उत्तराखंड हिमालय में पुराने वर्षा–रुझानों का विश्लेषण

नीरज कुमार भटनागर [1] अर्चना सरकार[1] वैभव गर्ग [2]

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रूड़की
राष्ट्रीय सुदूर संविदन संस्थान, देहरादून

सारांशः

भूमंडलीय ताप वृद्धि का एक सबसे महत्वपूर्ण परिणाम यह होगा कि बाढ़ व ताप तरंगों (heat waves) जैसी चरम घटनाओं के परिमाण व आवृत्ति में बढ़ोत्तरी हो जाएगी (IPCC 2007)। यद्यपि जलवायु परिवर्तन विषय अपने आप में अत्यंत विस्तृत है, परंतु इस क्षेत्र में वर्षा के रुझानों (trends) जैसे विषयों पर तुरंत व प्रणालीवद्ध ध्यान की आवश्यकता है, क्योंकि यह ताजे जल की उपलब्धता, खाद्य उत्पादन और जल द्वारा उत्पन्न आपदाओं को प्रभावित करता है। किसी भी क्षेत्र के जलवायु परिवर्तनशीलता के प्रभाव का आकलन करने के लिए वर्षा के रुझान का पता करना अत्यावशयक है। कम या अधिक वर्षा या इसके वितरण में परिवर्तन जल अपवाह, मृदा नमी, भू–जल भंडारों पर समय व स्थान के आधार पर प्रभाव डालता है तथा बाढ़ व सूखे की आवृत्ति में परिवर्तन लाता है। कुछ क्षेत्रों में अगर जल भंडारण की क्षमता है व वर्षा का वार्षिक वितरण अनुकूल है तो वर्षा में वृद्धि ऊर्जा वृद्धि में सहायक होती है। अन्यथा अति वृष्टि वाले तूफानों के कारण भयंकर बाढ़ें आ सकती हैं जिसके कारण नीचे की ओर रहने वाली जनसंख्या पर इसके दुष्प्रभाव पड़ सकते हैं व बांध की सुरक्षा खतरे में पड़ सकती है। कम वर्षा के कारण जलविद्युत ऊर्जा के उत्पादन में गिरावट आती है एवं सिंचाई तथा अन्य उपयोगों के लिए जल उपलब्धता कम हो जाती है। प्रस्तुत अध्ययन का उद्देश्य उत्तराखंड राज्य के मासिक व वार्षिक वर्षा रुझानों का निर्धारण करना है। इस अध्ययन में प्रयुक्त आंकड़ों में छह स्थानों के APHRODITE दैनिक वर्षा आंकड़ों का प्रयोग किया गया है, तीन स्थान गढ़वाल से हैं व शेष तीन कुमाऊँ से। कुल 37 वर्षों (1970–2007) के आंकड़ों को उपयोग में लाया गया है। प्रतिगमन विश्लेषण (Regressiion analysis) व मान केण्डेल सांख्यिकीय विधियों द्वारा दैनिक वर्षा आंकड़ों में पुराने रुझानों (historical trends) की जांच की गई है। प्रतिगमन विश्लेषण व मान केण्डेल टेस्ट के आधार पर विभिन्न स्थलों पर वर्षा के उतार–चढ़ाव के रुझानों तथा विसंगतियों (anomalies) का विश्लेषण किया गया। परिणामों से पता चलता है कि पिछले 37 वर्षों (1970–2007) में कुछ चरों (variables) में सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण परिवर्तन पाये गए।

Abstract

One of the most significant consequences of global warming would be an increase in magnitude and frequency of extreme events like floods, heat waves (IPCC, 2007). Although the subject area of climate change is vast] the changing pattern of rainfall is a topic within this field that deserves urgent and systematic attention, since it affects the availability of freshwater, food production and the occurrence of water related disasters triggered by extreme events. The detection of trends in rainfall is essential for the assessment of the impacts of climate variability and change on the water resources of a region. A higher or lower rainfall or changes in its distribution would influence the spatial and temporal distribution of runoff, soil moisture, and groundwater reserves would alter the frequency of droughts and floods- In some regions, increased precipitation infers increased energy benefits if the storage capacity exists and if annual distribution of rainfall is favourable. Otherwise increased storm events may mean higher flood flows affecting downstream populations and potential consequences for dam safety. Decreased precipitation will reduce hydropower generation(will provide less water for irrigation and other uses. Uttarakhand is a state in the northern part of India. The state is divided into two divisions. Garhwal and Kumaon, with a total of 13 districts- This study aims to determine trends in the annual and monthly rainfall over Uttarakhand State. The data used in this study consists of daily rainfall data from APHRODITE at six stations (three each in Garhwal and Kumaon divisions) for a period of 37 years (1970&2007). Historical trends in daily rainfall have been examined using regression analysis and Mann&Kendall (MK) statistics. On the basis of regression and MK test, rising and

falling trend in rainfall and anomalies at various stations have been analyzed. The result shows that some of these variables demonstrate statistically significant changes occurred in last 37 years.

