

बदलते वन परिदृश्य में वनीय-जल विज्ञान के क्षेत्र में शोध आवश्यकताएँ

जयवीर त्यागी एवं पुष्पेन्द्र कुमार अग्रवाल

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान रुड़की।

सारांश

वनाच्छादित क्षेत्र अक्सर अनेकों वृहत् नदियों के शीर्ष जल आवाह क्षेत्र को निर्मित करते हैं। अतः सरिता प्रवाह वनों से होने वाले सर्वाधिक महत्वपूर्ण वहिः प्रवाह में से एक है। यह एक महत्वपूर्ण वैज्ञानिक सत्य है कि वनों के प्रकार एवं उनकी प्रबन्धन पद्धतियाँ विभिन्न जल विज्ञानीय प्रक्रियाओं उदाहरणतः अवरोधन, वाष्पोत्सर्जन, मृदा अन्तःस्यंदन तथा अपवाह में उपलब्ध पोषकों एवं अवसाद की मात्रा को प्रभावित करते हैं, जिसके कारण कैचमेन्ट में प्रवाहित होने वाले जल की मात्रा, गुणवत्ता एवं समय में भी परिवर्तन होता है। वनों एवं उनके द्वारा प्राप्त होने वाले जल पर जलवायु परिवर्तन के अनिश्चित प्रभाव भी हाल के वर्षों में चिन्ता का विषय बने हैं। वनीय-जलविज्ञान वन एवं जल के मध्य पारस्परिक सम्बन्ध को समझने में सहायक है, अतः विकास की बदलती परिस्थितियों में जलवायु परिवर्तन एवं वनाग्नि सहित आज की जटिलताओं के जल विज्ञानीय प्रभाव समझने के लिए वनीय-जलविज्ञान के क्षेत्र में अग्रणी प्रयासों की आवश्यकता है।

प्रस्तुत प्रपत्र में वनीय-जलविज्ञान के सामान्य सिद्धान्तों एवं वनीय-जल विज्ञान के क्षेत्र में अनुसंधान आवश्यकताओं को प्रस्तुत किया गया है, जिनके अध्ययन द्वारा वन एवं जल प्रबन्धन से सम्बन्धित विभिन्न निर्णयों पर पहुँचने में सहायता प्राप्त होगी।

Abstract

Forested areas often constitute head water catchments for many large rivers. As such, stream flow is one of the most important outputs of forests. There is a broad scientific agreement that type of forests and their management practices have the potential to alter quantity, quality and timing of water moving through catchments by altering the interception, evapotranspiration, soil infiltration, nutrient and sediment load of runoff etc. In recent years, concern has also grown of the potentially large but uncertain effects of climate change on forests and their water output. Forest hydrology can help illuminate the connections between forests and water, but it must advance if it is to deal with today's complexities, including climate change, wildfires, and changing patterns of development. This paper presents the general principles of forest hydrology and the research needs in the area of forest hydrology science that would help support forest and water management decisions in many ways.

1.0 प्रस्तावना

वन, जल एवं जनमानस के मध्य एक दृढ़ पारस्परिक सम्बन्ध है। यद्यपि वनों का प्रबन्धन इमारती लकड़ी को प्राप्त करने, वनीय जीवों के आवास एवं मनोरंजन सम्बन्धी उद्देश्यों के लिए किया जाता है, तथापि तार्किक रूप में वनों से प्राप्त होने वाला सर्वाधिक महत्वपूर्ण उत्पादन जल है। वर्षा जल का कुछ भाग वनों एवं मृदा चक्र द्वारा सरिता प्रवाह के रूप में जल पिंडों को प्राप्त होता है। शीर्ष वनीय क्षेत्रों में परिवर्तन उनसे बहने वाले जल की मात्रा और गुणवत्ता को भी प्रभावित करते हैं। (एन्डरसन एवं अन्य 1976; आइस एवं स्टैडनिक 2004)।

देश में जल की मांग में निरन्तर वृद्धि हो रही है। परिणामतः वन प्रबन्धकों को जल की उच्च मात्रा एवं गुणवत्ता प्रदान करने हेतु प्रयास करने की आवश्यकता है। मानव आबादी में बदलाव, भू-उपयोग में परिवर्तन एवं जलवायु परिवर्तन की गतिशीलता के साथ जल की इस बढ़ती मांग को पूरा करने के लिए वन एवं जल के बीच प्रतिस्पर्धा तनाव का भी कारण बनी है। वनीय-जल विज्ञान के अंतर्गत वनों का जल संसाधनों पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन उपरोक्त तनाव को दूर करने में महत्वपूर्ण भूमिका प्रदान करता है। वनीय-जलविज्ञान के विश्लेषणों द्वारा, वनाग्नि, कीट एवं रोग, सडक तंत्र एवं पेड़ों की कटाई सहित वन क्षेत्रों में बदलाव का जल प्रवाह पर पड़ने वाले प्रभाव का पता लगाया जा सकता है। प्रस्तुत प्रपत्र में

वनीय-जलविज्ञान के सामान्य सिद्धान्त एवं वनों से जल की अविरल पूर्ति हेतु भविष्य में अनुसंधान एवं प्रबन्धन की दिशा को प्रस्तुत करने का प्रयत्न किया गया है।

2.0 वनीय-जल विज्ञान के सामान्य सिद्धान्त

वनीय-जलविज्ञान के सामान्य सिद्धान्तों के आधार पर वन प्रबंधन के जल विज्ञानीय प्रभावों का आंकलन किया जा सकता है। ये सिद्धान्त प्लाट के अध्ययन, प्रक्रिया अध्ययन एवं वाटरशेड प्रयोगों से व्युत्पन्न हैं। संक्षेप में इन सिद्धान्तों को निम्न खण्डों में दिया गया है।

2.1 वन संरचना में परिवर्तन की जलविज्ञानीय प्रतिक्रिया का सिद्धान्त:

- (i) इस सिद्धान्त के अनुसार वनाच्छादन क्षेत्र के आंशिक या पूर्णतः निवारण से जल अवरोधन (वृक्षों की पत्तियों एवं शाखाओं द्वारा अवशोषित अवक्षेपण) में कमी एवं मृदा सतह तक पहुँचने वाले परिणामी अवक्षेपण में वृद्धि होती है (वैरी, 1976)।
- (ii) वनाच्छादन क्षेत्र के आंशिक या पूर्णतः निवारण से वृक्षों द्वारा होने वाले वाष्पोत्सर्जन में कमी होती है।
- (iii) जल अवरोधन एवं वाष्पोत्सर्जन में कमी से मृदा आर्द्रता, वनस्पति के लिए जल उपलब्धता एवं जल लब्धि में वृद्धि होती है (हैल्वी 1971, जोन्स एवं पोस्ट 2004, ब्राउन एवं अन्य 2005)।
- (iv) मृदा आर्द्रता में वृद्धि एवं जड़ शक्ति का हास भूमि की ढलान स्थिरता को कम कर देता है।
- (v) वन कटान के पश्चात जल लब्धि में सामयिक वृद्धि होती है जो समय के साथ वन के पुनः विकसित होने पर कम होती जाती है (ट्रॉयन्डल एवं किंग 1985, जोन्स 2000)।
- (vi) जब उच्च अवरोधक या उच्च वार्षिक वाष्पोत्सर्जन वाले वन को निम्न अवरोधक या निम्न वाष्पोत्सर्जन वाले वनों से प्रतिस्थापित किया जाता है तो नवीन वन के परिपक्वता तक विकसित होने के परिणामस्वरूप जल लब्धि में कमी पाई जाती है।

