"जल संसाधन के क्षेत्र में भावी चुनौतियाँ"
विषय पर राष्ट्रीय संगोष्ठी
16-17 दिसम्बर, 2003, रुड़की (उत्तरांचल)

हिम एवं हिमनद आवृत जलसंग्रह क्षेत्र का जलविज्ञानीय प्रतिरूपण

प्रताप सिंह मनोहर अरोड़ा यतवीर सिंह
राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की

सारांश

हिमालय से उद्गमित नदियों के धाराप्रवाह में वर्षा, हिम, एवं हिमनदों का जल सम्मिलित होता है। जल संसाधनों के प्रबन्धन में धाराप्रवाह के प्रत्येक घटक की भूमिका महत्वपूर्ण होती है। इसमें जलाशय प्रचालन तथा धाराप्रवाह पुर्वानुमान भी शामिल है। धाराप्रवाह में हिम एवं हिमनदों का योगदान पर्याप्त होता है, इसलिये विशेषकर हिमालयी जलसंग्रह क्षेत्रों में जलविज्ञानीय प्रतिरूपों के विकास की आवश्यकता है। हिमालय जलसंग्रह क्षेत्र के जलविज्ञानीय प्रवृत्ति को समझने के लिये, वर्षा अपवाह, हिमगलन तथा हिमनद गलन प्रक्रियाओं के पर्याप्त ज्ञान की आवश्यकता है। हिमालय जलसंग्रह क्षेत्रों में वर्षण आबंटन पर स्थ्लाकृतिक का प्रभाव भी एक महत्वपूर्ण समस्या है जिसके फलस्वरूप इन क्षेत्रों का जलविज्ञानीय प्रतिरूपण और भी जटिल हो जाता है। इस प्रपत्र में, हिमालय जलसंग्रह क्षेत्र की स्थलाकृति, आंकड़ों की उपलब्धता, छितराये तंत्र आदि को ध्यान में रखते हुए, एक आसान रूपरेखा पर आधारित हिमगलन प्रतिरूप को विकसित किया गया है। यह प्रतिरूप जलसंग्रह क्षेत्र के क्षेत्रफल उच्चता अभिलक्षणों पर आधारित है तथा इसमें पर्वतीय वर्षण आबंटन एवं तापमान ह्रास दर के बीच सम्बंध का प्रयोग किया गया है। विभिन्न स्रोतों द्वारा भिन्न-भिन्न योगदान तथा हानि का आंकलन भी किया गया है। सतही एवं अंतप्रर्वाह का अभीगमन रेखिक जलाशय विचारधारा से किया गया है। इस प्रपत्र में स्नोमोड की रूपरेखा की व्याख्या के साथ-साथ प्रयोग किये गये प्राचलों एवं जलविज्ञानीय प्रक्रमों की भी विस्तारपूर्वक विवेचना की गई है। विभिन्न प्रकार के हिम एवं हिमनद गलन अपवाह प्रतिरूपों की उपलब्ध जानकारी भी प्रस्तुत की गयी है।

1. प्रस्तावना :

जलविज्ञानीय चक्र में हिम की अहम भुमिका है तथा विश्व के विभिन्न क्षेत्रों में बहने वाली नदियों का यह मुख्य स्रोत है। भौगोलिक विवरण की दृष्टि से हिम में सामान्यत: ऊचांई एवं फैलाव से बढ़ोतरी होती है (बेट्स एवं बिलेलो, 1966)। हिम आवरण का जलविज्ञानीय महत्व वातावरण में आद्र संरचनाओं पर आधारित होता है जो पर्वतीय क्षेत्रों में बड़ी-बड़ी बर्फ से ढ़की चोटियों से प्रभावित होती है। भारत के दृश्य को यदि हम देखें तो हिमालय एक बहुत बड़ा हिम एवं बर्फ का जलाशय है जोकि हिमालय से उद्गामित नदियों का मुख्य स्रोत है।

