प्रपत्र 1.4

गंगोत्री हिमनद के गलित अपवाह के विलम्बित अभिलक्षण

नरेश कुमार[1]	मनोहर अरोरा[1]	राकेश कुमार[1]	हुकम सिंह[1]
प्रधान शोध सहायक	वैज्ञा.सी	वैज्ञा. एफ	वरिष्ठ शोध सहायक

[1]राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रूड़की

सांराश

हिमालय के अधिकांश बेसिनों के काफी क्षेत्रों में हिम एवं हिमनदों से आच्छादित क्षेत्र होता है। इनसे निकलने वाली नदियों में, मौसम के अनुसार, मई के महीने में हिमनदों के पिघलने से अपवाह का प्रारम्भ होता है। हिमनदों से गलित अपवाह उस समय अपवाह को बढ़ाता है जब नदियों में अपवाह कम होता है इस प्रकार यह जल उपलब्धता में आने वाली कमी की पूर्ति करता है। हिमनद से पिघलता हुआ पानी पिघलने के कुछ अन्तराल बाद हिमनद के स्नाऊट पर प्रकट होता है। अपवाह के विलम्बन अभिलक्षण को अधिकतम अपवाह तक पहुँचने के समय (tp) एवं अपवाह की उत्पत्ति के समय एवं स्नाऊट पर प्रकट होने के समय के अन्तराल (te) में समयानुसार आने वाले परिवर्तनों के अध्ययन द्वारा समझा जा सकता है।

वर्तमान अध्ययन में गढ़वाल हिमालय में स्थित गंगोत्री हिमनद (हिमनद क्षेत्रफल 286 वर्ग कि.मी. कुल निकास क्षेत्रफल 556 वर्ग कि.मी.) के गलित अपवाह के विलम्बन अभिलक्षणों का अध्ययन किया गया है। इस उद्देश्य हेतु हिमनद के स्नाउट (गोमुख) के पास लगभग 4000 मीटर पर तापमान एवं अपवाह के आंकड़े मई 2004 से अक्टूबर 2004 तक एकत्र किये गये। इस प्रकार के अध्ययनों में साफ मौसम वाले दिनों के जलालेख एवं तापमान में दैनिक परिवर्तन महत्वपूर्ण सूचना प्रदान करते हैं। अपक्षरण काल के प्रारम्भ में मौसमी हिम आवरण की उपस्थिति के कारण हिमनदों में अपर्याप्त जलनिकासी तंत्र एवं अधिक सुदृढ़ भंडारण क्षमता के कारण, गलित अपवाह अधिक विलम्बित अभिलक्षण प्रदर्शित करता है जिसके कारण tp एवं te का मान अधिक होता है। अपवाह विलम्बन प्राचलों की अपवाह अनुपात से तुलना से स्पष्ट पता चलता है कि समय अन्तराल (te) एवं अधिकतम तक पहुँचने का समय (tp) अपवाह में परिवर्तन से प्रतिलोमतः सह सम्बन्धित हैं।

परिचय

संसार की पर्वत श्रेणियाँ, पृथ्वी के महाद्वीपीय क्षेत्रफल के पाँचवें भाग पर फैली हुई हैं एवं अंटार्कटिक को छोड़कर, बाकी सभी स्थानों पर कम या अधिक संख्या में इनमें मानव वास हैं पर्वत संसार की जनसंख्या के लगभग 10 प्रतिशत को सीधे एवं लगभग आधी जनसंख्या को परोक्ष रूप में जीवन यापन में सहयोग प्रदान करते हैं। हिमालय, रॉकी, एंडीज एवं आलप्स जैसी पर्वतमालाएँ छोटे सी क्षैतिज दूरी में ही विभिन्न प्रकार के जलवायु क्षेत्र प्रदर्शित करती हैं। संसार की बहुत सी बड़ी नदी पद्धतियों के उदगम होने के कारण, पर्वत जल चक्र को प्रभावित करने वाले मूल तत्व भी हैं। बदलती हुई भूमण्डलीय जलवायु में, जलवायु दौर में परिवर्तन, विशेष रूप से वर्षण में स्थान एवं मौसमी बदलाव का, पर्वतों से निकलने वाली नदी प्रणालियों पर बहुत अधिक प्रभाव पड़ेगा, जिसका पर्वतों के निचले क्षेत्र में रहने वाली जनता के सामाजिक एवं आर्थिक ढाँचे पर बहुत अधिक प्रभाव पड़ेगा।

