भूजल डेटिंग का महत्व

गोपाल कृष्ण
राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रूडकी

प्रस्तावना

भूजल डेटिंग जलविज्ञान का एक महत्वपूर्ण पहलू है जिसमें भूजल की उम्र का निर्धारण करना शामिल है, जो इसकी रिचार्ज दरों और संभावित संदूषण को समझने के लिए आवश्यक है। भूजल की आयु रिचार्ज किए जाने के बाद से जलभृत में बीतने के समय को संदर्भित करने के साथ भूजल प्रवाह पथ और निवास समय को दर्शाती है, और पिछले जलवायु परिस्थितियों का पुनर्निर्माण करती है। यह जानकारी भूजल संसाधनों के नवीनीकरण का आंकलन करने, साझा जल आपूर्ति को प्रदूषण से बचाने और प्रभावी ढंग से प्रबंधित करने के लिए महत्वपूर्ण है।

20वीं शताब्दी के मध्य में भूजल डेटिंग की अवधारणा रेडियोकार्बन डेटिंग के विकास के साथ उभरी। तब से इसके लिए विभिन्न तरीकों को विकसित किया गया है, जिसमें ट्रिटियम डेटिंग और क्लोरोफ्लोरोकार्बन (सीएफसी) डेटिंग शामिल हैं। ये विधियाँ विश्लेषणात्मक तकनीकों में प्रगति और नए ट्रेसर की खोज के साथ समयानुसार विकसित हुईं।

जनसंख्या घनत्व में वृद्धि से अक्सर भूजल की मांग में तीव्र वृद्धि होती है। एक बार मनुष्यों का निवास या उद्योग स्थापित हो जाने के बाद, उनकी जलापूर्ति को सीमित करना बहुत कठिन है। भूजलदायकों में निश्चित समय अंतराल पर जल की आयु को मापने से (हर पांच साल में एक बार), भूजल के अत्यधिक दोहन की पहचान करना संभव होगा।

भूजल आयु एवं भूजल निवास समय

भूजल की आयु को उस समय की अवधि को पानी के अणु के असंतृप्त क्षेत्र में प्रवेश करने से लेकर जलभृत में विशिष्ट स्थान तक पहुंचने के रूप में परिभाषित किया गया है। जहां तो भौतिक रूप से या आयु–डेटिंग के लिए सैद्धांतिक रूप से अध्ययन किया जाता है। दूसरी ओर, भूजल निवास का समय वह समय होता है जो पानी के कणों को पुनःपूरण क्षेत्र से जलभृत के निर्वहन क्षेत्र तक यात्रा करने के लिए लगता है। इस परिभाषा के अनुसार, अधिकांश शोधकर्ताओं के लिए उनके अध्ययन में भूजल की उम्र का उपयोग किया जाता है न कि इसके निवास समय का। कोई यह भी सुझाव दे सकता है कि भूजल आयु, भूजल निवास समय है, लेकिन केवल निर्वहन क्षेत्र में भूजल आयु भूजल निवास समय के बराबर होती है।

जहां तक सापेक्ष आयु का सवाल है, भूजल को तीन प्रमुख समूहों में विभाजित किया गया हैः ताजा, पुराना और बहुत पुराना। उपलब्ध डेटिंग विधियों द्वारा कवर किए गए युगों की सीमा, भूजल की विभिन्न आयु के बीच अंतर करने और वर्गीकृत करने में महत्वपूर्ण मानदंड है। ताजे भूजल को उन तकनीकों का उपयोग करके दिनांकित किया जा सकता है जिनकी डेटिंग रेंज एक वर्ष से भी कम से लेकर लगभग 50 या 60 साल के थर्मोन्यूक्लियर बम युग तक फैली हुई है। पुराने भूजल को उन तरीकों के साथ दिनांकित किया जा सकता है जिनकी सीमा 60 से 50,000 वर्ष के बीच है। अंत में, बहुत पुराने भूजल को उन तकनीकों का उपयोग करके दिनांकित किया जा सकता है जिनकी कवरेज 50,000–100,000 या अधिक वर्षों तक है।

