हिमनद झील के टूटने से उत्पन्न बाढ़ का विश्लेषण

अनिल कुमार लोहनी एवं संजय कुमार जैन

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की

प्रस्तावना

भारत के हिमालय क्षेत्र में पिछले कुछ दशकों से जलवायु परिवर्तन द्वारा हिमनदों का जीवन चक्र प्रभावित हुआ है। तापक्रम बढने से हिमनदों के पिघलने की दर भी बढी है, इस कारण कुछ हिमनदीय झीलों में जल का स्तर बढ़ा है। हिमालय क्षेत्र में कई हजार झीलें स्थित हैं परन्तु इनमें कुछ संवेदन शीलता की श्रेणी में आती हैं। इन हिमनदीय झीलों के अचानक टूटने से भारी मात्रा में जल एवं मलबा नदियों में बहकर बाढ़ के खतरे को उत्पन्न करता है। जो झीलें हिमनदी के मुहाने पर स्थित होती हैं वह हिमनद द्वारा छोड़े गये मलबे के पीछे बनती है, ये झीलें अत्यधिक जल धारण करने के कारण खतरनाक हो जाती हैं इनके विच्छेदन से अधिक मात्रा में जल बहुत कम समय में आकर अनुप्रवाह क्षेत्र में बाढ़ का खतरा पैदा कर देता है। झीलों के टूटने पर अचानक आयी बाढ़ का प्रवाह सामान्य बाढ़ से कई गुना अधिक होता है। इस बाढ़ को ग्लेशियल लेक आउटबर्स्ट फ्लड (GLOF) कहते हैं।

घाटी में बहने वाली नदियों पर स्थित बांध एवं स्थानीय परियोजनाओं को बनाते समय इन हिमनद झीलों का विश्लेषण करना अति आवश्यक है। जब भी कोई जल विद्युत परियोजना बनाई जाती है तो इसके लिए डिजाइन फ्लड का आकलन किया जाता है परन्तु जलवायु परिवर्तन के कारण हो रहे बदलाव को ध्यान में रखते हुए झीलों के टूटने से उत्पन्न प्रवाह का आकलन भी जरूरी हो गया है। राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान में पिछले कुछ वर्षो में भारत एवं भूटान स्थित कुछ विद्युत परियोजना के लिए (GLOF) संबंधि अध्ययन किये तथा GLOF की मात्रा का आकलन किया। इस प्रपत्र में हिमालयी क्षेत्र में स्थित एक बेसिन में हिमनदीय झील के अचानक टूटने की मॉडलिंग करके इससे उत्पन्न प्रवाह का आकलन किया गया है।

Abstract

The life cycle of glaciers in the Himalayas in India is affected due to climate change in the last few decades. Due to temperature rise, the rate of glacial melting has increased and this has increased water level in some of the glacial lakes. In Himlay many thousand lakes are present and few of tham are catergarised as vonubrable lakes. Sudden outburst of these glacial lakes causes heavy flood water and debris flows in the rivers. Lakes formed at the mouth of the glacier are formed behind the debris left by the glacier. These lakes are dangerous due to their larg water-holding capacity. Due to outburst of these lakes a large amount of water flows downstream areas suddenly for a very small duration. L Flash floods due to lake outburst is many times greater than the normal foods is known as glacial lake outburst flood (GLOF).

Consideration of potential glacier lake outburst floods (GLOF) is essential for the design of river engineering structures located downstream of hazardous glacier lakes. Computation of design flood is must for the designing of hydropower schemes in the river vally. Due to impact of climate change it is now necessary to consider the impact of GLOF on design flood estimation. In National Institute of Hydrology, a number of GLOF studies have been carried out for the hydropower projects planned at India and Bhutan. In the present paper, methodology for simulation of glacier lake outburst floods has been discussed with a case study.