परिचयः

किसी भी समयकाल में पृथ्वी की जलवायु सदैव स्थिर नहीं थी। संभावित व सशक्त जलवायु परिवर्तन व जलविज्ञानीय तंत्र पर इसके प्रभावों ने सदा ही विश्व स्तर पर जल संसाधनों पर दुष्प्रभाव डाले हैं। जलवायु परिवर्तन को प्रभावित करने वाले अनेक प्राकृतिक कारणों में से कुछ निम्न प्रकार हैं: सौर ऊर्जा के परिमाण में होने वाले परिवर्तन, पृथ्वी व सूर्य के बीच की दूरी में होने वाले परिवर्तन, वातावरण की ऊपरी सतह में ज्वालामुखीय प्रदूषण की उपस्थिति तथा ग्रीन हाउस गैसों की उपस्थिति आदि (Brasseur and Roeckner, 2005; Scafetta and west, 2005)। प्राकृतिक व मानव द्वारा जनित प्रभावों, जिनको जलवायु विज्ञान की भाषा में forcings कहते हैं, के कारण वातावरण की दीप्तिमान ऊर्जा (radiant energy) में परिवर्तन होते हैं तथा ऊर्जा संतुलन के अव्यवस्थित होने के कारण पृथ्वी शीतल या गरम हो जाती है। धनात्मक फोरसिंग के कारण पृथ्वी गरम व ऋणात्मक फोरसिंग के कारण ठंडी हो जाती है। वातावरण में ग्रीनहाउस गैसों के कारण एक प्रकार की फोरसिंग उत्प्रेरित होती है जिसके फलस्वरूप अवरक्त विकिरण के पृथ्वी द्वारा अवशोषण करने के कारण इसके ऊर्जा संतुलन में बदलाव आते हैं अन्यथा यह अवरक्त विकिरण अन्तरिक्ष में पलायन कर जाता। ग्रीनहाउस गैसों में मुख्यतयः कार्बन डाइ ऑक्साइड, मीथेन, नाइट्रस ऑक्साइड, ट्रोपोस्फेरिक ओज़ोन, क्लोरोफ़्लोरोकार्बन्स तथा जल वाष्प गैसों का मिश्रण होता है। जल वाष्प के अतिरिक्त अन्य सभी ग्रीनहाउस गैसों की सान्द्रता मानव जनित क्रियाओं पर सीधे सीधे तौर पर निर्भर करती है। अन्य फोर्सिंग्स में रिफलेक्टिव ऐरोसोल्स (मुख्यतः जीवाश्म ईंधन के जलने के कारण प्राप्त हुए सल्फेट कण), काले कार्बन कण (सूट), भूमि सतह पर हुए परिवर्तन, सौर विकिरण में परिवर्तन व बादलों के आवरण मे परिवर्तन भूमंडलीय तापमान में परिवर्तन व ऐरोसोल्स के कारण होते हैं (IPCC 2007)।

पारस्थितिकी तंत्र को प्रभावित करने वाले महत्वपूर्ण जलवायु चरों में वर्षा, विकिरण, तापमान व जल प्रवाह सम्मिलित हैं। वैज्ञानिक समुदाय के लिए यह एक बड़ी चुनौती है कि वे जलवायु परिवेर्तन की जटिल प्रक्रियाओं को समझकर समाज को इससे उत्पन्न समस्याओं से निपटने के बारे में बता सकें। बदलते वर्षा रुझानों पर तुरंत व व्यवस्थित प्रकार से ध्यान देने कि आवश्यकता है क्योंकि यह खाद्य सामग्री की उपलब्धता को प्रभावित करेगी (Dore, 2005) इसके साथ साथ चरम घटनाओं द्वारा जनित जल संबंधी आपदाएँ भी उत्पन्न होंगी। भू–भाग पर वर्षण जलविज्ञानीय तंत्र का एक महत्वपूर्ण घटक है तथा इसके रुझानों में परिवर्तन जल संसाधनों पर सीधा प्रभाव डालते हैं। ज्यादा या कम वर्षा अथवा इसके वितरण में परिवर्तनों का सीधा प्रभाव जल अपवाह (runoff) पर समय व स्थान के वितरण के अनुसार पड़ता है, मृदा नमी, भू जल भंडार, एवं सूखे व बाढ़ की आवृत्ति मे परिवर्तन आ जाते हैं।

देशभर में कुल वर्षा का 80% के लगभग दक्षिणी पश्चिमी मानसून द्वारा लाया जाता है जो कि ताजे पीने योग्य जल व सिंचाई हेतु उपलब्ध होता है। भारतवर्ष में होने वाले जलवायु परिवर्तन, विशेषतयः दक्षिणी पश्चिमी मानसून में होने वाले परिवर्तनों के कृषि उत्पादन, जल संसाधन प्रबंधन, व देश कि सम्पूर्ण आर्थिक व्यवस्था पर प्रभाव पड़ेंगे। आईपीसीसी 2007 के अनुसार भविष्य में होने वाले जलवायु परिवर्तनों के कारण कृषि क्षेत्रों पर इसके दुष्प्रभाव पड़ेंगे एवं लोग भूख व प्यास से त्रस्त होंगे एवं हिमनदों के गलन की प्रक्रिया भी तेज हो जाएगी। जलवायु परिवर्तन के कारण एशिया क्षेत्र की नदियों के बेसिनों में ताजे जल की उपलब्धता में कमी हो जाएगी, इस कमी, बढ़ती जनसंख्या और ऊपर उठते जीवन स्तर के कारण वर्ष 2050 तक एशिया में लगभग एक अरब लोगों पर इसके दुष्प्रभाव पड़ेंगे। हिमनदों के बढ़ती गलन दर के कारण जनित होने वाली बाढ़ों की संख्या में व उनकी तीव्रताओं में वृद्धि होंगी, ढलान अस्थिर हो जाएंगे व परिणाम स्वरूप हिमनदों के पीछे जाने के कारण नदियों में जल की मात्रा कम हो जाएगी (आईपीसीसी 2007)।

लाल (2001) द्वारा भारतीय जल संसाधनों पर जलवायु परिवर्तन के प्रभावों के अध्ययन किए गए, गोसाईं व अन्य द्वारा 2006 में भारतीय नदी तंत्रों पर जलवायु परिवर्तन प्रभावों का विस्तृत अध्ययन किया गया।

वैज्ञानिकों द्वारा भूमंडलीय औसत वर्षा में वृद्धि की घोषणा की गयी है, परंतु वर्षा में वृद्धि या कमी क्षेत्रीय अथवा महाद्वीपीय स्तर पर होने की संभावना है (आईपीसीसी, 2001)। भारतवर्ष में वैज्ञानिकों ने वर्षा के इसी प्रकार के रुझानों के बारे में लेख प्रकाशित किए हैं (थपलियाल व कुलश्रेष्ठ, 1991; रूपा कुमार व अन्य, 1992; कोठयारी व सिंह; 1996; सिन्हा रे व डे ; 2003; सिंह व अन्य, 2008a)। यद्यपि लंबे समय काल के स्तर पर भारतवर्ष में मानसून की वर्षा में कोई रुझान नहीं प्राप्त हुए हैं परंतु कुछ क्षेत्रों में वर्षा में दीर्घकालिक परिवर्तन की पहचान की गयी है (श्रीवास्तव व अन्य, 1998)। विभिन्न भू मंडलीय

