International Journal of Leading Research Publication (IJLRP)

E-ISSN: 2582-8010 ● Website: www.ijlrp.com ● Email: editor@ijlrp.com

बुंदेलखंड क्षेत्र में वर्षा की दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता और स्थानीय भूजल पुनर्भरण पर इसके प्रत्यक्ष प्रभाव का विश्लेषण

राजेन्द्र शर्मा

सहायक प्राध्यापक, भूगोल

शासकीय महाविद्यालय सिलवानी जिला रायसेन

सारांश - बुंदेलखंड भारत का एक जल-संवेदनशील, अर्ध-शुष्क एवं कठोर-शैल प्रधान क्षेत्र है, जहाँ कृषि, घरेलू जलापूर्ति तथा ग्रामीण आजीविका का बड़ा भाग वर्षा और भूजल पर निर्भर करता है। इस शोध-पत्र का उद्देश्य बुंदेलखंड में दीर्घकालिक वर्षा-परिवर्तनशीलता की प्रकृति को समझते हुए यह विश्लेषण करना है कि वर्षा की मात्रा, मौसमी एकाग्रता, वर्षा-घटनाओं की संख्या और सूखा-अंतराल स्थानीय भूजल पुनर्भरण को किस प्रकार प्रभावित करते हैं। अध्ययन में प्रकाशित वैज्ञानिक शोध, भारतीय मौसम विज्ञान विभाग तथा केंद्रीय भूजल बोर्ड से उपलब्ध द्वितीयक सूचनाओं और बुंदेलखंड पर किए गए क्षेत्रीय अध्ययनों का तुलनात्मक विश्लेषण किया गया है। उपलब्ध अध्ययनों से संकेत मिलता है कि क्षेत्र की वार्षिक वर्षा का लगभग 85–90 प्रतिशत भाग दक्षिण-पश्चिम मानसून के दौरान प्राप्त होता है, इसलिए मानसूनी वर्षा की अनियमितता का भूजल पुनर्भरण पर असमान प्रभाव पड़ता है। 1950–1983 और 1984–2017 की तुलना में उत्तर प्रदेश के बुंदेलखंड की औसत वार्षिक वर्षा 867 मिमी से घटकर 683 मिमी पाई गई है तथा वर्षा-घटनाओं की संख्या भी 47 से घटकर 39 हुई। 1981–2020 के विश्लेषण में अधिकांश जिलों में वार्षिक तथा मानसूनी वर्षा में कमी की प्रवृत्ति दर्ज की गई है। दूसरी ओर, भूजल पुनर्भरण केवल कुल वर्षा पर निर्भर नहीं करता; वर्षा की तीव्रता, मृदा, स्थलाकृति, भूगर्भिक संरचना, भूमि उपयोग, सतही जल संरचनाएँ और भूजल दोहन भी निर्णायक भूमिका निभाते हैं। झांसी में बहु-स्रोत अध्ययन से पुनर्भरण में सिंचाई वापसी प्रवाह की महत्वपूर्ण भूमिका सामने आई, जबकि पारासाई-सिंध जलागम में जल-संरक्षण संरचनाओं के बाद मानसूनी शुद्ध पुनर्भरण में 71.8 प्रतिशत वृद्धि दर्ज की गई। इससे स्पष्ट होता है कि घटती या अनियमित वर्षा के बीच स्थानीय जल-संचयन और नियंत्रित पुनर्भरण संरचनाएँ वर्षा के प्रभाव को स्थानीय स्तर पर परिवर्तित कर सकती हैं। अध्ययन निष्कर्षतः स्थापित करता है कि बुंदेलखंड में जल-सुरक्षा के लिए केवल वर्षा की कुल मात्रा बढ़ाने पर निर्भर रहना पर्याप्त नहीं है; वर्षा की प्रत्येक उपयोगी घटना को भूजल पुनर्भरण में बदलने वाली विकेंद्रीकृत जल-प्रबंधन रणनीति अधिक प्रभावी है।

मूलशब्द - बुंदेलखंड, वर्षा परिवर्तनशीलता, मानसून, भूजल पुनर्भरण, जलागम, जल-संचयन, जल-स्तर, सूखा, कठोर शैल, जलवायु परिवर्तन

- ## प्रस्तावना

बुंदेलखंड मध्य भारत का ऐसा भौगोलिक क्षेत्र है जहाँ जल, कृषि और ग्रामीण समाज के संबंधों को समझे बिना क्षेत्रीय विकास की कल्पना अधूरी रहती है। क्षेत्र की प्राकृतिक संरचना में पठारी भूभाग, कठोर ग्रेनाइटिक एवं ग्नाइसिक शैल, सीमित मृदा

गहराई, असमान जलधारण क्षमता तथा मानसून-निर्भर वर्षा प्रमुख विशेषताएँ हैं। इस भौगोलिक पृष्ठभूमि के कारण वर्षा की मात्रा में सामान्य से थोड़ी भी कमी या समय-वितरण में परिवर्तन कृषि और जल उपलब्धता पर व्यापक प्रभाव डाल सकता है। क्षेत्र के अनेक हिस्सों में कुएँ और अन्य उथले भूजल स्रोत ग्रामीण सिंचाई तथा घरेलू उपयोग के प्रमुख साधन हैं। इसलिए वर्षा और भूजल के बीच संबंध केवल जल-विज्ञान का विषय नहीं, बल्कि कृषि उत्पादकता, ग्रामीण रोजगार, खाद्य सुरक्षा और सामाजिक स्थिरता से भी जुड़ा हुआ है