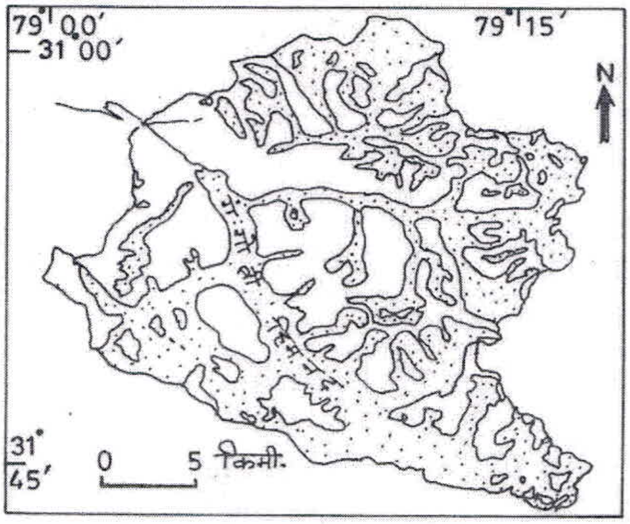
दक्षिण मध्य एशिया की पर्वत श्रेणियाँ जिनमें काराकोरम, कुन, लुन, शाह हिन्दूकुश एवं पामीर भी शामिल हैं, लगभग 109,000 वर्ग कि.मी. क्षेत्र में बर्फ से ढकी हुई हैं (शार्प 1988)। हमारे ग्रह के कुल जल संसाधन 1359×106 घन कि.मी. हैं जिसमें से 38×106 घन कि.मी. (2-8 प्रतिशत) स्वच्छ जल हैं। संसार के स्वच्छ जल का 75 प्रतिशत भाग हिमनदों एवं बर्फ के रूप में हैं। जिसमें से 90 केवल अंटार्कटिका में हैं। यद्यपि स्थायी हिम एवं बर्फ का केवल 3-5 प्रतिशत ही ध्रुवीय क्षेत्र के बाहर पर्वतों पर फैला हुआ हैं। फिर भी यह मानव समाज के लिए अति महत्वपूर्ण हैं। ये स्वच्छ जल के बहुत अच्छे स्रोत हैं जो शीत काल में हिम के रूप में जल संग्रह करते हैं तथा शुष्क गर्मियों में उसे स्रावित करते हैं। संसार की अधिकतर नदियाँ पर्वतों पर ऐसे स्थानों से निकलती हैं जहाँ पर बड़ी मात्रा में हिम एवं हिमनदों में स्वच्छ जल संग्रहित है। भारत में तीनों बड़ी नदी प्रणालियाँ (गंगा, ब्रहमपुत्र एवं सिन्धु) हिमालय से निकलती हैं एवं इनमें हिम एवं हिमनदों के गलित अपवाह का बहुत अधिक योगदान हैं। भारतीय हिमालय क्षेत्र में लगभग 5000 हिमनद हैं जिनका क्षेत्रफल लगभग

38,000 वर्ग किमी है। बढ़ती हुई जनसंख्या, शहरीकरण एवं औद्योगिक विकास के कारण स्वच्छ जल की बढ़ती हुई माँग के कारण हिमालय पर दबाव बढ़ रहा है।

हिमालयी हिमनदों के जल संसाधनों, जल–विद्युत उत्पादन, सिंचाई एवं पेयजल वितरण में महत्वपूर्ण योगदान के कारण, हिमनदों के अनुसंधान का कार्य अति आवश्यक हो जाता हैं। उत्तराखण्ड में हिमालय से निकलने वाली नदियों पर बहुत सी जल विद्युत उत्पादन इकाई चल रही हैं तथा कई निर्माणाधीन/प्रस्तावित हैं। बहुत सी परियोजनाओं जैसे कि भागीरथी पर टिहरी, मनेरी भाली एवं लोहरी नागपाला एवं धौली गंगा पर तपोवन विष्णुगाड में विद्युत उत्पादन काफी हद तक हिम एवं हिमनदों से प्राप्त जल पर निर्भर करता हैं। हिमनदों वाले बेसिनों के गुणधर्म, केवल वर्षा वाले बेसिनों से अलग होते हैं। प्रायः मौसमी हिम के पिघलने से जून के अन्त तक जल मिलता है। उसके पश्चात हिमनद गलन से जल मिलना प्रारम्भ होता है। जो अक्टूबर तक जारी रहता है। मोटे तौर पर हिमनद बेसिनों से प्राप्त जल, बेसिन में पड़ने वाली वर्षा, अपक्षरण क्षेत्र में पिघले बर्फ की मात्रा एवं संचयन क्षेत्र में पड़ने वाले हिम की मात्रा पर निर्भर करता है।

अध्ययन क्षेत्र

गंगोत्री हिमनद (30° 43' से 30° 01 उ. अंक्षाश एवं एवं 79° 00 से 79° 17 पू. देशान्तर) गढ़वाल हिमालय के सबसे बड़े हिमनदों में से एक है। यह उत्तराखण्ड राज्य के उत्तरकाशी जिले में स्थित है एवं 'घाटी हिमनद' के रूप में वर्गीकरत है। यह भागीरथी नदी बेसिन के सबसे ऊपरी भाग में स्थित है। यद्यपि सामान्यतः इसे गंगोत्रो हिमनद के रूप में जाना जाता है परन्तु वास्तव में यह गंगोत्रो हिमनद तंत्र है जो छोट–बड़े कई सारे हिमनदों का समूह हैं।



चित्र– 1 गंगोत्री हिमनद की स्थिति का मानचित्र

इस हिमनद तंत्र में तीन मुख्य सहायक हिमनद चतुरंगी हिमनद (लम्बाई 22-45 कि.मी, क्षेत्रफल 67-70 वर्ग कि.मी.) रक्तवर्ण हिमनद (लम्बाई 15-90 कि.मी., क्षेत्रफल 55-30 वर्ग कि.मी.) एवं किर्ती हिमनद (लम्बाई 11-05 कि.मी., क्षेत्रफल 33-14 वर्ग कि.मी.) एवं हिमनद के तने के रूप में मुख्य हिमनद गंगोत्रो हिमनद (लम्बाई 30-20 कि.मी. क्षेत्रफल 86.32 वर्ग कि.मी.) हैं। इन मुख्य हिमनदों के अतिरिक्त तीन अन्य सहायक हिमनद सवाचन्द, मियान्डी एवं घनोहिम है जो सीधे गंगोत्रो हिमनद तंत्र से जुड़े हुए हैं।

