

# मध्य हिमालय पर पिघले पानी में ट्रेस तत्वों की सांद्रता: डोकोरियानी और गंगोत्री ग्लेशियर का एक केस अध्ययन

शीपिका सुन्दरियाल, राजेश सिंह

राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान, रुड़की  
ईमेल: sipikasundriyal18@gmail-com

## सारांश

मानवजनित और प्राकृतिक गतिविधियों के माध्यम से वायुमंडल में उत्सर्जित ट्रेस तत्व फैलते हुए, निचले इलाकों में पहुंच जाते हैं जिससे मानव स्वास्थ्य और पारिस्थितिकी तंत्र पर गंभीर प्रभाव डालते हैं। हालांकि, डेटा की कमी के कारण, स्पष्ट रूप से ट्रेस तत्व की गतिशीलता और उच्च ऊंचाई पर पारिस्थितिकीतंत्र को प्रभावित करने की इसकी क्षमता पर कम ध्यान दिया गया है। हिमालय के दक्षिणी ढलान में वायुमंडलीय जमाव में ट्रेस तत्वों की जांच करने के लिए, हमने हिमनद के निर्वहन स्थलों (डोकोरियानी: 3230 masl और गंगोत्री: 3775 masl) से पानी के नमूने वर्ष 2014 से 2018 तक एकत्रित किये गये हैं और इनमें Zn, Cu, Fe, Cd, Cr, Mn, Sr, Ni, Pb, Al, As तथा Co धातुओं की संकेंद्रण की जांच की गई। गंगोत्री हिमनद के मेल्टवाटर में मानक माध्य त्रुटि Zn =1.90 ppb, Fe= 5.44 ppb, Sr =1.92 ppb, Al= 1.27 ppb, Ni= 0.95, Mn= 5.11 ppb Co=0.51 ppb बाकि के धातुओं की कंसंट्रेशन 0 से नीचे पाई गई। वहीं डोकोरियानी हिमनद में मान के माध्य त्रुटि Zn=33.03 ppb, Cu=3.64 ppb, Al=7.1 ppb, Fe=6.95 ppb, Mn=0.93 ppb, Cr=22.58 ppb पायी गई। एनरिचमेंट विश्लेषण से इस बात का प्रमाण मिलता है कि डोकोरियानी हिमनद में Co, Cr, Sr, Zn, Ni अन्य मेटल की तुलना से अधिक पाए गए। वहीं गंगोत्री हिमनद में Co, Cr, Sr, Zn, Ni, Mn की अधिक एनरिचमेंट है जिससे इस बात की पुष्टि होती है कि इस तरह के उच्च संवर्धन एन्थ्रोपोजेनिक उत्सर्जन या क्रिस्टल उत्सर्जन से संबंधित हो सकते हैं।

