

भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल का महत्व



**प्रियम कुमार
सौम्या कुमारी**

बी.एससी. (ऑनर्स) कृषि के तृतीय
वर्ष के विद्यार्थी, शिवालिक कॉलेज
ऑफ इंजीनियरिंग, देहरादून
उत्तराखंड, भारत

*अनुरूपी लेखक

प्रियम कुमार*

परिचय

भारत एक कृषि प्रधान देश है, जहाँ कृषि खाद्य सुरक्षा, रोजगार सृजन, ग्रामीण विकास और आर्थिक वृद्धि में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। लाखों किसान अपनी आजीविका के लिए कृषि पर निर्भर हैं। हालाँकि, भारत में कृषि उत्पादन काफी हद तक पानी की उपलब्धता पर निर्भर करता है। देश के अनेक क्षेत्रों में मानसून वर्षा का प्रमुख स्रोत है, लेकिन वर्षा का वितरण अक्सर अनियमित और अप्रत्याशित होता है। सूखा, लंबे समय तक वर्षा न होना, अत्यधिक वर्षा तथा तापमान में वृद्धि फसलों की वृद्धि और उत्पादकता पर प्रतिकूल प्रभाव डाल सकते हैं। राजस्थान, गुजरात, महाराष्ट्र, कर्नाटक, तेलंगाना तथा अन्य सूखा-प्रभावित क्षेत्रों के शुष्क और अर्ध-शुष्क भागों में जल की कमी एक गंभीर समस्या है। पर्याप्त वर्षा वाले क्षेत्रों में भी पानी का एक बड़ा हिस्सा सतही बहाव, वाष्पीकरण अथवा जड़ों की पहुँच से नीचे गहराई में रिसने के कारण नष्ट हो सकता है। परिणामस्वरूप, फसलों को उनकी महत्वपूर्ण वृद्धि अवस्थाओं में नमी की कमी का सामना करना पड़ता है। पारंपरिक सिंचाई विधियाँ और वर्षा का पानी हमेशा फसलों की आवश्यकताओं को पूरा नहीं कर पाते। इसलिए आधुनिक कृषि में ऐसी तकनीकों की आवश्यकता है, जो पानी का संरक्षण करें और उपलब्ध जल का अधिक कुशल उपयोग सुनिश्चित करें। हाइड्रोजेल ऐसी ही एक उपयोगी तकनीक है।

2. हाइड्रोजेल का अर्थ एवं परिभाषा

(Meaning and Definition of Hydrogel)

हाइड्रोजेल जल-आकर्षी बहुलकों (Hydrophilic Polymers) का एक त्रि-आयामी जाल होता है, जो पानी में पूरी तरह घुले बिना बड़ी मात्रा में जल को अवशोषित करके अपने भीतर बनाए रख सकता है। कृषि में हाइड्रोजेल शब्द का उपयोग सामान्यतः सुपरअवशोषक बहुलकों (Superabsorbent Polymers—SAPs) के लिए किया जाता है, जिन्हें मिट्टी में मिलाया जाता है या पौधों की जड़ों के पास लगाया जाता है। इन पदार्थों का निर्माण कृत्रिम बहुलकों, प्राकृतिक बहुलकों अथवा विभिन्न पदार्थों के मिश्रण से किया जा सकता है। उनकी जल-अवशोषण क्षमता उनकी रासायनिक संरचना, मिट्टी

के प्रकार, पर्यावरणीय परिस्थितियों तथा उपलब्ध पानी की गुणवत्ता पर निर्भर करती है।

सरल शब्दों में, हाइड्रोजेल मिट्टी में एक छोटे जल-भंडार की तरह कार्य करता है। जब मिट्टी में पानी उपलब्ध होता है, तो यह उसे अवशोषित कर लेता है और आसपास की मिट्टी सूखने पर संचित पानी का कुछ भाग धीरे-धीरे छोड़ता है।