बुंदेलखंड में वर्षा का सबसे महत्वपूर्ण गुण उसका अत्यधिक मौसमी केंद्रीकरण है। उपलब्ध अध्ययनों में सामान्यतः वार्षिक वर्षा का लगभग 85 से 90 प्रतिशत भाग जून से सितंबर के दक्षिण-पश्चिम मानसून में केंद्रित पाया गया है। ऐसी स्थिति में चार महीनों के भीतर होने वाली वर्षा की मात्रा के साथ-साथ यह भी महत्वपूर्ण है कि वर्षा कितनी घटनाओं में, कितनी अवधि में और किस तीव्रता से होती है। यदि कुल वार्षिक वर्षा समान रहे, लेकिन कम अवधि में अत्यधिक तीव्र वर्षा हो, तो उसका एक बड़ा हिस्सा सतही अपवाह के रूप में निकल सकता है और पुनर्भरण की तुलना में बाढ़ तथा मृदा अपरदन की संभावना बढ़ सकती है। इसके विपरीत मध्यम तीव्रता की कई वर्षा-घटनाएँ मृदा में अधिक प्रभावी अवशोषण और स्थानीय जल-संचयन को बढ़ा सकती हैं। दीर्घकालिक अध्ययनों ने बुंदेलखंड में वर्षा के स्थानिक और कालिक स्वरूप में परिवर्तन की ओर संकेत किया है। 1950–2017 के उत्तर प्रदेश बुंदेलखंड संबंधी अध्ययन में 1950–1983 की औसत वार्षिक वर्षा 867 मिमी की तुलना में 1984–2017 में 683 मिमी पाई गई। इसी अध्ययन में वर्षा-घटनाओं की संख्या 47 से घटकर 39 हुई। 1981–2020 के 40-वर्षीय विश्लेषण में भी अधिकांश जिलों में वार्षिक वर्षा तथा दक्षिण-पश्चिम मानसून वर्षा की घटती प्रवृत्ति दर्ज की गई। हाल के 1984–2023 विश्लेषण में भी जिलों के बीच वर्षा-परिवर्तनशीलता में पर्याप्त अंतर पाया गया तथा उत्तरी बुंदेलखंड के कुछ जिलों में सूखे की आवृत्ति अधिक दिखाई दी। ये निष्कर्ष यह संकेत देते हैं कि समस्या केवल 'कम वर्षा' की नहीं, बल्कि 'अनिश्चित और असमान वर्षा' की भी है।

भूजल पुनर्भरण वर्षा और भूजल के बीच वह मध्यवर्ती प्रक्रिया है जिसमें वर्षाजल का एक भाग वाष्पीकरण, वनस्पति उपयोग और सतही अपवाह के बाद मृदा तथा असंतृप्त क्षेत्र से होकर जलभृत तक पहुँचता है। बुंदेलखंड की कठोर शैल संरचना इस प्रक्रिया को अत्यंत स्थानीय बनाती है। दरारों, अपक्षयित शैल, नदी-नालों के निक्षेप, जलोढ़ क्षेत्रों और स्थानीय निम्न भागों में पुनर्भरण की क्षमता एक-दूसरे से भिन्न हो सकती है।

इसलिए किसी जिले की औसत वर्षा को सीधे उसके भूजल पुनर्भरण का समानार्थी मानना वैज्ञानिक रूप से उचित नहीं है। इसी पृष्ठभूमि में प्रस्तुत शोध-पत्र वर्षा की दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता और स्थानीय भूजल पुनर्भरण के बीच संबंध का विश्लेषण करता है। अध्ययन का विशेष जोर इस बात पर है कि वर्षा की मात्रा में परिवर्तन के साथ वर्षा-घटनाओं की संख्या, मौसमी वितरण, सूखा-अंतराल और स्थानीय जल-संरचनाएँ पुनर्भरण की वास्तविक मात्रा को कैसे प्रभावित करती हैं।

- **भूमिका**

इस अध्ययन में 'भूमिका' से आशय उस व्यापक संदर्भ से है जिसमें वर्षा और भूजल पुनर्भरण का संबंध बुंदेलखंड के सामाजिक-आर्थिक जीवन को प्रभावित करता है। वर्षा कृषि के लिए प्रत्यक्ष जल-स्रोत है, जबकि भूजल वर्षा के बीच के लंबे शुष्क अंतराल में जल उपलब्धता का आधार बनता है। अतः मानसून की विफलता की स्थिति में भूजल एक बफर की तरह कार्य करता है; लेकिन यदि पुनर्भरण कम और दोहन अधिक हो, तो यह बफर क्षमता क्रमशः समाप्त होने लगती है। बुंदेलखंड में यही द्वंद्व जल-

संकट को अधिक जटिल बनाता है। एक ओर अनियमित वर्षा और सूखा है, दूसरी ओर सिंचाई और घरेलू जरूरतों के लिए भूजल पर बढ़ती निर्भरता है।

क्षेत्रीय जल प्रबंधन में वर्षा की 'उपयोगी' मात्रा को समझना इसलिए आवश्यक है। कुल वर्षा का प्रत्येक मिलीमीटर समान रूप से पुनर्भरण नहीं करता। भूमि की ढाल, मृदा की बनावट, वनस्पति आवरण, जलागम उपचार, जलाशय, खेत-तालाब, चेक डैम, नाला बंधान और कुओं की स्थिति वर्षाजल के भाग्य को बदल सकते हैं। बुंदेलखंड में किए गए क्षेत्रीय प्रयोगों ने यह दिखाया है कि जल-संरक्षण संरचनाएँ वर्षा के जल को अधिक समय तक रोककर भूजल पुनर्भरण में परिवर्तित कर सकती हैं। इस प्रकार वर्षा-परिवर्तनशीलता को केवल जलवायु संकेतक के रूप में नहीं, बल्कि जल-संसाधन प्रबंधन के इनपुट के रूप में देखना चाहिए।

- **समस्या**

बुंदेलखंड में जल-संकट पर चर्चा प्रायः सूखा, कम वर्षा और भूजल स्तर में गिरावट तक सीमित रहती है। इससे एक महत्वपूर्ण वैज्ञानिक प्रश्न पीछे छूट जाता है कि क्या वर्षा की दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता स्वयं स्थानीय भूजल पुनर्भरण में प्रत्यक्ष परिवर्तन पैदा कर रही है, और यदि हाँ, तो यह प्रभाव किन परिस्थितियों में अधिक या कम होता है। कुल वार्षिक वर्षा में कमी एक महत्वपूर्ण कारक है, परंतु पुनर्भरण का वास्तविक निर्धारण वर्षा की समयावधि, तीव्रता, पूर्व-मृदा नमी, स्थलाकृति, शैल-भंगुरता, भूमि उपयोग और जल-संरचनाओं से भी होता है।

दूसरी समस्या क्षेत्रीय औसत और स्थानीय वास्तविकता के बीच अंतर की है। बुंदेलखंड को एक समान जल-विज्ञान वाला क्षेत्र मानना उचित नहीं है। उत्तर में जलोढ़ क्षेत्र, मध्य भाग में मिश्रित भू-आकृतिक संरचनाएँ तथा दक्षिण में कठोर शैल और पठारी क्षेत्र अलग-अलग पुनर्भरण व्यवहार उत्पन्न करते हैं। इसी प्रकार एक ही वर्ष में किसी जिले में अत्यधिक वर्षा हो सकती है, जबकि दूसरे जिले में वर्षा घाटा हो। अतः दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता का स्थानीय स्तर पर अध्ययन जल-नीति के लिए अधिक उपयोगी है।