**कीवर्ड :** पारिस्थितिकी तंत्र, मानवजनित, प्राकृतिक, ट्रेस धातु, डोकोरियानी, गंगोत्री हिमनद, मानव विज्ञानी।

## परिचय

वायुमंडलीय प्रदूषकों का तेजी से आर्थिक विकास और रिलीज प्राकृतिक पर्यावरण के क्षरण के लिए संयुक्त रूप से प्रभाव पैदा कर सकता है (Mearns et al., 2018; Zdanowicz et al. 2015)। हिमालय का नाजुक पारिस्थितिकी तंत्र हवा, पानी और मिट्टी से आसानी से प्रभावित होता है (Pecher 1994)। गीले वर्षा के माध्यम से वायुमंडल में मौजूद ये तत्व पारिस्थितिकी तंत्र के स्वास्थ्य के लिए खतरनाक हो सकते हैं। (Iqbal and Shah 2013; Paudyal et al., 2016)। ये ट्रेस मेटल किडनी, स्किन, आंत, गुर्दे और मस्तिष्क आदि रोगों के रूप में स्वास्थ्य पर गंभीर प्रभाव डालते हैं। समय के साथ, एन्थ्रोपोजेनिक गतिविधियों ने पर्यावरण में विषाक्त प्रदूषकों में काफी वृद्धि की है। प्राकृतिक और मानवजनित दोनों स्रोतों से व्युत्पन्न ट्रेस मेटल्स और मैटलोइड्स वायुमंडलीय साइकलिंग में एक प्रमुख भूमिका निभाते हैं (Nriagu, 1989)। ये प्रक्रियाएं हिमनद प्रणाली (Mphayaya et al., 2004; Li et al., 2007) को प्रभावित करने वाले स्थानीय और साथ ही वायुमंडलीय प्रदूषकों के क्षेत्रीय परिवहन के बारे में जानकारी देती हैं। इसलिए, प्राचीन हिमनद क्षेत्र में सांद्रता, मौसमी विविधता और इन तत्वों के परिवहन तंत्र और उनके रासायनिक चक्र को समझना आवश्यक है। विश्वस्तर पर, औद्योगिक उत्सर्जन से जारी TEs जमाव का स्वरूप, जीवाश्म ईंधन का जलना, असंतुलित सीसा, और ज्वालामुखी विस्फोट, पूरे पारिस्थितिकतंत्र को प्रभावित करने वाले TEs के वायुमंडलीय सांद्रता को प्रभावित करते हैं। यह न केवल मानव स्वास्थ्य को प्रभावित करता है, बल्कि मिट्टी, पानी, भोजन और पर्यावरण के साथ भी संबंध रखता है, जो सामाजिक-आर्थिक (मिट्टी, पानी, भोजन) और भौतिक-रासायनिक प्रतिक्रियाओं (आहार के प्रकार, आय स्तर, रसोई) के साथ निकटता से जुड़ा हुआ है मुख्य रूप से, ट्रेस धातुएं चट्टान से पर्यावरण में छोड़ी जाती हैं, मिट्टी और पानी के साथ मिश्रित हो जाती हैं, जिससे कृषि और जलीय पारिस्थितिकी तंत्र (Delpla et al., 2009) प्रभावित होते हैं। उच्च ऊंचाई वाले क्षेत्रों से जलनिकासी स्रोतकृषि, उद्योगों के साथ-साथ घरेलू क्षेत्रों को नियंत्रित करता है। ऐसी परिस्थितियों में, यह संभव है कि हिमनद वाले क्षेत्रों से निकाले गए पानी में ट्रेस तत्व प्रदूषकों को छोड़ने का जोखिम बढ़ जाए। यह नदी के रसायन विज्ञान को गंभीर रूप से प्रभावित कर सकता है और पर्यावरण और पारिस्थितिकी तंत्र के स्वास्थ्य (Delpha et al., 2009) पर महत्वपूर्ण प्रभाव डाल सकता है। विभिन्न अध्ययनों की समीक्षा से पता चलता है कि, तिब्बती पठार (Huang et al., 2013 a; Wu et al., 2010; Li et al., 2007), Arctic (Krachler et al., 2008) पर हिम रसायन पर काफी काम किया गया है, आर्कटिक में (Krachler et al., 2008), अंटार्कटिका (Planchon et al., 2002) ग्रीनलैंड (Barbante et al., 2001, 2003), और नेपाल (Tripathy et al, 2014)। हालांकि, पहुँचने में कठिनाई, कठोर जलवायु



परिस्थितियों सहित विभिन्न कारणों से हिमालय के हिमनद में ऐसे अध्ययनों की कमी है, जो हिमालय के इन उच्च ऊंचाई वाले क्षेत्रों में डेटा के संग्रह में बाधा डालते हैं। वर्तमान अध्ययन में, ट्रेस तत्व परिवहन और निक्षेप को निर्धारित करने का प्रयास किया गया है। यह अध्ययन हिमालय के ऊंचाई वाले क्षेत्रों में ट्रेस धातुओं का आधारभूत डेटा प्रदान करता है।

