डॉ. अश्विनी रानडे

वैश्विक जलवायु परिवर्तन का मानसून वर्षा पर प्रभाव

भारतवर्ष की जल-मौसमविज्ञानीय योजना एवं प्रबंधन उष्णकटिबंधीय मानसूनी जलवायु से अत्यधिक प्रभावित है जिसके परिणामस्वरूप, ग्रीमकालीन मानसून, इसके निष्पादन में मुख्य भूमिका प्रदान करता है। औपनिवेशिक युग के दौरान, भारतीय अर्थव्यवस्था को भारतीय बजट के लिए ''मानसून वर्षा एक जुआ'' के रूप में वर्णित किया गया था। कई दशकों के विकास के बाद भी, मानसून अपने महत्वपूर्ण प्रभावों के कारण कृषि, खाद्य सुरक्षा और देश की अर्थव्यवस्था का केंद्र है। यद्यपि दक्षिण-पश्चिम मानसून (जून-सितंबर) द्वारा देश के अधिकांश भागों में वार्षिक वर्षा की लगभग 70-90% तक वर्षा होती है, तथापि सीमित सिंचाई सुविधाओं के कारण, लगभग 64% भारतीय किसान अपनी आजीविका के लिए वर्षा आधारित कृषि पर निर्भर हैं। एक श्रेष्ठ मानसून भारत के 81 प्रमुख जलाशयों को पुनःपूरित करने में महत्वपूर्ण भूमिका प्रदान करता है, जो कृषि सिंचाई, विद्युत उत्पादन और पेयजल आपूर्ति में सहायक सिद्ध होता है।

विगत कुछ दशकों में, वैश्विक वायुमंडल की विषम तापमान वृद्धि ने जलवायु तंत्र में महत्वपूर्ण परिवर्तन किये हैं, जिनका सीधा प्रभाव वर्षा के वितरण और जल संसाधनों पर पड़ा है। वैश्विक तापमान में माध्य वृद्धि और अनियमित मानसूनी गतिविधियां, जैसे कि अत्यधिक वर्षा, सूखा, और असमान वर्षा वितरण, जल संकट को बढ़ावा देने वाले प्रमुख कारक हैं। विश्व मौसमविज्ञान संगठन (WMO) प्रत्येक वर्ष विश्व के महत्वपूर्ण मौसम और जल संबंधी चुनौतियों पर ध्यान केंद्रित करने हेतु एक विशिष्ट विषय का चयन करता है जैसे इस वर्ष के लिए विश्व मौसमविज्ञान संगठन द्वारा चयनित विषय 'At the front line of climate action' है, जिसका उद्देश्य जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को कम करने के प्रयासों को प्रोत्साहित करना है। इस विषय पर तत्काल कार्रवाई किया जाना आवश्यक है जिससे जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को कम किया जा सके। इस विषय में जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों को समझने के लिए, उनकी कमजोरियों का आंकलन करने और उचित नीतियों के विकास के माध्यम से उन्हें कम करने की आवश्यकता शामिल है। हमें इस दिशा में अविरत विकास लक्ष्यों के अंतर्गत, निर्णायक कदम उठाने का संकल्प लेना होगा।

''जलवायु परिवर्तन पर अन्तः शासकीय पैनल'' (IPCC) ने यह उल्लेख किया है कि भारतीय उपमहाद्वीप को तीव्र जलवायु परिवर्तनशीलता, बढ़ते तापमान और वर्षा में उल्लेखनीय कमी के कारण कड़ी चुनौतियों का सामना करना पड़ सकता है, जिससे वैश्विक स्तर पर कुछ क्षेत्रों में जल संकट पैदा हो सकता है। वैश्विक जलवायु निर्देशों से प्राप्त जानकारी दर्शाती है कि जैसे-जैसे जलवायु ऊष्ण होगी, जल चक्र में तेजी आयेगी, जिसके परिणामस्वरूप बाढ़ और सूखे की चरम घटनाओं की पद्धति में परिवर्तन दृष्टिगोचर होंगे। IPCC की विशेष रिपोर्ट, वैश्विक उष्णता में 1.5°C वृद्धि में से, वैश्विक तापमान में 1°C वृद्धि के लिए मानव गतिविधियों को उत्तरदाई मानती है। रिपोर्ट यह भी दर्शाती है कि अगले दशक में ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन में महत्वपूर्ण कटौती किये जाने से 0.5°C की अतिरिक्त तापमान वृद्धि को रोका जा सकता है। वैश्विक तापमान वृद्धि को अब एक वास्तविकता मानकर व्यापक रूप से स्वीकार किया जा रहा है, और जल संसाधनों और जलविज्ञान चरम घटनाओं पर जलवायु परिवर्तन के प्रभाव का आंकलन करने के लिए अनेक अध्ययन किए गए हैं।