परिचय

भारतीय हिमालय क्षेत्र में ताजे पानी की प्रकृति के अक्षय भंडार है, तथा यह कई ग्लेशियरों का घर है। आंकड़ों के मुताबिक हिमालय का 17 प्रतिशत हिस्सा ग्लेश्यिरों से बना हुआ है जबकि वहां की 30 से 40 प्रतिशत पहाडियों में मौसमी हिमपात होता है। इंटरनेशनल सेंटर फार इंटीग्रेटेड मांउटेन डेवलपमेंट (आई. सी. आई. एम. ओ. डी.) के लिए की एक रिपोर्ट के अनुसार हिमालय क्षेत्र में 15000 ग्लेशियर और 9000 हिमनद झील हैं (मूल, 2005)। हिमालय क्षेत्र आंतरिक रूप से वैश्विक वायुमण्डलीय परिसंचरण, जल चक्र, जैव–विविधता और जल संसाधनों से जुड़ा हुआ है और भारतीय पर्यावरण की स्थिति को प्रभावित करने में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहा है। बीसवीं सदी की पहली छमाही के दौरान वैश्विक जलवायु परिवर्तन के कारण उच्च पहाड़ी हिमनदों के पर्यावरण पर एक जबरदस्त प्रभाव देखा गया है तथा मौजूदा झीलों और/या नए हिमनदों के झीलों के गठन मे वृद्धि हुई है।

ग्लेशियर के पीछे हटने की प्रक्रिया में, ग्लेशियर बर्फ पार्श्व मोरैने ओर अंत मोरैने से घिरे ग्लेशियर के निम्नतम भाग में पिघल जाता है, नतीजतन, कई तालाब ग्लेशियर जीभ पर बनते हैं। इन तालाबों के कभी–कभी एक दूसरे के साथ परस्पर मिलने से एक झील बनती है जिसमें विस्तार और आगे, और गहरा करने की प्रवृत्ति होती है। इस प्रकार एक मोरैने बांध झील का जन्म होता है। झील के पीछे जल निकासी क्षेत्र से बर्फ से पिघला पानी और वर्षा के पानी से भरा रहता है जो सर्दियों के मौसम में न्यूनतम प्रवाह के समय भी झील के आउटलेट से बहने लगता है। मोरैने दो प्रकार के होते है। एक बर्फ आन्तरक मोरैने और एक बर्फ से मुक्त मोरैने हैं।

मोरैने बांध झीलें स्वाभाविक रूप से अस्थिर होती हैं और नीचे घाटियों में स्थित जल विद्युत परियोजनाओं एवं लोगों के लिए खतरे का एक संभावित स्त्रोत हैं जो भयावह जल निकासी के अधीन हो सकता है। एक ग्लेशियर झील के विस्फोट को आम तौर पर ग्लेशियर झील विस्फोट बाढ़ या ग्लोफ (GLOF) के रूप में कहा जाता है, जो अचानक नदी में बाढ़ का कारण बनता है। हिमालय क्षेत्र में, कई जल संसाधन परियोजनाओं का संचालन हो रहा है और कई और परियोजनायें उपलब्ध जल संसाधनों का दोहन करने के लिए आ रही हैं। ये जल संसाधन परियोजनायें जल विद्युत उत्पादन, सिंचाई और बाढ़ नियंत्रण के क्षेत्र में राष्ट्रीय और स्थानीय महत्व की हैं। इन परियोजनाओं की उचित योजना और प्रबंधन बेसिन उपज और डिजाइन, बाढ़ का सही आकलन पर निर्भर करता है। पिछले कुछ दशकों में हिमालय में कई हिमनदों झीलों का गठन हुआ है, और ग्लोफ (GLOF) की कई घटनायें इस क्षेत्र में देखी गई है। बीसवीं सदी की पहली छमाही के दौरान वैश्विक जलवायु परिवर्तन का उच्च पहाड़ी हिमनदों के पर्यावरण पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ा है। त्वरित ग्लोबल वार्मिंग हिमालय क्षेत्र में ग्लेशियरों के पीछे हटने/पिघलने में तेजी लाने के लिए और पहाड़ टॉप झीलों में पानी की बढ़ती मात्रा के लिए एक प्रमुख कारण के रूप में देखा जा सकता है।