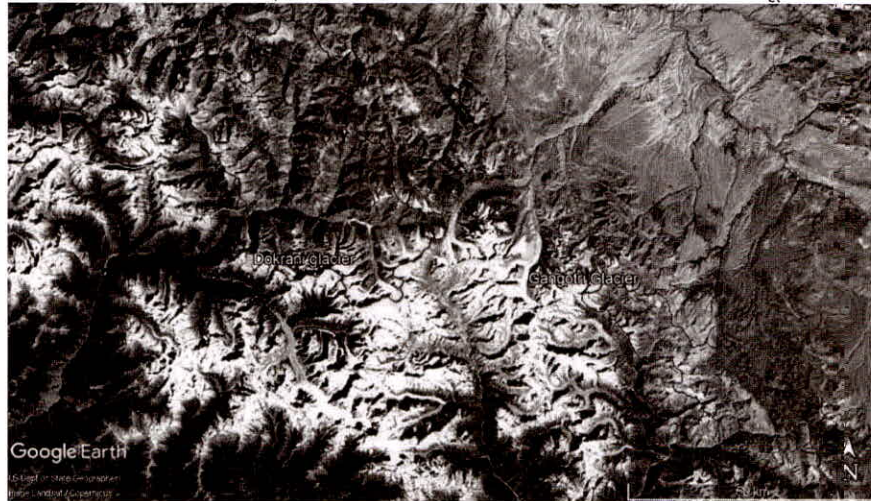
## 1. अध्ययन क्षेत्र

### डोकरियानी हिमनद

डोकरियानी हिमनद मध्य हिमालय में दीनगढ़ बेसिन में घाटी के प्रकार हिमनद है। यह हिमनद 30°85' N अक्षांश और 78°82' E देशांतर के बीच स्थित है जो 3940–6200 मीटर की ऊंचाई के साथ है (चित्र .1) यह एक उत्तर-पश्चिमी घाटी प्रकार का हिमनद है, जो दो सिरिकों (द्रौपदी का डंडा और जौनली की चोटी) (Dobhalet et al., 2010) से उत्पन्न होता है। इसमें ~4.7 किमी<sup>2</sup> संचय क्षेत्र, ~1.9 किमी<sup>2</sup> अभ्यारण क्षेत्र और 5.4 किमी लंबाई (Shukla et al., 2018) है। डोकरियानी हिमनद में जलवायु मुख्य रूप से मानसून के मौसम के दौरान भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून (ISM) से प्रभावित होती है। सर्दियों की वर्षा मुख्य रूप से पच्छिमी हवाओं (Bookhagen and Burbank., 2010) द्वारा नियंत्रित की जाती है, हिमनद की वार्षिक एक्विलिब्रियम लाइन अलटीट्यूड लगभग 4055 masl पर स्थित है। अधिकतम मासिक औसत हवा का तापमान 11.4 °C और न्यूनतम 2.3°C (Shukla et al., 2018) दर्ज किया गया है, और क्षेत्र में वर्षा ~1200 मिमी है। भू वैज्ञानिक रूप से, क्षेत्र मेटामॉर्फिक और ग्रेनाइट चट्टानों के क्षेत्र में आता है और दो प्रमुख जोर (Yin; 2006) से घिरा हुआ है।