जलवायु निदर्शों (GCM) व क्षेत्रीय जलवायु निदर्शों (RCM) के प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकले कि 21वीं शताब्दी में भारतवर्ष के तापमान में वृद्धि होगी व वर्षा के रुझानों में परिवर्तन होंगे (रूपा कुमार व अन्य, 2006; राजेन्द्रन व किटोह, 2008)।

पिछले कुछ दशकों में बहुत से वैज्ञानिकों ने व्यक्तिगत अथवा सामूहिक रूप से जलवायु परिवर्तन पर अध्ययन किए। वर्षा रुझानों का पता करने के लिए अधिकतर रेखीय संबंध विधि का प्रयोग किया जाता है (हमीद व अन्य, 1997; सिल्वा, 2004)। समय श्रेणी में रुझानों को जानने के लिए गैर पैरामीट्रिक परीक्षणों में सबसे अधिक प्रचलित मान–केंडाल टेस्ट है (मान,1945; केंडल, 1955)। इस टेस्ट के दो मुख्य प्रतिमान (parameter) वे महत्वपूर्ण स्तर हैं जो रुझान का सामर्थ्य व ढाल के परिमाण को दर्शाते हैं जिससे रुझान की दिशा व परिमाण का पता चलता है (बर्न व एलनर, 2002)। इस परीक्षण के लाभ ये हैं कि ये वितरण–रहित है, outliers के खिलाफ सक्षम है व अन्य परीक्षणों की अपेक्षा अधिक सक्षम है (हेस्स व अन्य, 2001)। पिछले दशक में मान–केंडाल टेस्ट को प्रयोग कर जलवायु अध्ययन पर बहुत से शोध किए गए। मोडरस्सा व सिल्वा (2007) ने ईरान में वर्षा रुझानों पर अध्ययन किए; शान यू व अन्य ने वर्ष 2002 ताइवान में जलवायु परिवर्तनों के जल संसाधनों पर होने वाले प्रभावों का अध्ययन किया; अरोरा व अन्य ने वर्ष 2005 में भारतवर्ष के तापमान रुझानों का अध्ययन किया; झांग व अन्य ने वर्ष 2005 में चीन कि Yagtze नदी बेसिन में वर्षा, तापमान तथा अपवाह के रुझानों का अध्ययन किया; म्क्वेयन व रोवर्स (1998) द्वारा मान–केंडाल टेस्ट व रीग्रेस्सन एनालिसिस के प्रयोग से ग्रेट लेक के वर्षा, तापमान व अपवाह के प्राचीन रुझानों को देखा गया।

प्रस्तुत अध्ययन में, उपरोक्त शोधकार्यों की पृष्ठभूमि को दृष्टि में रखते हुए, भारतवर्ष के उत्तराखंड राज्य में वर्षा रुझानों का विश्लेषण किया गया है। अध्ययन के लिए चयनित उत्तराखंड राज्य हिमालयी क्षेत्र में स्थित है। राज्य के पर्वतीय भागों में गंगा नदी व उसकी अन्य सह नदियों पर बहुत सी छोटी बड़ी जल विद्युतीय परियोजनाएं हैं तथा कुछ परियोजनाएं अभी निर्माणाधीन व विचाराधीन हैं। अतः इस पर्वतीय राज्य की जलविज्ञानीय अवस्था पर जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को समझना अत्यावश्यक है जिससे कि राज्य के जल संसाधनों का भली भांति नियोजन व प्रबंधन किया जा सके। इस अध्ययन का मुख्य उद्देश्य राज्य के पिछले 37 वर्षों के वर्षा रुझानों का निरीक्षण करना है। रुझानों के विश्लेषण हेतु मान–केंडाल टेस्ट व रेखीय रीग्रेस्सन एनालिसिस का प्रयोग किया गया है।

अध्ययन क्षेत्र व प्रयुक्त आंकड़ेः

उत्तराखंड राज्य भारतवर्ष के उत्तरी भाग में स्थित है। इसको प्रायः देवभूमि के नाम से पुकारा जाता है क्योंकि इस राज्य के सम्पूर्ण क्षेत्र में हिन्दू देवी देवताओं के मंदिर व पवित्र तीर्थ स्थल जगह–जगह पर विद्यमान हैं। उत्तराखंड राज्य हिमालय, भाभर व तराई के प्राकृतिक सौंदर्य के कारण जाना जाता है। इसकी सीमाएं उत्तर में तिब्बत, सुदूर पश्चिमी क्षेत्र में महाकाली अंचल, पूर्व में नेपाल, दक्षिणी हिस्से में उत्तर प्रदेश और उत्तरी पश्चिमी भाग में हिमाचल प्रदेश से लगती हैं। राज्य को मुख्यत दो मंडलों में बांटा गया है गढ़वाल व कुमाऊँ मण्डल इसमें कुल मिलाकर 13 जिले हैं। हिन्दू धर्म में प्रमुख महत्व वाली दो नदियां इस राज्य से निर्गमित होती हैं, गंगा गंगोत्री से व यमुना यमुनोत्री से।