हिमनद झीलों के चित्रण की कार्यप्रणाली

बाढ़ के पूर्वानुमान के लिए हिमनद झीलों की संख्या, इनमें जल की मात्रा एवं इनके विच्छेदन से आई बाढ़ का विश्लेषण करना आवश्यक है। इन झीलों के दूरस्थ स्थानों एवं दुगर्म क्षेत्रों में होने के कारण, सुदूर संवेदन विधि काफी प्रभावशाली है। इस विधि द्वारा समय–समय पर इनकी संख्या का आंकलन किया जा सकता है। राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान में उत्तर–पूर्वी हिमालय में सिक्किम एवं अरूणाचल प्रदेश, गढ़वाल हिमालय के कुछ क्षेत्र तथा भूटान–स्थित कुछ बेसिन झीलों के ऊपर अध्ययन किया गया है। इन झीलों में से कौन सी झील से ज्यादा खतरा है या कौन सी झील के जल्दी टूटने की आशंका है, का पता लगाना बहुत जरूरी है। एक रिपोर्ट के मुताबिक गढ़वाल हिमालय स्थित झीलें उतनी सवेंदनशील नही है जितनी की उत्तर–पूर्वी या अन्य हिमालय क्षेत्रों में–स्थित झीलें हैं। सिक्किम में करीब 14 झीलें तथा हिमाचल प्रदेश में 16 झीलें संवेदनशील झीलों की श्रेणी में आती हैं। इन झीलों को समय–समय पर नजर रखना जरूरी है। इनके आकार में परिवर्तन या इनके आस–पास के क्षेत्र में हो रही गतिविधियां (परिवर्तन) के लिए सुदूर संवेदन या अगर संभव हो तो क्षेत्र में जाकर अध्ययन किए जाते रहने चाहिए। इसी को ध्यान मे रखते हुए पिछले कुछ वर्षो में झीलों के अध्ययन में वृद्धि भी हुई है।

ग्लोफ (GLOF) मॉडलिंग या तो हिमनद झील का पैमाना हाइड्रोलिक मॉडल बना कर या कंप्यूटर में गणितीय अनुकरण का उपयोग कर की जा सकती है। ग्लोफ (GLOF) मॉडलिंग के लिए एक आधुनिक साफ्टवेयर सबसे अधिक प्रभावी है और यथोचित कंप्यूटर सिमुलेशन द्वारा यह निरंतरता और प्रवाह की गति के समीकरणों को हल करता है। हिमनद झील या बांध टूटने से आने वाली बाढ़ की गणितीय मॉडलिंग एक आयामी विश्लेषण या दो आयामी विश्लेषण के माध्यम से की जा सकती है। एक आयामी विश्लेषण मे, बाढ़ की भयावहता के बारे में जानकारी, यानी, जल प्रवाह (बहाव), प्रवाह का वेग और

जल स्तर तथा समय के साथ इन की भिन्नता को ज्ञात किया जा सकता है। दो आयामी विश्लेषण के मामले में, बाढ़ क्षेत्र के बारे में अतिरिक्त जानकारी जैसे कि सतह ऊंचाई और दो आयामों में वेग की भिन्नता का भी मूल्यांकन किया जा सकता है। इस अध्ययन में मल्टीस्पेक्ट्रल (multispectral) उपग्रह चित्रों का उपयोग कर ग्लेशियरों और हिमनदों के झीलों का मानचित्रण किया गया है। इन झीलों का विस्तार से विश्लेषण जोखिम के आधार झीलों का वर्गीकरण कर के किया गया है। संभावित खतरनाक हिमनदों के झीलों की पहचान करने के लिए, ग्लेशियरों और हिमनदों के झीलों का डिजिटल डाटाबेस आवश्यक है। हिमनदों के झीलों के क्षेत्र में विस्तृत ज्यामिति सर्वेक्षण करना संभव नही था इसलिये इस अध्ययन के लिए आवश्यक सभी स्थलाकृति जानकारी एक डिजिटल एलिवेशन मॉडल (डीईएम) से निकाली गयी हैं। छवि सुधारने (Image enhancement) की तकनीक आम तौर पर व्यक्तिगत ग्लेशियरों और हिमनदों के झीलों की पहचान के लिए उपयोगी होते हैं। इसके अलावा, इलाके की स्थिति जानकारी और अनुभव से ग्लेशियर और हिमनदों झील की संख्या, इनमें होने वाले बदलाव का अध्ययन किया जा सकता है। एफ. सी. सी. (False Colour Composite) में और अलग–अलग बैंड के संयोजन का उपयोग कर ग्लेशियरों और हिमनदों के झीलों की पहचान की जा सकती है। सामान्यीकृत अंतर वनस्पति सूचकांक (NDVI) (हार्डी और बर्गन, 1999) की तरह, इस अध्ययन मे झील का पता लगाने के लिए एक सामान्यीकृत अंतर पानी सूचकांक (NDWI) (हगल, 1998) का इस्तेमाल किया गया है।