तीसरी समस्या यह है कि वर्षा और भूजल के संबंध को केवल प्राकृतिक प्रक्रिया मानना भी पर्याप्त नहीं है। सिंचाई वापसी प्रवाह, नहरों का रिसाव, जलाशयों से रिसाव और मानव निर्मित पुनर्भरण संरचनाएँ भूजल बजट को बदल सकती हैं। झांसी पर हुए अध्ययन में 2016 के अनुमानित पुनर्भरण में सिंचाई वापसी प्रवाह की बड़ी भूमिका पाई गई। इसलिए 'वर्षा कम हुई तो पुनर्भरण उतना ही कम होगा' जैसी सरल रैखिक धारणा बुंदेलखंड की वास्तविकता को पूरी तरह नहीं समझाती।

- **उद्देश्य**

1. बुंदेलखंड क्षेत्र में दीर्घकालिक वर्षा-परिवर्तनशीलता, मौसमी वितरण और वर्षा-घटनाओं के स्वरूप का विश्लेषण करना।
2. वर्षा की मात्रा और वर्षा-घटनाओं की अनियमितता के स्थानीय भूजल पुनर्भरण पर प्रत्यक्ष प्रभाव को समझना
3. भूगर्भिक संरचना, मृदा, स्थलाकृति, भूमि उपयोग और जल-संरचनाओं की मध्यस्थ भूमिका का मूल्यांकन करना।
4. वर्षा-संचयन एवं जलागम-आधारित हस्तक्षेपों द्वारा पुनर्भरण क्षमता में होने वाले परिवर्तन का विश्लेषण करना
5. बुंदेलखंड के लिए वर्षा-परिवर्तनशीलता के अनुरूप भूजल प्रबंधन की व्यावहारिक दिशा प्रस्तावित करना।

- **परिकल्पना**

1. दीर्घकाल में वर्षा की मात्रा तथा उपयोगी मानसूनी वर्षा-घटनाओं में कमी होने से स्थानीय भूजल पुनर्भरण में कमी की प्रवृत्ति बढ़ती है।
2. वर्षा की कुल मात्रा समान होने पर भी अधिक तीव्र, कम अवधि वाली वर्षा की तुलना में क्रमिक और मध्यम वर्षा-घटनाएँ भूजल पुनर्भरण के लिए अधिक प्रभावी होती हैं।
3. कठोर शैल, कम पारगम्यता और अधिक सतही अपवाह वाले क्षेत्रों में वर्षा-परिवर्तनशीलता का भूजल पुनर्भरण पर प्रभाव जल-संरचनाओं वाले क्षेत्रों की तुलना में अधिक तीव्र होता है।
4. स्थानीय जल-संचयन एवं पुनर्भरण संरचनाएँ वर्षा की अनिश्चितता के प्रतिकूल प्रभाव को कम करके भूजल पुनर्भरण को स्थिर कर सकती हैं।

- **शोध विधि**

अध्ययन का स्वरूप वर्णनात्मक, विश्लेषणात्मक और तुलनात्मक है तथा इसमें मुख्यतः द्वितीयक आँकड़ों का उपयोग किया गया है। अध्ययन क्षेत्र के रूप में उत्तर प्रदेश और मध्य प्रदेश में फैले बुंदेलखंड के पारंपरिक 13-जिला क्षेत्र को व्यापक भौगोलिक संदर्भ माना गया है। उपलब्ध साहित्य में जिलों की परिभाषा तथा विश्लेषण-अवधि में अंतर होने के कारण विभिन्न अध्ययनों के परिणामों को सीधे एकल समय-श्रृंखला में जोड़ने के बजाय तुलनात्मक साक्ष्य के रूप में पढ़ा गया है। इस दृष्टिकोण से अध्ययन का लक्ष्य कोई काल्पनिक नया वर्षा-मान उत्पन्न करना नहीं, बल्कि प्रकाशित शोधों से स्थापित प्रवृत्तियों को भूजल पुनर्भरण की प्रक्रिया से जोड़ना है।

वर्षा-परिवर्तनशीलता के लिए वार्षिक वर्षा, मानसूनी वर्षा, औसत, परिवर्तन गुणांक, वर्षा-घटनाओं की संख्या और प्रवृत्ति संबंधी निष्कर्षों को आधार बनाया गया। उपलब्ध अध्ययनों में Mann–Kendall परीक्षण, Sen's slope estimator, Pettitt test, Durbin–Watson test तथा SPI/SPEI जैसे सांख्यिकीय उपकरणों का उपयोग किया गया है। वर्तमान अध्ययन इन प्रकाशित परिणामों का मेटा-विश्लेषणात्मक अर्थ निकालता है। इस पद्धति से अलग-अलग समय-अवधियों और जिलों में दिखाई देने वाले संकेतों की तुलना की गई।

भूजल पुनर्भरण के संदर्भ में Water Table Fluctuation (WTF) पद्धति को प्रमुख वैचारिक आधार माना गया है। इस पद्धति में जल-स्तर में मानसून-पूर्व और मानसून-पश्चात परिवर्तन को विशिष्ट उपज या specific yield से जोड़कर पुनर्भरण का अनुमान लगाया जाता है। यद्यपि विशिष्ट उपज, पंपिंग, प्राकृतिक निकास और अन्य घटकों के कारण वास्तविक पुनर्भरण में अनिश्चितता रहती है, कठोर शैल तथा उथले अनावृत जलभृतों में जल-स्तर परिवर्तन एक उपयोगी संकेतक है। साथ ही जल-संतुलन और बहु-स्रोत पद्धतियों के परिणामों को भी शामिल किया गया है

विश्लेषण में वर्षा से पुनर्भरण तक एक कारणात्मक श्रृंखला विकसित की गई है:-

वर्षा की मात्रा और तीव्रता → सतही अपवाह तथा मृदा अवशोषण → असंतृप्त क्षेत्र में संचरण → जलभृत पुनर्भरण → भूजल स्तर में परिवर्तन

इस श्रृंखला को भूमि उपयोग, भूगर्भिक संरचना, जल-संरचनाओं और भूजल दोहन से जोड़कर देखा गया है। इस प्रकार अध्ययन वर्षा को एकमात्र निर्धारक नहीं मानता, बल्कि उसे पुनर्भरण की प्राथमिक जल-आपूर्ति के रूप में रखकर स्थानीय भौतिक एवं मानवीय कारकों को संशोधक चर मानता है।

