

हिमनदीय बेसिन से आने वाले जल प्रवाह पर ऋतु परिवर्तन के प्रभाव

नीरज कुमार भटनागर
वरिष्ठ शोध सहायक

मनोहर अरोरा
वैज्ञानिक बी.

राजदेव सिंह
वैज्ञानिक एफ

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रूड़की-247667

सारांश

वातावरण में ग्रीन हाउस गैसों के निरन्तर बढ़ती मात्रा के परिणाम स्वरूप पृथ्वी के तापमान में वृद्धि हो रही है। हिमनदों के द्रव्यमान, आयतन, क्षेत्रफल व लम्बाई में होने वाली कमी को स्पष्ट तौर पर निरन्तर गर्म होती ऋतु का संकेतक माना जा सकता है। हिमनदों से आने वाला जल प्रवाह स्थानीय जल संसाधनों में महत्वपूर्ण योगदान करता है। इस प्रपत्र में गढ़वाल, हिमालय में स्थित डोकरयानी हिमनद से अलग-अलग ऋतु परिवर्तन परिदृश्यों में प्राप्त प्रवाह-अवधि वक्रों में परिवर्तनों का अध्ययन किया गया है। दो हिम गलन वर्षों 1997 व 1998 हेतु हिमनद से प्राप्त प्रवाहों को एक कन्सेप्टुअल (Conceptual) निदर्श SNOWMOD द्वारा simulate किया गया है। तापमान में 1 से 3 डिग्री तक की वृद्धि मानी गयी है एवम् वर्षा में ± 10 प्रतिशत का परिवर्तन माना गया है। प्रवाह-अवधि वक्रों का तीव्र ढाल यह इंगित करता है कि धारा प्रवाह सीधे तौर पर अपवाह से पूरित होता है एवम् बेसिन में भंडारण नगण्य है।

60 प्रतिशत निर्भरता (dependence) पर जो प्रवाह ($3.2 \text{ m}^3/\text{s}$) 1998 में प्राप्त होता था 2°C तापमान वृद्धि करने पर वही प्रवाह 70 प्रतिशत निर्भरता पर प्राप्त होता है। 10 प्रतिशत वर्षा वृद्धि करने पर 80 प्रतिशत निर्भरता पर प्राप्त प्रवाह में 2 प्रतिशत वृद्धि होती है ($1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ से $1.53 \text{ m}^3/\text{s}$ तक) वही 10 प्रतिशत वर्षा में कमी होने पर प्रवाह में 8 प्रतिशत ($1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ से $1.37 \text{ m}^3/\text{s}$) ह्रास होगा।

जल प्रवाह की प्राप्ति पर तापमान की भूमिका वर्षा की तुलना में ज्यादा प्रभावी है। अल्प-प्रवाह स्थिति में वर्षा का प्रभाव उच्च प्रवाह स्थिति की अपेक्षा ज्यादा प्रभावशाली है।

1.0 परिचय

बीसवीं शताब्दी के दौरान सतही वायु के तापमान में $0.6 + 0.2^\circ\text{C}$ की औसत वृद्धि हुई है। IPCC द्वारा विकसित स्पेशल रिपोर्ट ऑन इमिशन सीनेरियोज में प्रदर्शित कल्पित दृश्यों के अनुसार वर्ष 2100 वर्ष 1990 की तुलना में भूस्तह का तापमान 1.4° से 5.8°C अधिक गर्म होगा। प्रेक्षण (projections) यह इंगित करते हैं कि उष्णीकरण क्षेत्रवार अलग-अलग प्रकार से होगा एवम् वर्षा का बढ़ना या कम होना साथ

उष्णीकरण के साथ-साथ होगा। इसके अतिरिक्त ऋतु में परिवर्तन भी होंगे, ऋतु परिवर्तन की महत्तम (extreme) तीव्रता व आवृत्ति (frequency) भी प्रभावित होंगी। अधिकतर क्षेत्रों में बाढ़ आवृत्ति व परिमाण (frequency & magnitude) में वृद्धि होगी व न्यून प्रवाह कम होंगे। इस विषय पर सीधे तौर पर संबंधित अध्ययन कम ही है [2]। हिम व हिमनद ऋतु परिवर्तन के सूचक के रूप में जाने जाते हैं। विश्व के हिमनदों के परिमाण, आयतन, क्षेत्रफल व लम्बाई में होने वाले परिवर्तन स्पष्ट तौर पर भूमण्डलीय उष्णीकरण का संकेत देते हैं। वर्ष 1960 से भूमण्डल स्तर पर उत्तरी गोलार्द्ध में हिम क्षेत्रफल 10 प्रतिशत कम हो चुका है [1]। पिछले 10 वर्षों में बढ़ते तापमान के फलस्वरूप पर्वतीय हिमनद सामान्यतः पतले हो गये हैं, द्रव्यमान खो चुके हैं व प्रतिसारित (retreat) हो रहे हैं। बदलते हुये ऋतु परिवर्तन के परिप्रेक्ष्य में हिमनदों के द्रव्यमान-संतुलन (mass-balance) सम्बन्धी अध्ययनों में हिमनदों के द्रव्यमानों की महत्वपूर्ण कमी का पता चलता है [3-5]। तुलनात्मक रूप से छोटे हिमनद पिछले दशकों में अपने क्षेत्रफल का बड़ा हिस्सा खो चुके हैं। पहले से ही हिम का बड़ा क्षेत्रफल खोने वाले हिमनदों पर हाल ही में हिम पिघलने की दर में होने वाली वृद्धि अधिक प्रभावशाली है एवम् ऋतु परिवर्तन की त्वरित गति को सिद्ध करती है [6]। उष्णीकरण तुरन्त ही हिम या हिमनदों की गलन को हिम के जमाव की अपेक्षा अधिक गति से संचालित करता है। [1]

