भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 32 अंक (1) जून 2024 पृ. 13-22
DOI: 10.56042/bvaap.v32i1.7216

प्राकृतिक विकिरण संपर्क का मूल्यांकन

भानु प्रकाश सिंह
भौतिकी विभाग, अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय, अलीगढ़-202002 (उत्तर प्रदेश)
ई-मेलः bpsinghamu@gmail.com

सारांश

पृथ्वी के पर्यावरण के भीतर प्राकृतिक विकिरण की उत्पत्ति की खोज इसकी ऐतिहासिक प्रगति, स्वास्थ्य और पर्यावरणीय प्रभावों और इन स्रोतों के आवश्यक मूल्यांकन और विनियमन को कवर करती है। यह, जोखिम के तरीकों, स्वास्थ्य प्रभावों, विनियमों और भविष्य की चुनौतियों को शामिल करते हुए सुरक्षा उपायों को समझने और स्थापित करने की आवश्यकता को रेखांकित करता है। वास्तव में, ब्रह्मांडीय, स्थलीय और आंतरिक तत्व प्राकृतिक विकिरण में योगदान करते हैं। बाहरी अंतरिक्ष से आने वाली महाकाशीय किरणें, यूरेनियम जैसे स्थलीय स्रोत और शरीर के भीतर से आंतरिक अवशोषण स्वास्थ्य जोखिम पैदा कर सकता है। रोएंटजेन, ग्रे, सीवर्ट और बेकरेल जैसी इकाइयाँ विकिरण की मात्रा और जोखिम को मापने के लिए उपयोग की जाती हैं, जो स्वास्थ्य और पर्यावरण की सुरक्षा के लिए महत्वपूर्ण हैं। थर्मोल्यूमिनसेंट डोसीमीटर (TLD), ऑप्टिकल स्टिमुलेटेड लुमिनसेंस (OSL) डोसीमीटर और गामा स्पेक्ट्रोमेट्री जैसे संपर्क मूल्यांकन उपकरण विकिरण की मात्रा मापते हैं और रेडियोधर्मी समस्थानिक की पहचान करते हैं। जैविक डोसीमेट्री जीवों पर विकिरण प्रभावों का मूल्यांकन करती है, और स्वास्थ्य जोखिमों और प्रबंधन रणनीतियों में अंतर्दृष्टि प्रदान करती है। गामा-रे स्पेक्ट्रोमेट्री और डिजिटल गाइगर-म्यूलर काउंटर जैसी प्रगति विभिन्न वातावरणों में समझ और डेटा सटीकता को बढ़ाती है, जिससे जोखिम मूल्यांकन और नियामक अनुपालन सक्षम होता है। व्यापक अनुसंधान और सुरक्षा रणनीतियों की आवश्यकता पर बल देते हुए फेफड़ों के कैंसर, आनुवंशिक उत्परिवर्तन, ऊतक क्षति जैसे स्वास्थ्य जोखिमों को छूने का प्रयास किया गया है। अंतर्राष्ट्रीय नियामक ढांचे प्राकृतिक विकिरण जोखिमों का प्रबंधन करते हैं, जिसमें राष्ट्र अलग-अलग सीमाएँ निर्धारित करते हैं। पर्यावरणीय प्रभाव अध्ययन का उद्देश्य भावी पीढ़ियों के लिए सुरक्षा बनाए रखना है।

मुख्य शब्दः प्राकृतिक विकिरण, गामा स्पेक्ट्रोमेट्री, स्वास्थ्य जोखिम, फेफड़ों का कैंसर, अनुवांशिक उत्परिवर्तन

Exposure Assessment of Natural Radiation

Bhanu Prakash Singh
Department of Physics, Aligarh Muslim University, Aligarh-202002 (Uttar Pradesh)
E-mail: bpsinghamu@gmail.com

Abstract

This exploration into natural radiation's origins within Earth's environment covers its historical progression, health and environmental impacts, and the essential evaluation and regulation of these sources. It underscores the need for understanding and establishing safety measures, encompassing types, exposure methods, health effects, regulations, and future challenges. As a matter of fact, cosmic, terrestrial, and internal elements contribute to natural radiation. Cosmic rays from the outer space, terrestrial sources like uranium, and internal absorption from within the body may pose health risks. Measurement units like Roentgen, Gray, Sievert, and Becquerel regulate exposure, vital for safeguarding health and the environment. Exposure assessment tools like Thermos-Luminescent Dosimeter (TLD), Optical Stimulated Luminescent (OSL) dosimeters, and gamma spectrometry measure doses and identify radioisotopes. Biological dosimetry evaluates radiation effects on living organisms, offering insights into health risks and management strategies. Advancements like gamma-ray spectrometry and digital Geiger Muller (GM) Counters enhance understanding and data precision in various environments, enabling risk assessment and regulatory compliance. Attempts have been made to touch upon the health risks like lung cancer, genetic mutations, tissue damage, emphasizing the need for extensive research and safety strategies. International regulatory frameworks manage natural radiation risks, with nations setting varying limits. Environmental impact studies aim to preserve safety for future generations.

Keywords: Natural Radiation, Gamma-ray spectrometry, Health Risk, Lung Cancer, Genetic Mutations

प्रस्तावना

प्राकृतिक विकिरण उन विद्युतचुम्बकीय तरंगों या कणों को कहते हैं जो प्राकृतिक रूप से मौजूद स्रोतों से उत्पन्न होते हैं और पर्यावरण में पाए जाते हैं। इस प्रकार के प्राकृतिक विकिरण को माना जाता है कि यह पृथ्वी ग्रह के निर्माण के समय से मौजूद है, और इसके प्राकृतिक पर्यावरण का अभिन्न हिस्सा है। इसमें बाहरी क्षितिज से आने वाले महाकाशीय (कॉस्मिक) विकिरण, मिट्टी, पत्थर, निर्माण सामग्री में मौजूद रेडियोधर्मी तत्वों द्वारा उत्पन्न होने वाला विकिरण, और रेडॉन गैस से उत्पन्न होने वाला विकिरण शामिल है। इस प्रकार, हम कह सकते हैं कि चित्र 1, में दर्शाए अनुसार, प्राकृतिक विकिरण हमारे चारों ओर हर जगह मौजूद है।