$$NDWI = \frac{B_{NIR}-B_{blue}}{B_{NIR}+B_{blue}} \quad (1)$$

कभी–कभी वर्णक्रम प्रतिबिंब के कारण छायांकित क्षेत्र झीलों के रूप में गलती से वर्गीकृत हो जाते हैं। अतः इस अध्ययन में झीलों के सत्यापन के लिए NDWI छवि को डी.ई.एम. के ऊपर रख कर सत्यापित किया गया है।

संभावित खतरनाक हिमनदों के झीलों की पहचान

संभावित खतरनाक हिमनदों के झीलों की पहचान करने के लिए बनाये गये मानदंड जिन पर आधारित हैं वह हैं: झील और आसपास के क्षेत्र का अवलोकन, अतीत की घटनाओं की प्रक्रियाओं के रिकार्ड, हिमनद झील और आसपास के क्षेत्र की भू–रूपतामक और भू–तकनीकी विशेषतायें तथा क्षेत्र की भौतिक स्थितियां। संभावित खतरनाक हिमनदों के झीलों की पहचान करने के लिए विभिन्न शोधकर्त्ताओं द्वारा झील का क्षेत्र, झील में जल की मात्रा, झील में दरार के सबूत, झील और उसके आसपास की हालत को मानदंड बनाया है (राय एट आल, 2012, जैन एट आल, 2012, लोहानी एट आल, 2013)। इस प्रयोजन के लिए गूगल अर्थ के साथ सुदूर संवेदन डेटा का संयोजन एक उपयोगी इनपुट प्रदान करता है। नदी के ऊपर जलग्रहण में हिमनदों झीलों की वास्तविक स्थिति की जाँच बहुत ही महत्वपूर्ण है। झील ग्लेशियर के एबिलिएशन (abalation) क्षेत्र में स्थित है या मुख्य ग्लेशियर के साथ जुड़ा हुआ है? क्या हाल के दिनों में झील के टूटने के सबूत मिले है तथा झील का विस्तार हुआ है? कमजोर झील के पहचान करने के बाद, झील के टूटने से होने वाली बाढ़ का सिमुलेशन किया गया। आर्क जीआईएस और ERDAS सॉफ्टवेयर का प्रयोग कर कमजोर झील के नीचे की नदी के क्रास–सेक्शन निकाले गये। इस अध्ययन में एक किलो मीटर की दूरी पर क्रास–सेक्शन निकाल कर माडल मे उपयोग किये गये।

