

हिमालय में स्थित एक बड़े हिमनद बेसिन के नदी प्रवाह एवं मौसमी चर राशियों के सह-सम्बंध

नरेश कुमार , मनोहर अरोड़ा , राकेश कुमार एवं जतिन मल्होत्रा

सारांश

नदी प्रवाह, जल विभाजक में मौसमी चर राशियों, विशेष रूप से वर्षण एवं वायु तापमान की संकलित अनुक्रिया है। इस अध्ययन में, गंगोत्री हिमनद के स्नाऊट के पास अपवाह एवं जलमौसमी प्राचलों के सह-सम्बंधों का अध्ययन किया गया है। तापमान एवं वर्षण के अपवाह से सह-सम्बंधों एवं बहु-दिनी प्रभावों के अध्ययन द्वारा अपवाह पर महत्वपूर्ण सूचनायें प्राप्त की जा सकती हैं एवं ये कम आंकड़ें उपलब्ध वाले क्षेत्रों के लिए अपवाह की गणना में सहायक हो सकते हैं। दैनिक औसत अपवाह, दैनिक औसत तापमान एवं दैनिक वर्षा के मध्य सह-सम्बंध, लॉग क्रॉस सह-सम्बंध एवं बहु विचर प्रतिगमन विश्लेषण हेतु आठ वर्षों (2000–2007) के गलन काल के आंकड़ों का उपयोग किया गया तथा स्थापित सह-सम्बंधों से दैनिक अपवाह का अनुकरण करने के लिए अंतिम चार वर्षों (2008–2011) के आंकड़ें प्रयुक्त किए गए। तापमान परिवर्तन एवं हिम पुंज में उपलब्ध जल की मात्रा की संयुक्त प्रतिक्रिया से वार्षिक तापमान में बढ़ोतरी के अनुसार हिम-गलन अपवाह में परिवर्तन होता रहता है। वर्षा एवं तापमान, उच्च स्वतः सह-संबंधी हैं। यह पाया गया है कि किसी विशेष दिन के अपवाह (Q_i) को प्रतिगमन समीकरण, जिसमें Q_{i-1} , T_i एवं R_i हों, के द्वारा अच्छी प्रकार से निरूपित किया जा सकता है। यदि आगत चरों का पता हो तो इस प्रकार विकसित प्रतिगमन समीकरणों का उपयोग अपवाह निर्धारण हेतु किया जा सकता है। आठ वर्षों के आंकड़ों का प्रयोग कर विकसित की गयी समीकरण अर्थात् $Q_i = 2.962 + 1.011 Q_{i-1} - 0.422 T_i + 0.203 R_i$ का उपयोग चार वर्षों के अपवाह की भविष्यवाणी करने के लिए किया गया। सभी चार वर्षों के लिए उच्च दक्षता ($R^2 = 0.93$) के साथ अपवाह की भविष्यवाणी की गयी।

Abstract

Streamflow represents the integrated response of a watershed to climatic variables, particularly precipitation and air temperature. In this study relationships between discharge and hydro meteorological parameters near the snout of Gangotri Glacier were investigated. The auto correlations and multi day influence of temperature and rainfall on discharge can provide valuable information about the Glacier response which can be helpful for estimating discharge in data scarce regions. The data for eight continuous ablation seasons (2000 – 2007) was used investigating correlations, lag cross correlations and multivariate regression analysis between daily mean discharge, daily mean temperature and daily rainfall, whereas last four years data (2008 – 2011) was used to simulate the daily discharge from the established relations. Snowmelt discharge varies during the rise in the annual temperature cycle in response to the combination of temperature variation and the amount of water held in the evolving snowpack. The discharge and temperature is highly auto correlated-. It was found that discharge of a particular day (Q_i) is well represented by the regression equation having Q_{i-1} , T_i , and R_i . Such developed regression equation can be used for computing discharge once its input variables are available. The regression equation developed using the eight year data i.e. $Q_i = 2.962 + 1.011Q_{i-1} - 0.422T_i + 0.203R_i$ is used for forecasting of discharge- For all the years discharge was computed with high accuracy ($R^2 = 0.93$).

परिचय

जलीय और जलवायु चरों के बीच रिश्तों की पहचान, लापता अभिलेखों की भविष्यवाणी करने हेतु, जलवायु परिवर्तन के प्रभावों का विश्लेषण करने हेतु और अमापी घाटियों की जलीय प्रतिक्रियाओं के आकलन हेतु बहुत महत्वपूर्ण है। लंबे समय से सांख्यिकीय दृष्टिकोण का उपयोग जलीय और जलवायु प्रणाली के बीच संबंधों के विश्लेषण के लिए किया जाता रहा है। जलीय और जलवायु चर के बीच संबंधों को खोजने के लिए, एक मानक दृष्टिकोण का उपयोग जलीय और जलवायु

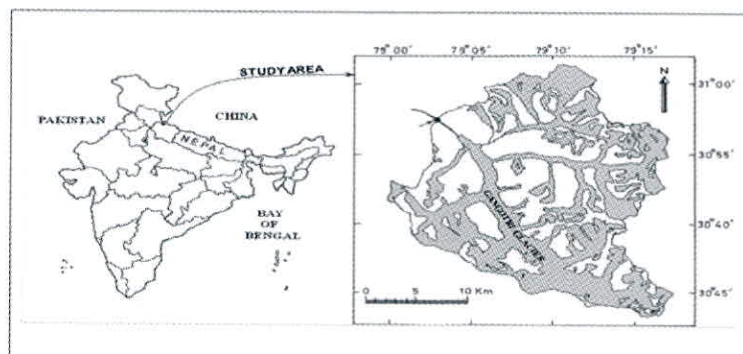
चरो की समय श्रृंखला के बीच जोड़ी वार सह-संबंध की गणना हेतु किया जाता है। सहसंबंध गुणांक के मान के आधार पर, इस दृष्टिकोण की मदद से चरो के बीच संबंधों की मजबूती की पहचान की जा सकती है।