किसी भी बेसिन में सर्दियों के दौरान हिम के रूप में एकत्रित जल के आयतन का आंकलन तथा गर्मियों में हिमगलन की दर का आंकलन बहुत से उद्देश्यों के लिये आवश्यक है जैसे कि बाढ़ की पूर्व घोषणा, प्रवाहित जल की मात्रा, जलाशय आप्रेशन, जल परिक्षेत्र का प्रबन्धन, जल आपूर्ति आदि। इसके साथ-साथ हिमालय क्षेत्रों में बहुउद्देशीय नदी परियोजना की योजनाओं को बल प्रदान करने हेतु, वर्षा, हिम एवं हिमनद से प्राप्त जल का सही आंकलन भी महत्वपूर्ण है।

विश्व स्तर पर देखें तो आंकड़ों के संग्रहण, जलवायु एवं स्थलाकृतिक अभिलक्षणों में असमानता है। कुछ देशों के पर्वतीय क्षेत्रों में अच्छे नेटवर्क के कारण पर्याप्त जल-मौसम विज्ञानीय आंकड़े उपलब्ध हैं परन्तु कुछ देशों में जैसे कि भारत में अपर्याप्त नेटवर्क के कारण इन आंकड़ों में कमी है। इसलिये प्रतिरूप (माडल) का चयन एवं प्रयोग एक जैसा नहीं हो सकता। हिमालय के बेसिन में कुछ प्रतिरूपों (माडल) का प्रयोग किया गया है तथा प्राप्त अनुभवों से यह ज्ञात होता है कि इस क्षेत्र के लिये विशेष रूप से प्रतिरूप (माडल) के विकास की आवश्यकता है। इस सम्बंध में लेखकों ने एक आसान रूपरेखा पर आधारित हिमगलन प्रतिरूप (SNOMOD) का विकास किया है। इस प्रतिरूप का प्रयोग जल संसाधन परियोजनाओं की योजनाओं एवं संचालन आदि के लिये किया जा सकता है। इस प्रपत्र में इस प्रतिरूप का प्रयोग डोकरियानी हिमनद में गलित प्रवाह अपवाह के अध्ययन के लिये किया गया है।

2. प्रतिरूप के प्रकार :

हिमगलन प्रतिरूपों को हिम एवं बर्फ गलन आंकलन में प्रयोग की गयी विचारधारा के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। हिम पुंज से हिमगलन आंकलन के लिये सामान्यत: दो मूल विचारधाराओं का प्रयोग किया जाता है। प्रथम विचार धारा को तो ऊर्जा बजट विधि या ऊर्जा संतुलन विधि कहा जाता है तथा दूसरी विचारधारा को तापमान संकेतक या अंश दिवस विधि कहा जाता है।

2.1 ऊर्जा बजट प्रतिरूप :

किसी भी हिमपुंज की ऊर्जा संतुलन या ताप बजट ही उससे प्राप्त गलित प्रवाह को परिचालित करता है। इस विधि में निर्धारित समय में हिमपुंज पर आने वाली ऊर्जा, ह्रास होने वाली ऊर्जा एवं ऊर्जा बदलाव के लेखाजोखा को सम्मिलित किया जाता है और कुल ऊर्जा को हिमगलन के समतुल्य व्यक्त किया जाता है। किसी भी समय अन्तराल के लिये हिमपुंज का ऊर्जा मापन निम्न रूप से प्रदर्शित किया जा सकता है :

$$Q_m = Q_{nr} + Q_h + Q_e + Q_p + Q_g + Q_q$$

जहां Q_m = हिमपुंज के गलन हेतु उपलब्ध ऊर्जा,

Q_{nr} = कुल विकिरण,

Q_h = हवा से प्राप्त संवाहन ऊर्जा,

Q_e = वाष्पन, संकुचित स्पर्शी ऊर्जा,

Q_g = भूगर्भ के संचालन से प्राप्त ऊर्जा,

Q_p = वर्षा जल से प्राप्त ऊर्जा,

Q_q = हिमपुंज के अर्न्तगत ऊर्जा का बदलाव

2.2 ताप संकेतक प्रतिरूप :

हिमगलन अध्ययन हेतु ऊर्जा बजट विधि के प्रयोग में विशिष्ट प्रकार के आंकड़ों की आवश्यकता होती है जोकि सामान्यत: उपलब्ध नहीं होते। इसी कारणवश इस विधि का प्रयोग हिमालयी बेसिन के लिये नहीं किया जाता है। इन जलसंग्रहण क्षेत्रों में सामान्यत: उपलब्ध आंकड़े अधिकतम एवं न्यूनतम तापमान, आद्रता तथा हवा की गति आदि होते हैं। हिम गलन प्रवाह आंकलन में तापमान ही मुख्य घटक है क्योंकि तापमान ही हिमगलन प्रवाह हेतु ऊर्जा प्रतिरूपण का सबसे अच्छा घटक है हिमगलन आंकलन हेतु वायु तापमान को अंश दिवस में व्यक्त किया जाता है। इस विधि को अंश दिवस विधि कहते हैं। इसे गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$M = D_f(T_i - T_b)$$