हिमनदों के झील विस्फोट बाढ़ (Glof) सिमुलेशन

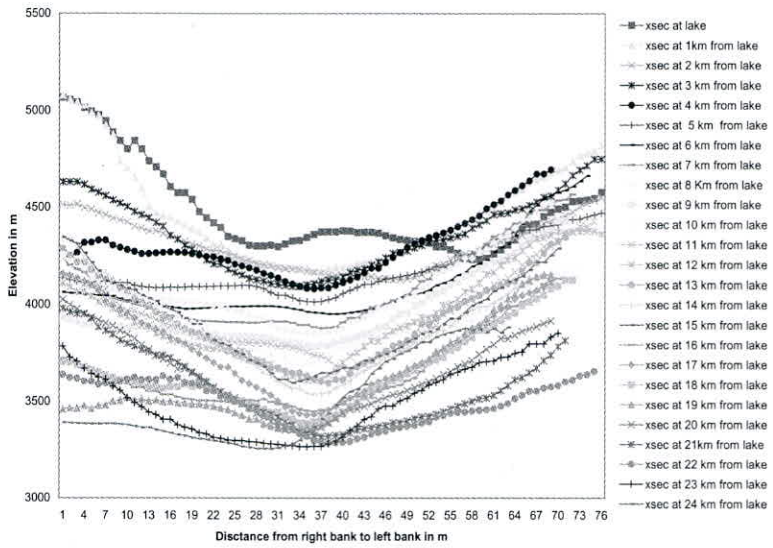
हिमनदों के झील के टूटने से आने वाली बाढ़ झील पर बने बांध की ऊचांई, चौडाई, बांध सामग्री संरचना, तंत्र की विफलता, झील से नीचे की ओर स्थलाकृति, और से सीधे संबंधित है। किसी भी स्थान पर अधिकतम Glof शिखर प्राप्त करने के लिए, ऊपर हिमनदों के झीलों की मात्रा का पता होना चाहिये। हिमालय में हिमनदों के झीलों की मात्रा के आकलन के लिए उपलब्ध कोई अनुमान नही है। हालांकि, Huggel एट अल। (2002) स्विस आल्प्स में हिमनदों के झीलों के लिए कुछ अनुमानों के लिए दिया गया है। संभावित खतरनाक हिमनदों के झीलों की मात्रा के बारे में जानकारी के अभाव में, यह उपयुक्त माना जाता है (राय एट आल, 2012, जैन एट आल, 2012, एट आल 2013 लोहानी)। हगल एट आल (2002) द्वारा इस्तेमाल किया अनुभवजन्य संबंध निम्न है:

झील मात्रा वी $V= 0.104A^{1.42}$ (2)

जहां V झील की मात्रा (घन मीटर) है तथा A झील क्षेत्र (वर्ग मीटर) है।

झील गहराई $D = 0.104A^{0.42}$ (3)
जहां D झील की गहराई (मीटर) है

वर्तमान अध्ययन में धौलीगंगा नदी क्षेत्र की सबसे बड़ी झील के निचले इलाकों में Glof के प्रभाव को प्रदर्शित करने का प्रयास किया गया है। वैसे तो अध्ययन क्षेत्र में कोई भी खतरनाक झील नहीं देखी गयी है किन्तु उदाहरण के तौर पर सबसे बडी झील के टूटनें से आने वाली बाढ का अध्ययन किया गया है। इस झील के आउटलेट से 25.0 किलोमीटर की दूरी पर बाढ़ का सिमुलेशन किया गया है। हिमनद झील से नीचे के 25 किलोमीटर तक 1 किलोमीटर के अंतराल पर क्रास–सेक्शन (चित्र 1) डीईएम से विकसित किये गये।



चित्र 1: झील से नीचे 1 किलो मीटर के अंतराल पर क्रास–सेक्शन

झील की ऊचांई 4339 मीटर है। झील और ऊचांई तथा सतह क्षेत्र तालिका–1 में दिया गया है झील की मात्रा की गणना झील क्षेत्रफल 125000 वर्ग मीटर ले कर समीकरण–2 का उपयोग कर की गयी तथा यह 1.79 मिलिअन घन मीटर प्राप्त हुई। समीकरण–3 का उपयोग कर झील की गहराई की गणना की जाती है और यह 15 मीटर प्राप्त हुई। उल्लंघन बांध के शीर्ष पर शुरू होता है और उल्लंघन पलटना स्तर तक जारी है। झील के आकार को देखते हुए, यह प्रवाह का अधिकतम शिखर पाने के लिए 30 मिनट का ब्रीच विकास का समय लिया गया है।