वर्षण-धारा प्रवाह और वर्षा-हवा तापमान के मध्य संबंधों पर शायद सबसे अधिक अनुसंधान किया गया है। केयन इत्यादि (1993) ने धारा प्रवाह पर वर्षण, तापमान, और बर्फ के समतुल्य पानी के प्रभावों की जांच की। धारा प्रवाह की वर्षण और तापमान परिवर्तन के प्रति संवेदनशीलता का अध्ययन डैल (1995) द्वारा किया गया। क्लिडी और स्टीफन (1997) द्वारा धारा प्रवाह और वर्षण, हवा के तापमान, हवा की गति, और ओस बिंदु तापमान के मध्य सह-संबंध की जांच की गयी। चौधरी और वार्ड (2004) ने ग्रेटर जीबीएम बेसिन में वर्षा-अपवाह संबंध का आंकलन किया और नदी के ऊपर के स्थानों के वर्षा के आंकड़े वास्तविक समय पर उपलब्ध होने की स्थिति में, महीने से मौसम (अग्रिम में 1-3 महीने) हेतु, धारा प्रवाह पूर्वानुमान (विशेष रूप से गंगा बेसिन में) के लिए एक साधारण सह-संबंध स्थापित करने की संभावनाओं को तलाशने का प्रयास किया। हॉगकिंस इत्यादि (2012) ने सर्दियों के जलवायु चरो और अप्रैल के धारा प्रवाह के बीच संबंधों को समझने की कोशिश की। उन्होंने पाया कि सर्दियों में उच्च वर्षण (दिसंबर से मार्च) उत्तरी और मध्य न्यू इंग्लैंड में कई स्थानों पर अप्रैल माह के उच्च धारा प्रवाह के साथ जुड़ा हुआ है। इससे पता चलता है कि हिम पुंज संचयन सर्दियों के पानी के भंडारण तंत्र के लिए एक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है और इस क्षेत्र में वसंत के धारा प्रवाह के लिए भी महत्वपूर्ण है। मध्य और दक्षिणी न्यू इंग्लैंड में कई अपवाह मापी केन्द्रों पर अप्रैल माह में कम धारा प्रवाह का संबंध मार्च के ऊंचे हवा तापमान से है क्योंकि गर्म साल में अप्रैल से पहले अधिकतर बर्फ पिघल जाती है। पाल इत्यादि (2013) ने पियर्सन विसंगति सहसंबंध एवं समग्र पूर्ववर्ती और समवर्ती मौसमी जलवायु और वायुमंडलीय परिसंचरण पैटर्न के विश्लेषण के माध्यम से एमएम (मार्च-अप्रैल-मई) और जजअस (जून-जुलाई-अगस्त-सितंबर) काल हेतु भारत में भाखड़ा बांध पर सतलुज नदी के प्रवाह की परिवर्तनशीलता का विश्लेषण किया।

पिछले अध्ययनों से पता चलता है कि यद्यपि वर्षा और हवा का तापमान धारा प्रवाह को प्रभावित करने के दो सबसे महत्वपूर्ण मापदंड हैं तथापि कुछ अन्य जलवायु चरो का प्रभाव भी महत्वपूर्ण हो सकता है। हिमनद घाटियों में धारा प्रवाह, प्रवाह के पहुँचने में लगे समय के कारण हुए विलंब और गलित जल की भंडारण विशेषताओं पर निर्भर होता है। इस अध्ययन में, धारा प्रवाह और जलवायु परिस्थितियों के साथ वर्षण और तापमान के अंतराल संबंधों को भी शामिल किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र

वर्तमान अध्ययन हिमालय स्थित गंगोत्री हिमनद के लिए किया गया जो कि हिमालय के सबसे बड़े हिमनदों में से एक है। यह हिमनद, गढ़वाल हिमालय क्षेत्र में उत्तराखंड के उत्तरकाशी जिले में स्थित है। गंगोत्री हिमनद की स्थिति को चित्र 1 में दिखाया गया है। अध्ययन क्षेत्र 30°43' से 01' उत्तर अक्षांश और 79° से 79° 17' पूरब देशांतर के मध्य फैला हुआ है। 4000 मीटर की ऊंचाई पर गंगोत्री हिमनद के अग्र भाग (गौमुख) से भागीरथी नदी का उष्म है। गौमुख गंगोत्री शहर से 18 किमी दूरी पर स्थित है तथा पैदल रास्ते का अधिकतर भाग भागीरथी नदी के साथ-साथ है। आंकड़े एकत्र करने के लिए गौमुख से थोड़ा नीचे एक अपवाह मापन केंद्र और मौसम विज्ञान वेधशाला की स्थापना की गयी।



चित्र 1: गढ़वाल हिमालय में गंगोत्री ग्लेशियर की स्थिति बेसिन मानचित्र।

कार्य पध्दति एवं उपयोग में लाये गए आंकड़े

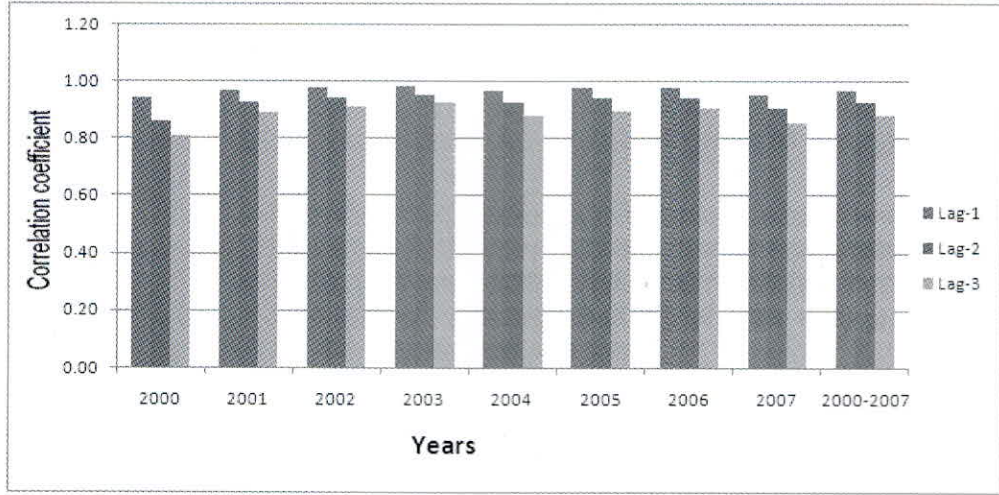
जलवायु परिवर्तनशीलता हिमनद बेसिन के धारा प्रवाह को प्रभावित करती है। हमने धारा प्रवाह और जलवायु चरो के बीच सहसंबंध गुणांक की गणना की। प्रतिगमन विश्लेषण कर (i) अपवाह स्वतः सह-संबंधन (ii) तापमान-अपवाह सह-संबंध एवं (iii) अलग-अलग अंतराल अवधि (0-3 दिन) के लिए वर्षा-अपवाह सह-संबंधों, को निर्धारित किया गया। अपवाह, तापमान एवं वर्षा के मध्य बहु विचर प्रतिगमन विश्लेषण भी किया गया।

