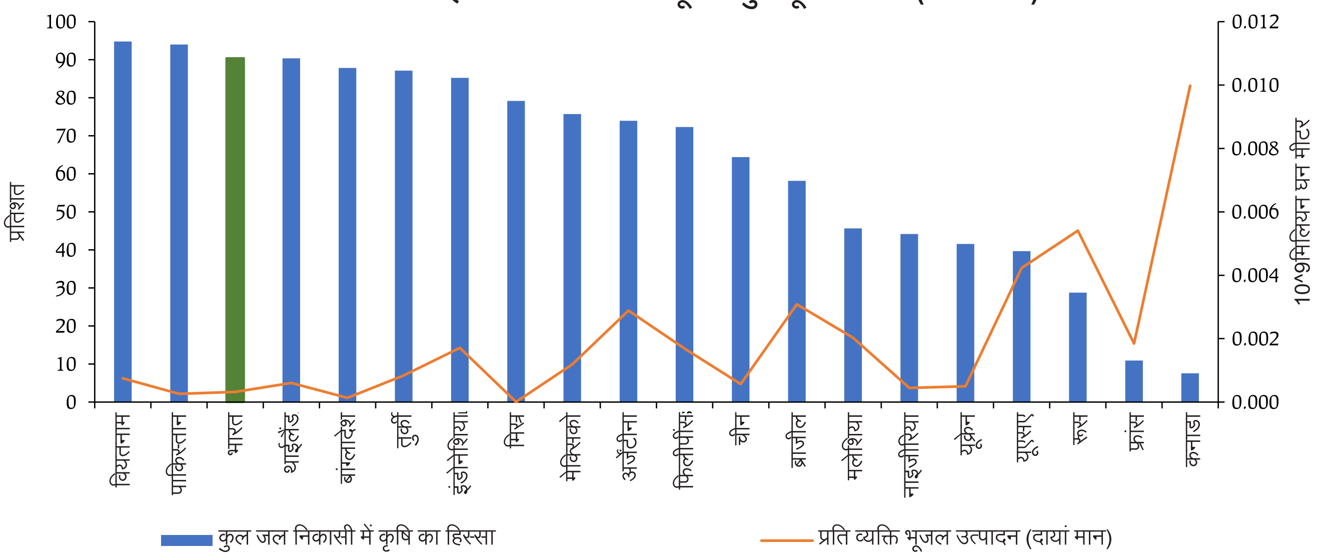
कृषि और कृषीतर क्षेत्रों से भूजल की बढ़ती मांग के साथ, धारणीय कृषि के लिए सिंचाई दक्षता बढ़ाना महत्वपूर्ण है। यह आलेख सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत की गणना करता है और सिंचाई की तकनीकी दक्षता का अनुमान लगाता है तथा भारत में कृषि रूप से महत्वपूर्ण 19 राज्यों के लिए तकनीकी दक्षता को प्रभावित करने वाले कारकों की पहचान करता है। अध्ययन से पता चलता है कि सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत में गिरावट का रुझान रहा है, जो आंशिक रूप से इन राज्यों में सब्सिडी-प्राप्त बिजली आपूर्ति और निम्न सिंचाई दक्षता को दर्शाती है। कृषि क्षेत्र को ऊर्जा की लागत और उपलब्धता के साथ-साथ भूजल स्तर की गहराई, सिंचाई दक्षता को प्रभावित करती है। अंतर-राज्यीय सिंचाई असंतुलन को ठीक करने के लिए उन्नत तकनीकी हस्तक्षेपों को बढ़ावा देने सहित सिंचाई नीति को फिर से डिजाइन करने की आवश्यकता है।

भूमिका

वैश्विक स्तर पर, जल की पर्याप्त उपलब्धता और अर्थव्यवस्था के विभिन्न क्षेत्रों में इसका संतुलित वितरण एक प्रमुख चिंता के रूप में उभर रहा है। घरों में पीने और साफ-सफाई; कृषि क्षेत्र से सिंचाई उद्देश्यों के लिए; और ऊर्जा क्षेत्र[1] के साथ कृषीतर क्षेत्रों की बढ़ती मांग के कारण जल संसाधन लगातार कम होते जा रहे हैं। उदाहरण के लिए, 17 देशों में रहने वाली दुनिया की लगभग एक चौथाई आबादी 'अत्यंत उच्च' जल दबाव का सामना करती है (विश्व संसाधन संस्थान के एक्वाडक्ट वाटर रिस्क एटलस के अनुसार)। अन्य 16 देशों की संयुक्त जनसंख्या के तीन गुना से अधिक जनसंख्या के साथ भारत इस सूची में 13वें पायदान पर रहा (भारत सरकार, 2019)।

स्वच्छ और उपयोग-योग्य जल की आपूर्ति विभिन्न क्षेत्रों की मांग के अनुरूप नहीं रही है, जिससे इन क्षेत्रों के बीच संतुलित आबंटन एक नीतिगत चुनौती बन गयी है। अधिकांश अर्थव्यवस्थाओं में, विशेष रूप से उभरती और विकासशील अर्थव्यवस्थाओं, जहां भले ही भूजल पुनःपूर्ति की दर कम रहती है, में कृषि क्षेत्र जल के सबसे बड़े हिस्से को अवशोषित करता है (चार्ट 1)। जल की समग्र मांग में इस क्षेत्र की हिस्सेदारी भारत में

चार्ट 1: सिंचाई जल की मांग और भूजल पुनःपूर्ति की दर (वर्ष 2018)



स्रोत: एक्वास्टैट, खाद्य और कृषि संगठन।

* यह आलेख आर्थिक और नीति अनुसंधान विभाग के ऋषभ कुमार, जोबिन सेबेस्टियन और अरुण विष्णु कुमार द्वारा तैयार किया गया है। डॉ. सितिकंठ पट्टनायक, कार्यपालक निदेशक और सुश्री डी. सुगंधी, प्रबंधक के सहयोग के लिए लेखक उनके बहुत आभारी हैं। आलेख में व्यक्त विचार लेखकों के हैं और भारतीय रिज़र्व बैंक के विचारों का प्रतिनिधित्व नहीं करते हैं।

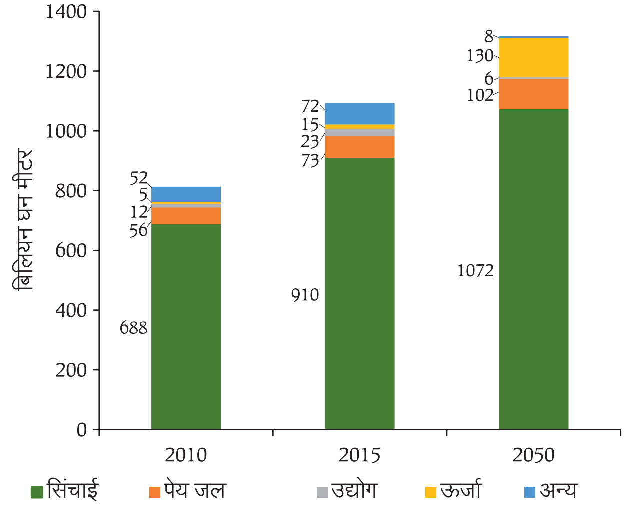
[1] समस्या की गंभीरता को स्वीकार करते हुए, संयुक्त राष्ट्र ने विश्व जल दिवस (22 मार्च) की पूर्व संध्या पर विश्व जल विकास रिपोर्ट: 2022 के लिए "ग्राउंडवॉटर: मेकिंग दि इनविसिबल विसिबल" विषय निर्धारित किया है।

भी सबसे अधिक है, जबकि प्रति व्यक्ति भूजल पुनःपूर्ति दर बहुत कम है।

भारत में भले ही स्वतंत्रता-प्राप्ति के बाद से अर्थव्यवस्था में कुल योजित सकल मूल्य (जीवीए) में कृषि और संबद्ध क्षेत्र की हिस्सेदारी घट रही है, फिर भी यह क्षेत्र सिंचाई उद्देश्यों के लिए जल के एक बड़े हिस्से को अवशोषित कर रहा है। जल की समग्र मांग में सिंचाई का हिस्सा 2010 में 85 प्रतिशत से कम होकर 2050 तक लगभग 74 प्रतिशत होने का अनुमान है; हालाँकि, निरपेक्ष रूप से मांग की गई जल की मात्रा में 1.6 गुना वृद्धि होने की उम्मीद है (भारत सरकार, 2019) (चार्ट 2)।

कृषि क्षेत्र से जल की बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए, सिंचाई के आधारभूत ढांचे का महत्वपूर्ण गति से विस्तार हुआ है, जिससे भारत की मानसून पर निर्भरता कम हुई है और यह एक खाद्य-पर्याप्त राष्ट्र बन गया है। हालाँकि, 1950 के दशक में सिंचित क्षेत्र में वृद्धि नहरों, टैंकों और कुओं के माध्यम से प्रेरित थी, जबकि 1960 के दशक से सिंचाई के आधारभूत ढांचे का विस्तार नलकूपों (ट्यूबवेल) के तहत क्षेत्र में वृद्धि होने से हुआ, जिसके कारण भूजल का स्तर तीव्रता से कम हुआ है (चार्ट 3)।

चार्ट 2: भारत में जल की पूर्वानुमानित मांग (विभिन्न उपयोगानुसार)

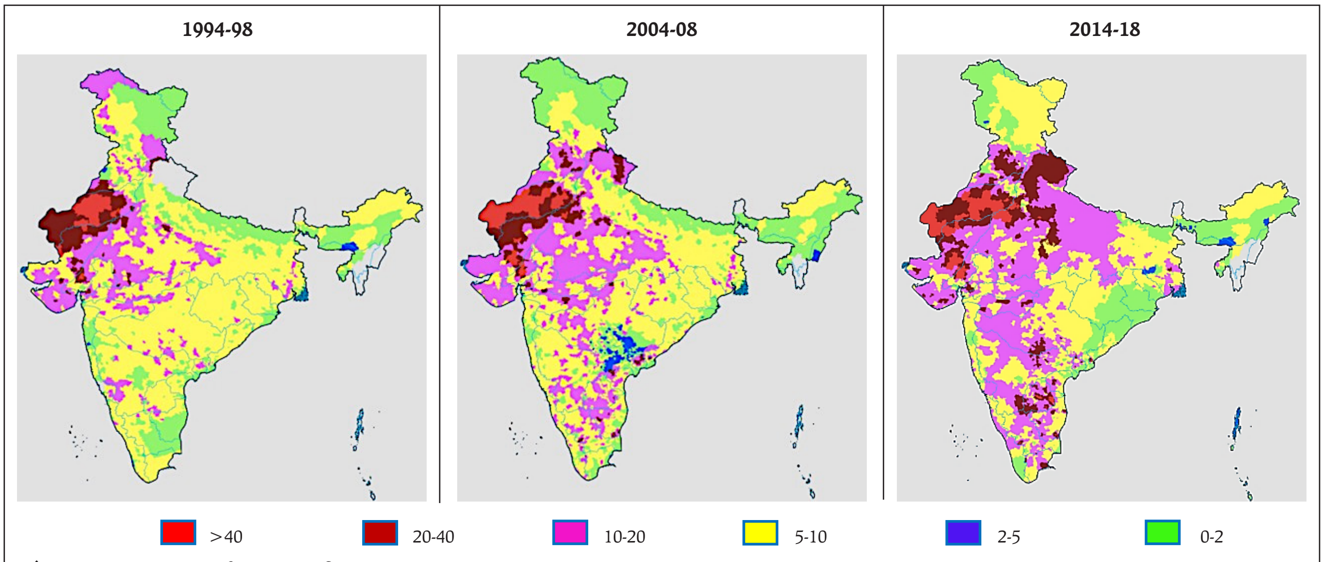


स्रोत: जल संसाधन मंत्रालय की स्थायी उप-समिति।

यद्यपि नई तकनीकों जैसे स्वचालित सिंचाई, जल संचयन, सूक्ष्म सिंचाई, गहन कृषि तकनीक और धान और गन्ना जैसी जल की गहन फसलों से धीरे-धीरे बदलाव इस समस्या के संभावित समाधान के रूप में सामने आए हैं, जिनका प्रभाव वांछनीय से कम रहता है।