पिछले दशक में ऋतु परिवर्तन के कारण नदी के प्रवाह गुणधर्मों व जल संसाधनों पर होने वाले प्रभावों पर काफी अध्ययन हुये हैं। ग्लौक [7] ने भूमण्डलीय ऋतु परिवर्तन के कारण स्थानीय जलविज्ञानीय प्रभाव जानने की बहुत सी विधियों का अध्ययन किया एवम् इसमें से चुनाव करने की कसौटी (criteria) को बताया। ब्राउन व अन्य [8] ने रोमान्श नदी बेसिन (फ्रांस ऑल्पस, क्षेत्रफल 224 km², 12.5% हिमनद) के लिये ऋतु परिवर्तन के कारण आये जल विज्ञानीय परिवर्तनों का अध्ययन किया। उन्होंने पाया कि वायु तापमान में 2°C की वृद्धि होने पर वार्षिक अपवाह (runoff) 200 mm/y की वृद्धि हो रही है जबकि वर्तमान स्तर 1050, mm/y था, इस वृद्धि का प्राथमिक कारण बढ़ा हुआ हिमनद अपवाह था।

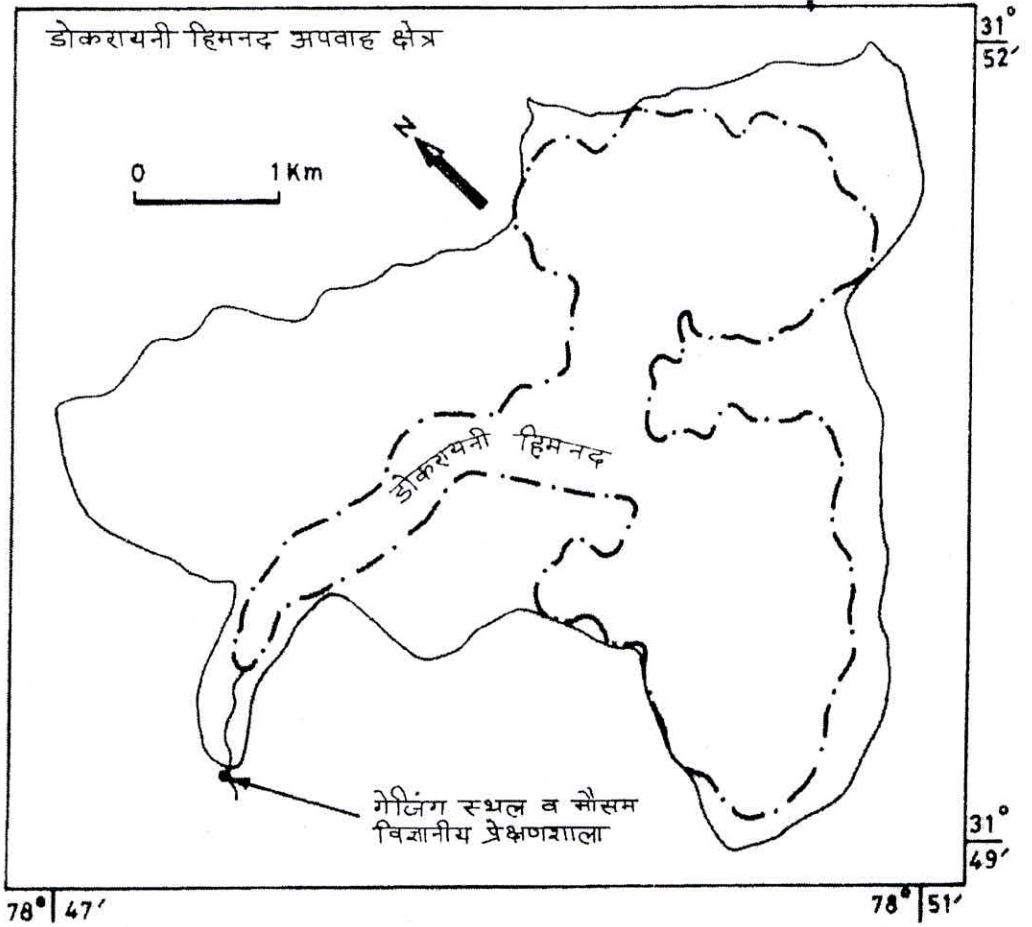
बाढ़ परिमाण में होने वाली वृद्धि परिवर्तन को ज्ञात करने हेतु भी कई प्रयास किये गये हैं। लैटनमेयर व गैन [9] ने सैक्रामान्ते सैन जोकिन बेसिन में चार जल संग्रहण क्षेत्रों में हिमगलन घटनाओं को अनुकादित किया तथा वार्षिक महत्तम बाढ़ परिमाण तथा वार्षिक महत्तममान maxima की दिनांको में अग्रगामी shift का अध्ययन किया। नर्वे में सेल्थन व अन्य [10] ने शीत ऋतु में हिमगलित बाढ़ों में कमी तथा ग्रीष्म (autumn) में बाढ़ों में वृद्धि का अध्ययन किया है। बहुत बड़े स्थानिक (spatial) स्तर पर, क्वाजिक एवम् मिडिलकूल [11] ने राइन नदी द्वारा बाढ़ के खतरे के अन्वेषण किये हैं, इस अध्ययन में एक मासिक अनुकारित निदर्श और प्रयोगासिद्ध (empirical) समीकरण में मासिक व शीर्ष (peak) मानों का उपयोग किया गया। उन्होंने पाया कि बढ़ाये गये वर्षा मानों व बढ़ाये गये तापमान बाढ़ों की आवृत्ति तथा खतरों को बृहद रूप में बढ़ा सकते हैं।

हिमनदों के अपवाह प्रवृत्ति regime को ऋतु परिवर्तन के परिप्रेक्ष्य में समझना अत्यन्त आवश्यक है क्योंकि हिमनदों का जल संसाधनों में महत्वपूर्ण योगदान है। तुलनात्मक गर्म ऋतु में हिमनदों से गलित जल