जहाँ M = प्रति इकाई समय में उत्पन्न गलन (सेमी),

D_f = अंश दिवस घटक $\left(Cm^0C^{-1}day^{-1}\right)$,

T_i = वायुतापमान संकेतक $\left({}^0C\right)$,

T_b = बेस तापमान $\left({}^0C\right)$।

हिमगलन हेतु सामान्यत: औसत तापमान का प्रयोग करते हैं।

3. हिमालयी जल संग्रह क्षेत्रों हेतु हिमगलन प्रतिरूप (SNOMOD) का विकास :

हिमालयी जलसंग्रह क्षेत्रों में अपवाह जल, वर्षा, हिम तथा हिमनद से प्राप्त होता है। जलसंग्रह क्षेत्र में 2000 मी से कम ऊँचाई वाले क्षेत्र में वर्षा तथा 2000 मी से 4000 मी तक ऊँचाई वाले मध्य क्षेत्र में वर्षा एवं हिमगलन तथा 4000 मी से अधिक ऊँचाई वाले क्षेत्रों में वर्षा, हिमगनल तथा हिमनद गलन द्वारा अपवाह जल प्राप्त होता है।

इन जल संग्रह क्षेत्रों में जैसे जैसे ऊँचाई में बढोतरी होती है तो हिमनद तथा हिमगलन प्रवाह की मात्रा में भी बढ़ोतरी होती है तथा वर्षा जल की मात्रा कम होती जाती है। हिमनद एवं हिम गलन का योगदान जलवायु की स्थिति द्वारा नियंत्रित होता है जो हर वर्ष अलग-अलग होता है। इसलिये इस प्रकार के जलसंग्रह क्षेत्रों की स्थिति बहुत जटिल हो जाती है क्योंकि प्रत्येक स्रोतों का योगदान ज्ञात करना कठिन कार्य है। इसलिये उपरोक्त सभी बातों को ध्यान में रखते हुए हिमालयी जलसंग्रह क्षेत्रों के लिए प्रतिरूप के विकास हेतु आंकड़ों की उपलब्धता एक महत्वपूर्ण घटक है।

4. आवश्यक आंकड़े :

हिम एवं हिमनद आवृत जलसंग्रह क्षेत्रों से हिम एवं हिमनद गलन अपवाह आंकलन हेतु निम्न आंकड़ों की आवश्यकता है :

(1) प्रतिदिन वर्षण
(2) प्रतिदिन औसत तापमान
(3) जलसंग्रह क्षेत्र में हिमनद आवृत क्षेत्र
(4) 15 दिन या महिने के अन्तराल पर आमतौर पर सुदुर संवेदन द्वारा जलसंग्रह क्षेत्र में हिम आवृत क्षेत्रफल
(5) धाराप्रवाह अभिकलन हेतु प्रतिदिन धाराप्रवाह मापन

इसके अतिरिक्त प्रतिरूप को जलसंग्रह क्षेत्र अभिलक्षिणों जैसेकि क्षेत्रफल उच्चता वक्र, वर्षण वितरण, उच्चता आदि की आवश्यकता होती है। प्रतिरूप के अभिकल्पन में विशेषतौर पर विचारनीय तथ्य निम्नलिखित हैं :

4.1 उच्च पट्टों के आधार पर जलसंग्रह क्षेत्र का विभाजन :

पर्वतीय जलसंग्रह क्षेत्रों में जहाँ तापमान तथा हिम की गहराई ऊँचाई के साथ-साथ परिवर्तित होती है, जल निकास क्षेत्रफल की सुविधानुसार विभाजित किया जाता है। पट्टे की उच्चतानुसार प्रत्येक पट्टे को अलग-अलग जलसंग्रह क्षेत्र के रूप में लिया जाता है जिसके अपने अभिलक्षण तथा प्रारम्भिक हिम जल तुल्य होता है।