यह विकिरण हमारे स्वास्थ्य व पर्यावरण को बराबर प्रभावित कर सकता है। यदि हम इन विकिरणों को समझते हैं, तो यह हमें सुरक्षा मानकों को स्थापित करने में मदद कर सकता है और इसके साथ जुड़े जोखिमों को कम करने के लिए संभावना है। यह उद्योगों, चिकित्सा, और परमाणु प्रौद्योगिकी से आने वाले मानव जनित विकिरण स्रोतों के प्रभावों की तुलना करने के लिए एक आधार भी प्रदान करता है। उल्लेख किया जा सकता है कि प्राकृतिक विकिरण संघटन का ऐतिहासिक संदर्भ और समझ वक्त के साथ बड़े परिवर्तनों का सामना कर चुके हैं। पहले, प्राकृतिक विकिरण के बारे में जागरूकता काफी सीमित थी। संभावित स्वास्थ्य प्रभाव, चाहे वे अच्छे हों या बुरे, को पूरी तरह से समझे नहीं जा रहे थे। 1896 में हेनरी बेकरेल द्वारा रेडियोधर्मिता की खोज के बाद और उसके बाद मैरी क्यूरी और पियरे क्यूरी के काम के बाद जल्दी ही प्राकृतिक विकिरण संघटन को समझने का लोगों ने प्रयास किया। किए गए अनुसंधान में यह स्पष्ट हो सका कि रेडियोधर्मी तत्व जैसे यूरेनियम और थोरियम प्राकृतिक विकिरण संघटन में योगदान कर रहे हैं। इसके बाद, रेडॉन को एक रेडियोधर्मी गैस के रूप में पहचाना गया और इसके ख़तरनाक प्रभावों को जानने के कारण बेहतर माप और सुरक्षा मानकों की ओर बढ़ा गया। विभिन्न स्थानों पर रेडॉन की तीव्रता की माप की गई। इस प्रकार, संबंधित जोखिमों का मुकाबला करने के लिए उपाय और विधियाँ बनाई गईं, जैसे कि बढ़ी हुई फेफड़े कैंसर की दरों के लिए[1]। प्रौद्योगिकी में प्रगति और अध्ययनों ने प्राकृतिक विकिरण के हमारे समझ को बढ़ाने में मदद

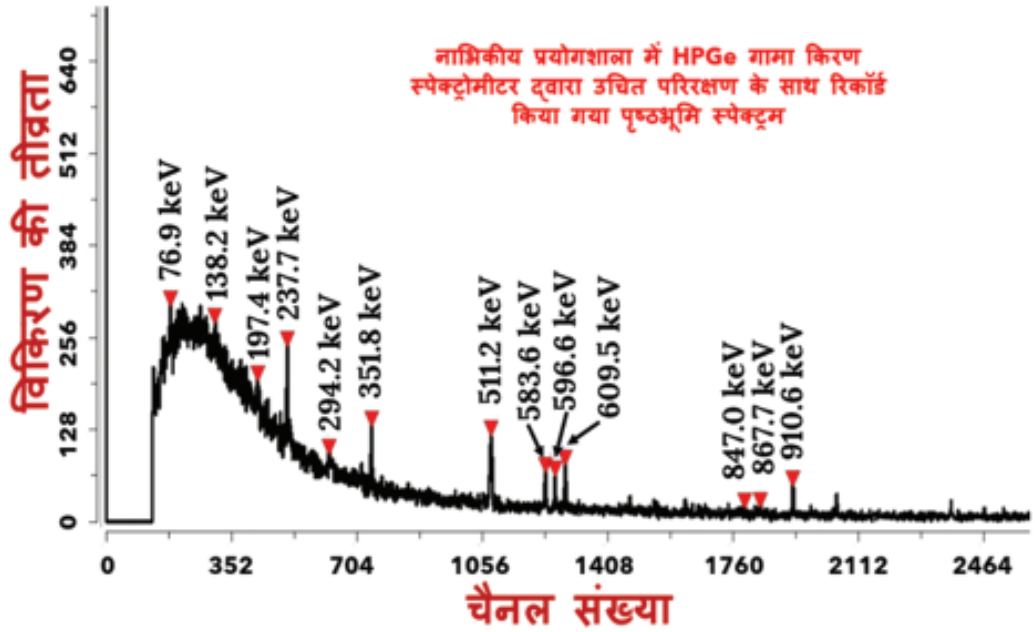
चित्र 1: प्राकृतिक विकिरण के स्रोत - भोजन, वायु, घर, शरीर, मिट्टी, सीमेंट आदि

की हैं। ये अध्ययन हमें जन स्वास्थ्य और पर्यावरण संरक्षण के लिए मजबूत नीतियों प्रदान करने में मदद करते हैं[2]। प्राकृतिक विकिरण संघटन का मूल्यांकन मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण की सुरक्षा के लिए महत्वपूर्ण है। यदि हम उच्च-स्तरीय विकिरण क्षेत्रें की पहचान कर सकते हैं और विकिरण के प्राकृतिक और कृत्रिम स्रोतों को विनियमित कर सकते हैं, तो हम आवश्यक सावधानियाँ बढ़ा सकते हैं और समाज की दीर्घकालिक कल्याण के लिए प्रभावी नीतियाँ तैयार कर सकते हैं[3]। निम्नलिखित को संक्षेप में प्राकृतिक विकिरण के विभिन्न प्रकार, प्रकटन मूल्यांकन विधियाँ, स्वास्थ्य संबंधित परिणाम, विनियामकीय ढांचा, पर्यावरण प्रभाव, और भविष्य की संभावनाएं और चुनौतियों की एक समग्र समझ प्रदान करने के लिए तैयार किया गया है।

प्राकृतिक विकिरण के प्रकार

प्राकृतिक विकिरण विभिन्न रूपों में होता है, जिसमें ब्रह्मांडीय, स्थलीय और आंतरिक विकिरण शामिल हैं। ब्रह्मांडीय विकिरण सूर्य और अन्य खगोलीय पिंडों से उत्पन्न होता है, और लगातार उच्च-ऊर्जा कणों के साथ पृथ्वी के वायुमंडल पर बमबारी कर रहा है। स्थलीय विकिरण पृथ्वी की सतह में रेडियोधर्मी तत्वों, जैसे यूरेनियम, थोरियम और पोटेशियम से उत्पन्न होता है। रेडॉन गैस, यूरेनियम का एक क्षय उत्पाद, आंतरिक या भीतरी स्थानों में जमा हो सकती है, और स्वास्थ्य के लिए महत्वपूर्ण खतरा है। आंतरिक विकिरण जीवों द्वारा रेडियोधर्मी पदार्थों के अंतर्ग्रहण, साँस लेने या अवशोषण से उत्पन्न होता है और मूल्यांकन और साथ ही नियमों के लिए चुनौतियां प्रस्तुत करता है। विकिरण के ये विभिन्न स्रोत, प्राकृतिक जोखिम में योगदान करते हैं। चित्र-2 में, उच्च शुद्धता वाले जर्मेनियम डिटेक्टर द्वारा पंद्रह मिनट की अवधि के लिए रिकॉर्ड किया गया विशिष्ट पृष्ठभूमि गामा किरण स्पेक्ट्रम दिखाया गया है। पृष्ठभूमि रेडियोधर्मी सामग्री से उत्सर्जित विकिरणों की विशेषताओं से संबंधित कई ऊर्जा शिखर यहां देखे गए हैं। जैसा कि देखा जा सकता है, डिटेक्टर के परिरक्षण के बावजूद पृष्ठभूमि में विकिरण की महत्वपूर्ण मात्रा मौजूद है। मिट्टी से निकलने वाली रेडॉन गैस एक महत्वपूर्ण आंतरिक स्वास्थ्य जोखिम पैदा करती है, और इसके द्वारा मुख्य रूप से फेफड़ों का कैंसर हो सकता है। कॉस्मिक किरणें, हालांकि कम प्रभावशाली होती हैं, हवाई जहाज के चालक दल के सदस्यों और लगातार उड़ान भरने वाले व्यक्तियों में कैंसर के खतरे को बढ़ा सकती हैं। अंतर्ग्रहण रेडियोधर्मी पदार्थों से आंतरिक विकिरण जोखिम की अंग क्षति को रोकने के लिए सुरक्षित स्तर की आवश्यकता होती है। इसे देखते हुए, जोखिम को प्रभावी ढंग से कम करने और सुरक्षित विकिरण स्तर बनाए रखने के लिए इन स्रोतों की समझ महत्वपूर्ण है।