हिमनद तक पहुँचने के लिए गंगोत्री धाम से अठ्ठारह कि.मी. का पैदल मार्ग है। अध्ययन हेतु लिए गये गंगोत्रो हिमनद बेसिन का अपवाह मापन केन्द्र तक कुल जल ग्रहण क्षेत्रफल 556 वर्ग कि.मी. है जिसमें से हिमनद आच्छादित क्षेत्रफल 286 वर्ग कि.मी. है। अध्ययन हतु लिए गये बेसिन की ऊंचाई 3800 से 7000 मी. के मध्य है।

आंकड़ा संग्रह

गंगोत्री हिमनद के गलित अपवाह विलम्बन अभिलक्षणों का अध्ययन करने हेतु, हिमनद गलित अपवाह की निरन्तर निगरानी की गई जिसका कुल जल ग्रहण क्षेत्रफल 556 वर्ग कि.मी. है, जो किसी भी हिमनद की जल–मौसम विज्ञानीय स्थिति की व्याख्या करने के लिए पहली एवं सबसे महत्वपूर्ण आवश्यकता है। निरन्तर वर्ष 2004 के गलन काल में मई से अक्टूबर तक गंगोत्रो हिमनद के स्नाऊट के पास अपवाह एवं मौसम आंकड़े एकत्र किये गये। गंगोत्रो हिमनद के स्नाऊट (गोमुख) से लगभग तीन कि.मी. नीचे एक आदर्श मौसम वेद्यशाला स्थापित की गई। जल स्तर में आने वाले परिवर्तनों को

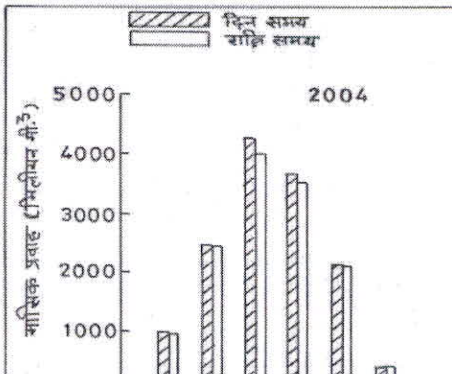
मापने हेतु एक स्वतः जलस्तर मापी लगाया गया जिससे दिन–रात लगातार जल स्तर आंकड़े एकत्र किये गये । इन जल स्तरों से पूर्वनिर्धारित स्तर अपवाह सम्बन्ध का प्रयोग कर अपवाह का निर्धारण किये गया । इन जल स्तरों से पूर्वनिर्धारित स्तर अपवाह सम्बन्ध का प्रयोग कर अपवाह का निर्धारण किया गया। अध्ययन काल के दौरान एकत्र किये गये मौसम आंकड़ों को प्रत्येक घंटे पर अंकीकृत किया गया।

संचयन गुणधर्म

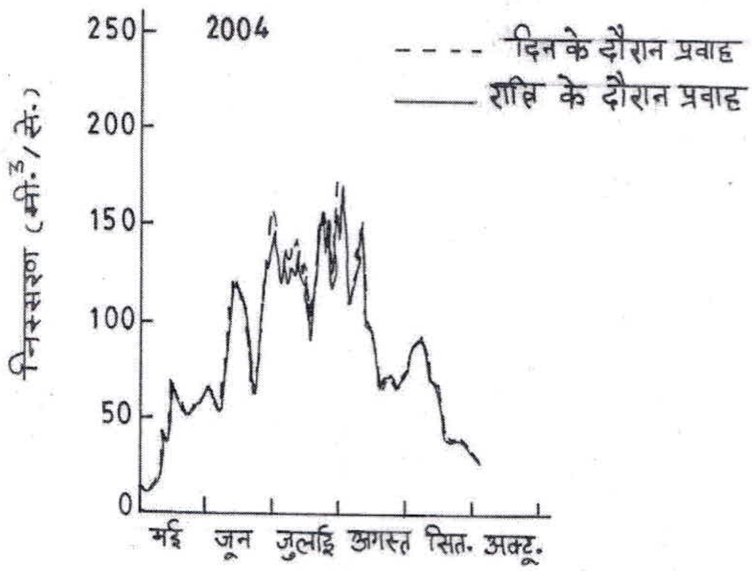
हिमालय की हिम एवं हिमनदों द्वारा सिंचित नदियों के जलालेख के दैनिक चक्रों पर किये गये प्रयोग, हिम समूह से जहां पर अपरान्ह में हिम गलन अधिकतम होता है, से मापन स्थल तक पहुँचने में लगे समय, जो कई घंटों पश्चात पहुँच सकता है, का निर्धारण करने हेतु एक महत्वपूर्ण तकनीक प्रदान करते हैं। समय अन्तराल (हिमनद गलन द्वारा अपवाह की उत्पत्ति एवं उस अपवाह के मापन स्थल तक पहुँचने का समय अन्तराल) गहरे हिम समूहों में से जल के अन्तः स्रवण के कारण बढ़ जाता हैं (जेसिका डी, 2005)। हिमनदों या हिम समूहों के यह संचयन गुणधर्म गलित अपवाह की विलम्बित प्रतिक्रिया के जिम्मेदार हैं। हिमनद का आकार, हिमनद के ऊपर हिम की मोटाई एवं हिमनद का निकासी तंत्र, हिमनद से प्राप्त जल के अपवाह की मात्रा एवं विलम्बित प्रतिक्रिया को नियन्त्रित करते हैं। ट्रेसर प्रयोग, समस्थानिक अध्ययन एवं अपवाह वितरण विश्लेषणों पर आधारित विभिन्न अध्ययनों द्वारा ज्ञात हुआ है कि संचयन क्षेत्र (फर्न क्षेत्र), हिमनद झीलों, एवं जल से भरी खोह से निरंतर मिलने वाले जल में संचित जल का बड़ा योगदान होता है (स्टेन बोर्ग, 1970, इलिस्टन 1973, टैन्गबोम आदि 1975, लैंग 1973, कोलिन्स 1982, ओरटर एवं मोजर 1982)। विलम्बन का परिमाण अपक्षरण एवं संचयन क्षेत्र का मिला जुला असर है। बर्फ, हिम एवं जल से संचयन तीन समय स्तरों पर होता है।