### गंगोत्री ग्लेशियर

गंगोत्री हिमनद उत्तराखंड के सबसे बड़े हिमनद में से एक है। यह उत्तर-पश्चिम की ओर बहने वाला यौगिक प्रकार का हिमनद है और अनुदैर्घ्य यू के आकार की घाटी में स्थित है। हिमनद अक्षांश 30°43'20" N और देशांतर 78°59'42" E के बीच स्थित है। गोमुख के रूप में जाना जाने वाला गंगोत्री हिमनद का snout 4000 मीटर a.s.l (Arora, 2008) की ऊंचाई पर है। गंगोत्री हिमनद घाटी कई छोटे और बड़े हिमनद की एक मण्डली है। गंगोत्री 30.2 किमी लंबा हिमनद है जो 286 किमी के क्षेत्र को कवर करता है। लगभग 4–5 किमी के हिमनदों के अपक्षय क्षेत्र में भारी मलबा है, जो कोर पृथक्करण क्षेत्र में व्यापक supraglacial चैनल प्रणाली की संभावनाओं को सीमित करता है। इस हिमनद में तीन प्रमुख सहायक हिमनद हैं यानि कीर्ति हिमनद, रक्तवन हिमनद और चतुरंगी हिमनद (Singh et al, 2006; 2011)। गोमुख में snout तक हिमनद का बेसिन क्षेत्र 513 km<sup>2</sup> है जो भोजवासा में 556 km<sup>2</sup> तक और गंगोत्री में 691 km<sup>2</sup> है, जो गनोट्री में हिमनद कवर का प्रतिनिधित्व 60%, भोजवासा में 51.4% और गंगोत्री में 53.52% है (Arora, 2008)। गंगोत्री हिमनद के निकट भोजवासा में औसत वर्षा लगभग 221 मिलीमीटर है। कुल पृथक मौसम की वर्षा क्रमशः 193.6 से 279.2 mm थी। गर्मियों के मौसम में औसत दैनिक अधिकतम और न्यूनतम तापमान 15.7°C और 4.7 °C है। गर्मियों के मौसम के दौरान दैनिक धूप का समय 4.7 घंटे माना जाता है। भूगर्भीय रूप से, गंगोत्री प्रणाली में क्वार्ट्जाइट, फाइलाइट, टूमलाइन ग्रेनाइट, माइका विद्वान, सेरीसाइट विद्वान, सल्फाइड खनिज जैसे आर्सेनोपाइराइट्स, पाइराइट, क्लोकोपॉइट, और बारीक दानेदार चूना पत्थर शामिल हैं।



चित्र 1 : डोकरी और गंगोत्री ग्लेशियर का अध्ययन क्षेत्र, मध्य हिमालय, भारत।

### विश्लेषणात्मक प्रक्रिया

हमने दोनों हिमनद में पिघले हुए पानी के नमूनों को मई (जून से जून) में एकत्र किया। पिघले हुए पानी के नमूनों को हड़ताली नमूना विधि का उपयोग करके एकत्र किया गया और तुरंत हाथ से संचालित वैक्यूम पंप द्वारा 0.45 μm झिल्ली



फिल्टर के माध्यम से फिल्टर किया गया। पानी के तापमान, पीएच और विद्युत चालकता जैसे सभी भौतिक मापदंडों को नमूने के समय मापा गया था। फिल्टर किए गए पानी के नमूनों को प्रयोगशाला में लाया गया और विश्लेषण तक 3<sup>0</sup>C तापमान बनाए रखते हुए फ्रिज में रखा गया। फिल्टर किए गए नमूनों के हाइड्रो-केमिकल विश्लेषण को मेट्रोहम बनाने के लिए आयन क्रोमैटोग्राफ (आईसी) मॉडल 930 (पिंजरो और आयनों के लिए) और पोर्टेबिलिटीमेट्रिक ऑटो टाइट्रेटर मॉडल 888 प्रणाली (बाइकार्बोनेट के लिए) का उपयोग किया गया।

### परिणाम और चर्चा

गंगोत्री ग्लेशियर के मेल्टवाटर में standard mean error इस प्रकार है, Zn =1.90 ppb, Fe= 5.44 ppb, Sr =1.92 ppb, Al= 1.27 ppb, Ni= 0.95, Mn= 5.11 ppb Co =0.51 ppb बाकि के धातुओं की कंसंट्रेशन 0 से नीचे पाई गई। वहीं डोकरीयानी ग्लेशियर में standard mean error Zn =33.03 ppb, Cu=3.64 ppb, Al=7.1 ppb, Fe=6.95 ppb, Mn=0.93 ppb, Cr=22.58 ppb पायी गई।

तालिका 1 : वर्ष 2014–2018 से डोकरी और गंगोत्री ग्लेशियर के निर्वहन स्थल के पिघले पानी का हाइड्रोकेमिकल डेटा