विशिष्ट संदर्भ के आधार पर विभिन्न इकाइयों का उपयोग करके विकिरण जोखिम को मापा जाता है। रोएंटजेन (R) एक्स-रे और गामा किरणों के कारण हवा के आयनीकरण की मात्रा निर्धारित करता है, इस प्रकार के विकिरण के लिए 1 R लगभग 0.01 ग्रे (Gy) के बराबर है। ग्रे (Gy) अवशोषित खुराक के लिए मानक इकाई है, जो प्रति किलोग्राम पदार्थ में एक जूल विकिरण ऊर्जा के अवशोषण का



चित्र-2: पंद्रह मिनट की अवधि के लिए उच्च शुद्धता वाले जर्मेनियम डिटेक्टर द्वारा रिकॉर्ड किया गया विशिष्ट पृष्ठभूमि गामा किरण स्पेक्ट्रम। जैसा कि देखा जा सकता है, डिटेक्टर के परिरक्षण के बावजूद पृष्ठभूमि में महत्वपूर्ण मात्रा में विकिरण मौजूद है

प्रतिनिधित्व करती है। गामा किरणों और एक्स-रे जैसे कुछ प्रकार के विकिरण के लिए एक ग्रे, एक सीवर्ट (Sv) के बराबर होता है। हालांकि, अन्य प्रकारों के लिए, एक विशिष्ट रूपांतरण कारक लागू किया जाता है, सीवर्ट (Sv) जीवित ऊतकों पर विकिरण के जैविक प्रभावों पर विचार करते हुए प्रभावी डोज़ को मापता है। बेकरेल (Bq) किसी स्रोत की रेडियोधर्मिता की मात्रा निर्धारित करता है, जिसमें विकिरण के प्रकार और शामिल विशिष्ट रेडियोधर्मी पदार्थों के आधार पर Bq, Gy और Sv के बीच विशिष्ट संबंध होता है। ये इकाइयाँ चिकित्सा, उद्योग और पर्यावरण निगरानी सहित विभिन्न क्षेत्रों में विकिरण जोखिम का आकलन और तुलना करने के लिए महत्वपूर्ण हैं।

संपर्क (एक्सपोज़र) के मूल्यांकन के तरीके

मात्रामापी (dosimetry), अवशोषित विकिरण खुराक को मापने के लिए थर्मो-लुमेनिसेन्ट डोसीमीटर (TLD) और ऑप्टिकली उत्तेजित ल्यूमिनेसेंस (Optically Stimulated Luminescence) (OSL) डोसीमीटर जैसे उपकरणों का उपयोग करती है[4]। TLD गर्म होने पर उत्सर्जित प्रकाश को मापकर समय के साथ संचयी जोखिम को मापते हैं, जबकि OSL डोसीमीटर ट्रैप हुए इलेक्ट्रॉनों से प्रकाश को मापकर विशिष्ट अंतराल में प्राप्त खुराक पर सटीक डेटा प्रदान करते हैं। इन विधियों का उपयोग व्यावसायिक सुरक्षा, चिकित्सा सुविधाओं और पर्यावरण निगरानी सहित विभिन्न क्षेत्रों में किया जाता है, जिससे विकिरण का स्तर सुरक्षित सीमा के भीतर सुनिश्चित होता है[4]। रेडॉन, जो एक रेडियोधर्मी गैस है, मिट्टी, चट्टानों और पानी में पाए जाने वाले यूरेनियम और रेडियम के क्षय से बनती है। यह दरारों के माध्यम से इमारतों में प्रवेश कर सकता है, जिससे आंतरिक (इनडोर) वायु गुणवत्ता के लिए खतरा पैदा हो सकता है। ^{238}U से ^{222}Rn तक क्षय अनुक्रम, संदर्भ के लिए नीचे दिया गया है।

^{238}U(अर्ध-आयु ≈4.468 अरब वर्ष) → ^{234}Th+α-कण

^{234Th}(अर्ध-आयु ≈24.1 दिन) → ^{234m}Pa + β^--कण

^{234m}Pa (अर्ध-आयु ≈1.17 मिनट) → ^{234}U + β-कण

^{234}U(अर्ध-आयु ≈245,000 वर्ष) → ^{230}Th+ α-कण

^{230Th}(अर्ध-आयु ≈75,380 वर्ष) → ^{226}Ra + α-कण

^{226}Ra (अर्ध-आयु ≈1,600 वर्ष) → ^{222}Rn+ α-कण

मापन तकनीकों में प्रयोगशाला विश्लेषण के लिए चारकोल कनस्तर, फिल्म पर क्षति ट्रैक रिकॉर्ड करने वाले अल्फा-ट्रैक डिटेक्टर, और इनडोर रेडॉन मॉनिटर शामिल हैं[5]। ये विधियाँ रेडॉन से संबंधित स्वास्थ्य जोखिमों, विशेषकर फेफड़ों के कैंसर को कम करने में मदद करती हैं। गामा स्पेक्ट्रोमेट्री तकनीक में नमूनों में मौजूद रेडियोधर्मी समस्थानिक की पहचान और मात्रा निर्धारित करने के लिए गामा-रे डिटेक्टरों का उपयोग शामिल है[6,7,8]। ये डिटेक्टर रेडियोधर्मी समस्थानिक द्वारा उत्सर्जित विशिष्ट गामा किरणों का पता लगाने के सिद्धांत पर काम करते हैं। यह मिट्टी, पानी और जैविक सामग्रियों में विकिरण के स्तर में योगदान देने वाले विशिष्ट रेडियोधर्मी नाभिकों के बारे में सटीक जानकारी प्रदान करता है। प्राकृतिक वातावरण में विकिरण के स्तर पर ध्यान केंद्रित करते हुए, गामा स्पेक्ट्रोमेट्री का उपयोग पर्यावरण निगरानी, भूवैज्ञानिक सर्वेक्षण और अनुसंधान प्रयोगशालाओं में बड़े पैमाने पर किया जाता है। विकिरण के स्तर को ट्रैक करने के लिए पर्यावरण निगरानी स्टेशनों पर गाइगर-म्यूलर काउंटर (Geiger Muller Counter) और ''स्पंदन'' या ''चमक'' (सिंटिलेशन) डिटेक्टरों का उपयोग किया जाता है। यह डेटा मानव और पर्यावरणीय स्वास्थ्य[9] के लिए संभावित जोखिमों की पहचान करने में मदद करता है।