हिमनद में गलित जल संचयन को (1) दीर्घ अवधि संचयन–जिसमें जल का हिम एवं बर्फ के रूप में संचयन एवं जलवायु के अनुसार उसे मुक्त करना शामिल है। (2) मध्यम अवधि संचयन–जिसमें मौसमी अपवाह परिवर्तन एवं मौसमी जल संतुलन शामिल हैं। (3) लघु अवधि संचयन– जिसमें हिम, फर्न एवं हिमनद के ऊपर एवं अन्दर की वाहिकाओं तंत्र में गलित जल संग्रहण शामिल हैं।

लघु अवधि संचयन या दैनिक संचयन जो कि जल अपवाह के परिमाण को नियन्त्रित करता है, हिमनद विशेष की गतिकी, आकार, जल निकासी तंत्र, मौसमी हिम एवं फर्न आवरण, हिम की मोटाई एवं संचयन एवं अपक्षरण क्षेत्र पर निर्भर करता है। हिमनद में जल अनेकों प्रकार से सतही हिम एवं फर्न, हिम दरार, सतही तालाब, सतही एवं हिमनद के अन्दर खोहों में एवं हिमनद की सतह एवं हिमनद के अन्दर जल निकासी तंत्र में संचित हो सकता है (जनस्सन 2003)। लघु अवधि गलित जल संचयन गुणधर्मों के कारण ही हिमनद निस्सरण में दैनिक परिवर्तन आते हैं। इसी संचयन के कारण एक दिन विशेष में प्राप्त हुआ गलित जल उसी दिन स्नाऊट नहीं पहुँच पाता। बचा हुआ गलित जल आगे आने वाले दिनों में बाहर आता हैं। इस प्रकार एक समय विशेष में सम्प्रेक्षित अपवाह, उसी दिन एवं पूर्ववर्ती दिन संयुक्त परिणाम हैं। अपवाह विलम्बन, हिमनद के हिम एवं फिर्न की परिपक्वता एवं प्रबलता के अनुसार परिवर्तित होता रहता है। हिमनद वाली नदियों में अधिकतम धारा प्रवाह दोपहर बाद या सायंकाल में होता है जिससे स्पष्ट रूप से पता चलता है कि दिन के समय गलन से प्राप्त जल का अधिकतर भाग कुछ घंटों बाद स्नाऊट पर पहँचता है (सिंह एवं रामशास्त्रो 2003)। गंगोत्रो हिमनद के गलित अपवाह के विलम्बन अभिलक्षणों को समझने हेतु चौबीस घंटों के धारा प्रवाह आंकड़ों को, दिन का प्रवाह (0900–2000 बजे) एवं रात्रि का प्रवाह (21:00 से 08:00 बजे) के रूप में बाँटा गया। विभिन्न महीनों के दिन का प्रवाह एवं रात्रि के प्रवाह को चित्र 2 में दर्शाया गया है जबकि इसी समय के दैनिक प्रवाह को चित्र 3 में दर्शाया गया है। दिन के मासिक औसत प्रवाह एवं रात्रि के मासिक औसत की गणना की गयी जिसे सारिणी 1 में दर्शाया गया है।



चित्र 2: गंगोत्री के स्नाऊट के मास 2004 में सम्प्रेक्षित प्रवाह का दिन के (09:00–20:00 बजे) एवं रात के (21:00–8:00 बजे) प्रवाह का मासिक वितरण



चित्र–3: गंगोत्री हिमनद के स्नाऊट के पास 2004 में सम्प्रेक्षित दिन के (09:00–2000 बजे) एवं रात के (21:00–0800 बजे) के औसत प्रवाह

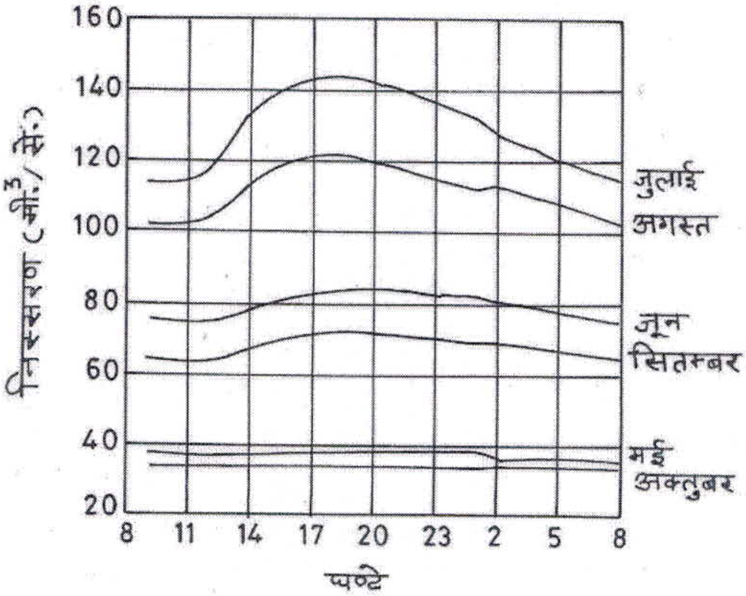
सारिणी1: दिन के मासिक प्रवाह एवं रात्रि के मासिक प्रवाह के अनुपात प्रवाह के अनुपात में गलन काल 2004 में परिवर्तन