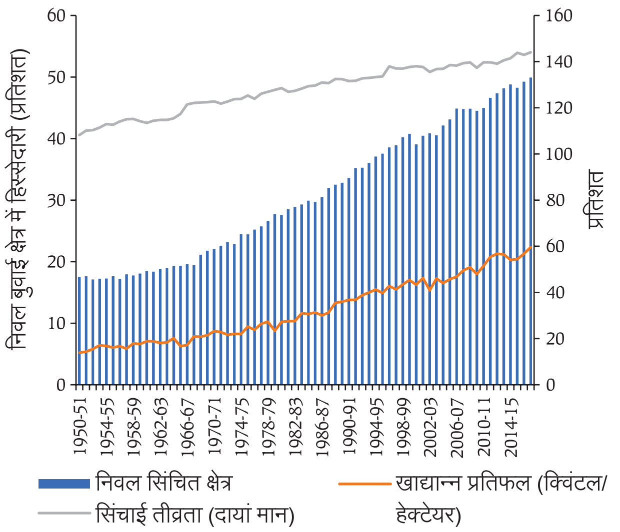
चार्ट 3: भारत में भू-जल स्तर की स्थिति

(भूमि के नीचे जलस्तर की गहराई मीटर में)



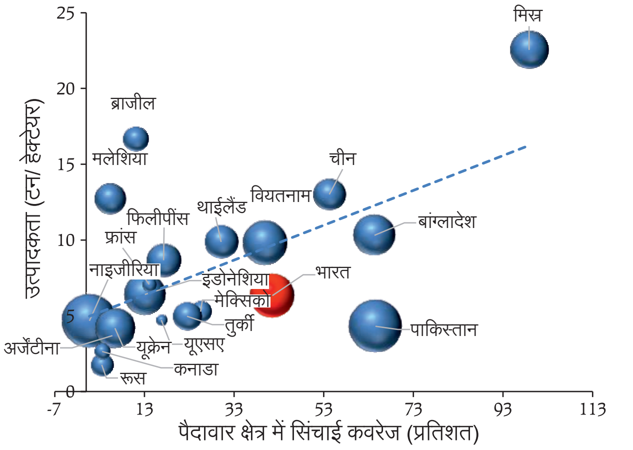
स्रोत: भारत-डब्ल्यूआरआईएस, जल शक्ति मंत्रालय।

चार्ट 4ए: सिंचाई कवरेज में प्रवृत्ति



स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय।

चार्ट 4बी. फसल उत्पादकता *बनाम* सिंचाई की हिस्सेदारी (2017)



टिप्पणियां: 1. बुलबुलों का आकार समग्र जीडीपी में कृषि के अनुपात को दर्शाता है।
2. शीर्ष 20 कृषि उत्पादक देशों को यहां शामिल किया गया है।

स्रोत: खाद्य और कृषि संगठन।

भूजल स्तर के तेजी से घटने के साथ, जहां एक ओर सिंचाई की लागत और जल के उपयोग की दक्षता से संबंधित मुद्दों ने हाल के वर्षों में खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने और किसानों की आय बढ़ाने के लिए महत्ता हासिल की है, वहीं दूसरी ओर पर्यावरणीय धारणीयता बनाए रखने के परस्पर विरोधी उद्देश्यों को संबोधित करने के लिए महत्व प्राप्त किया है।

यद्यपि मौजूदा साहित्य में सिंचाई की लागत और जल उपयोग दक्षता से संबंधित मुद्दों का विश्लेषण किया गया है, उनमें से अधिकांश विशिष्ट वर्षों और समय अवधि से संबंधित हैं। भविष्य में जल की मांग के पूर्वानुमानों का अनुमान है कि सिंचाई दक्षता 35-40 प्रतिशत के मौजूदा स्तर से बढ़कर लगभग 60 प्रतिशत (भारत सरकार, 2019) हो जाएगी। यह एक भविष्योन्मुख परिप्रेक्ष्य के साथ सिंचाई दक्षता की गतिशीलता का अध्ययन करने के लिए संदर्भ प्रदान करता है। जल की खपत, फसल पैटर्न और सिंचाई प्रौद्योगिकियों में गतिशील परिवर्तनों के बीच, सिंचाई सेवाओं की लागत और दक्षता में प्रवृत्तियों का विश्लेषण करने और दक्षता में सुधार के लिए कारक निर्दिष्ट करने की आवश्यकता है।

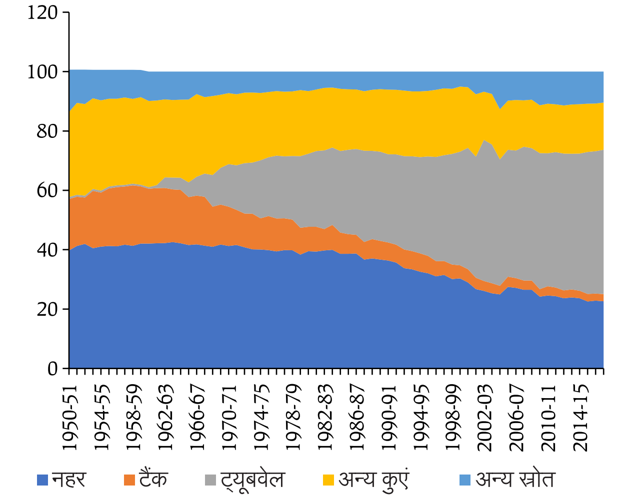
इस पृष्ठभूमि में, आलेख तीन प्रमुख मुद्दों की जांच करता है। सबसे पहले, यह 19 राज्यों के लिए सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत की गणना करता है। दूसरा, यह डेटा एनवेलपमेंट एनालिसिस (डीईए) का उपयोग करके राज्य-वार सिंचाई दक्षता का अनुमान लगाता है। अंत में, यह एक रैंडम पैनल टोबिट रिग्रेशन के आधार पर सिंचाई दक्षता के निर्धारकों की पहचान करता है। यह अध्ययन कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय द्वारा 19 राज्यों के लिए वर्ष 2002-03 से 2017-18 की अवधि के लिए प्रकाशित- खेती की समग्र लागत के आंकड़ों का उपयोग करता है। हालाँकि इसकी कुछ सीमाएँ हैं, यह सूचना के मामले में एक समृद्ध डेटासेट है (भारत सरकार, 2008; नॉन, 2013)।

शोध का शेष भाग इस प्रकार से संरचित हैं: खंड II भारत में सिंचाई और कृषि उत्पादकता की प्रगति पर कुछ शोधपरक तथ्य प्रस्तुत करता है। राज्य-वार क्षेत्र-भारित सिंचाई की औसत लागत की गणना खंड III में की गई है। खंड IV में सिंचाई दक्षता का अनुमान लगाया गया है और इसके बाद खंड V में इसके कुछ निर्धारकों की पहचान की गई है। अंतिम खंड कुछ नीतिगत सुझावों के साथ आलेख का समापन करता है।

II. शोधपरक तथ्य

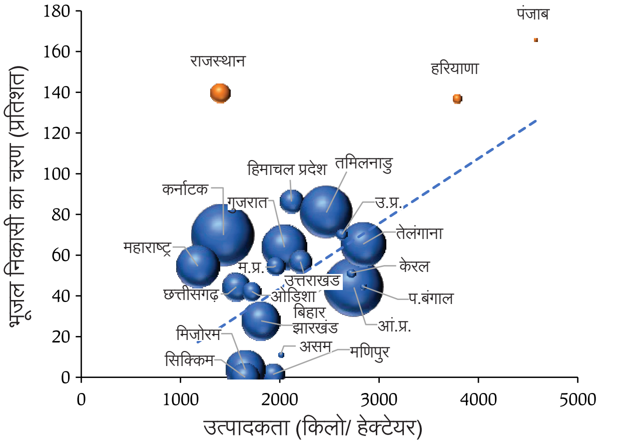
भारत ने पिछले कुछ वर्षों में सिंचाई के अभिगम को मजबूत बनाने में काफी प्रगति की है। स्वतंत्रता के समय सिंचाई क्षेत्र का कवरेज निवल बोए गए क्षेत्र (एनएसए) के लगभग 17 प्रतिशत से बढ़कर 2017-18 में लगभग 50 प्रतिशत हो गया (नवीनतम

चार्ट 5ए: विभिन्न सिंचाई स्रोतों की हिस्सेदारी में प्रवृत्ति



स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय।

चार्ट 5बी. भूजल निकासी *बनाम* खाद्यान्न उत्पादकता के चरण



टिप्पणी: 1. बुलबुलों का आकार सकल सिंचित क्षेत्र में सूक्ष्म सिंचाई कवरेज को दर्शाता है।

स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय और जल शक्ति मंत्रालय।

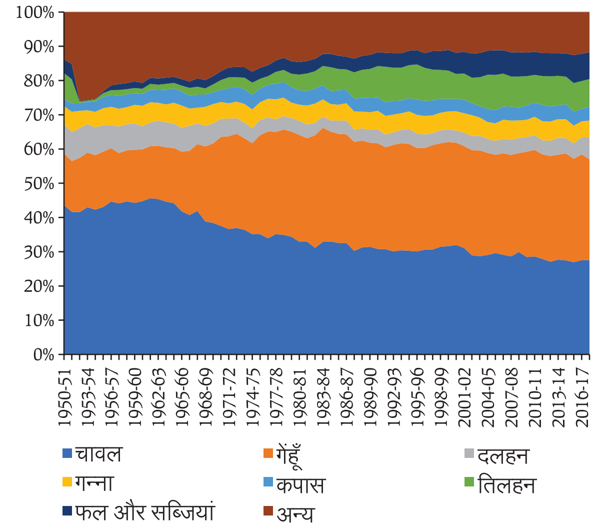
उपलब्ध आंकड़ों के अनुसार) (चार्ट 4ए)। इसी तरह, सिंचाई की सघनता (सकल सिंचित क्षेत्र के लिए निवल सिंचित क्षेत्र का अनुपात) ने 1950-51 में 110 प्रतिशत से 2017-18 में लगभग 144 प्रतिशत की वृद्धि दर्ज की। सिंचाई में उन्नति और अधिक उपज देने वाली किस्मों को अपनाने के परिणामस्वरूप कृषि उत्पादकता में वृद्धि हुई है। सिंचाई और उत्पादकता संबंध के संदर्भ में, अन्य देशों में देखे गए मामलों की भांति, भारत को सिंचाई *के माध्यम से* उत्पादकता बढ़ाने की आवश्यकता है (चार्ट 4बी)।

हालांकि, सिंचाई के आधारभूत ढांचे का विकास सिंचाई के कुछ स्रोतों, राज्यों और फसलों के प्रति पक्षपाती प्रतीत होता है। सबसे पहले, समग्र सिंचाई इंफ्रास्ट्रक्चर में नलकूपों का प्रभुत्व 1960 के दशक से लगातार बढ़ा है और वर्तमान में यह कुल सिंचित क्षेत्र का लगभग आधा हिस्सा है (चार्ट 5ए)। इसके परिणामस्वरूप भूजल भंडार पर दबाव बढ़ रहा है और भूजल निकालने के लिए ऊर्जा की अधिक मांग है। साथ ही, पहले उपयोग किए जाने वाले कई कुशल और टिकाऊ संरचनाएं जैसे टैंक और तालाब अपना महत्व खो रहे हैं।

इसके अलावा, भारत में कृषि क्षेत्र द्वारा सूक्ष्म सिंचाई जैसी आधुनिक तकनीकों को अभी बड़े पैमाने पर अपनाया जाना बाकी है।