2.2 मृदा एवं उपमृदा में जल प्रवाह मार्ग में परिवर्तन की जल विज्ञानीय प्रतिक्रिया का सिद्धान्त

- (i) अपरागम्य सतह (जैसे सड़क एवं मार्ग), एवं पर्वतीय ढाल में बदलाव के कारण जल प्रवाह मार्गों में बदलाव आता है। ये बदलाव स्थलीय भूमि प्रवाह में वृद्धि कर देते हैं तथा स्थलीय भूमि प्रवाह को सीधे सरिताओं से जोड़ देते हैं।
- (ii) अपरागम्य सतह मृदा कटान में वृद्धि करती हैं (डयून एवं लियोपोल्ड 1978)।
- (iii) सड़क के किनारे परिवर्तित पर्वतीय ढाल एवं परिवर्तित जल मार्ग भूस्खलन में वृद्धि करते हैं।

2.3 रसायनों के अनुप्रयोगों की जल विज्ञानीय प्रतिक्रिया का सिद्धान्त

- (i) वन रसायनों का जल पिंडों या आर्द्र मृदा पर प्रत्यक्ष प्रयोग, जलीय जीव तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव डालता है।
- (ii) वन रसायन (जैसे उर्वरक, कीटनाशक एवं तृणनाशक) अपनी विषक्तता एवं मृदा एवं जल में उपस्थित अपनी दृढ़ता के आधार पर जल गुणवत्ता को प्रभावित करते हैं।
- (iii) नाइट्रोजन एवं सल्फर के वायुमंडलीय एकत्रीकरण के कारण वनीय मृदा की अम्लीयता में वृद्धि, मृदा पोषकों में कमी, वन स्वास्थ्य पर प्रतिकूल प्रभाव एवं जल गुणवत्ता में हास होता है जिसका जलीय जीवों पर विषैला प्रभाव पड़ता है।

3.0 भारत में वनीय-जलविज्ञान

वनीय-जलविज्ञान के अध्ययन द्वारा वनों से प्राप्त होने वाले जल से सम्बन्धित प्राथमिक प्रश्नों का समाधान निकाला जाता है जैसे, वनों में जल प्रवाह मार्ग व जल संचयन, वनों में बदलाव के कारण जल प्रवाह मार्ग, जल संचयन, जल-मात्रा तथा जल गुणवत्ता पर पड़ने वाले प्रभाव आदि। वनीय-जलविज्ञान जलवायु परिवर्तन, वन में होने वाली बाधाओं, वन प्रजातियों एवं वन संरचना में परिवर्तन तथा वनों के एकीकरण सहित वन तंत्र को प्रभावित करने वाले अनेकों घटकों के परिणामस्वरूप जल प्रवाह में घटित होने वाले परिवर्तनों के अध्ययन में सहायता करता है।

वनों में परिवर्तन का जल प्रवाह पर प्रभाव समझने के लिए अनुसंधानकर्ताओं द्वारा "युग्मन जल विभाजक" अध्ययन से प्राप्त आंकड़ों का प्रयोग किया जाता है। इस पद्धति के प्रयोग में समान आकार, भूमि उपयोग, भूमि आच्छादन एवं अन्य समान विशिष्टताओं वाले दो जल विभाजकों का चयन किया जाता है। एक जलविभाजक को नियन्त्रित रखा जाता है जबकि दूसरे को वन कटान, सड़क निर्माण, अग्नि इत्यादि द्वारा उपचारित किया जाता है। दोनों जल विभाजकों के सरिता प्रवाह एवं जल गुणवत्ता में तुलनात्मक परिवर्तन, वन उपचार एवं विकास के प्रभावों को दर्शाते हैं। युग्मन जलविभाजक अध्ययन, प्रक्रिया मापन, प्लॉट-स्कैल अध्ययन एवं जल विज्ञानीय निदर्शन, वनीय-जलविज्ञान के महत्वपूर्ण तत्व हैं। सामान्यतः प्लॉट अध्ययन एवं युग्मन जलविभाजक अध्ययन लघु, एवं समान क्षेत्रों में अल्पविधि के लिए ही किये गये हैं।

सम्पूर्ण विश्व में वनीय-जलविज्ञान अनुसंधान के क्षेत्र में काफी प्रगति हुई है। वर्तमान में अनुसंधान अध्ययन पुनः वनीकरण, वृहत् स्कैल जल विभाजक, जलवायु परिवर्तन के प्रभाव एवं जलविज्ञानीय निदर्शों के अनुप्रयोग विषयों पर केन्द्रित हैं। परन्तु भारत में वनीय-जलविज्ञान अध्ययन लघु पैमाने पर ही किये जा रहे हैं तथा ये लघु जलविभाजकों तक ही सीमित हैं। भारत में वनीय-जलविज्ञान अभी भी शैशविक अवस्था में है, क्योंकि इस विषय पर किये गये अधिकांश अध्ययन प्रकीर्ण अवस्था में हैं। किसी विशिष्ट प्रकार के वन के लिए सम्पूर्ण जलविज्ञानीय चक्र एवं जल बजट को परिभाषित करने के लिए सम्बन्धित सूचना अभी भी उपलब्ध नहीं है। इसके अतिरिक्त अधिकांश अध्ययन लघु जल विभाजक स्तर पर किये गये हैं तथा अध्ययन की अवधि एक वर्ष से लेकर कुछ वर्ष तक ही है।