वर्तमान अध्ययन के लिए आंकड़ों का संग्रह, एक प्रमुख कार्य था। 12 साल (2000-2011) तक हिम गलन काल में जल मौसम संबंधी चरो की सतत निगरानी की गयी तथा उन आंकड़ो का उपयोग वर्तमान विश्लेषण हेतु गया। पहले आठ वर्षों (2000-2007) के गलन काल के आंकड़ों का उपयोग दैनिक औसत अपवाह, दैनिक औसत तापमान एवं दैनिक वर्षा के मध्य सह-संबंध, लॉग क्रॉस सह-संबंध एवं बहु विचर प्रतिगमन विश्लेषण हेतु किया गया। अंतिम चार वर्षों (2008-2011) के आंकड़ो का उपयोग, स्थापित सह-संबंधों से दैनिक अपवाह का अनुमान लगाने हेतु किया गया। प्रत्येक वर्ष के लिए हिम गलन काल के विभिन्न चरो (अपवाह, तापमान और वर्षा) हेतु 0 से 3 दिन के समय अंतराल के फलन के साथ 8 साल (2000-2007) की समय श्रृंखला तैयार की गयी। इन सभी 8 गलन सत्रों को कालानुक्रमिक क्रम में रखकर एक संयुक्त श्रृंखला तैयार गयी तथा उसका उपयोग विकसित सामान्यीकृत संबंध के विश्लेषण हेतु किया गया।

अपवाह का पूर्ववादीयों के साथ सहसंबंध

अपवाह स्वतः सह-संबंध

अपवाह स्वतः सह-संबंध, पूर्वकालिक एवं भविष्य के अपवाह के बीच सहसंबंधों की जांच करने के लिए किया जाता है, तथा यह पता लगाने का प्रयास किया जाता है कि पूर्वकालिक एवं भविष्य के अपवाह के बीच कोई संबंध है या नहीं। चित्र 2 में अलग-अलग गलन कालों तथा 8 गलन कालों (2000-2007) की संयुक्त श्रृंखला के लिए स्वतः सहसंबंध दर्शाया गया है। विभिन्न गलन कालों के स्वतः सहसंबंधों को तालिका 1 में दर्शाया गया है। अलग-अलग वर्षों के अपवाह स्वतः सह-संबंधों की तुलना से पता चलता है कि सभी वर्षों में उच्च कोटी के अपवाह सहसंबंध हैं। विभिन्न वर्षों के लिए अपवाह स्वतः सह-संबंधों में समय अंतराल में वृद्धि के साथ स्वतः सहसंबंध में कमी देखी गयी है। 1 से 3 दिनों के समय-अंतराल के लिए अपवाह स्वतः सह-संबंध 0.98-0.81 के बीच रहे। इसी समय की संयुक्त अपवाह श्रृंखला के लिए अपवाह स्वतः सहसंबंधों का मान 0.97-0.88 के बीच रहा। अपवाह स्वतः सह-संबंधों में इस तरह की कमी का कारण बेसिन में हिमनद के भीतर गलन स्थिति, वर्षण पैटर्न और पानी के भंडारण और जल निकासी की स्थितियों का संयुक्त प्रभाव हो सकता है। वैसे तो विचार किए गए सभी समय अंतरालों के लिए एक अच्छा स्वतः सहसंबंध मौजूद है, तथापि अधिकतम स्वतः सहसंबंध पिछले दिन के अपवाह (0.98-0.94) के साथ पाया गया। यह उच्च अपवाह स्वतः सह-संबंध हिमनद बेसिन में अपवाह की मजबूत भंडारण विशेषताओं के प्रभुत्व को इंगित करता है। परिणाम से पता चलता है कि एक विशेष दिन का अपवाह, पिछले दिन के अपवाह पर काफी हद तक निर्भर रहता है। इसका अर्थ यह है कि अगर पिछले दिनों के अपवाह ज्ञात हों तो अगले दिन के अपवाह का पूर्वानुमान आसान हो सकता है। यह संभावना है कि हिमनद की भंडारण विशेषताओं का अपवाह पर वर्षा की अपेक्षा अधिक प्रभुत्व हो। वर्तमान अध्ययन बेसिन में उच्च अपवाह स्वतः सह-संबंध पाया गया है।



चित्र 2 गंगोत्री हिमनद के अपवाह के लिए अपवाह स्वतः सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (1-3 दिन)।

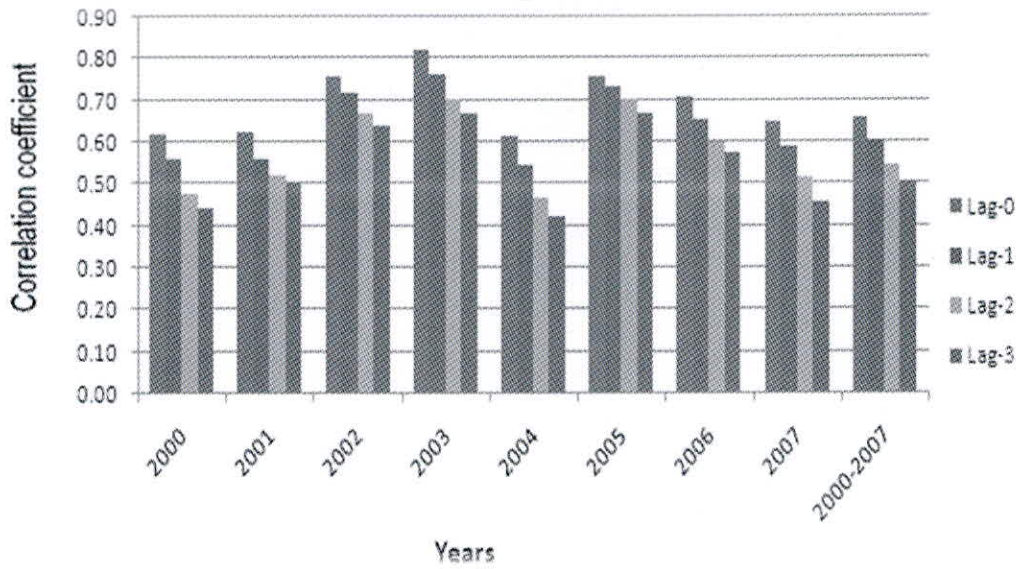
तालिका 1: गंगोत्री हिमनद के लिए अपवाह स्वतः सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (0-3 दिन)।