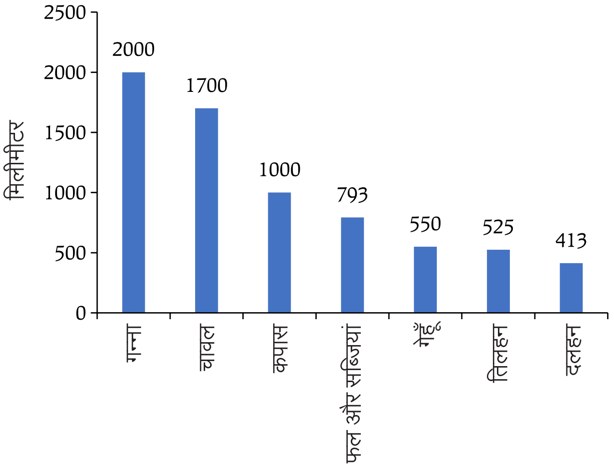
दूसरा, भूजल की उपलब्धता और कृषि उद्देश्यों के लिए बिजली दरों में राज्य सरकारों द्वारा प्रदान की जाने वाली सब्सिडी की सीमा के आधार पर वहनीय सिंचाई सुलभता के मामले में भी राज्यों में व्यापक भिन्नता है (गुलाटी *और अन्य,* 2019)। जबकि आंध्र प्रदेश, कर्नाटक, पंजाब, तमिलनाडु और तेलंगाना जैसे राज्यों में कृषि के लिए बिजली आपूर्ति पर टैरिफ दरें लगभग शून्य हैं, अन्य राज्यों में प्रभारित दरें अलग-अलग हैं (भारत सरकार, 2019ए)। बिजली आपूर्ति की गुणवत्ता, जल स्तर की गहराई और सस्ती बिजली और महंगे डीजल पंपों द्वारा चलाए जाने वाले नलकूपों के सापेक्ष अनुपात के मामले में भी राज्यों में व्यापक भिन्नताएं हैं। विशेष रूप से, पंजाब, हरियाणा और राजस्थान में पुनःपूर्ति योग्य स्तरों से अधिक भूजल निकासी की जा रही है (चार्ट 5बी)। इसके अलावा, भूजल विलुप्त होने के कगार पर इन राज्यों का सूक्ष्म सिंचाई के तहत कवरेज न्यूनतम है।

चार्ट 6ए. फसल-वार सिंचाई कवर में प्रवृत्ति



स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय।

चार्ट 6बी. फसल-वार औसत जल आवश्यकता



स्रोत: सिंह (2010)

तीसरा, यद्यपि प्रति फसल चक्र में अपेक्षाकृत कम मात्रा में जल की आवश्यकता वाली फसलों, जैसे गेहूँ, तिलहन, फल और सब्जियों के तहत सिंचित क्षेत्र की हिस्सेदारी में समय के साथ बढ़ोतरी हुई हैं (चार्ट 6ए), अभी भी गन्ना, चावल और कपास जैसी जल आधारित गहन फसलों को सिंचित जल की पर्याप्त मात्रा में जल की खपत जारी है। (चार्ट 6बी)। दालें, फल और सब्जियां, जिनकी अपेक्षाकृत अधिक जल उत्पादकता होती है, अभी भी सिंचित क्षेत्रों में किसानों द्वारा अपनायी नहीं जाती हैं।

III. सिंचाई की लागत

सिंचाई कृषि उत्पादकता बढ़ाने वाले कारकों में से एक है। भारत में कृषि उत्पादन का बड़ा हिस्सा वर्षा-पोषित क्षेत्रों की तुलना में उच्च उत्पादकता के कारण सिंचित क्षेत्रों से आता है। इसके अलावा, सिंचाई के विभिन्न स्रोतों के अनुसार उत्पादकता व्यापक रूप से भिन्न होती है। साक्ष्य दर्शाते हैं कि नलकूप सिंचित क्षेत्रों में अन्य स्रोतों की तुलना में अधिक फसल उत्पादकता पायी गई है (धवन, 1987)।

सिंचाई की लागत विभिन्न कारकों पर निर्भर होती है - जैसे सिंचाई आपूर्ति की आवृत्ति, भूजल स्तर, स्रोतों (समुदाय या व्यक्ति) का स्वामित्व और जल बाजारों के प्रकार (प्राथमिक या द्वितीयक)। इन कारकों का संवितरण राज्यों में व्यापक रूप से भिन्न होता है जिसके परिणामस्वरूप सिंचाई की लागत में अंतर होता है। सिंचाई की लागत पर अधिकांश अध्ययन विशिष्ट वर्षों के लिए चयनित क्षेत्रों में प्राथमिक सर्वेक्षण पर आधारित हैं (शंकरनारायणन *और अन्य*, 2011; नारायणमूर्ति और जोथी, 2019)।

अर्थशास्त्र और सांख्यिकी निदेशालय द्वारा खेती की लागत पर व्यापक योजना - राज्यों के लिए सिंचाई की लागत (सिंचाई शुल्क[2] के रूप में) सहित विभिन्न लागतों और प्रतिफल पर फसल-वार डेटा प्रदान करती है। इस डेटा समूह का उपयोग करते हुए, हम डेटा उपलब्धता के आधार पर वर्ष 2002-03 से 2017-18 तक 19 राज्यों में राज्यवार क्षेत्र-भारित औसत सिंचाई शुल्क की गणना करते हैं। सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत की गणना निम्नलिखित फॉर्मूला का उपयोग करके की गई है:

$$IC = \frac{\sum_{n}^{i=1} c_i * GIA_i}{\sum_{n}^{i=1} GIA_i}$$

जहां, आईसी (IC)= सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत; सी$_{आई}$ (c_i) = i^{th} फसल के लिए सिंचाई शुल्क; जीआईए$_{आई}$ (GIA_i) = i^{th}

[2] सिंचाई शुल्क का मूल्यांकन निजी सिंचाई के मामले में उपगत परिचालन लागत और किराए की सिंचाई सेवाओं के मामले में भुगतान की गई वास्तविक राशि के आधार पर किया जाता है (भारत सरकार, 2008)।

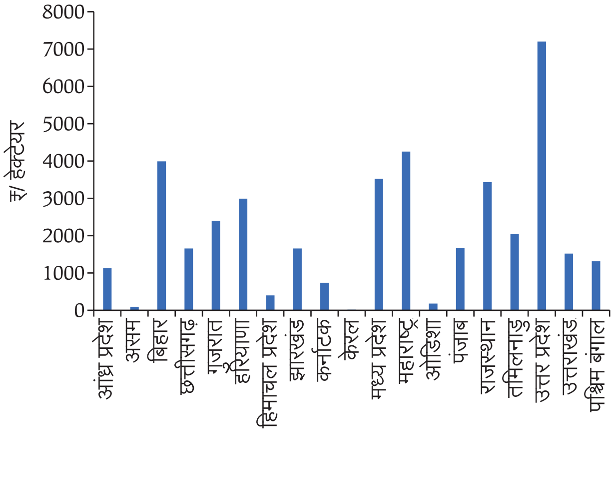
फसल के तहत सकल सिंचित क्षेत्र ; और आई (i)= फसलों की संख्या (1, 2, 3, …, n)

वर्ष 2017-18 के क्रॉस-सेक्शनल डेटा से पता चलता है कि केरल, असम और ओडिशा में क्षेत्र-भारित सिंचाई शुल्क सबसे कम था, जबकि उत्तर प्रदेश में सबसे अधिक शुल्क था, उसके बाद महाराष्ट्र, बिहार और मध्य प्रदेश में यह सबसे अधिक था (चार्ट 7)। पंजाब, तमिलनाडु, आंध्र प्रदेश और कर्नाटक जैसे राज्यों में सिंचाई की अपेक्षाकृत कम लागत को आंशिक रूप से कृषि उद्देश्यों के लिए 100 प्रतिशत सब्सिडी वाली बिजली द्वारा समझाया जा सकता है (भारत सरकार, 2019)।

प्रवृत्ति से पता चलता है कि बिहार, मध्य प्रदेश, हिमाचल प्रदेश, झारखंड और उत्तर प्रदेश को छोड़कर अधिकांश राज्यों में सिंचाई की क्षेत्र-भारित औसत लागत में धीरे-धीरे गिरावट आयी है (चार्ट ए3, अनुबंध I)। हालांकि घटते जल स्तर की स्थिति में, सब्सिडी प्राप्त बिजली आपूर्ति के कारण, सिंचाई की बढ़ती लागत किसानों द्वारा वहन नहीं की जाती है (गुलाटी *और अन्य,* 2019)।

बिहार, मध्य प्रदेश, हिमाचल प्रदेश, झारखंड और उत्तर प्रदेश में सिंचाई की बढ़ती लागत विभिन्न कारकों के कारण हो सकती है। सबसे पहले, कई किसानों के पास स्वयं की सिंचाई सुविधा नहीं होती है और वे आम तौर पर इसे अन्य किसानों से उच्च दरों पर खरीदते हैं (द्वितीयक सिंचाई बाजार)। दूसरा, इन राज्यों में घटते जल स्तर के कारण जल निकासी के लिए ऊर्जा की लागत बढ़ सकती थी। तीसरा, किसानों को निर्बाध बिजली आपूर्ति तक अभिगम की कमी के कारण अक्सर मजबूरी में सिंचाई के लिए डीजल से चलने वाले पंपों का उपयोग करना पड़ता है, जिससे उनका अधिक व्यय होता है।

चार्ट 7: सिंचाई की राज्यवार क्षेत्र भारित लागत (2017-18)



स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय द्वारा प्रकाशित खेती की लागत के आंकड़ों के आधार पर लेखकों द्वारा की गई गणना।

IV. सिंचाई दक्षता

डेटा एनवेलपमेंट एनालिसिस (डीईए) पद्धति का उपयोग करके सिंचाई दक्षता का अनुमान लगाया गया है (चार्नेस, कूपर एंड रोड्स, 1978; और बैंकर, चार्नेस एंड कूपर, 1984)। डीईए एक अप्राचलिक विधि रैखिक प्रोग्रामिंग दृष्टिकोण है, यह निर्णय लेने वाली इकाइयां (यहां, राज्य) कहलाने वाली समकक्ष संस्थाओं के एक समूह के निष्पादन का मूल्यांकन करती है।

यह अनुमानित सर्वोत्तम-अभ्यास या कुशल सीमा, या पारेतो-कुशल राज्यों (दक्षता स्कोर = 1) के एक सेट द्वारा बनाई गई लिफाफा सतह के आधार पर तकनीकी दक्षता को कैलिब्रेट करता है। इसके संबंध में राज्यों की दक्षता की गणना की गई है और स्कोर 0 और 1 के बीच प्राप्त होता है।

अध्ययन में दो इनपुट चरों का उपयोग किया गया है, अर्थात् सिंचाई की क्षेत्र-भारित लागत[3] और सिंचाई के तहत क्षेत्र कवरेज और एक आउटपुट चर, जो तकनीकी दक्षता का आकलन करने के लिए 'उत्पादन का मूल्य' है। हमने स्केल पर निरंतर रिटर्न की धारणा के तहत सिंचाई की उत्पादन उन्मुख तकनीकी दक्षता (आईई) का अनुमान लगाया है।

अनुमान के परिणामों से पता चलता है कि अधिकतम तकनीकी दक्षता के साथ केरल और असम अग्रणी राज्य हैं (सारणी 1)। परिणाम अपेक्षानुसार हैं क्योंकि सिंचाई कवरेज (क्रमशः 20.3 प्रतिशत और 11.9 प्रतिशत) और साथ ही सिंचाई शुल्क (क्रमशः ₹9.8/ हेक्टेयर और ₹70.5/ हेक्टेयर) अन्य राज्यों से तुलनात्मक रूप से कम हैं। उत्पादों के लिए अन्य फसलों की तुलना में, केरल में बागवानी और बागान फसलों [कुल क्षेत्रफल

[3] प्राथमिक सर्वेक्षण-आधारित अध्ययन जैसे गौतम *और अन्य* (2020) ने विभिन्न लागत घटकों (जैसे श्रम, पाइप, ऊर्जा, मरम्मत और रखरखाव) को अलग से लिया है। हालांकि, इस तरह के विस्तृत डेटा पर द्वितीयक आंकड़ों के अभाव के कारण, हमने सिंचाई की लागत पर एकल चर पर विचार किया है जिसमें इन सभी घटकों को शामिल किया जाएगा।