हाल के दशकों में वैश्विक

क्षोभमंडलीय-तापमान संरचनाएं दर्शाती हैं कि वैश्विक तापमान वृद्धि पूरे ग्रह पर समान नहीं है। क्षोभमंडल वायुमंडल की सबसे निचली परत है, जहाँ अधिकांश मौसमीय घटनाएं होती हैं। इन तापमान परिवर्तनों को वर्षा पद्धति में परिवर्तन के साथ सम्बद्ध किया गया है। शुष्क मानसून वर्ष में भी, तीव्र वर्षा की घटनाएं, भारी बाढ़ और आपदाओं का कारण बन सकती हैं। ऐसी घटनाएं, अधिकांशतः तिब्बत और तुर्की क्षेत्रों के मध्य ऊपरी क्षोभमंडल में असामान्य तापमान वृद्धि और ऊपरी पश्चिमी वायुप्रवाहों में एक सुदृढ़ रिज के विकास द्वारा संचालित होने वाली मानसून परिसंचरण की आकस्मिक तीव्रता से संबंधित होती हैं। इस सम्बन्ध में राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान द्वारा किए गए चरम वर्षा घटनाओं के अध्ययनों से ज्ञात होता है कि आकस्मिक वायुमंडलीय उष्णता में वृद्धि और ठंड, मानसून परिसंचरण को महत्वपूर्ण सीमा तक प्रभावित करते हैं, जिससे संबंधित मौसम प्रणालियाँ सशक्त हो जाती हैं परिणामतः प्रभावित क्षेत्रों में भारी वर्षा होती है। वैश्विक स्तर पर तापमान और परिसंचरण में निरंतर असामान्यताएं, तीव्र वर्षा घटकों के साथ सुदृढ़ता से सम्बद्ध होती हैं, जिसके कारण अल्पकालिक भारी वर्षा से लेकर वृहत्त पैमाने पर दीर्घकालिक तीव्र वर्षा तक हो सकती है। वैश्विक स्तर पर तापमान वृद्धि और ठंड के विशिष्ट स्थल विभिन्न मौसम प्रणालियों की उत्पत्ति और विकास को निर्धारित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

देश के विभिन्न भागों में, वर्षा उत्पन्न करने वाली विभिन्न मौसम प्रणालियों उदाहरणतः पश्चिमी विक्षोभ, मानसूनी/चक्रवाती तूफान आदि में महत्वपूर्ण पारस्परिक भिन्नता के कारण भारत में वार्षिक, मौसमी और मासिक वर्षा में अत्यधिक स्थानिक भिन्नता दिखाई देती है। भारत के वृहत्त भागों में मानसूनी वर्षा में सामान्य गिरावट को अनेक अध्ययनों में प्रलेखित किया गया है। 1960 के दशक के पश्चात मानसूनी वर्षा क्षेत्र के पश्चिम की ओर स्थानांतरित होने के कारण मध्य भारतीय बेसिनों में गिरावट की प्रवृत्ति पाई गई है। वर्षा की अंतःवार्षिक परिवर्तनशीलता की प्रवृत्ति, माध्य समय श्रेणी के लिए प्रयुक्त स्थानिक एवं कालिक स्तर पर विशिष्ट रूप से प्रभावित होती है। महासागर-वायुमंडल तंत्र, समुद्र सतही तापमान में परिवर्तन, हिमाच्छादन गतिशीलता, और अप्रत्याशित अंतःमौसमी परिवर्तन आदि घटक, पारस्परिक सहसंबंध स्थापित करके, भारत में वर्षा के वितरण और उसकी पद्धति को प्रतिरूप प्रदान करते हैं।

सुविधाओं के कारण, लगभग 64% भारतीय किसान अपनी आजीविका के लिए वर्षा आधारित कृषि पर निर्भर हैं। एक श्रेष्ठ मानसून भारत के 81 प्रमुख जलाशयों को पुनःपूरित करने में महत्वपूर्ण भूमिका प्रदान करता है, जो कृषि सिंचाई, विद्युत उत्पादन और पेयजल आपूर्ति में सहायक सिद्ध होता है। विभिन्न क्षेत्रों में मानसून का आगमन, वापसी और मानसून अवधि जैसे घटक महत्वपूर्ण होते हैं, क्योंकि मानसून में विलम्ब, कृषि उत्पादकता और क्षेत्रीय अर्थव्यवस्थाओं को गंभीर रूप से प्रभावित कर सकता है। प्रत्येक वर्ष, उत्तरी गोलार्ध में ग्रीष्म ऋतु के दौरान, मानसून की पहली वर्षा सामान्यतः मई माह में अंडमान सागर पर होती है। वहाँ से, मानसून बंगाल की खाड़ी के उत्तर और उत्तर-पश्चिम दिशा में आगे बढ़ता है, अंत में भारतीय उपमहाद्वीप के दक्षिण और दक्षिण-पूर्वी भागों तक पहुँचता है।

प्रत्येक वर्ष, चरम मानसूनी वर्षा के कारण भारत में गंभीर बाढ़ और आपदाओं का सामना करना पड़ता है, इसके अतिरिक्त देश के अधिकाँश भागों में वृहत्त पैमाने पर सूखे की स्थिति भी पाई जाती है। प्राप्त होने वाले वर्ष में स्थानिक एवं कालिक स्तर पर प्रत्येक वर्ष व्यापक भिन्नता पाई जाती है। राष्ट्रीय बाढ़ आयोग के अनुसार, भारत में 40 मिलियन हेक्टेयर से अधिक बाढ़ संभावित भूमि क्षेत्र है, जिसमें प्रत्येक वर्ष लगभग 7.5 मिलियन हेक्टेयर भूमि बाढ़ से प्रभावित होती है और लगभग 1,600 लोगों के जान माल की हानि होती है। जलवायु परिवर्तन पर IPCC की रिपोर्ट के अनुसार, एक गर्म होती जलवायु द्वारा, चरम घटनाओं की तीव्रता में वृद्धि होने की संभावना है, क्योंकि सतही गर्मी और ऊपरी वायुमंडल में दीर्घ-तरंगीय शीतलन के कारण जल चक्र तीव्र होता है। इन चरम घटनाओं से सम्बद्ध मानसूनी परिसंचरण की स्थिति, दिशा, आकार और तीव्रता में उल्लेखनीय भिन्नता हो सकती है।