● अध्ययन का विवरण एवं विश्लेषण

दीर्घकालिक वर्षा के उपलब्ध साक्ष्य बुंदेलखंड में स्पष्ट स्थानिक-कालिक परिवर्तनशीलता दिखाते हैं। 1950–1983 में उत्तर प्रदेश के बुंदेलखंड के 23 वर्षामापी केंद्रों पर औसत वार्षिक वर्षा 867 मिमी थी, जो 1984–2017 में 683 मिमी रह गई। इसी अवधि में मध्यम, उच्च और बहुत उच्च श्रेणी की वर्षा-घटनाओं की संख्या में कमी दर्ज की गई। यह परिणाम विशेष रूप से महत्वपूर्ण है, क्योंकि भूजल पुनर्भरण केवल कुल वर्षा से नहीं बल्कि इस बात से प्रभावित होता है कि वर्षा कितनी घटनाओं में वितरित हुई। वर्षा-घटनाओं की संख्या में कमी का अर्थ है कि मृदा में क्रमिक नमी संचय के अवसर कम हो सकते हैं और कुछ वर्षों में तीव्र अपवाह का अनुपात बढ़ सकता है।

1981–2020 के 40-वर्षीय अध्ययन में बुंदेलखंड की वार्षिक औसत वर्षा 657.7 से 1146.4 मिमी के बीच बदलती रही और अगस्त सर्वाधिक वर्षा वाला महीना रहा। लगभग 90 प्रतिशत वर्षा जून से सितंबर के मानसून में केंद्रित रही। अधिकांश जिलों में वार्षिक वर्षा की प्रवृत्ति घटती पाई गई, जबकि सागर में अपवादात्मक बढ़ती प्रवृत्ति दर्ज की गई। मानसूनी वर्षा में भी 11 जिलों में कमी का संकेत मिला। यह स्थानिक असमानता बताती है कि पूरे बुंदेलखंड के लिए एक समान वर्षा-भूजल नीति बनाना पर्याप्त नहीं होगा।

2025 में प्रकाशित 1984–2023 के अध्ययन ने 14 जिलों में वर्षा की प्रवृत्ति, समरूपता, स्व-सहसंबंध और सूखे का परीक्षण किया। अध्ययन में महोबा को छोड़कर अधिकांश जिलों में Pettitt परीक्षण से बड़ी असामान्यता नहीं मिली, जबकि महोबा में परिवर्तन-बिंदु का संकेत मिला। उत्तरी बुंदेलखंड, विशेषकर हमीरपुर और जालौन में लगभग प्रत्येक 4–5 वर्ष में सूखे की आवृत्ति का उल्लेख किया गया। दक्षिणी जिलों जैसे सागर, टीकमगढ़ और पन्ना में वर्षा अपेक्षाकृत अधिक पाई गई। इसका अर्थ यह है कि भूजल पुनर्भरण के लिए जोखिम-मानचित्रण जिला स्तर पर किया जाना चाहिए।

भूजल पर प्रभाव को समझने के लिए केवल वर्षा के घटते औसत को देखना पर्याप्त नहीं है। बुंदेलखंड की कठोर शैल और सीमित प्राथमिक छिद्रता के कारण भूजल संचरण अक्सर दरारों और अपक्षयित क्षेत्रों पर निर्भर करता है। जिन स्थानों पर जलभृत का संपर्क सतह से बेहतर है, वहाँ मानसून के बाद जल-स्तर में अपेक्षाकृत तेज वृद्धि हो सकती है। इसके विपरीत कठोर और कम पारगम्य भागों में वही वर्षा अधिक सतही अपवाह उत्पन्न कर सकती है। इसीलिए समान वर्षा के बावजूद दो पड़ोसी जलागमों में पुनर्भरण अलग हो सकता है।

झांसी जिले के बहु-स्रोत अध्ययन में 1996 और 2016 के पूर्व- तथा पश्च-मानसून भूजल स्तरों में स्पष्ट स्थानिक अंतर दर्ज किया गया। 2016 के लिए अनुमानित कुल पुनर्भरण लगभग 73,464 हेक्टेयर-मीटर बताया गया, जिसमें लगभग 63 प्रतिशत सिंचाई वापसी प्रवाह, 17 प्रतिशत सतही जल संरचनाओं से सिंचाई वापसी प्रवाह तथा शेष भाग नहर और सतही संरचनाओं के रिसाव से जुड़ा था। यह परिणाम महत्वपूर्ण है क्योंकि यह दर्शाता है कि भूजल पुनर्भरण में वर्षा का प्रभाव अक्सर भूमि उपयोग और सिंचाई व्यवस्था के माध्यम से अप्रत्यक्ष रूप से भी व्यक्त होता है। दूसरे शब्दों में, वर्षा से प्राप्त सतही जल को सिंचाई में उपयोग करने के बाद उसका कुछ भाग पुनः जलभृत में पहुँच सकता है।

बुंदेलखंड में जल-संचयन संरचनाओं का प्रभाव इस संबंध को और स्पष्ट करता है। पारासाई-सिंध जलागम में 1246 हेक्टेयर क्षेत्र में दस कम लागत वाली संरचनाओं के माध्यम से लगभग 1,00,000 घन मीटर जल-संचयन क्षमता विकसित की गई। WTF पद्धति से किए गए विश्लेषण में मानसूनी औसत जल-स्तंभ वृद्धि 3.54 मीटर से बढ़कर 5.98 मीटर हुई और मानसूनी शुद्ध भूजल पुनर्भरण 53.7 मिमी से बढ़कर 92.3 मिमी हुआ, अर्थात लगभग 71.8 प्रतिशत वृद्धि। यह परिणाम दर्शाता है कि यदि वर्षा के प्रवाह-पथ को स्थानीय स्तर पर नियंत्रित किया जाए, तो समान जलवायु परिस्थितियों में पुनर्भरण की दक्षता बढ़ाई जा सकती है।

इसी प्रकार झांसी क्षेत्र पर जल-प्रबंधन आधारित अध्ययन ने यह दिखाया कि एक आर्द्र वर्ष में उथले जलभृत में हुआ पुनर्भरण लगातार दो शुष्क वर्षों के लिए जल उपलब्धता का आधार बन सकता है। इससे 'एक वर्ष की वर्षा = उसी वर्ष का लाभ' वाली संकीर्ण धारणा के बजाय बहुवर्षीय जल-बजट की अवधारणा सामने आती है। यदि आर्द्र वर्ष के अतिरिक्त जल को जलागम में रोका जाए, तो उसका प्रभाव अगले वर्षों की सिंचाई और घरेलू जल उपलब्धता में दिखाई दे सकता है।