सारणी 1. प्रमुख सिंचाई संबंधित चरों की राज्यवार स्थिति (2018 को समाप्त होने वाले तीन वर्षों के लिए)

राज्य	सिंचाई क्षमता	जल के अत्यधिक उपयोग के अधीन क्षेत्र[5] (%)	भूजल (मीटर)	चावल की अखिल भारतीय सार्वजनिक खरीद में हिस्सेदारी (%)	नलकूपों का हिस्सा (%)	अन्य सिंचाई स्रोतों का हिस्सा (%)	कृषीतर क्षेत्र द्वारा ऊर्जा खपत (%)	सिंचाई की क्षेत्र भारित लागत (₹/ हेक्टेयर)	सूक्ष्म सिंचाई कवरेज (%)	कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता (किलोवाट/ व्यक्ति)
आंध्र प्रदेश	0.4	62.3	8.6	6.1	42.3	13.0	72.2	771.3	19.5	167.36
असम	1.0	78.8	4.4	0.1	10.9	61.4	99.4	258.1	0.2	1.88
बिहार	0.2	44.5	5.6	2.0	62.6	6.3	97.6	2496.1	0.3	11.61
छत्तीसगढ़	0.3	76.5	8.7	6.6	33.7	8.5	77.6	634.9	4.6	34.29
गुजरात	0.4	11.1	16.4	0.0	26.5	55.3	80.4	1765.7	11.5	249.34
हरियाणा	0.4	25.6	16.3	16.9	63.0	0.0	71.9	2246.1	0.5	237.58
हिमाचल प्रदेश	0.5	24.1	7.0	0.0	21.8	75.0	99.3	194.2	3.3	3.15
झारखंड	0.5	20.9	8.1	0.2	12.4	85.6	99.4	706.3	8.6	1.81
कर्नाटक	0.3	33.7	8.9	0.0	44.8	25.2	62.8	895.2	21.7	157.99
केरल	1.0	27.1	7.7	0.5	10.8	69.4	98.4	47.6	0.5	5.69
मध्य प्रदेश	0.2	9.0	10.8	8.8	12.3	70.1	62.1	1746.9	2.0	83.28
महाराष्ट्र	0.6	27.3	9.2	0.5	66.7	0.0	76.7	3208.1	10.6	107.27
ओडिशा	0.3	94.4	5.9	5.9	13.7	4.5	98.1	104.1	2.0	4.59
पंजाब	0.5	41.0	17.4	35.5	72.0	0.0	72.3	1050.3	0.1	234.05
राजस्थान	0.3	1.3	25.2	1.2	47.6	28.2	58.1	2413.4	2.3	74.04
तमिलनाडु	0.4	57.7	10.6	0.2	19.8	57.8	86.0	1792.2	15.2	143.11
उत्तर प्रदेश	0.3	36.1	8.3	5.2	74.9	10.0	80.7	4108.8	0.7	28.08
उत्तराखंड	1.0	51.4	13.9	1.2	56.8	20.9	98.7	1189.0	3.1	42.38
पश्चिम बंगाल	0.3	43.9	7.4	3.1	0.0	100.0	96.7	1596.6	0.2	8.84

का 54 प्रतिशत हिस्सा नारियल, रबड़, और टैपिओका के तहत (जॉनसन, 2018)] की महत्वपूर्ण उपस्थिति के कारण उत्पादन का मूल्य उच्च स्तर पर है, जिनकी जल की खपत कम होने पर भी बाजार से उच्च मूल्य प्राप्त होता है। अन्य राज्यों की तुलना में उच्च जल स्तर के परिणामस्वरूप असम के संबंध में, उच्च सिंचाई दक्षता को सिंचाई की न्यूनतम लागत के लिए उत्तरदायी ठहराया जा सकता है। शेष राज्यों के लिए सिंचाई दक्षता त्रैवार्षिक समाप्ति[4] (टीई) 2018 के लिए 20 प्रतिशत से 60 प्रतिशत की सीमा में है। छत्तीसगढ़, कर्नाटक, मध्य प्रदेश और ओडिशा जैसे राज्यों में औसतन सिंचाई क्षमता निम्न है।

प्रवृत्ति विश्लेषण से पता चलता है कि विशेषकर हाल के वर्षों के दौरान आंध्र प्रदेश, बिहार, गुजरात, पंजाब, राजस्थान, तमिलनाडु, उत्तर प्रदेश और पश्चिम बंगाल जैसे राज्यों में सिंचाई दक्षता देखने को मिली है (चार्ट ए4, अनुबंध I)। दूसरी ओर, झारखंड और महाराष्ट्र में रुझान में वृद्धि दर्ज की गई है।

V. सिंचाई क्षमता को प्रभावित करने वाले कारक

डीईए पद्धति का उपयोग करते हुए पिछले खंड में प्राप्त दक्षता स्कोर के आधार पर, संभावित कारकों का पता लगाने का प्रयास किया जाता है जो एक रैंडम पैनल टोबिट रिग्रेशन का उपयोग करके राज्यों की दक्षता निर्धारित करते हैं (लुओमा *और अन्य*, 1996; चिलिंगेरियन 1995; किरजावेनन और लोइकानेन 1998; रोमाग्नोली *और अन्य*, 2021) [अनुबंध III])। विभिन्न निर्धारकों के साथ चार मॉडल फिट किए गए थे, यथा जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अधीन क्षेत्र, सिंचाई के विभिन्न स्रोतों का हिस्सा, सार्वजनिक खरीद नीति, कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता और भूजल स्तर की गहराई। दो चर, यथा कृषि

4 तीन वर्षों का औसत (2015-16 से 2017-18)।

5 चावल और गन्ना।

क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता और भूजल स्तर की गहराई का सभी मॉडलों में सिंचाई दक्षता पर महत्वपूर्ण प्रभाव देखा गया। सीमांत प्रभाव भी सिंचाई दक्षता पर इन चरों के नकारात्मक प्रभाव की पुष्टि करते हैं। कृषि क्षेत्र द्वारा ऊर्जा की अधिक खपत से सिंचाई के लिए अत्यधिक जल के उपयोग से अक्षमता का पता चलता है। भूजल स्तर की अधिक गहराई से मोटर द्वारा जल खींचने की दक्षता कम होती है जिसके परिणामस्वरूप सिंचाई की अक्षमता बढ़ जाती है।

यद्यपि सिंचाई दक्षता मूल्य आम तौर पर अधिकांश राज्यों में समान रुझान दिखाते हैं, सामाजिक-आर्थिक और भूवैज्ञानिक स्थितियों में व्यापक भिन्नताएं दर्शाती हैं कि “सभी के लिए उपयुक्त आकार” नीति भारत में कुशल सिंचाई प्रथाओं के विकास के लिए कारगर नहीं हो सकती है (सारणी 1)। सिंचाई की दक्षता को प्रभावित करने वाले कुछ प्रमुख कारकों की चर्चा नीचे की गई है।

1. **जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अधीन क्षेत्र:** ओडिशा, असम, छत्तीसगढ़, पश्चिम बंगाल, पंजाब, बिहार और आंध्र प्रदेश जैसे राज्यों में चावल और गन्ना जैसी जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अंतर्गत क्षेत्रफल में बहुत अधिक हिस्सेदारी है। स्थान-विशिष्ट जल उपलब्धता के अनुसार फसल पैटर्न को बदलने की आवश्यकता है (जैन *और अन्य*, 2019; डांगर *और अन्य*, 2021; फिशमैन *और अन्य*, 2015)। चावल सघनता प्रणाली (एसआरआई) जैसी तकनीकों को किसानों के बीच विस्तारित और प्रोत्साहित करने की आवश्यकता है, जिसमें न केवल चावल-आधारित फसल प्रणाली में भूमि उत्पादकता में 46 प्रतिशत तक सुधार करने की क्षमता है, बल्कि जल की आवश्यकता को भी 40 प्रतिशत तक कम करने की क्षमता है (नारायणमूर्ति और ज्योति, 2019)।

2. **भूजल का अत्यधिक दोहन:** राजस्थान, पंजाब, हरियाणा, छत्तीसगढ़, गुजरात, उत्तराखंड, मध्य प्रदेश और तमिलनाडु में जल स्तर खतरनाक स्तर पर है। पारंपरिक बाढ़ सिंचाई तकनीकों के निरंतर प्रयोग से बिजली की सस्ती उपलब्धता के कारण भूजल का अत्यधिक उपयोग हो रहा है, जिससे जल स्तर में भारी गिरावट आयी है। असीमित भूजल तक आसान पहुंच जल स्तर को कम करके अक्षमता को बढ़ाती है और इस प्रकार, सिंचाई के लिए ऊर्जा की आवश्यकता को बढ़ाती है।

   इस ऊर्जा-सिंचाई संबंध से निपटने का एक समाधान इन राज्यों में बड़े पैमाने पर सूक्ष्म सिंचाई जैसी जल बचत आधारित प्रौद्योगिकियों की शुरूआत है (पलानीसामी *और अन्य*, 2011)। हालांकि कर्नाटक, आंध्र प्रदेश और तमिलनाडु को छोड़कर, राज्यों में कुल सिंचित क्षेत्र में सूक्ष्म सिंचाई कवरेज बहुत कम है। सूक्ष्म सिंचाई के अलावा, अन्य उपलब्ध नीति विकल्प हैं: दो फीडर बिजली आपूर्ति[6] (कृषि के लिए रियायती दरों पर और गैर-सब्सिडी दरों पर घरेलू खपत के लिए अलग फीडर); और हाइब्रिड टैरिफ नीतियां (एकसमान और मापे गए टैरिफ का स्थान विशिष्ट मिश्रण) (सिद्धू *और अन्य*, 2020)। अधिशेष बिजली की वापसी-खरीद (बायबैक) योजना के साथ सौर सिंचाई पंपों के उपयोग का भी प्रयोग किया गया है और आवश्यकता से अधिक भूजल के उपयोग को रोकने के लिए सरकार[7] द्वारा इसे बढ़ावा दिया जा रहा है।

3. **नलकूप सिंचाई का हिस्सा:** भूजल की कमी और सिंचित क्षेत्र में नलकूप कवरेज में वृद्धि का महत्वपूर्ण अंतर्संबंध है। विशेष रूप से राजस्थान, पंजाब, उत्तर प्रदेश और हरियाणा जैसे राज्यों में, जहां नलकूपों की हिस्सेदारी अभूतपूर्व दर से बढ़ी है- सिंचाई के पारंपरिक स्रोतों को पुनर्जीवित करने की आवश्यकता है, जिसमें

[6] *दीनदयाल उपाध्याय ग्राम ज्योति योजना*

[7] वर्ष 2018-19 में लॉन्च किया गया, प्रधान मंत्री किसान ऊर्जा सुरक्षा और उत्थान महाभियान (पीएम कुसुम) सौर सिंचाई पंपों को बढ़ावा देने के लिए एकछत्र योजना है। इस योजना में, *अन्य बातों के साथ-साथ*, एक घटक अतिरिक्त सौर ऊर्जा का वापसी-खरीद (बायबैक) है। यह किसानों को अतिरिक्त बिजली बेचकर पैसा बनाने की अनुमति देता है, जिससे उन्हें अपनी फसलों की प्रभावशाली तरीके से सिंचाई करने के लिए आर्थिक प्रोत्साहन मिलेगा, इस प्रकार भूजल और ऊर्जा के उपयोग को बचाने में मदद मिलेगी।

टैंक, खेत के तालाब, *डिग्गी* [8] और बड़े पैमाने पर अन्य जल संचयन सह सिंचाई संरचनाएं शामिल हैं। ये संरचनाएं मांग से कहीं अधिक सिंचाई आपूर्ति प्रदान कर सकती हैं और वर्षा जल संचयन और भूजल पुनर्भरण में भी मदद करेंगी (चिन्नासामी और श्रीवास्तव, 2021)। दूसरी ओर उत्तर प्रदेश और बिहार जैसे राज्यों में, जहां सिंचाई की लागत उच्च है, डीजल-चालित नलकूपों की निर्भरता को कम करने और ग्रिड से जुड़े खेतों में पर्याप्त बिजली के माध्यम से बिजली की आपूर्ति तक पहुंच बढ़ाने और शेष खेतों में सौर सिंचाई पंप को बढ़ावा देने की आवश्यकता है।