4.2 ऊँचाई के साथ तापमान का वितरण :

जलसंग्रह क्षेत्र में विभिन्न ऊँचाईयों पर तापमान आंकड़े कुछ स्थानों पर ही उपलब्ध है। इस उपलब्ध तापमान को प्रतिरूप में पूर्व निर्धारित तापमान ह्रास दर से प्रत्येक उच्चता पट्टे की मध्य ऊँचाई तथा बढ़ाया या घटाया जाता है। आमतौर पर तापमान ह्रास की दर $0.65^0C/100$ मी या निर्धारित दर होती है। विभिन्न ऊँचाई पर तापमान आंकलन हेतु निम्न समीकरण का प्रयोग किया जाता है।

$$\Delta T = \delta(h_{st} - h)$$

जहाँ $\Delta T =$ बेस स्टेशन से तापमान में परिवर्तन
$\delta =$ तापमान ह्रास दर $^0C/100$ मी
$h =$ स्थान की ऊँचाई जहाँ पर तापमान ज्ञात करना है
$h_{st} =$ तापमान स्टेशन (मी) की ऊँचाई

4.3 ऊँचाई के साथ वर्षा का वितरण :

किसी भी स्थान पर वर्षण वितरण उस जलसंग्रह क्षेत्र की स्थलाकृति पर निर्भर करती है जिसमें पर्वत की ऊँचाई एवं वायु की दिशा प्रमुख घटक है। वर्षण वितरण सम्बंधी कुछ हिमालयी जलसंग्रह क्षेत्रों में अध्ययन किये गये है। (सिंह तथा अन्य, 1995; सिंह तथा कुमार, 1996)।

4.4 अंश दिवस घटक :

अंश दिवस घटक एक महत्वपूर्ण घटक है जोकि अंश दिवस को हिम गलन या बर्फ गलन को जल गहराई में परिवर्तित करता है। सिंह तथा कुमार (1996), सिंह तथा रामशास्त्री (1999) ने हिमालय में स्वच्छ हिम एवं बर्फ के लिये अंश दिवस को 5.75 तथा 7.33 मि.मी. $^{0}C^{-1}d^{-1}$ निर्धारित किया है।

4.5 वर्षण का प्रकार :

सभी हिमगलन प्रतिरूपों के लिये प्रत्येक पट्टे में उच्चतानुसार वर्षा तथा हिम के बीच भेद करना आवश्यक है क्योंकि धाराप्रवाह में दोनों का योगदान भिन्न-2 होता है। इसलिये प्रतिरूप में निर्णायक तापमान उल्लिखित किया गया है जिससे यह ज्ञात होता है कि मापे गये वर्षण में वर्षा है या हिम। चारबोनी तथा अन्य (1981) के अनुसार T_{crit} आमतौर पर $0^{0}C$ से अधिक होता है। यह जलसंग्रह क्षेत्र में अलग-अलग होती है। इस प्रतिरूप में इसका मान $2^{0}C$ लिया गया है। यह दर्शाता है कि