4.0 वनीय-जलविज्ञान में उभरते मुद्दे

वनीय-जलविज्ञान वनों के माध्यम से बहने वाले जल के सामान्य सिद्धान्तों को समझने में सहायक सिद्ध हुआ है। ये सिद्धान्त लघु वन क्षेत्रों एवं लघु समय में होने वाले परिवर्तन के फलस्वरूप सामान्य जल विज्ञानीय प्रतिक्रियाओं पर आधारित हैं। निःसंदेह, लघु जलविभाजक आधारित अनुसंधान विभिन्न जलविज्ञानीय प्रक्रियाओं पर वनों के प्रभाव का अध्ययन करने में एवं सूक्ष्म स्तर पर जलविज्ञानीय व्यवहार को समझने में बहुत उपयोगी साबित हुए हैं। लेकिन आजकल जलवायु परिवर्तन, वन में उत्पन्न विभिन्न बाधाएँ, वन प्रजातियों एवं संरचना में परिवर्तन तथा भू विकास एवं स्वामित्व सहित अनेकों कारक वनों को प्रभावित कर रहे हैं और वनों को छोटे-2 भागों में विभाजित कर रहे हैं। इसलिए वर्तमान में वन एवं जल प्रबन्धकों द्वारा वनीय-जलविज्ञान की सहायता से वृहत् वन क्षेत्रों में इन कारकों द्वारा दीर्घावधि में जल मात्रा एवं गुणवत्ता पर पड़ने वाले प्रभाव को समझने एवं उनकी भविष्यवाणी करने की आवश्यकता है। आज वनीय-जलविज्ञान का मुख्य अनसुलझा मुद्दा छोटे एवं समान जल-विभाजकों में विकसित किये गये निष्कर्षों के आधार पर बड़े, विषम वाटरशेड एवं भू-परिदृश्य में लम्बी अवधि के लिए जलविज्ञानीय प्रतिक्रियाओं की भविष्यवाणी करना है। वृहत् क्षेत्रों में वन एवं जल सम्बन्धों का विश्लेषण, संचयी जलविभाजक प्रभाव, जलवायु परिवर्तन एवं वन प्रबन्धन पद्धतियों सहित वर्तमान एवं भविष्य की सम्भावित समस्याओं का समाधान करने में सहायक सिद्ध होगा।

5.0 अनुसंधान आवश्यकताएं

विभिन्न स्थानिक एवं कालिक पैमाने पर जलविज्ञानीय अवयवों के मात्रात्मक विशिष्टीकरण के लिए भविष्य में किया जाने वाला अनुसंधान, निम्नलिखित पहलुओं पर केन्द्रित होना चाहिए।

5.1 संचयी जलविभाजक प्रभाव

जलविभाजक में समय के साथ बहु-भूमि उपयोग गतिविधियों के फलस्वरूप होने वाले जलविज्ञानीय प्रभाव, संचयी जलविभाजक प्रभाव कहलाते हैं। चरम अवक्षेपण घटनाओं से अक्सर संचयी जल विभाजक प्रभावों का पता चलता है जो शीर्ष वनीय क्षेत्रों में भूमि उपयोग तथा बाढ़ एवं इसके अन्य प्रभावों के परस्पर सम्बन्धों का उजागर कर जन-जाग्रति में सहायक हैं। संचयी जल विभाजक प्रभावों के आंकलन हेतु, भौतिक, रासायनिक एवं जीवविज्ञानीय प्रक्रियाओं को समझने की आवश्यकता होती है जो ढलानों और शीर्ष सरिताओं से अनुप्रवाह क्षेत्रों तक जल, अवसाद, प्रदूषक एवं अन्य सामग्रियों का निर्गमन करते हैं। इस क्षेत्र में भविष्य में किये जाने वाले अनुसंधानों द्वारा वृहत्, स्थानिक एवं दीर्घकालिक पैमाने पर वन, जल प्रवाह मार्ग, गुणवत्ता एवं जलविभाजक में भूमि उपयोग के सम्बन्धों को स्पष्ट करने के लिए प्रयास करना चाहिए।

5.2 जलवायु परिवर्तन

जलवायु परिवर्तन के वनों एवं जल पर स्पष्ट प्रभाव देखे जा सकते हैं तथा भविष्य में वनीय-जलविज्ञान पर इन प्रभावों के और भी बढ़ने की सम्भावना है। वन एवं जलविज्ञान पर जलवायु परिवर्तन के प्रत्यक्ष प्रभावों, जैसे हिम गलन

अपवाह के समय में परिवर्तन एवं वनाग्नि में वृद्धि आदि का आकलन तो किया जा रहा है परन्तु इसके अप्रत्यक्ष प्रभावों जैसे, वनों एवं वन प्रबन्धन में होने वाले परिवर्तन तथा इनके जलविज्ञानीय प्रक्रियाओं पर प्रभाव का आंकलन करने के लिए और अधिक अनुसंधान की आवश्यकता है।

5.3 वन प्रबन्धन

वन प्रबन्धन पद्धतियां समय के साथ विकसित हो रही हैं। वनों में संशोधन के कारण वन प्रबंधकों द्वारा आज नई व श्रेष्ठ वन प्रबंधन पद्धतियां अपनायी जा रही हैं। लेकिन इन पद्धतियों, जैसे ईंधन कम करने के लिए पेड़ों की छँटाई एवं अन्य श्रेष्ठ प्रबन्धन पद्धतियों के जलविज्ञानीय प्रभावों का मूल्यांकन अभी तक नहीं किया गया है। इन समकालीन प्रबन्धन पद्धतियों के जलविज्ञानीय प्रभावों को दीर्घकालिक एवं वृहत् स्थानिक पैमानों पर समझने की आवश्यकता है।

6.0 वैज्ञानिकों, प्रबन्धकों एवं नागरिकों की भूमिका

वनों से प्राप्त जल संसाधनों को सतत् रूप में बनाये रखने के लिए वनीय-जलविज्ञान के क्षेत्र में कार्यरत् वैज्ञानिक, वन एवं जल प्रबन्धक, एवं नागरिक गण एक अहम भूमिका निभा सकते हैं। व्यक्तिगत एवं सामूहिक प्रयासों के माध्यम से वे इस क्षेत्र में वर्तमान स्थिति और अनुसंधान की आवश्यकता के आधार पर निम्न संस्तुतियों के अनुसार कार्य कर सकते हैं।

6.1 वैज्ञानिक

वन क्षेत्र से जुड़े पानी के महत्वपूर्ण मुद्दों को संबोधित करने के लिए वैज्ञानिकों को नवीनतम शोध दृष्टिकोण को अपनाना होगा एवं वर्तमान शोध में विस्तार करना होगा। वैज्ञानिकों के लिए कुछ सुझाव निम्न प्रकार हैं।