अधिक मात्रा में प्राप्त होगा एवम् बाढ़ का खतरा भी प्रतीत होगा, जबकि दूसरी परिस्थित में इसके विपरीत प्रभाव होंगे। हिमालयी क्षेत्रों में ऋतु परिवर्तन के प्रभाव ज्यादा विध्वंसात्मक होंगे जहां हिमनद जनित नदियों विश्व की 1/3 जनसंख्या को जल आपूर्ति करती है। बर्फ व हिम के गलने से प्राप्त जल का हिमालयी नदियों में महत्वपूर्ण योगदान है [12, 13] इसी कारण से ऋतु में होने वाले कोई भी परिवर्तन सीधे-सीधे तौर पर हिमालय बेसिन के अपवाह प्रवृत्ति (regime) को प्रभावित करते हैं। सिंह व कुमार [14] ने एक हिमालयी नदी के हिम गलन अपवाह, कुल धारा प्रवाह एवम् उसके वितरण पर ऋतु परिवर्तन के प्रभावों का अध्ययन किया। उन्होंने पाया कि वार्षिक हिम गलन अपवाह, हिमनद गलन अपवाह व कुल धारा प्रवाह ताप परिवर्तन के साथ-साथ रेखीय विधि से परिवर्तित होता है। परन्तु हिमनद गलन अपवाह पर तापमान में वृद्धि का बहुत प्रभावशाली असर देखा गया है। हिम गलन अपवाह व कुल धारा प्रवाह पर वर्षा में परिवर्तन का रेखीय वृद्धि/हानि का प्रभाव पाया गया जबकि सामान्यतयः हिमनद अपवाह पर वर्षा का विपरीत प्रभाव पाया गया। गंगा नदी को योगदान करने वाले कुछ हिमालयी बेसिनों पर परिवर्तन के प्रभावों का मूल्यांकन करने वाले अध्ययनों में पाया गया कि यदि CO₂ को दुगुना कर दिया जाये तो अलग-अलग बेसिनों पर औसत अपवाह में परिवर्तन 27 से 116 प्रतिशत होता है। जबकि समय के बदलाव व मानसून की तीव्रता एवं हिमालय पर्वतों के बादलों को रोकने के तरीके ऐसे तथ्य हैं जो गंगा व ब्रह्मपुत्र नदी के अपवाह के प्राप्त होने के समय व मात्रा पर बड़ा प्रभाव डालते हैं। भारतीय उप महाद्वीप में ऋतु परिवर्तन के परिणाम स्वरूप हिम व हिमनद गलन से पूरित नदियों अथवा वर्षा जल से पूरित नदियों पर पड़ने वाले प्रभावों पर अन्वेषण कम ही हुए हैं। हिमालयी क्षेत्रों पर ऋतु परिवर्तन के प्रभावों सम्बन्धी अध्ययन कम ही हुये हैं, जबकि यह क्षेत्र ऋतु परिवर्तन और उसके कारण प्रभावित होने वाले हिमालयी जल संसाधनों हेतु बहुत सुभेद्य vulnerable है। भूमंडलीय स्तर पर बहुत सी नदियों के मासिक प्रवाह (regime) पर ऋतु परिवर्तन के प्रभावों सम्बन्धी अध्ययन हुये हैं, इनमें से कुछ अध्ययनों में उच्च व निम्न प्रवाह के महत्तम (extremes) को विचार में लिया है। इस प्रकार के अध्ययनों की हिमालयी क्षेत्रों में बेसिनवार व क्षेत्रीय स्तर पर बहुत आवश्यकता है।

2.0 अध्ययन क्षेत्र

प्रस्तुत अध्ययन डोकूरियानी हिमनद पर किया गया है जो कि भागीरथी बेसिन का एक घाटी प्रकार का हिमनद है। चित्र सं.1 में डोकूरियानी हिमनद की स्थिति को दर्शाया गया है। यह हिमनद 31°47' से 31°52' उत्तरी अक्षांश व 78°47' से 78°51' पूर्व रेखांश के बीच में स्थित है।



चित्र सं. -1 डोकरायनी हिमनद की स्थिति

गेजिंग स्थल धारा स्रोत से 800 मी. नीचे तक हिमनद का अपवाह क्षेत्र (drainage area) लगभग 16.13 किमी² है। जिसमें से 9.66 (60 प्रतिशत) बर्फ व हिमनद से आच्छादित है। हिमनद की ऊँचाई 3950-5800 मी. तक है, लम्बाई 5.5 किमी एवम् मोटाई 0.1 - 0.2 किमी तक है। हिमनद के ऊँचाई वितरण के अनुसार अधिकतम हिमनद क्षेत्र (12.86 प्रतिशत) 5000 - 5100 मी. के मध्य तक उसके उपरान्त 12.44 प्रतिशत, 5100 - 5200 मी. है। बेसिन के निचले क्षेत्रों में हिमनद मुक्त क्षेत्र ज्यादा है जबकि ऊपरी क्षेत्र पूरी तरह हिमनद युक्त है।

3.0 विधि

स्नोमॉड निदर्श द्वारा दैनिक धारा प्रवाह को अनुकारित (simulate) किया गया। लिये गये वास्तविक प्रेक्षित तापमानों से निदर्श के लिये चरों (variables) को निकाला गया। किसी विशेष ऊँचाई वाले क्षेत्र के

तापमान द्वारा वहां होने वाले वर्षण को ज्ञात किया जाता है एवम् उसी के अनुसार निदर्श उसको उपयोग करता है। निदर्श द्वारा एक कसौटी (criteria) तापमान T_c यह निर्धारित करता है कि मापा गया वर्षण वर्षा है या हिमपात। प्रस्तुत अध्ययन में T_c को 2°C माना गया है। वर्षण का प्रकार निर्धारित करने वाली निदर्श में प्रयोग की गयी समीकरण इस प्रकार है -