अपवाह स्वतः सह-संबंध			
Year	Lag 1	Lag 2	Lag 3
2000	0.94	0.86	0.81
2001	0.97	0.93	0.89
2002	0.98	0.95	0.91
2003	0.98	0.95	0.93
2004	0.97	0.93	0.88
2005	0.98	0.94	0.90
2006	0.98	0.94	0.91
2007	0.95	0.91	0.86
2000-2007	0.97	0.93	0.88

अपवाह तापमान सहसंबंध

तापमान के लिए सरल सहसंबंध गुणांक, जिसे तीन दिनों तक के समय के फलन हेतु निर्धारित किया गया, गलित जल प्रवाह के विलंबन काल के औसत को दर्शाता है। सहसंबंध के अधिकतम मान को अंतराल काल में अपवाह मापन स्थल पर मापे गए सारे गलित जल के पारवहन काल के औसत को दर्शाना चाहिए। अपवाह तथा वायु तापमान के मध्य 0 से 3 दिनों (T_i, T_{i-1}, T_{i-2} एवं T_{i-3}) तक के समय अंतराल के तापमान के साथ स्थापित सहसंबंधों को चित्र 3 में दिखाया गया है। अलग-अलग गलन कालों तथा 8 गलन कालों (2000-2007) की संयुक्त श्रृंखला के लिए अपवाह तापमान सहसंबंधों को तालिका 2 दर्शाया गया है। विश्लेषणों से ज्ञात होता है कि प्रत्येक गलन काल के लिए अपवाह के तापमान से अच्छे सहसंबंध हैं। यह भी पाया गया है कि विभिन्न वर्षों के लिए अपवाह तापमान सह-संबंधों में समय अंतराल में वृद्धि के साथ कमी आयी। 1 से 3 दिनों के समय-अंतराल के लिए अपवाह तापमान सह-संबंध 0.82 से 0.42 के बीच रहे। अपवाह-तापमान में अधिकतम सहसंबंध 0 दिन के समय अंतराल हेतु रहा। दूसरे शब्दों में, एक विशेष दिन के अपवाह का उसी दिन के तापमान के साथ उच्चतम सहसंबंध (0.82) दिखाया गया है। अपवाह-तापमान की संयुक्त श्रृंखला के लिए भी 1 से 3 दिनों के

समय-अंतराल के लिए भी अच्छा सहसंबंध का मान 0.66 से 0.51 के बीच रहा। इस प्रकार सभी वर्षों हेतु अपवाह (Q_t) तथा तापमान (T_t, T_{t-1}, T_{t-2} एवं T_{t-3}) के मध्य अच्छा पाया गया, जिससे तापमान के महत्व का पता चलता है।



चित्र 3: गंगोत्री हिमनद के अपवाह तापमान सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (1-3 दिन)।

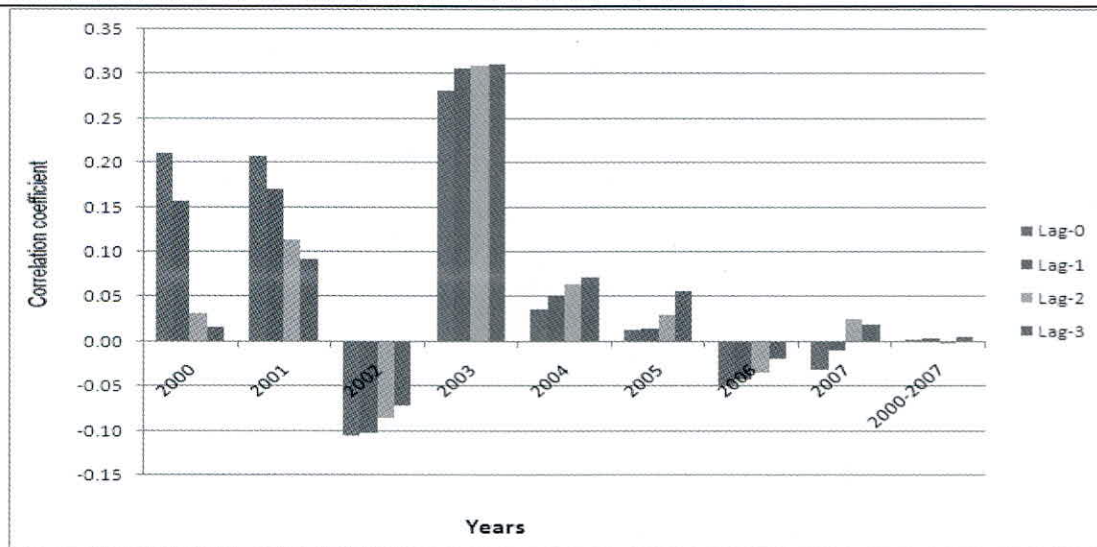
तालिका 2: गंगोत्री हिमनद के लिए अपवाह तापमान सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (0-3 दिन)।

अपवाह तापमान सह-संबंध				
Year	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
2000	0.62	0.56	0.48	0.44
2001	0.63	0.56	0.52	0.50
2002	0.76	0.72	0.67	0.64
2003	0.82	0.76	0.70	0.67
2004	0.61	0.54	0.47	0.42
2005	0.76	0.73	0.71	0.67
2006	0.71	0.66	0.60	0.58
2007	0.65	0.59	0.52	0.46
2000-2007	0.66	0.60	0.55	0.51

अपवाह-वर्षा सहसंबंध

अपवाह और वर्षा के बीच 0 से 3 दिनों (R_t, R_{t-1}, R_{t-2} एवं R_{t-3}) के समय अंतराल के बीच अलग-अलग गलन काल के लिए सहसंबंध विकसित किए गए। अलग-अलग गलन कालों तथा 8 गलन कालों (2000-2007) की संयुक्त श्रृंखला के लिए अपवाह-वर्षा सहसंबंधों को तालिका 3 एवं चित्र 4 में दर्शाया गया है। अध्ययन बेसिन में अपवाह तथा वर्षा के सहसंबंध कमजोर तथा बहुत अधिक परिवर्तनशील पाये गए। अपवाह और वर्षा के सह-संबंधों में समय अंतराल में वृद्धि के साथ कोई सुसंगत परिवर्तन नहीं पाया गया। अपवाह और वर्षा के बीच सहसंबंध, गलन काल के प्रारम्भ में, गलन काल के उत्तरार्ध की अपेक्षा कमजोर होने की उम्मीद है। गलन काल के उत्तरार्ध में, हिमनद की भौतिक स्थितियों में आए बदलावों के