उत्तराखंड राज्य का कुल क्षेत्रफल 53484 वर्ग किलोमीटर है, जिसमें 93% पर्वतीय क्षेत्र है व 65% वनों से आच्छादित है। राज्य का अधिकांश उत्तरी भाग ऊंची हिमालय पर्वत चोटियों व हिमनदो से आच्छादित है। उत्तराखंड राज्य हिमालय पर्वत श्रेणी के दक्षिणी ढालों पर स्थित है तथा इसकी जलवायु व वनस्पति मुख्यतय ऊंचाई के अनुरूप परिवर्तित होती है, इसमे अति ऊंचे स्थानों पर हिमनद व कम ऊंचाई वाले क्षेत्रों में subtropical वन पाये जाते हैं। अति उच्च स्थानों पर बर्फ की व नंगी चट्टानें पायी जाती हैं, इसके नीचे 3000 से 5000 मीटर के मध्य पश्चिमी हिमालयी झाड़ियाँ व चरागाह पाये जाते हैं। वृक्ष रेखा के नीचे temperate पश्चिमी हिमालयी सब alpine conifer जंगल पाये जाते हैं। 3000 से 2600 मीटर के मध्य temperate चौड़ी पत्तियों वाले जंगल पाये जाते हैं और यह 1500 मीटर की ऊंचाई तक होते हैं। 1500 मीटर के नीचे हिमालयी subtropical pine जंगल पाये जाते हैं। ऊपरी गंगा तटीय मैदानों में नमी वाले deciduous वन व उत्तर प्रदेश के भाभर क्षेत्र व शुष्क तराई में –duar savanna व घास के मैदान पाये जाते हैं। निचले इलाकों के वन क्षेत्र अधिकतर कृषि हेतु साफ कर दिये गए हैं एवं छिट पुट इलाके में ही वन बचे हैं। वर्ष 2013 में कुछ दिनों तक भारी वर्षा होने के कारण इस क्षेत्र में भयंकर बाढ़ आई थी जिसके कारण लगभग 5000 से अधिक लोग मारे गए अथवा लापता हो गए। भारतीय संचार माध्यमों ने इस आपदा को 'हिमालयी सुनामी' का नाम दिया।

इस अध्ययन हेतु 6 स्टेशन के वर्षा आंकड़ेः उत्तरकाशी ($30^0$43'48" उत्तर, $78^0$26'60" पूर्व); चमोली ($30^0$24'55.51" उत्तर, $79^0$19'34.38" पूर्व;) हरिद्वार ($29^0$56 44.49" उत्तर, $78^0$09'51.29"पूर्व); रुद्रपुर ($25^0$58'48" उत्तर, $79^0$23 60"पूर्व); वागेश्वर ($29^0$50'25.30" उत्तर, $79^0$4609.93" पूर्व); और पिथौरागढ़ ($29^0$3457.75" उत्तर, $80^0$1305.79" पूर्व) APHRODITE वैबसाइट द्वारा download किए गए (यतागी व अन्य, 2009)। 1970 से 2007, 37 वर्ष का आकड़ों का विश्लेषण किया गया।

विधिविज्ञान (methodology)

प्रस्तुत अध्ययन में दो विधियों मान–केंडाल टेस्ट व रीग्रेस्सन एनालिसिस का प्रयोग किया गया है। इन दोनों का विस्तृत वर्णन अगले भागों में किया गया है।

रीग्रेस्सन निदर्श

रुझानों को ज्ञात करने हेतु 'सरल रीग्रेस्सन, एनालिसिस' सबसे अच्छे पैरामीट्रिक मॉडेल्स (Parametric models) में से एक है। रेखीय रीग्रेस्सन विधि हेतु अवशिष्टों की सामान्यता, स्थिर परिवर्तन और सम्बन्धों के वास्तविक रेखीय होने की परिकल्पना की आवशयकता होती है (हेलसेल व हिर्स्च, 1992)। वर्षण Y हेतु निदर्श को समीकरण रूप में निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता हैः

$$Y = at + b \qquad (1)$$

यहाँ पर

t = समय (वर्षों में)

a = ढाल गुणांक (slope coefficient), व

b = least squares estimate of the intercept

यहाँ पर ढाल गुणांक द्वारा जलविज्ञानीय गुणधर्मों के वार्षिक औसत परिवर्तन की दर को दर्शाया गया है। अगर ढाल सांख्यिकीय प्रकार से शून्य से महत्वपूर्ण रूप से भिन्न है तो यह व्याख्या करना तर्कसंगत होगा कि समय के अनुसार वास्तव में परिवर्तन हो रहे हैं। ढाल के चिन्ह से ज्ञात होता है कि चरों के रुझान की दिशा क्या है; धनांत्मक चिन्ह वृद्धि व ऋणात्मक चिन्ह कमी को प्रदर्शित करते हैं।

मान–केंडाल मॉडल

सरल रेखीय रीग्रेस्सन एनालिसिस समय–श्रेणी आंकड़ों में रुझानों को प्राथमिक तौर पर इंगित कर सकते हैं। अन्य दूसरी विधियाँ जैसे की मान–केंडाल टेस्ट जो कि **non parameteric** हैं और जिनका प्रयोग अधिकतर जलविज्ञानीय आंकड़ों के विश्लेषण में किया जाता है व ऐसे रुझानों को ज्ञात करने में लगाया जाता है जो कि monotonic हैं और उनका रेखीय होना आवश्यक नहीं है। MK टेस्ट को normality की परिकल्पना की आवश्यकता नहीं होती, और यह महत्वपूर्ण रुझानों की केवल दिशा को इंगित करता है न कि परिमाण को (यूएसजीएस, 2005; हेलसेल व अन्य, 1992)।

एम के टेस्ट में यह कल्पना की जाती है की जिस समय–श्रेणी का उपयोग किया जा रहा है वह सम प्रायिकता वितरण के हिसाब से स्थिर, स्वतंत्र व क्रमरहित है (झांग व अन्य, 2005)। एम के टेस्ट को असहसंबंध आंकड़ों पर प्रयुक्त किया जाता है क्योंकि यह प्रतिवेदित किया गया है कि क्रमिक सहसंबंध कि उपस्थिति हायपोथीसिस की गलत अस्वीकृति की ओर अग्रसर हो सकती है (हेलसेल व हिर्स्च, 1992; कुलकर्णी व वॉन स्टोर्च, 1995; यू व अन्य, 2002; यू व वांग, 2002; यू व पिलोन, 2003) एम के टेस्ट की कम्प्यूटरीकृत प्रक्रिया को अड़ामौस्की व बौगाडिस (2003) द्वारा वर्णित किया गया। अगर समय–श्रेणी में आंकड़ों की संख्या एन हो व T_i व T_j आंकड़ों के दो समुच्चय (set) हों जहां पर i = 1, 2, 3.....n-1 व = i+1, i+2, i+3.....n है। प्रत्येक आंकड़ा बिन्दु T को संदर्भ बिन्दु के रूप मे प्रयोग कर उसकी तुलना T_j आंकड़ा बिन्दु से इस प्रकार की जाती है किः

$$Sign(T) = \begin{cases} 1 \ for \ T_j > T_i \\ 0 \ for \ T_j = T_i \\ -1 \ for \ T_j < T_i \end{cases} \quad (2)$$

