डॉ. अनिल कुमार लोहनी

हिमालय में हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ का उभरता खतरा

भारत के हिमालय क्षेत्र में, जलवायु परिवर्तन के कारण विगत कुछ दशकों में हिमनदों के जीवन चक्र पर गहरा प्रभाव पड़ा है। ऐसा माना जाने लगा है कि तापमान में वृद्धि से हिमनदगलन की दर तीव्र हो गई है, जिससे हिमनदीय झीलों के जल स्तर में वृद्धि हुई है। हिमालयी क्षेत्र में हजारों झीलें स्थित हैं, लेकिन उनमें से कुछ को उच्च संवेदनशील और जोखिमयुक्त झीलों की श्रेणी में रखा गया है। विगत कुछ वर्षों में इन झीलों की संख्या में उल्लेखनीय वृद्धि हुई है, जो जलवायु परिवर्तन का प्रत्यक्ष परिणाम हो सकती है।

हिमालय क्षेत्र, हजारों हिमनदों और हिमनदीय झीलों का आवास स्थल है। विगत कुछ दशकों में, जलवायु परिवर्तन ने इन हिमनदों के जीवन चक्र को गहराई से प्रभावित किया है। बढ़ते तापमान के कारण हिमनदगलन की दर तीव्र हो गई है, जिससे हिमनदीय झीलों की संख्या और जल स्तर में अत्यधिक वृद्धि हुई है। ये झीलें प्राकृतिक पारिस्थितिकीय तंत्र का भाग हैं, लेकिन इनका निर्माण और विस्तार निचले क्षेत्रों में रहने वाले समुदायों और पारिस्थितिकी तंत्र के लिए गंभीर खतरा बन सकता है। विगत कुछ वर्षों में इन झीलों की संख्या में वृद्धि देखी गई है, जो जलवायु परिवर्तन का परिणाम हो सकती है। इनमें से कुछ झीलें संवेदनशील श्रेणी में आती हैं। जब ये झीलें अचानक टूटती हैं, तो विनाशकारी घटना उत्पन्न करती हैं जिसे हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ (GLOF) कहा जाता है। इन हिमनदीय झीलों के अचानक टूटने से भारी मात्रा में जल और मलवा नदियों में बहकर बाढ़ के गंभीर खतरे को उत्पन्न करता है। इन झीलों के टूटने के संभावित कारणों में मुख्य रूप से झीलों का हिमनदों के मुहाने पर स्थित होना, जल स्तर का अत्यधिक बढ़ना, भूकंप, या हिमनद का झील में गिरना शामिल हो सकते हैं। खासकर वे झीलें जो हिमनदों के मुहाने पर स्थित होती हैं और हिमनद द्वारा छोड़े गए मलबे के पीछे निर्मित होती हैं, अधिकतर अधिक मात्रा में जल संचयन करती हैं जो उन्हें अत्यधिक खतरनाक बना देता है। इन झीलों के टूटने से अत्यधिक मात्रा में जल अल्पावधि में निचले क्षेत्रों में बहकर बाढ़ का खतरा पैदा करता है।

झीलों के टूटने से उत्पन्न बाढ़ का प्रवाह सामान्य बाढ़ की तुलना में कई गुणा अधिक हो सकता है। हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ की विनाशकारी तीव्रता बहुत अधिक होती है, क्योंकि इसमें केवल जल ही नहीं, बल्कि भारी मात्रा में मलवा और बड़ी-बड़ी चट्टानें भी प्रवाहित होती हैं। यही विशेषता इसे अत्यधिक विनाशकारी बनाती है, और इसका प्रभाव क्षेत्र पर सामान्य बाढ़ की तुलना में बहुत अधिक विस्तारित हो जाता है। झीलों के टूटने के प्रमुख कारणों में झीलों का हिमनदों के मुहाने पर स्थित होना, जल स्तर का अत्यधिक बढ़ना, भूकंप जैसी भौगोलिक हलचलें, और कभी-कभी हिमनदों का झील में गिरना शामिल हैं।

भारत के हिमालय क्षेत्र में, जलवायु परिवर्तन के कारण विगत कुछ दशकों में हिमनदों के जीवन चक्र पर गहरा प्रभाव पड़ा है। ऐसा माना जाने लगा है कि तापमान में वृद्धि से हिमनदगलन की दर तीव्र हो गई है, जिससे हिमनदीय झीलों के जल स्तर में वृद्धि हुई है। हिमालयी क्षेत्र में हजारों झीलें स्थित हैं, लेकिन उनमें से कुछ को उच्च संवेदनशील और जोखिमयुक्त