भूजल डेटिंग के प्रमुख पहलू

भूजल डेटिंग में जलविज्ञान में अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला है, जिसमें भूजल प्रवाह और रिचार्ज पुनःपूरण को समझना, संभावित संदूषण स्रोतों की पहचान करना और भूजल संसाधनों का प्रबंधन करना शामिल है।

भूजल प्रवाह और पुनःपूरण दरों को समझना

डेटिंग यह निर्धारित करने में मदद करती है कि भूजल को कितनी जल्दी पुनःपूरित कर दिया जा रहा है और इसमें शामिल प्रक्रियाएं पानी के उपयोग के प्रबंधन के लिए आवश्यक हैं।

भूजल डेटिंग, भूजल प्रवाह पद्धति और पुनःपूरण दरों में मूल्यवान अंतर्दृष्टि प्रदान कर सकती है। विभिन्न स्थानों और गहराई पर भूजल की उम्र का निर्धारण करके, भूजल प्रवाह की दिशा और दर का अनुमान लगाना संभव है।

उदाहरण के लिए, लेखक द्वारा पंजाब में जलोढ कछार मैदानों के जलदायक में, एक अध्ययन में, भूजल की उम्र निर्धारित करने और पुनःपूरण दरों और प्रवाह पद्धति का अनुमान लगाने के लिए ट्रिटियम विश्लेषण तकनीक का उपयोग किया ।

जलदायक भेद्यता

भूजल की आयु जानने से उथले जलदायकों की पहचान करने में सहायता मिलती है जो सतह की गतिविधियों से संदूषण के लिए अधिक अतिसंवेदनशील हो सकते हैं, जिससे लक्षित सुरक्षा प्रयासों की आवश्यकता होती है।

संभावित संदूषण स्रोतों की पहचान करना

भूजल की उम्र को ज्ञात कर, यह संभव है कि इसमें प्रदूषण की घटनाओं के समय को शामिल किया जा सके और इसका पता लगाया जा सके।

संभावित संदूषण स्रोतों की पहचान करने के लिए भूजल डेटिंग का भी उपयोग किया जा सकता है। संदूषित भूजल की उम्र का निर्धारण करके, संदूषण के संभावित स्रोत और संदूषण घटना के समय का अनुमान लगाना संभव है।

उदाहरण के लिए, लेखक द्वारा पंजाब के बिष्ट दोआब कृषि क्षेत्र में, एक अध्ययन में, भूजल में नाइट्रेट संदूषण के स्रोत की पहचान करने के लिए CFC डेटिंग का उपयोग किया गया।

भूजल संसाधनों को दीर्घकालीन अवधि के लिए प्रबंधित करना

भूजल डेटिंग की जानकारी जल संसाधनों की योजना और प्रबंधन के लिए महत्वपूर्ण है, जिससे सुरक्षित पेयजल की दीर्घकालिक उपलब्धता सुनिश्चित होती है।

भूजल की डेटिंग, भूजल संसाधनों को लगातार प्रबंधित करने के लिए आवश्यक है। भूजल प्रवाह पद्धति, पुनःपूरण दरों और निवास समय को ज्ञात करने से, प्रभावी प्रबंधन रणनीतियों को विकसित करना संभव है जो भूजल संसाधनों की दीर्घकालिक उपलब्धता सुनिश्चित करते हैं।

उदाहरण के लिए, लेखक द्वारा विश्व बैंक पोषित राष्ट्रीय जलविज्ञान परियोजना में हरियाणा के मेवात के अर्ध–शुष्क क्षेत्र में एक अध्ययन के अन्तर्गत पुनःपूरण दरों को निर्धारित करने और एक स्थायी भूजल प्रबंधन योजना विकसित करने हेतु ट्रिटियम डेटिंग तकनीक का उपयोग किया गया।