- (i) वर्तमान में छोटे वाटरशैड्स में चल रहे अनुसंधानों को जारी रखना चाहिए और जहां अनुसंधान कार्य बन्द कर दिया गया हो, वहां इन्हें पुनः स्थापित करना चाहिए।
- (ii) ऐतिहासिक एवं नवीन जलविज्ञानीय आंकड़ों की सूची तैयार करनी चाहिए।
- (iii) बड़े, स्थानिक एवं दीर्घकालिक पैमाने पर वनीय बाधाओं की जलविज्ञानीय प्रतिक्रियाओं को बेहतर ढंग से समझने के लिए, युग्मन वाटरशैड आंकड़ों के सम्पूर्ण पिन्ड को "मेटा डाटा" के रूप में प्रयोग करना चाहिए।
- (iv) भौगोलिक सूचना प्रणाली (GIS), सुदूर संवेदन, सेंसर नेटवर्क एवं आधुनिक निदर्शों के द्वारा बड़े वाटरशैड में जलविज्ञानीय प्रतिक्रियाओं की कल्पना एवं भविष्यवाणी के लिए क्षमताओं में विस्तार किया जाना चाहिए।
- (v) वनों से प्राप्त जल संसाधनों के मूल्य को समझने एवं उसमें सुधार के लिए अर्थशास्त्रियों एवं सामाजिक वैज्ञानिकों के साथ कार्य करना चाहिए।

6.1 प्रबन्धक

वन एवं वनों की जलवायु तथा सामाजिक पहलू परिवर्तनीय हैं। अतः वन प्रबन्धन पद्धतियों को समय – समय पर एक अनुकूल प्रबंधन पद्धति के दृष्टिकोण से नवीनीकृत किया जाना चाहिए। प्रबन्धकों को श्रेष्ठ प्रबन्धन पद्धतियों के आंकलन के आधार पर वर्तमान पद्धतियों को नवीनीकृत करना चाहिए। ऐसा करने के लिए कुछ निम्न सुझाव हैं।

- (i) व्यक्तिगत या संस्थागत श्रेष्ठ प्रबन्धन पद्धतियों के डिजाइन, उद्देश्य तथा उपयोग को सूचीबद्ध कर इसे राष्ट्रीय स्तर पर उपयोग करना चाहिए, तथा इन सूचनाओं को जनमानस के लिए उपलब्ध कराना चाहिए।
- (ii) वनों की श्रेष्ठ प्रबंधन पद्धतियों के प्रभाव का तुलनात्मक विश्लेषण तथा इससे प्राप्त आंकड़ों एवं परिणामों का उपयोग एक अनुकूल प्रबंधन पद्धति विकसित करने के लिए करना चाहिए।

6.2 नागरिक

वन एवं जल प्रबंधन में स्थानीय, क्षेत्रीय या जलविभाजक स्तर पर नागरिकों द्वारा एक अहम भूमिका निभायी प्रभावित कर जा सकती है। वाटरशेड कौंसिल एवं नागरिकों द्वारा निम्न कार्य किये जा सकते हैं।

- (i) एकीकृत वाटरशैड प्रबन्धन के कई उद्देश्यों की पूर्ति हेतु, वाटरशैड कौंसिलों का प्रयोग किया जा सकता है।
- (ii) वाटरशैड कौंसिलों में भागीदारी करके सामुदायिक स्तर पर वाटरशैड के विकास और उनके प्रभाव बढ़ाने में सहायता करनी चाहिए।

7.0 निष्कर्ष

वनीय-जलग्रहण क्षेत्र घरेलू, कृषि, औद्योगिक एवं पारिस्थितिकीय आवश्यकताओं के लिए जल की उच्च अनुपात में आपूर्ति करते हैं। वनीय बाधाएँ एवं वन प्रबन्धन गतिविधियाँ जलविज्ञानीय प्रक्रियाओं में काफी परिवर्तन कर सकती हैं। ये परिवर्तन सतही कटाव, ढलान स्थिरता, पोषक तत्व चक्र, चैनल आकृति, जलीय जीवन, एवं जल की मात्रा एवं गुणवत्ता सहित वन पारिस्थितिकी तंत्र के लगभग समस्त घटकों को प्रभावित कर सकते हैं। आज, वन एवं जल प्रबन्धकों के सामने प्रमुख चुनौतियों में से एक जल संसाधनों एवं पारिस्थितिकी तंत्र को हानि पहुँचाएँ बिना वनों के बहु आयामी लाभों में वृद्धि करना है। वनों से अविरल जल संसाधन बनाये रखने की इस चुनौती को पूरा करने हेतु वन एवं जल के मध्य पारस्परिक सम्बन्धों को आधुनिक तकनीकों एवं अन्वेषणों द्वारा समझने की प्रमुख आवश्यकता है।

सन्दर्भ

एन्डरसन एच. डब्लू., एम.डी. हूवर, एवं के.जी. रिनहर्ट (1976) "फारेस्ट एन्ड वाटर: एफैक्ट्स आफ फारेस्ट मैनेजमेन्ट आन फलडस, सेडीमेन्टेशन एन्ड वाटर सप्लाई," जनरल टेक्नीकल रिपोर्ट PSW-018, बरकेली, सी.ए.: यू.एस. डिपार्टमेन्ट आफ एग्रीकल्चर, फारेस्ट सर्विस, पैसिफिक साउथवेस्ट फारेस्ट एण्ड रेंज एक्सपेरीमेन्ट स्टेशन।

ब्राउन ए.ई., एल. झैंग, टी.ए. मैकमोहन, ए.डब्लू. वैस्टर्न, एवं आर.ए. वर्टस्सी (2005), "ए रिब्यू आफ पेयर्ड कैचमेंट स्टडीज फार डिटरमाइनिंग चेन्जेज इन वाटर यील्ड रिजलटिंग फ्रॉम आल्टरेशन इन वेजीटेशन," जर्नल आफ हाइड्रोलॉजी 310: 28-61।

डयून टी. एवं एल. बी. लिओपौल्ड (1978), "वाटर इन एनवायरनमेन्ट प्लानिंग" सैन फ्रांसिस्को, C.A., डब्लू. एच. फ्रीमेन एवं कम्पनी।

हैल्वी जे.डी. (1971), "ए समरी आफ रेनफाल इन्टरसेप्शन बाई सर्टन कोनीफेरस आफ नार्थ अमेरिका" पृष्ठ 103-113, जल विज्ञान प्रोफेसर की तृतीय अन्तर्राष्ट्रीय संगोष्ठी, जल विज्ञानीय चक्र में इन: मोन्के ई.जे. (एडिटर), प्रोसिडिंग्स आफ थर्ड इन्टरनेशनल सिम्पोजियम फार हाइड्रोलोजी प्रोफेसर्स, बायोलोजिकल इफैक्ट्स इन दि हाइड्रोलोजिकल साइकिल, वैस्ट लैफायेटे, आई. एन.: परड्यू यूनिवर्सिटी। जीव विज्ञानीय प्रभाग, वैस्ट लाफयेटे, आई एन.; पुरडे विश्वविद्यालय।

आइस जी.जी. एवं जे.डी. स्टेडनिक (एडिटर) (2004), "ए सैन्चुरी आफ फारेस्ट एवं वाइल्ड लैन्ड वाटर शैड लैसन्स, बीथेसडा, एम.डी.; सोयायटी आफ अमेरिकन फौरेस्टर्स।