झीलों की श्रेणी में रखा गया है। विगत कुछ वर्षों में इन झीलों की संख्या में उल्लेखनीय वृद्धि हुई है, जो जलवायु परिवर्तन का प्रत्यक्ष परिणाम हो सकती है।

केदारनाथ में 2013 का हिमनदीय झील प्रस्फोट एक विनाशकारी घटना थी जिसने उत्तराखंड राज्य को हिला कर रख दिया। इस आपदा का मुख्य कारण चौराबाड़ी हिमनद का पिघलना और भारी वर्षा थी, जिससे मंदाकिनी नदी का जलस्तर अचानक बढ़ गया। इस बाढ़ ने केदारनाथ धाम और आसपास के क्षेत्रों में भारी तबाही मचाई। मंदाकिनी नदी का जल तेजी से बहते हुए केदारनाथ मंदिर तक पहुंच गया, जिससे अनेक गांव और बुनियादी संरचनाएं नष्ट हो गईं। इस आपदा में हजारों लोग मारे गए और अनेक लोग लापता हो गए। अक्टूबर 2023 में, सिक्किम में दक्षिण ल्होनक झील के तटबंध के टूटने के बाद हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ आई। इस बाढ़ ने तीस्ता नदी के पूरे क्षेत्र में विनाशकारी क्षति पहुंचाई, जिससे भूमि और संपर्क बुनियादी संरचना को भारी हानि हुई और अनेक लोगों की जान भी चली गई। इन घटनाओं ने हिमालयी क्षेत्रों में जलवायु परिवर्तन और हिमनद झीलों के खतरों के प्रति लोगों की जागरूकता बढ़ाई है। इसके बाद से, सरकार और विभिन्न संगठनों ने हिमनद झीलों के प्रबोधन और आपदा प्रबंधन के लिए अनेक कदम उठाए हैं।

इन घटनाओं से ज्ञात होता है कि हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ की प्रकृति इतनी विनाशकारी होती है कि यह अपने साथ बड़ी-बड़ी चट्टानों और भारी मलवे को भी बहाकर ले जाती है। यह बाढ़ न केवल खेतों और घरों को तहस-नहस कर देती है, बल्कि बुनियादी संरचनाओं जैसे पुल, सड़कें, और जल विद्युत परियोजनाओं को भी भारी नुकसान पहुंचाती है। इस प्रकार, हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ को हिमालयी क्षेत्र में एक उभरती हुई प्राकृतिक आपदा के रूप में देखा जाता है, जो जलवायु परिवर्तन और अन्य भौगोलिक कारकों के कारण अधिक गंभीर होती जा रही है। इसका प्रभाव व्यापक और दीर्घावधि तक रहने वाला हो सकता है, जिससे इसे रोकने और इसके जोखिम को कम करने के लिए प्रभावी उपायों की सख्त आवश्यकता होती है।

हिमनद, हिमनद झीलें और हिमनद झील प्रस्फोट बाढ़ (GLOF)

हिमनद, हिम के चलने वाले पिंड होते हैं, जो सामान्यतः हिम रेखा के ऊपर पाए जाते हैं। हिमनद पारिस्थितिकी तंत्र की स्थिरता बनाए रखने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं क्योंकि वे बफर के रूप में कार्य करते हैं और शुष्क और आर्द्र दोनों मौसमों के दौरान पहाड़ों से मैदानों तक जल की आपूर्ति को नियंत्रित करते हैं। हिमालयी हिमनद विश्व के गैर-ध्रुवीय हिमनदों के लगभग 70% भाग से निर्मित हैं और चीन, भारत, पाकिस्तान, अफगानिस्तान, नेपाल, भूटान और बांग्लादेश जैसे कई देशों में लाखों लोगों के जीवन को प्रभावित करते हैं। उनका प्रवाह विश्व की दो सबसे बड़ी नदियों, सिंधु और गंगा को पोषित करता है, जिनकी सहायक नदियाँ उत्तरी भारतीय मैदानों में लगभग 500 मिलियन लोगों के लिए बहुमूल्य जल लाती हैं। हिमालय में अधिकांश हिमनद ग्रीष्मकालीन संचयन प्रकार के होते हैं, जिसमें प्रमुख संचयन और अपक्षय गर्मियों के दौरान एक साथ होते हैं। उनके घटने के तरीकों और आयामों के आधार पर, हिमनदों को मुख्य तौर पर तीन श्रेणियों में वर्गीकृत किया गया है। घाटी हिमनद, पाइडमोंट हिमनद और महाद्वीपीय हिमनद। हिमालयी हिमनद, घाटी हिमनद की श्रेणी में आते हैं। यह अनुमान लगाया गया है कि हिमालय में लगभग 32,000 वर्ग किमी क्षेत्र स्थायी रूप से बर्फ और हिम के आवरण में है। यह हिमालय के कुल भौगोलिक क्षेत्र का लगभग 17% है। हिमालय में हिमनदों की उच्च सांद्रता उन क्षेत्रों में पाई जाती है जहाँ सबसे ऊँचे पर्वत शिखर हैं, जैसे नंगा पर्वत, नुन कुन, किन्नर कैलाश, नंदा देवी, नंदा कोट, अन्नपूर्णा, माउंट एवरेस्ट, मकालू और कंचनजंगा। हिमालयी पर्वत श्रृंखलाओं में कई छोटे, मध्यम और बड़े आकार के हिमनद हैं जिनमें विशिष्ट स्थलाकृतिक विशेषताएं हैं। कुछ प्रसिद्ध और महत्वपूर्ण हिमनदों में बाल्टोरो हिमनद, गंगोत्री हिमनद, गशरब्रुम हिमनद, सियाचिन हिमनद, कंचनजंगा हिमनद और हिस्पर हिमनद शामिल हैं।