पूर्व–जलवायु (Paleoclimate) पुनर्निर्माण

भूजल एक मूल्यवान संग्रह के रूप में काम कर सकता है। यह डेटिंग तकनीकों के साथ विगत जलवायु परिस्थितियों को फिर से संगठित करने में सहायता करता है, जो वर्तमान जल संसाधन उपलब्धता के लिए संदर्भ प्रदान करता है।

भूजल डेटिंग की विधियाँ

भूजल को डेट करने के लिए कई तरीकों का अपने स्वयं के सिद्धांतों, अनुप्रयोगों और सीमाओं के साथ उपयोग किया जाता है, प्रत्येक विधि का उपयोग अध्ययन के विशिष्ट उद्देश्यों और भूजल प्रणाली की विशेषताओं पर निर्भर करता है। भूजल की आयु पानी में भंग आयु–विशिष्ट अनुरेखकों की एकाग्रता को मापकर निर्धारित की जाती है। इनमें शामिल हैंः स्वाभाविक रूप से प्रयोग होने वाले समस्थानिकः जैसे कि ट्रिटियम (^3H) या कार्बन –14 (c)।

ट्रिटियम (^3H)

ट्रिटियम (^3H) लगभग 12.32 वर्षों के आधे जीवन के साथ हाइड्रोजन का एक रेडियोधर्मी समस्थानिक है। यह वातावरण में स्वाभाविक रूप से उत्पादित किया जाता है और परमाणु परीक्षण के माध्यम से पर्यावरण में पेश किया जाता है। ट्रिटियम डेटिंग का उपयोग ताजे भूजल की उम्र को निर्धारित करने के लिए किया जाता है जो आमतौर पर 50 साल से कम पुराना होता है। ट्रिटियम डेटिंग का उपयोग विभिन्न जलदायकों में भूजल पुनःपूरण दरों और प्रवाह पद्धतियों का अध्ययन करने के लिए किया जाता है।

ट्रिटियम (^3H)/हीलियम (^3He)

डेटिंग ट्रिटियम (^3H) के क्षय और इससे उत्पादित, हीलियम (^3He) के संचय का मापन ताजा भूजल की उम्र का निर्धारण करने का एक शक्तिशाली तरीका है। यह तकनीक 50 वर्ष से कम के निवास समय के भूजल के लिए विशेष रूप से प्रभावी है। इस विधि में ट्रिटियोजेनिक ($He_ \{^3H\}$) की गणना शामिल है। ट्रिटियम क्षय द्वारा उत्पादित हीलियम, और इसका

उपयोग करते हुए, शेष ट्रिटियम एकाग्रता के साथ, एक गणितीय समीकरण में भूजल आयु का निर्धारण करने की यह एक उपयोगी विधि है। इस विधि का उपयोग भूजल पुनःपूरण और निस्सरण दरों का आंकलन करने, भूजल प्रवाह और जलदायकों में परिवहन को समझने, भूजल संसाधनों पर जलवायु परिवर्तन और भूमि के उपयोग के प्रभाव का मूल्यांकन करने और भूजल में दूषित पदार्थों की आवाजाही की पहचान करके पेयजल की आपूर्ति की सुरक्षा के लिए किया जा सकता है।

कार्बन –14 (^{14}C)

रेडियोकार्बन डेटिंग भूजल की डेटिंग के लिए सबसे व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले तरीकों में से एक है। यह रेडियोधर्मी कार्बन –14 के क्षय द्वारा लगभग 5,730 वर्षों के आधे जीवन पर आधारित है। यह विधि भूजल के लिए लागू होती है, जिसकी आयु कुछ सौ से लेकर लगभग 40,000 से 50,000 वर्षों तक होती है। रेडियोकार्बन डेटिंग का उपयोग व्यापक रूप से भूजल प्रवाह पद्धति, पुनःपूरण दरों और दुनिया भर में विभिन्न जलदायकों में निवास समय का अध्ययन करने के लिए किया जाता है।

वायुमंडलीय गैसें

क्लोरोफ्लोरोकार्बन (SF)