कुछ हाइड्रोजेल अनुकूल प्रयोगशाला परिस्थितियों में अपने शुष्क भार से कई सौ गुना अधिक शुद्ध पानी अवशोषित कर सकते हैं। हालाँकि, कृषि मिट्टी में उनकी वास्तविक जल-अवशोषण क्षमता सामान्यतः इससे कम होती है, क्योंकि मिट्टी का दबाव, घुले हुए लवण तथा अन्य पर्यावरणीय कारक उनके प्रदर्शन को प्रभावित करते

हैं। भारत में **पूसा हाइड्रोजेल (Pusa Hydrogel)** कृषि में उपयोग होने वाली जल-धारण तकनीक का एक उदाहरण है। भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थानों ने नमी की कमी वाली परिस्थितियों में इसकी जल उपयोग दक्षता और फसल उत्पादकता बढ़ाने की क्षमता का अध्ययन किया है।

3. मिट्टी में हाइड्रोजेल की कार्यप्रणाली (Working Mechanism of Hydrogel in Soil)

हाइड्रोजेल मुख्य रूप से पानी के अवशोषण, भंडारण और धीरे-धीरे मुक्त करने की प्रक्रिया द्वारा कार्य करता है। इसकी कार्यप्रणाली को निम्नलिखित चरणों में समझा जा सकता है।

3.1 पानी का अवशोषण: जब सिंचाई या वर्षा का पानी मिट्टी में प्रवेश करता है, तो हाइड्रोजेल के कण पानी को अवशोषित करके फूल जाते हैं। उनकी बहुलक संरचना फैलती है और उपलब्ध पानी का एक भाग अपने भीतर संचित कर लेती है।

3.2 नमी का भंडारण: अवशोषित पानी हाइड्रोजेल की फूली हुई संरचना में बना रहता है। इससे जड़ क्षेत्र के आसपास उपलब्ध पानी का कुछ भाग अधिक समय तक संरक्षित रह सकता है।

3.3 पानी का मुक्त होना: जब आसपास की मिट्टी सूखने लगती है, तो जल विभव (Water Potential) में अंतर के कारण हाइड्रोजेल से पानी आसपास की मिट्टी की ओर जाने लगता है। इसके बाद पौधों की जड़ें इस नमी के कुछ भाग को अवशोषित कर सकती हैं।

3.4 बार-बार गीला और सूखा होना: उपयुक्त हाइड्रोजेल गीला होने पर फूल सकते हैं और सूखने पर सिकुड़ सकते हैं। इससे वर्षा या सिंचाई के दौरान वे दोबारा पानी अवशोषित कर सकते हैं।

3.5 जड़ क्षेत्र में नमी में सुधार: पौधों की जड़ों के पास कुछ पानी को बनाए रखकर हाइड्रोजेल अल्पकालिक नमी की कमी के प्रभाव को कम कर सकता है और वर्षा या सिंचाई के बीच फसल की वृद्धि में सहायता कर सकता है।

इस प्रकार, हाइड्रोजेल वर्षा या सिंचाई से पहले से उपलब्ध पानी की उपयोगिता बढ़ाने का माध्यम है। यह पानी का कोई नया स्रोत उत्पन्न नहीं करता।

4. भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल का महत्व (Importance of Hydrogel in Indian Agriculture)

4.1 जल संरक्षण: भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल का सबसे महत्वपूर्ण लाभ जल संरक्षण है। अनेक कृषि क्षेत्रों में सिंचाई के लिए पानी सीमित मात्रा में उपलब्ध होता है, इसलिए उसका सावधानीपूर्वक उपयोग करना आवश्यक है। हाइड्रोजेल मिट्टी में पहुँचने वाले पानी के एक भाग को अवशोषित करके बाद में पौधों के उपयोग के लिए संचित कर सकता है।