हिमगलन द्वारा झीलों का निर्माण।

हिमनद झीलें

हिमनद झील को उस जल राशि के रूप में परिभाषित किया जाता है जो पर्याप्त मात्रा में मौजूद होती है और हिमनद के अंदर, नीचे, निकट में और/या सामने एक मुक्त सतह के साथ फैली होती है और हिमनदीय गतिविधियों और/या पीछे हटने की प्रक्रियाओं से उत्पन्न होती है। पहाड़ों और घाटियों में पाए जाने वाली अलग-थलग झीलें हिमनदीय मूल की नहीं हो सकती हैं। वैश्विक ऊष्णता के कारण बर्फ और हिम के तेजी से पिघलने की दर के परिणामस्वरूप, इन में से कुछ झीलों में जल संचय तेजी से बढ़ रहा है। 3,500 मीटर से ऊपर की अलग-थलग झीलों को हिमनदों के पीछे हटने के कारण छोड़ी गई हिमनद झीलों का अवशेष माना जाता है।

हिमनद झीलों से जल का अचानक बहाव और तत्काल निर्वहन बाढ़ का कारण बन सकता है, जिससे अनुप्रवाह क्षेत्रों/परियोजनाओं में भारी नुकसान हो सकता है। विभिन्न प्रकार की झीलों में विभिन्न स्तर के खतरे की संभावनाएं हो सकती हैं, जैसे कि मोरेन बांधित झीलें जो हिमनद के सिरे पर स्थित होती हैं, उनमें टूटने की उच्च संभावना होती है, इसलिए उनमें उच्च खतरे की संभावना हो सकती है; जबकि, अपरदन झीलों में टूटने की संभावना कम होती है, इसलिए उनमें कम खतरे की संभावना होती है। हिमनद झीलों से संभावित खतरों का आंकलन करने के लिए, उच्च ऊंचाई पर बनी हिमनद झीलों की एक व्यवस्थित सूची निर्मित करना आवश्यक है। इसे उपग्रह चित्रों (और यदि उपलब्ध हो तो हवाई तस्वीरों) के माध्यम से प्रारंभिक रूप से पहचान कर और बाद में उनके क्षेत्रीय स्थिति का आंकलन करके पूर्ण किया जा सकता है। अस्थायी सूची बनाने के अलावा, इन झीलों की प्रकृति और हवाई विस्तार में परिवर्तन का आंकलन करने के लिए इनका पुनरावृत्ति प्रबोधन किया जाना भी आवश्यक है। हिमनद झीलों को उनकी भौगोलिक स्थिति, संरचना, और आकार के आधार पर अपरदन (घाटी गर्त और सर्क), बर्फ अवरुद्ध, मोरेन बांधित (लैटरल मोरेन और एंड मोरेन बांधित झीलें), और सुप्राग्लेशियल झीलों में वर्गीकृत किया गया है।

ये झीलें प्राकृतिक रूप से हिमनदों और उनके आसपास बनने वाली भौगोलिक प्रक्रियाओं का परिणाम होती हैं। इनके प्रमुख प्रकार और

विशेषताओं का विस्तृत वर्णन निम्न खण्डों में किया गया है:

अपरदन झीलें: हिमनद अपरदन झीलें वे जल निकाय हैं जो हिमनदों के पीछे हटने के बाद एक अवसाद के कारण निर्मित होती हैं। ये सर्क प्रकार और घाटी गर्त प्रकार की स्थिर झीलें होती हैं। ये अपरदन झीलें वर्तमान क्षेत्रों से अलग-थलग और दूर हो सकती हैं।

सर्क झील: यह एक हिमनद झील है जो पहाड़ी क्षेत्रों के ऊपरी भाग में बनती है जहाँ झीलें हिमनदों की अपरदन क्रिया द्वारा निर्मित एम्फीथिएटर के आकार के अवसादों में स्थित होती हैं।

घाटी गर्त झील: घाटी में हिमनद द्वारा घाटी के फर्श के अपक्षय के कारण बनती है। ये झीलें तब बनती हैं जब बर्फ घाटी के फर्श को आसपास के क्षेत्र की तुलना में थोड़ा गहरा कर देती है जिससे एक चट्टानी बेसिन बनता है। ये हिमनद पीछे हटने के बाद झील के लिए एक आदर्श स्थान छोड़ देते हैं।

सुप्राग्लेशियल झीलें

सुप्राग्लेशियल झीलें बर्फ के पिंड के भीतर मोरेन से दूर 50 से 100 मीटर के आयामों के साथ विकसित होती हैं। ये झीलें हिमनद के किसी भी स्थान पर विकसित हो सकती हैं लेकिन झील का विस्तार घाटी हिमनद की चौड़ाई के आधे से कम होता है। झीलों का स्थानांतरण, विलय और जल निकासी सुप्राग्लेशियल झीलों की विशेषताएं हैं। झीलों के विलय से झील के क्षेत्र का विस्तार और जल की एक बड़ी मात्रा का भंडारण होता है जिससे इसे उच्च स्तर की संभावित ऊर्जा मिलती है। हिमनद झील के विलय और विस्तार की प्रवृत्ति हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ के खतरे के स्तर को इंगित करती है।

मोरेन बांधित झीलें

मोरेन एक सामान्य शब्द है जिसका उपयोग किसी भी हिमनद मूल के संचयन के लिए किया जाता है जिसमें बोल्डर, रेत, और बजरी शामिल हैं, जो उस सतह पर छोड़ी जाती है जहाँ पहले एक हिमनद मौजूद था। एक पीछे हटते हुए हिमनद में, हिमनद बर्फ, हिमनद के सबसे निचले भाग में पिघलने की प्रवृत्ति रखती है जो लेटरल मोरेन और एंड मोरेन से घिरी होती है। परिणामस्वरूप, हिमनद की जीभ पर कई सुप्राग्लेशियल तालाब बनते हैं। ये तालाब कभी-कभी आपस में जुड़कर एक बड़ी झील बन जाते हैं और आगे गहराई की प्रवृत्ति रखते हैं, जिससे मोरेन बांधित झील का जन्म होता है। ये झीलें हिमगलित जल और हिमनद के पीछे के जल निकासी क्षेत्र में एकत्र वर्षा जल से भरी होती हैं और सर्दियों के मौसम में भी झील के आउटलेट से जल प्रवाह शुरू कर देती हैं। मोरेन के दो प्रकार होते हैं, एक बर्फ-कोर मोरेन और एक बर्फ-मुक्त मोरेन। हिमनद की बर्फ के पूर्णतः गलित होने से पहले, मोरेन और झील के तल के नीचे हिमनद की बर्फ मौजूद होती है। मोरेन और झील के नीचे कोर की गई बर्फ को कभी-कभी मृत बर्फ या जीवाश्म बर्फ कहा जाता है। जैसे-जैसे हिमनद की बर्फ पिघलती रहती है, झील गहरी और चौड़ी होती जाती है। अंततः, जब मोरेन और झील के नीचे की बर्फ पूरी तरह से पिघल जाती है, तो झील के जल को रोकने वाली सामग्री केवल बेडरॉक और मोरेन होती है।

हिमनद गलन झील प्रस्फोट बाढ़ (GLOF) का चित्रण।

केटल झीलें

ये झीलें उन अवसादों में स्थित होती हैं जो बड़े बर्फ के टुकड़ों के पिघलने से उत्पन्न होती हैं जो उनके मूल हिमनद के पिघलने पर ग्राउंड मोरेन के भीतर छोड़ दी जाती हैं। केटल झीलें जरूरी नहीं कि हिमनद के पीछे हटने के तुरंत बाद बनें। यदि बर्फ का टुकड़ा बहाव के एक ओवरबर्डन द्वारा इन्सुलेट किया जाता है, तो यह अपने मूल हिमनद के विलुप्त होने के बाद भी दीर्घावधि तक बना रह सकता है।