यदि $T_m \geq 2^{0}C$ तो वर्षण में सारी वर्षा है।

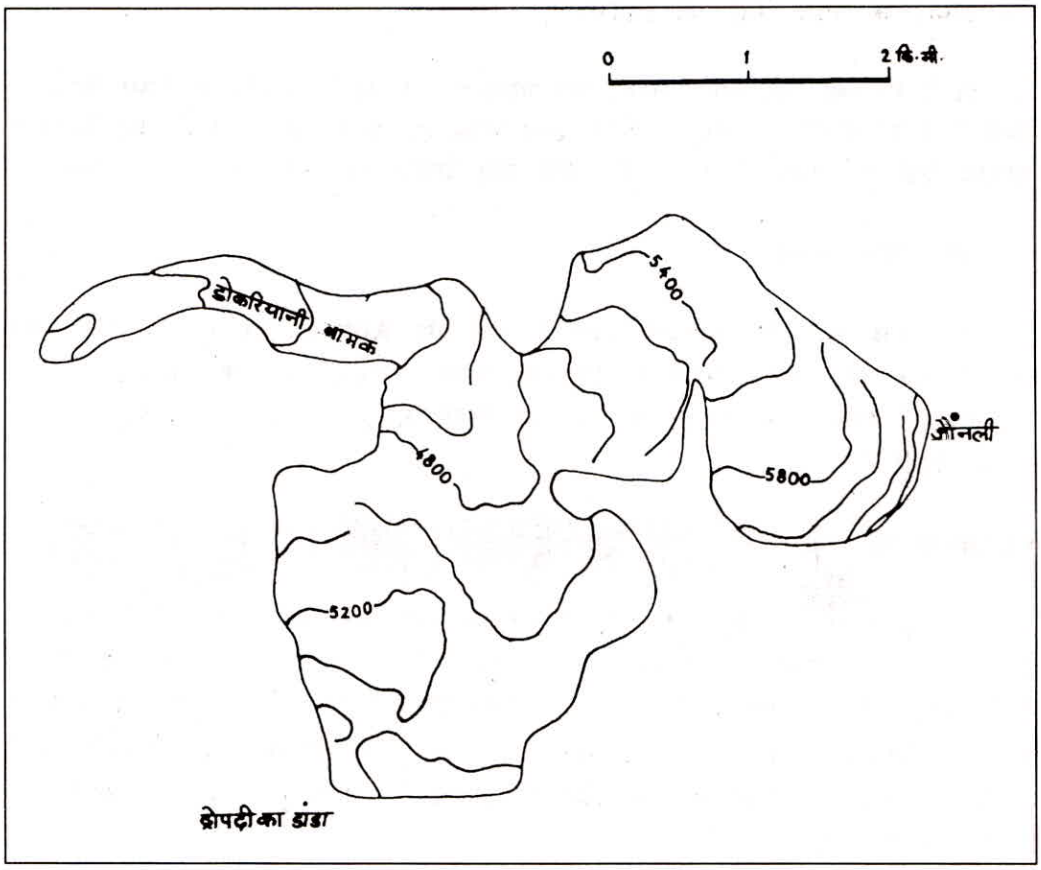
यदि $T_m \leq 2^{0}C$ तो वर्षण में सारी हिम है।

यदि $T_m < 2^{0}C$ तथा $> 0^{0}C$, वर्षण में वर्षा तथा हिम का मिश्रण है। इनका अनुपात इस प्रकार ज्ञात किया जाता है