कारण अपवाह की वर्षा से अनुक्रिया अन्य महीनो की तुलना में तीव्र हो जाती है। इस समय के दौरान, हिमनद की सतह के बर्फ का काफी बड़ा हिस्सा उजागर हो जाता है। बर्फ से ढकी हिमनद सतह की वर्षा के लिए प्रतिक्रिया हिम-आच्छादित सतह की तुलना में तेज होती है: हिम-आच्छादित सतह पर पड़ने वाली वर्षा पहले हिम पुंज में अवशोषित होती है तथा उसके बाद अपवाह के रूप में मुक्त होती है, जहाँ पर बर्फ की अप्रवेशनीय सतह होती है। इसलिए, निर्गम द्वार पर वर्षा अपवाह के लिए अपेक्षाकृत कम समय अवधि में योगदान देती है। हालाँकि इस क्षेत्र में, कभी-कभी गलन काल की शुरुआत में तीव्र वर्षा तूफानो द्वारा, तूफान के बाद तुरंत अपवाह का उत्पादन किया गया। सामान्यतः, 2002, 2006 और 2007 के वर्षों को छोड़कर, अपवाह का वर्षा के साथ सकारात्मक सहसंबंध था। नकारात्मक सहसंबंध उस समय संभव जब हिमनद के थूथन के पास वर्षा हो रही हो और कम तापमान की स्थिति हो। ऐसे मौसम की स्थिति में हिमनद के बड़े भाग में बर्फबारी के कारण हिमनद का पिघलना बंद हो जाता है जिसके कारण अपवाह घट जाता है।



चित्र 4: गंगोत्री हिमनद के अपवाह-वर्षा सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (1-3 दिन)।

तालिका 3: गंगोत्री हिमनद के लिए अपवाह-वर्षा सह-संबंधों पर बहु-दिनि प्रभाव (0-3 दिन)।

अपवाह – वर्षा सह-संबंध				
Year	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
2000	0.21	0.16	0.03	0.02
2001	0.21	0.17	0.11	0.09
2002	- 0.11	- 0.10	- 0.09	- 0.07
2003	0.28	0.31	0.31	0.31
2004	0.04	0.05	0.06	0.07
2005	0.01	0.02	0.03	0.06
2006	- 0.05	- 0.04	- 0.03	- 0.02
2007	- 0.03	-0.01	0.03	0.02
2000-2007	0.003	0.004	- 0.002	0.007

प्रतिगमन संबंध और अपवाह आकलन के लिए इसका उपयोग

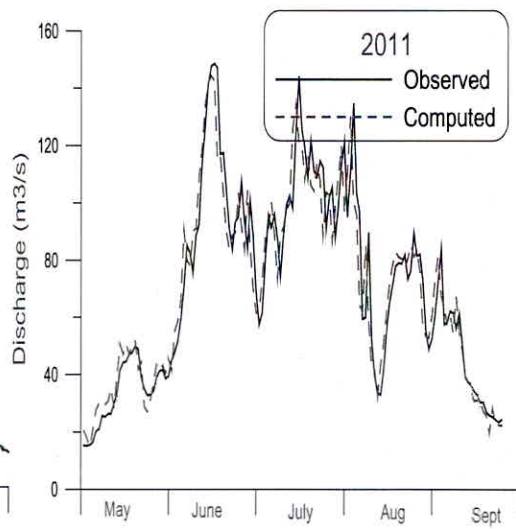
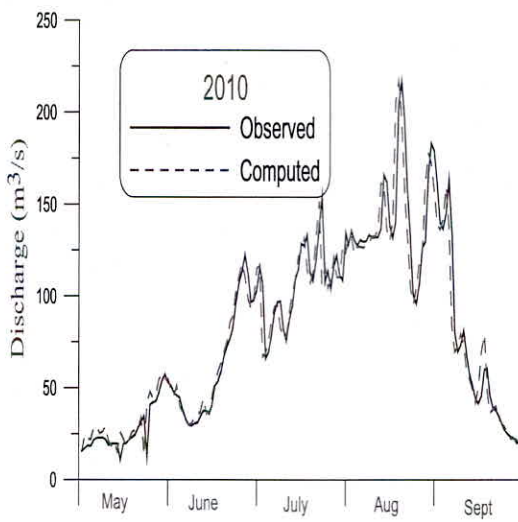
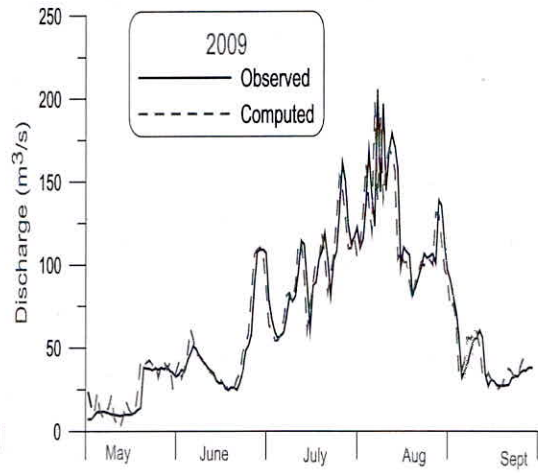
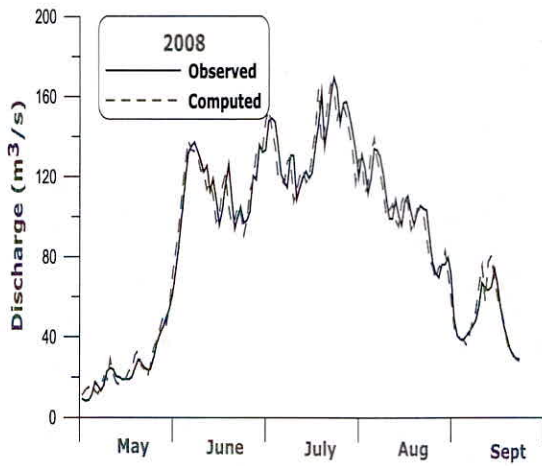
यह प्रमाणित है कि उपलब्ध ऊर्जा का अपवाह पर प्रभावशाली प्रत्यक्ष प्रभाव पड़ता है। वर्षण के प्रकार और वर्षण के समय, दोनों का भी अपवाह पर काफी प्रभाव पड़ता है। अपवाह और मौसम संबंधी तत्वों के बीच संबंध स्थापित करने हेतु उदाहरण के लिए, एक हिमनद से निकली नदी के अपवाह की भविष्यवाणी के प्रयोजन से, समय श्रृंखला के लिए प्रतिगामी युक्ति का प्रयोग किया गया। उच्च अनुपात में बर्फ से ढके बेसिन में कुल वार्षिक अपवाह को गर्मियों के औसत हवा के तापमान तथा वर्षण की चर राशियों से संबद्ध करने वाली बहू-प्रतिगमन समीकरण, उच्च कोटी का स्पष्टीकरण प्रदान करती हैं। गंगोत्री हिमनद बेसिन से दैनिक अपवाह का अनुमान लगाने के लिए, प्रत्येक गलन काल (2000-2007) के लिए अलग-अलग तथा 8 गलन कालों (2000-2007) की संयुक्त श्रृंखला के लिए बहु-प्रतिगमन समीकरण विकसित किए गए। गंगोत्री हिमनद बेसिन से अपवाह का आकलन करने के हेतु महत्वपूर्ण चरों की पहचान करने के लिए चरणबद्ध प्रतिगमन तकनीक का प्रयोग किया गया। अपवाह को उल्लेखनीय ढंग से प्रभावित करने वाले संभावित महत्वपूर्ण जलवायु कारकों पर विचार कर प्रतिगमन समीकरण विकसित किए गए। बेसिन से अपवाह को निर्भर चर और 11 चरों यथा Q_{i-1} , Q_{i-2} , Q_{i-3} , T_i , T_{i-1} , T_{i-2} , T_{i-3} और R_i , R_{i-1} , R_{i-2} , R_{i-3} को स्वतंत्र चर के रूप में इस्तेमाल किया गया।