मास	2004
मई	0.96
जून	1.01
जुलाई	1.12
अगस्त	1.04
सितम्बर	1.01
अक्टूबर	1.0

यह पाया गया कि वर्ष 2004 में यह अनुपात 0.96 से 1.12 के मध्य रहा। गंगोत्री हिमनद के प्रवाह से पता चलता हैं कि गलन काल के प्रारम्भ एवं अन्त में दिन के एवं रात के प्रवाह परिमाण लगभग समान हैं (चित्र–2) परन्तु जिस समय अधिकतम हिमनद गलन हो रहा था, उस समय रात का प्रवाह, दिन के प्रवाह की अपेक्षा कम था।

दैनिक प्रवाह में मौसमी परिवर्तन

हिम एवं हिमनद से गलित प्रवाह द्वारा सिंचित नदियों में प्रत्येक घंटे पर मापा गया प्रवाह, बेसिन के जलविज्ञान को समझने का एक नया तरीका प्रदान करता है। सौर ऊर्जा चक्र के दैनिक परिवर्तन के कारण हिम गलन एवं सरिता प्रवाह में प्रत्येक दिन बड़े परिवर्तन आते हैं एवं अधिकतम गलन दर एवं अधिकतम प्रवाह के समय के बीच का अन्तर प्रवाह के उत्पादन एवं उसके नदी बेसिन से गुजरने के औसत समय की सूचना प्रदान करते हैं। अधिकतम प्रवाह के मापन स्थल तक पहुँचने के समय की भविष्यवाणी करने की क्षमता, बाढ़ पूर्वानुमान, जलाशय एवं जलविद्युत प्रचालन एवं पहाड़ी नदियों से रासायनिक परिवहन के वर्गीकरण एवं पूर्वानुमान करने में लाभदायक साबित हो सकती हैं। प्रवाह में परिवर्तन घंटों, दैनिक एवं वार्षिक चक्र के रूप में मौसम के अनुसार असमान रूप से आते रहते हैं। प्रवाह में विभिन्न मासों मे दैनिक स्तर पर परिवर्तनों को चित्र 4 में दर्शाया गया है।



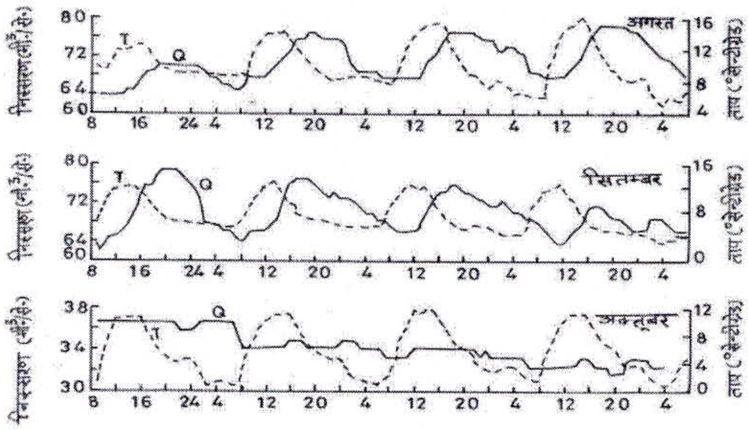
चित्र–4: वर्ष 2004 के गलन काल के आंकड़ों का प्रयोग कर संगणित किये गये अपवाह में दैनिक परिवर्तन

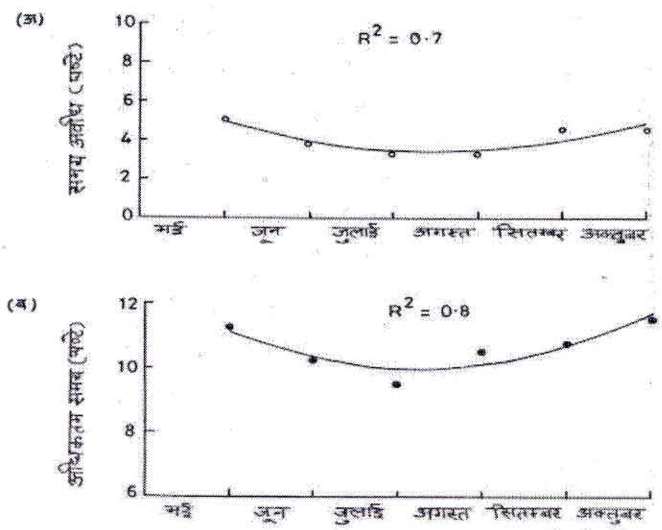
यह पाया गया है कि मई मास से अपवाह में वृद्धि होनी प्रारम्भ होती है जो कि जुलाई–अगस्त में अधिकतम पर पहुँच जाती है तथा इसके उपरांत घटने लगती है। गलन काल के प्रारम्भ एवं अन्त में जलालेख के बढ़ते एवं घटते हुए दोनों ही किनारे लगभग सपाट हैं। गलन काल बढ़ने के साथ–साथ जलालेख के दोनों किनारे अधिक खड़े होने गलते हैं लेकिन जलालेख का बढ़ता हुआ किनारा सदैव घटते हुए किनारे की तुलना में अधिक खड़ा होता है। जलालेख में इस प्रकार के परिवर्तन को बेसिन में समय–समय पर आये भौतिक परिवर्तनों द्वारा समझाया जा सकता है। गलन काल के प्रारम्भ में हिमनद सिंचित बेसिन के प्रवाह में कम दैनिक परिवर्तन बेसिन में गहरी और अधिक क्षेत्र में फली मौसमी हिम के कारण हो सकते हैं क्योंकि ये हिम गलन प्रक्रिया को धीमी करते हैं। ऐसी स्थितियों में प्रवाह में विलम्बन प्रभाव अधिक हो सकता है क्योंकि गलित जल हिम समूहों में से बहता है एवं भू–सतह पर पहुँचने के पश्चात अन्तः प्रवाह की तरह बहता है। इसी कारण गलन काल के प्रारम्भ एवं अन्त दोनों समयों में जलालेख के दोनों किनारे लगभग सपाट हैं। गलन काल के जलालेख के बाद वाले भाग के सपाट होने का कारण, इस समय पर ठंड के कारण बहुत कम या बिल्कुल भी हिम गलन ना होना हैं। गलन काल के मध्य में जुलाई एवं अगस्त में अधिक गलन के कारण तेज विकिरण का होना तथा अधिक क्षेत्र में हिमनद बर्फ अनावृत होना है। इसके कारण अधिक तेजी से हिम गलन अपवाह होता है तथा उसमें दैनिक परिवर्तन स्पष्ट दिखायी देते हैं। इस स्थिति में, हिमनद सतह पर अधिक मात्रा में हिम गलन जल का भण्डारण नहीं होता तथा गलन दैनिक जलालेख में तेजी से योगदान देता है एवं तंत्र दैनिक बलो के प्रति अधिक संवेदनशील होता है। जैसा कि चित्र 4 में स्पष्ट है अधिकतम प्रवाह (Q,max) सायं काल में (17:00 से 19:00 बजे) एवं न्यूनतम प्रवाह (Q,min) प्रातः काल में (08:00 से 01:00 बजे) नापा गया है।