भारतवर्ष की जल-मौसमविज्ञानीय योजना एवं प्रबंधन उष्णकटिबंधीय मानसूनी जलवायु से अत्यधिक प्रभावित हैं जिसके परिणामस्वरूप, ग्रीष्मकालीन मानसून, इसके निष्पादन में मुख्य भूमिका निभाता है। औपनिवेशिक युग के दौरान, भारतीय अर्थव्यवस्था को भारतीय बजट के लिए "मानसून वर्षा एक जुआ" के रूप में वर्णित किया गया था। कई दशकों के विकास के बाद भी, मानसून अपने महत्वपूर्ण प्रभावों के कारण कृषि, खाद्य सुरक्षा और देश की अर्थव्यवस्था का केंद्र है। यद्यपि दक्षिण-पश्चिम मानसून (जून-सितंबर) द्वारा देश के अधिकांश भागों में वार्षिक वर्षा की लगभग 70-90% तक वर्षा होती है, तथापि सीमित सिंचाई

वैश्विक तापमान में विषमता का अवलोकन

पिछले हिमयुग (~11,000 वर्ष पूर्व) के अंत के बाद से उत्तरी गोलार्ध में सतही वायु तापमान 11°C से बढ़कर लगभग 15°C हो गया है। 15°C तापमान की यह सीमा, भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है। 15°C से कम तापमान होने पर, सिंधु-गंगा के मैदानी क्षेत्रों में सूखे जैसी परिस्थितियाँ उत्पन्न होती हैं, जबकि 15°C से 15.5°C के तापमान के मध्य मानसून अवधि में, वर्तमान समय की स्थितियों के समान, अधिक वर्षा होती है। यद्यपि, 15.5°C से अधिक तापमान होने पर मानसूनी वर्षा पश्चिमी की ओर स्थानान्तरित हो जाती है, जिससे गंगा के मैदानी क्षेत्रों में अपेक्षाकृत सूखे की परिस्थितियाँ उत्पन्न होती हैं। ये पद्धतियां वार्षिक या दशकीय समय सीमा के स्थान पर, शताब्दी और सहस्राब्दी समय-सीमा पर दृष्टिगोचर होती हैं। विगत 10,000 से 4,000 वर्षों के दौरान, उष्ण और ठंडे युग दीर्घावधि तक रहे थे, जबकि वर्तमान के समय में इन चरणों की लघु अवधि के लिए तीव्रता अधिक पाई गयी। लघु हिमयुग के बाद से निरंतर तापमान में वृद्धि पाई जा रही है, जिसमें भारतीय ग्रीष्मकालीन मानसून में उत्तरी गोलार्ध के तापमान के साथ सुसंगत रूप से उतार-चढ़ाव दृष्टिगोचर हो रहा है।

हमने अध्ययन के दौरान सतह से 10 किमी ऊँचाई तक वैश्विक, गोलार्धीय, और क्षेत्रीय स्तरों पर वायुमंडलीय तापमान प्रवृत्तियों का विश्लेषण किया। भूगोल, खगोल, मौसम विज्ञान, और जलवायु विशेषताओं के आधार पर, विश्व को नौ जलवायु क्षेत्रों:

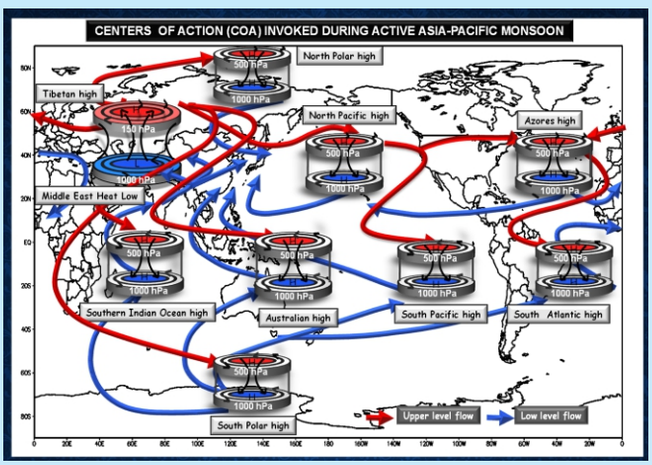
उत्तर ध्रुवीय (70°-90°N), उत्तर मध्य अक्षांश (45°-70°N), उत्तर उपोष्णकटिबंधीय (25°-45°N), उत्तर उष्णकटिबंधीय (2.5°–25°N), भूमध्य रेखा (2.5°S–2.5°N), दक्षिण उष्णकटिबंधीय (2.5°-25°S), दक्षिण उपोष्णकटिबंधीय (25°-45°S), दक्षिण मध्य अक्षांश (45°-70°S), दक्षिण ध्रुवीय (70°-90°S) में विभाजित किया गया। 1979 से 2018 तक के तापमान आंकड़ों को मासिक भिन्नताओं की तुलना सुनिश्चित करने के लिए समरूप बनाया गया। आंकड़ों के अनुसार, इस अवधि में क्षोभमंडल तापमान में वैश्विक स्तर पर प्रति दशक 0.27°C की वृद्धि पाई गयी। उत्तरी गोलार्ध की क्षोभमंडल-तापमान वृद्धि (0.32°C/दशक), दक्षिणी गोलार्ध की क्षोभमंडल-तापमान वृद्धि (0.22°C/दशक) की तुलना में अधिक थी। सभी जलवायु क्षेत्रों में, दक्षिण ध्रुवीय और दक्षिण मध्य अक्षांश को छोड़कर, तापमान में महत्वपूर्ण वृद्धि देखी गई। तापमान में सबसे अधिक वृद्धि उत्तर ध्रुवीय (0.40°C/दशक) क्षेत्र में देखी गई, जबकि दक्षिण ध्रुवीय क्षेत्र में सबसे कम वृद्धि (0.06°C/दशक) पाई गई। 1979-2008 के आंकड़ों की तुलना में, विगत दशक में, विश्व के वार्षिक माध्य क्षोभमंडल-तापमान में +0.57°C की वृद्धि दर्ज की गयी। उत्तरी गोलार्ध ने अत्यधिक वृद्धि (+0.66°C) दर्ज की, जबकि दक्षिणी गोलार्ध में यह वृद्धि (+0.48°C) दर्ज की गयी थी। नौ जलवायु क्षेत्रों के क्षोभमंडल-तापमान में सर्वाधिक महत्वपूर्ण वृद्धि उत्तर ध्रुवीय (0.78°C) क्षेत्र में पाई गई, जबकि सबसे कम वृद्धि दक्षिण ध्रुवीय (+0-08°C) क्षेत्र में रही।

सामान्य तौर पर, पूरे क्षोभमंडल में, दक्षिण ध्रुवीय से उत्तर ध्रुवीय क्षेत्रों तक जलवायु उष्णता प्रवृत्तियों की दर में वृद्धि देखी गई। इस विषम परिवर्तन ने अधिकांश जलवायु क्षेत्रों मे अंतर्गोलार्धीय तापमान अंतर को कम कर दिया है। इस अंतर-गोलार्ध तापमान विरोधाभास में उल्लेखनीय कमी के परिणामस्वरूप, एशिया-प्रशांत मानसूनी परिसंचरण कमजोर पड़ रहा है, जिससे भारत में मानसूनी वर्षा में कमी और वैश्विक स्तर पर अप्रत्याशित मौसम की घटनाएं दृष्टिगोचर हो रही हैं।

मानसून का चित्रण

मानसून, सबसे प्राचीन प्रेक्षित मौसमीय घटनाओं में से एक है, जो शीत-शुष्क सर्दियों से उष्ण-आर्द्र ग्रीष्म ऋतु तक मौसम के परिवर्तन को दर्शाती है। मानसून से सम्बद्ध वायु की दिशाओं में विभिन्न समयावधि में होने वाले परिवर्तनों का सिद्धांत भारत में अरब नाविकों द्वारा लाया गया था। उन्होंने उत्तरी अरब सागर में मौसमी वायु की दिशा में होने वाले परिवर्तनों को प्रेक्षित किया। प्राचीन काल में जुलाई माह के दौरान, लाल सागर, उत्तरी अरब सागर और भारतीय पश्चिमी तट पर उत्तर-पश्चिमी हवाओं का प्रभुत्व रहता था, जो अरब नाविकों की आगे की यात्राओं को सुगम बनाता था। इसके विपरीत, नवंबर माह के दौरान, उत्तरी अरब सागर पर उत्तर-पूर्वी हवाएं और लाल सागर पर दक्षिण-पूर्वी हवाएं चलती थीं जो उनकी वापसी यात्राओं में सहायक सिद्ध होती थीं। ''मौसमी वायु परिवर्तन'' के इस सिद्धांत को बाद में, वैश्विक स्तर पर विभिन्न महाद्वीपों और महासागरों (जैसे, एशिया-प्रशांत, अफ्रीकी, ऑस्ट्रेलियाई और अमेरिका) में मानसून तंत्र और संबंधित वर्षा को वर्णित करने के लिए विस्तारित किया गया।

एशिया-प्रशांत मानसून तंत्र सबसे ऊर्जावान, विशिष्ट और विस्तृत मानसून तंत्र है, जिसके अंतर्गत भारतीय उपमहाद्वीप, भारत-चीन प्रायद्वीप, चीन, दक्षिण चीन सागर, कोरिया, जापान और उत्तर-पश्चिमी प्रशांत महासागर सम्मिलित हैं। एशिया-प्रशांत मानसून तंत्र, छह परस्पर अन्तःसम्बद्ध उप-क्षेत्रीय मानसूनों; भारत-चीन प्रायद्वीपीय मानसून; दक्षिण चीन सागर मानसून; दक्षिण एशियाई मानसून; पूर्वी तिब्बत पठार मानसून; पूर्वी एशियाई मानसून; उत्तर-पूर्वी एशियाई मानसून का मिश्रण है। यद्यपि प्रत्येक क्षेत्रीय मानसून की विशिष्ट क्षेत्रीय विशेषताओं में महत्वपूर्ण भिन्नताएं पाई जाती हैं तथापि इनमें कुछ सामान्य संकेत भी प्राप्त होते हैं। यद्यपि मानसून मौलिक रूप से उष्णकटिबंधीय प्रकृति का है, परन्तु इसके द्वितीयक व्यवधान काफी भिन्न होते हैं, जो भूमध्य रेखीय से लेकर उपध्रुवीय प्रभाव प्रदान कर सकते हैं।