4. **खाद्यान्न खरीद नीतियां:** पंजाब और हरियाणा (और हाल ही में आंध्र प्रदेश) जैसे राज्यों की सुनिश्चित न्यूनतम समर्थन मूल्य (एमएसपी) पर चावल की खरीद में अपेक्षाकृत अधिक हिस्सेदारी है। यह किसानों को भूजल का उपयोग करके बड़े क्षेत्रों में चावल की खेती के लिए प्रोत्साहित करता है जिससे सिंचाई की आपूर्ति अक्षम और अधारणीय हो जाती है। अध्ययनों ने अक्सर दालों के एमएसपी में वृद्धि के लिए तर्क दिया है क्योंकि उनकी जल के उपयोग के मामले में कम सामाजिक लागत उपगत होती हैं (भारत सरकार, 2016)।

5. **बागवानी फसलों के लिए फसल विविधीकरण:** केरल में उच्च सिंचाई दक्षता, सिंचाई की कम लागत के साथ-साथ प्रति हेक्टेयर प्राप्त उत्पादन के उच्च मूल्य से प्रेरित प्रतीत होती है। बागवानी फसलें प्रति हेक्टेयर खेती में अपेक्षाकृत कम मात्रा में जल की खपत करती हैं, हालांकि जल आपूर्ति सारणी के संदर्भ में गुणवत्ता, उत्पादन का एक महत्वपूर्ण निर्धारक है। इसके अलावा, ये फसलें खाद्यान्न की तुलना में अधिक लाभकारी हैं। इस प्रकार क्षेत्र-विशिष्ट बागवानी फसलों की ओर बढ़ने से न केवल सिंचाई दक्षता में वृद्धि होगी, बल्कि यह पर्यावरण और आर्थिक रूप से अधिक टिकाऊ भी होगी। सरकार ने पंजाब, हरियाणा और पश्चिमी उत्तर प्रदेश में फसल विविधीकरण कार्यक्रम शुरू किया है; हालाँकि प्रगति नगण्य रही है (मुखर्जी, 2022)।

हमने सिंचाई इंफ्रास्ट्रक्चर के विकास के चरण, सिंचाई स्रोतों की संरचना और फसल पैटर्न के आधार पर राज्यवार मुद्दे और संबंधित नीतिगत सुझाव निर्धारित किए हैं (सारणी 2)। केरल, असम, हिमाचल प्रदेश, झारखंड और ओडिशा जैसे राज्यों को सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार करने की आवश्यकता है। बिजली की अपर्याप्त आपूर्ति से जूझ रहे राज्य सौर सिंचाई पंपों का उपयोग कर सकते हैं जो खेतों के ग्रिड कनेक्शन की आवश्यकता को पूरा करने में सहायता कर सकते हैं, जबकि पंजाब, राजस्थान, हरियाणा, गुजरात और अन्य राज्यों में बड़े पैमाने पर सूक्ष्म सिंचाई की आवश्यकता है। बिहार और उत्तर प्रदेश में डीजल से चलने वाले पंपों पर निर्भरता कम करके और सिंचाई के लिए गुणवत्तापूर्ण बिजली आपूर्ति की पहुंच बढ़ाकर सिंचाई लागत को कम करने की जरूरत है। महाराष्ट्र में, कठोर शिला जलभृत (रॉक एक्वीफर्स) के कारण लागत अधिक बनी हुई है, जिसके कारण कुओं से बार-बार पानी का बहाव बंद हो जाता है और कुओं में खराबी आ जाती है (गुलाटी *और अन्य*, 2019)। यद्यपि यह समस्या कर्नाटक और तमिलनाडु में भी दर्ज की गई थी, जो कम सिंचाई दक्षता मूल्यों में परिलक्षित होती है, यद्यपि अधिक सब्सिडी के कारण लागत पर इसका प्रत्यक्ष भार नहीं दिखता है। ऐसे क्षेत्रों में जलभृतों का कृत्रिम पुनर्भरण सुनिश्चित करने की भी आवश्यकता है। इसके अलावा, मूल्य निर्धारण नीति में फसल विविधीकरण को निर्देशित करने के लिए भूजल निकासी की सामाजिक लागत को शामिल करने की आवश्यकता है। इन नीतिगत उपायों के अलावा, एसआरआई खेती, सूखा सहिष्णु और जल की निम्न खपत वाली फसल किस्मों का उपयोग, और *स्वस्थानी* और *बाहरी* जल संरक्षण प्रौद्योगिकियों सहित विभिन्न अन्य तकनीकी नवाचारों का विस्तार करने की भी आवश्यकता है।

[8] छोटे तालाब जैसी संरचनाएं।

सारणी 2. सिंचाई के विकास के लिए राज्यवार मुद्दे और नीतिगत प्राथमिकताएं

राज्य	मुद्दे	नीतिगत प्राथमिकता
आंध्र प्रदेश	चावल की अधिक खरीद; टैंकों की हिस्सेदारी में गिरावट	फसल प्रणाली में धान के हिस्से को कम करना और टैंकों को पुनर्जीवित करना।
असम	जल के अत्यधिक उपयोग के अधीन अधिक क्षेत्र तथा नलकूपों की कम संख्या	सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
बिहार	सिंचाई की अधिक लागत	बिजली इंफ्रास्ट्रक्चर में सुधार की आवश्यकता
छत्तीसगढ़	जल के अत्यधिक उपयोग के अधीन अधिक क्षेत्र	जल के अत्यधिक उपयोग से इतर तरीके से फसल विविधीकरण
गुजरात	निम्न जल स्तर	सूक्ष्म सिंचाई के अंतर्गत क्षेत्र का विस्तार
हरियाणा	निम्न जल स्तर, चावल की खरीद में उच्चतर हिस्सेदारी, लघु सिंचाई स्रोतों की निम्न हिस्सेदारी	चावल आधारित फसल प्रणाली में परिवर्तन। सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
हिमाचल प्रदेश	निम्न सिंचाई कवरेज	सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
झारखंड	निम्न सिंचाई कवरेज	सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
कर्नाटक	निम्न जल स्तर (हालांकि खतरनाक स्तर पर नहीं), कठोर सतह जलभृत।	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार; कृत्रिम भूजल पुनर्भरण संरचनाएं
केरल	निम्न सिंचाई कवरेज	सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
मध्य प्रदेश	निम्न जल स्तर (हालांकि खतरनाक स्तर पर नहीं)	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
महाराष्ट्र	निम्न जल स्तर (हालांकि खतरनाक स्तर पर नहीं), कठोर सतही जलभृत, निम्न सिंचाई कवरेज, लघु सिंचाई स्रोतों की निम्न हिस्सेदारी।	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार; कृत्रिम भूजल पुनर्भरण संरचनाएं
ओडिशा	जल के अत्यधिक उपयोग के अधीन अधिक क्षेत्र, निम्न सिंचाई कवरेज	चावल आधारित फसल प्रणाली से दूर जाना; सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
पंजाब	निम्न जल स्तर, धान की अधिक खरीद, लघु सिंचाई स्रोतों की निम्न हिस्सेदारी	चावल आधारित फसल प्रणाली से दूर जाना; सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार
राजस्थान	निम्न जल स्तर, सिंचाई की उच्च लागत	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार; महंगे डीजल पंपों को सौर सिंचाई पंपों से बदलना।
तमिलनाडु	निम्न जल स्तर (हालांकि खतरनाक स्तर पर नहीं), कठोर सतह जलभृत।	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार; कृत्रिम भूजल पुनर्भरण संरचनाएं
उत्तर प्रदेश	लघु सिंचाई स्रोतों में वृद्धि, सिंचाई की उच्च लागत	लघु सिंचाई इंफ्रास्ट्रक्चर और बिजली आपूर्ति का संवर्धन
उत्तराखंड	निम्न जल स्तर	सूक्ष्म सिंचाई के तहत क्षेत्र का विस्तार

VI. निष्कर्ष और भविष्य के लिए संभावित मार्ग

भारत में कृषि उत्पादन प्रक्रिया अत्यधिक जल गहन बनी हुई है। घटते भूजल और कृषीतर क्षेत्रों की बढ़ती मांग ने स्थायी कृषि और खाद्य सुरक्षा के लिए चुनौतियां खड़ी कर दी हैं। इस आलोक में, राज्य-वार और फसल-वार डेटा का उपयोग करते हुए यह आलेख सिंचाई की राज्य-वार क्षेत्र-भारित औसत लागत में रुझानों की गणना और जांच करता है; डेटा एनवेलपमेंट विश्लेषण की पद्धति का उपयोग करते हुए सिंचाई की राज्य-वार तकनीकी दक्षता में रुझानों का अनुमान और विश्लेषण; और रैंडम पैनल टोबिट रिग्रेशन मॉडल के आधार पर आईई के निर्धारकों को निर्धारित करता है।

निष्कर्ष बताते हैं कि राज्य-वार क्षेत्र भारित सिंचाई की औसत लागत में आमतौर पर कई वर्षों से गिरावट की प्रवृत्ति दिखाई देती है, जो शायद सब्सिडी-प्राप्त बिजली तक पहुंच में वृद्धि के प्रभाव को दर्शाती है। हालांकि कुछ राज्यों में लागत अभी भी अधिक है। सिंचाई की अनुमानित तकनीकी दक्षता से पता चलता है कि कृषि की दृष्टि से महत्वपूर्ण भारतीय राज्यों में से अधिकांश की उत्पादकता दक्षता सीमा से बहुत दूर हैं और समय के साथ दक्षता में भी गिरावट दर्ज की गई है। रैंडम पैनल टोबिट रिग्रेशन मॉडल सुझाव देते हैं कि कृषि क्षेत्र में ऊर्जा की उपलब्धता और भूजल की उपलब्धता- दक्षता के महत्वपूर्ण निर्धारक हैं।

यदि ग्रामीण विद्युतीकरण के विस्तार और कृषि के लिए निम्न बिजली दरों के साथ-साथ वर्तमान निम्न दक्षता वाली जल प्रबंधन प्रथाएं जारी रहती हैं, तो यह कृषि में असंतुलन को और बढ़ा सकती है। विशेष रूप से उन राज्यों में, जहां दक्षता में गिरावट आ रही है, जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों से इतर

सूक्ष्म सिंचाई और फसल पैटर्न विविधीकरण जैसी कुशल सिंचाई प्रौद्योगिकियों पर केंद्रित नीति पर ध्यान केंद्रित करने की आवश्यकता है।

संदर्भ:

Atkinson, S. E., & Wilson, P. W. (1995). Comparing mean efficiency and productivity scores from small samples: a bootstrap methodology. *Journal of Productivity analysis*, *6*(2), 137-152.

Badiani, R., & Jessoe, K. (2013). The impact of electricity subsidies on groundwater extraction and agricultural production. *Department of Agriculture and Resource Economics Working Paper, University of California Davis. Retrieved.*

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, *30*(9), 1078-1092.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). *A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow through Experiment in US Public School Education.* Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group

Chilingerian, J. A. (1995). Evaluating physician efficiency in hospitals: A multivariate analysis of best practices. *European journal of operational research*, *80*(3), 548-574.

Dangar, S., Asoka, A., & Mishra, V. (2021). Causes and implications of groundwater depletion in India: A review. *Journal of Hydrology*, *596*, 126103.

Dhawan, V. (2017). Water and agriculture in India. In *Background paper for the South Asia expert panel during the Global Forum for Food and Agriculture* (Vol. 28).

Fishman, R., Devineni, N., & Raman, S. (2015). Can improved agricultural water use efficiency save India's groundwater? *Environmental Research Letters*, *10*(8), 084022.

Gautam, T. K., Paudel, K. P., & Guidry, K. M. (2020). An evaluation of irrigation water use efficiency in crop production using a data envelopment analysis approach: A case of Louisiana, USA. *Water*, 12(11), 3193.