गलित अपवाह विलम्बन अभिलक्षणः समय अन्तराल एवं अधिकतम पर पहुँचने का समय

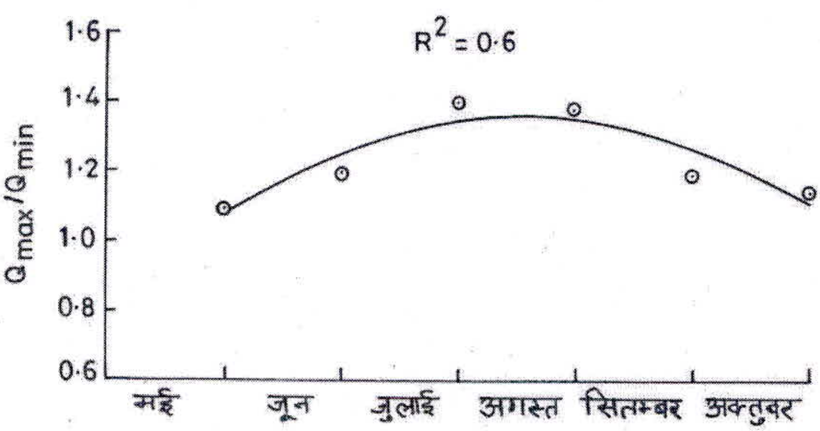
हिमनद में गलित जल के उत्पादित होने एवं उसके स्नाउट पर प्रकट होने के समय में अन्तराल होता है। गलित जल के मापन स्थल पर अधिकतम पर पहुँचने के समय (tp) एवं उसके उत्पादन होने के समय एवं अपवाह के रूप में प्रकट होने के बीच के समय अन्तराल (tl) में आने वाले परिवर्तनों को समझने हेतु वर्ष 2004 में एकत्र किये गये आंकड़ों का प्रयोग किया गया। क्योंकि सौर विकिरण का गलन पर सीधा प्रभाव पड़ता है इसलिए इस प्रकार के अध्ययन हेतु साफ मौसम वाले जलालेख की शर्त आवश्यक है अर्थात् उन दिनों आसमान साफ हो एवं वर्षा न हो, यदि वर्षा हो तो वह 2 मि.

