भारतीय कृषि अनुसंधान पत्रिका, 36(4): 273-279 DOI: 10.18805/BKAP362

# बदलती जलवायु परिस्थितियों में कृषि के वस्तु उत्पादन की मॉडलिंग एवं पूर्वानुमानः एक समीक्षा

**राहुल बनर्जी, पंकज दास, भारती, तौकीर अहमद, मनीष कुमार**

प्रतिदर्श सर्वेक्षण प्रभाग, भा.कृ.अनु.प.– भारतीय कृषि सॉख्यिकी अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली–110 012, भारत।

प्राप्तः अगस्त 2021 स्वीकृतः दिसंबर 2021

## सारांश

भारत की अधिकॉश जनसंख्या कृषि पर निर्भर है। भारत में कृषि मुख्यतः रूप से वर्षा पर निर्भर है। फसल की बोवाई, कटाई, ढुलाई इत्यादि मौसम पर निर्भर करती है। ऐसी स्थिति में बदलती जलवायु कृषि कार्यो में बदलाव ला सकती है। यदि किसान को मौसम गतिविधियों और फसल उत्पादन पर इन गतिविधियों के प्रभाव का पूर्वानुमान हो जाये तो कृषि कार्यों को उचित समय पर करने की सही योजना बनाई जा सकती है। इस बात को ध्यान में रखते हुए, इस लेख में बदलती जलवायु परिस्थितियों में कृषि के वस्तु उत्पादन का पूर्वानुमान लगाने के लिए विभिन्न सांख्यिकी तकनीकों का वर्णन किया गया है।

**मुख्य शब्दः** जलवायु परिवर्तन, कृषि वस्तुओं का उत्पादन, सांख्यिकीय मॉडल, फसल उपज पूर्वानुमान।

Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika, 36(4): 273-279.

# Modeling and Forecasting of Agricultural Commodity Production under Changing Climatic Condition: A Review

**Rahul Banerjee, Pankaj Das, Bharti, Tauqueer Ahmad, Manish Kumar**

Division of Sample Surveys,
ICAR-Indian Agricultural Statistics Research Institute, New Delhi-110 012, India.

Received: August 2021 Accepted: December 2021

## ABSTRACT

India is a country with an agrarian economy in which majority of its population rely on agriculture directly as their source of livelihood. Climate has a very significant role in agricultural production. It predominantly influences growth of the crop, development of the crop and eventually crop yield. Climate also significantly influences the outbreak of disease and pest; it affects the requirement of water by the crop. Possible changes in weather factors, like precipitation, temperature and $CO_2$ concentration are expected to have a significant impact on crop growth. If farmers are able to predict the weather activities and are aware of the effect of these activities on crop production, then it will be beneficial to them as a feasible plan can be devised synchronizing the crop production activities as per changes in the climatic conditions. In view of tackling the aforementioned problem, this article describes various statistical techniques that can play a crucial role in forecasting production of agricultural commodities changing climatic conditions.

**Key words:** Climate change, Crop yield forecast, Production of agricultural commodities, Statistical models.

कृषि उत्पादन में जलवायु की बहुत महत्वपूर्ण भूमिका है। यह मुख्य रूप से फसल की वृद्धि, फसल के विकास और अंततः फसल की उपज को प्रभावित करता है। जलवायु रोग और कीट के प्रकोप, पानी की आवश्यकता इत्यादि को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती है। इसके अतिरिक्त जलवायु, उर्वरक की आवश्यकता को भी निर्धारित करता है क्योंकि मिट्टी के

*Corresponding author's E-mail: secretdeal420@gmail.com

पोषक तत्वों की गतिशीलता जलवायु से प्रभावित होती है। सांस्कृतिक संचालन की प्रभावकारिता भी जलवायु से निर्धारित होती है। मौसम के पैरामीटर में कोई भी उतार–चढ़ाव या विचलन फसलों को नुकसान पहुंचा सकता है और मिट्टी का क्षरण भी कर सकता है। मौसम फसल की उपज की गुणवत्ता को, खेत से भंडारण तक और उसके बाजार तक परिवहन को भी निर्धारित प्रभावित करता है। फसल के परिवहन के दौरान अनुकूल मौसम न होने की स्थिति में इसकी गुणवत्ता बाधित हो सकती है, इसी तरह भंडारण के दौरान खराब मौसम बीज की शक्ति और उसकी व्यवहार्यता को खराब प्रभावित कर सकता है। इस प्रकार, कृषि का हर एक पहलू मौसम की स्थिति के प्रति संवेदनशील है।