प्रस्तुत अध्ययन में प्रयुक्त एम के टेस्ट सांखकीय टेस्ट S पर आधारित है जो कि निम्न प्रकार है:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(Tj - Ti) \quad (3)$$

S—सांख्यिकी के भेद (वेरियन्स) को निमन्वत परिभाषित किया गया है:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (4)$$

जहां t_i ties की संख्या को ई की सीमा तक प्रदर्शित करता है। समीकरण 4 में योग अवधि तभी प्रयोग में लायी जा सकती है जब आंकड़ा श्रेणी में 'tied' मान उपस्थित हों। टेस्ट सांख्यिकी Zs की गणना निम्न प्रकार कि जा सकती है:

$$Z_s = \begin{cases} (S-1)/\sigma \ for \ S > 0 \\ 0 \ for \ S = 0 \\ (S+1)/\sigma \ for \ S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

इसमे Zs एक मानक नॉर्मल वितरण का अनुसरण करता है। आंकड़ों की अवधि 10 से अधिक होने पर व tied आंकड़ों की संख्या कम होने पर ही समीकरण 5 लाभप्रद है (केंडाल, 1962)। टेस्ट सांख्यिकी Zs को आंकड़ों के रुझानों की सार्थकता को मापने मे प्रयोग किया जाता है। वास्तव में इस टेस्ट सांख्यिकी को null hypothesis एच0 को टेस्ट करने में प्रयुक्त करते हैं। अगर । Zs। का मान $Z_{\alpha/2}$ से ज्यादा है और यहाँ पर α चुने हुए सार्थकता स्तर (प्रायः 5% व इसके साथ Z0.025 = 1. 96) का प्रतिनिधित्व करता है तब null hypothesis को अस्वीकृत कर दिया जाता है, इसका अर्थ यह है कि रुझानों में सार्थकता है। प्रस्तुत अध्ययन के लिए रुझान रेखा के ढाल को सांखकीय सार्थकता के 5% स्तर पर टेस्ट करने के लिए साधारण रेखीय रीग्रेस्सन विश्लेषण तकनीक का प्रयोग किया गया। रीग्रेस्सन विश्लेषण द्वारा निर्गत प्रयुक्त जलविज्ञानीय चरों के परिणामों को पुनः सत्यापित करने हेतु एम के टेस्ट विधि को प्रयोग में लाया जाता है।

एम के टेस्ट non-auto सहसंबद्ध समय श्रेणी आंकड़ों के लिए उत्तम है। ऑटो–सहसंबद्ध आंकड़ों हेतु हमेड व राव (1977) द्वारा प्रस्तावित संशोधित एम के टेस्ट का उपयोग किया जाता है, जो कि सहसंबंध के मामले में अत्यंत प्रभावशाली है। यह समीकरण 5 में दिये गए S के संशोधित variance पर आधारित है।

$$V^*(S) = \text{var}(S)\frac{n}{n_s^*} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\frac{n}{n_s^*} \quad (6)$$

n/n_s^* n/n_2 के संस्तुत अनुमानित मान समीकरण (7) द्वारा दर्शाये गए हैं

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)\rho_s(i) \qquad (7)$$

यहाँ n प्रेक्षणों की वास्तविक संख्या है व $\rho_s^{(i)}$ प्रेक्षणों का function of the ranks का सहसंबंध है। समीकरण (6) द्वारा दिये गए अनुमान कितने सही हैं, n में वृद्धि के साथ इसमे सुधार का पता चलता है। सर्वप्रथम प्रेक्षणों के ranks $\rho_s^{(i)}$ के मध्य सहसंबंध का मूल्यांकन किया जाता है। प्रेक्षणों के ranks $\rho_s^{(i)}$ के मान को सदैव एक उचित non-parametric trend estimator (सेन, 1968) से घटा कर आकलन किया जाता है। समीकरण (5) की प्रकृति को देखते हुए, क्योंकि इसमे बहुत बड़ी संख्या में terms उपस्थित हैं, यह पाया गया की $\rho_s^{(i)}$ के असंगत मान आकलित S के variance की शुद्धता पर प्रतिकूल प्रभाव डालेंगे। अतः समीकरण (6) में $\rho_s^{(i)}$ के केवल सुसंगत मानों का उपयोग किया गया। इस गणना में शामिल किए जाने के लिए autocorrelation को एक उपयुक्त पूर्व निर्धारित महत्व स्तर की आवश्यकता द्वारा हासिल किया गया है जिसको शेष के समतुल्य माना जा सकता है।

प्रस्तुत अध्ययन में नॉन–पैरामेट्रिक एम के ट्रेंड टेस्ट व मोड़ीफ़ाईड एम के टेस्ट (हमेड व राव, 1997) के अनुप्रयोग से वर्षा के पुराने वार्षिक व मासिक रुझानों का अध्ययन किया गया जिनको आगामी खंडों में वर्णित किया गया है।

रुझानों का विश्लेषण व निष्कर्ष:

APHRODITE वैबसाइट से वर्तमान अध्ययन में प्रयुक्त 6 स्टेशन के दैनिक वर्षा के आंकड़ों को डाउनलोड किया गया व सभी 6 स्टेशन हेतु मासिक व वार्षिक वर्षा आंकड़ा श्रेणी बनाई गई। तत्पश्चात मान–केंडेल टेस्ट से पहले समय श्रेणी की randomness, autocorrelation व long–term persistence हेतु जांच की गई। जिस समय श्रेणी में की autocorrelation नहीं था उसमे रुझानों का पता करने हेतु मान–केंडेल टेस्ट द्वारा विश्लेषण किया गया, और अगर आंकड़ों में महत्वपूर्ण रूप से autocorrelation पाया गया तो हमेड व राव (1997) के सुझावनुसार मोड़ीफ़ाइड मान–केंडेल टेस्ट द्वारा विश्लेषण किया गया। इस अध्ययन में 6 ग्रिड पॉइंट्स (जिनको यहाँ स्टेशन कहा गया है) के वार्षिक व मासिक वर्षा आंकड़ों का विश्लेषण किया गया है जिसको सारणी संख्या 1 में प्रदर्शित किया गया है। चयनित 6 स्टेशनों में प्रत्येक के 37 वर्षों के आंकड़े उपलब्ध हैं। सभी स्टेशनों के लिए लीनीयर रिग्रेस्सन विश्लेषण किए गए। 6 स्टेशनों के वार्षिक वर्षा रुझानों के ग्राफीय प्रस्तुतीकरण को चित्र संख्या 2 में प्रदर्शित किया गया है।