GoI (2008). *Manual on Cost of Cultivation Surveys.* Department of Economics and Statistics, Ministry of Agriculture and Farmers' Welfare.

GoI (2016). *Incentivising Pulses Production Through Minimum Support Price (MSP) and Related Policies.* Ministry of Finance. September 16, 2016. https://taxindiaonline.com/RC2/pdfdocs/Pulses_report_16th_sep_2016.pdf

GoI (2019). *Water and Related Statistics.* Annual Publication. Central Water Commission, Ministry of Jal Shakti and Ganga Rejunevation.

GoI (2019a). Electricity Tariff & Duty and Average Rates of Electricity Supply in India (March 2019), pp. 8.

Greene, W. H. (2003). *Econometric analysis.* Pearson Education India.

Gulati, A., Sharma, B., Banerjee, P and Mohan, G. (2019): Getting More from Less: Story of India's Shrinking Water Resources, NABARD and ICRIER report, Indian Council for Research on International Economic Relations, New Delhi. pp170.

Jain, R., Kishore, P., & Singh, D. K. (2019). Irrigation in India: Status, challenges, and options.

Johnson, D. (2018). Cropping Pattern Changes in Kerala, 1956–57 to 2016–17. *Review of Agrarian Studies*, *8*(2369-2020-2003).

Kirjavainen, T., & Loikkanen, H. (1998). What explains the differences in cost and efficiency between schools? In *More Efficient Public Finances: VATT Yearbook 1998.* State Economic Research Center VATT.

Luoma, K., Järviö, M. L., Suoniemi, I., & Hjerppe, R. T. (1996). Financial incentives and productive efficiency in Finnish health centres. *Health Economics*, *5*(5), 435-445.

Mukherjee, S. (2022). *Farmers gaining from paddy buy up 80% in 6 years, but Punjab needs more.* Business Standard (February 19).

Narayanamoorthy, A., & Jothi, P. (2019). Water saving and productivity benefits of SRI: a study of tank, canal, and groundwater irrigated settings in South India. *Water Policy*, *21*(1), 162-177.

Nawn, N. (2013). Using cost of cultivation survey data: changing challenges for researchers. *Economic and Political Weekly*, 139-147.

Oulmane, A., Ali, C., & Frija, A. (2019). The water use efficiency and its determinants in small horticultural farms in Algeria. *SN Applied Sciences*, *1*(10), 1-9.

Palanisami, K., Mohan, K., Kakumanu, K. R., & Raman, S. (2011). Spread and economics of micro-irrigation in India: evidence from nine states. *Economic and Political Weekly*, 81-86.

Romagnoli, L., Giaccio, V., Mastronardi, L., & Forleo, M. B. (2021). Highlighting the drivers of italian diversified farms efficiency: A two-stage dea-panel tobit analysis. *Sustainability*, *13*(23), 12949.

Shah, T. (2005). Groundwater and human development: challenges and opportunities in livelihoods and environment. *Water Science and Technology*, *51*(8), 27-37.

Sidhu, B. S., Kandlikar, M., & Ramankutty, N. (2020). Power tariffs for groundwater irrigation in India: A comparative analysis of the environmental, equity, and economic tradeoffs. *World Development*, *128*, 104836.

Simar, L., & Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management science*, *44*(1), 49-61.

Simar, L., & Wilson, P. W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of applied statistics*, *27*(6), 779-802.

Singh, J.V. (2010). Water Requirement of Different Crops. *Agropedia.* Retrivied from: http://agropedia.iitk.ac.in/content/water-requirement-different-crops

Srivastava, A., & Chinnasamy, P. (2021). Water management using traditional tank cascade systems: a case study of semi-arid region of Southern India. *SN Applied Sciences*, *3*(3), 1-23.

Wang, F., Yu, C., Xiong, L., & Chang, Y. (2019). How can agricultural water use efficiency be promoted in China? A spatial-temporal analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, *145*, 411-418.

Wang, X. Y. (2010). Irrigation water use efficiency of farmers and its determinants: Evidence from a survey in northwestern China. *Agricultural Sciences in China*, *9*(9), 1326-1337.

Watto, M. A., & Mugera, A. W. (2014). Measuring Production and Irrigation Efficiencies of Rice Farms: Evidence from the Punjab Province, Pakistan. *Asian Economic Journal*, *28*(3), 301-322.

Xue, M., & Harker, P. T. (1999). Overcoming the inherent dependency of DEA efficiency scores: a bootstrap approach. *Unpublished Working Paper, Wharton Financial Institutions Center, University of Pennsylvania.*

अनुबंध I

चार्ट ए1: सिंचाई कवरेज में राज्यवार रुझान (वर्ष 2002-03 से 2017-18)

सिंचाई कवरेज

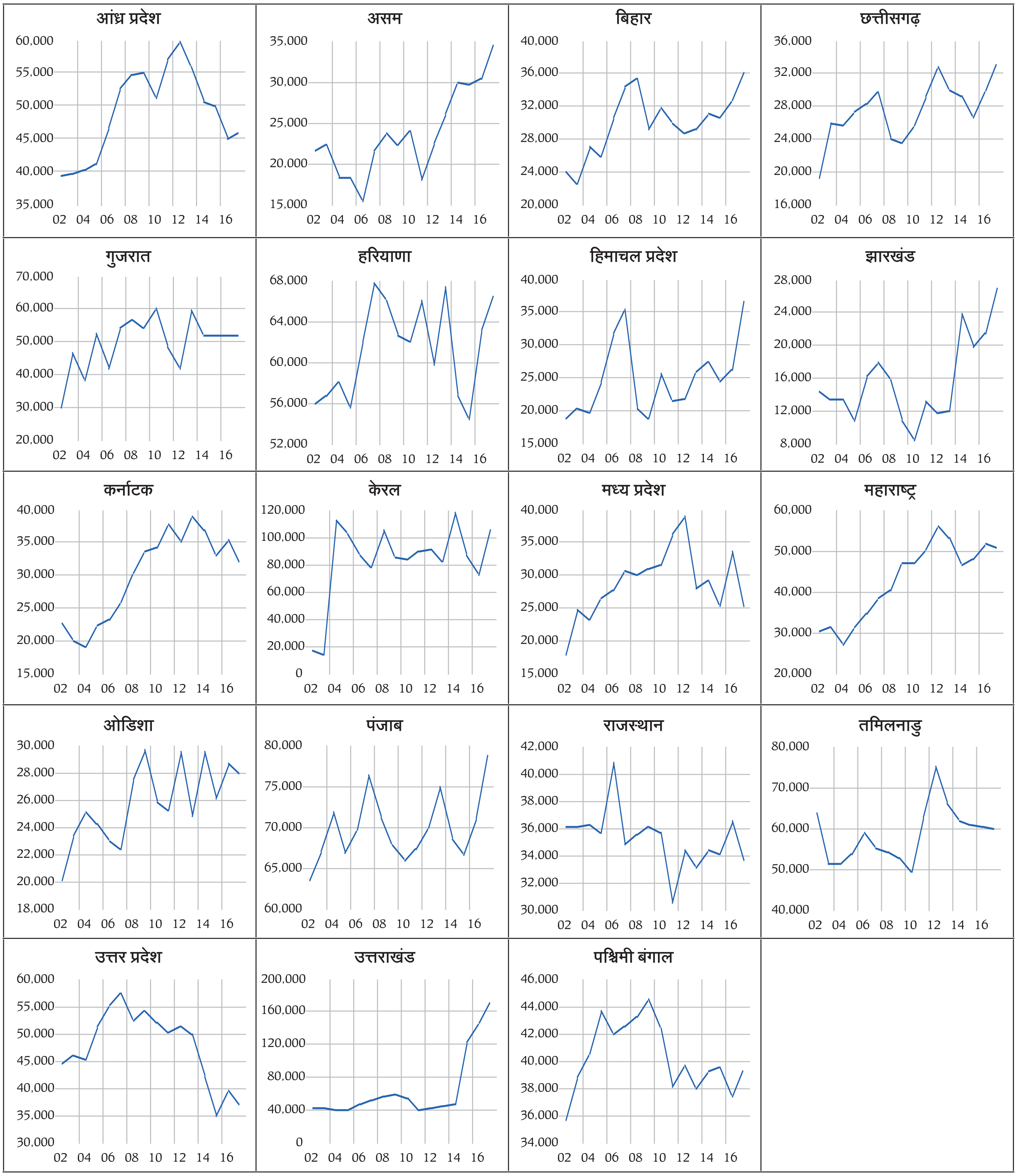
(निवल बुवाई क्षेत्र के प्रतिशत के रूप में निवल सिंचित क्षेत्र)

स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय से प्राप्त डेटा पर आधारित लेखकों द्वारा की गई गणना।

चार्ट ए2: फसल उत्पादन के औसत मूल्य में राज्यवार रुझान (वर्ष 2002-03 से 2017-18)

(₹/ हेक्टेयर – वर्ष 2011-12 की कीमतों पर)

प्रति हेक्टेयर उत्पादन का मूल्य

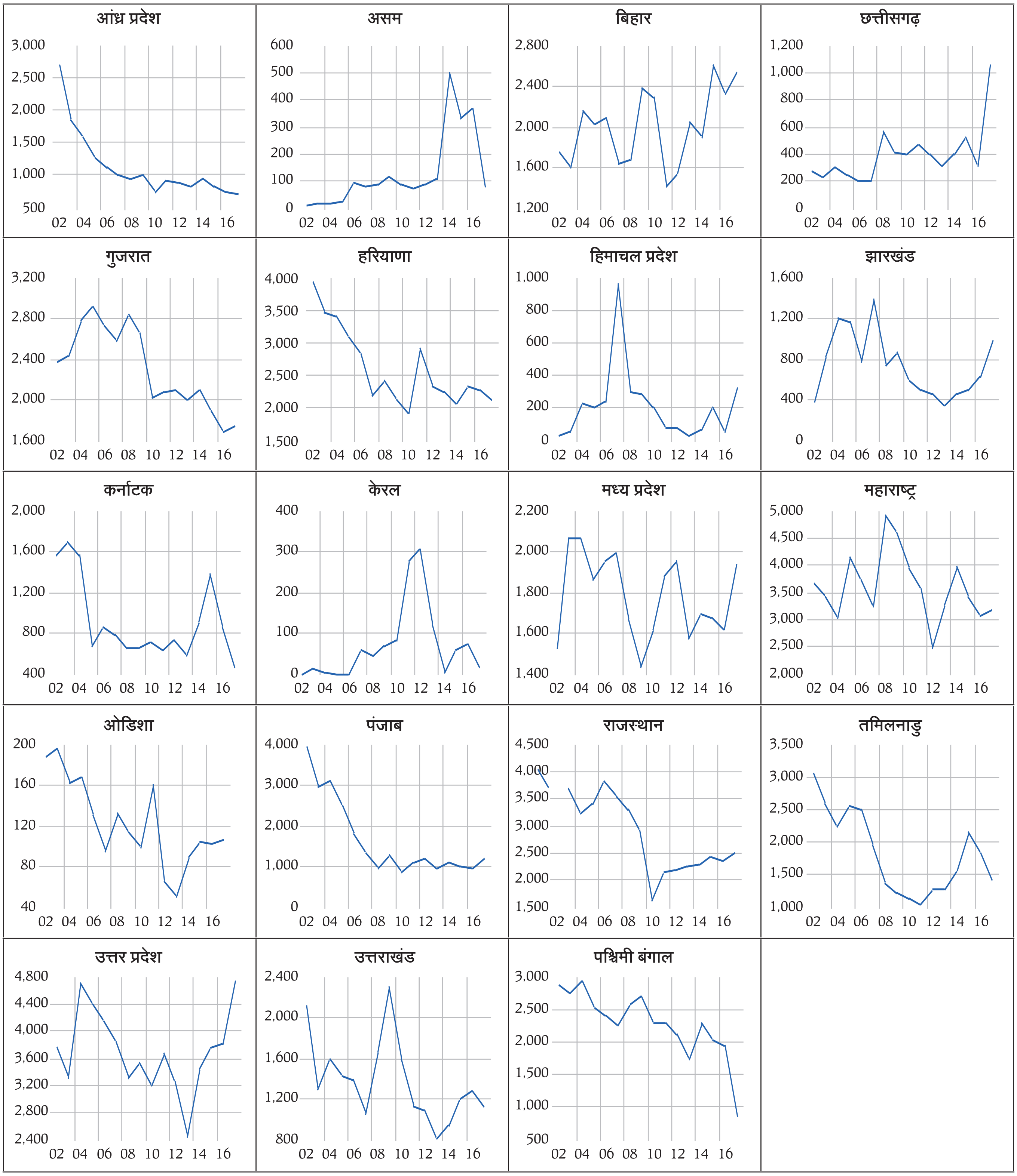


स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय से प्राप्त खेती की लागत के डेटा पर आधारित लेखकों द्वारा की गई गणना।