मौसम विज्ञान के अनुसार, मौसम एक निश्चित स्थान और दिए गए समय पर स्थानिक और साथ ही अस्थायी भिन्नता दिखाते हैं। फसल के मामले में लघु अवधि के मौसम डेटा और अंतर वार्षिक मौसम में उतार–चढ़ाव पर विचार किया जा सकता है। किसी भी समय, अत्याधिक मान के उसकी केंद्रीय प्रवृत्ति के माप से विचलन का परिमाण, पैरामीटर में मौजूद परिवर्तिता का एक माप है। समय इकाई कम होने की स्थिति में मौसम पैरामीटर में मौजूद परिवर्तिता की डिग्री अधिक होती है। विभिन्न प्रकार के मौसम कारकों के लिए भिन्नता का परिमाण भिन्न होता है। अस्थायी रूप से और साथ ही स्थानिक रूप से वर्षा सभी मौसम को प्रभावित करने वाली पैरामीटर में सबसे अधिक अस्थिर होती है। खाद्य सुरक्षा या पोषण सुरक्षा के लक्ष्य की ओर देखते हुए हर देश के लिए फसल उत्पादन का पूर्वानुमान लगाना एक चुनौतीपूर्ण कार्य है।

भारत एक कृषि पर निर्भर देश है जहां देश की अधिकांश आबादी खेती पर निर्भर है। देश की कृषि का विकास प्रमुख महत्व रखता है क्योंकि यह प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से किसानों, निजी कंपनियों और सरकारी क्षेत्र से जुड़ा हुआ है। कृषक के अनुसार एक लाभदायक कृषि वह है जो बेहतर उपज के कारण लाभकारी मूल्य प्राप्त करती है। इसलिए पूर्व फसल उपज भविष्यवाणी कृषि गतिविधियों की उचित योजना बनाने के साथ–साथ रणनीतिक विपणन और भंडारण निर्णय लेने के लिए फायदेमंद है। घरेलू खाद्य आपूर्ति, अंतर्राष्ट्रीय खाद्य व्यापार, निर्यात, आयात के संबंध में विभिन्न नीतियां तैयार करना सार्वजनिक और निजी क्षेत्रों के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। इसलिए, यह कृषि और फसल की उपज के लिए विश्वसनीय और कुशल पूर्वानुमान पद्धतियों की अति आवश्यकता है।

## जलवायु परिवर्तन का प्रभाव

कृषि उत्पादन सीधे तौर पर जलवायु और मौसम में बदलाव पर निर्भर करता है। मौसम के कारकों जैसे वर्षा, तापमान और $CO_2$ की सांद्रता में संभावित परिवर्तन से फसल की वृद्धि पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ने की संभावना होती है। $CO_2$ के दुगने निषेचन प्रभाव के कारण वैश्विक कृषि उत्पादन में वृद्धि होने की संभावना हो सकती है। भारत में भी तापमान में अधिक मौसमी बदलाव शुरू होने की संभावना है क्योंकि सर्दियाँ गर्मियों की तुलना में गर्म होती जा रही हैं। भारत में 1891 से 2009 तक 23 सूखे अकाल का इतिहास रहा है और तब से सूखा पड़ने की आवृत्ति बढ़ रही है। जलवायु परिवर्तन कृषि और खाद्य सुरक्षा के लिए एक बड़ा खतरा पैदा कर रहा है। भारत में कृषि के लिए सबसे महत्वपूर्ण निवेश पानी है, क्योंकि भारत में कुल खेती वाले क्षेत्रों का 55% वर्षा पर निर्भर है। अंततः बारानी कृषि पद्धति में, वर्षा की तीव्रता और वितरण फसल उत्पादन को अधिक हद तक प्रभावित करने वाला सबसे महत्वपूर्ण कारक बन जाता है। भारत जैसे विकासशील देशों में, जलवायु परिवर्तन एक चिंता का विषय है क्योंकि पारिस्थितिक और सामाजिक आर्थिक व्यवस्था पहले से ही जनसंख्या वृद्धि, औद्योगीकरण और आर्थिक विकास के कारण प्रभावित हैं। वैश्विक स्तर पर भी, वैश्विक खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए यह संभावित रूप से विचार करने योग्य मुद्दा है।

## वैश्विक खाद्य सुरक्षा

एक अध्ययन के अनुसार यह प्रमाणित किया गया है कि सभी खाद्य सुरक्षा आयामः खाद्य उपलब्धता, खाद्य उपयोग, खाद्य अभिगम्यता और खाद्य प्रणाली स्थिरता जलवायु में परिवर्तन से प्रभावित होते है। जलवायु परिवर्तन से मनुष्य के स्वास्थ्य, आजीविका, खाद्य उत्पादन और वितरण के माध्यमों पर प्रभाव पड़ेगा, साथ ही साथ क्रय शक्ति और बाजार प्रवाह में भी प्रभाव पड़ेगा। इसके अल्पकालिक और दीर्घकालिक दोनों तरह के प्रभाव होंगे, अल्पकालिक प्रभाव अधिक लगातार और अधिक तीव्र सिरे से मौसम की घटनाओं के कारण होंगे, जबकि दीर्घकालिक प्रभाव तापमान में परिवर्तन और वर्षा के अप्रत्याशित पैटर्न के कारण होंगे।