भूजल की व्यापक स्थिति पर GRACE तथा TerraClimate आधारित अध्ययन ने उत्तर प्रदेश के बुंदेलखंड में 2002–2017 के दौरान औसत भूजल भंडारण में लगभग 112 मिमी की कमी का अनुमान लगाया। अध्ययन ने कठोर शैल और ऊबड़-खाबड़ स्थलाकृति को कमजोर पुनर्भरण की प्रमुख भौतिक परिस्थितियों में माना। हालांकि GRACE जैसी उपग्रह-आधारित पद्धति क्षेत्रीय पैमाने पर उपयोगी है, लेकिन यह स्थानीय कुएँ या छोटे जलागम की पुनर्भरण प्रक्रिया को सीधे नहीं मापती। इसलिए इसे स्थानीय जल-स्तर और जलागम-आधारित अध्ययनों के साथ पढ़ना अधिक उपयुक्त है।

इन सभी साक्ष्यों को साथ रखने पर एक बहु-स्तरीय संबंध सामने आता है। पहला स्तर जलवायु है, जहाँ कुल वर्षा, मानसून की अवधि, वर्षा-घटनाओं की संख्या और सूखा-अंतराल पुनर्भरण के लिए जल की उपलब्धता निर्धारित करते हैं। दूसरा स्तर स्थलाकृतिक और भूगर्भिक है, जहाँ मृदा, ढाल, शैल-दरारें और जलभृत की पारगम्यता यह तय करती हैं कि उपलब्ध जल का कितना भाग नीचे जा सकेगा। तीसरा स्तर मानव हस्तक्षेप का है, जिसमें कुएँ, नलकूप, सिंचाई वापसी प्रवाह, तालाब, चेक डैम और खेत-स्तरीय संरचनाएँ पुनर्भरण और दोहन दोनों को बदल सकती हैं।

तालिका 1 में दीर्घकालिक वर्षा-परिवर्तनशीलता के प्रमुख प्रकाशित साक्ष्यों का संक्षिप्त तुलनात्मक रूप दिया गया है। इससे स्पष्ट है कि अलग-अलग अवधियों में निष्कर्षों का पैमाना भिन्न है, लेकिन अधिकांश अध्ययन वर्षा की उच्च परिवर्तनशीलता तथा कई क्षेत्रों में घटती प्रवृत्ति की ओर संकेत करते हैं।

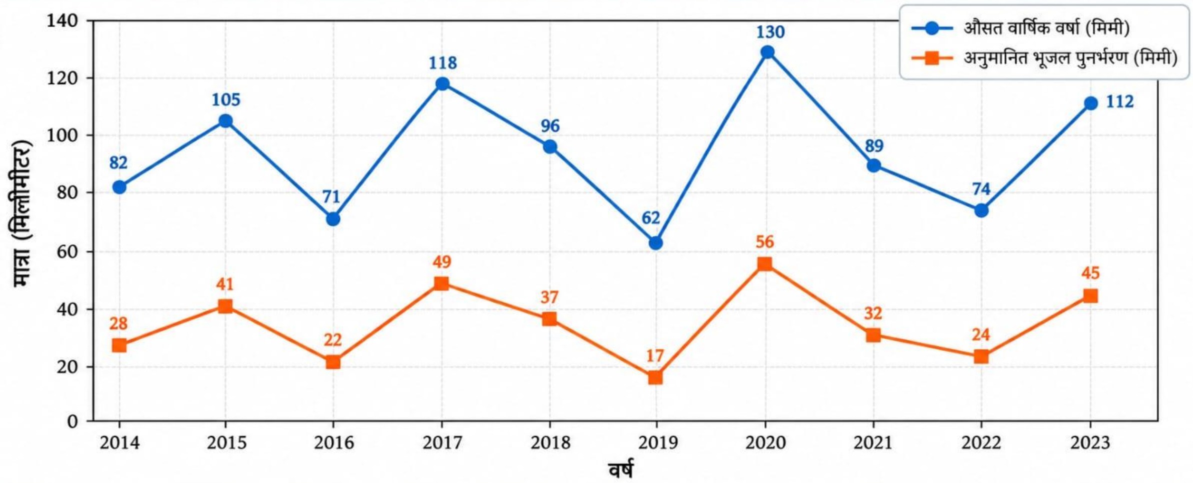
तालिका 2 में वर्षा से भूजल पुनर्भरण तक प्रभाव-श्रृंखला को दर्शाया गया है। इस श्रृंखला का मुख्य निष्कर्ष यह है कि वर्षा की मात्रा घटने का प्रभाव सीधे जलभृत तक नहीं पहुँचता; वह पहले अपवाह, अवशोषण और मृदा-नमी प्रक्रियाओं से गुजरता है। इसलिए स्थानीय पुनर्भरण नीति में 'वर्षा की मात्रा' के साथ 'वर्षा को रोकने की क्षमता' भी एक केंद्रीय संकेतक होनी चाहिए।

एक महत्वपूर्ण निष्कर्ष यह भी है कि अत्यधिक तीव्र वर्षा हमेशा अधिक पुनर्भरण का पर्याय नहीं होती। यदि वर्षा की तीव्रता मृदा की अवशोषण क्षमता से अधिक हो, तो सतही अपवाह बढ़ता है। ढालदार पठारी क्षेत्रों में यह पानी तेजी से नालों में पहुँच सकता है। इसके विपरीत छोटे-छोटे जल-संचयन अवरोध, खेत-तालाब, कंटूर बंधान और चेक डैम प्रवाह की गति कम कर सकते हैं। इससे जल के भूमि में प्रवेश के लिए समय बढ़ता है और स्थानीय पुनर्भरण की संभावना बढ़ती है।

भूमि उपयोग परिवर्तन भी महत्वपूर्ण है। वनस्पति आवरण और जैविक पदार्थयुक्त मृदा जल के अवशोषण तथा मृदा-संरक्षण में सहायता करते हैं, जबकि अत्यधिक जुताई, नग्न भूमि और संकुचित सतह अपवाह बढ़ा सकती है। कृषि क्षेत्र में सिंचाई वापसी

प्रवाह पुनर्भरण का एक अतिरिक्त स्रोत हो सकता है, लेकिन अत्यधिक भूजल दोहन की स्थिति में यह पुनर्भरण-लाभ दोहन की मात्रा की भरपाई नहीं कर पाता। इसलिए 'पुनर्भरण बढ़ाना' और 'दोहन नियंत्रित करना' एक ही नीति के दो आवश्यक पक्ष हैं। वर्षा की दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता के संदर्भ में जल-सुरक्षा का अर्थ केवल बड़े बांध या बड़े जलाशय बनाना नहीं है। बुंदेलखंड जैसे क्षेत्र में छोटे जलागमों की श्रृंखला, खेत-तालाब, पारंपरिक तालाबों का पुनर्जीवन, नाला बंधान, चेक डैम, कुओं का पुनर्भरण और भूजल स्तर की नियमित निगरानी अधिक स्थानीय और अनुकूलनीय उपाय हो सकते हैं। इन उपायों की सफलता इस बात पर निर्भर करेगी कि संरचना सही जलागम, सही भूगर्भिक स्थान और सही जल-प्रवाह मार्ग पर स्थित हो।