सक्रिय एशिया-प्रशांत मानसून परिसंचरण तंत्र में विभिन्न उच्चता और निम्नता स्थल।

भारतीय मानसून एशिया-प्रशांत मानसून तंत्र का मुख्य घटक है, जिसकी व्यापक परिसंचरण संरचना के अंतर्गत अन्य उप-क्षेत्रीय और स्थानीय मानसून प्रचालित होते हैं। यद्यपि मानसूनी तंत्र की सार्वभौमिक रूप से स्वीकृत परिभाषा पर विचार-विमर्श प्रगति पर है, तथापि यह व्यापक रूप से स्वीकार किया गया है कि भारतीय मानसून, एशिया-प्रशांत तंत्र का सर्वाधिक सुदृढ़, ऊर्जावान और प्रमुख उप-मानसून है।

मानसून एक वृहत्ताम उष्णकटिबंधीय परिसंचरण तंत्र है, जो एशिया-प्रशांत क्षेत्र में ग्रीष्मकालीन मौसमी वर्षा को प्रचालित करता है। वैश्विक स्तर पर वायु परिसंचरण का पारंपरिक चित्रण, मार्च और सितंबर के अंतिम सप्ताह में स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है, जब दोनों गोलार्ध ऊष्मीय संतुलन में होते हैं। यद्यपि, मानसून के चार महीनों की अवधि के दौरान, मानसून का सामान्य परिसंचरण, पूर्णतः संशोधित और पुनर्वितरित हो जाता है। मानसूनी परिसंचरण पर भूमध्य रेखा और उसके आसपास के अक्षांशीय क्षेत्रों के मध्य, तापमान विरोधाभास का विशिष्ट प्रभाव पड़ता है, जो सूर्य की वार्षिक गतिशीलता द्वारा प्रेरित होता है। उत्तरी गोलार्ध में ग्रीष्म ऋतु के दौरान, तिब्बती पठार पर क्षोभमंडलीय तापमान, वैश्विक माध्य तापमान से लगभग 10°C अधिक होता है, जो इसे एक महत्वपूर्ण ऊष्मा स्रोत बनाता है। यह ऊष्मीय विसंगति, ग्रीष्मकालीन मानसूनी परिसंचरण को प्रारंभ करने के लिए एक महत्वपूर्ण कारक है। वर्तमान में वैज्ञानिकों ने आंकड़ों के विश्लेषण और तकनीकों की प्रगति द्वारा मानसूनी परिसंचरण की त्रि-आयामी संरचना के विस्तृत अध्ययन को संभव कर दिया है, जिससे इसकी गतिशीलता में नवीन और मूल्यवान अंतर्दृष्टियाँ प्राप्त हो रही हैं। (1000, 500 और 150 hPa (हेक्टोपास्कल), भूमि से क्रमशः 2 मीटर, 5.5 किमी और 13.5 किमी की ऊंचाई को दर्शाते हैं)

मध्य पूर्व और चीन-मंगोलिया क्षेत्रों पर स्थित ऊष्ण निम्न दबाव के दो सतही क्षेत्र, सभी दिशाओं से वायु को अपनी ओर खींचते हैं। तिब्बती पठार पर प्रतिचक्रवाती परिसंचरण द्वारा ऊपरी क्षोभ मंडल के निम्न तापीय विचलन

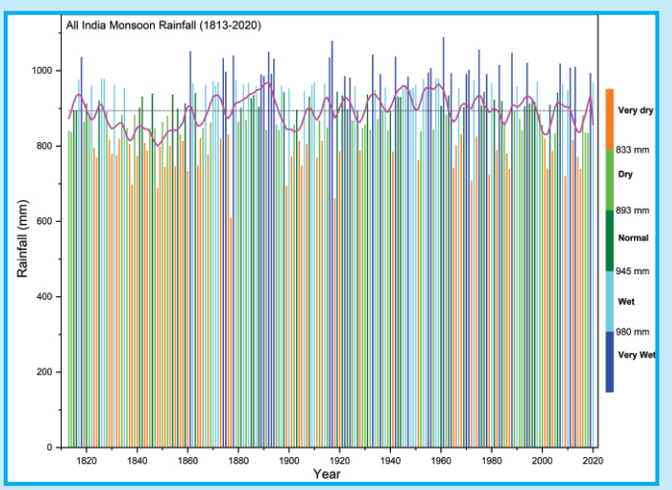
अखिल भारतीय मानसून वर्षा श्रृंखला कई समय-स्तरों पर उतार-चढ़ाव का एक एकीकृत मिश्रण है। वैश्विक क्षोभमंडल की असमान तापमान वृद्धि ने मानसूनी परिसंचरण को अधिक सशक्त लेकिन अत्यधिक विकृत बना दिया है, जिसके कारण विभिन्न क्षेत्रों और समयावधि में विषम वर्षा वितरण हुआ है। यह विकृति चरम वर्षा घटनाओं की बढ़ती अनिश्चितता और असंगति में भी योगदान देती है। वैश्विक तापमान और परिसंचरण विसंगतियाँ विभिन्न स्थानिक और कालिक स्तरों पर गंभीर वर्षा घटनाओं से निकटता से सम्बद्ध हैं। यह वैश्विक और क्षेत्रीय जलवायु प्रणालियों की परस्पर सम्बद्ध प्रकृति को प्रदर्शित करती हैं।