मई 2007 में, विश्व खाद्य सुरक्षा समिति के 33 वें सत्र में, एफएओ (खाद्य और कृषि संगठन) ने खाद्य–सुरक्षित दुनिया के लिए अपने दृष्टिकोण की पुष्टि करने के लिए एक बयान जारी कियाः

"एफएओ विजन ऑफ ऐ वर्ल्ड विथाउट हंगर इज वन इन विच मोस्ट पीपल आर ऐबल, बाय देमसेल्वेस, टू ओबटेन द फूड दे नीड फॉर घ्न एक्टिव एंड हेल्थी लाइफ, एंड वेयर सोशल सेफ्टी नेट्स घ्नशोर देट दोज हू लेक रिसोर्सेज स्टिल गेट एनफ टू इट" (एफएओ, 2007)।

जलवायु परिवर्तन और खाद्य सुरक्षा दोनों एक साथ मिलकर संबंधित जोखिमों, पारिस्थितिकी और समाज दोनों के लिए अनिश्चितताओं को उत्पन कर सकता है।

खाद्य सुरक्षा के रूप में कृषि को द्विगुणित लाभ होता है, सबसे पहले, इससे खाद्य उत्पादन होता है जिसे लोग खाते हैं, और सबसे महत्वपूर्ण यह है कि यह संचयी वैश्विक कार्यबल के 63% के लिए आजीविका का प्राथमिक स्रोत है। अंतर्राष्ट्रीय श्रम संगठन, 2007 के अनुसार "एशिया और प्रशांत के घनी आबादी वाले देशों में, यह हिस्सा 40 से 50% तक है, और उप–सहारा अफ्रीका में, दो–तिहाई कामकाजी आबादी अभी भी कृषि से अपना जीवन यापन करती है।''

इसलिए, अफ्रीका और एशिया के अविकसित और विकासशील देशों जहाँ एक सीमांत अर्थव्यवस्था है, यदि प्रतिकूल जलवायु परिवर्तन कृषि उत्पादन को प्रभावित करेगा, तो यह ग्रामीण गरीबों की आजीविका पर विनाशकारी प्रभाव डालेगा, जिससे वे खाद्य असुरक्षा के प्रति अधिक संवेदनशील हो जाएंगे।

## मौजूदा डेटा फ्रेमवर्क के बारे में

### कृषि उत्पादन का वर्तमान राष्ट्रीय परिदृश्य

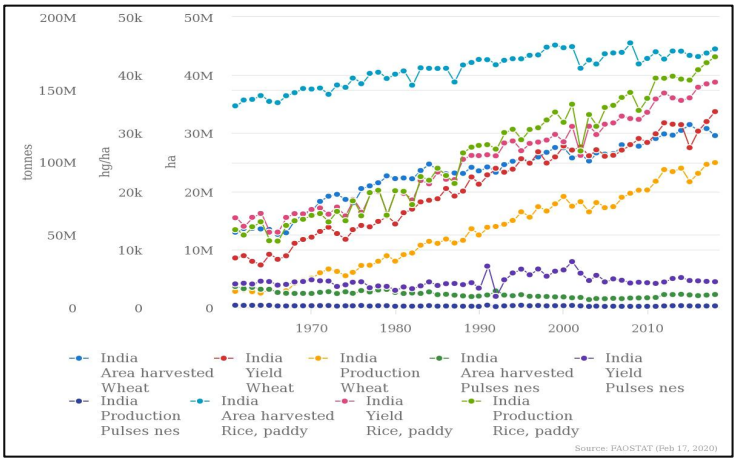
कृषि भारत की अर्थव्यवस्था की रीढ़ है। भारत दूध, दाल और जूट का दुनिया का सबसे बड़ा उत्पादक है, और चावल, गेहूं, गन्ना, मूंगफली, सब्जियां, फल और कपास का दूसरा सबसे बड़ा उत्पादक है (एफएओ, 2018)। भारत मसालों, मछली, मुर्गी पालन, पशुधन और वृक्षारोपण फसलों के उत्पादन में भी महत्वपूर्ण योगदान देता है। भारत में अधिकांश आजीविका कृषि और इससे जुड़े क्षेत्रों पर आधारित है। इसके लगभग 70% ग्रामीण परिवार अभी भी अपनी आजीविका के लिए मुख्य रूप से कृषि पर निर्भर हैं, जिसमें 82% किसान छोटे और सीमांत हैं (जनगणना, 2011)। धर एट अल, (2018; 2017) में, एफएओ ने कुल खाद्यान्न उत्पादन का 275 मिलियन टन (एमट) होने का अनुमान लगाया था। भारत विश्व में दालों का सबसे बड़ा उत्पादक (वैश्विक उत्पादन का 25%), उपभोक्ता (विश्व खपत का 27%) और आयातक (14%) है। भारत का वार्षिक दूध उत्पादन 165 मीट्रिक टन (2017–18) था, भारत दूध, अपूर्ण जूट और दालों का सबसे बड़ा उत्पादक बन गया था (एफएओ रिपोर्ट, 2018)। विश्व मे फल (10.9%) और सब्जी (8.6%) के उत्पादन में देश का महत्वपूर्ण योगदान है।