चरणबद्ध प्रतिगमन तकनीक के प्रयोग द्वारा प्रत्येक गलन काल (2000 से 2007) के लिए अलग-अलग तथा 8 गलन कालों (2000-2007) की संयुक्त श्रृंखला के लिए विकसित बहु-प्रतिगमन समीकरण तालिका 4 में दी गई है। यह देखा जा सकता है कि कुछ चरों को प्रतिगमन समीकरणों शामिल नहीं किया गया है क्योंकि चरणबद्ध प्रतिगमन तकनीक के दौरान उन्हें सांख्यिकीय दृष्टिकोण से महत्वहीन पाया गया। भले ही हवा का तापमान, विकिरण माप का एक कमजोर विकल्प है तथा वर्षण मापन केंद्र जलग्रहण सीमाओं के बाहर और अपेक्षाकृत कम ऊंचाई पर स्थित है इसके बावजूद बहु-प्रतिगमन समीकरणों का उपयुक्त होना अच्छा है। सभी आठ (8) गलन कालों के लिए R^2 का 0.90 से 0.99 के बीच उच्च मान यह दर्शाता है कि इन समीकरणों द्वारा अपवाह आंकड़ों का अच्छी तरह से प्रतिनिधित्व किया गया है। संयुक्त श्रृंखला के लिए भी उच्च मूल्य R^2 (0.99) का प्राप्त हुआ।

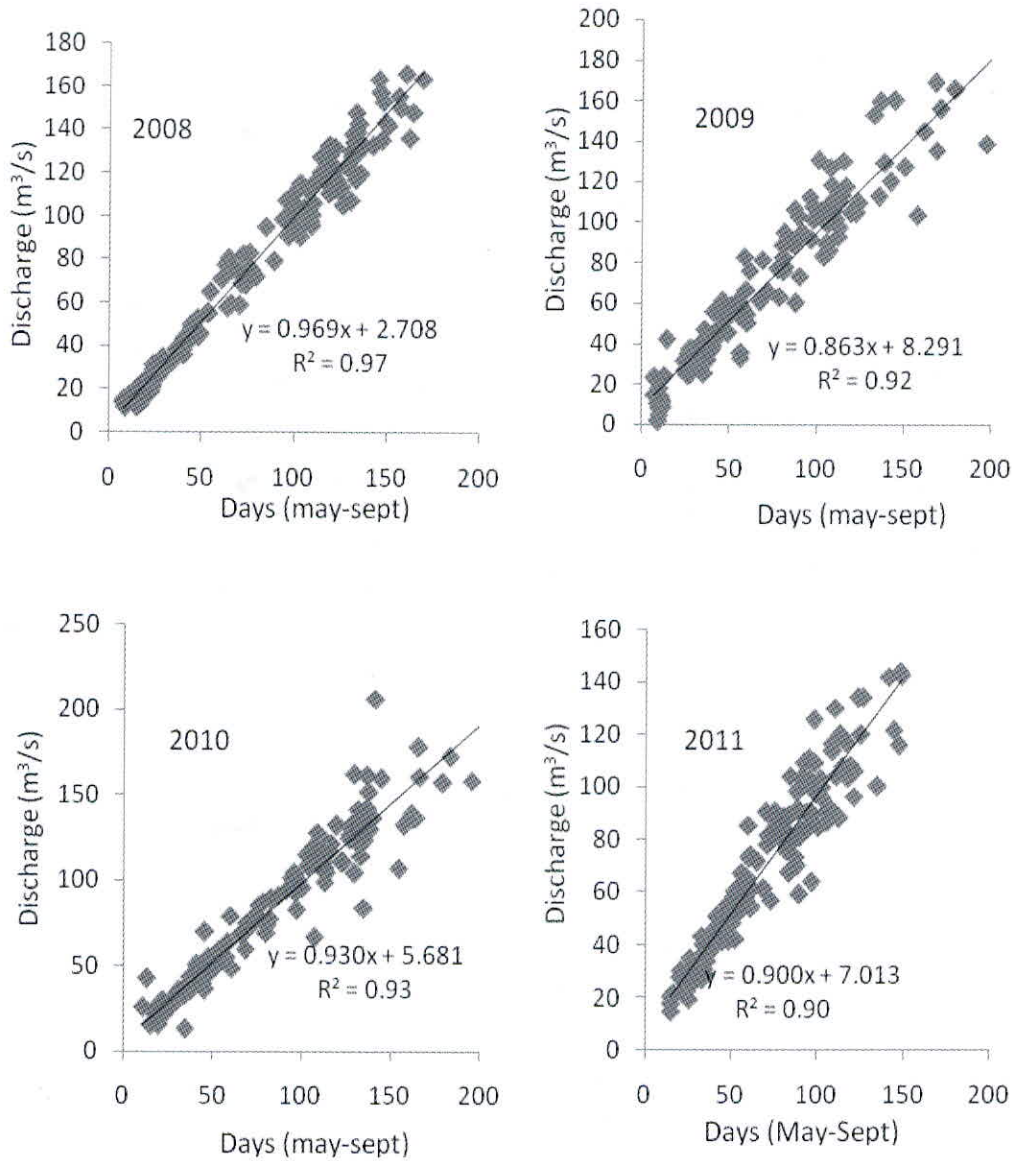
विकसित की गयी प्रतिगमन समीकरण को चार स्वतंत्र सालों (2008-2011) के लिए दैनिक अपवाह का अनुमान लगाने के लिए इस्तेमाल किया गया। 8 पृथक गलन कालों की संयुक्त आंकड़ा श्रृंखला का उपयोग कर विकसित की गयी सामान्यीकृत प्रतिगमन समीकरण का उपयोग कर अपवाह का आकलन किया गया। 2008 से 2011 के लिए अभिकल्पित और प्रेषित दैनिक अपवाह की तुलना चित्र 5 में दर्शायी गयी है। चित्र 6 से पता चलता है कि साल 2008 से 2011 के लिए परिकल्पित अपवाह का मान मॉडलों के अनुमानित मानों के काफी करीब है।