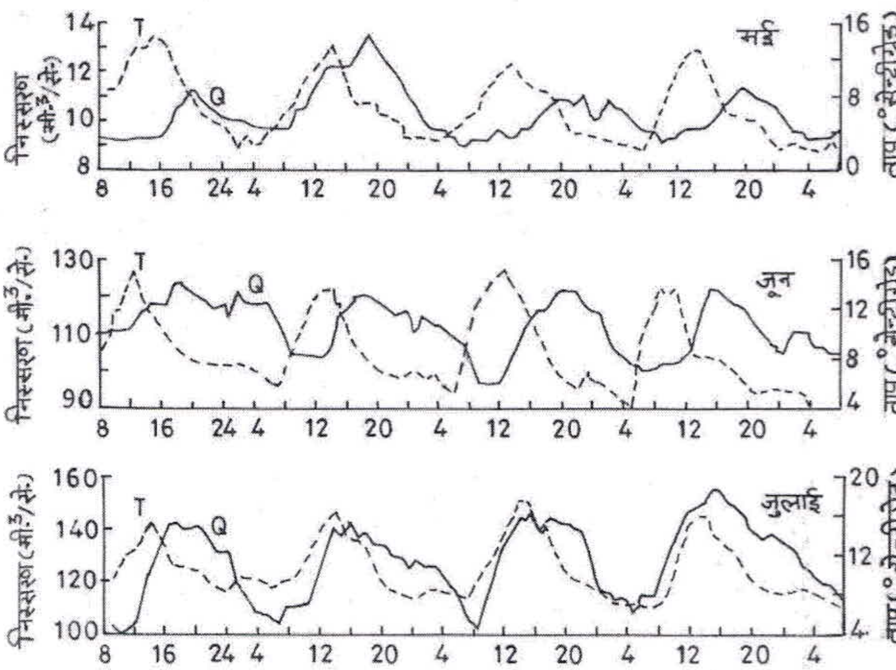
मी. से कम हो ताकि वायु तापक्रम अधिक हो। इस प्रकार के अध्ययनों के लिए यह आवश्यक है कि प्रवाह मापन, स्नाऊट के बिल्कुल पास हो ताकि स्नाऊट से प्रवाह मापन स्थल तक जल के पहुँचने में लगे समय को कम स कम किया जा सके एवं प्रवाह मापन स्थल से पूर्व अन्य स्रोतों से जल के योगदान की सम्भावना को समाप्त किया जा सके। गलन वर्ष 2004 के लिए साफ मौसम वाले दिनों के जलालेखों का विभिन्न महीनों के लिए विस्तृत अध्ययन किया गया। इस उद्देश्य के लिए प्रवाह मापन स्थल से प्राप्त जलालेखों को घंटों के आधार पर अंकीकृत किया गया जिससे समय अन्तराल एवं अधिकतम तक पहुँचने के समय के बारे में जानकारी मिलती है। विलम्बन अभिलक्षणों की पहचान हेतु लगातार तीन या चार साफ दिनों के जलालेख की विश्लेषण स्पष्ट तस्वीर प्रदान करता है। चित्र–5 में, गलन वर्ष 2004 के विभिन्न महीनों के चार–चार घंटो के अन्तराल पर लगातार दिनों के लिए तापमान एवं अपवाह में तुलना को दर्शाया गया हैं। गलन काल के प्रारम्भ में समय अंतराल एवं अधिकतम तक पहुँचने का (tp) दोनों का मान बंटे हुए जल निकासी तंत्र, हिमनद दरारों, हिमनद खोहों एवं मौसमी हिम आवरण की उपस्थिति के कारण मजबूत भण्डारण अभिलक्षणों के कारण अधिक हैं। दोनों का मान गलन काल बढ़ने के साथ प्रभावशाली एवं सुविकसित जल निकासी तंत्र के कारण tl एवं tp दोनो ही घटते जाते हैं। (विलिस इत्यादि 1990 हॉक एवं हुक 1993)। जल निकासी तंत्र अधिक अनावृत बर्फ सतह, हिम समूहों के क्षेत्रफल एवं गहराई कम होने के कारण अधिक प्रभावशाली हो जाते हैं। गलन काल के अन्त समय तक, दैनिक परिवर्तन अधिक सुस्पष्ट हो जाते हैं एवं गलन के उपलब्ध ऊर्जा के उतार–चढ़ाव का अनुकरण करते हैं। यह पाया गया है कि इस समय tl एवं tp दोनों ही, गलन काल के प्रारम्भ के समान अधिक हैं। अपवाह में परिवर्तन एवं हिमनद सिंचित बेसिन के विलम्बित अभिलक्षणों के परस्पर सम्बंधों के अध्ययन हेतु अपवाह अनुपात (अधिकतम अपवाह/न्यूनतम अपवाह) की गलन काल के लिए गणना की गई। जैसा कि चित्र 6 (सी) में दशाया गया है, गंगोत्री हिमनद के लिए अपवाह अनुपात 1.03 से 1.37 के मध्य रहा जो कि गलन काल में अपवाह में बहुत अधिक परिवर्तन दर्शाता है। अपवाह विलम्बन प्राचलों की अपवाह अनुपात से तुलना से स्पष्ट पता चलता है कि समय अन्तराल tl एवं अधिकतम पर पहुँचने का समय tp अपवाह परिवर्तनों से प्रतिलोमत : सह सम्बन्धित हैं।





चित्र 5: अपवाह (Q)एवं तापमान (T) में गलन काल 2004 में चुने हुए दिनों में दैनिक परिवर्तन





चित्र 6: गंगोत्री हिमनद के स्नाऊट के पास गलन काल 2004 में मापे गये अपवाह के (A) गलन अपवाह समय अन्तराल (B) अधिकतम पर पहुँचने का समय एवं (C) अपवाह अनुपात के औसत मान

निष्कर्ष

गंगोत्री हिमनद के सम्पूर्ण गलन काल (2004) के गलित अपवाह के विलम्बन अभिलक्षणों का अध्ययन किया गया। अपवाह के दिन के समय के अपवाह एवं रात्रि के समय के अपवाह के वितरण से पता चलता है कि पूरे गलन काल में रात्रि का अपवाह भी दिन के अपवाह के लगभग समान है। गलन काल के प्रारम्भ में, रात्रि का अपवाह दिन के अपवाह के लगभग बराबर है लेकिन गलन काल के बाद वाले हिस्से में रात्रि अपवाह दिन के अपवाह से थोड़ा सा कम है। इस अध्ययन से पता चलता है कि गलन काल के प्रारम्भ में विलम्बन अभिलक्षण अधिक सशक्त है एवं गलन काल बढ़ने के साथ कम होते जाते हैं। गलन काल बढ़ने के साथ–साथ हिम समूहों के क्षेत्रफल एवं गहराई के घटने से अधिक हिमनद क्षेत्र के अनावृत होने एवं सुदृढ़ जलनिकासी तंत्र विकसित होना, भण्डारण क्षमता के कम होने का प्रमुख कारण हैं। इन परिणामों में यह भी पता चलता है कि हिमनद की भौतिक परिस्थितियों में बदलाव के कारण हिमनद सिंचित बेसिन के विलम्बन प्रभाव भी कम होते जाते हैं एवं इसी कारण गलन काल के मध्य एवं बाद वाले भाग में गलन जल तेजी से अपवाह में योगदान देता है। अपवाह के प्रति घंटे के आकार से पता चलता है कि अधिकतम अपवाह सांयकाल में (17:00–19:00 बजे) एवं न्यूनतम अपवाह प्रातः काल में (10:00–1:00 बजे) के मध्य मापा गया। अपवाह में दैनिक परिवर्तन कुछ अंतराल के साथ तापमान के दैनिक परिवर्तनों का अनुकरण करते हैं। समय अन्तराल का मान गलन काल में बदलता रहता है।