जोन्स जे.ए. (2000), हाइड्रोलोजिक प्रोसेसेज एन्ड पीक डिस्चार्ज रेसपॉन्स टु फौरेस्ट रिमूवल, रिग्रोथ एवं रोडस इन 10 स्माल एक्सपेरीमेन्टल बेसिक्स, वैस्टर्न कैसकेड, ओरिगन, वाटर रिसोर्सज रिसर्च, 36: 2621-2642।

जोन्स जे.ए. एवं डी. ए. पोस्ट (2004), "सीजनल एन्ड सक्सेशनल स्ट्रीमफलो रेसपॉन्स टु फारेस्ट कटिंग एन्ड रिग्रोथ इन द नोर्थवेस्ट एन्ड ईस्टर्न यूनाइटेड स्टेट्स, वाटर रिसोर्सज रिसर्च 40:W05203।

ट्रोएनडल, सी.ए. एवं आर. एम. किंग (1985), "द एफेक्ट आफ पारशियल एवं कलीयर कटिंग औन स्ट्रीमफलो एट डैडहोर्स क्रीक, कौलारोडो, जर्नल आफ हाइड्रोलॉजी, 90: 145-157।

वैरी ई. एस. (1976), "एस्टीमेटिंग वाटर यील्ड डिफरेंसेज बिटवीन हार्डवुड एन्ड पाइन फारेस्ट-एन एप्लीकेशन आफ नेट प्रेसीपिटेशन डाटा, रिसर्च पेपर NC-128, सैट पौल, MN:USDA फोरस्ट सर्विस, नोर्थ सैन्ट्रल एक्सपेरीमेन्ट स्टेशन।

विभिन्न जल विभाजको से उत्पन्न अपवाह पर वन क्षेत्र के घनत्व का प्रभाव

एस पी राय, नूजहत काजी, पी. के. गर्ग, जे. वी. त्यागी, सुधीर कुमार और वाई. एस. रावत

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की

सारांश

वन क्षेत्र में जल धारा प्रवाह के मान का अन्तर समझने हेतु मसूरी क्षेत्र में स्थित दो विभिन्न गुणवत्ता वाले जलागम क्षेत्रों यथा अरनी गाड जलागम क्षेत्र व बन्सी गाड जलागम क्षेत्र पर अध्ययन किया गया है। प्रस्तुत प्रपत्र में दोनों जलागमों के विभिन्न जल वैज्ञानिक पहलू पर प्रकाश डाला गया है। जलविभाजको का जल विज्ञानिय स्वभाग अत्यन्त जटिल होने के साथ ही समय तथा स्थान के साथ परिवर्तनशील जलवायु तथा स्थलाकृति कारकों पर निर्भर करता है।

दोनों अपवाह क्षेत्रों में जल वैज्ञानिय उपकरणों को स्थापित किया गया। दोनों अपवाह क्षेत्रों की प्रकृति भूमिप्रयोग आधारित मानचित्र के अनुसार विभिन्न है। अति संघन वन क्षेत्र अरनी गाड में वर्षा 1627 मिमी. व बन्सीगाड में वर्षा 1932 मिमी दर्ज की गयी। इसमें क्रमशः 2905 मिमी. व 2958 मिमी. अपवाह दर्ज किया गया। जून से सितम्बर के मध्य अपवाह का प्रतिशत बन्सीगाड में 81% व अरनी गाड में 60% पाया गया। जबकि इस दौरान वर्षा कुल वार्षिक वर्षा के 86-80% होती है। कम सघन वन जल विभाजक वाले क्षेत्र में कुल वार्षिक प्रवाह 305 मिमी. (19% से अधिक) है जो कि घने जल विभाजक क्षेत्रों से लगभग 50% अधिक है।

परिचय

पहाड़ी जल विभाजकों में मुक्त जल, विभिन्न कारकों की परस्पर क्रियाओं पर निर्भर करता है। इनमें सबसे महत्वपूर्ण है वर्षा वितरण, वर्षा की तीव्रता, वनस्पति से अच्छादित क्षेत्र, मिट्टी की विशेषता, भू-वैज्ञानिक संरचना, स्थलाकृति, जल ग्रहण क्षेत्र का ढाल व धारा की आकृति आदि।

जलविज्ञान के क्षेत्र में विभिन्न देशों द्वारा विभिन्न वन जल विभाजकों में किये गये अध्ययन के आधार पर यह पाया गया है कि किसी भी जलागम क्षेत्र से होने वाले अपवाह में वनों का प्रवाह बहुत महत्वपूर्ण होता है। परन्तु कुछ अध्ययनों में यह पाया गया है कि यदि वन काट दिये जाये तो जलागम से, प्रभावित होने वाली वाहिकाओं में प्रवाह का मान बढ़ जाता है। अतः यह बहुत महत्वपूर्ण विषय है कि वन क्षेत्र का जल प्रवाह पर क्या असर पड़ता है। हिमालय क्षेत्र में इस तरह के अध्ययन बहुत कम स्थानों पर किये गये हैं। अतः उपरोक्त जटिलताओं को देखते हुये, मसूरी के पास स्थित दो विभिन्न जलागमों का अध्ययन के लिए चयन किया गया है। जिनमें वनों की संरचना तथा घनत्व एक दूसरे से भिन्न है। दोनों जलागमों से होने वाले प्रवाह का मापन करके उनसे होने वाले अपवाहों की तुलना की गयी है।

अध्ययन क्षेत्र

दो उप जलविभाजक क्षेत्र, अरनी गाड व बन्सीगाड जिनका अध्ययन दिया गया है, देहरादून रोड पर 30 किमी दूर उत्तर में स्थित है। दोनों जल विभाजकों का ढाल तीव्र है। अरनीगाड जल विभाजक क्षेत्र का क्षेत्रफल 285 हेक्टेयर है व सघन वन क्षेत्र से ढका है। इसके विपरीत बन्सीगाड जल विभाजक क्षेत्र का क्षेत्रफल 190 हेक्टेयर है, जो कम सघन वन क्षेत्र से ढका है। दोनों जल विभाजक क्षेत्र दक्षिण में स्थित एक ही पर्वत श्रृंखला पर स्थित है तथा दोनों जलविभाजक क्षेत्रों का महत्तम उन्नयन 540 मीटर व 580 मीटर है। दोनों की धारायें, (second order) दूसरे नम्बर की धारायें हैं, जो मुख्य धारा में मिलती हैं।