यद्यपि पिछले कुछ वर्षों में उत्पादन में पर्याप्त वृद्धि हुई है, लेकिन प्रवृत्ति के बारे में पर्याप्त परिवर्तिता भी है। भारतीय फसल उत्पादन के 1960–2018 काल श्रृंखला डेटा के अनुसार काटे गए क्षेत्र और उपज (एफएओ, 2018) को चित्र 1 में दर्शाया गया है। मौसम और जलवायु में परिवर्तनशीलता को पैदावार में साल–दर–साल उतार–चढ़ाव का प्राथमिक कारण माना जाता है। उदाहरण के लिए, दक्षिण–पश्चिम मानसून की अनिश्चितता के कारण वर्ष 2017–18 के लिए फसल उत्पादन कम रहा। मॉनसून की बारिश सामान्य से कम थी जिसने 2017–18 में समस्त फसल उत्पादन को बुरी तरह प्रभावित किया। चित्र 2 वर्ष 2018–19 और 2019–20 के लिए फसल उत्पादन परिदृश्य को दर्शाया गया है।

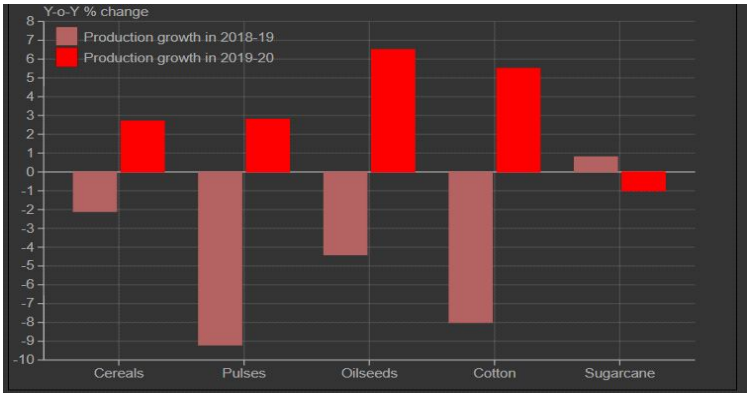
## कृषि वस्तु उत्पादन की मॉडलिंग और पूर्वानुमान से संबंधित सांख्यिकीय तकनीकें

### गणितीय और सांख्यिकीय मॉडल

कृषि उत्पादन और मूल्य पूर्वानुमान किसानों, सरकारों के साथ–साथ कृषि आधारित उद्योगों के लिए मूल्यवान है। चूंकि खाद्य उत्पादन का देश की खाद्य सुरक्षा में विशेष स्थान है, इसलिए सरकारें कृषि पूर्वानुमानों के मुख्य आपूर्तिकर्ता और




**चित्र 1:** 1960 से 2018 तक भारत में फसल उत्पादन परिदृश्य।




**चित्र 2:** भारत में हालिया फसल उत्पादन परिदृश्य।

उपयोगकर्ता दोनों बन गई हैं। नीतियों को लागू करने के लिए पूर्वानुमानों की आवश्यकता होती है, जो बदले में कृषि क्षेत्र के लिए तकनीकी सहायता प्रदान करते हैं।

फसल की उपज पर मौसम के प्रभाव और वस्तु उत्पादन के पूर्वानुमान के विभिन्न संदर्भ साहित्य में उपलब्ध हैं। फिशर (1925) ने साप्ताहिक वर्षा को ध्यान में रखते हुए गेहूं की उपज पर मौसम के प्रभाव का वर्णन किया। उपज की भविष्यवाणी के लिए बैयर (1977) ने फसल मौसम मॉडल तैयार किया। हाल के समय में, सुदूर संवेदन आधारित पद्धति (प्रसाद, 2006; बस्सो, 2013) लगातार लोकप्रियता प्राप्त कर रही है, उपग्रह डेटा अपने अस्थायी कवरेज, वर्णक्रमीय और स्थानिक संकल्पों के कारण फसल के मौसम के आसपास कृषि की उपज और उत्पादन का अनुमान लगाने के लिए काफी लाभ प्रदान करते हैं।