4.2 मिट्टी में नमी धारण क्षमता में सुधार: बीजों के अंकुरण, पोषक तत्वों के अवशोषण, प्रकाश संश्लेषण और पौधों के विकास के लिए मिट्टी में पर्याप्त नमी आवश्यक है। रेतीली और मोटे कणों वाली मिट्टियों में सामान्यतः जल धारण क्षमता कम होती है तथा पानी तेजी से नीचे की ओर निकल सकता है। हाइड्रोजेल अपनी संरचना में अतिरिक्त पानी धारण करके ऐसी मिट्टियों में नमी बनाए रखने में सहायता कर सकता है।

4.3 सूखे के तनाव का प्रबंधन: भारत के अनेक राज्यों में सूखा फसल उत्पादन की प्रमुख बाधा है। वर्षा पर निर्भर कृषि में यदि कुछ समय तक वर्षा नहीं होती, तो पौधों की वृद्धि प्रभावित हो सकती है, प्रजनन संबंधी विकास में बाधा आ सकती है तथा फसल की उपज कम हो सकती है।

4.4 जल उपयोग दक्षता में सुधार: जल उपयोग दक्षता का सामान्य अर्थ है, उपलब्ध पानी की एक निश्चित मात्रा से प्राप्त कृषि उत्पादन। जल संसाधनों पर बढ़ते दबाव के कारण भारतीय कृषि में जल उपयोग दक्षता बढ़ाना आवश्यक है। उदाहरण के लिए, *Indian Journal of Agricultural Sciences* में प्रकाशित एक अध्ययन में गेहूँ की फसल पर हाइड्रोजेल के प्रयोग का परीक्षण किया गया और अध्ययन की परिस्थितियों में जल उत्पादकता में

सुधार की सूचना दी गई। ऐसे निष्कर्ष बताते हैं कि हाइड्रोजेल जल प्रबंधन में योगदान दे सकता है। हालाँकि, इसका वास्तविक लाभ फसल, सिंचाई कार्यक्रम, मिट्टी और प्रयोग की मात्रा के अनुसार बदलता है।

4.5 बीज अंकुरण और फसल स्थापना में सुधार बीज अंकुरण और पौधों की प्रारंभिक स्थापना के दौरान नमी की कमी का प्रभाव अधिक होता है। यदि बुवाई के तुरंत बाद बीज के आसपास की मिट्टी सूख जाती है, तो अंकुरण असमान हो सकता है, पौधों का निकलना देर से हो सकता है और पौधों की संख्या कम हो सकती है। बीजों या युवा जड़ों के पास उचित तरीके से लगाया गया हाइड्रोजेल शुरुआती वृद्धि के दौरान नमी बनाए रखने में मदद कर सकता है।

4.6 फसल वृद्धि और उपज में सहायता पौधों की वृद्धि के लिए पूरे जीवन चक्र में पर्याप्त पानी आवश्यक है। नमी की कमी से पत्तियों का विस्तार, प्रकाश संश्लेषण, पोषक तत्वों का अवशोषण तथा प्रजनन विकास प्रभावित हो सकता है। शुष्क अवधि के दौरान नमी की उपलब्धता बढ़ाकर हाइड्रोजेल पौधों की वृद्धि बनाए रखने और जल तनाव के कारण होने वाली उपज हानि को कम करने में सहायता कर सकता है। भारत में गेहूँ, सरसों, मक्का, धान और सब्जियों जैसी फसलों में हाइड्रोजेल पर शोध किया गया है। कुछ अध्ययनों में फसल प्रदर्शन अथवा जल उत्पादकता में सुधार पाया गया है, लेकिन लाभ की मात्रा अलग-अलग परिस्थितियों में भिन्न होती है।

5. भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल के प्रमुख उपयोग स्थानीय आवश्यकताओं के अनुसार हाइड्रोजेल का उपयोग कृषि की विभिन्न परिस्थितियों में किया जा सकता है।

5.1 खेतों की प्रमुख फसलें

हाइड्रोजेल का अध्ययन गेहूँ, सरसों, मक्का और धान जैसी प्रमुख फसलों में किया गया है। इन फसलों को अंकुरण, वानस्पतिक वृद्धि, फूल आने अथवा दाना