जैविक डोसिमेट्री तकनीक जीवों पर विकिरण के प्रभाव का आकलन करती है। तरीकों में साइटोजेनेटिक विश्लेषण और बायोमार्कर माप शामिल हैं, जो स्वास्थ्य जोखिमों में अंतर्दृष्टि प्रदान करते हैं और विकिरण प्रबंधन रणनीतियों में मदद करते हैं।

प्राकृतिक विकिरण जोखिम का व्यापक आकलन करने के लिए निगरानी और माप तकनीक महत्वपूर्ण हैं। निगरानी तकनीक विकिरण के स्तर को मापती है, प्रभावी जोखिम प्रबंधन में सहायता करती है और मानव और पर्यावरणीय सुरक्षा[10,11] सुनिश्चित करती है। ये तकनीकें विकिरण सुरक्षा मानकों का पालन सुनिश्चित करती हैं, जिससे नियामक अनुपालन और सार्वजनिक सुरक्षा बनाए रखने के लिए त्वरित हस्तक्षेप संभव हो पाता है। निरंतर निगरानी असामान्य उतार-चढ़ाव का पता लगाती है, जिससे लंबे समय तक जोखिम के जोखिम को कम करने के लिए समय पर जांच और सुधारात्मक कार्रवाई की जा सकती है। निगरानी से प्राप्त डेटा व्यापक मूल्यांकन की जानकारी देता है, साक्ष्य-आधारित स्वास्थ्य नीतियों और निवारक उपायों के निर्माण में सहायता[12] करता है। पर्यावरण में विकिरण के स्तर का मूल्यांकन लक्षित सुरक्षा उपायों, पारिस्थितिक संतुलन को बनाए रखने और टिकाऊ संसाधन प्रबंधन को भी सक्षम[13] बनाता है।

तकनीकी प्रगति ने संपर्क (एक्सपोज़र) मूल्यांकन पद्धतियों में उल्लेखनीय रूप से वृद्धि की है, जिससे प्राकृतिक विकिरण को मापने और निगरानी करने की सटीकता, दक्षता और दायरे में क्रांतिकारी बदलाव आया है। हाल के दिनों में काफी प्रगति हुई है, जैसे उपग्रह-आधारित गामा-रे स्पेक्ट्रोमेट्री और हवाई रेडियोमेट्रिक सर्वेक्षणों का एकीकरण, जो प्राकृतिक विकिरण स्रोतों के वितरण में विस्तृत अंतर्दृष्टि के लिए स्थानिक कवरेज (कवरेज) का विस्तार करता है।

इसके अलावा, डिजिटल गाइगर-म्यूलर काउंटर (GM काउंटर) जैसे उपकरण उच्च संवेदनशीलता और वास्तविक समय डेटा संग्रह प्रदान करते हैं, जिससे विभिन्न पर्यावरणीय स्थितियों में दक्षता बढ़ती है। चित्र-3 में एक विशिष्ट गीजर-म्यूएलर काउंटर सेट-अप दर्शाया गया है, जिसका उपयोग विकिरण निगरानी के लिए किया जा सकता है।

हाल ही में कृत्रिम बुद्धिमत्ता (artificial intelligence) क्षमताओं से संपन्न उन्नत प्रणाली व्यापक आँकड़ा-संग्रह की प्रक्रिया करते हैं, जो निर्णय लेने और जोखिम प्रबंधन के रुझानों की पहचान करते हैं। तारहित संयोजन वाले चलनीय (पोर्टेबल) उपकरण सहज एकीकरण और सुविधाजनक आँकड़े दृश्यण (विजुअलाइजेशन) के लिए वास्तविक आँकड़े प्रसारण की सुविधा प्रदान करते हैं, जिससे पहुँच और उपयोगिता में सुधार होता है। संकुचित (कॉम्पैक्ट) और संवेदनशील उपकरण व्यक्तिगत और व्यावसायिक सुरक्षा के लिए निरंतर, वैयक्तिकृत विकिरण निगरानी को सक्षम करते हुए, संपर्क मूल्यांकन में क्रांतिकारी बदलाव लाते हैं[14,15]। इन तकनीकी प्रगति का लाभ उठाकर, जोखिम मूल्यांकन पद्धतियां सूचित निर्णय लेने, उपायों को लागू करने और मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण की सुरक्षा के लिए प्राकृतिक विकिरण जोखिम को प्रभावी ढंग से प्रबंधित करने के लिए अधिक मजबूत और अनुकूलनीय बन गई हैं।

चित्र-3: एक विशिष्ट गीजर-म्यूएलर काउंटर सेट-अप जिसका उपयोग विकिरण निगरानी के लिए किया जा सकता है

स्वास्थ्य संबंधी निहितार्थ

आइए इन प्राकृतिक विकिरणों के निरंतर संपर्क के प्रभावों के बारे में संक्षेप में चर्चा करें। रेडॉन गैस जैसे प्राकृतिक विकिरण के लंबे समय तक संपर्क में रहने से फेफड़ों के कैंसर का खतरा काफी बढ़ जाता है, खासकर खराब हवादार इनडोर स्थानों में। इन स्रोतों से आयनीकृत विकिरण आनुवंशिक परिवर्तन और गुणसूत्र असामान्यताएं पैदा कर सकता है, जिससे संभावित रूप से वंशानुगत विकार हो सकते हैं। यह विकिरण-संवेदनशील अंगों को भी नुकसान पहुंचा सकता है, जिसके परिणामस्वरूप विकिरण से जलन, मोतियाबिंद और प्रजनन संबंधी समस्याएं हो सकती हैं। यह प्रतिरक्षा प्रणाली को भी कमजोर कर सकता है, जिससे व्यक्ति बीमारियों के प्रति अधिक संवेदनशील हो सकता है। अध्ययन संभावित हृदय और तंत्रिका संबंधी प्रभावों का सुझाव देते हैं, जो समग्र स्वास्थ्य सुरक्षा के लिए सक्रिय निगरानी और विकिरण जोखिम के सख्त प्रबंधन की आवश्यकता पर प्रकाश डालते हैं।