तालिका 4: गंगोत्री हिमनद बेसिन के लिए चरणबद्ध प्रतिगमन तकनीक के द्वारा विकसित विभिन्न वर्षों (2000-2007) और संयुक्त श्रृंखला हेतु प्रतिगमन समीकरण

Year	बहु-प्रतिगमन समीकरण	R^2
2000	$Q_i = -5.975 + 0.869Q_{i-1} + 1.489 T_i + 0.565 R_i$	0.90
2001	$Q_i = 6.491 + 0.992 Q_{i-1} - 0.679 T_i + 0.962 R_i$	0.94
2002	$Q_i = -2.382 + 0.951 Q_{i-1} + 0.606 T_i + 0.128 R_i$	0.96
2003	$Q_i = 0.228 + 0.966 Q_{i-1} + 0.124 T_i + 0.977 R_i$	0.97
2004	$Q_i = 3.498 + 0.987 Q_{i-1} - 0.312 T_i + 0.375 R_i$	0.94
2005	$Q_i = -4.808 + 0.941 Q_{i-1} + 0.942 T_i + 0.289 R_i$	0.96
2006	$Q_i = 0.709 + 0.965 Q_{i-1} + 0.103 T_i + 0.452 R_i$	0.96
2007	$Q_i = -2.214 + 0.926 Q_{i-1} + 0.583 T_i + 0.241 R_i$	0.91
2000-2007	$Q_i = 2.962 + 1.011 Q_{i-1} - 0.422 T_i + 0.203 R_{i1}$	0.99



चित्र 5: गंगोत्री हिमनद के नजदीक वर्ष 2008, 2009, 2010 एवं 2011 के लिए अभिकल्पित तथा प्रेषित अपवाह



चित्र 6: गंगोत्री हिमनद के नजदीक वर्ष 2008, 2009, 2010 एवं 2011 के लिए अभिकल्पित तथा प्रेषित अपवाह के मध्य सह-संबंध

निष्कर्ष

अपवाह की जलवायु भिन्नता के साथ संवेदनशीलता को समझना इसलिए महत्वपूर्ण है क्योंकि जनता और जलीय पारिस्थितिकी प्रणालियां पानी की आपूर्ति पर निर्भर हैं जो विशेष रूप से गर्मियों में कम प्रवाह के मौसम में अपर्याप्त है। जलीय और जलवायु संबंधी आंकड़ों के बीच संबंधों की संकल्पना मुश्किल कार्य है क्योंकि यह जटिल भौतिक प्रक्रियाओं पर आधारित हैं। इस अध्ययन में गलन काल के दौरान अपवाह तथा मौसम संबंधी तत्वों के मध्य बहु-दिनी प्रभाव के बीच की विशेषताओं को समझने प्रयास किया गया है। हमने गंगोत्री हिमनद बेसिन में धारा प्रवाह और वर्षा तथा तापमान के बीच विभिन्न समय अंतरालों के लिए संबंधों की जांच की। अपवाह स्वतः सह-संबंध, हिमनद की भंडारण विशेषताओं और प्रतिक्रिया के बारे में बहुमूल्य जानकारी प्रदान करते हैं। अपवाह स्वतः सह-संबंध के कालिक वितरण से पता चलता है कि जैसे तो सभी समय अंतरालों के लिए एक अच्छा स्वतः सह-संबंध मौजूद है, परंतु अधिकतम स्वतः सह-संबंध (0.94-0.98) पिछले दिन के

अपवाह (Q_{i-1}) तथा संयुक्त श्रृंखला के साथ (0.97) देखा गया है। परिणाम से पता चलता है कि एक विशेष दिन का अपवाह, पिछले दिन के अपवाह पर काफी हद तक निर्भर रहता है। इस प्रकार विशेष दिन के अपवाह के पूर्वानुमान के लिए पिछले दिन का अपवाह एक महत्वपूर्ण पूर्ववादी बन जाता है। उच्च अपवाह स्वतः सह-संबंध से हिमनदीय बेसिन में भंडारण गुणधर्मों के प्रभुत्व का संकेत मिलता है। विभिन्न वर्षों के लिए अपवाह स्वतः सह-संबंधों में समय अंतराल में वृद्धि के साथ कमी देखी गयी है।

वैसे तो 1 से 3 दिनों के समय-अंतराल के लिए अपवाह तापमान सह-संबंध अच्छे पाये गए हैं। परंतु अधिकतम सहसंबंध उसी दिन के तापमान के साथ पाये गए जो कि विभिन्न वर्षों के लिए 0.61-0.82 के मध्य रहे। संयुक्त श्रृंखला के लिए उसी दिन के तापमान एवं अपवाह के मध्य सह-संबंध 0.66 रहा। अपवाह स्वतः सह-संबंधों के समान ही तापमान एवं अपवाह के सह-संबंधों में समय अंतराल में वृद्धि के साथ कमी आयी। सभी वर्षों के लिए अपवाह एवं वर्षा में कमजोर सह-संबंध पाये गए।