ब्लॉकिंग झीलें

ब्लॉकिंग झीलें हिमनद और अन्य कारकों के माध्यम से बनती हैं, जिसमें मुख्य हिमनद शाखा घाटी को अवरुद्ध करता है और हिमस्खलन और मलबे के प्रवाह अवरोध के माध्यम से हिमनदीय झीलें निर्मित होती हैं।

बर्फ-बांधित झीलें (पेरिग्लेशियल झीलें)

बर्फ-बांधित झील तब बनती है जब एक अग्रसर हिमनद मुख्य हिमनद घाटी में प्रवाहित होने वाली सहायक नदियों को अवरुद्ध कर देता है। इस प्रकार, एक बर्फ कोर-बांधित झील आमतौर पर आकार में छोटी होती है और हिमनद की बर्फ के संपर्क में नहीं आती है। इस प्रकार की झील मोरेन-बांधित झील की तुलना में हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ के प्रति कम संवेदनशील होती है। एक हिमनद झील केवल हिमनद के उतार-चढ़ाव के एक निश्चित चरण तक ही निर्मित होती है। यदि किसी व्यक्तिगत हिमनद के जीवनकाल का अनुसरण किया जाए, तो पाया जाता है कि मोरेन बांधित हिमनद झीलें समय के साथ निर्मित होती और विलुप्त हो जाती हैं। मोरेन बांधित झीलें तब विलुप्त हो जाती हैं जब वे पूरी तरह से नष्ट हो जाती हैं या जब मलबा झीलों को पूरी तरह से भर देता है या जब मातृ हिमनद फिर से मोरेन-बांध स्थिति से परे निचली ऊंचाई पर अग्रसर होता है। ऐसी हिमनद झीलें अनिवार्य रूप से अल्पकालिक होती हैं और हिमनदों के जीवन के दृष्टिकोण से स्थिर नहीं होती हैं। सामान्यतः, मोरेन बांधित झीलें बेसिन में खतरा पैदा करती हैं।

हिमालय में स्थित हिमनद और हिमनद झीलें

हिमालय के हिमनद (ग्लेशियर) भारत की प्रमुख नदियों के उद्गम स्थल हैं और उत्तर और पूर्वी भारत के जल संसाधनों के प्रमुख स्रोत हैं। ध्रुवीय क्षेत्रों के बाहर, हिमालय को विश्व में सबसे अधिक हिमनदों का आवास स्थल माना जाता है। आंकड़ों के अनुसार, हिमालय का लगभग 17 प्रतिशत क्षेत्र हिमनदों से आच्छादित है, जबकि 30 से 40 प्रतिशत पर्वतीय क्षेत्रों में मौसमी हिमपात होता है।

एक अनुमान के अनुसार, केवल भारतीय हिमालय में लगभग 9,500 हिमनद स्थित हैं। हिंदूकुश-हिमालय क्षेत्र में लगभग 8,000 हिमनदीय झीलें हैं, जिनमें से लगभग 200 या उससे अधिक को अत्यधिक खतरनाक श्रेणी में रखा गया है। ये झीलें भारी बर्फबारी, मूसलाधार बारिश और तूफानों के दौरान विखंडित हो सकती हैं और विनाशकारी फ्लैश फ्लड का कारण बन सकती हैं।

हिमालय क्षेत्र में हिमनद झीलों की घटना और विस्तार का प्रबोधन और अध्ययन करना चुनौतीपूर्ण है। उपग्रह सुदूर संवेदी तकनीक अपनी व्यापक कवरेज और पुनरीक्षण क्षमता के कारण हिमनद झीलों में दीर्घकालिक परिवर्तनों का आंकलन, हिमनदों के पीछे हटने की दरों को समझने, हिमनदों के जोखिमों का आंकलन करने और जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए महत्वपूर्ण है।

भारतीय अन्तरिक्ष अनुसंधान संगठन (ISRO) के अनुसार विगत 3

से 4 दशकों के उपग्रह आंकड़े अभिलेखागार हिमनद वाले वातावरण में होने वाले परिवर्तनों के बारे में बहुमूल्य जानकारी प्रदान करते हैं। 1984 से 2023 तक भारतीय हिमालयी नदी घाटियों के जलग्रहण क्षेत्रों को आच्छादित करने वाली दीर्घकालिक उपग्रह चित्र, हिमनद झीलों में महत्वपूर्ण परिवर्तनों को दर्शाते हैं। 2016-17 के दौरान चयनित की गई 10 हेक्टेयर से बड़ी 2,431 झीलों में से 676 हिमनद झीलें 1984 के बाद से उल्लेखनीय रूप से विस्तारित हुई हैं। विशेष रूप से, इनमें से 130 झीलें भारत में स्थित हैं, जिनमें से 65, 7 और 58 झीलें क्रमशः सिंधु, गंगा और ब्रह्मपुत्र नदी घाटियों में स्थित हैं।