तालिका-1

विकिरण स्रोत का प्रकार	संपर्क (एक्सपोज़र) विशेषताएँ	संबद्ध जोखिम
प्राकृतिक विकिरण	ब्रह्मांडीय, स्थलीय और आंतरिक स्रोतों से उत्पन्न होता है। संपर्क आम तौर पर अपरिहार्य है और बेहद व्यापक है।	1. रेडॉन गैस के कारण कुछ कैंसर, विशेषकर फेफड़ों के कैंसर का खतरा बढ़ जाता है। 2. आनुवंशिक उत्परिवर्तन और गुणसूत्र असामान्यताएं। 3. विकिरण-संवेदनशील अंगों में ऊतक क्षति। 4. प्रतिरक्षा विज्ञानी प्रभाव और संभावित हृदय संबंधी और तंत्रिका संबंधी प्रभाव।
कृत्रिम विकिरण	चिकित्सा प्रक्रियाओं जैसे, एक्स-रे, सी.टी. स्कैन आदि, परमाणु ऊर्जा उत्पादन, प्रयोगशाला उपयोग और औद्योगिक अनुप्रयोगों से उत्पन्न होता है। संपर्क आमतौर पर नियंत्रित और विनियमित होता है।	1. नैदानिक और चिकित्सीय प्रक्रियाओं से संचयी विकिरण जोखिम के कारण कैंसर का खतरा बढ़ गया। 2. परमाणु दुर्घटनाओं या औद्योगिक दुर्घटनाओं में विकिरण के उच्चस्तर के संपर्क में आने वाले व्यक्तियों में तीव्र और दीर्घकालिक विकिरण बीमारी। 3. संभावित दीर्घकालिक आनुवंशिक और प्रजनन स्वास्थ्य प्रभाव। 4. पर्यावरण संदूषण और रेडियोधर्मी सामग्री के रिसाव का खतरा।

पिछले कुछ वर्षों में, कई अध्ययनों और शोधों ने मानव स्वास्थ्य पर प्राकृतिक विकिरण जोखिम के प्रभावों को समझने पर ध्यान केंद्रित किया है। अनुसंधान ने प्राकृतिक विकिरण में महत्वपूर्ण योगदान देने वाली रेडॉन गैस के लंबे समय तक संपर्क में रहने और फेफड़ों के कैंसर के बढ़ते खतरे के बीच संबंध की व्यापक जांच की है। अध्ययनों ने घर के अंदर रेडॉन संपर्क से जुड़े फेफड़ों के कैंसर के खतरे को कम करने के लिए, विशेष रूप से आवासीय और व्यावसायिक परिप्रेक्ष्य में, प्रभावी रेडॉन निगरानी और शमन रणनीतियों के महत्व पर जोर दिया है।

वैज्ञानिक अध्ययनों ने प्राकृतिक विकिरण, विशेष रूप से आयनकारी विकिरण के लंबे समय तक संपर्क के आनुवंशिकी और गुणसूत्र प्रभावों की गहराई से जांच की है। प्राकृतिक विकिरण के निरंतर संपर्क के परिणामस्वरूप आनुवंशिक उत्परिवर्तन और गुणसूत्र विपथन की क्षमता का प्रदर्शन किया, जो आनुवंशिक स्वास्थ्य जोखिमों को कम करने के लिए प्रभावी विकिरण सुरक्षा उपायों के महत्व को रेखांकित करता है। जांच ने प्राकृतिक विकिरण जोखिम के त्वचा संबंधी प्रभावों का भी पता लगाया है, जो विकिरण-प्रेरित त्वचा क्षति की संभावना का संकेत देता है। इन अध्ययनों ने विकिरण-प्रेरित त्वचा स्थितियों और संबंधित स्वास्थ्य जटिलताओं के जोखिम को कम करने के लिए, विशेष रूप से ऊंचे प्राकृतिक विकिरण स्तर वाले व्यवसायों या वातावरण में, उचित सुरक्षात्मक उपायों की आवश्यकता पर जोर दिया है।

अध्ययनों से पता चला है कि प्राकृतिक विकिरण के कुछ रूपों के लंबे समय तक संपर्क में रहने से प्रतिरक्षादमनकारी प्रभाव हो सकता है, जिससे संक्रामक रोगों और अन्य स्वास्थ्य संबंधी जटिलताओं की संभावना बढ़ जाती है। महामारी विज्ञान अनुसंधान प्राकृतिक विकिरण जोखिम से जुड़े स्वास्थ्य प्रभावों को इंगित करने, आवश्यक रूप से बढ़े हुए कैंसर की घटनाओं और अन्य प्रतिकूल स्वास्थ्य परिणामों की पहचान करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। चल रहे अध्ययन लगातार स्वास्थ्य प्रभावों के बारे में हमारी समझ को आगे बढ़ाते हैं, जिससे प्राकृतिक विकिरण के संपर्क में आने वाली आबादी की भलाई सुनिश्चित होती है।

नियामक ढांचा

मानव स्वास्थ्य की सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए प्राकृतिक विकिरण के जोखिम का आकलन और प्रबंधन करने के लिए अंतर्राष्ट्रीय और राष्ट्रीय नियामक दिशानिर्देश महत्वपूर्ण हैं। अंतरराष्ट्रीय रेडियोलॉजिकल सुरक्षा आयोग (IRCP) एक विश्व स्तर पर मान्यता प्राप्त संगठन है जो विकिरण सुरक्षा पर सिफारिशें प्रदान करता है। इसके दिशानिर्देश विकिरण जोखिमों का आकलन करने और प्राकृतिक विकिरण जोखिम से संबंधित उपायों सहित सुरक्षात्मक उपायों को लागू करने के लिए रूपरेखा निर्धारित करते हैं। ICRP सिफ़ारिशें दुनिया भर में राष्ट्रीय नियमों के विकास को प्रभावित करती हैं।

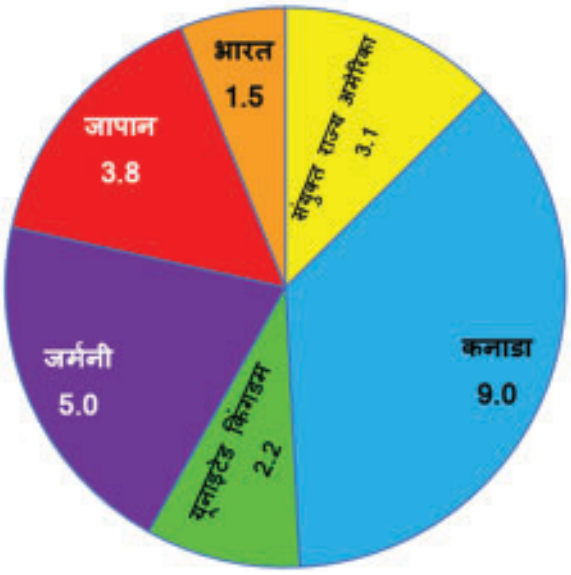
अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा संस्थान (IAEA) सुरक्षा मानक स्थापित करती है और विकिरण सुरक्षा पर मार्गदर्शन प्रदान करती है। यह इन मानकों को लागू करने में अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा संस्थान, सदस्य देशों की सहायता करता है और विभिन्न कार्यक्रमों और प्रकाशनों के माध्यम से प्राकृतिक विकिरण जोखिम के मूल्यांकन और प्रबंधन का समर्थन करता है। परमाणु विकिरण के प्रभावों पर संयुक्त राष्ट्र वैज्ञानिक समिति (UNSCEAR) एक संयुक्त राष्ट्र निकाय है जो विकिरण जोखिम के वैश्विक स्तर और मानव स्वास्थ्य पर इसके प्रभावों का आकलन करने के लिए जिम्मेदार है और अंतरराष्ट्रीय विकिरण सुरक्षा मानकों को सूचित करने के लिए व्यापक रिपोर्ट और डेटा तैयार करती है।