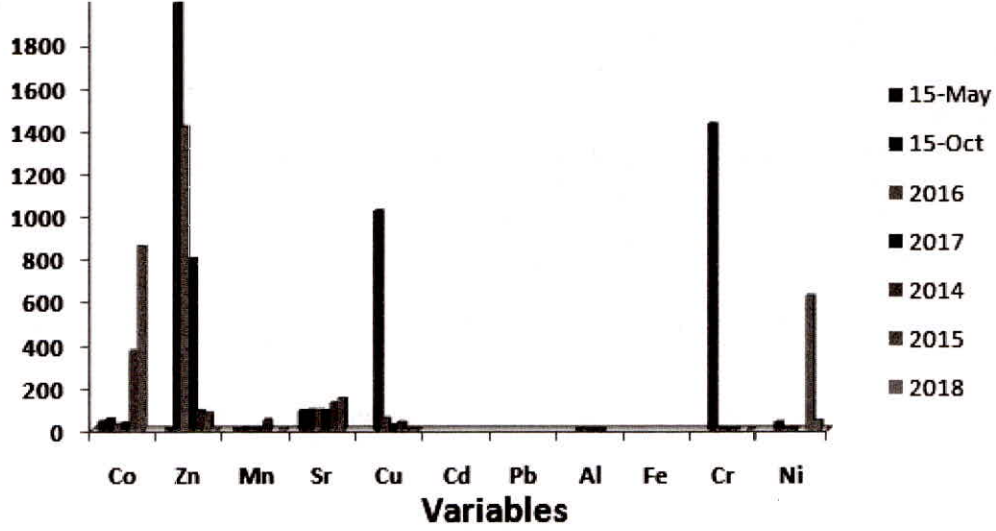
गंगोत्री		डोकरी	
Elements	SME	Elements	SME
Cd	0.00	Co	0.08
Cr	0.05	Zn	33.03
Cu	0.10	Sr	0.87
Mn	5.11	Cu	3.64
Ni	0.95	Pb	0.00
Pb	0.03	Al	7.92
Zn	1.90	Cd	0.13
Fe	5.44	Fe	6.95
Co	0.51	As	0.02
Sr	1.92	Ni	0.11
As	0.02	Mn	0.93
Al	1.27	Cr	22.58

### क्रस्टल संवर्धन कारक

तात्विक एकाग्रता में संवर्धन कारक (EF) की गणना अध्ययन का एक अभिन्न अंग है। हिमनद से एकत्र किए गए पानी के नमूनों में क्रस्टल तत्वों के योगदान की व्याख्या करने के लिए इसका संभावित रूप से उपयोग किया जाता है। EF को क्रस्टल तात्विक एकाग्रता (जैसे, Al, Fe) के लिए एल-मेंट के एकाग्रता अनुपात के रूप में परिभाषित किया गया है। किसी तत्व की संरचना में सापेक्ष क्रस्टल संवर्धन को निर्धारित करने के लिए, हमने संदर्भ सामग्री के रूप में उच्च हिमालयी क्रिस्टलीय (HHC) चट्टानों की हिमनदीय क्षेत्र पर मलबे के रूप में मौजूद प्रमुख चट्टान प्रकार का उपयोग किया; इस प्रयास ने वर्षा में प्राकृतिक क्रस्टल और मानवजनित स्रोतों के सापेक्ष प्रभावों की मात्रा की संभावना को अधिकतम किया। EF की गणना निम्नानुसार की जाती है।