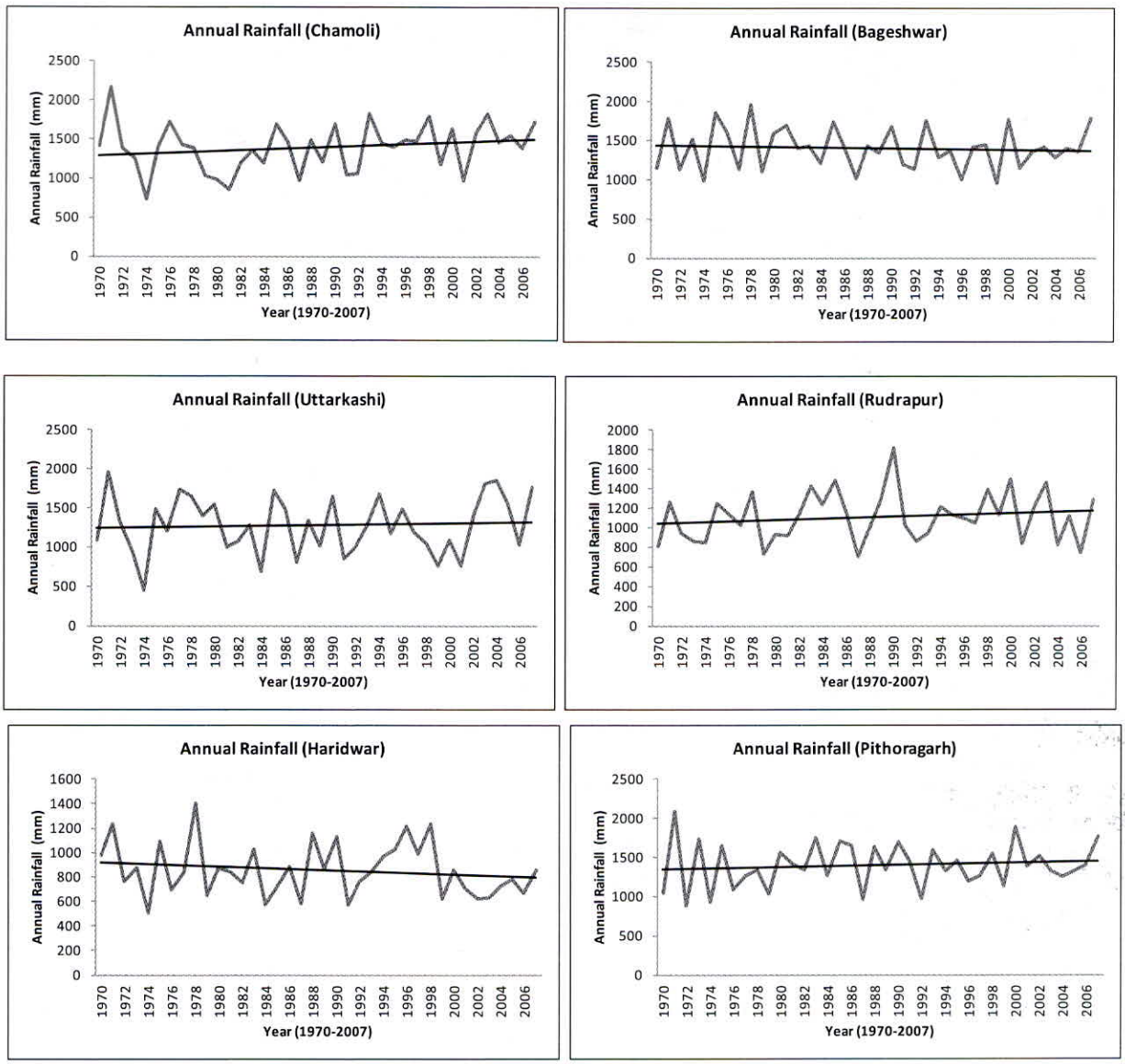
6 में से किसी भी स्टेशन पर वर्षा के वार्षिक रुझानों का विश्लेषण (सारणी 1) कोई सुसंगत रुझान प्रदर्शित नहीं करता है (5% सुसंगतता स्तर पर)। यद्यपि कुमाऊं मण्डल के वागेश्वर व पिथौरागढ़ स्टेशनों पर अप्रैल माह में मासिक वर्षा के रुझान वृद्धि की ओर इशारा करते हैं। गढ़वाल मण्डल के चमोली स्टेशन पर अगस्त माह में सांख्यिकीय रूप से सुसंगत वृद्धि के रुझान प्राप्त हुए हैं। उपरोक्त रुझानों के अतिरिक्त रिग्रेस्सन विश्लेषण द्वारा प्राप्त रुझान सभी स्टेशनों पर विभिन्न समय पर कभी वृद्धि तो कभी कमी दिखाते हैं पर ये रुझान सांख्यिकीय रूप से तर्कसंगत नहीं हैं।

सारणी 1 विभिन्न सीज़न में वर्षा आंकड़ों के रुझान

श्रेणी	स्टेशन	श्रेणी Auto-Correlated	मान–केंडेल टेस्ट सांख्यिकीय – Z	तर्कसंगत रुझान
वर्षिक	चमोली	नहीं	1.73	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	हाँ	(–) 1.48	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	0.25	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.85	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.98	कोई रुझान नहीं