यदि $T_m \geq T_c$, सब वर्षण जल वर्षा है।
 $T_m \leq 0^\circ\text{C}$, सब वर्षण हिम वर्षा है।

यहाँ $T_m =$ औसत वायुमंडलीय तापमान है, $T_m \geq 0^\circ\text{C}$ व $T_m \leq T_c$ पर होने वाला वर्षण जल व हिम वर्षा का मिश्रण होगा एवम् उसका अनुपात निम्न प्रकार होगा-

$$\text{जल वर्षा} = \left(\frac{T_m}{T_c} \right) \times P$$

$$\text{हिम वर्षा} = P - \text{जल वर्षा}$$

बेसिन को विभिन्न ऊँचाई वाले क्षेत्रों में बाँटा गया है एवम् विभिन्न जलविज्ञानीय प्रक्रम (process) जो हिम व जल वर्षा अपवाह से सम्बन्धित है प्रत्येक क्षेत्र के लिये अलग-अलग निकाले जाते हैं। निदर्श द्वारा हिमवर्षा व जल वर्षा अपवाह समय के अनुसार निम्न तीन चरणों द्वारा निकाला जाता है - (1) प्राप्त मौसम विज्ञानीय आँकड़ों का प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र के लिये विस्तार किया जाता है। (2) अलग-अलग स्थानों पर हिमवर्षा तथा जल वर्षा की गणना की जाती है। (3) हिम आच्छादित क्षेत्र से हिम गलित अपवाह तथा हिम रहित क्षेत्र से वर्षा अपवाह को समाकालित करते हैं एवम् निदर्श से इनकी राउटिंग (routing) अलग से करते हैं इसके साथ-साथ बेसिन के निकास पर आधार प्रवाह को भी गणना कर सम्मिलित किया जाता है। धारा प्रवाह के विभिन्न अपवाह घटकों की गणना निम्नवत् की गयी है।

3.1 विभिन्न घटकों द्वारा अपवाह की गणना

प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र के लिये हर घटक द्वारा अपवाह की गणना की जाती है फिर कुल अपवाह हेतु उनका योग किया जाता है।

3.2 हिमाच्छादित क्षेत्र से सतही अपवाह

हिमाच्छादित क्षेत्र से प्राप्त सतही अपवाह में (ए) हिम गलन से प्राप्त जल जो कि वायु के तापमान के कारण प्राप्त होता है, तथा (बी) वर्षा होने की अवस्था में वर्षा द्वारा संचारित उष्मा के कारण बर्फ के पिघलने से प्राप्त जल तथा (सी) वर्षा द्वारा प्राप्त जल जो कि हिमाच्छादित क्षेत्र पर पड़ती है, सम्मिलित रहते हैं। हिमाच्छादित क्षेत्र से प्राप्त अपवाह की गणना निम्न प्रकार की जाती है-

(ए) प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र हेतु हिम गलित अपवाह

$$M_{slj} = C_{slj} D_{ij} T_{ij} S_{cij} \quad (1)$$

जहाँ M_s जल गहराई (mm day^{-1}) के सापेक्ष हिम गलित जल ; C_s अपवाह स्थिरांक ; D = डिग्री-डे फैक्टर ($\text{mm}^\circ\text{C}^{-1} \text{day}^{-1}$) ; T = तापमान ($^\circ\text{C}$), S_c = हिमाच्छादित क्षेत्र का कुल क्षेत्र से अनुपात i व j दिन व क्षेत्र को प्रदर्शित करते हैं।

(बी) हिमाच्छादित क्षेत्र पर वर्षा होने पर उष्मा के स्थानान्तरण से जो हिम गलित अपवाह जनित होता है उसको हम निम्नवत् प्रदर्शित कर सकते हैं -

$$M_{rij} = 4.2 T_{i,j} P_{i,j} S_{gij} / 325 \quad (2)$$

यहाँ M_r हिमाच्छादित क्षेत्र पर वर्षा पड़ने के कारण हिम गलन से प्राप्त अपवाह (mm day^{-1}) एवम् P = वर्षा (mm day^{-1}) जोकि हिमाच्छादित क्षेत्र पर पड़ती है।

(सी) स्वयं वर्षा, जो कि हिमाच्छादित क्षेत्र पर पड़ती है, द्वारा जनित अपवाह गहराई

$$R_{s,i,j} = C_{s,i,j} P_{i,j} S_{c,i,j} \quad (3)$$

वर्षा के कारण जनित अपवाह के गणन हेतु स्थिरांक C_s का प्रयोग किया जाता है न कि वर्षा-अपवाह स्थिरांक का क्योंकि हिमाच्छादित क्षेत्र पर वर्षा से जनित अपवाह बर्फ के गलन से प्राप्त अपवाह की तरह व्यवहार करता है।

हिमाच्छादित क्षेत्र से प्राप्त दैनिक कुल अपवाह प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र के मानों का अंकगणीतीय योग करने पर प्राप्त होता है।

$$Q_{SCA} = \alpha \sum_{i=1}^n (M_{s,i,j} + M_{rij} + R_{s,i,j}) A_{SCA,i,j} \quad (4)$$

जहाँ n = कुल ऊँचाई क्षेत्र, A_{SCA} = कुल हिमाच्छादित क्षेत्रफल व α एक गुणांक है जिसका मान $1000/86400$ जिसका उपयोग अपवाह गहराई (mm day^{-1}) को प्रवाह m^3s^{-1} में परिवर्तन करने में होता है।