$$EF(x) = (C_x/C_r)_{precipitation} / (C_x/C_r)_{crust} \text{----- eq. 1}$$

यहाँ, x तत्व को दर्शाता है और r संदर्भ मेटेरियल की एकाग्रता को दर्शाता है। वर्षा और क्रस्ट सदस्यता गीली वर्षा के नमूनों और क्रमशः औसत क्रस्टल तत्व को संदर्भित करती है (Kang et al, 2010)। हमने Fe का उपयोग संदर्भ तत्व के रूप में क्रस्टल चट्टानों में प्रचुरता और संदूषण मेल के अभाव के कारण किया। व्याख्या इस विचार पर आधारित है कि 0.1 और 10 के बीच के मान स्थानीय मिट्टी या चट्टानों की रचना के संवर्धन से थोड़ा प्रभावित होते हैं या नहीं। इसके विपरीत, 10 और 100 के बीच के मूल्यों को मामूली रूप से समृद्ध माना जाता है और संकेत मिलता है कि प्राकृतिक या मानवजनित स्रोत वर्षा में योगदान करते हैं। इसके अलावा, 100 से अधिक मूल्यों को विशेष तत्व के अत्यधिक समृद्ध के रूप में वर्गीकृत किया गया है, और ईएफ के उच्च मूल्यों के साथ संदूषण का स्तर बढ़ जाता है (Tripathy et al, 2014)।



चित्र 2 : डोकरीयानी और गंगोत्री ग्लेशियर का समृद्ध जल।

### जलवायु परिवर्तन और मानव स्वास्थ्य पर इसका प्रभाव

जलवायु परिवर्तन और मानव स्वास्थ्य पर इसका प्रभाव मानव स्वास्थ्य के लिए TEs की उपस्थिति का परिप्रेक्ष्य इसके दो प्रमुख भागों में विभाजित होने के बाद वैध हो सकता है, अर्थात्, प्रमुख और मामूली। मामूली TE वे हैं जो कम मात्रा में आवश्यक हैं; TE की अत्यधिक मात्रा के संचय से स्वास्थ्य संबंधी गंभीर समस्याएँ हो सकती हैं, (Prashanth et al., 2015; Plum et al., 2010)। जलवायु परिवर्तन का खाद्य वेब और खाद्य सुरक्षा पर एक उल्लेखनीय प्रभाव पड़ेगा, जो सीधे मानव स्वास्थ्य को प्रभावित करता है। विश्व स्वास्थ्य संगठन (WHO) के अनुसार, पर्यावरण में प्रत्येक तत्व की अनुमेय और वांछनीय सीमाएँ हैं। क्षेत्रीय और साथ ही इन तत्वों के वैश्विक अंतर जैसे Zn, Cr, Pb, Co और Cu मानव आहार में स्वास्थ्य को प्रभावित करते हैं, और ये प्रभाव आमतौर पर कुपोषण और स्थानीय खाद्य उत्पादों पर निर्भरता के कारण बाद में अधिक स्पष्ट होते हैं। वर्तमान अध्ययन उच्च-ऊँचाई वाले हिमालयी क्षेत्र में पहुँचाए गए वायुमंडलीय प्रदूषकों में Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, Sr, इत्यादि की उच्च सांद्रता की उपस्थिति को रेखांकित करता है, जो हमारे विचार में आवर्ती जनसंख्या के लिए एक प्राथमिक चिंता का विषय होना चाहिए। उत्तराखंड में इन विषैले तत्वों के लिए मनुष्यों के लंबे समय तक संपर्क में कार्सिनोजेनिक, साथ ही साथ परिधीय तंत्रिका तंत्र और संचार प्रभाव हो सकते हैं। उत्तर भारत के पहाड़ी क्षेत्रों के सर्वेक्षण के अनुसार, यह बताया गया था कि त्वचा के नीचे के ऊतकों को नुकसान पहुंचाने वाले कुल 32.6% मामले सामने आते हैं, जिनमें से 19.8% त्वचा विकार से होते हैं, जबकि 18.8% त्वचाशोथ और एक्जिमा से होते हैं (Dimeri et al, 2016)। यह संभवतः Zn और Cd से दूषित पेयजल आपूर्ति के कारण हो सकता है, जो संभवतः त्वचा से संबंधित मुद्दों के लिए जाना जाता है। इस क्षेत्र में Zn की उच्च सांद्रता एपिडर्मिस, डर्मिस और त्वचा कैंसर की समस्याओं का कारण बनती है, जबकि, जिंक टेलोजेन इफ्लुवियम की कमी, असामान्य बालों के राटिनाइजेशन, नेक्रोलिटिक माइग्रेटरी एरिथेमा, पेलैग्रा, और बायोटिन की कमी (ओगावा एट अल., 2018)। अन्य तत्वों की उच्च सांद्रता भी गंभीर स्वास्थ्य मुद्दों का कारण बन सकती है। इसलिए, ट्रेस धातुओं से जुड़ी इस विषाक्तता को अनदेखा करने से गंभीर स्वास्थ्य संबंधी समस्याएँ हो सकती हैं, विशेषकर उन बच्चों में जो इस तरह की बीमारियों के लिए कम प्रतिरक्षा के कारण प्रभावित होते हैं। इसके अलावा, संक्रामक रोगों का प्रभाव उन क्षेत्रों में अधिक गंभीर होने की संभावना है जहां पीड़ित असंतुलित आहार से होता है। पिछले कुछ दशकों के दौरान, रासायनिक उर्वरकों, सिंचाई और मशीनीकरण की संख्या में अचानक वृद्धि से प्रतिकूल प्रभाव पैदा हुआ है। खाद्य आपूर्ति को सुरक्षित करने और हानिकारक संक्रामक रोगों और प्राकृतिक चक्र में असंतुलन से आगे के नकारात्मक प्रभाव को रोकने के लिए, इन संभावित विषाक्त तत्वों और उनके उत्पादन के उपयोग को रोकना या कम करना आवश्यक है। समग्र परिणाम यह दर्शाता है कि TEs से संबंधित समस्या संभावित रूप से अधिक हैं, और विवरण में इन समस्याओं को समझने के लिए पहचान करने के लिए आगे दीर्घकालिक शोध की आवश्यकता है। अंततः, हिमालयी क्षेत्रों के लिए TEs प्रदूषण में कमी पर नीतियों को डिजाइन और कार्यान्वित करने के लिए अधिक मजबूत डेटा की आवश्यकता होती है।