अपवाह में परिवर्तन एवं हिमनद सिंचित बेसिन के विलम्बन गुणधर्मो के परस्पर सम्बन्धों को समझने के लिए गलन काल में अपवाह अनुपात अर्थात (अधिकतम अपवाह / न्यूनतम अपवाह) की गलन काल हेतु गणना की गयी। गंगोत्री हिमनद हेतु अपवाह अनुपात 1.03 से 1.37 के मध्य रहा जिससे हिमनद अपवाह में गलन काल के दौरान काफी अधिक परिवर्तन का पता चलता है। अपवाह विलम्बन प्राचलों की अपवाह अनुपात से तुलना से स्पष्ट पता चलता है कि समय अन्तराल tl एवं अधिकतम तक पहुँचने का समय tp अपवाह में परिवर्तन से प्रतिलोमतः सह–सम्बन्धित हैं।

आभारः लेखक विज्ञान एवं प्रैद्योगिकी विभाग, भारत सरकार के गंगोत्री हिमनद पर जलविज्ञानीय अध्ययनों हेतु वित्तीय सहायता प्रदान करने के लिए आभारी है।

संदर्भ

कोलिन्स, डी.एन (1982), "वाटर स्टोरज इन एन ऐल्पाइन ग्लेशियर" आई ए.एच.एस. पब.नं. 138, पेज 113–122

इलिस्ओन, जी.आर (1973) "वाटर मूवमेन्ट थ्रो दी गोरनएलेटशर" सिम्पोजियम ऑन दी हाइड्रोलॉजी ऑफ ग्लेशियर्स (प्रसि. कम्ब्रीज सिम्प, सितम्बर 1969) आई.ए.एस.एस. पव.नं. 95, पेज 79–84 जैनशन, पी, हॉक, आर., शिनेयडर, टी (2003) दी कनशेप्ट ऑफ ग्लेशियर स्टोरेज : ए रिवीव, जे. हाइड्रोल, 282 (1–4), 116–129

जेसिका डी. जुन्डक्विस्ट, माइकल डी. डेटीन्जर एण्ड डेनियल आर. केयन (2005) स्नोफेड स्ट्रीम फ्लो टाइमिंग एट डिफिरेन्ट बेसिन स्केल्सः केस स्टडी ऑफ दी टू ओलूम्ने रिवर अबोव हेच हेची, योसेमिटे, कैलिफोर्निया, वाटर रिसोर्सस रिसर्च

लैन्ग एच (1973) "वेरियशन इन दी रिलेशन बिटविन ग्लेशियर डिस्चार्ज एण्ड मिटियोरोजिकल इलेमेन्टस" सिम्पोजियम आन दी हाइड्रोलॉजी आफ ग्लेशियर्स" (प्रो-कैम्ब्रीज सिम्प, सितम्बर, 1969, आई.ए.एच.एस. पब नं. 95, पेज 85–94

ओर्टर(एच. एण्ड मोजर एच. (1982) "वाटर स्टोरज एण्ड ड्रेनेज विदइन दी फिर्न ऑफ ए टेम्परेट ग्लेशियर" आई.ए.एच. एस. पब. नं. 138, पेज 71–91

शार्प, आर.पी. (1988) 'लिविंग आईसः अन्डरस्टेंडिंग ग्लेशियर एण्ड गलेशियेसन, कैम्ब्रिज यूनिवर्सिटी प्रेस, कैम्ब्रिज

सिंह, पी. एण्ड रामशास्त्रो के.एस. (2003) प्रोजेक्ट रिपोर्ट ऑन, गंगोत्रो ग्लेशियर, नेशनल इन्स्टीट्यूट ऑफ हाइड्रोलॉजी, रूड़की, इंडिया पेज 120

स्टेनबोर्ग, टी (1970) "डिले ऑफ रनआफ फ्रोम ग्लेशियर बेसिन" जियोग अन 52 ए (1) जेज 1–30

टैन्गबोर्न, डब्ल्यू.वी., क्रिम्मेल, आर.एम; एण्ड मियर एम.एफ. (1975)" ए कम्पेरिजन ऑफ गलशियर मास बैलेंस बाई ग्लेशियोलॉजीकल, हाइड्रोलॉजिकल एण्ड मैपिंग मैथड्स साउथ कैसकेड ग्लेशियर"

विलिस, आई.सी., शर्प एम.जे. एण्ड रिचर्डस के.एस. (1990) कॅन्फिगुरेशन ऑफ दी ड्रेनेज सिस्टम ऑफ मिटडलसब्रीन, नार्वे, एज इन्डीकेटेड बाई डाई–ट्रेसिंग एक्सपेरिमेन्ट्स, जे. ग्लेशिओल 36, पेज 89–101