सीएफसी सिंथेटिक यौगिक हैं जो व्यापक रूप से रेफ्रिजरेंट और प्रोपेलेंट के रूप में उपयोग किए जाते थे, जब तक कि उनके उत्पादन को ओजोन की कमी में उनके योगदान के कारण चरणबद्ध नहीं किया गया था। सीएफसी को मानव गतिविधियों के माध्यम से पर्यावरण में पेश किया गया है, और वातावरण में उनकी सांद्रता को अच्छी तरह से प्रलेखित किया गया है।

सीएफसी डेटिंग, भूजल में सीएफसी सांद्रता के मापन पर आधारित है और समय के साथ ज्ञात वायुमंडलीय सांद्रता से उनकी तुलना करती है। भूजल की आयु को पुनःपूरण के संबंधित वर्ष में सीएफसी एकाग्रता से मेल करके निर्धारित किया जा सकता है। CFC डेटिंग 1940 के दशक से लेकर वर्तमान तक की उम्र के साथ भूजल पर लागू होती है। इसका उपयोग भूजल पुनःपूरण दरों, प्रवाह पैटर्न और संदूषण स्रोतों का अध्ययन करने के लिए किया जाता है।

नोबल गैसें

यह विधि इस तथ्य पर निर्भर करती है कि पानी में नोबल गैसों की घुलनशीलता तापमान पर निर्भर है। पानी वायुमंडलीय गैसों को घोल देता है क्योंकि यह मिट्टी में घुसपैठ करता है और जलदायक का पुनःपूरण करता है, जिसमें पुनःपूरण के समय मिट्टी के तापमान को दर्शाते हुए सांद्रता होती है।

नोबल गैसों का उपयोग करके भूजल डेटिंग में दो मुख्य दृष्टिकोण शामिल हैं: रिचार्ज तापमान और अतिरिक्त हवा का निर्धारण करने के लिए स्थिर नोबल गैस विश्लेषण, और प्रत्यक्ष आयु निर्धारण के लिए नोबल गैस रेडियोसोटोप्स का उपयोग। हीलियम, नियॉन, आर्गन, क्रिप्टन, और क्सीनन जैसी स्थिर नोबल गैसें रिचार्ज के समय की स्थितियों को दर्शाती हैं, जिससे पेलियोटेम्परेचर के पुनर्निर्माण की अनुमति मिलती है और अतिरिक्त वायु संचय जैसी प्रक्रियाओं की पहचान होती है। रेडियोधर्मी आइसोटोप्स 39AR (लगभग 269 वर्षों का आधे जीवन) और 85kR (लगभग 10.74 वर्षों का आधे जीवन) का उपयोग पिछले कुछ सौ से हजार वर्षों में भूजल में डेटिंग के लिए किया जाता है, जिसमें एटम ट्रैप ट्रेस एनालिसिस (ATTA) जैसी तकनीकों में इन स्वाभाविक रूप से होने वाली ट्रेसर के लिए पता लगाने की क्षमताओं में सुधार होता है। ये समस्थानिक आदर्श ट्रेसर हैं क्योंकि वे रासायनिक रूप से निष्क्रिय हैं और जलदायक तंत्र में जैविक या रासायनिक प्रतिक्रियाओं से काफी प्रभावित नहीं होते हैं, जिससे वे 'रूढ़िवादी' ट्रेसर बन जाते हैं।

भूजल आयु आंकड़े के अनुप्रयोग

भूजल आयु आंकड़ों का उपयोग भूजल जलाशयों की नवीकरणीयता का मूल्यांकन जैसे भूजल प्रवाह और परिवहन मॉडल के मापदंडों को बाधित करने, भूजल प्रवाह पथों और ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज प्रवाह वेगों का अध्ययन करने, पेलियोक्लिमेट की स्थिति (समस्थानिकों के साथ संयोजन में) की पहचान करने के लिए किया जा सकता है। पानी के वेलिंस को निर्धारित करने, फ्रैक्चर और मैट्रिक्स को निर्धारित भूजल प्रदूषण के पिछले समुद्री जल स्तर के उतार–चढ़ाव की पहचान करने, भूजल–चालित शुष्क भूमि लवणता का प्रबंधन करने, भूजल प्रणालियों की संवेदनशीलता संदूषण, और कई और जलविज्ञानीय अनुप्रयोगों जैसे कि मिश्रण, भूजल–सतह जल बातचीत, और समुद्री जल घुसपैठ में इसका उपयोग किया जाना चाहिए।