## निष्कर्ष

यह अध्ययन दोनों ग्लेशियर के पिघले पानी में TE पर डेटासेट प्रस्तुत करता है और संभावित स्रोतों की पहचान उत्तराखण्ड के मध्य हिमालयी क्षेत्र में TEs के लिए की गई। हमारा अध्ययन गैर-मानसून और मानसून के बाद सीजन में Zn, Al, Si, Fe, Cr, Ni की उच्च सांद्रता की उपस्थिति पर प्रकाश डालता है। इसके विपरीत, मानसून के मौसम के दौरान Zn, Cu, Al और Fe के लिए उच्च सांद्रता देखी गई। परिणाम मानसून के मौसम में गैर-मानसून सीजन की तुलना में टीई की एकाग्रता में एक प्रमुख वृद्धि का संकेत देते हैं; Zn, Cr, Co, Ni, और Mn के लिए अत्यधिक समृद्ध मूल्यों के साथ। हालांकि, गैर-मानसून के मौसम में Zn, Cu, Co, और Ni की उच्च सांद्रता पाई गई। समृद्ध TEs एंथ्रोपोजेनिक उत्सर्जन, परिवहन और ग्लेशियरों पर ट्रेस धातुओं के जमाव के कारण होता है, जो ज्यादातर दक्षिण एशियाई क्षेत्रों से जीवाश्म ईंधन, धातु उत्पादन और औद्योगिक प्रक्रियाओं के दहन से उत्पन्न होता है।