क्षेत्रों से उद्गमित होने वाली वायु सार्वभौम के उपोष्णकटिबंधीय एवं उच्च दवाब वाले ध्रुवीय क्षेत्रों की ओर प्रसारित होती है। मानसून के पूर्ण विकसित चरण (जुलाई-अगस्त) में, भारत-प्रशांत क्षेत्र की विक्षेपित हवाएं, भूमध्य रेखा को पार करके, उष्णकटिबंधीय, उपोष्णकटिबंधीय, समशीतोष्ण और उपध्रुवीय क्षेत्रों से गुजरते हुए, एशियाई भूमि के ऊष्ण निम्न दबाव क्षेत्रों में समाहित हो जाती हैं। इस प्रक्रिया में, अनेक छोटे-छोटे मौसमीय परिवर्तन (जैसे बिंदु, रेखा, गर्त, तरंग, और चक्र) निर्मित होते हैं, जिनके परिणामस्वरुप क्षेत्र में वर्षा होती है। कोरिओलिस बल (पृथ्वी के घूमने के परिणामस्वरूप जनित एक काल्पनिक बल), भौगोलिक विशेषताएं, और ऊष्मा ऊर्जा (diabatic heating) के प्रभाव, मानसूनी वायु परिसंचरण, बादलों के गठन एवं वर्षा तंत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इसके अतिरिक्त, स्थानीय घटक भी इन प्रक्रियाओं को प्रभावित करते हैं, जिससे मानसून प्रणाली और अधिक जटिल हो जाती है। इन समस्त पारस्परिक क्रियाओं के परिणामस्वरूप, मानसूनी मौसम पूरे क्षेत्र में अत्यधिक जटिल और परिवर्तनशील हो जाता है।

अखिल भारतीय मानसूनी वर्षा में परिवर्तन (1813-2020)

इस अध्ययन में अखिल भारतीय क्षेत्र के लिए 1813 से 2020 की दीर्घावधि हेतु 316 वर्षामापी स्थलों के लिए मापित मासिक वर्षा आंकड़ों का उपयोग किया गया है। अध्ययन से प्राप्त परिणामों में वार्षिक वर्षा की अधिकतम सीमा 1435.3 मिमी से न्यूनतम सीमा 895.7 मिमी तक प्रेक्षित की गयी है। अध्ययन से पाया गया है कि अखिल भारतीय स्तर पर प्रति वर्ष माध्य वर्षा 1165.9 मिमी होती है। अध्ययन से प्राप्त परिणामों के अनुसार वार्षिक तथा मानसूनी वर्षा (जून–सितंबर) के लिए परिवर्तनशीलता गुणांक का मान क्रमशः 9.1% तथा 9.7% आंकलित किया गया है।

वार्षिक, मौसमी और मासिक वर्षा में अंतःवार्षिक परिवर्तनशीलता का विश्लेषण उन तकनीकों की सहायता से किया गया, जो उच्च-आवृत्ति वाले परिवर्तनों को हटा कर निम्न-आवृत्ति वाले परिवर्तनों को प्रदर्शित करती हैं इस पद्धति से प्राप्त सुचारू श्रृंखला में कई उतार-चढ़ाव दृष्टिगोचर हुए, जो निरंतर आर्द्र या शुष्क स्थितियों वाले कालखंडों को प्रदर्शित करते हैं। वर्षा के इन परिवर्तनों का विश्लेषण करने के लिए, प्रत्येक वर्ष की मौसमी और वार्षिक वर्षा को पाँच श्रेणियों अति शुष्क (833 मिमी से कम), मध्यम शुष्क (834-894 मिमी), सामान्य (895-945 मिमी), मध्यम आर्द्र (946-980 मिमी) एवं आर्द्र (980 मिमी से अधिक) में वर्गीकृत किया गया। अखिल भारतीय मानसूनी वर्षा की इस वर्गीकृत समय श्रृंखला ने मानसून में परिवर्तनों के प्रमुख चरणों को स्पष्ट रूप से प्रदर्शित किया। निम्नलिखित आर्द्र और शुष्क स्थितियों के प्रमुख कालखंड विशेष रूप से ध्यान देने योग्य हैं, जो भारत में मानसूनी वर्षा में दीर्घकालिक परिवर्तनशीलता को रेखांकित करते हैं।