बनने की अवस्था में नमी की कमी का सामना करना पड़ सकता है। भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थानों ने विभिन्न सिंचाई और नमी की परिस्थितियों में इसके उपयोग का अध्ययन किया है। निष्कर्ष बताते हैं कि जहाँ पानी की उपलब्धता सीमित होती है, वहाँ कुछ परिस्थितियों में हाइड्रोजेल उपयोगी हो सकता है।

5.2 सब्जियों की खेती: सब्जियों में नमी का उचित प्रबंधन महत्वपूर्ण है, क्योंकि पानी की कमी से उपज और गुणवत्ता दोनों प्रभावित हो सकती हैं। हाइड्रोजेल पत्तागोभी तथा अन्य सब्जियों के जड़ क्षेत्र में नमी बनाए रखने में सहायता कर सकता है। उचित सिंचाई और उर्वरक प्रबंधन के साथ इसका प्रयोग फसल वृद्धि में मदद कर सकता है। हालाँकि, किसानों को यह भी देखना चाहिए कि इससे प्राप्त संभावित लाभ इसकी लागत को उचित ठहराते हैं या नहीं।

5.3 फलोद्यान फलदार पौधों को स्थापना के दौरान तथा गर्म और शुष्क अवधि में पानी की कमी का सामना करना पड़ सकता है। जड़ क्षेत्र में उचित स्थान पर लगाया गया हाइड्रोजेल युवा पौधों के आसपास नमी बनाए रखने में सहायता कर सकता है। इसे विशेष रूप से उन सूखा-प्रभावित क्षेत्रों के फलोद्यानों में उपयोग करने पर विचार किया जा सकता है, जहाँ सिंचाई जल सीमित है। पूर्ण विकसित जड़ों वाले पुराने पेड़ों की प्रतिक्रिया नए लगाए गए पौधों से अलग हो सकती है।

5.4 पौधशाला प्रबंधन पौधशालाओं में बीजों के अंकुरण, जड़ों के विकास और रोपाई के लिए उपयुक्त नमी आवश्यक होती है। हाइड्रोजेल को उपयुक्त पौध-वृद्धि माध्यम में मिलाकर उसकी जल धारण क्षमता बढ़ाई जा सकती है तथा कुछ परिस्थितियों में पानी देने की आवृत्ति कम की जा सकती है। हालाँकि, इसका उपयोग सावधानीपूर्वक करना चाहिए, क्योंकि अधिक मात्रा में हाइड्रोजेल डालने से पौध-वृद्धि माध्यम के भौतिक गुण बदल सकते हैं।

5.5 वानिकी और कृषि वानिकीशुष्क क्षेत्रों में लगाए गए वृक्षों के पौधे वर्षा और मिट्टी की नमी की कमी के कारण सूख सकते हैं। हाइड्रोजेल पौधों की स्थापना के दौरान उनकी जड़ों के आसपास नमी बनाए रखने में मदद कर सकता है। इसलिए यह वनीकरण, कृषि वानिकी तथा शुष्क क्षेत्रों में वृक्षारोपण के लिए एक सहायक तकनीक हो सकता है। हालाँकि, पौधों की सफल स्थापना के लिए उपयुक्त प्रजाति, रोपण का समय, मिट्टी की तैयारी, पशुओं से सुरक्षा तथा पर्याप्त वर्षा या सिंचाई भी आवश्यक हैं।