कई देशों ने प्राकृतिक स्रोतों से विकिरण जोखिम की निगरानी और विनियमन के लिए जिम्मेदार पर्यावरण संरक्षण, को संस्थानों को समर्पित किया है। ये संस्थान रेडॉन गैस, ब्रह्मांडीय विकिरण और स्थलीय विकिरण सहित विभिन्न प्राकृतिक विकिरण स्रोतों के लिए सीमाएं और दिशानिर्देश स्थापित करती हैं। संयुक्त राज्य अमेरिका में, व्यावसायिक सुरक्षा और स्वास्थ्य प्रशासन, व्यावसायिक विकिरण जोखिम के लिए दिशा निर्देश निर्धारित करता है, जिसमें कार्यस्थलों में प्राकृतिक विकिरण स्रोतों से संबंधित दिशा निर्देश भी शामिल हैं। ये दिशा निर्देश श्रमिकों को बड़े विकिरण जोखिम से बचाने के लिए डिज़ाइन किए गए हैं। राष्ट्रीय सार्वजनिक स्वास्थ्य और सुरक्षा प्राधिकरण, अक्सर पर्यावरण और परमाणु नियामक निकायों के सहयोग सेए आवासीय और सार्वजनिक क्षेत्रों में भी प्राकृतिक विकिरण के जोखिम के लिए नियम स्थापित करते हैं। इन एजेंसियों का लक्ष्य अनुमेय स्तर निर्धारित करके और घरों और कार्यस्थलों में रेडॉन शमन पर मार्गदर्शन प्रदान करके सार्वजनिक स्वास्थ्य की रक्षा करना है।

प्राकृतिक विकिरण जोखिम के लिए वर्तमान अनुमेय सीमा विश्व स्तर पर भिन्न-भिन्न हैं और वैज्ञानिक अनुसंधान और नियामक प्रावधानों के आधार पर नियमित रूप से अद्यतन की जाती हैं। विश्व स्वास्थ्य संगठन (WHO) 100 Bq/m^3 से नीचे इनडोर रेडॉन स्तर की सिफारिश करता है, जबकि राष्ट्रीय अधिकारी व्यावसायिक जोखिम सीमाएं निर्धारित करते हैं। महाकाशीय (cosmic) विकिरण सीमाएँ मुख्य रूप से विमानन क्षेत्र पर लागू होती हैं, जिसमें वायु कर्मियों और नियमित यात्रियों के लिए विशिष्ट दिशा-निर्देश होते हैं। स्थलीय विकिरण जोखिम को भवन संहिता के माध्यम से प्रबंधित किया जाता है, और कुछ देशों में रेडॉन शमन उपायों को लागू किया जाता है।

कई देशों ने प्राकृतिक पृष्ठभूमि विकिरण के लिए अनुमेय सीमाएं स्थापित की हैं, जिसमें ब्रह्मांडीय और स्थलीय दोनों स्रोतों का योगदान शामिल है। विभिन्न देशों द्वारा विकिरण प्रबंधन के तरीके में विसंगतियों के कारण विकिरण सुरक्षा की एक अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली की आवश्यकता उत्पन्न होती है। चिकित्सा विकिरण पर विभिन्न नियम और श्रमिकों और रोगियों के लिए विभिन्न विकिरण जोखिम सीमाएं सार्वभौमिक रूप से स्वीकृत अंतरराष्ट्रीय मानकों की आवश्यकता पर जोर देते हैं। इन सीमाओं को यह सुनिश्चित करने के लिए डिज़ाइन किया गया है कि प्राकृतिक स्रोतों से विकिरण जोखिम आम जनता के लिए स्वीकार्य स्तर के भीतर रहे जिससे आम जनता को कोई नुकसान न हो। चित्र 4 में भारत सहित कुछ महत्वपूर्ण देशों में प्राकृतिक पृष्ठभूमि विकिरण के लिए अनुमेय सीमाओं का वृत्त आरेख दिया गया है।

यह ध्यान दिया जा सकता है कि प्राकृतिक विकिरण के लिए अनुमेय सीमाएं इन देशों के विशिष्ट क्षेत्रों और उनके नियामक अधिकारियों द्वारा निर्धारित संबंधित दिशानिर्देशों के आधार पर बहुत भिन्न हो सकती हैं। अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा एजेंसी, अंतर्राष्ट्रीय रेडियोलॉजिकल सुरक्षा आयोग, और राष्ट्रीय नियामक एजेंसियों के नवीनतम दिशानिर्देशों और विनियमों से परामर्श करना महत्वपूर्ण है। ये मानक आवधिक अद्यतन और संशोधन के अधीन हैं; इसलिए, नवीनतम सुरक्षा दिशानिर्देशों का अनुपालन सुनिश्चित करने के लिए किसी भी बदलाव के बारे में सूचित रहना आवश्यक है। सार्वजनिक स्वास्थ्य और पर्यावरण सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए मजबूत नियामक ढाँचे महत्वपूर्ण हैं।



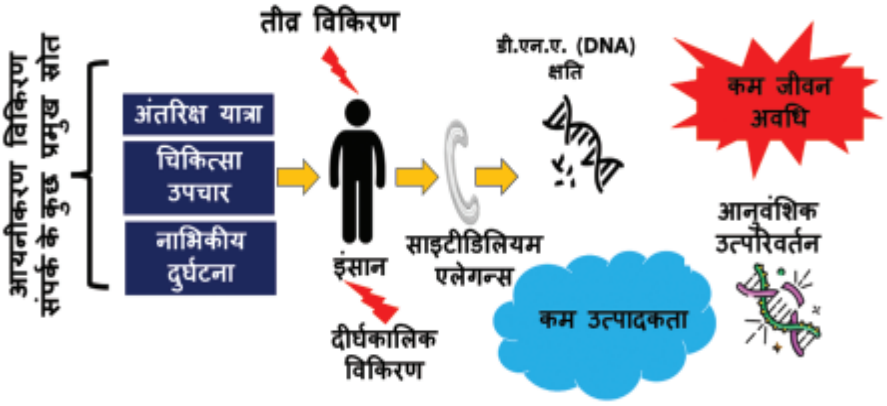
चित्र 4: विकिरण की अनुमेय सीमाएं (mSv/Year)

पर्यावरणीय प्रभाव

प्राकृतिक विकिरण जैविक प्रणालियों, आनुवंशिक विविधता और पारिस्थितिकी तंत्र को प्रभावित करता है। मिट्टी और पानी के प्रदूषण से पौधों और जलीय जीवन को खतरा है, जिससे प्रभावी पर्यावरण प्रबंधन की आवश्यकता होती है। पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता के लिए सूक्ष्मजीव समुदायों में इसकी भूमिका को समझना महत्वपूर्ण है। व्यापक विश्लेषण संरक्षण, स्थिरता और जोखिम शमन के लिए रणनीतियों का मार्गदर्शन करता है।