3.3 हिम रहित क्षेत्र से सतही अपवाह

प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र से हिम रहित क्षेत्र से सतही अपवाह

$$R_{f,l,j} = C_{r,l,j} P_{i,j} S_{f,l,j} \quad (5)$$

जहाँ S_f हिम रहित क्षेत्र व कुल क्षेत्र का अनुपात है। क्योंकि हिम युक्त क्षेत्र व हिम विहीन क्षेत्र एक दूसरे के पूरक हैं, इसलिए

$$S_{f,l,j} = 1 - S_{c,l,j}$$

क्षेत्र से सम्पूर्ण बेसिन से कुल प्राप्त अपवाह :

$$Q_{SFA} = \alpha \sum_{j=1}^n R_{f,l,j} A_{SFA,j} \quad (6)$$

जहाँ A_{SFA} = हिम विहीन क्षेत्रफल

3.4 अपवाह का आकलन

यह माना जाता है कि जल की आधी मात्रा उथले भू जल में मिल जाती है एवम् आधार प्रवाह (baseflow) में योगदान करता है। अपवाह गहराई जो कि प्रत्येक ऊँचाई क्षेत्र से आधार प्रवाह (baseflow) में योगदान करती है, इस प्रकार प्रदर्शित की जाती है-

$$R_{b,l,j} = \beta(1 - C_{r,i,j}) R_{f,i,j} + (1 - C_{s,l,j}) M_{l,i,j}$$

जहाँ

$$M_{l,i,j} = M_{s,i,j} + M_{r,l,j} + R_{s,l,j} \text{ and } \beta = 0.50 \quad (7)$$

अपवाह गहराई को परिवर्तन गुणांक α व क्षेत्रफल से गुणा करने पर Q_b प्राप्त होगा।

$$Q_b = \alpha \sum_{j=1}^n R_{b,i,j} A_{i,j} \quad (8)$$

जहाँ A कुल क्षेत्रफल की प्रदर्शित करता है तथा हिमाच्छादित व हिमविहीन क्षेत्रफल का योग है।

3.5 सम्पूर्ण धारा प्रवाह

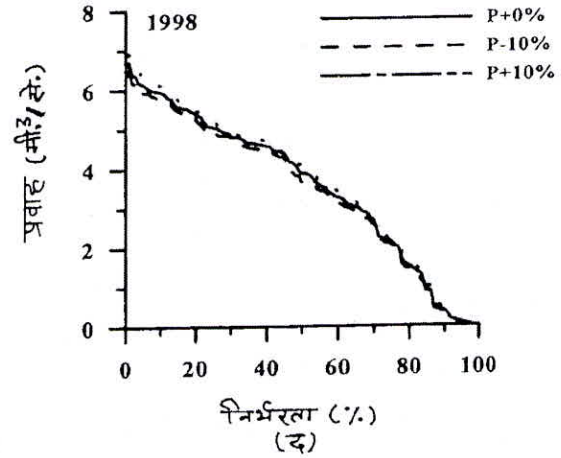
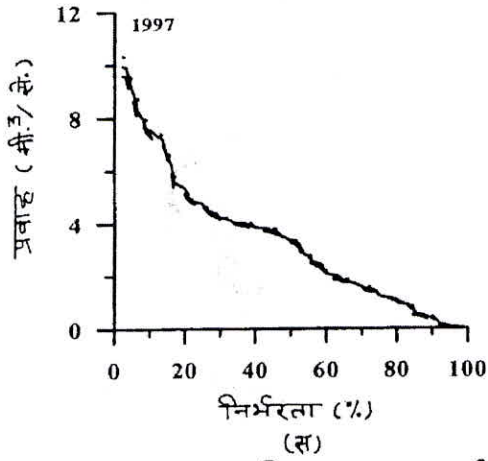
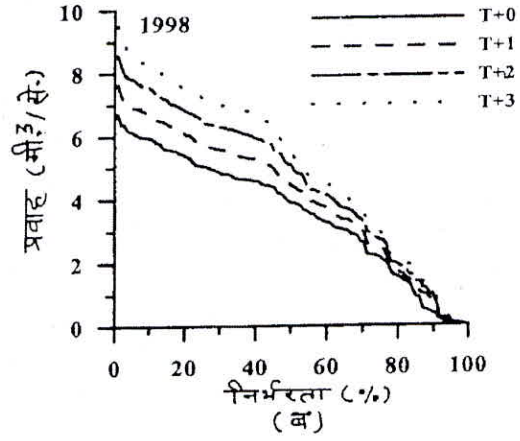
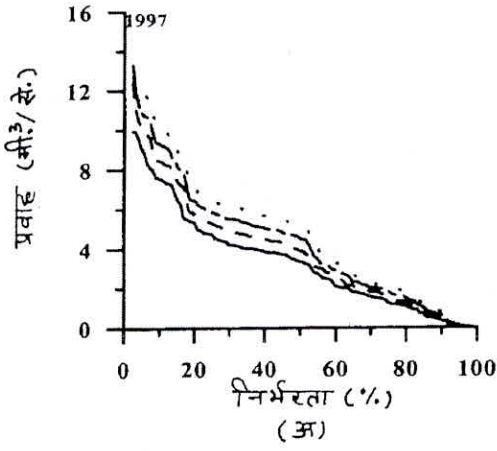
बेसिन से प्राप्त दैनिक अपवाह तीनों भिन्न-भिन्न अपवाह के योग से प्राप्त होता है -