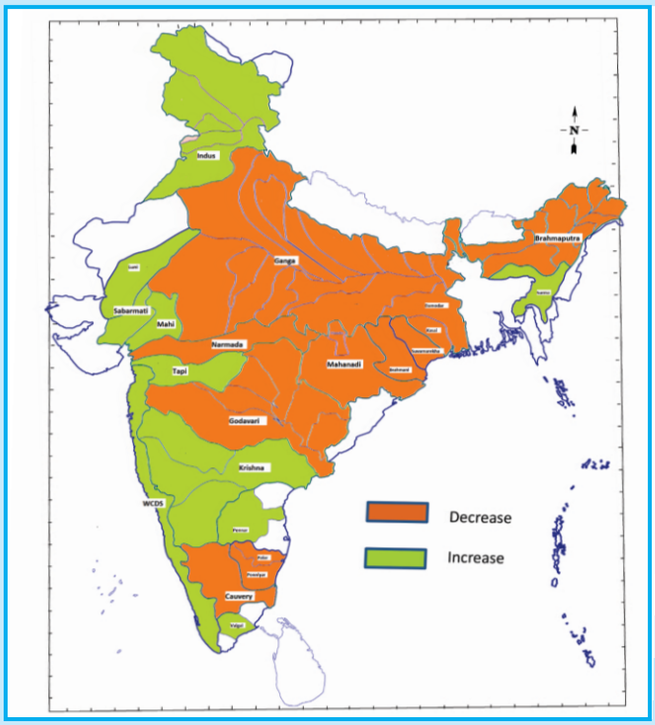
मानसून अवधि (1813-2020) के दौरान देश के वर्गीकृत वर्षा वितरण में अंतःवार्षिक विविधताएं।

1813-1869 (शुष्क काल)-इस अवधि के दौरान, भारत में मानसून की विफलताओं के कारण बार-बार सूखा और अकाल पड़ा, जो मुख्य रूप से अल्प हिमयुग के जलवायु प्रभावों से सम्बद्ध था। इस समय चेन्नई (तब मद्रास) में प्रारम्भ हुए उपकरण आधारित मौसम संबंधी अवलोकन भारत में नियमित मौसम प्रबोधन के प्रारंभ का प्रतीक हैं। इस काल की सबसे महत्वपूर्ण घटनाओं में, सार्वजनिक मांग पर देश के एक भाग से दूसरे भाग तक खाद्यान्न परिवहन तथा व्यापक अकाल के प्रभावों को कम करने के लिए भारत सरकार द्वारा रेल सुविधाओं को प्रारंभ किया जाना था।

1870-1894 (आर्द्र काल)-इस अवधि में मानसून का बेहतर प्रदर्शन हुआ और मौसम संबंधी गतिविधियों के संगठन में महत्वपूर्ण परिवर्तन प्राप्त हुए। केंद्र सरकार ने देश भर में सभी मौसम अवलोकनों का नियंत्रण अपने हाथ में ले लिया, और 1875 में भारत मौसमविज्ञान विभाग की स्थापना की गई जिससे मौसम और जलवायु से संबंधित सेवाओं की देख-रेख की जा सके। इस अवधि के दौरान प्रथम बार, ग्रीष्मकालीन मानसून के प्रदर्शन की भविष्यवाणी के प्रयास किए गए, जो भारत में मानसून पूर्वानुमान के प्रारंभिक चरण थे। इसके अतिरिक्त, इस काल में हिंदी को राष्ट्रीय भाषा के रूप में लोकप्रिय बनाने के आंदोलन की भी शुरूआत हुई।

1895-1941 (शुष्क काल)-इस अवधि के दौरान देश में बार-बार सूखा पड़ा, जिसके कारण थार रेगिस्तान का पूर्व और दक्षिण-पूर्व की ओर विस्तार हुआ। व्यापक संकट के प्रतिउत्तर में, 'भोजन के बदले कार्य' कार्यक्रमों के अंतर्गत कई महलों, किलों और स्मारकों का निर्माण किया गया। इस समय पश्चिमी शैली की शिक्षा देश में तेजी से फैलने लगी। सर जी.टी. वॉकर के नेतृत्व में, भारत मौसमविज्ञान विभाग ने ग्रीमकालीन मानसूनी वर्षा के दीर्घकालिक पूर्वानुमान की शुरुआत की, जिससे व्यवस्थित मानसून भविष्यवाणी की नींव रखी गई।

1942-1964 (आर्द्र काल)-इस आर्द्र चरण में, भारत में जल संसाधन



देश के प्रमुख नदी जलाशयों पर 1901-2000 की तुलना में 2001-2020 की वार्षिक वर्षा की प्रवृत्ति का भौगोलिक वितरण

प्रबंधन को बढ़ाने के लिए वृहत्त पैमाने पर जलाशयों, बांधों और नहर तंत्र का निर्माण प्रारंभ हुआ। इस अवधि के दौरान देश की जनसंख्या में तीव्र वृद्धि हुई, जिससे कृषि और घरेलू जल की आवश्यकताओं को पूर्ण करने के लिए महत्वपूर्ण बुनियादी संरचना के विकास की आवश्यकता महसूस की गयी।

1965-1994 (परिवर्तनीय काल)-तेजी से बढ़ती जनसंख्या की खाद्यान्न मांगों को पूर्ण करने के लिए, केंद्र सरकार ने हरित क्रांति के अंतर्गत अनेक कदम उठाए इनमें उन्नत कृषि प्रौद्योगिकियाँ, बेहतर सिंचाई प्रणालियाँ और जल संसाधन प्रबंधन सम्मिलित थे। इसके परिणामस्वरूप कृषि उत्पादन में तीव्र वृद्धि हुई। इसके अतिरिक्त, खाद्यान्न के वृहत्त पैमाने पर भंडारण के लिए प्रभावी तंत्र विकसित किये गए, जिससे इस परिवर्तनीय मानसून चरण के दौरान देश की खाद्य आपूर्ति को सुरक्षित रखने में सहायता प्राप्त हुई।