चार्ट ए3: सिंचाई की लागत में राज्यवार रुझान (वर्ष 2002-03 से 2017-18)

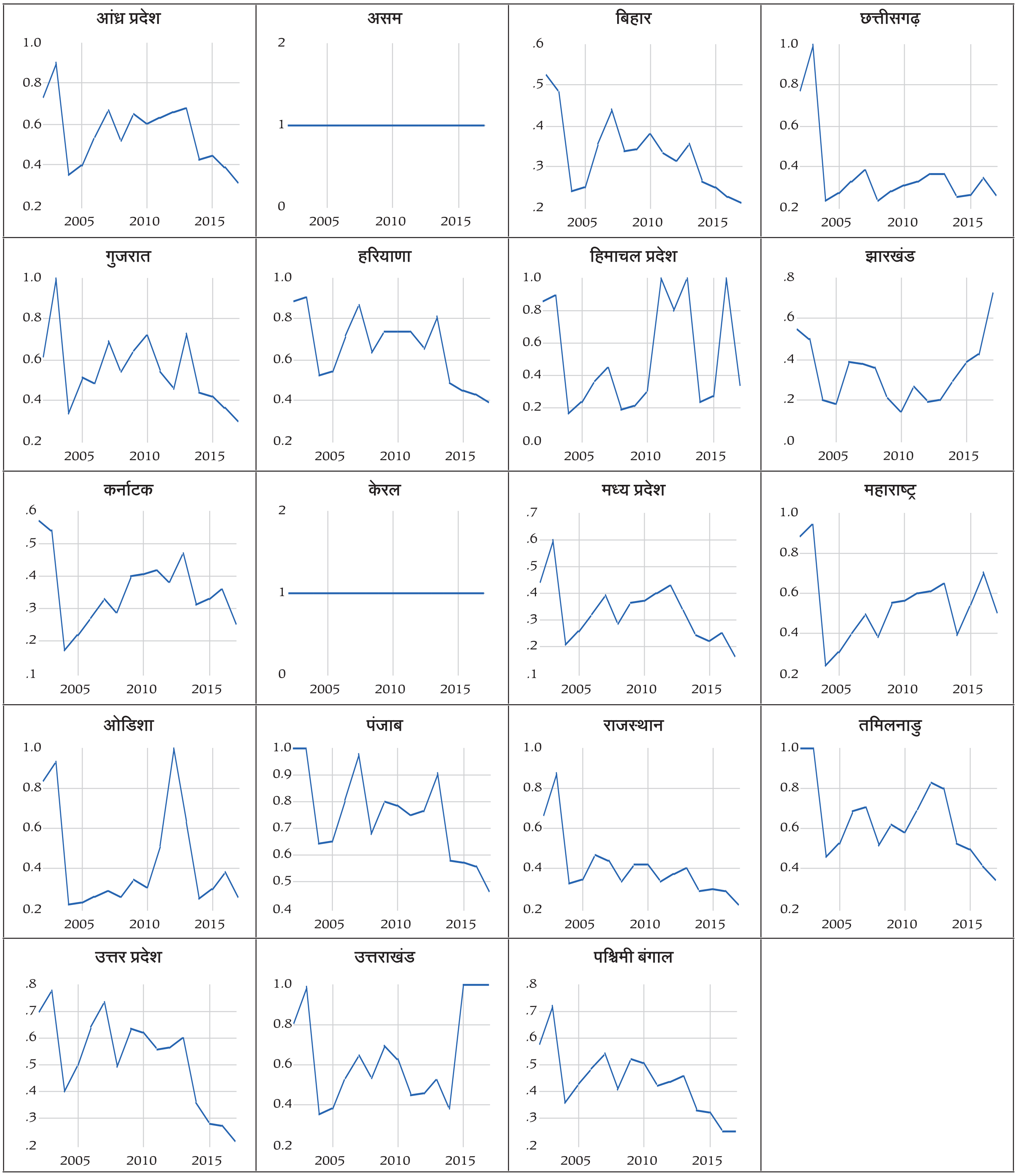
(₹/ हेक्टेयर – वर्ष 2011-12 की कीमतों पर)

सिंचाई प्रभार



स्रोत: कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय से प्राप्त खेती की लागत के डेटा पर आधारित लेखकों द्वारा की गई गणना।

चार्ट ए4: सिंचाई की अनुमानित तकनीकी दक्षता में राज्यवार रुझान



स्रोत: लेखकों द्वारा अनुमान।

अनुबंध II

सारणी ए1: डीईए पद्धति को नियोजित करने वाले अन्य अध्ययनों की समीक्षा

अध्ययन	उद्देश्य	डेटा और कार्यप्रणाली	प्रमुख निष्कर्ष
चिलिंगेरियन (1995)	एक अस्पताल में चिकित्सकों की नैदानिक दक्षता की जांच करने और उच्च निष्पादन से जुड़े कारकों की पहचान करने के लिए	डीईए और मल्टीफैक्टर टोबिट विश्लेषण	नमूने से 24 अक्षम चिकित्सकों का पता चला और टोबिट विश्लेषण से तकनीकी रूप से कुशल चिकित्सकों की दो व्यापक श्रेणियां सामने आईं। इसके अलावा, अध्ययन द्वारा यह तथ्य सामने आया कि सेंसर किए गए प्रतिगमन के साथ डीईए का सम्मिश्रण बेहतर परिणाम देगा।
लुओमा *और अन्य* (1996)	फिनलैंड के स्वास्थ्य केंद्रों की दक्षता और उसके निर्धारक कारकों की जांच करना	डीईए और टोबिट मॉडल	अधिक उदार संसाधनों से अक्षमता बढ़ती है, जबकि डॉक्टरों की अधिक हिस्सेदारी और सहायक कर्मचारियों की निम्न हिस्सेदारी से दक्षता को बढ़ावा मिलता है। इसके अलावा, निम्न प्रौढ़ आबादी नजदीकी अस्पताल से लंबी दूरी की दक्षता से सकारात्मक रूप से जुड़ी हुई है।
किरजावैनेन और लोइकानेन (1998)	फिनलैंड के उच्च माध्यमिक विद्यालयों के बीच दक्षता अंतर का अनुमान	डीईए और टोबिट मॉडल	औसत दक्षता 82-84 प्रतिशत के मध्य रही। छोटे वर्ग, विषम छात्र निकाय दक्षता को नकारात्मक रूप से प्रभावित करते हैं जबकि सुशिक्षित माता-पिता स्कूल की क्षमता को बढ़ाते हैं। सरकारी स्कूलों की तुलना में निजी स्कूल अधिक अक्षम पाए गए।
वांग *और अन्य* (2019)	चीन में जल उपयोग दक्षता और इसके प्रभावकारी कारकों का आकलन	डीईए और टोबिट मॉडल	चीनी प्रांतों में कुल जल उपयोग दक्षता 0.582 अनुमानित है और पूर्वी चीन में उच्च जल क्षमता वाले प्रांतों की अधिकतम संख्या है। निर्यात निर्भरता, तकनीकी प्रगति और शैक्षिक मूल्य के रूप में निर्दिष्ट सकारात्मक प्रभावकारी कारक हैं। औद्योगिक संरचना को नकारात्मक रूप से प्रभावित करने वाले कारक के रूप में पहचाना गया जबकि सरकारी हस्तक्षेप का जल दक्षता पर बहुत कम प्रभाव पड़ा।
गौतम *और अन्य* (2020)	लुइसियाना, यूएसए में सोयाबीन की सिंचाई जल उपयोग दक्षता।	रसेल माप के साथ पूरक के रूप में डीईए	उत्पादक सिंचाई के जल का 37 प्रतिशत अधिक उपयोग कर रहे हैं। अध्ययन पुनर्निर्धारण, इनपुट प्रबंधन और अन्य सर्वोत्तम सिंचाई प्रबंधन प्रथाओं सहित उपयुक्त प्रबंधन प्रथाओं की आवश्यकता का सुझाव देता है।

अध्ययन	उद्देश्य	डेटा और कार्यप्रणाली	प्रमुख निष्कर्ष
बडियानी और जेसो (2013)	भारतीय परिदृश्य में बिजली सब्सिडी, भूजल निकासी और कृषि उत्पादकता के मध्य संबंध का पता लगाने की कोशिश की।	अध्ययन के लिए प्रासंगिक चर लेकर कृषि उत्पादन मॉडल।	बिजली सब्सिडी के भार में कमी काफी कम है और मूल्य और फसल संरचना, दोनों के संदर्भ में सकारात्मक कृषि प्रभाव पड़ता है क्योंकि यह गहन-जल वाली फसलों की ओर अधिक स्थानांतरित हो रहा है। अध्ययन से पता चलता है कि कृषि सब्सिडी में 10% की कमी से भूजल निकासी में 6.7% की कमी आती है। इसके अतिरिक्त, अध्ययन अत्यधिक भूजल निकासी के कारण पर्यावरणीय लागत और संभाव्य धारणीयता के मुद्दों को इंगित करता है।
फिशमैन *और अन्य* (2015)	उत्तर देने का प्रयास किया, 'क्या कृषि जल उपयोग दक्षता में सुधार से भारत के भूजल को बचाया जा सकता है'?	परिदृश्य विश्लेषण (उपयुक्त तकनीकी मिश्रण के साथ सहज और यथार्थवादी परिदृश्य)	परिणामों से पता चला कि ड्रिप और स्प्रिंकलर सिंचाई जैसी सूक्ष्म सिंचाई तकनीकों में भूजल निकासी को दो-तिहाई कम करने की क्षमता है। किसान द्वारा खेत में तकनीकी हस्तक्षेप से अधिक के जल उपयोग के निर्णय जल स्तर में कमी को प्रभावित करते हैं। इसके अलावा, अध्ययन तकनीकी हस्तक्षेपों के साथ-साथ संरक्षण प्रोत्साहन के महत्व को जोड़ता है।
जैन *और अन्य* (2019)	चुनौतियों और संभावित विकल्पों के साथ भारत में सिंचाई की स्थिति के बारे में विहंगम दृष्टि	मेटा-विश्लेषण के साथ-साथ वर्णनात्मक और सारणीबद्ध विश्लेषण, दोनों का मिश्रण।	पेपर ने दर्शाया कि भूजल पर बेहिसाब निर्भरता के कारण टीई 2002 से 2016 के बीच देश के 64% जिलों में जल स्तर में कमी आयी है। इसके अतिरिक्त, जल उपयोग दक्षता को पेपर देश में खुली/ सतही सिंचाई के बजाय सूक्ष्म सिंचाई के महत्व की ओर इंगित करता है। जल दक्ष प्रौद्योगिकियों को अपनाने का निर्धारण करने वाले महत्वपूर्ण कारकों के रूप में दो पूर्व शर्तें निर्दिष्ट की गईं।
सिद्धू *और अन्य* (2020)	भारत में भूजल निकासी और इसके पर्यावरण, आर्थिक और इक्विटी ट्रेड-ऑफ पर बिजली शुल्क (एकसमान टैरिफ और मापे गए टैरिफ) का प्रभाव।	सारणीबद्ध, चित्रमय और वर्णनात्मक विश्लेषण।	हालांकि एकसमान टैरिफ में निम्न प्रशासनिक लागत और समान वितरण परिणाम होते हैं, लेकिन यह किसानों को जल संरक्षण के लिए कोई प्रोत्साहन नहीं देता है। दूसरी ओर, मापे गए टैरिफ विवेकपूर्ण खपत को बढ़ावा देता है, लेकिन कम आय वाले किसानों के लिए यह नुकसानदेह है क्योंकि बड़े भूजल मालिकों पर उनकी अधिक निर्भरता है। देश में कृषि पद्धतियों की विविधता और भूजल उपलब्धता पर विचार करते हुए, यह पेपर स्थान-विशिष्ट टैरिफ नीतियों को लचीले ढंग से अपनाने का सुझाव देता है।