ऐसे कई अध्ययन और उदाहरण हैं जो वनस्पतियों और जीवों पर विकिरण के प्रभावों को प्रदर्शित करते हैं। एक प्रसिद्ध उदाहरण चेरनोबिल और फुकुशिमा परमाणु आपदाओं के आस-पास के क्षेत्र में वनस्पतियों और जीवों पर विकिरण जोखिम का प्रभाव है। इन घटनाओं ने विभिन्न जीवित जीवों पर विकिरण के प्रभावों के बारे में बहुमूल्य अंतर्दृष्टि प्रदान की है। चेरनोबिल परमाणु ऊर्जा संयंत्र में विस्फोट से पर्यावरण में बड़ी मात्रा में रेडियोधर्मी पदार्थ उत्सर्जित हुए। क्षेत्र में किए गए अध्ययन स्थानीय वनस्पतियों और जीवों पर विभिन्न प्रभाव दिखाते हैं। उदाहरण के लिए, शोधकर्ताओं ने पौधों की प्रजनन क्षमताओं में उत्परिवर्तन और परिवर्तन, साथ ही पक्षियों, स्तनधारियों और कीड़ों जैसे जानवरों की आबादी और व्यवहार में परिवर्तन देखा है[16]। फुकुशिमा परमाणु आपदा के परिणामस्वरूप पर्यावरण में रेडियोधर्मी पदार्थ उत्सर्जित हुए, जिससे आसपास के पारिस्थितिक तंत्र प्रभावित हुए। घटना के बाद किए गए अध्ययनों ने जलीय जीवों पर भी विकिरण के प्रभाव को उजागर किया है। कुछ पौधों और जानवरों की प्रजातियों की प्रचुरता और विविधता में परिवर्तन होते हैं, साथ ही प्रभावित आबादी पर संभावित आनुवंशिक प्रभाव[17] भी होते हैं। इसके अलावाए दुनिया के कुछ क्षेत्रों को प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले रेडियोधर्मी क्षेत्र के रूप में जाना जाता है। इन क्षेत्रों में प्राकृतिक पृष्ठभूमि विकिरण का स्तर उच्च है। इसने शोधकर्ताओं को स्थानीय पारिस्थितिक तंत्र पर विकिरण के दीर्घकालिक प्रभावों का अध्ययन करने का अवसर प्रदान किया है। उसने पौधों और जानवरों की प्रजातियों में उच्च विकिरण स्तरों के अनुकूलन को दिखाया है, साथ ही इन जीवों की विकासवादी प्रक्रियाओं पर संभावित प्रभाव भी दिखाया है। चित्र-5 में जीर्ण और तीव्र विकिरणों के जैविक प्रभाव, जिसमें साइटीडिलियम एलेगन्स जैसे मॉडल जीवों पर किए गए प्रयोगों से प्राप्त परिणामों को दर्शाया गया है, जो इन विकिरणों के दीर्घकालिक और तात्कालिक प्रभावों को स्पष्ट करते हैं।

निगरानी प्रणाली और नियामक ढांचे सहित व्यापक दृष्टिकोण, पर्यावरणीय जोखिमों को कम करते हैं। विशेष रूप से स्कूली बच्चों में जन जागरूकता अभियान सुरक्षा प्रथाओं को बढ़ावा दे सकते हैं, जबकि



चित्र-5: जीर्ण और तीव्र विकिरणों के जैविक प्रभाव

तालिका-2

चुनौतियां	उपाय	
विकिरण का विकास और प्रभाव	1.	वैश्विक स्तर पर नियामक अनुसंधान और निगरानी
	2.	सामुदायिक सहभागिता और जागरूकता कार्यक्रम
	3.	प्रौद्योगिकी और विज्ञान में समुदायों की शिक्षा
	4.	संवेदनशीलता और सुरक्षा के प्रति जागरूकता
दीर्घकालिक मानव स्वास्थ्य	1.	स्वास्थ्य जागरूकता कार्यक्रम
	2.	समुदायों में साझेदारी और सहयोग
	3.	जीवन शैली और व्यक्तिगत स्वास्थ्य की जागरूकता
प्राकृतिक विकिरण के जोखिम	1.	सार्वजनिक जागरूकता कार्यक्रम
	2.	सांचारिक माध्यमों का उपयोगः सोशल मीडिया, रेडियो, टीवी
	3.	प्राकृतिक विकिरण से जुड़े जानकारी का संग्रह
सांचारिक साधनों का उपयोग	1.	वैश्विक संचार साधनों के जरिए संचार का बढ़ावा
	2.	शिक्षा और जागरूकता कार्यक्रम से जुड़ी पहुंच
	3.	सूचना साझा करने के लिए व्यापक प्रोग्राम्स
तकनीकी उन्नति और नई अनुसंधान धाराएं	1.	नई तकनीकों का प्रयोग और विकास
	2.	विज्ञान में नवाचारों की शिक्षा और प्रोत्साहन
	3.	संगठनात्मक कार्रवाई और औद्योगिक सहयोग
सामूहिक संवाद और गहरी समझ	1.	सामूहिक संवाद कार्यक्रम
	2.	गहरी जागरूकता के लिए शिक्षा और प्रशिक्षण
	3.	सामूहिक समस्याओं पर गहरी विचारधारा

जोखिम को कम करने के लिए भूमि उपयोग योजना में जोखिम मूल्यांकन को कम कर सकते हैं। सतत विकास के लिए पर्यावरणीय सुधार, जैव विविधता संरक्षण और उचित अपशिष्ट प्रबंधन आवश्यक हैं। प्राकृतिक विकिरण जोखिमों के प्रबंधन और मानव कल्याण को संरक्षित करने के लिए निरंतर अनुसंधान और नवाचार महत्वपूर्ण हैं।

भविष्य की संभावनाएँ और चुनौतियाँ

प्राकृतिक विकिरण जोखिम मूल्यांकन अधिक संवेदनशील डिटेक्टरों और उपकरणों और वास्तविक समय दूरस्थ संवेदन (रिमोट सेंसिंग) उपकरणों के साथ आगे बढ़ रहा है। बड़े आँकड़ा विश्लेषण (डेटा एनालिटिक्स) और कृत्रिम बुद्धिमत्ता के एकीकरण से एक्सपोज़र