6. भारतीय परिस्थितियों में हाइड्रोजेल और पूसा हाइड्रोजेल की भूमिका

भारत की विविध जलवायु और मिट्टी की परिस्थितियों के कारण कृषि में जल प्रबंधन की चुनौतियाँ अलग-अलग क्षेत्रों में भिन्न होती हैं। राजस्थान और गुजरात के कुछ हिस्सों में नमी की कमी एक प्रमुख समस्या है, जबकि अन्य क्षेत्रों में पर्याप्त मानसूनी वर्षा के बावजूद मौसमी शुष्क अवधि आ सकती है। इन समस्याओं के समाधान के लिए भारतीय कृषि अनुसंधान में खेती के अनुकूल सुपरअवशोषक बहुलकों का अध्ययन किया गया है। पूसा हाइड्रोजेल इसका एक प्रमुख उदाहरण है। इसका उपयोग सीमित जल उपलब्धता की परिस्थितियों में मिट्टी की नमी और फसल प्रदर्शन में सुधार के लिए अध्ययन किया गया है। गेहूँ, सरसों तथा अन्य फसलों पर हुए शोध से पता चलता है कि हाइड्रोजेल की प्रभावशीलता बहुलक के प्रकार, फसल, सिंचाई व्यवस्था और मिट्टी की परिस्थितियों के संयुक्त प्रभाव पर निर्भर करती है। ये निष्कर्ष उत्साहजनक हैं, लेकिन इसका अर्थ यह नहीं है कि प्रत्येक फसल या खेत में समान लाभ मिलेगा। किसानों को स्थानीय परीक्षणों और संबंधित हाइड्रोजेल उत्पाद की विशेषताओं पर आधारित फसल-विशिष्ट सिफारिशों का पालन करना चाहिए।

7. हाइड्रोजेल के लाभ

कृषि में हाइड्रोजेल के प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं:

1. **मिट्टी में नमी बनाए रखना:** यह पौधों की जड़ों के पास अतिरिक्त पानी को संचित कर सकता है।
2. **सूखा प्रबंधन में सहायता:** यह फसलों को अल्पकालिक शुष्क अवधि सहन करने में मदद कर सकता है।
3. **पानी की संभावित बचत:** उपयुक्त परिस्थितियों में यह वर्षा या सिंचाई के पानी की उपयोगिता बढ़ा सकता है।
4. **फसल स्थापना में सुधार:** यह बीज अंकुरण और शुरुआती पौध वृद्धि में सहायता कर सकता है।
5. **उपज में संभावित वृद्धि:** नमी के प्रति संवेदनशील फसलों में पानी की कमी से होने वाली उपज हानि कम हो सकती है।
6. **जड़ क्षेत्र की स्थिति में सुधार:** यह जड़ों के आसपास अनुकूल नमी बनाए रखने में मदद कर सकता है।
7. **पोषक तत्वों की हानि में संभावित कमी:** यह तेज जल निकास से संबंधित कुछ पोषक तत्वों की हानि कम कर सकता है।
8. **विभिन्न कृषि प्रणालियों में उपयोग:** इसका उपयोग खेतों की फसलों, सब्जियों, फलोद्यानों, पौधशालाओं और वानिकी में किया जा सकता है।
9. **वर्षा आधारित खेती में सहायता:** यह सीमित सिंचाई वाले क्षेत्रों में नमी उपलब्धता को कुछ समय तक बनाए रखने में मदद कर सकता है।
10. **एकीकृत जल प्रबंधन के साथ उपयोग:** इसे मल्लिचिंग, ड्रिप सिंचाई और अन्य जल संरक्षण तकनीकों के साथ अपनाया जा सकता है।

इन लाभों का वास्तविक महत्व स्थानीय परिस्थितियों, हाइड्रोजेल की गुणवत्ता और उसके उचित प्रयोग पर निर्भर करता है।

8. हाइड्रोजेल की सीमाएँ और चुनौतियाँ

संभावित लाभों के बावजूद, बड़े स्तर पर उपयोग से पहले हाइड्रोजेल की कुछ सीमाओं को समझना आवश्यक है।

8.1 प्रारंभिक लागत अधिक होना

कृषि हाइड्रोजेल खरीदने से खेती की लागत बढ़ सकती है। छोटे और सीमांत किसानों के लिए अतिरिक्त खर्च एक महत्वपूर्ण बाधा हो सकता है।

8.2 प्रदर्शन में भिन्नता

हाइड्रोजेल सभी मिट्टियों और जलवायु परिस्थितियों में समान रूप से प्रभावी नहीं होता। मिट्टी की बनावट, लवणता, तापमान, दबाव, वर्षा और सिंचाई पद्धति इसके जल-अवशोषण और जल-मुक्ति को प्रभावित कर सकते हैं।