$$Q = Q_{SCA} + Q_{SFA} + Q_b \quad (9)$$

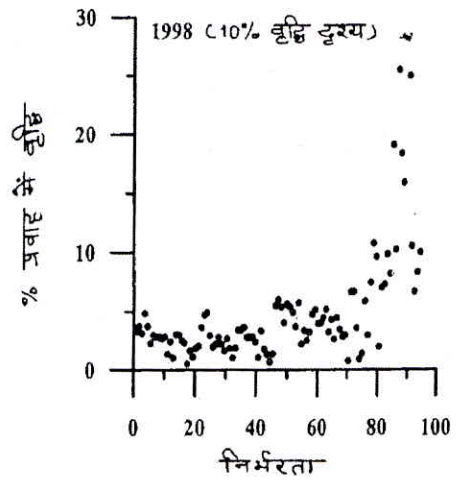
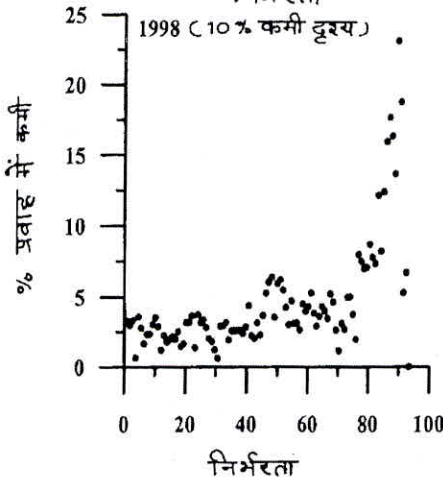
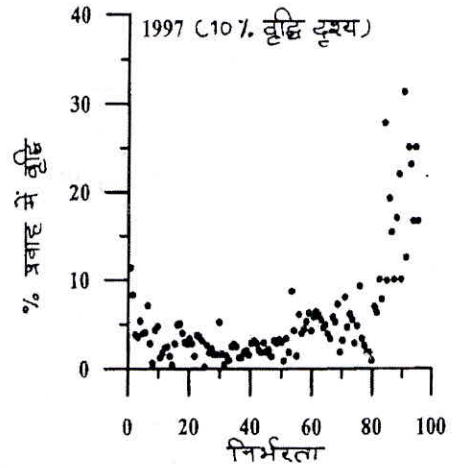
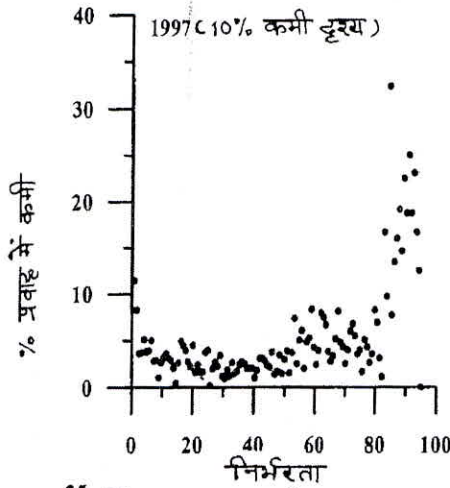
4.0 विचार विमर्श

प्रवाह अवधि वक्र की आकृति दिन प्रति दिन प्रवाह की परिवर्तनशीलता को दिखाती है एवम् वृहद रूप से अपवाह क्षेत्र की न्यून प्रवाह विशिष्टताओं को दर्शाती है। प्रवाह-अवधि वक्र की आकृति अपवाह क्षेत्र की जलविज्ञानीय व भूवैज्ञानिक (geologic) गुण धर्मों द्वारा निर्धारित होती है। बेसिन में प्राप्त प्रवाह जो कि संवेदनशील तरीके से परिवर्तनशील है व मुख्य तौर से सीधे-सीधे अपवाह से पूरित है, वह वक्र रूप में तीव्र (steep) ढाल से प्रदर्शित होता है। जबकि समतल ढाल वाला वक्र सतही जल या भूजल प्रवाहों से पूरित होता है। अवधि वक्र का निचला हिस्सा जो कि न्यून प्रवाह गुणधर्मों को दिखाता है बेसिन के (perennial) भंडार के व्यवहार को प्रदर्शित करता है; निचले हिस्से पर समतल वक्र आकृति अधिक भंडारण को व तीव्र (steep) ढाल बहुत कम भंडार को दिखाती है।

उपरोक्त वर्णित संकल्पनात्मक (conceptual) जलविज्ञानीय निदर्श, SNOWMOD डोकरियानी हिमनद से प्राप्त धारा के लिये गलन सीजन 1997 व 1998 के धारा प्रवाह को अनुकारित (simulate) करने के लिये किया गया। तापमान में 1°C से 3°C तक की वृद्धि की गयी एवम् वर्षा में ± 10 प्रतिशत के परिवर्तन किये गये। विभिन्न अवस्थाओं (scenario) व आधार रेखा (baseline) अवस्थाओं हेतु प्रवाह-अवधि वक्र चित्र सं. 2ए-डी) में दिखाये गये हैं। चित्रों से पता चलता है कि तीव्र ढाल से पता चलता है कि धारा प्रवाह को सीधे-सीधे अपवाह से आपूर्ति होती है व बेसिन में भंडारण नगण्य होता है। चूंकि धारा प्रवाह में मुख्य योगदान हिमनद व बर्फ के गलने से प्राप्त जल के द्वारा होता है इसलिए वर्षा की वृद्धि की अपेक्षा तापमान वृद्धि के कारण प्रवाह में चिन्हित (marked) परिवर्तनशीलता होती है। उष्णीकरण (warming) की अवस्था में प्रवाह-अवधि वक्र वर्तमान वक्र के ऊपर आते हैं जिससे यह संकेत मिलता है कि भविष्य में प्रवाह की मात्रा एक निश्चित मात्रा से ज्यादा बढ़ेगी। उदाहरणार्थ 2°C तापमान वृद्धि पर जो प्रवाह मात्रा 60 प्रतिशत की निर्भरता पर प्राप्त होती थी (3.2 m³/s वर्ष 1998) वह 70 प्रतिशत के निर्भरता पर प्राप्त होगी। परिवर्तन दृश्य में प्राप्त अधिक वक्रिय आकृति यह प्रदर्शित करती है कि प्रवाह में पूरे वर्षभर अधिक परिवर्तन होते हैं। प्रवाह-अवधि वक्र के अनुप्रयोग की जलविज्ञानीय प्रक्रमों के प्रमात्रीकरण (quantification) की निर्धारित सीमायें यह हैं कि; वर्षा मात्रा व बेसिन में जल भंडारण मात्रायें के बीच सह सम्बन्ध अज्ञात है [17, 18]। प्रस्तुत अध्ययन में सम के 80 प्रतिशत निर्भरता पर प्राप्त प्रवाह (1998) 10 प्रतिशत वर्षा की अधिकता पर 2 प्रतिशत बढ़ जायेगा (1.5 m³/s से 1.53 m³/s) एवम् वर्षा की 10 प्रतिशत कम होने पर 8 प्रतिशत घट जायेगा (1.5 से 1.37 m³/s) बलयेट व अन्य [14] द्वारा इसी प्रकार के अध्ययन में पाया कि मर्ग संग्रहण क्षेत्र स्विटजरलैंड में 82 प्रतिशत निर्भरता पर प्रवाह 10 प्रतिशत कम हो जाता (0.28 से 0.25 m³/s) है। प्रवाह में प्रतिशत परिवर्तन वर्षा वृद्धि व ह्रास के साथ चित्र 3 में दिखाया गया है। यह पाया गया है कि वर्षा में परिवर्तन के ज्यादातर प्रभाव उच्च प्रवाहों की अपेक्षा न्यून प्रवाह पर अधिक होते हैं।