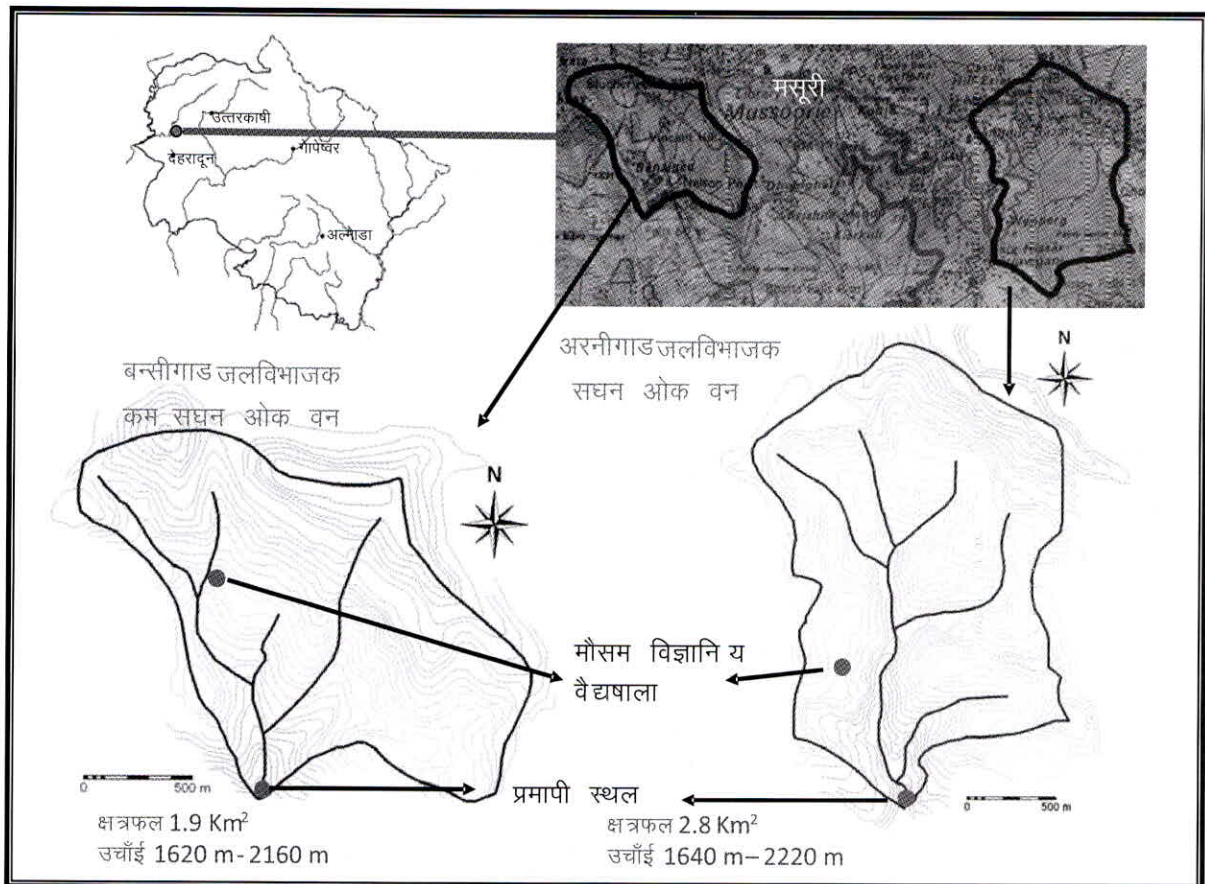
अरनी गाड में लगभग 50% अधिक क्षेत्र में घने ओक वृक्ष पाये जाते हैं, जिनका घनत्व 0.4 व 0.7 के मध्य है। तथा लगभग 20% क्षेत्र में अधिक घने ओक के वृक्ष पाये जाते हैं, जिनका घनत्व 0.7 से ज्यादा है। अधिकतर आबादी का निवास जल विभाजक सीमा पर है। बन्सी गाड में 75% भू-भाग खुले वनों के अन्तर्गत है व घने वनों का क्षेत्र लगभग 20% है। इसके अतिरिक्त 5% क्षेत्र आबादी में सम्मिलित है। घने जंगलों में वृक्षों का भाग 15.5 ± 6.6 सेमी की तुलना में कम घने वृक्षों की तुलना में 30.6 ± 8.2 सेमी है।

घने जंगलों में औसतन ऑर्गेनिक कार्बन की मात्रा सतही मृदा में (15 सेमी. गहराई तक) 3.3% है जबकि कम घने जंगलों में इसकी मात्रा 2.3% पायी गयी है।

सारणी -1 अरनीगाड और बन्सीगाड जल विभाजक क्षेत्रों का विवरण

विषयतायें	अरनी गाड	बन्सीगाड
ढलान की दिशा	दक्षिण दिशा की तरफ	दक्षिण दिशा की तरफ
क्षेत्रफल	3 वर्ग किमी.	2 वर्ग किमी
ऊँचाई	1620-2160 मीटर	1640-2220 मीटर
परिमाप	6992 मीटर	5947 मीटर
वाहिका संख्या	2	2
फार्म फैक्टर	0.457	0.33
सरकूलेटरी अनुपात	0.74	0.68
इलोमन अनुपात	0.763	0.649
ड्रेनेज घनत्व	2050 मीटर/किमी ²	1880 मीटर/किमी ²