8.3 खेत में सीमित जल भंडारण क्षमता

कुछ हाइड्रोजेल प्रयोगशाला में शुद्ध पानी की बहुत अधिक मात्रा अवशोषित कर सकते हैं, लेकिन मिट्टी में उनकी वास्तविक क्षमता सामान्यतः कम होती है।

8.4 पर्यावरणीय चिंताएँ

कुछ कृत्रिम बहुलक पर्यावरण में लंबे समय तक बने रह सकते हैं या समय के साथ छोटे कणों में टूट सकते हैं। उनका दीर्घकालिक व्यवहार बहुलक की संरचना, अपघटन की परिस्थितियों और मिट्टी के गुणों पर निर्भर करता है।

8.5 सही प्रयोग की आवश्यकता

गलत तरीके से प्रयोग करने पर हाइड्रोजेल की प्रभावशीलता कम हो सकती है और लागत बढ़ सकती है। अधिक मात्रा में प्रयोग, गलत गहराई पर उपयोग अथवा अनुपयुक्त उत्पाद चुनने से असंतोषजनक परिणाम मिल सकते हैं।

9. हाइड्रोजेल के प्रभावी उपयोग की विधियाँ

हाइड्रोजेल की प्रभावशीलता उसके सही चयन और उचित प्रयोग पर निर्भर करती है।

9.1 उपयुक्त उत्पाद का चयन: किसानों को कृषि उपयोग के लिए विशेष रूप से निर्मित हाइड्रोजेल का चयन करना चाहिए। खरीदने से पहले उसकी संरचना, प्रयोग विधि, फसल के लिए उपयुक्तता और पर्यावरणीय विशेषताओं की जानकारी प्राप्त करनी चाहिए।

9.2 अनुशंसित मात्रा में प्रयोग: हाइड्रोजेल की सही मात्रा उत्पाद, फसल, मिट्टी और प्रयोग के उद्देश्य के अनुसार बदलती है। किसानों को निर्माता के निर्देशों तथा कृषि विश्वविद्यालयों या कृषि विज्ञान केंद्रों (KVKs) की स्थानीय रूप से प्रमाणित सिफारिशों का पालन करना चाहिए।

9.3 जड़ क्षेत्र में उचित स्थान पर प्रयोग: हाइड्रोजेल को ऐसे स्थान पर डालना चाहिए, जहाँ वह विकसित होती जड़ों के लिए नमी उपलब्ध कराने में सहायता कर सके। प्रयोग की गहराई और विधि इस बात पर निर्भर करती है कि इसका उपयोग बीज बोने, रोपाई, खेत की फसल या फलदार पौधों के लिए किया जा रहा है।

9.4 सिंचाई प्रबंधन के साथ उपयोग: हाइड्रोजेल को सिंचाई के विकल्प के रूप में नहीं, बल्कि कुशल सिंचाई पद्धतियों के साथ अपनाना चाहिए। ड्रिप सिंचाई, समय पर पानी देना और उचित सिंचाई कार्यक्रम सीमित जल संसाधनों के बेहतर प्रबंधन में सहायता कर सकते हैं।

9.5 मल्टिप्लेक्सिंग के साथ प्रयोग: मल्टिप्लेक्सिंग मिट्टी की सतह से सीधे होने वाले वाष्पीकरण को कम करती है। उपयुक्त हाइड्रोजेल के साथ मल्टिप्लेक्सिंग अपनाने से मिट्टी की नमी के संरक्षण में अतिरिक्त सहायता मिल सकती है।