हालांकि, उनमें कमियां भी हैं जैसे कि विकासशील देशों में, छोटे आकार के खेतों में स्तरीकृत कृषि प्रणालियों में यह उपयुक्त और किफायती नहीं हो सकती। इसके अलावा, उपज के पूर्वानुमान के लिए पौधों के लक्षणों पर आधारित गणितीय मॉडल, उदाहरण के लिए, पौधों के स्वास्थ्य की जांच करने के लिए पत्ती के रंग का आकलन के लिए इस्तेमाल किया जा सकता है जहां पौधे के शारीरिक लक्षणों के अवलोकन की नियमित प्रणाली मौजूद है (लोबेल एट अल, 2012)। हालांकि, गणितीय मॉडल की तुलना मे सांख्यिकीय मॉडल अक्सर पूर्वानुमान के उद्देश्यों के लिए उपयोग किए जाते हैं। सांख्यिकीय मॉडल उपलब्ध सूचनाओं की विभिन्न श्रेणियों को शामिल करने और ऐसे मॉडलों को अंतर्निहित प्रक्रिया के अधिक प्रतिनिधि बनाने में भी अनुकूलनीय हैं (सेलम एट अल, 2016)। सबसे अधिक उपयोग किए जाने वाले सांख्यिकीय उपज पूर्वानुमान मॉडल प्रतिगमन मॉडल हैं (कुमार एट अल, 2011; बर्थल एट अल, 2014) जो आमतौर पर रैखिक मॉडलिंग ढांचे द्वारा संबंधित सहायक जानकारी का उपयोग करता है; आश्रित चर की परिवर्तनशीलता को समझाने में ये सहसंयोजक प्रमुख भूमिका निभाते हैं। इसलिए, इस प्रकार के मॉडलों की सटीकता के लिए, महत्वपूर्ण सहसंबंध वाले सहसंयोजकों की एक उचित संख्या महत्वपूर्ण है।

फसल की उपज ज्यादातर मौसम परिवर्तनशीलता और तकनीकी परिवर्तन से प्रभावित होती है। यह देखा जा सकता है कि समय के साथ उपज में वृद्धि तकनीकी कारकों के नवीनीकरण के कारण हो सकती है इसके अतिरिक्त मौसम भी एक ऐसा कारक है जिसका उपज पर प्रभाव पड़ता है, इसलिए, फसल की उपज पर मौसम और प्रौद्योगिकी के समग्र प्रभाव का अध्ययन करने के लिए, वर्ष के साथ–साथ, समय के अन्य मापदंडों को ध्यान में रखा जाना चाहिए। ऐतिहासिक आंकड़ों के आधार पर समय श्रृंखला पूर्वानुमान मॉडल फसल उपज के पूर्वानुमान के लिए उपयुक्त विकल्प हो सकते हैं (चट्टोपाध्याय एट अल, 2011)। जब पिछले वर्ष के डेटा को सहायक चर के रूप में उपयोग किया जाता है, तो वे मौसम, मौजूदा प्रौद्योगिकी कारकों और अन्य सभी संबंधित सहसंयोजकों के संचयी प्रभाव (मिश्रा एवं धर्मराज, 2020) को ध्यान मे रख सकते हैं। अगले उपधारा में समाश्रयण मॉडल, सांख्यिकीय समय श्रृंखला मॉडल का विस्तार से वर्णन किया गया है।

## रैखिक समाश्रयण और समय श्रृंखला मॉडल द्वारा उपज का पूर्वानुमान

रैखिक प्रतिगमन एक ऐसी विधि है जो चर के बीच रैखिक संबंध स्थापित करने का प्रयास करती है। मान लीजिए, y परतन्त्र चर हो और $X_1,\ldots,X_m$; m स्वतंत्र चर हों। फिर, रैखिक समाश्रयण समीकरण को गणितीय रूप से व्यक्त किया जा सकता है।

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \ldots + \beta_M X_m + \varepsilon$$