गंगोत्री हिमनद बेसिन से दैनिक अपवाह का अनुमान लगाने के लिए, प्रत्येक गलन काल के लिए अलग-अलग तथा 8 गलन कालों की संयुक्त श्रृंखला के लिए बहु-प्रतिगमन समीकरण विकसित किए गए। गंगोत्री हिमनद बेसिन से अपवाह का आकलन करने के हेतु महत्वपूर्ण चरों की पहचान करने के लिए चरणबद्ध प्रतिगमन तकनीक का प्रयोग किया गया। यह पाया गया है कि किसी विशेष दिन के अपवाह (Q_i) को प्रतिगमन समीकरण, जिसमें Q_{i-1} , T_i एवं R_i हों, के द्वारा अच्छी प्रकार से निरूपित किया जा सकता है। बेसिन अपवाह को निर्भर चर और 11 चरों यथा Q_{i-1} , Q_{i-2} , Q_{i-3} , T_i , T_{i-1} , T_{i-2} , T_{i-3} और R_i , R_{i-1} , R_{i-2} , R_{i-3} को स्वतंत्र चर के रूप में इस्तेमाल किया गया। अध्ययन का उद्देश्य वास्तव में एक मॉडल खोजने का नहीं था, बल्कि अपवाह तथा मौसम संबंधी चरों (वर्षण P, तापमान T) के मध्य 0 से 3 दिनों के अंतराल के साथ एक बिल्कुल सरल सह-संबंधों का अवलोकन करना था। स्थापित समीकरणों का उपयोग चार स्वतंत्र वर्षों (2008-2011) के अपवाह के पूर्वानुमान हेतु किया गया। सभी वर्षों के लिए उच्च शुद्धता ($R^2 = 0.93$) के साथ अपवाह का पूर्वानुमान लगाया जा सका। अध्ययनों से पता चलता है कि यदि आगत चरों का पता हो तो विकसित प्रतिगमन समीकरणों का उपयोग अपवाह निर्धारण हेतु किया जा सकता है।

आभार

गंगोत्री हिमनद पर जलमौसम संबंधी अन्वेषण करने की अनुमति तथा सहयोग देने के लिए लेखक निदेशक, राष्ट्रीय जल विज्ञान संस्थान, रुड़की के आभारी हैं।

संदर्भ

- (1) कयान, डी. आर., रिड्डले, एल.जी. और अगुयदों, ई. (1993) कैलिफोर्निया में मौसमी अपवाह पर वर्षा और तापमान का प्रभाव. वॉटर रिसोर्सेस रिसर्च 29, 1127 - 1140।
- (2) चौधरी, आर. एम और वार्ड, एन (2004) ग्रेटर गंगा-ब्रह्मपुत्र और मेघना बेसिनों में जलमौसम संबंधी परिवर्तनशीलता. इंटरनेशनल जर्नल ऑफ क्लाइमेटोलोजी 24, 1495-1508।
- (3) डुएल्ल, एल.एफ.डब्ल्यू.जे (1995) उत्तरी सिएरा नेवादा के अपवाह की जलवायु परिवर्तन के लिए संवेदनशीलता. वॉटर रिसोर्सेस बुलेटिन 30, 841-859।
- (4) कांग, ई. (1991) अपवाह और मौसम संबंधी कारकों के बीच संबंध और तियानशन हिमनद बेसिन में इसका अनुकरण. उच्च अल्पाइन क्षेत्रों में हिम जलविज्ञान और जंगलों पर संगोष्ठी। वियना सिमपोजियम IAHS 205, 189-202।
- (5) क्लेडी, एल. एल. और स्टीफन, एच. जी. (1997) तीन मिनेसोटा धाराओं में अपवाह एवं जलवायु के सह-संबंध. क्लाइमेट चेंज 37, 575-600।
- (6) हॉगकिंस, आर. (2001) गैर-शीतोष्ण स्वालबार्ड हिमनद के गलित जल उत्पादन, भंडारण एवं अपवाह का मौसमी विकास. हायड्रोलोजिकल प्रोसेसस 15, 441-460।

- (7) हॉगकिंस, जी. ए., डुडले, आर. डब्लू और श्वाल्क, एल.एफ. (2012) न्यू इंग्लैंड में सर्दियों के जलवायु चरो और अप्रैल के अपवाह के बीच संबंध एवं इसके गर्मियों के अपवाह पर प्रभाव। यू.एस.जी.एस रिपोर्ट पी.पी:19
- (8) जेन्सेन, एच. और लेंग, एच. (1973) स्विस् अल्प्स में एक हिमनद बेसिन से अपवाह का पूर्वानुमान इंटरनेशनल एसोसियेशन ऑफ हायड्रोलोजिकल साइन्सस पब्लिकेशन 107 (यूनेस्को-डब्लू.एम.ओ-आइ.ए.एच.एस स्पंजोजिया-दी रोल ऑफ स्नो एंड आइस इन हायड्रोलोजी) पी.पी: 104-1057।
- (9) लेंग, एच. (1973) हिमनद अपवाह और मौसम संबंधी तत्वों के बीच संबंधों में परिवर्तन. आइ.ए.एच.एस पब्लिकेशन 95. स्पंजोजियम ऑन दी हायड्रोलोजी ऑफ ग्लेशियर्स पी.पी(कोलन) 85-94।
- (10) पाल, आई., लाल, यू., रॉबर्ट्सन, ए.डब्लू., केन, एम.ए और बंसल, आर. (2013) पश्चिमी हिमालय की सतलुज नदी के भाकड़ा बांध में प्रवाह के गर्म मौसम (एम.एम/ज.ज.अ.स) के लक्षण. जर्नल ऑफ हायड्रोलोजी 478, 132-147।
- (11) शेय, जे.एम., अंसलो, एफ.एस. और मार्शल, एस.जे (2005) हेग हिमनद, अलबर्टा, कनाडा पर जल मौसमविज्ञानीय संबंध. अननल्स ग्लेशियोलॉजी 40, 52-60।
- (12) सिंह, पी., रामशास्त्री, एस., कुमार, एन, और अरोड़ा, एम. (2000) अत्यधिक हिमनद वाले हिमालयन बेसिन में अपवाह और मौसम संबंधी प्रमापकों के मध्य सह-संबंध और अपवाह की भविष्यवाणी. हायड्रोलोजिकल साइन्सस जर्नल 45(5), 637-652।
- (13) वोल्फे, पी.एम और इंग्लिश, एम. सी. (1995) कनाडा के उच्च आर्कटिक में स्थित एक हिमनद जलग्रहण में जल मौसमविज्ञानीय संबंध. हायड्रोलोजिकल प्रोसेसस 9, 911-921।