10. भारतीय किसानों के लिए हाइड्रोजेल का आर्थिक महत्व

1. हाइड्रोजेल का आर्थिक महत्व जल की कमी के प्रभावों को कम करने और कृषि संसाधनों की उत्पादकता बढ़ाने की इसकी संभावित क्षमता में निहित है।
2. इसके संभावित आर्थिक लाभों में उपयुक्त परिस्थितियों में सिंचाई की आवश्यकता में कमी, बेहतर फसल स्थापना, उर्वरकों का अधिक प्रभावी उपयोग तथा उपज में वृद्धि या स्थिरता शामिल हैं।
3. हालाँकि, इन लाभों का मूल्यांकन उत्पाद की कीमत, श्रम, प्रयोग लागत और अतिरिक्त प्रबंधन आवश्यकताओं को ध्यान में रखकर किया जाना चाहिए।
4. छोटे और सीमांत किसानों के लिए कोई तकनीक तभी उपयोगी है, जब उससे प्राप्त लाभ उसकी लागत को उचित ठहराएँ। इसलिए स्थानीय प्रदर्शन और आर्थिक मूल्यांकन आवश्यक हैं।
5. हाइड्रोजेल को व्यापक स्तर पर तभी बढ़ावा दिया जाना चाहिए, जब विश्वसनीय प्रमाण यह दिखाएँ कि इससे व्यावहारिक और आर्थिक रूप से उचित लाभ प्राप्त होता है।

11. भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल की भविष्य की संभावनाएँ

भारतीय कृषि में हाइड्रोजेल का भविष्य वैज्ञानिक नवाचार, पर्यावरणीय सुरक्षा, कम लागत और किसानों की जागरूकता पर निर्भर करता है।

11.1 कम लागत वाले उत्पादों का विकास: शोध का ध्यान ऐसे किफायती हाइड्रोजेल विकसित करने पर होना चाहिए, जिनका उपयोग छोटे और सीमांत किसान भी कर सकें। कम कीमत वाले उत्पाद सूखा-प्रभावित क्षेत्रों के किसानों के लिए इस तकनीक को अधिक सुलभ बना सकते हैं।

11.2 जैव-अपघटनीय हाइड्रोजेल का विकास: उपयुक्त प्राकृतिक बहुलकों से बने जैव-अपघटनीय पदार्थ लंबे समय तक पर्यावरण में बने रहने वाले कृत्रिम पदार्थों से संबंधित चिंताओं को कम करने के अवसर प्रदान कर सकते हैं। हालाँकि, उनकी दीर्घकालिक पर्यावरणीय सुरक्षा और खेतों में प्रभावशीलता का उचित मूल्यांकन आवश्यक है।

11.3 फसल-विशिष्ट सिफारिशें: विभिन्न फसलों की जड़ प्रणालियाँ और जल आवश्यकताएँ अलग-अलग होती हैं। इसलिए विभिन्न मिट्टी और जलवायु परिस्थितियों में प्रमुख भारतीय फसलों के लिए उपयुक्त हाइड्रोजेल मात्रा और प्रयोग विधियों की सिफारिशें विकसित की जानी चाहिए।

11.4 आधुनिक सिंचाई प्रणालियों के साथ एकीकरण: हाइड्रोजेल का उपयोग ड्रिप सिंचाई, फर्टिगेशन, मल्टिंग और मिट्टी की नमी की निगरानी जैसी तकनीकों के साथ किया जा सकता है। उचित तकनीकों का संयोजन केवल एक तकनीक पर निर्भर रहने की तुलना में बेहतर परिणाम दे सकता है।

11.5 जलवायु-अनुकूल कृषि में बढ़ती भूमिका: जलवायु में परिवर्तनशीलता के कारण ऐसी कृषि पद्धतियों की आवश्यकता बढ़ रही है, जो फसलों को अनिश्चित वर्षा और नमी की कमी की छोटी अवधियों का सामना करने में मदद करें। सूखा-सहिष्णु किस्मों, वर्षा जल संचयन, बेहतर मृदा प्रबंधन और उपयुक्त फसल प्रणालियों के साथ हाइड्रोजेल जलवायु-अनुकूल कृषि में योगदान दे सकता है।