जहां, $\beta_1$'s (i = 1,...,m) अज्ञात पैरामीटर है और त्रुटि है जिसे समान और स्वतंत्र रूप से वितरित माना जाता है और जिसका औसत शून्य और प्रसरण स्थिर है। समाश्रयण समीकरण में शोध के अज्ञात मॉडल पैरामीटर का अनुमान लगाने के लिए नमूना डेटा का उपयोग किया जा सकता है। एक सहायक वाले समाश्रयण समीकरण को सरल समाश्रयण मॉडल के रूप में जाना जाता है और एक से अधिक सहायक होने को बहुचर समाश्रयण समीकरण के रूप में जाना जाता है। काल श्रृंखला में मुख्य रूप से डेटा समय के साथ एकत्र किया जाता है। इस श्रृंखला दूसरे से अलग है क्योंकि इस में भविष्य अवलोकन एक प्रसंभाव्य प्रक्रम तरीके से पिछले अवलोकनों पर निर्भर करते हैं, जो भविष्य की भविष्यवाणी करने के लिए उपयोगी है। समय श्रृंखला की सहायता से, ऐसे मॉडल खोजना संभव है जो अंतर्निहित गतिशीलता को प्रतिबिंबित करते हैं और इसलिए श्रृंखला प्रवृत्ति के आगे पूर्वानुमान के लिए विचार किया जा सकता है। ऑटोरेग्रेसिव मूविंग एवरेज (ARMA) प्रथम अन्वेषक मॉडल है जो अक्सर रैखिक संरचना मॉडल को दर्शाने के लिए उपयोग किए जाते हैं। काल श्रृंखला में समय की प्रवृत्ति और/या चक्रीय भिन्नता जैसे घटक होते हैं जो स्थिर ए.आर.एम.ए. की क्षमता से परे होते हैं। इन घटकों (प्रवृत्ति और चक्रीय घटकों) को अंतर लेकर श्रृंखला से हटाया जा सकता है, और इसे एक स्थिर ARMA घटक के साथ तैयार किया जा सकता है। इस परिणामी श्रृंखला को ऑटोरेग्रेसिव इंटीग्रेटेड मूविंग एवरेज (ARIMA) के रूप में जाना जाता है।

$\{y_1\}$ ek ए.आर.ई.एम.ए. (p, d, q) मॉडल है, यदि इसे इस प्रकार दर्शाया जा सकता है,

$$\phi_p(B)\nabla^d y_t = \theta_q(B)\varepsilon_t$$

जहां, p= ऑटोरेग्रेसिव ऑर्डर, q= मूविंग एवरेज ऑर्डर, d= डिफरेंसिंग ऑर्डर। $\phi_p(B)$ और $\theta q(B)$ क्रमशः AR और MA बहुपद हैं।

$$\phi_p(B) = 1 - \sum_{i=1}^{q} \phi_1 B^1 = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - .... - \phi_p B^p;$$

$$\theta_q(B) = 1 - \sum_{i=1}^{q} \theta_1 B^1 = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - .... - \theta_q B^q;$$

$$\nabla^d = (1 - B)^d \text{ और } B(Y_1) = Y_{t-1}$$

$\{\varepsilon_1\}$ को स्टैण्डर्ड वाइट नॉइज प्रक्रिया (standard white noise process) के रूप में माना जाता है जो औसत शून्य और निरंतर प्रसरण $\sigma^2$ के साथ प्रसामान्य बंटन का पालन करता है। ARIMA प्रक्रिया में तीन चरण हैं पहचान, अनुमान और नैदानिक जांच। पहचान और अनुमान के लिए, ARIMA मॉडल के पैरामीटर का चयन किया जाता है और अनुमान लगाया जाता है और नैदानिक जांच के चरण में, अस्थायी रूप से चयनित मॉडल की पर्याप्तता का परीक्षण किया जाता है। यदि मॉडल पर्याप्त नहीं है, तो चरण दोहराए जाते हैं जब तक कि अध्ययन के तहत डेटा श्रृंखला के लिए ARIMA मॉडल का चयन नहीं किया जाए।

इस अध्ययन में, राजस्थान के अलवर जिले में बाजरे की फसल की उपज की भविष्यवाणी को रिग्रेशन, ARIMA और ARIMAX मॉडल के माध्यम से किया गया है। बाजरा उत्पादन में राजस्थान भारत में प्रथम स्थान पर है। राजस्थान के मौसम की स्थिति ज्यादातर अनाज जैसी फसलों की खेती के लिए चुनौतीपूर्ण है। जुआर फैसले जैसे बाजरा, राज्य की मुख्य खाद्य आवश्यकता को पूरा कर रहा है।

पिछले 4 वर्षों से, राजस्थान के जिलों में से अलवर जिला में बाजरे की सबसे अधिक उपज दर्ज की गयी है। इसलिए, इस अध्यनन में अलवर, राजस्थान में बाजरा की उपज परिवर्तनशीलता और भविष्यवाणी का अध्ययन करने का प्रयास किया गया है। इस उद्देश्य के लिए डेटा (1997 से 2016 तक बाजरा उपज डेटा) कृषि सांख्यिकी एट ए ग्लांस से लिया गया है (http://eands-dacnet-nic-in)। फसल वृद्धि के चरणों की जानकारी के आधार पर सहायक चर का चयन किया जाता है। बाजरे के जीवन चक्र में जीपी -I, जीपी -II, और जीपी -III के रूप में तीन प्रमुख चरण हैं:

1) जीपी -I वनस्पति चरण।
2) जीपी -II प्रजनन चरण।
3) जीपी -III अनाज भरने और सुखाने का चरण।