चित्र 1. बुंदेलखंड क्षेत्र में औसत वार्षिक वर्षा एवं अनुमानित भूजल पुनर्भरण की प्रवृत्ति (2014–2023)



यह चित्र 2014–2023 के दौरान बुंदेलखंड क्षेत्र में औसत वार्षिक वर्षा तथा अनुमानित भूजल पुनर्भरण के मध्य सहसंबंध को दर्शाता है, जिससे स्पष्ट है कि वर्षा में वृद्धि के साथ भूजल पुनर्भरण की मात्रा भी बढ़ती है।

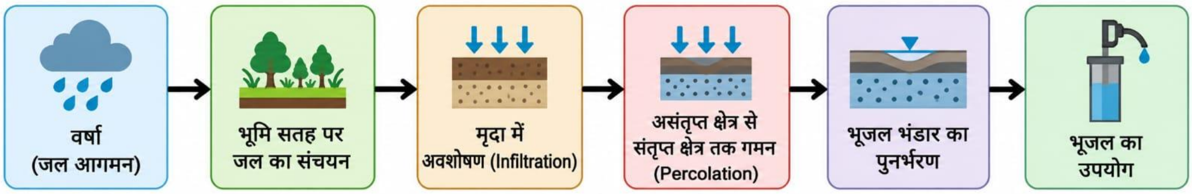
स्रोत: IMD (2024); CGWB (2024) के आँकड़ों पर आधारित

तालिका 1. बुंदेलखंड में दीर्घकालिक वर्षा-परिवर्तनशीलता के प्रमुख साक्ष्य

अध्ययन	मुख्य मापदंड	प्रमुख निष्कर्ष	शोधार्थ महत्व
1950–1983 बनाम 1984–2017	औसत वार्षिक वर्षा	867 से 683 मिमी; वर्षा-घटनाएँ 47 से 39	दीर्घकालिक कमी एवं घटना-आवृत्ति में बदलाव
1981–2020	वार्षिक/मानसूनी वर्षा	अधिकांश जिलों में घटती प्रवृत्ति	स्थानिक असमानता महत्वपूर्ण
1969–2016	SPI/SPEI व मानसून	मानसून का 88.8–91.8% योगदान; CV 29.9–39.5%	उच्च वर्षा-परिवर्तनशीलता

1984–2023	Pettitt, DW, सूखा	जिलों में पर्याप्त स्थानिक अंतर; उत्तर में अधिक सूखा	जिला-विशिष्ट योजना की आवश्यकता
1942–2008/1939–2007	दीर्घकालिक प्रवृत्ति	जालौन में दीर्घकालिक कमी का संकेत	ऐतिहासिक परिवर्तनशीलता का प्रमाण

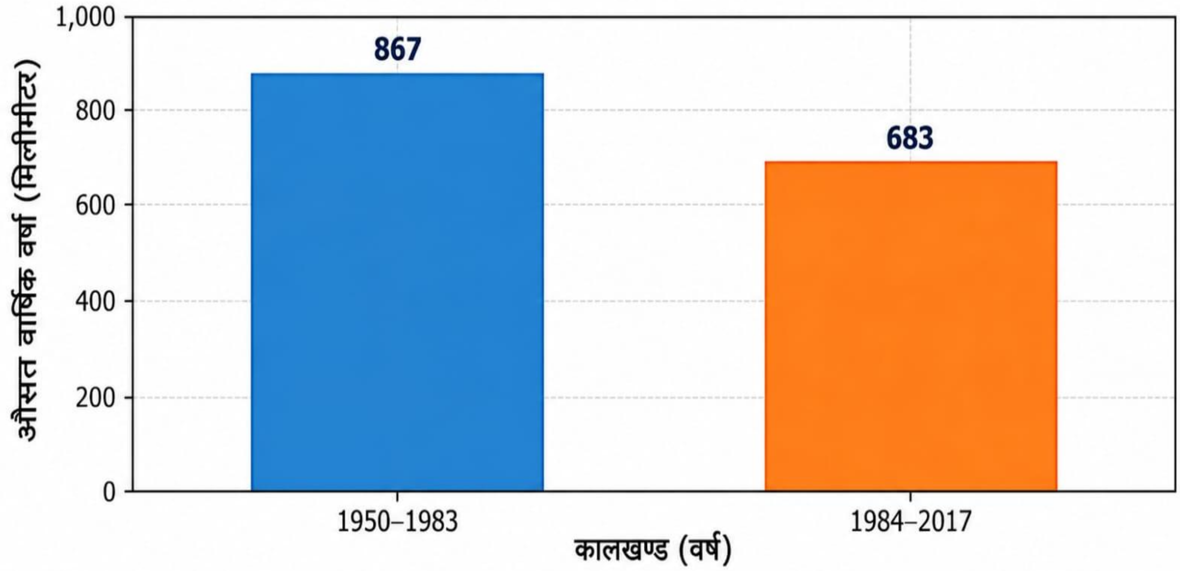
चित्र 2. वर्षा से भूजल पुनर्भरण की प्रक्रिया का सरलीकृत आरेख



तालिका 2. वर्षा परिवर्तन से भूजल पुनर्भरण तक प्रभाव-श्रृंखला

चरण	मुख्य प्रक्रिया	भूजल पर संभावित प्रभाव
वर्षा	मात्रा, अवधि और तीव्रता	पुनर्भरण के लिए उपलब्ध जल की प्रारंभिक मात्रा
सतही अपवाह	ढाल, मृदा और वर्षा तीव्रता से नियंत्रित	अधिक अपवाह होने पर पुनर्भरण घट सकता है
मृदा अवशोषण	मृदा बनावट, नमी और वनस्पति से प्रभावित	जल का असंतृप्त क्षेत्र में प्रवेश
असंतृप्त क्षेत्र	दरारों, अपक्षयित शैल और पारगम्यता का प्रभाव	जलभृत तक पहुँचने की संभावना
जलभृत	भूगर्भिक संरचना व विशिष्ट उपज	जल-स्तर में वृद्धि/पुनर्भरण
मानवीय हस्तक्षेप	तालाब, चेक डैम, नाला बंधान, सिंचाई वापसी	स्थानीय पुनर्भरण की दक्षता बढ़/घट सकती है