$$\text{वर्षा} = \left(T_m / T_{crit}\right) xP$$

$$\text{हिम} = P - \text{वर्षा}$$

जहाँ P कुल मापा गया वर्षण है।

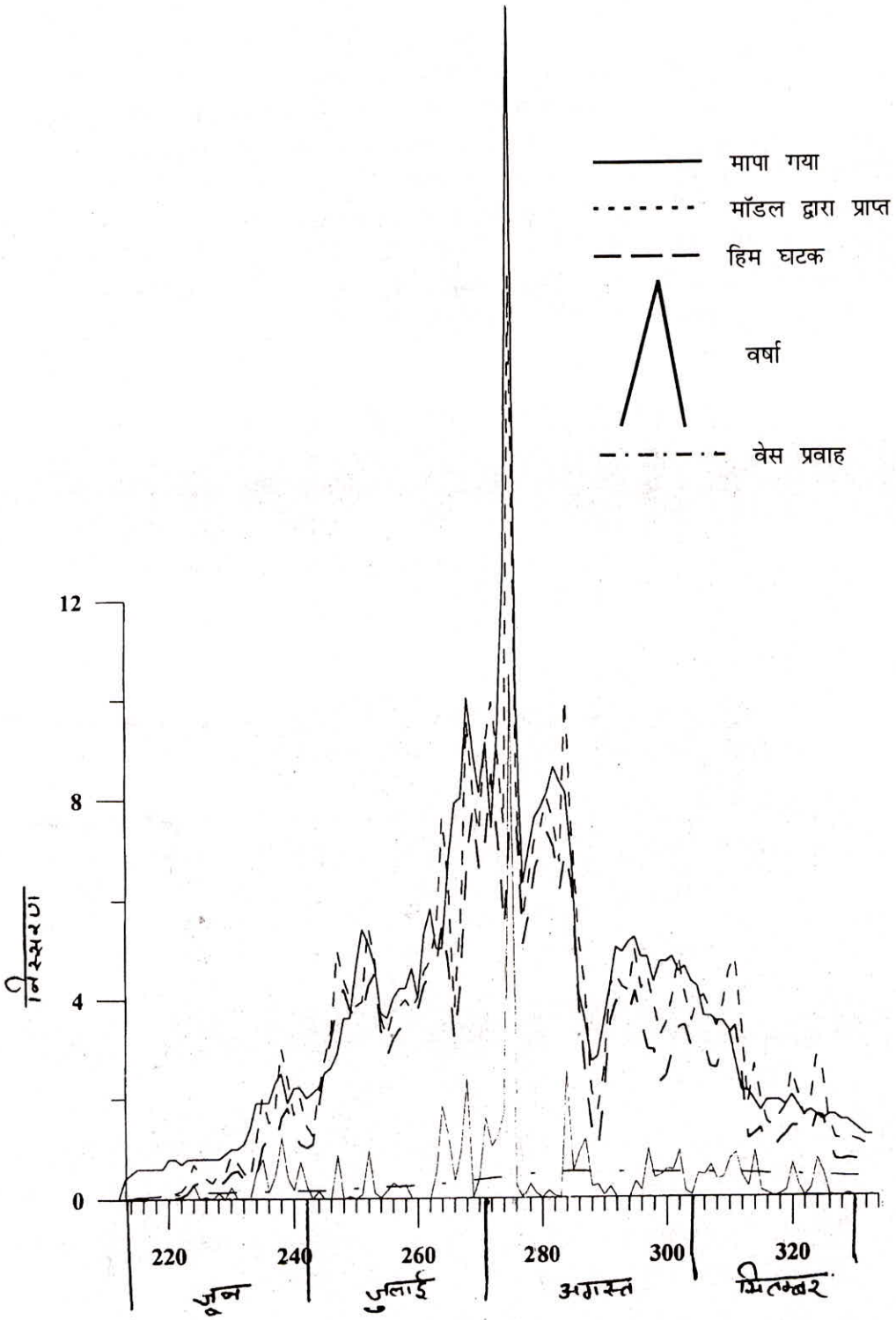


चित्र 1 : डोकरियानी हिमनद

5. स्नोमोड (SNOMOD) प्रतिरूप का डोकरियानी जलसंग्रह क्षेत्र में प्रयोग :

डोकरियानी हिमनद, गढ़वाल हिमालय में स्थित एक घाटी हिमनद है। यह हिमनद $31^0 40'$ से $31^0 52'$ अक्षाश तथा $78^0 47'$ से $78^0 51'$ देशान्तर के बीच पड़ता है। डोकरियानी हिमनद से निकलने वाली गलित जलधारा का नाम दीनगढ़ है। डोकरियानी जलसंग्रह क्षेत्र का क्षेत्रफल लगभग 16.37 वर्ग किमी है जिसमें हिमनद का क्षेत्रफल लगभग 10 वर्ग किमी. है। हिमनद की ऊँचाई 3950 मी. से 5800 मी. के बीच है। चित्र 1 में डोकरियानी हिमनद प्रर्दशित है।

डोकरियानी जलसंग्रह क्षेत्र को मॉडल की आवश्यकता अनुसार अलग-अलग ऊँचाई के हिसाब से सात पट्टों में बांटा गया है। प्रत्येक पट्टे पर ह्रास दर से मध्य ऊँचाई पर तापमान ज्ञात किया गया। चार माह के निस्सरण आंकड़ों के साथ मॉडल द्वारा प्राप्त धारा प्रवाह का चित्रण चित्र 2 में दर्शाया गया है। जैसा चित्र में प्रर्दशित है कि मॉडल द्वारा प्राप्त निस्तारण मापे गये निस्तारण के अनुकूल है इस प्रकार मॉडल की क्षमता लगभग 93 प्रतिशत है। मॉडल से प्राप्त अन्य घटक जैसे वर्षा अपवाह, हिम अपवाह, मूल प्रवाह आदि भी दिखाये गये हैं। इससे यह ज्ञात होता है कि विकसित मॉडल हिमालयी क्षेत्र में स्थित जलसंग्रह क्षेत्रों के लिये कारगर है।


मापा गया
मॉडल द्वारा प्राप्त
हिम घटक
वर्षा
वेस प्रवाह
12
8
4
0
निस्सरण
220
240
260
280
300
320
जून
जुलाई
अगस्त
सितम्बर