चित्र सं.-2 वर्ष 1997-1998 हेतु डोकरयानी हिमनद के प्रवाह अवधि वक्र : आधार रेखा व अन्य दृश्य



चित्र सं.-3 विभिन्न वर्षा दृश्यों के अन्तर्गत विभिन्न निर्भरताओं पर प्रवाह में प्रतिशत परिवर्तन

5-0 निष्कर्ष

भूमंडलीय उष्णीकरण पर किये गये लोकप्रिय अध्ययन यह बताते हैं कि ग्रीन हाउस गैसों के बढ़ते प्रभाव के कारण बर्फ व हिमनद के पिघलने से प्राप्त अपवाह में वृद्धि हो रही है। वर्षा द्वारा जनित उच्च प्रवाह एवम् हिम व हिमनद जनित अपवाह के मध्य अन्तर पहचानना बहुत महत्वपूर्ण है। ऋतु परिवर्तन के कारण हिम व हिमनद के पिघलने में होने वाले परिवर्तनों को समझना आवश्यक है व महत्वपूर्ण है क्योंकि बहुत सी नदियाँ हिमनदों से उत्पन्न होती हैं। प्रस्तुत अध्ययन हिमालय पर्वतों में स्थित एक हिमनद के प्रवाह-अवधि वक्र पर उष्णतर, ज्यादा नमी वाले व शुष्क ऋतु परिदृश्यों के प्रभाव पर आधारित है। अध्ययन

क्षेत्र में हिमाच्छादित आवरण की बहुलता है। गेजिंग स्थल तक, जो कि हिमनद-मुख से 800 मी नीचे है, कुल ड्रेनेज क्षेत्रफल 16.13 किमी² है जिसमें से 9.66 किमी. (60 प्रतिशत) हिमाच्छादित क्षेत्रफल है।

स्वप्रथम हिमाच्छादित क्षेत्र से दो गलन वर्षकाल 1947 व 1998 हेतु अपवाह का अनुकारित (simulation) किया गया है तत्पश्चात बदलते ऋतु परिवर्तन के प्रभाव का प्रवाह अवधि वक्र पर अध्ययन किया गया है। हिमनद के पिंघलने से प्राप्त डोकरियानी हिमनद का अपवाह का अनुकारीकरण (simulation) एक संकल्पनात्मक निदर्श SNOWMOD द्वारा किया गया है। प्रयुक्त निदर्श में अलग-2 तापमान (T + 0°C, T + 1°C, T + 2°C और T + 3°C) तथा वर्षा (P + 0%, P - 10% और P + 10%) परिदृश्यों का प्रयोग कर प्रवाह अवधि वक्रों पर होने वाले प्रभावों का अध्ययन किया है। प्रवाह अवधि के तीव्र ढाल वक्र द्वारा यह पता चलता है कि धारा प्रवाह मुख्यतयः सीधे अपवाह द्वारा पूरित होता है तथा बेसिन में भंडारण नगण्य है। इसके अतिरिक्त तापमान की वृद्धि के कारण प्रवाह में चिन्हित (marked) विभिन्नता पायी जाती है। जो प्रवाह 60 प्रतिशत निर्भरता पर प्राप्त होता था वह 2°C की ताप वृद्धि के साथ 70 प्रतिशत निर्भरता पर प्राप्त होता है। (3.2 m³/s से 1998) 80 प्रतिशत निर्भरता के साथ प्रवाह वर्षा के 10 प्रतिशत बढ़ाने पर 2 प्रतिशत (1.5 m³/s ls 1.53 m³/s) बढ़ जाता है और 10 प्रतिशत वर्षा कम करने पर 8 प्रतिशत (1.5 m³/s ls 1.37 m³/s) कम हो जाता है। प्रवाह अवधि वक्रों के अध्ययन से पता चलता है कि वर्षा की अपेक्षा तापमान का हिमनदों से प्राप्त जल की मात्रा पर अधिक प्रभाव पड़ता है। जब प्रवाह के प्रतिशत परिवर्तनों को विभिन्न वर्षा परिदृश्यों पर आंकलित किया गया तो पाया कि वर्षा द्वारा उच्च प्रवाहों की अपेक्षाकृत न्यून प्रवाह अधिक प्रभावित होते हैं। हिमालयी क्षेत्रों में बड़े व मध्यम परियोजनाओं के पभावकारी प्रबन्धन व नियोजन हेतु इस प्रकार के अध्ययन बहुत लाभकारी होंगे।