	पिथौरागढ़	हाँ	0.64	कोई रुझान नहीं
जनवरी	चमोली	नहीं	(–) 1.16	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	(–) 0.3	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 1.66	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.53	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.13	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	(–) 0.33	कोई रुझान नहीं
फरवरी	चमोली	नहीं	0. 43	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	0.13	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	1.16	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.43	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	1.4	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	1.08	कोई रुझान नहीं
मार्च	चमोली	नहीं	(–) 0.03	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	0.13	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	0.73	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.38	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	1.18	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.05	कोई रुझान नहीं
अप्रैल	चमोली	नहीं	0.5	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	2.04	वृद्धि
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 0.83	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.91	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	0.63	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	2.11	वृद्धि
मई	चमोली	नहीं	1.06	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	0.15	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	1.26	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0.96	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	1.51	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.78	कोई रुझान नहीं
जून	चमोली	नहीं	(–) 0.05	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	(–) 0.7	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 0.78	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	(–) 0.08	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 1.18	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.05	कोई रुझान नहीं
जुलाई	चमोली	नहीं	(–) 0.13	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	(–) 0.88	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 0.15	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	0. 25	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.13	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.58	कोई रुझान नहीं
अगस्त	चमोली	नहीं	2.11	वृद्धि
	वागेश्वर	नहीं	0.43	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	0.18	कोई रुझान नहीं

	रूद्रपुर	नहीं	0.33	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.68	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.68	कोई रुझान नहीं
सितंबर	चमोली	नहीं	1.06	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	(–) 0.28	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	0.18	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	1.26	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	0.53	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.23	कोई रुझान नहीं
अक्तूबर	चमोली	नहीं	(–) 0.98	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	(–) 0.85	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 1.33	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	(–) 1.23	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.93	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	(–) 0.47	कोई रुझान नहीं
नवम्बर	चमोली	नहीं	(–) 0.09	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	0.0	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 0.53	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	(–) 0.59	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	0.51	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	0.01	कोई रुझान नहीं
दिसंबर	चमोली	नहीं	(–) 0.19	कोई रुझान नहीं
	वागेश्वर	नहीं	0.11	कोई रुझान नहीं
	उत्तरकाशी	नहीं	(–) 0.29	कोई रुझान नहीं
	रूद्रपुर	नहीं	(–) 0.23	कोई रुझान नहीं
	हरिद्वार	नहीं	(–) 0.55	कोई रुझान नहीं
	पिथौरागढ़	नहीं	(–) 0.15	कोई रुझान नहीं



चित्र सं 2: 37 वर्षों (1970–2007) के मध्य वार्षिक वर्षा के रुझान

निष्कर्ष:

हिमालय पर्वत जलवायु परिवर्तन के प्रति अत्यंत संवेदनशील हैं। वर्षा पद्धति में होने वाले किसी भी परिवर्तन का निचले इलाकों के धारा प्रवाह पर उच्च स्तरीय प्रभाव पड़ता है। हाल ही के समय में हिमालयी नदियों पर हिमनदों के पीछे हटने के प्रभाव देखे गए हैं। ये सब घटनाएँ उत्तराखंड राज्य में जलवायु परिवर्तन के पक्के संकेत हैं। यद्यपि मानव जनित घटनाओं के प्रभाव को भी नकारा नहीं जा सकता है। प्रस्तुत अध्ययन दैनिक वर्षा आंकड़ों के विश्लेषण पर आधारित है जिसमे सरल रेखीय रीग्रेस्सन एनालिसिस व non parameteric मान–केंडाल टेस्ट का उपयोग किया गया है। इन प्रयोगों से कुछ स्टेशन पर पिछले 37 वर्षों में सांख्यिकीय रूप से सुसंगत परिवर्तन साबित होते हैं।

विश्लेषणों द्वारा वार्षिक वर्षा में सभी स्टेशन पर कोई रुझान प्रदर्शित नहीं होते हैं। यद्यपि तीन स्टेशन पर मासिक वर्षा रुझानों में वृद्धि पायी गई। इस अध्ययन द्वारा प्राप्त निष्कर्षों से क्षेत्र की स्थानीय जलवायु पर जलवायु परिवर्तन के प्रभावों का अध्ययन करने की प्रेरणा प्राप्त होती है। इसके अलावा उत्तराखंड राज्य के वर्षा की पद्धति को विस्तार में समझने की आवश्यकता है जिसमें और भी ज्यादा स्टेशन के आंकड़े प्रयुक्त किए जाएँ एवं होने वाले जलवायु परिवर्तन प्रभावों को जल संसाधन के प्रबंधन व नियोजन में प्रयोग किया जा सके।

संदर्भः

ब्रासर, जी पी व रोकनर ई , 2005, इंपेक्ट ऑफ इम्प्रूव्ड एयर क्वालिटी ऑन द फ्यूचर इवोलुएसन ऑफ क्लाइमेट, जरनल ऑफ हायड्रोलॉजी। दिसंबर 2005।

बर्न, डी एच , व एलनूर एमएएच, 2002, डिटेक्सन ऑफ हायड्रोलोजीकल ट्रेंड्स व वेरियाबिलिटी, जरनल ऑफ हायड्रोलोजी, वॉल–255, पीपी 107–122 ।

डोरे, एमएचआई, 2005। क्लाइमेट चेंज व चेंजेस इन ग्लोबल प्रेसीपीटेसन पैटर्न्सः व्हाट डू वी नो ? एनवाइरनमेंटल इन्टरनेशनल। 31, 1167–1181।

गोसाईं, एके , राव एस व बसुरे, डी , 2006, क्लाइमेट चेंज इंपेक्ट असेसमेंट ऑन हायड्रोलोजी ऑफ इंडियन रिवर बेसिन्स । करेंट साइंस , 90, 346–353।

हमेड, के एच व राव, ए आर, 1998, ए मोडीफाईड मान–केंडेल ट्रेंड टेस्टफोर औटोकोरिलेटेड डाटा। जरनल ऑफ हायड्रोलोजी, वॉल–204, पीपी 182–196।