तालिका –1 हिमनदों के झीलों की ऊंचाई–क्षेत्र रिश्ते

हिमनदों झील (मात्रा 1.79 Mcum)	
ऊंचाई (मीटर)	स्तह क्षेत्र (वर्ग मीटर)
4323.000	115000.00
4324.000	115000.00
4339.000	125000.00

वर्तमान अध्ययन में ग्लोफ सिमुलेशन के लिये यह माना गया है कि हिमनद झील के टूटनें के समय 100 साल की अवधि की बाढ़ भी नदी में है। झील और उससे 25 किलो मीटर नीचे 100 साल की बाढ़ को पार्श्व प्रवाह में विभाजित किया गया जिसे चित्र 2 में दिखाया गया है। माइक 11 सॉफ्टवेयर का प्रयोग कर 50 मीटर चौड़ाई की ब्रीच से उत्पन्न बाढ़ का सिमुलेशन किया गया। हिमनद झील साइट से 25 किलोमीटर नीचे बाढ़ की यात्रा के समय तथा प्रवाह को तालिका–2 में दर्शाया गया है। यह बाढ़ शिखर हिमनद झील साइट पर 808.66 क्यूमेक है और 25 किलो मीटर नीचे पर 652.9 क्यूमेक तक

कम होता है, इसे टेबल–3 में देखा जा सकता है। झील साइट से 25 किलो मीटर नीचे आउटलेट के लिए बाढ़ के शिखर की यात्रा का समय 20 मिनट है।

तालिका–2: 100 साल वापसी की अवधि बाढ़ के लिए माना गया पार्श्व इनफ्लो

क्रम संख्या	स्थान	100 साल बाढ़ घन मीटर प्रति सेकेंड	पार्श्व प्रवाह को घन मीटर प्रति सेकेंड	क्षेत्र (वर्ग मीटर
1	झील पर	215.11	215.1143	138.87
2	झील से 7.85 किलो मीटर नीचे	325.37	110.2602	71.18
3	झील से 10.25 किलो मीटर नीचे	370.31	44.93747	29.01
4	झील से 16.75 किलो मीटर नीचे	474.62	104.3119	67.34
5	झील से 20.21 किलो मीटर नीचे	602.63	128.0121	82.64
6	झील से 25.21 किलो मीटर नीचे	1082.00	479.4259	309.5

तालिका–3: हिमनद झील से उत्पन्न बाढ़ तथा यात्रा समय

स्थान	दूरी (झील से नीचे, किलो मीटर)	ब्रीच चौड़ाई 50 मीटर	
		ग्लोफ शिखर प्रवाह (घन मीटर प्रति सेंकेंड)	यात्रा समय (घंटा–मिनट)
झील के मुहाने पर	0	808.66	00–00
25 किलो मीटर नीचे आउटलेट पर	25.0	625.87	0–20