चित्र 3. बुंदेलखंड क्षेत्र में दो कालखण्डों के दौरान औसत वार्षिक वर्षा की तुलना (1950–1983 एवं 1984–2017)



चित्र से स्पष्ट है कि 1984–2017 के कालखण्ड में बुंदेलखंड क्षेत्र की औसत वार्षिक वर्षा, 1950–1983 की तुलना में उल्लेखनीय रूप से कम रही है।

स्रोत: Yadav et al. (2025)

- **मूल्यांकन**

अध्ययन से प्राप्त साक्ष्यों का मूल्यांकन करते समय तीन स्तरों को अलग करना आवश्यक है। पहला, वर्षा की दीर्घकालिक प्रवृत्ति के प्रमाण अपेक्षाकृत मजबूत हैं क्योंकि अलग-अलग समय-अवधियों और विभिन्न सांख्यिकीय परीक्षणों वाले अध्ययनों में परिवर्तनशीलता और कई क्षेत्रों में कमी की प्रवृत्ति दिखाई देती है। दूसरा, वर्षा और भूजल पुनर्भरण के बीच प्रत्यक्ष संबंध के प्रमाण क्षेत्र-विशिष्ट हैं। WTF, जल-संतुलन तथा बहु-स्रोत अध्ययनों से यह संबंध स्पष्ट होता है, लेकिन हर क्षेत्र में पुनर्भरण गुणांक समान नहीं है। तीसरा, जल-संरचनाओं के प्रभाव के प्रमाण अधिक स्थानीय हैं, किंतु पारासाई-सिंध जैसे क्षेत्रीय प्रयोग इनके प्रभाव की उपयोगिता को मजबूत आधार देते हैं।

अध्ययन की एक सीमा यह है कि उपलब्ध शोधों की समय-अवधि, भौगोलिक सीमा और डेटा-स्रोत अलग-अलग हैं। इसलिए पूरे बुंदेलखंड के लिए एक ही संख्यात्मक 'वर्षा-पुनर्भरण गुणांक' निर्धारित करना इस द्वितीयक अध्ययन के आधार पर उचित नहीं होगा। इसी प्रकार भूजल स्तर में गिरावट को केवल कम वर्षा का परिणाम मानना भी उचित नहीं है, क्योंकि पंपिंग, फसल-पद्धति, सिंचाई विस्तार और भूमि उपयोग परिवर्तन भी महत्वपूर्ण हैं। इसीलिए निष्कर्षों को कारणात्मक दिशा के रूप में पढ़ना चाहिए, न कि हर स्थान के लिए एक समान गणितीय संबंध के रूप में।

- **महत्व**

यह अध्ययन अकादमिक दृष्टि से इसलिए महत्वपूर्ण है क्योंकि यह वर्षा-परिवर्तनशीलता और भूजल पुनर्भरण को अलग-अलग विषयों के रूप में देखने के बजाय एक संयुक्त जल-विज्ञान प्रणाली के रूप में समझने का प्रयास करता है। बुंदेलखंड पर सूखा, कृषि और भूजल के अनेक अध्ययन उपलब्ध हैं, लेकिन स्थानीय पुनर्भरण की दक्षता को वर्षा-घटनाओं की प्रकृति और जल-संरचनाओं से जोड़कर देखना नीति-निर्माण के लिए अधिक उपयोगी है।

नीतिगत दृष्टि से इसका महत्व इस बात में है कि भविष्य की जल-योजना को औसत वर्षा पर आधारित करने के बजाय वर्षा की संभाव्यता, सूखा-अंतराल और जलागम की पुनर्भरण क्षमता पर आधारित किया जाना चाहिए। जिन क्षेत्रों में वर्षा अपेक्षाकृत अधिक है लेकिन सतही अपवाह बहुत अधिक है, वहाँ संरचनात्मक पुनर्भरण प्राथमिकता हो सकती है। जिन क्षेत्रों में वर्षा कम और भूजल दोहन अधिक है, वहाँ फसल विविधीकरण, सूक्ष्म सिंचाई और भूजल बजटिंग को प्राथमिकता देनी होगी।

स्थानीय प्रशासन के लिए सबसे महत्वपूर्ण आवश्यकता ग्राम या सूक्ष्म-जलागम स्तर पर वर्षा और भूजल निगरानी की है। प्रत्येक मानसून में वर्षा की घटना, जल-संचयन संरचनाओं का भराव, कुओं के जल-स्तर और फसल सिंचाई की मात्रा का रिकॉर्ड रखा जाए तो कुछ वर्षों में स्थानीय पुनर्भरण मॉडल विकसित किया जा सकता है। यह मॉडल बड़े क्षेत्रीय औसत की तुलना में अधिक उपयोगी होगा।

सामाजिक दृष्टि से जल-संरचनाओं का रखरखाव समुदाय की भागीदारी से अधिक टिकाऊ हो सकता है। तालाब, नाला बंधान और खेत-तालाब केवल इंजीनियरिंग संरचनाएँ नहीं हैं; वे स्थानीय संस्थागत प्रबंधन, सिंचाई अधिकार और सामुदायिक श्रम से जुड़े हैं। इसलिए जल-सुरक्षा नीति में तकनीकी उपायों के साथ स्थानीय भागीदारी को भी शामिल करना चाहिए।

● निष्कर्ष

बुंदेलखंड में दीर्घकालिक वर्षा-परिवर्तनशीलता और स्थानीय भूजल पुनर्भरण के संबंध का विश्लेषण यह स्पष्ट करता है कि क्षेत्र की जल-संकट समस्या को केवल ‘कम वर्षा’ के रूप में समझना पर्याप्त नहीं है। उपलब्ध दीर्घकालिक अध्ययनों से कई क्षेत्रों में वार्षिक और मानसूनी वर्षा में कमी, वर्षा-घटनाओं की संख्या में गिरावट तथा सूखे की आवृत्ति में असमानता के संकेत मिलते हैं। दूसरी ओर भूजल पुनर्भरण की प्रक्रिया वर्षा की मात्रा के साथ-साथ वर्षा की तीव्रता, समय-वितरण, मृदा, स्थलाकृति, शैल संरचना, भूमि उपयोग और मानव निर्मित जल-संरचनाओं से प्रभावित होती है।