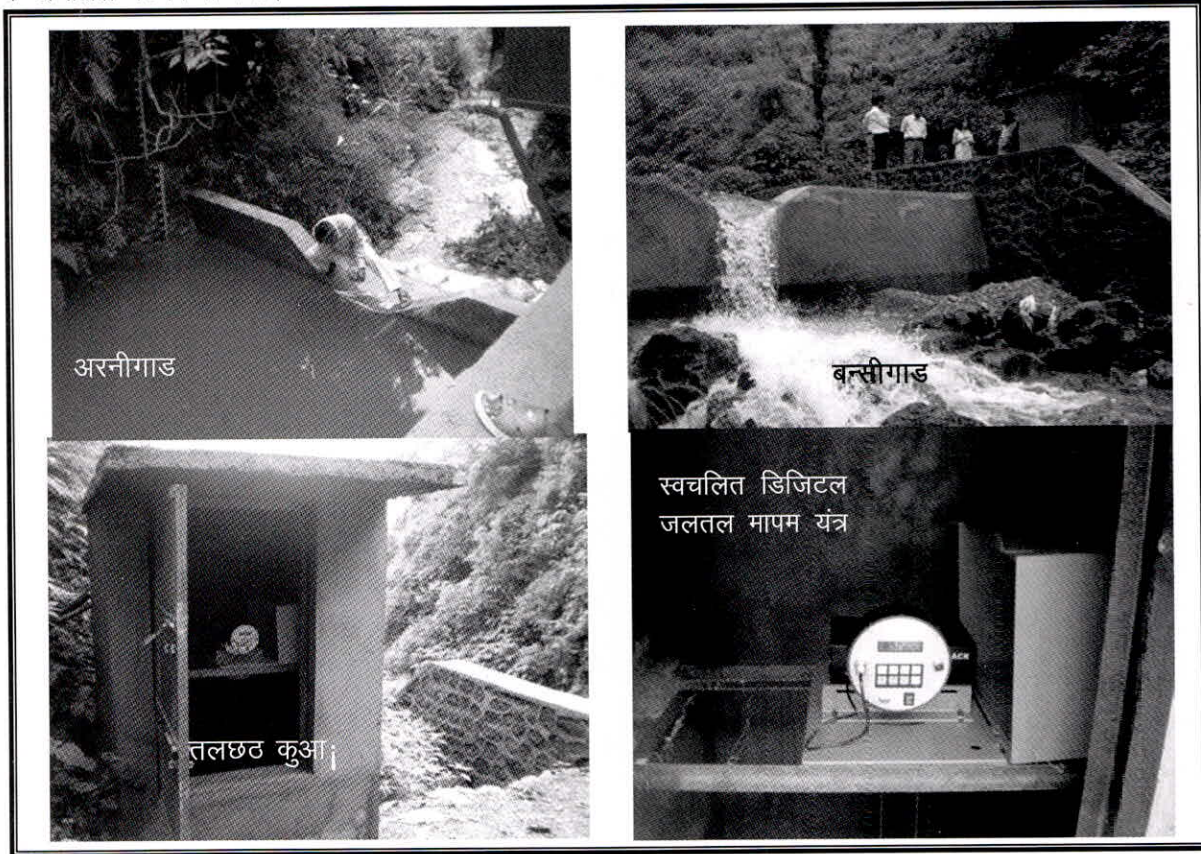
डिग्रेडेड जल विभाजक क्षेत्र बन्सीगाड में औसत तापमान 15.5⁰ सेन्टीग्रेड से 25⁰ सेन्टीग्रेड के मध्य पाया गया है जब कि घने जंगल से घिरे व्यापत अरनी गाड जल विभाजक क्षेत्र में औसत तापमान 18 से 20 डिग्री सेन्टीग्रेड के मध्य मापा गया। सापेक्ष आर्द्रता का मान ग्रीष्म काल में न्यूनतम व मानसून के दौरान अधिकतर पाया गया। वाष्प की दर 2-4 मि.मी/प्रतिदिन से 6-7 मिमी/प्रतिदिन के बीच पायी गयी। वर्ष 2008-09 की अवधि में अरनी गाड जल विभाजक क्षेत्र में 2958 मिमी वर्षा दर्ज की गयी।



चित्र 1: अध्ययन क्षेत्र का मानचित्र

क्रियाविधि

हिमालय क्षेत्र के जल विभाजको में वन आवरण का अपवाह के ऊपर पडने वाले प्रवाह का अध्ययन करने के लिये दो जलागम क्षेत्रों का चयन किया गया। इन जलविभाजक क्षेत्रों के बना आवरण के अतिरिक्त जलवायु और भौगोलिक परिस्थितियां एक समान है। दोनो जल विभाजक क्षेत्रों में अलग-अलग मौसम वैद्यषाला स्थापित की गयी जिसमें वर्षा, कोण तापमान, आर्द्रता और वाष्पीकरण का मापन किया गया तथा अपवाह मापन हेतू एक 120 डिग्री झुकाव वी-नोच का निर्माण किया गया तथा उसके ऊपर एक स्वचलित डिजिटल जलस्तर मापन रिकार्डर स्थापित किया गया। जलस्तर की मापन डिजिटल रिकार्डर के माध्यम से 15 मिनट के अन्तराल पर किया गया।



चित्र 2: 120 डिग्री कोण पर निर्मित वीयर और स्वचालित जलस्तर निर्धारण रिकार्डर

परिणाम और चर्चा

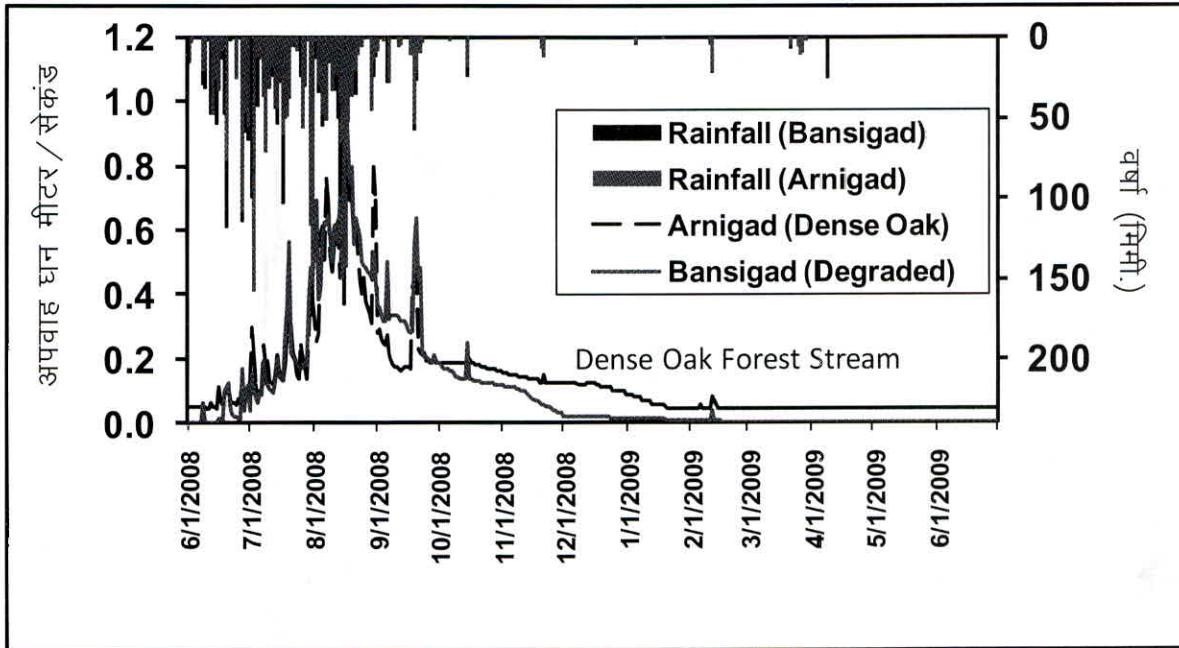
वर्ष 2008 (अप्रैल) से 2009 (मार्च) के दौरान एकत्रित वर्षा एवं अपवाह के आँकड़ों का विश्लेषण किया गया है। आँकड़ें दर्शाते हैं कि मार्च और अप्रैल के मध्य अपवाह की दर न्यूनतम तथा अगस्त में अधिकतम थी।