## Reference

- Mearns, A. J., Reish, D. J., Bissell, M., Morrison, A. M., Rempel-Hester, M. A., Arthur, C., Pryor, R. 2018. Effects of pollution on marine organisms. *Water Environ. Res.* 90(10), 1206-1300
- Pecher, K. 1994. Hydrochemical analysis of spatial and temporal variations of solute composition in surface and subsurface waters of a high arctic catchment. *Catena.* 21(4), 305-327.
- Nriagu, J. O., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature.* 338(6210), 47.
- Mphepya, J. N., Pienaar, J. J., Galy-Lacaux, C., Held, G., Turner, C. R., 2004. Precipitation chemistry in semi-arid areas of Southern Africa: a case study of a rural and an industrial site. *J. Atmosph. Chem.* 47(1), 1-24.
- Li, C., Kang, S., Zhang, Q., & Kaspari, S., 2007. Major ionic composition of precipitation in the Nam Co region, Central Tibetan Plateau. *Atmosph. Res.* 85(3-4), 351-360.
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O., 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environ. International.* 35(8), 1225-1233.
- Huang, J., Kang, S., Zhang, Q., Guo, J., Chen, P., Zhang, G., & Tripathee, L., 2013a. Atmospheric deposition of trace metal/trace metals recorded in snow from the Mt. Nyainqêntanglha region, southern Tibetan Plateau. *Chemosphere.* 92(8), 871-881.
- Wu, G., Zhang, X., Zhang, C., Gao, S., Li, Z., Wang, F., & Wang, W., 2010. Concentration and composition of dust particles in surface snow at Urumqi Glacier No. 1, Eastern Tien Shan. *Global Planet. Chang.* 74(1), 34-42.
- Krachler, M., Zheng, J., Fisher, D., Shotyk, W., 2008. Atmospheric Sb in the Arctic during the past 16,000 years: Responses to climate change and human impacts. *Global Biogeochem. Cycles.* 22(1).
- Planchon, F. A., Boutron, C. F., Barbante, C., Cozzi, G., Gaspari, V., Wolff, E. W., Cescon, P., 2002. Changes in heavy metals in Antarctic snow from Coats Land since the mid-19th to the late-20th century. *Earth Planet. Sci. Lett.* 200(1-2), 207-222.
- Barbante, C., Boutron, C., Morel, C., Ferrari, C., Jaffrezo, J. L., Cozzi, G., Cescon, P. 2003. Seasonal variations of heavy metals in central Greenland snow deposited from 1991 to 1995. *J Environ. Monit.* 5 (2), 328-335.
- Barbante, C., Schwikowski, M., Döring, T., Gäggeler, H. W., Schotterer, U., Tobler, L., Rosman, K., 2004. Historical record of European emissions of heavy metals to the atmosphere since the 1650s from Alpine snow/ice cores drilled near Monte Rosa. *Environ. Sci. Technol.* 38(15), 4085-4090.
- Tripathee, L., Kang, S., Huang, J., Sharma, C. M., Sillanpää, M., Guo, J., Paudyal, R., 2014. Concentrations of trace metal/trace metals in wet deposition over the central Himalayas, Nepal. *Atmos. Environ.* 95, 231-238.
- Dobhal, D. P., Mehta, M. 2010. Surface morphology, elevation changes and terminus retreat of Dokriani Glacier, Garhwal Himalaya: implication for climate change. *Himalayan Geology.* 31(1), 71-78.
- Shukla, T., Sundriyal, S., Stachnik, L., & Mehta, M. (2019). Carbonate and silicate weathering in glacial environments and its relation to atmospheric CO<sub>2</sub> cycling in the Himalaya. *Annals of Glaciology*, 59(77), 159-170.
- Bookhagen, B., Burbank, D. W., 2010. Toward a complete Himalayan hydrological budget: Spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge. *J Geophys. Res: Earth Surface.* 115(F3).

- Yin, A., 2006. Cenozoic tectonic evolution of the Himalayan orogen as constrained by along-strike variation of structural geometry, exhumation history, and foreland sedimentation. *Earth-Sci. Review.* 76(1-2), 1-131.
- Heim, A., Gansser, A., 1939. *Central Himalaya.* Hindustan Publishing; Delhi.
- Arora, M., Singh, P., Goel, N. K., Singh, R. D. 2008. Climate variability influences on hydrological responses of a large Himalayan basin. *Water resources management*, 22(10), 1461-1475.
- Singh, V. B., Ramanathan, A. L., Pottakkal, J. G., Kumar, M. 2014. Seasonal variation of the solute and suspended sediment load in Gangotri glacier meltwater, central Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79, 224-234.