प्रवृत्ति की पहचान होने की संभावना है। इसके अलावा, बेहतर गणनात्मक मॉडल निर्माण, विकिरण व्यवहार और जोखिम स्तर की भविष्यवाणी करेगी। बायोइंडिकेटर और बायोमार्कर जोखिम को समझने में योगदान करते हुए, जैविक प्रभावों में अंतर्दृष्टि प्रदान करेंगे। मानकीकृत नियम और डेटा एकीकरण प्रभावी पर्यावरण और सार्वजनिक स्वास्थ्य प्रबंधन का समर्थन करेंगे[18]। उच्च विकिरण वाले क्षेत्रों में पारिस्थितिक तंत्र और दीर्घकालिक मानव स्वास्थ्य पर विकिरण के प्रभाव को समझने में चुनौतियां निश्चित रूप से बनी रहती हैं। वैश्विक समझ और प्रभावी प्रबंधन के लिए सार्वभौमिक नियामक ढांचे, सामुदायिक जुड़ाव, उचित शिक्षा और जानकारी साझा करना आवश्यक है। प्राकृतिक विकिरण जोखिम के बारे में सार्वजनिक जागरूकता और समझ बढ़ाने के लिए व्यापक प्रयासों की आवश्यकता है। इसमें, इसके स्रोतों और संभावित स्वास्थ्य प्रभावों के बारे में सटीक जानकारी उपलब्ध कराने के लिए सोशल मीडिया, टेलीविजन, रेडियो और कार्यशालाओं जैसे विभिन्न संचार चैनलों के माध्यम से शैक्षिक अभियान शामिल हैं[19,20]। निम्नलिखित तालिका-2, में कुछ चुनौतियाँ और उनसे पार पाने की विधि प्रस्तुत की गई है। इनमें कार्यक्रमों के पहलू को पेश करके समूह संवाद और गहन समझ पर ध्यान केंद्रित करना, गहरी जागरूकता के लिए शिक्षा और सामाजिक मुद्दों पर गहनपरिप्रेक्ष्य विकसित करना शामिल है। इन रणनीतियों का उद्देश्य सामुदायिक जुड़ाव की भावना को बढ़ावा देना और विकिरण संपर्क के जोखिम से उत्पन्न चुनौतियों की गहन समझ को बढ़ावा देना है।

जनसंपर्क कार्यक्रम, स्कूल पाठ्यक्रम में विकिरण सुरक्षा शिक्षा का एकीकरण, और मीडिया व स्थानीय अधिकारियों के साथ सहयोग, एक सुविज्ञ और सतर्क समाज बनाने में सहायक हैं। इससे प्राकृतिक विकिरण जोखिम से जुड़े संभावित जोखिमों को दूर करने में मदद मिलेगी, जिससे सतत विकास के लिए समुदायों की समग्र भलाई और सुरक्षा सुनिश्चित होगी।

निष्कर्ष

प्राकृतिक विकिरण से जोखिम को कम करने के लिए प्रभावी प्रबंधन रणनीतियाँ महत्वपूर्ण हैं। इन जोखिमों की निगरानी, और आकलन व्यापक मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण की रक्षा करते हैं। नियामक ढांचे और सार्वजनिक जागरूकता सहित सक्रिय प्रबंधन, सुरक्षा और तैयारी की संस्कृति को बढ़ावा देता है। नीति निर्माताओं, शोधकर्ताओं और जनता के बीच सहयोग प्राकृतिक विकिरण के साथ संतुलित सह-अस्तित्व सुनिश्चित कर सकता है, जिससे भावी पीढ़ियों के लिए सतत विकास को बढ़ावा मिल सकता है।

संदर्भ

1. World Health Organization Inter Nationalagency For Research On Cancer Iarc Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans Ionizing Radiation, Part 1: X- and Gamma (γ)-Radiation, and Neutrons VOLUME 75, This publication represents the views and expert opinions of an IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, which met in Lyon, 26 May-2 June 1999 2000.
2. Technical Reports Series No. 419 International Atomic Energy Agency Vienna, 2003
3. ICRP, 2019. Radiological protection from naturally occurring radioactive material (NORM)in industrial processes. ICRP Publication 142. Ann ICRP 48(4).
4. Environmental Health Perspectives Vol.91, pp. 45-48,1991, Radiation Dosimetry by John Cameron.
5. Applied Radiation and Isotopes, Volume 187, September 2022, 110344, Applied Radiation and Isotopes, Study of alpha spectrometry for detection of radon and progeny using gas micro-strip detector; Mehdi Hassanpour a, Parvin Dehghanipour b, Mohammadreza Rezaie c, Marzieh Hassanpour a, Mohammad Rashed Iqbal Faruque a, Mayeen Uddin Khandaker
6. Q. Zhang, Y. Zhao, C.H. Xu, 238 U radioactivity distribution in soils in the Beijing-Tianjin-Hebei region, Chin J Radiol Med Prot, 35 (9) (2015), pp. 692-695.
7. Q.H. Meng, Y.Z. Ma, H. Wang, et al. Monitoring and analysis of radioactivity in soils in Beijing during 2017-2018, Chin J Radiol Med Prot, 40 (9) (2020), pp. 702-706, Radiation Medicine and Protection, Volume 3, Issue 4, December 2022, Pages 171-174
8. Journal: Radiation Medicine and Protection, Analysis of gamma-emitting radionuclides in soils around high energy accelerators, Jiaying Wang, Yu Chen, Zhongjian Ma , Lu Zhang Zhen Zhang

9. C. L. Greenstock and A. Trivedi , Prog. Biophys. molec. Biol., Vol. 61, pp.81-130, 1994 1994 Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain 0079~o107/ 94, title:, Biological And Biophysical Techniques To Assess Radiation Exposure: A Perspective

10. Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation

11. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.

12. Scott Samuel A. Health impact assessment-theory into practice. J. Epidemiol Community Health 1998; 52:704-5] [United Nations conference on environment and development. The earth summit (agenda21). Rio de Janeiro: United Nations,1992.] [Asian Development Bank. Guidelines for the health impact assessment of development projects. Environmental Paper No 11. Manilla: ADB,1992.

13. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures Kashif Abbass1· Muhammad Zeeshan Qasim· Huaming Song, Muntasir Murshed, Haider Mahmood, Ijaz Younis, Environmental Science and Pollution Research (2022) 29:42539-42559, https:/ /doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6]

14. Journal name: Sensors, Review article "Recent Progress in Micro- and Nanotechnology-Enabled Sensors for Biomedical and Environmental Challenges, Francisco J. Tovar-Lopez.

15. Madhusudan B. Kulkarni, Narasimha H. Ayachit and Tejraj M. Aminabhavi; Biosensors 2022, 12, 892, Review: Recent Advancements in Nano biosensors: Current Trends, Challenges, Applications, and Future Scope

16. Kovalchuk I, Abramov V, Pogribny I, Kovalchuk O. Molecular aspects of plant adaptation to life in the Chernobyl zone. Plant Physiol. 2004 May;135(1):357-63. doi: 10.1104/pp.104.040477. Epub 2004 May 7.PMID: 15133154; PMCID: PMC429389.

17. Ken Buesseler, Michio Aoyama, and Masao Fukasawa,, Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 23, 9931-9935, Impacts of the Fukushima Nuclear Power Plants on Marine Radioactivity.

18. Laurier D, Rühm W, Paquet F, Applegate K, Cool D, Clement C; International Commission on Radiological Protection (ICRP). Areas of research to support the system of radiological protection. Radiat Environ Biophys. 2021 Nov;60(4):519-530. doi: 10.1007/s00411-021-00947-1. Epub 2021 Oct 17. PMID: 34657188; PMCID: PMC8522113.

19. Mettler FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective dose in radiology and diagnostic nuclear medicine. Radiology 2008; 248(1): 254-263.

20. Hesselink, F.J. et al., Communication, Education and Public Awareness, a toolkit for the Convention on Biological Convention, Montreal 2007.