संदर्भ

- आई पी सी सी, टेक्निकल समरी ऑफ क्लाइमेट चेंज 2001; वर्किंग ग्रुप II - एडेप्टेशन एण्ड बुल्नेरेबिलिटी, 2001.
- बेरन, एम.ए. 'दक अर्नेल, एन.डबल्यू.; क्लाइमेट चेंज एण्ड हाईड्रोलॉजिकल डिस्टास्टर्स, पर सिंह, वी.पी. एड., हाईड्रोलॉजी ऑफ डिस्टास्टर्स, क्लूवर, डोरड्रेच, 41-62, 1996.
- ओइलेमैन्स, जे. एण्ड फोरच्यून, जे.पी.एफ.; सेन्सिटिविटी ऑफ ग्लेसियर्स एण्ड स्माल आईस कैप्स टू ग्रीनहाऊस वार्मिंग साईंस, 258, 1992.
- ल्यूमैन्, टी. एण्ड रीह, एन.; सेन्सिटिविटी टू क्लाइमेट चेंज ऑफ दी मैस बैलेन्स ऑफ ग्लेसियर्स इन साउथर्न नोरवे, जे. ग्लेसियोलॉजी, 39(133), 1993.
- ड्युरजेरोव, एन.; माउन्टेन एण्ड सबपोलर ग्लेसियर्स स्नो एन इन्क्रीज इन सेन्सिटिविटी टू क्लाइमेट वार्मिंग एण्ड इन्टेन्सिफिकेशन ऑफ दी वाटर साईकिल, जे. हाईड्रोलॉजी, 282, 164-176, 2003.
- टाई ए एच एस, ग्लेसियर मैस मैलेन्स बुलेटिन, बुल. नं. 7(2000-2001), 2003.

- ग्लोक, पी.एच.; मेथड्स फोर इवेल्वूटिंग दि रिजनल हाईड्रोलॉजिक इम्पेक्ट्स ऑफ ग्लोबल क्लाइमेटिक चेंजिस, जे. हाईड्रोलॉजी, 88, 97-116, 1986.
- बरेन, एल.एन., बरुन, ई., डुरांड, वाई., मारटिन, ई. एण्ड टौरैस्से, पी.; सिमुलेशन ऑफ डिस्चार्ज यूजिंग डिफरेंट मेथड्स ऑफ मेटियोरोलॉजिकल डाटा डिस्ट्रिब्यूशन, बेसिन डिस्क्रेटाइजेशन एण्ड स्नो मॉडलिंग, नोर्डिक हाईड्रोलॉजी, 25, 129-144, 1994.
- लेटेनमेयर, डी.पी. एण्ड गैन, टी.वाई.; हाईड्रोलॉजिकल सेन्सिटिविटी ऑफ दी सैक्रामेन्टा-सैन जोयक्विन रिबर बेसिन, कैलिफोरनिया टू ग्लोबल वार्मिंग, वाटर रिसो. रिस., 26, 69-86, 1990.
- सैसथन, एन.आर., बोगेन, जे. एण्ड फलूड, एम.एच.; नोरवेगैन वाटर रिसोर्सिस एण्ड एनर्जी एडमिनिस्ट्रेशन, पब्लिकेशन, 42, पे.34, 1990.
- क्वाड्रिज्क, जे. एण्ड मिडेलकूप, एच.; एस्ओमेशन ऑफ इम्पेक्ट ऑफ क्लाइमेट चेंज ऑन दी पीक डिस्चार्ज प्रोबेबिलिटी ऑफ दी रिबर रहीन, क्लाइमेटिक चेंज, 27, 199-224, 1994.
- सिंह, पी., रामाशास्त्री, के.एस., सिंह, यू.के., गेरजन, जे.टी.जी. एण्ड दोधाल, डी.पी.; हाईड्रोलॉजिकल करेक्टेरिस्टिक्स ऑफ दी डोकरियानी ग्लेसिर इन दी गढवाल हिमालयाज, हाईड्रोलॉजिकल साइंसिस जे. , 40, 243-257, 1995.
- सिंह, पी. एण्ड कुमार, एन.; डिटरमिनेशन ऑफ स्नोमेल्ट फैक्टर इन दी हिमालयन रिजन, हाईड्रोलॉजिकल साइंसिस जे., 41, 301-310, 1996.
- सिंह, पी. एण्ड कुमार, एन.; इम्पेक्ट एसेसमेन्ट ऑफ क्लाइमेट चेंज ऑन दी हाईड्रोलॉजिकल रेस्पॉन्स ऑफ ए स्नो एण्ड ग्लेसिर मेल्ट रनऑफ डोमिनेटिड हिमालयन रिबर, जे. हाईड्रोलॉजी, 193, 316-350, 1997.
- मिर्जा, एम.क्यू.; दी रनऑफ सेन्सिटिविटी ऑफ दी गंगेज रिबर बेसिन टू क्लाइमेट चेंज एण्ड इट्स इम्प्लीकेशन्स, जे. इन्वीरोन्मेन्टल हाईड्रोलॉजी, 5, 1-13, 1997.
- सिंह, पी. एण्ड जैन, एस.के.; मॉडलिंग ऑफ स्ट्रीम फ्लो एण्ड इट्स कम्पोनेन्ट्स फोर ए लार्ज हिमालयन बेसिन विध प्रिडोमिनेन्ट स्नोमेल्ट यील्डस, हाईड्रोलॉजिकल साइंस जे., 48(2), 257-276, 2003.
- लाने, ई.डब्ल्यू. एण्ड लेई, के.; स्ट्रीमफ्लो वेरिएबिलिटी, अमेरि.सोस.सिव.इंजी.ट्रांस., 20, 1084-1134, 1950.
डिंगमैन, एस.एल.; सिन्थेसिस ऑफ फ्लू-डुरेशन कर्वस फोर अनरेगुलेटिड स्ट्रीम्स इन न्यू हैम्पशियरे, वाटर रिसो. रिस., 14, 1481-1502, 1978.