चित्र 2

6. निष्कर्ष :

हिमालय से उद्गामित नदियों द्वारा जलसंसाधनों के योगदान के बाद भी भारत में इस क्षेत्र के लिये कोई भी विशेष जलविज्ञानिय मॉडल विकसित नहीं किया गया जिससे इन नदियों से प्राप्त प्रवाह का पुर्वानुमान/चित्रण प्राप्त किया जा सके। इस क्षेत्र की स्थलाकृति, आंकड़ों की उपलब्धता, छितराये नेटवर्क आदि को ध्यान में रखते हुये, राष्ट्रीय जल विज्ञान संस्थान, रुड़की ने एक आसान रूपरेखा पर आधारित हिमगलन मॉडल (SNOMOD) को विकसित किया है। इससे हिमालयी जलसंग्रह क्षेत्रों में वर्षा, हिमगलन तथा हिमनद गलन से उत्पन्न धाराप्रवाह का चित्रण प्राप्त किया जा सकता है। यह मॉडल जलसंग्रह क्षेत्र के क्षेत्रफल एवं उच्चता अभिलक्षणों पर आधारित है तथा इसमें पर्वतीय वर्षण आबंटन एवं तापमान ह्रास दर के बीच सम्बंध का प्रयोग किया गया है।

इस मॉडल को डोकरियानी जलसंग्रह क्षेत्र में एकत्रित 1997 के चार माह के आंकड़ों पर प्रयोग किया गया है। मॉडल द्वारा प्राप्त निस्तारण को मापित निस्तारण तथा अन्य घटकों द्वारा प्राप्त प्रवाह के साथ चित्र में प्रदर्शित किया गया है। प्राप्त परिणामों से प्रोत्साहन मिलता है कि यह विकसित मॉडल इस जटिल क्षेत्र में उत्पन्न धाराप्रवाह के अध्ययनों में काफी सार्थक सिद्ध होगा। मॉडल क्षमता जोकि 93 प्रतिशत है जो यह संकेत देता है कि इस मॉडल का विभिन्न नदियों के जलसंग्रह क्षेत्रों में प्रयोग किया जा सकता है।

7. सन्दर्भ :

(1) ऐन्डरसन, ई.ए. (1973) राष्ट्रीय मौशम सेवा प्रवाह पुर्वानुमान संस्थान, ''हिम एकत्रण तथा गलन प्रतिरूप'', NOAA टेक मेमो. NWS HYDRO-17, वासिंगटन, डी.सी.

(2) ऐन्डरसन, ई.ए. (1978), ''हिम आवृत जलसंग्रह क्षेत्रों के प्रयोग हेतु धाराप्रवाह नकल प्रतिरूप'', यू.एस. सेना ठंड अनुसंधान एवं अभियांत्रिकी प्रयोगशाला, हेनोवर, न्यू हेम्पशायर, पृष्ठ 336-349

(3) बेट्स आर. ई. तथा बिलेलो, एम.ए. (1966), ''उतरी गोलार्ध में ठंडे क्षेत्रों की परिभाषित करना'', टेक रिपोर्ट 178, यू.एस. सेना ठंड अनुसंधान एवं अभियांत्रिकी प्रयोगशाला, हेनोवर, न्यू हेम्पशायर

(4) कोलबेक, एस.सी. (1975), ''परती हिमपुंज से जलप्रवाह का सिद्धांत'', जल संसाधन शोध, भाग ।।, पृष्ठ 261-266

(5) सिंह प्रताप (1989), ''हिमगलन प्रवाह प्रतिरूप (SRM) द्वारा हिमगलन प्रवाह चित्रण 55 आर एण्ड डी सेशन सी.बी.आई.पी.

(6) सिंह प्रताप, यू.के. सिंह एवं एम.के. शर्मा (1992), ''गढ़वाल हिमालय स्थित डोकरियानी हिमनद पर जलविज्ञानिय अध्ययन'', टी.आर. 170, रा.ज.स., रुड़की

(7) सिंह प्रताप तथा कुमार नरेश (1996), ''हिमालयी क्षेत्र में हिमगलन घटक को ज्ञात करना'', जलविज्ञानीय पत्रिका, 41, पृष्ठ 301-310