अध्ययन	उद्देश्य	डेटा और कार्यप्रणाली	प्रमुख निष्कर्ष
डांगर और मिश्रा (2021)	गंगा नदी बेसिन में भूजल की कमी के लिए उत्तरदायी प्राकृतिक और मानव-निर्मित कारकों की पहचान करना	हाइड्रोलॉजिकल सिमुलेशन मॉडल	बेसिन में भूजल की कमी में अनवीकरणीय भूजल अवशोषण (80%) के रूप में पहचाने गए परिणाम का बहुत योगदान है। क्षेत्र में गंभीर और लगातार सूखे ने निकासी को तेज कर दिया और पुनर्भरण को धीमा कर दिया। अध्ययन ने सुझाव दिया कि फसल पैटर्न में उचित बदलाव, भूजल स्तर की पैमाइश और जल उपयोग दक्षता में वृद्धि क्षेत्र में स्थायी भूजल उपयोग के लिए जिम्मेदार महत्वपूर्ण कारक हैं।
रोमाग्नोली *और अन्य* (2021)	इतालवी विविधीकृत खेतों की दक्षता और प्रमुख चालकों का अनुमान लगाना	दो चरण डीईए-टोबिट विश्लेषण	विविधीकरण करने वाली फर्मों की घटनाओं में सुधार की बहुत गुंजाइश है। इसके अलावा, प्रतिगमन परिणाम यह दर्शाते हैं कि अन्य लाभकारी गतिविधियों से उत्पादन की घटनाओं से दक्षता में काफी वृद्धि होती है। हालांकि, बढ़ती मध्यवर्ती लागतों का दक्षता मानकों पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। भौगोलिक और प्रबंधकीय कारक कई तरह से दक्षता स्कोर को प्रभावित करते पाए गए।
वाटो और मुगेरा (2014)	पंजाब, पाकिस्तान में भूजल सिंचित कपास खेतों की तकनीकी दक्षता और सिंचाई जल उपयोग दक्षता का आकलन	स्टोकेस्टिक फ्रंटियर मॉडल	अध्ययन के परिणामों ने प्रस्तावित किया कि ट्यूबवेल मालिक और जल के खरीदार दोनों क्रमशः उत्पादन में 19% और 28% की वृद्धि कर सकते हैं। सिंचाई के जल के उपयोग की अक्षमता तकनीकी अक्षमताओं की तुलना में अधिक गंभीर है।
ओल्मने *और अन्य* (2019)	अल्जीरिया में लघु बागवानी किसानों में जल उपयोग दक्षता और इसके निर्धारकों का आकलन।	डीईए और टोबिट विश्लेषण	सीआरएस और वीआरएस अनुमानों के लिए प्राप्त औसत तकनीकी दक्षता स्कोर क्रमशः 68% और 79% हैं। जल उपयोग दक्षता का निर्धारण शिक्षा के स्तर और तकनीकी जानकारी, खेती वाले घरों और जल संसाधनों की कुल संख्या, ऋण पहुंच, ग्रीन हाउस आदि जैसे चरों द्वारा किया जाता है।
वांग (2010)	उत्तर-पश्चिमी चीन में सिंचाई जल उपयोग दक्षता और इसके निर्धारक	डीईए और टोबिट रिग्रेशन	औसत तकनीकी दक्षता 0.62 पर अनुमानित है। अध्ययन ने सुझाव दिया कि इनपुट के कुशल उपयोग से गेहूं उत्पादन के 38.49% और विस्तार की गुंजाइश है। किसान की उम्र, खेत का आकार, शिक्षा और आय सिंचाई की जल दक्षता को सकारात्मक रूप से प्रभावित करती है।

अनुबंध III
सिंचाई दक्षता का निर्धारण करने वाले कारक

पैनल टोबिट रिग्रेशन

पहले चरण से प्राप्त दक्षता स्कोर को बाद के चरण में आश्रित चर माना गया है। चूंकि आश्रित चर सिंचाई दक्षता मापदंड 0 से 1 के मध्य भिन्न-भिन्न होता है, सामान्य न्यूनतम वर्ग (ओएलएस) सिद्धांत से पक्षपाती और असंगत अनुमान उत्पन्न होंगे (ग्रीन, 2003)। इसके अलावा, डीईए मान सापेक्ष दक्षता मान हैं जिनके परिणामस्वरूप सूचकांकों के बीच सहसंबंध हो सकता है जिससे ओएलएस प्रतिगमन अप्रभावी हो जाता है (एटकिंसन और विल्सन, 1995)। इस प्रकार, हमने अधिकतम संभावना अनुमान प्रक्रिया का उपयोग करके मापदंडों का अनुमान लगाया। सुसंगत और निष्पक्ष मापदंड अनुमानों का उत्पादन करने के लिए डीईए स्कोर को एक मसृणन समवर्गीय बूटस्ट्रैपिंग प्रक्रिया का उपयोग करके ठीक किया जाता है (सिमर और विल्सन, 1998, 2000)। यह मूल रूप से एक पुन: नमूनाकरण तकनीक है जो दक्षता स्कोर की अंतर्निहित निर्भरता समस्या का समाधान कर सकती है (ज़ू और हार्कर, 1999)

टोबिट मॉडल के यादृच्छिक प्रभाव[9] का सामान्य रूप निम्न है:

$$y_{it} = \begin{cases} c, & \text{if } y_{it}^* \le c \\ y_{it}^*, & \text{if } y_{it}^* > c \end{cases}, \text{ with}$$

$$y_{it}^* = x_{it}'\beta + \alpha_i + v_{it}$$

The marginal effect on y_{it} is

$$\frac{\partial E[y_{it}|x_{it}]}{\partial x_{it}} = \hat{\beta}\,\Phi\left(\frac{x_{it}'\hat{\beta}}{\sqrt{\sigma_\alpha^2 + \sigma_v^2}}\right)$$

छह प्रासंगिक चरों[10] का चयन किया गया था जिसमें नलकूपों का हिस्सा, कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता, भूजल स्तर, नहरों का हिस्सा, जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अंतर्गत क्षेत्र और खाद्यान्न की खरीद; और पैनल टोबिट विश्लेषण द्वारा अनुमानित चार अलग-अलग मॉडल शामिल थे। चयनित पैनल चरों की वर्णनात्मक सांख्यिकी सारणी ए2

सारणी ए2: पैनल चरों की वर्णनात्मक सांख्यिकी

(एन=304)

चर	विवरण	माध्य	मानक विचलन	न्यूनतम	अधिकतम	अपेक्षित संकेत
तकनीकी दक्षता	-	0.58	0.26	0.15	1.00	ला.न.
नलकूपों का हिस्सा	कुल बुवाई क्षेत्र में से सकल सिंचित क्षेत्र का प्रतिशत	34.20	23.88	0.00	74.92	-
कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता	किलो वाट प्रति घंटा/ प्रति व्यक्ति	115.09	116.87	0.51	416.71	-
भूजल स्तर	डमी चर = 1 यदि >/= राष्ट्र औसत[11]; अन्यथा =0	0.47	0.50	0.00	1.00	-
नहरों का हिस्सा	प्रतिशत	28.02	18.45	0.00	82.74	+/-
जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अंतर्गत क्षेत्र	प्रतिशत	40.82	24.12	0.58	94.43	-
खाद्यान्न खरीद	अखिल भारत में प्रतिशत हिस्सेदारी	5.19	9.12	0.00	50.65	-

9 हमने निश्चित प्रभाव मॉडल के बजाय यादृच्छिक प्रभाव अपनाया है क्योंकि निश्चित प्रभाव मॉडल, टोबिट जैसे गैर-रैखिक मॉडल में तकनीकी रूप से अनुपलब्ध हैं (ग्रीन, 2004)।

10 चरों के लिए पैनल यूनिट रूट टेस्ट (क्रॉस सेक्शन में स्वतंत्र) का महत्वपूर्ण परीक्षण किया गया था, इस प्रकार निराकरणीय परिकल्पना (समय-श्रृंखला में यूनिट रूट का अस्तित्व) को अस्वीकृत कर दिया गया था।

11 माध्यिका

में सूचीबद्ध है, जो डीईए से गणना की गई दक्षता मापदंड को 0.142 से 1 तक दर्शाते हैं और कर्नेल डेंसिटी प्लॉट वितरण की द्विविध प्रकृति को दर्शाता है (चार्ट ए5)।

पैनल टोबिट रैंडम इफेक्ट मॉडल के परिणाम सारणी ए3 में दिए गए हैं जो 16 वर्षों (2002-2017) की अवधि के लिए 19 भारतीय राज्यों की सिंचाई दक्षता को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारकों की व्याख्या करते हैं।

सारणी ए3: दूसरा चरण पैनल टोबिट रिग्रेशन परिणाम

मॉडल 1				***लॉग संभावना=65.4***	***वाल्ड ची स्क्वा.= 11.7***
चर	**आकलन**	**एसई**	**जेड मान**	**पी>जेड**	**सीमांत प्रभाव**
स्थिर	0.809	0.148	5.450	0.000	
नहरों का हिस्सा	-0.001	0.003	-0.360	0.721	-0.001
कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता	-0.001	0.000	-2.760	0.006	-0.001
नलकूपों का हिस्सा	-0.002	0.003	-0.820	0.411	-0.002
भूजल स्तर	-0.062	0.031	-1.990	0.046	-0.055

मॉडल 2				***लॉग संभावना=67.1***	***वाल्ड ची स्क्वा.= 11.3***
चर	**आकलन**	**एसई**	**जेड मान**	**पी>जेड**	**सीमांत प्रभाव**
स्थिर	0.699	0.089	7.890	0.000	
नहरों का हिस्सा	-0.001	0.002	-0.380	0.707	-0.001
कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता	-0.001	0.000	-2.830	0.005	-0.001
खाद्यान्न खरीद	0.008	0.006	1.420	0.156	0.007
भूजल स्तर	-0.061	0.034	-1.800	0.072	-0.056

मॉडल 3				***लॉग संभावना=65.2***	***वाल्ड ची स्क्वा.= 14.5***
चर	**आकलन**	**एसई**	**जेड मान**	**पी>जेड**	**सीमांत प्रभाव**
स्थिर	0.772	0.135	5.730	0.000	
नलकूपों का हिस्सा	-0.002	0.002	-1.060	0.288	-0.002
कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता	-0.001	0.000	-3.030	0.002	-0.001
जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अंतर्गत क्षेत्र	0.000	0.001	0.000	0.997	0.000
भूजल स्तर	-0.060	0.028	-2.170	0.030	-0.053

मॉडल 4				***लॉग संभावना=68.2***	***वाल्ड ची स्क्वा.= 16.6***
चर	**आकलन**	**एसई**	**जेड मान**	**पी>जेड**	**सीमांत प्रभाव**
स्थिर	0.760	0.146	5.200	0.000	
नलकूपों का हिस्सा	-0.002	0.002	-1.160	0.244	-0.002
कृषि क्षेत्र के लिए ऊर्जा उपलब्धता	-0.001	0.000	-2.990	0.003	-0.001
जल का अत्यधिक उपयोग करने वाली फसलों के अंतर्गत क्षेत्र	0.000	0.002	0.210	0.833	0.000
भूजल स्तर	-0.059	0.035	-1.690	0.090	-0.054
नहरों का हिस्सा	-0.001	0.003	-0.420	0.678	-0.001
खाद्यान्न खरीद	0.009	0.006	1.380	0.169	0.008

चार्ट ए5: दक्षता वितरण