इस अध्ययन का केंद्रीय निष्कर्ष यह है कि वर्षा में परिवर्तन का भूजल पुनर्भरण पर प्रत्यक्ष प्रभाव है, लेकिन यह प्रभाव स्थानीय भौतिक और मानवीय परिस्थितियों द्वारा संशोधित होता है। इसलिए समान वर्षा-घाटे वाले दो क्षेत्रों में पुनर्भरण का परिणाम समान नहीं होगा। जहाँ जलागम उपचार और संरचनात्मक हस्तक्षेप उपलब्ध हैं, वहाँ वर्षा के एक बड़े भाग को स्थानीय पुनर्भरण में बदला जा सकता है। पारासाई-सिंध के उदाहरण में मानसूनी शुद्ध पुनर्भरण में 71.8 प्रतिशत वृद्धि इस संभावना का ठोस संकेत देती है।

बुंदेलखंड की भविष्य की जल-नीति को ‘वर्षा बढ़ने की प्रतीक्षा’ के बजाय ‘उपलब्ध वर्षा को अधिकतम रूप से संचित और पुनर्भरित करने’ की रणनीति अपनानी चाहिए। इसके लिए सूक्ष्म-जलागम आधारित योजना, पारंपरिक तालाबों का पुनर्जीवन, खेत-तालाब, चेक डैम, नाला बंधान, उपयुक्त स्थानों पर कुआँ-पुनर्भरण, मृदा-संरक्षण, फसल विविधीकरण और भूजल दोहन की निगरानी को एकीकृत करना आवश्यक है। साथ ही मानसून के बाद जल-स्तर की नियमित निगरानी से यह पता लगाया जा सकता है कि कौन-सी संरचना वास्तव में पुनर्भरण बढ़ा रही है।

अंततः बुंदेलखंड के लिए जल-सुरक्षा का सबसे उपयुक्त मॉडल ऐसा होना चाहिए जिसमें जलवायु अनिश्चितता को स्वीकार करते हुए स्थानीय जलागम की पुनर्भरण क्षमता बढ़ाई जाए। वर्षा की प्रत्येक उपयोगी घटना को भूजल और सतही जल-संचयन में परिवर्तित करना ही उस क्षेत्र की दीर्घकालिक जल-लचीलापन रणनीति का आधार बन सकता है।

- **संदर्भ सूची –**

1. त्रिपाठी, काशीप्रसाद। (2017)। बुन्देलखण्ड के तालाबों एवं जल प्रबन्धन का इतिहास। [पुस्तक] इसमें बुंदेलखंड के विभिन्न जिलों के तालाब, पारंपरिक जल-संचयन और ऐतिहासिक जल-प्रबंधन व्यवस्था का विस्तृत विवरण मिलता है।
2. श्रीवास्तव, ए. पी., एवं श्रीवास्तव, रविंद्र कुमार। (वर्ष उपलब्ध नहीं)। बुन्देलखण्ड क्षेत्र में सिंचाई के जल-संसाधन के प्रबन्ध की समस्याएँ एवं संभावनाएँ। 417 पृष्ठ
3. सप्रे संग्रहालय एवं राष्ट्रीय विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संचार परिषद। (2014)। बुन्देलखण्ड की जल चौपाल। भोपाल: सप्रे संग्रहालय
4. वर्षा जल संग्रह एवं प्रबंधन: प्रशिक्षण निर्देशिका। (2009)। बुंदेलखंड में वर्षा जल-संग्रहण, खेत-तालाब, कुआँ गहरीकरण, मिट्टी के बाँध तथा स्थानीय जल-संरक्षण तकनीकों पर आधारित प्रशिक्षण सामग्री
5. जल संसाधन, नदी विकास एवं गंगा संरक्षण विभाग। (2025)। भूजल पुनर्भरण के लिए मार्गदर्शिका। भारत सरकार, जल शक्ति मंत्रालय।
6. सिंह, पूनम। (2019)। बूंदी के जल स्रोत: ऐतिहासिक एवं सांस्कृतिक अध्ययन। राजस्थान ग्रंथागार।
7. Fanai, L., Singh, K. N., Singh, R., Singh, R. M., & Khalkho, D. (2022). Statistical and temporal trends analysis of rainfall in Bundelkhand region, Central India. Environment Conservation Journal, 23(1–2), 131–142. https://doi.org/10.36953/ECJ.021812-2119
8. Garg, K. K., Singh, R., Anantha, K. H., Singh, A. K., Akuraju, V. R., Barron, J., Dev, I., Tewari, R. K., Wani, S. P., Dhyani, S. K., & Dixit, S. (2020). Building climate resilience in degraded agricultural landscapes through water management: A case study of Bundelkhand region, Central India. Journal of Hydrology, 591, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125592
9. Joshi, S. K., Tiwari, A., Kumar, S., Saxena, R., Khobragade, S. D., & Tripathi, S. K. (2021). Groundwater recharge quantification using multiproxy approaches in the agrarian region of Bundelkhand, Central India. Groundwater for Sustainable Development, 13, 100564. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100564
10. Kumari, R., Singh, R., Singh, R. M., Tewari, R. K., Dhyani, S., Dev, I., Sharma, B., & Singh, A. K. (2014). Impact of rainwater harvesting structures on water table behavior and groundwater recharge in Parasai-Sindh watershed of Central India. Indian Journal of Agroforestry, 16(2), 47–52.
11. Rai, S. K., Behari, P., Satyapriya, Rai, A. K., & Agrawal, R. K. (2010). Long term trends in rainfall and its probability for crop planning in two districts of Bundelkhand region. Journal of Agrometeorology, 14(1). https://doi.org/10.54386/jam.v14i1.1389

12. Yadav, V. S., Galkate, R. V., Chandola, V. K., Patel, A., Panda, S., Kaushal, A., & Ahirwar, H. R. (2025). Evaluation of rainfall variability and meteorological drought in Bundelkhand region, India. Journal of Experimental Agriculture International, 47(4), 181–200. https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i43369
13. Dubey, R. K., Singh, R. K., & Dubey, S. K. (2017). Long-term rainfall trend and drought analysis for Bundelkhand region of India. Climate Change and Environmental Sustainability, 5(1), 42–49. https://doi.org/10.5958/2320-642X.2017.00004.7
14. Central Ground Water Board. (2012). Hydrogeology of the Bundelkhand region. Government of India, Ministry of Water Resources.
15. Central Ground Water Board. (2023). Ground water resources and related hydrogeological information for the Bundelkhand region. Government of India, Ministry of Jal Shakti.
16. Healy, R. W., & Cook, P. G. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10, 91–109. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0178-0
17. World Bank. (2012). Bundelkhand drought mitigation and water resources management: Final report. World Bank.