हमीद, टी , मारिनों, एम ए, डी व्रीस, जे जे, व ट्रेसी, जे सी, 1997, मेथड फॉर ट्रेंड डिटेक्सन इन क्लाइमेटोलोजिकल वेरिएब्ल्स, जरनल ऑफ हायड्रोलोजिकल इंजीनियरिंग, वॉल 4, 154–160।

हेलसेल, डी आर व हिर्स्च, आर एम, 1992, स्टेटिस्टिकल मेथड्स इन वॉटर रिसोर्सेस, एल्सेविएर, अमस्टर्डम , 522।

हेस्स, ए, अय्यर, एच व माम, डबल्यू , 2001, लिनियर ट्रेंड अनलाइसिसः ए कम्पेरिजन ऑफ मेथड्स, अटमोस. एंवाइरांमेंट वॉल 35, 5211–5222

आई पी सी सी (इंटर गवर्नमेंटल पैनल ऑन क्लाइमेट चेंज), 2007, ए आर–4, ।

केंडाल, एम जी, 1955, रेंक कोरिलेशन मेथड्स। ग्रिफिन, लंदन

कोठारी, यू सी व वी पी सिंह, 1996, रेनफाल एंड टेम्परेचर ट्रेंड्स इन इंडिया, हाइड्रोलोजिकल प्रोसेस, वॉल 10 इशू 3, 357–372।

लाल, एम , (2001), क्लाइमेटिक चेंज– इम्प्लीकेसन फॉर इंडियाज़ वॉटर रिसोर्सेस । जे. ऑफ इंडियन वॉटर रिसोर्सेस सोसाइटी, 21, 101–109 ।

मान्न, एच बी, (1945, नॉन पेरामेट्रिक टेस्ट अगेन्स्ट ट्रेंड। एकोनोमेट्रिका, वॉल 13, 245–259।

मोड्रेस्सा, आर व सिल्वा, वी पी आर, 2007। राइनफ़लल ट्रेंड्स इन एरिड व सेमी–एरिड रीजन्स ऑफ ईरान। जरनल ऑफ एरिड एनवाइरोनमेंट्स, वॉल 70, 344–355 ।

राजेन्द्रन, के व किटोह, ए, 2008, इंडियन समर मानसून इन फ्यूचर क्लाइमेट प्रोजेक्शन बी ए सुपर हाइ–रेजोलुसन ग्लोबल मॉडल। करेंट साइंस , 95, 1560–1569 ।

रूपा कुमार, के, पंत, जी बी, पार्थ सारथी , बी व सोंटक्के, एन ए, 1992, स्पाइटियाल व सब–सीजन पैटर्नस ऑफ द लॉन्ग टर्म ट्रेंड्स ऑफ इंडियन समर मॉनसून रेनफाल। इंटरनेशनल जरनल ऑफ क्लाइमेटोलोजी ,।

रूपा कुमार, के, सहाय, ए के, कुमार, के के, पटवर्धन, एस के, मिश्रा, पी के, रेवाडेकर, जे वी, कमला, के व पन्त, जी बी। 2006, हाइ–रेजोलुशन क्लाइमेट चेंज सेनेरिओज फॉर इंडिया फॉर 21स्ट सेंचुरी। करेंट साइंस , 90, 334–3454 ।।

सेन, पी के, 1968, इस्टिमेट्स ऑफ द रिग्रेसन कोएफ़िशिएंट बेस्ड ऑन केंडाल'स टौ। जरनल ऑफ द अमेरिकन स्टेटिस्टिकल एसोशिएसन , 63, 1379–1389 ।

सिंह, पी, कुमार, वी, थॉमस, टी, अंड अरोरा, एम, 2008 ए। चेंजेज इन रेनफाल एंड रिलेटिव हयूमीडिटी इन डिफरेंट रिवर बेसिन्स इन नॉर्थ वेस्ट एंड सेंट्रल इंडिया। हाइड्रोलोजिकल प्रोसेस, वॉल 22, 2982–2992 ।

सिन्हा, रे, के सी एंड दे, यू एस, 2003, क्लाइमेट चेंज इन इंडिया एज एविडेंस्ड फ्रॉम इन्स्ट्रमेंटल रेकॉर्ड्स। डब्ल्यूएमओ बुलेटिन, 52: 53–58।

श्रीवास्तव, एच एन,, सिन्हा, रे, के सी , दीक्षित, एस के, मुखोपाध्याय, आर के, 1998 । ट्रेंड्स इन रेनफाल एंड रेडिएशन ओवर इंडिया, वायु मण्डल , 41–45 ।

स्काफ़ेट्टा, एन एंड वेस्ट, बी। जे, 2005। एस्टिमेटेड सोलर कंट्रीबुशन टू द ग्लोबल सरफेस वार्मिंग युजिंग **ACRIM TSI** सेटेलाइट कोम्पोजीट। गेओ फ़िज़िकल रिसर्च लेटर्स 32, एल 18713 ।

शान यू, पी, यंग, टी सी एंड वू , सी के, 2002। इंपेक्ट ऑफ क्लाइमेट चेंज ऑन वॉटर रिसोर्सेस ऑन सदर्न ताइवान। जरनल ऑफ हायड्रोलोजी, वॉल–60, पीपी 161–175।

थपलियाल, व एंड कुलश्रेष्ठा एस एम, 1991। क्लाइमेट चेंजेस एंड ट्रेंड्स ओवर इंडिया, मौसम, 42, 333–338 ।

यतगी, ए, आरकवा, ओ, कमीगुच्च्वी, के, कवमोटों 1 ह, नोदजू 1 एम आई एंड हमादा, ए, 2009। ए 44 इयर डेलि ग्रिडेड प्रेसीपीटेसन डाटा सेट फॉर एशिया बेस्ड ऑन ए डेन्स नेटवर्क ऑफ रैन गैजेज । एसओएलए, वॉल 5, 137–140।

ज्हांग, क्यू, जियांग, टी, जेममेर, एम, एंड बेकर एस, 2005। प्रेसीपिटेशन, टेम्परेचर एंड रन ऑफ एनेलाइसिस फ्रॉम 1950–2002 इन द यांग्तज़े रिवर बेसिन, चाइना, हायड्रोलोजिकल साइंसेज, वॉल 50, न. 1, 65–79 ।