बन्सीगाड जलविभाजक क्षेत्र बहुत छोटा है, अपवाह की मात्रा फरवरी से अप्रैल/मई माह में शून्य पायी गयी। अधिकतम अपवाह 1.016 घन मीटर प्रतिसेकंड 17 अगस्त को मापी गयी। जबकि इसकी तुलना में अरनीगाड में 0.88 घन मीटर प्रतिसेकंड का अपवाह मापा गया यह दर्शाता है कि बराबर मात्रा की वर्षा से अपवाह बन्सीगाड जल विभाजक क्षेत्र से अपवाह ज्यादा होता है। अरनीगाड में न्यूनतम अपवाह दर 0.045 घन मीटर प्रतिसेकंड मार्च माह में मापी गयी।

यदि दोनो जल विभाजक क्षेत्रों से गुजरने वाली वाहिकाओं में होने वाले अपवाह की दर को तुलना प्रति यूनिट क्षेत्र से की जाये तो यह निष्कर्ष निकलता है कि बन्सीगाड जल विभाजक में अधिकतम अपवाह जो 4611 मि.मी. और अरनी गाड जल विभाजक के क्षेत्र में 26.61 मि.मी. परिणाम प्राप्त हुआ जिसकी गणना 17 अगस्त 2009 को की गयी।

यदि दोनो जल विभाजको क्षेत्र से गुजरने वाली वाहिकाओं के हाइड्रोग्राफ को एक दृष्टि से देखा जाये तो यह निष्कर्ष निकलता है कि दोनो क्षेत्रों में वर्षा के जल को बहुत ही कम समय में अपवाह के रूप में बहते देखने का मिलता है जिसका कारण जल विभाजक का क्षेत्रफल कम होना व तीव्र ढलान है। यद्यपि दोनो क्षेत्रों के हाइड्रोग्राफ का अवरोही भाग भिन्न है। अरनीगाड की तुलना में बन्सीगाड की अपवाह दर मानसून महीनो के बाद ज्यादा तेजी से कम होती जाती है। और बन्सीगाड ग्रीष्म महीनो में सूख जाती है।

यह पाया गया है कि अति संघन वन क्षेत्र में बहने वाली वाहिका का गैर मानसून महीनों के निरन्तर प्रवाह का कारण भूमि में अन्तस्पर्दन है।



चित्र 3: अरनीगाड व बन्सीगाड धारा मे अपवाह का परिवर्तन

सारणी-2 जलविज्ञानिये गणनायें अरनी गाड व बन्सीगाड वाहिकाओं की जलविज्ञानीय गणनाये

क्र0	घटक	अरनी गाड	बन्सीगाड
1	कुल वर्षा	2905 मिमी.	2958मिमी.
2	कुल वर्षा के दिन	109	127
3	कुल अपवाह	1627 मिमी (59%)	1932मिमी. (65%)
4	मानक विचलन	0.15घन मीटर/सेकंड	0.19 घन मीटर/
5	वर्षा (जून-सितम्बर)	86.2%	87.3%
	अपवाह जून-सितम्बर	59.5%	81.3%
	अपवाह (अक्टूबर-मार्च)	33%	18%

आकड़ों के विश्लेषण के आधार पर दोनो जलविभाजाकों के क्षेत्र से प्राप्त वर्षा (माह अक्टूबर 2008 से मार्च 2009 तक) कुल वार्षिक वर्षा का 3 प्रतिशत भाग प्राप्त हुआ। इसी अवधि के दौरान बन्सीगाड व अरनी गाड (0.15 घन मी0 प्रति सेकंड) मे कुल अपवाह 361 मिमी. व 545 मिमी. क्रमशः प्राप्त हुआ। दैनिक अपवाह का मानक विचलन अरनी गाड से बन्सी गाड में 20% अधिक है। इन परिणामों से ज्ञात होता है कि घने जंगल की अपेक्षा कम जंगल वाले क्षेत्रों में जल का अपवाह अधिक होता है। दोनो क्षेत्रों में अपवाह मई के दौरान न्यूनतम व अगस्त के दौरान अधिकतम है। अगस्त के महीने के दौरान

बन्सीगाड में कुल अपवाह, अरनी गाड के सापेक्ष 60% अधिक है। जुलाई से सितम्बर के मध्य यह अरनी गाड की तुलना में 48% अधिक है। अपवाह गुणांक मानसून अवधि के दौरान (जून-सितम्बर) अरनी गाड व बन्सीगाड जल विभाजक क्षेत्र के लिये क्रमशः 0.39 व 0.61 है। मानसून के पश्चात जल धाराओं में अपवाह काफी कम हो जाता है। अरनी गाड जल धारा का मानबन्सी गाड के मुकाबले अधिक हो जाता है। अक्टूबर से मार्च के मध्य अरनी गाड का अपवाह, बन्सी गाड की अपेक्षा 50% अधिक हो जाता है।

बन्सीगाड में कम घने जंगलों में धारा का प्रवाह 9 से 10 महीनों के लिये होता है जबकि अरनी गाड में धारा 12 महीने बहती है। कम घने जंगलों में धारा रूक-रूक कर बहती है। जबकि सघन जंगलों में वर्षा का रिक्त स्थानों में भर जाना, दरारें, व अन्य कारणों से पूरे वर्ष प्रवाहित होती है। सघन क्षेत्र अरनी गाड में जड़ों से मुक्त मिट्टी वर्षा जल अवशोषित करने में ज्यादा प्रभावशाली जबकि बिना जंगल की भूमि में वर्षा का जल सतही जल के रूप में धारा में मिल जाता है। इसके अतिरिक्त वन भूमि में नमी सोखने की क्षमता में वृद्धि कर देते हैं। वन जलीय चक्र सन्तुलन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

निष्कर्ष

इस अध्ययन में दो विभिन्न प्रकार के जल विभाजकों में ऊपर जंगलों के जल विज्ञानिय चक्र पर पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन किया गया है। प्राप्त परिणामों से पता चलता है कि मानसून के दौरान घने वन वाले जलविभाजक क्षेत्र की अपेक्षा कम वन वाले जलविभाजक क्षेत्र में वाहिकाओं में अतिरिक्त अपवाह प्रवाह प्राप्त होता है इससे ज्ञात होता है कि घने वनों वाले क्षेत्रों की तुलना में कम वन वाले क्षेत्र में अधिक वार्षिक अपवाह उत्पन्न होता है। दूसरी ओर सघन वन क्षेत्रों में पूरे वर्ष धारा में अधिक प्रवाह होता है जो यह दर्शाता है कि घने वन क्षेत्र में वर्षा के दौरान-उपसतह भू-जल भंडारण में एकत्रित होने के कारण गैर मानसून सत्र में, कम घने वन क्षेत्र वन क्षेत्र की तुलना में अधिक अपवाह उत्पन्न करता है। इस परिणाम को देखते हुये दो भिन्न परिस्थिति वाले जल विभाजकों में वास्तविक भू-जल भंडारण के आकलन की अनुशांसा की जाती है।