जैसा कि हम जानते हैं, फसल वृद्धि के प्रत्येक चरण में विभिन्न मौसम पैरामीटर, जैसे वर्षा, तापमान अलग–अलग होते रहते हैं। 1 जुलाई को बुवाई की तिथि मानकर 1997 से 2016 तक प्रत्येक वर्ष में लगातार 81 दिनों तक दैनिक वर्षा (मिमी में) और औसत तापमान ($^oC$) पर डेटा एकत्र किया गया है। मौसम का डेटा भारत जल पोर्टल (http://www-indiawaterportal-org/met_data/) से लिया गया है। $J^{th}$ चरण में $R_j$ को औसत वर्षा और $T_j$ को औसत तापमान के रूप में लिया गया (j= GP-I, GP-II और GP-III)। छह मौसम चर को $R_1$, $R_2$, $R_3$ और $T_1$, $T_2$, $T_3$ के रूप में दर्शाया गया है।

फसल की बढ़ने के शुरुआती चरणों में नम मौसम, हल्की बारिश के साथ–साथ तेज धूप उपज के लिए अच्छा होता है।

मॉडल और सर्वोत्तम पूर्वानुमान मॉडल के अनुभवजन्य प्रदर्शन का आकलन करने के लिए, विभिन्न सत्यापन मानदंडों का उपयोग किया गया है,

सापेक्ष माध्य निरपेक्ष त्रुटि प्रतिशत (RMAE%) =

$$(1/n)\left[\sum_{h=1}^{n}|(\hat{y}_{y+h} - y_{t+h})/y_{t+h}|\right]\times 100$$

जहा $(\hat{y}_{t+h} - y_{t+h})$ $h^{th}$ आगे की अवधि के लिए पूर्वानुमान मूल्य और वास्तविक मूल्य के बीच का अंतर है और इसे पूर्वानुमान त्रुटि के रूप में जाना जाता है; n परीक्षण डेटा सेट (वर्ष 2014–2016) की मात्रा है।

सापेक्ष माध्य चुकता पूर्वानुमान त्रुटि (RMSPE) =

$$(1/n)\left[\sum_{h=1}^{n}(\hat{y}_{y+h} - y_{t+h})^2/y_{t+h}\right]$$

माध्य निरपेक्ष त्रुटि (MAE) =

$$(1/n)\left[\sum_{h=1}^{n}(\hat{y}_{t+h} - y_{t+h})\right]$$

सबसे कम RMAE (%), RMSPE और MAE वाले मॉडल को सबसे अच्छा मॉडल माना जाता है।

तालिका 1 2014, 2015 और 2016 के लिए बाजरे की वास्तविक बनाम अनुमानित उपज प्रस्तुत करती है। तालिका 2 में RMAE%, RMSPE और MAE के मान दिखाए गए हैं। तुलनात्मक अध्ययन से पता चलता है कि पारंपरिक प्रतिगमन मॉडल की तुलना में समय श्रृंखला पूर्वानुमान मॉडल में बेहतर भविष्यवाणी क्षमता होती है; और यह भी कि ARIMAX, ARIMA से बेहतर साबित हुआ है। प्रेडिक्टर के रूप में मौसम चर को जोड़कर ARIMAX मॉडल के प्रदर्शन में ARIMA पर सुधार किया गया है। डेटा सेट का सत्तर प्रतिशत मॉडल के प्रशिक्षण के लिए उपयोग किया गया है एवं शेष तीस प्रतिशत परीक्षण के लिए उपयोग किया गया है।

प्रत्येक फसल को इष्टतम उपज के लिए विशेष कृषि–जलवायु परिस्थितियों की आवश्यकता होती है, इसलिए मॉडल

**तालिका 1:** परीक्षण डेटा सेट में बाजरा के लिए वास्तविक बनाम अनुमानित उपज मूल्य।

| साल | वास्तविक | बहु प्रतिगमन | ARIMA | ARIMAX |
|---|---|---|---|---|
| 2014 | 2020 | 1983 | 2046 | 2028 |
| 2015 | 1784 | 2031 | 2020 | 1928 |
| 2016 | 2149 | 2079 | 2135 | 2148 |

**तालिका 2:** RMAE%, RMSPE और MAE प्रतिगमन और समय श्रृंखला मॉडल के लिए मान।

| सत्यापन मानदंड | बहु प्रतिगमन | ARIMA | ARIMAX |
|---|---|---|---|
| RMAE % | 6.31 | 5.05 | 2.82 |
| RMSPE | 12.38 | 10.58 | 3.86 |
| MAE | 118.03 | 91.92 | 50.67 |

की भविष्य कहनेवाला शक्ति में सुधार के लिए जलवायु परिवर्तनशीलता के ज्ञान को शामिल किया जा सकता है। यह भविष्यवाणी किसानों के लिए कृषि पद्धतियों के संबंध में आवश्यक निर्णय लेने में सहायक हो सकती है और भविष्य में फसल उत्पादकता में सुधार कर सकती है; सरकार आगामी वर्षों के लिए विभिन्न नियोजन निर्णयों से भी विचार प्राप्त कर सकती है।