हाल के दशकों में जलवायु परिवर्तन ने हिमालयी हिमनदों के जीवन चक्र को गंभीर रूप से प्रभावित किया है। बढ़ते तापमान के कारण बर्फ के तेजी से पिघलने की प्रवृत्ति देखी गई है, जिससे हिमनदों के पास नई झीलों का निर्माण हुआ है और मौजूदा झीलों में जल स्तर बढ़ा है। हालांकि, ऐसी प्रवृत्ति के लिए विश्वसनीय आंकड़े सीमित हैं, लेकिन यह स्पष्ट है कि इन झीलों में अतिरिक्त जल का प्रवाह या उनका अचानक टूटना गंभीर चिंता का विषय बन सकता है।

जब ये झीलें अपने पत्थरों और कंकड़ों से बने प्राकृतिक किनारों को तोड़ती हैं, तो वे बड़ी मात्रा में जल और मलबा निचले क्षेत्रों में बहाकर व्यापक तबाही मचा सकती हैं। यह स्थिति न केवल जलवायु संकट को दर्शाती है, बल्कि इसके प्रभाव क्षेत्र में बसे समुदायों और अधिसंरचना के लिए भी गंभीर खतरा पैदा करते हैं। इसलिए, इन हिमनद झीलों का प्रबोधन और उनका प्रबंधन आज के समय की महत्त्वपूर्ण आवश्यकता है।

हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ अध्ययन क्यों और कैसे?

बाढ़ के पूर्वानुमान के लिए इन झीलों की संख्या, इनमें जल की मात्रा एवं इनके विस्फोट से आई बाढ़ का विश्लेषण करना आवश्यक है। इन झीलों के दूरस्थ स्थानों एवं दुर्गम क्षेत्रों में होने के कारण, सुदूर संवेदन तकनीक काफी प्रभावशाली है। इस तकनीक द्वारा समय-समय पर झीलों की संख्या का आंकलन किया जा चुका है। राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान ने उत्तर पूर्वी हिमालय में सिक्किम एवं अरूणाचल प्रदेश, गढ़वाल हिमालय के कुछ क्षेत्र तथा भूटान स्थित कुछ बेसिनों में हिमालयी झीलों की प्रस्फोट बाढ़ का अध्ययन किया है इन झीलों में से किस झील से ज्यादा खतरा है या किस झील के शीघ्र टूटने की आशंका है, का पता लगाना बहुत आवश्यक है। संवेदनशील झीलों पर समय-समय पर दृष्टि रखना आवश्यक है। इनके आकार में परिवर्तन या इनके आस-पास के क्षेत्र में हो रही गतिविधियों में परिवर्तन के अध्ययन के लिये सुदूर संवेदन तकनीक द्वारा या अगर सम्भव हो तो क्षेत्र में जाकर स्थलीय अध्ययन किए जाते रहने चाहिये। इसी को ध्यान में रखते हुए विगत कुछ वर्षों में झीलों के प्रस्फोट बाढ़ अध्ययन में वृद्धि हुई है।

घाटी में प्रवाहित होने वाली नदियों पर स्थित बांध एवं स्थानीय परियोजनाओं के निर्माण के समय इन हिमनद झीलों का विश्लेषण करना अति आवश्यक है। जब भी कोई जल विद्युत परियोजना बनाई जाती है तो इसके लिये अभिकल्प बाढ़ का आंकलन किया जाता है परन्तु जलवायु परिवर्तन के कारण हो रहे बदलाव को ध्यान में रखते हुए झीलों के टूटने से उत्पन्न प्रवाह का हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ आंकलन भी आवश्यक हो गया है। राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान में विगत कुछ वर्षों में भारत एवं भूटान स्थित अनेक विद्युत परियोजनाओं के लिये हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ संबंधित अध्ययन किये गए हैं तथा हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ की मात्रा का आंकलन किया गया है। इसमें सुदूर संवेदन प्रणाली तथा भौगोलिक सूचना तंत्र प्रणाली द्वारा इन परियोजनाओं के जलग्रहण क्षेत्र में स्थित संवेदनशील झीलों का पता लगाना तथा संवेदनशील झील के निदर्शन द्वारा इससे उत्पन्न प्रवाह के बारे में जानकारी प्रदान करना शामिल है। इन झीलों से प्रवाहित जल के परियोजना तक पहुँचने का समय झीलों से परियोजना की दूरी पर निर्भर करता है यह समय मिनटों से लेकर 3-4 घंटे तक हो सकता है।

हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ प्रबंधन रणनीतियाँ

हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ के प्रभावों को कम करने के लिए कई संभावित तकनीकें उपलब्ध हैं, जैसे प्रबोधन और प्रारंभिक चेतावनी प्रणाली। हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ जोखिम को कम करने के लिए सबसे महत्वपूर्ण संरचनात्मक उपाय झील में जल की मात्रा को कम करना है ताकि चरम बाढ़ प्रवाह को कम किया जा सके। सामान्यतः निम्नलिखित तकनीकों में से किसी एक तकनीक का उपयोग झील में जल की मात्रा को कम करने के लिए किया जा सकता हैः नियंत्रित ब्रेकिंग, आउटलेट नियंत्रण संरचना का निर्माण, झील से पानी को पंप या साइफन करना, और मोरेन बाधा या बर्फ के बांध के नीचे एक सुरंग बनाना। झील के प्रस्फोट बाढ़ अध्ययन के लिए मातृ हिमनद, बांध सामग्री, और आसपास की स्थितियों के विस्तृत अध्ययन के साथ इसका सावधानीपूर्वक मूल्यांकन अत्यन्त आवश्यक है जिससे उपयुक्त बाढ़ प्रबंधन तकनीक का चयन किया जा सके। झील क्षेत्र के आसपास के किसी भी मौजूदा और संभावित बड़े हिम और बर्फ के हिमस्खलन, स्लाइड, या चट्टान गिरने के स्रोत का विस्तृत अध्ययन करना भी आवश्यक है, जिसका झील और बांध पर सीधा प्रभाव पड़ता है।

गैर-संरचनात्मक और संगठनात्मक

हिमालय के हिमनद (ग्लेशियर) भारत की प्रमुख नदियों के उद्गम स्थल हैं और उत्तर और पूर्वी भारत के जल संसाधनों के प्रमुख स्रोत हैं। ध्रुवीय क्षेत्रों के बाहर, हिमालय को विश्व में सबसे अधिक हिमनदों का आवास स्थल माना जाता है। आंकड़ों के अनुसार, हिमालय का लगभग 17 प्रतिशत क्षेत्र हिमनदों से आच्छादित है, जबकि 30 से 40 प्रतिशत पहाड़ी क्षेत्रों में मौसमी हिमपात होता है।

केदारनाथ आपदा के दौरान बाढ़ का एक दृश्य।

बाढ़ प्रबंधन उपाय, संरचनात्मक उपायों के पूरक हो सकते हैं। विशेष रूप से, दूरस्थ और दुर्गम क्षेत्रों में तथा गैर सरकारी संगठन और क्षेत्र में अन्य सामाजिक समाज में अक्सर संरचनात्मक उपायों की तुलना में अधिक लागत प्रभावी गैर-संरचनात्मक शमन उपाय उपयोगी हो सकते हैं। अनुप्रवाह क्षेत्रों में बुनियादी ढांचे और बस्तियों के निर्माण से पूर्व, दौरान, और बाद में प्रबोधन समुदायों को शामिल करें, क्योंकि वे अक्सर सबसे पहले प्रतिक्रिया देते हैं।

खतरे का मानचित्रणः हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ से जुड़े खतरों के मानचित्र बनाएं।

संरचनात्मक उपायः झील के जल स्तर को कम या नियंत्रित करें, और बांधों और अनुप्रवाह चैनलों को स्थिर करें।

जोखिम आंकलनः जोखिम का व्यापक

हिमालय क्षेत्र में हिमनद झीलों की घटना और विस्तार का प्रबोधन और अध्ययन करना चुनौतीपूर्ण है। उपग्रह सुदूर संवेदी तकनीक अपनी व्यापक कवरेज और पुनरीक्षण क्षमता के कारण हिमनद झीलों में दीर्घकालिक परिवर्तनों का आंकलन, हिमनदों के पीछे हटने की दरों को समझने, हिमनदों के जोखिमों का आंकलन करने और जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए महत्वपूर्ण है।

केदारनाथ आपदा के कारण अनुप्रवाह क्षेत्र में बाढ़ का एक दृश्य

प्रणाली का प्रयोग किया जाना चाहिए। हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ प्रबंधन में इन घटनाओं के जोखिम को कम करने के लिए रणनीतियों का संयोजन शामिल है, जिसमें शामिल हैं:

प्रबोधनः संभावित खतरनाक झीलों और नदी प्रणालियों की निगरानी के लिए बहु-चरणीय दृष्टिकोण का उपयोग करें। इसमें हिमनदों और झीलों का अंकीय आंकड़ा बेस बनाना, सुदूर संवेदी आंकड़ों का उपयोग करना और हवाई तस्वीरें लेना शामिल हो सकता है।

पूर्व चेतावनी प्रणालीः बाढ़ के आगमन के समय और गहराई का अनुमान लगाने के लिए जलगतिकीय निदर्श का उपयोग करें।

सामुदायिक भागीदारीः हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ की प्रतिक्रिया में स्थानीय आंकलन करें।

आपातकालीन तैयारीः आपात स्थितियों के लिए तैयार रहें।

उपसंहार

जलवायु परिवर्तन और हिमनदों के पीछे हटने के कारण हिमनद झीलें तेजी से बढ़ रही हैं। वैश्विक तापमान में वृद्धि के परिणामस्वरूप, हिमनद झीलों की संख्या और आकार बढ़ रहे हैं, और उच्च पर्वतीय क्षेत्रों में हिमनद-संबंधी खतरों का जोखिम बढ़ गया है। हिमनद झील विस्फोट बाढ़ को हिमनद-संबंधी आपदा के रूप में जाना जा सकता है। वर्तमान में, हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ की आवृत्ति बढ़ गई है। हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ को खतरों को आंतरिक और बाहरी दोनों कारकों द्वारा ट्रिगर किया जा सकता है। तापमान और वर्षा में भिन्नताएं, जो बाहरी कारक हैं, हिमनद झीलों में बर्फ के संचयन और हिमगलन को प्रभावित करती हैं। इसके अतिरिक्त, हिम चट्टान गिरना, भूस्खलन, अतिप्रवाह क्षरण, पाइपिंग, और अन्य कारक, हिमनद झील विस्फोट को ट्रिगर करते हैं, जिससे हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़, खतरों की मात्रा और आवृत्ति प्रभावित होती है। पहाड़ी क्षेत्रों में बादल फटने और भूस्खलन की घटनाएं आम हो गयी हैं। झीलों को आज आपदा और खतरे की दृष्टि से देखा जा रहा है इन हालातों में यदि हिमस्खलन होने की स्थिति में हिमनद में बनी ये झीलें विशाल रूप लेने के बाद जब विखंडित होती हैं, तो नदी-घाटियों में भारी नुकसान हो सकता है। हिमनदीय झील प्रस्फोट बाढ़ अत्यधिक विनाशकारी हो सकती हैं। हिमनद झील प्रस्फोट बाढ़ न केवल अनुप्रवाह क्षेत्रों, विशेष रूप से प्रमुख इंजीनियरिंग सुविधाओं पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालती हैं, बल्कि अनुप्रवाह में नदी के स्तर में तीव्र वृद्धि का कारण भी बन सकती है, जिससे आवासीय क्षेत्रों, कृषि भूमि और नदी के साथ बुनियादी ढांचे को बाढ़ से नुकसान हो सकता है। साथ ही, बाढ़ द्वारा बड़ी मात्रा में ले जाया गया तलछट और बजरी जलविद्युत परियोजना को हानि पंहुचा सकती है।

झीलों के टूटने से उत्पन्न होने वाले खतरे को कम करने के लिये यह आवश्यक है कि अति संवेदनशील झीलों का व्यापक अध्ययन किया जाना चाहिए। साथ ही यह भी आवश्यक है कि झीलों के अनुप्रवाह क्षेत्र में कितना पानी किस समय तथा किस तीव्रता से आयेगा, इसका वैज्ञानिक अध्ययन करना जरूरी है। यह भी पूर्वानुमान लगाना चाहिये कि कितना भाग बाढ़ की चपेट में आयेगा, जिससे कि निचले क्षेत्र में बाढ़ प्रबन्धन के लिये पूर्व चेतावनी प्रणाली बनाई जा सके। हिमनदीय झील विस्फोट बाढ़ के खतरों को देखते हुये विशेष रूप से मानसून ऋतु में संवेदनशील झीलों पर सतर्कता अति आवश्यक है, साथ-साथ बाढ़ प्रबन्धन हेतु पूर्व चेतावनी प्रणाली आदि को स्थापित करने की भी आवश्यकता है।

संपर्क करें:
डॉ. अनिल कुमार लोहनी
राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान,
रुड़की।