11.6 किसान शिक्षा और विस्तार सेवाएँ: कृषि विश्वविद्यालय, कृषि विज्ञान केंद्र, अनुसंधान संस्थान और कृषि विस्तार एजेंसियाँ किसानों को हाइड्रोजेल के लाभों तथा सीमाओं के बारे में जागरूक कर सकती हैं। प्रशिक्षण कार्यक्रमों और खेत प्रदर्शनों के माध्यम से उत्पाद का चयन, प्रयोग विधि, पर्यावरणीय सावधानियाँ और आर्थिक व्यवहार्यता से संबंधित व्यावहारिक जानकारी प्रदान की जानी चाहिए।



निष्कर्ष

हाइड्रोजेल भारतीय कृषि में मिट्टी की नमी के प्रबंधन को बेहतर बनाने वाली एक संभावनाशील तकनीक है। पानी को अवशोषित करके संचित रखने और उसका कुछ भाग पौधों के लिए उपलब्ध कराने की इसकी क्षमता इसे सूखा, अनियमित वर्षा और सीमित सिंचाई की परिस्थितियों में उपयोगी बना सकती है। इसके संभावित लाभों में मिट्टी की नमी बनाए रखना, पौधों की स्थापना में सहायता, नमी के तनाव को कम करना, जल उपयोग दक्षता में सुधार तथा उपयुक्त परिस्थितियों में फसल प्रदर्शन को बेहतर बनाना शामिल हैं। पूरा हाइड्रोजेल सहित विभिन्न कृषि हाइड्रोजेल पर हुए शोध ने कुछ फसलों और कृषि परिस्थितियों में उत्साहजनक परिणाम दिए हैं। हालाँकि, हाइड्रोजेल भारत की कृषि संबंधी जल समस्याओं का सार्वभौमिक समाधान नहीं है। इसकी प्रभावशीलता फसल, मिट्टी, जलवायु, उत्पाद की विशेषताओं, प्रयोग की मात्रा और कृषि प्रबंधन पद्धतियों पर निर्भर करती है। लागत, पर्यावरण में लंबे समय तक बने रहने की संभावना तथा दीर्घकालिक प्रभावों से संबंधित मुद्दों पर भी ध्यान देना आवश्यक है।

इसलिए हाइड्रोजेल को सिंचाई, वर्षा या वैज्ञानिक कृषि पद्धतियों के विकल्प के रूप में नहीं, बल्कि एकीकृत जल प्रबंधन के हिस्से के रूप में अपनाया जाना चाहिए। वैज्ञानिक अनुसंधान, स्थानीय सिफारिशों, किसान प्रशिक्षण और उचित पर्यावरणीय सुरक्षा उपायों के साथ इसका उपयोग भारत में जल के अधिक कुशल उपयोग और कृषि उत्पादन की स्थिरता बढ़ाने में योगदान दे सकता है।

संदर्भ सूची

- Narjary, B., Aggarwal, P., Kumar, S. एवं Meena, M. D. (2013). "Significance of Hydrogel and Its Application in Agriculture." *Indian Farming*, 62(10). भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद (ICAR)
- Biswas, S., Singh, P., Rajanna, G. A. एवं Singh, A. (2023). "Effect of Hydrogel Application on Soil Health and Crop Productivity under Soybean-Wheat Cropping System in Indo-Gangetic Plains of India." *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 71(3), 309–318।

“Wheat (*Triticum aestivum*) Crop Response to Irrigation Scheduling and Super Absorbent Polymers.” *The Indian Journal of Agricultural Sciences* |

Ashraf, A. M., Ragavan, T. एवं Begam, S. N. (2021). “Superabsorbent Polymers (SAPs) Hydrogel: Water Saving Technology for Increasing Agriculture

Productivity in Drought Prone Areas: A Review.” *Agricultural Reviews*, 42(2), 183–189 |

“Production Potential, Water Productivity and Economic Feasibility of Indian Mustard under Deficit and Adequate Irrigation Scheduling with Hydrogel.” *The Indian Journal of Agricultural SCIENCE*