## हाल के घटनाक्रम

पिछले दशकों से, विभिन्न मशीन लर्निंग तकनीकों ने कृषि में फसल उत्पादन के पूर्वानुमान में बहुत ध्यान आकर्षित किया है। फसल की पैदावार का अनुमान लगाने के लिए भविष्यवाणी, वर्गीकरण, प्रतिगमन और क्लस्टरिंग जैसी तकनीकों का उपयोग किया जाता है। कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क (ANN), सपोर्ट वेक्टर मशीन (SVM), डिसीजन ट्री (DT), नाइव बेयस (NB) भविष्यवाणी के उद्देश्यों के लिए उपयोग किए जाने वाले कुछ लोकप्रिय एल्गोरिदम और पद्धति हैं। अस्थायी उपज श्रृंखला की भविष्यवाणी के लिए एएनएन बहुत आशाजनक साबित हुआ है। पॉल और सिन्हा (2016) ने फसल उपज डेटा का उपयोग करते हुए रैखिक ARIMA मॉडल पर ANN की श्रेष्ठता का प्रदर्शन किया। कौल एट अल, (2005) ने वैश्विक फसल उपज पूर्वानुमान के लिए एक बहु–मॉडल समवेत पद्धति का उपयोग किया। कुमार एट अल, (2019) ने भारत में चावल की उपज की भविष्यवाणी के लिए SVM आधारित वर्गीकरण मॉडल विकसित किए। दास, (2020) ने कृषि मूल्य और फसल की उपज के पूर्वानुमान के लिए विभिन्न मशीन लर्निंग तकनीकों को लागू किया। डिविसेकरा, (2020) ने लाल मसूर की बाजार की कीमत का अनुमान लगाने के लिए सरिमा मॉडल का इस्तेमाल किया है।

## REFERENCES

Birthal, P.S., Khan, M.T., Negi, D.S., Aggarwal, S. (2014). Impact of climate change on yields of major food crops in India: Implications for food security. Agric. Econ. Res. Rev. 27(2): 145-155.

Baier, W. (1977). Crop Weather Models and their use in Yield Assessments. WMO Technical Note No. 151. World Meteorological Organization, Geneva, 48.

Basso, B., Cammarano, D., Carfagna, E. (2013). Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. In Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics, FAO Headquarters, Rome, Italy: 18-19.

Chattopadhyay, C., Agrawal, R., Kumar, A. (2011). Epidemiology and development of forecasting models for white rust of *Brassica juncea* in India. Arch Phytopathology Plant Protect. 44: 751-763.

Das, P. (2020). Study on machine learning techniques based hybrid model for forecasting in agriculture. Published Ph.D. Thesis, I.A.R.I. New Delhi, India.

Divisekara, R.W., Jayasinghe, G.J.M.S.R. and Kumari, K.W.S.N. (2020). Forecasting the red lentils commodity market price using SARIMA models. SN Business and Economics. 1(20): 1-13.

Dkhar, D.K., Feroze, S.M., Singh, R., Ray, L. (2017). Effect of rainfall variability on rice yield in north eastern hills of India: A case study. Agric. Res. 6(4): 341-346.

Fisher, R.A. (1925). The influence of rainfall on the yield of wheat at Rothamsted. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Containing Paper of a Biological Character. 213: 89-142.

Iizumi, T., Shin, Y., Kim, W., Kim, M., Choi, J. (2018). Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. Clim. Serv. 11: 13-23.

Kaul, M., Hill, R.L., Walthall, C. (2005). Artificial neural network for corn and soybean prediction. Agricultural System. 85: 1-18.

Kumar, S., Kumar, V. and Sharma, R.K. (2019). Rice yield forecasting using support vector machine. Int. J. Rec. Tech. and Eng. 8(4): 2588-2593.

Kumar, S.N., Aggarwal, P.K., Rani, S., Jain, S., Saxena, R., Chauhan, N. (2011). Impact of climate change on crops productivity in Western Ghats, Coastal and North Eastern Regions of India. Curr. Sci. 101(3): 332-341.

Lobell, D.B., Gourdji, S.M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. Plant Physiol. 160(4): 1686-1697.

Mishra, G.S. and Dharm, Raj (2020). Neural machine translation using natural language processing, Journal of Critical Reviews. 7(9): 1432-1436.

Prasada, A.K., Chai, L., Singha, R.P., Kafatos, M. (2006). Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 8: 26-33.

Paul, R.K., Sinha, K. (2016). Forecasting Crop Yield: ARIMAX and NARX Model. RASHI. 1(1): 77-85.

Sellam, V., Poovammal, E. (2016). Prediction of crop yield using regression analysis. Indian J. Sci. Technol. 9(38): 1-5.