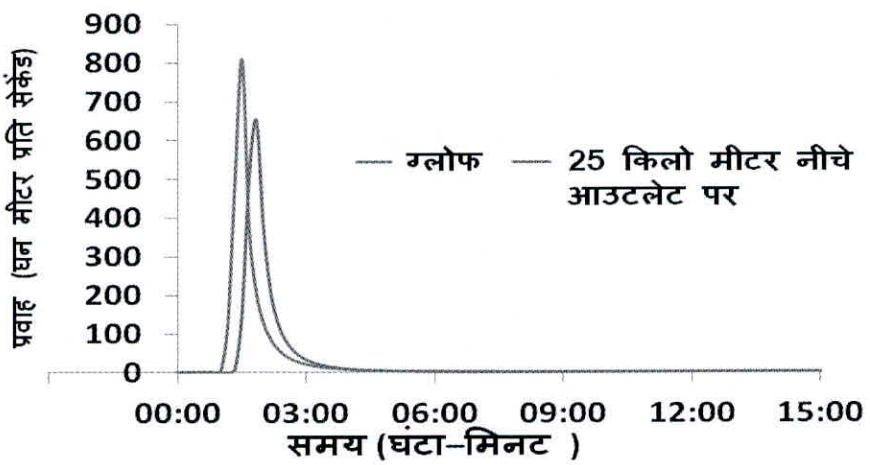


Fig. चित्र 2: ग्लोफ शिखर प्रवाह

निष्कर्ष

भौगोलिक सूचना प्रणाली (जीआईएस) के साथ दृश्य और डिजिटल छवि विश्लेषण हिमनद झीलों के अध्ययन के लिए बहुत उपयोगी है। यह खरतरनाक झील के अध्ययन में बहुत ही सहायक है। हिमनदों झील के टूटने से आने वाली बाढ के सिमुलेशन के लिये माइक 11 सॉफ्टवेयर को सफलतापूर्वक विभिन्न शोधकर्ताओं द्वारा लागू किया गया है। वर्तमान में जलवायु परिवर्तन तथा इसका हिमनद झीलों पर प्रभाव को ध्यान मे रखते हुए हिमालय क्षेत्र में विभिन्न आगामी परियोजनाओं

के डिजाइन बाढ़ के आकलन के लिए विचार करते समय खरतरनाक झील का अध्ययन तथा बाढ का सिमुलेशन किया जाना आवश्यक है।

संदर्भ

1. हार्डी, सी. सी. एंड बुरगान, आर सी. ई सी. (1999)। एव्युलेशन ऑफ अनडीवीआइ फॉर मोनेटोरिंग मोइसट्ररू इन थ्री वीजीटेटेशन टाइप ऑफ दी वर्स्टेन यू. अस. फोटोंग्रामट्रीक इंजीनियरिंग एंड रिमोट सेन्सींग, 65:603–610।
2. हूगगल, सी. (1998), प्रीगलेजीले सीन इम लूफत–उनड स्टेलीटेनबीलड। डिप्लोमा थीसिस, डिपार्टमेंट ऑफ जियोग्राफी, यूनीवर्सिटी ऑफ जूरिच।
3. हग्गल, सी., का "ए"बी, ए. हएर्बली, डब्लू. , टीइसीरी, पी. एंड पॉल, एफ. (2002)। रिर्मोट सेंसींग बेस्ड एससमेंट ऑफ हजार्ड फार्म ग्लेशियर लेक आउटब्रस्टसः ए केस स्टडी इन दी स्विस एलपस। केन जीयोटेक जे 39:316–330।
4. जैन, एस. के., लोहानी, ए.के., सिंह, आर. डी., चौधरी, ए एंड ठकुराल, ए. के. (2012)। ग्लेशियल लेक्स एंड ग्लेशियल लेक आउटब्रस्ट फलूड इन ए हिमालय बेसिन यूसिंग रिर्मोट सेनसींग एंड जीआइटअस। नाट हजार्ड 2012) 62:887–899।
5. लोहनी, ए. के. जैन, एस. के. एंड सिंह, आर. डी. (2013)। पीक डिस्चार्ज इस्टीमेटस ऑफ ग्लेशियल लेक्स आउटब्रस्ट फलूडस, इंण्डिया वाटर वीक–2013।
6. मूल, पीके (2005) मोनीटोरिंग ऑफ ग्लेशियर्स एंड ग्लेशियल लेक्स फ्रोम 1970एस टू 2000 इन पोइक्यू बेसिन, टीबेट आटोनोमाउस रीजन, पीआर चाइना। अनपब्लिशड रिर्पोट बाइ आइसीआइअमओडी, काठमांडू, नेपाल, एंड करीरी, गनस्तू, चाइना।
7. राय, एन. एन. बक्शी अस. अस. एंड गर्ग, वी. (2012)। इनटीग्रेटिड ग्लेशियल लेक्स आउटब्रस्ट फ्लड (गलोफ) स्टडी फॉर लोहित बेसिन, अरुणाचल प्रदेश, इण्डिया वाटर वीक 2012–वाटर, एनर्जी एंड फूड सिकरिटीः काल फॉर श्योलूसनस, 10–14 अप्रैल 2012, नई दिल्ली।