जलदायकों के अतिदोहन और संदूषण की रोकथाम

जलदायकों के अतिदोहन और संदूषण की रोकथाम

यदि भूजल, का दोहन किया जा रहा है, तो समय के साथ यह उम्र में बढ़ता है (पुराना और पुराना हो जाता है), इसका मतलब है कि पानी को एक उच्च अनुपात में धीमी गति से चलने वाले भंडारण से खींचा जाता है। इसके विपरीत, यदि भूजल की उम्र कम हो रही है, तो इसका मतलब है कि दोहित किये गए पानी का एक उच्च अनुपात सक्रिय वर्तमान पुनःपूरित जल से प्राप्त होता है। इससे पता चलता है कि या तो पंपिंग दर में वृद्धि हुई है या पानी का स्रोत बदल गया है (यानी, वर्षा रिचार्ज के बजाय नदी रिचार्ज)। यह स्थिति यद्यपि भूजल खनन का अर्थ नहीं है, लेकिन यह संदूषण के संदर्भ में एक अच्छा संकेत नहीं हो सकता है। अतः अच्छी तरह से क्षेत्रों से भूजल की नियमित डेटिंग जलदायक के शोषण और संदूषण की निगरानी, समझने और नियंत्रित करने के लिए एक उपयुक्त तंत्र प्रदान कर सकती है।

भूजल डेटिंग की सीमाएं और चुनौतियां

यद्यपि भूजल डेटिंग भूजल प्रणालियों को समझने के लिए एक शक्तिशाली तंत्र है, परन्तु इसकी भी कुछ सीमाएं एवं चुनौतियां हैं।

नमूना और विश्लेषणात्मक चुनौतियां

नमूना और विश्लेषणात्मक चुनौतियां भूजल डेटिंग की महत्वपूर्ण सीमाएं हैं। भूजल के नमूनों को संदूषण से बचने और सटीक परिणाम सुनिश्चित करने के लिए सावधानी से एकत्र और संरक्षित किया जाना चाहिए।

भूजल डेटिंग के लिए उपयोग की जाने वाली विश्लेषणात्मक तकनीकों को विशेष उपकरण और विशेषज्ञता की आवश्यकता होती है। उदाहरण के लिए, रेडियोकार्बन डेटिंग के लिए त्वरक द्रव्यमान स्पेक्ट्रोमेट्री (AMS) या तरल स्किन्टिलेशन काउंटिंग (LLC) के उपयोग की आवश्यकता होती है।

परिणामों की व्याख्या

भूजल डेटिंग परिणामों की व्याख्या के लिए विधि की अंतर्निहित मान्यताओं और सीमाओं पर सावधानीपूर्वक विचार करने की आवश्यकता है। उदाहरण के लिए, रेडियोकार्बन डेटिंग मानता है कि भूजल को आधुनिक कार्बन से दूषित नहीं किया गया है, जो परिणामों की सटीकता को प्रभावित कर सकता है।

भूजल डेटिंग अनुसंधान में भविष्य के लिए निर्देश

भूजल डेटिंग में भविष्य के शोध में मौजूदा तकनीकों की शुद्धता में सुधार करने के साथ–साथ नए तरीकों और अनुरेखकों को विकसित करने पर ध्यान केंद्रित करने की संभावना है।

हिंदी भारत की अखंडता और एकता की पहचान है!
हिंदी भाषा होना ही भारतीयता होने की पहचान है!

हिंदी से ही तो निज मातृभूमि का सम्मान है!
हिंदी में निहित संपूर्ण सृष्टि का ज्ञान है!