1995-2020 (शुष्क काल)-यद्यपि उत्तरी गोलार्ध में सतही वायु तापमान बढ़ रहा था, इस अवधि के दौरान ग्रीष्मकालीन मानसून का प्रदर्शन कमजोर हो गया। प्रस्तुत चित्र में देश की प्रमुख नदियों में मानसूनी वर्षा में वर्तमान के रुझानों की पद्धति को दर्शाया गया है। जबकि भारत के अधिकांश क्षेत्रों में मानसूनी वर्षा में गिरावट की प्रवृत्ति देखी गयी परन्तु, उत्तर-पश्चिम भारत में सकारात्मक रुझान देखा गया जो मानसूनी प्रदर्शन में क्षेत्रीय परिवर्तनशीलता को प्रदर्शित करता है।

वर्षा-उत्पादक मौसम प्रणालियाँ तथा अत्यधिक वर्षा की घटनाएं

देश के प्रत्येक क्षेत्र में विशिष्ट मौसमीय स्थितियाँ होती हैं, जो उस क्षेत्र के मौसम तंत्र पर आधारित होती हैं। वायु, जो इन तंत्रों का प्रमुख घटक है, अपने स्रोत से प्रस्थान के बाद कई सप्ताह तक अपने तापीय और आर्द्र गुणधर्म बनाए रखती है। वर्षा उत्पन्न करने वाली मौसम प्रणालियाँ सामान्यतः तब बनती हैं जब दो या अधिक वायु द्रव्यमान, जिनके गुणधर्म (जैसे शीत-शुष्क और आर्द्र-उष्ण) परस्पर एक दूसरे से विपरीत होते हैं, आपस में पारस्परिक अभिक्रिया करते हैं। ये तंत्र स्थानीय उष्णता, आर्द्रता, और दबाव वाले क्षेत्रों द्वारा संचालित होते हैं और पृथ्वी के घूर्णन और स्थलाकृति से प्रभावित होते हैं। वैश्विक स्तर पर, चार प्रमुख प्रकार के मौसम तंत्र दृष्टिगोचर होते हैं:

- **रेखीय तंत्रः** जैसे फ्रंट और स्क्वाल लाइन, बड़े पैमाने पर विपरीत गुणों वाली वायु प्रवाहों के संगम और चैनलिंग से उत्पन्न होते हैं।
- **वृत्ताकार तंत्रः** जैसे चक्रवात और दबाव क्षेत्र, एक या अधिक वायु द्रव्यमानों के घूर्णन या विचलन से बनते हैं।
- **तरंग तंत्रः** जैसे पश्चिमी विक्षोभ, जो गतिमान पश्चिमी तरंगों में गर्त और रिज के आगमन से उत्पन्न होते हैं।
- **मेसोस्केल तंत्रः** जैसे आंधी तूफान और भंवर, जो अत्यधिक स्थानीयकृत और अल्पकालिक घटनाएं होती हैं।

वैश्विक स्तर पर, वर्षा क्षेत्र को वर्षा के रूप, मात्रा और मौसमी प्रवृत्तियों के आधार पर निम्न क्षेत्रों में वर्गीकृत किया जा सकता है:

- **भूमध्यरेखीय क्षेत्रः** पूरे वर्ष भर प्रचुर मात्रा में वर्षा होती है।
- **उत्तर और दक्षिण उष्णकटिबंधीय क्षेत्रः** गर्मियों में आर्द्र और सर्दियों में शुष्क रहता है।
- **उत्तर और दक्षिण उपोष्णकटिबंधीय क्षेत्रः** सभी मौसमों में शुष्क रहते हैं।
- **उत्तर और दक्षिण मध्य अक्षांश क्षेत्रः** सर्दियों में आर्द्र और गर्मियों में शुष्क रहता है।
- **उत्तर और दक्षिण उपध्रुवीय क्षेत्रः** पूरे वर्ष भर पर्याप्त वर्षा होती है।
- **उत्तर और दक्षिण ध्रुवीय क्षेत्रः** सभी

जलवायु परिवर्तन के प्रभाव के कारण देश के शुष्क क्षेत्रों में मानसून के दौरान सूखे की स्थिति।

मौसमों में कम वर्षा होती है।

प्रत्येक वर्ष, चरम मानसूनी वर्षा के कारण भारत में गंभीर बाढ़ और आपदाओं का सामना करना पड़ता है, इसके अतिरिक्त देश के अधिकांश भागों में वृहत्त पैमाने पर सूखे की स्थिति भी पाई जाती है। प्राप्त होने वाले वर्ष में स्थानिक एवं कालिक स्तर पर प्रत्येक वर्ष व्यापक भिन्नता पाई जाती है। राष्ट्रीय बाढ़ आयोग के अनुसार, भारत में 40 मिलियन हेक्टेयर से अधिक बाढ़ संभावित भूमि क्षेत्र है, जिसमें प्रत्येक वर्ष लगभग 7.5 मिलियन हेक्टेयर भूमि बाढ़ से प्रभावित होती है और लगभग 1,600 लोगों के जान माल की हानि होती है। जलवायु परिवर्तन पर IPCC की रिपोर्ट के अनुसार, एक गर्म होती जलवायु द्वारा, चरम घटनाओं की तीव्रता में वृद्धि होने की संभावना है, क्योंकि सतही गर्मी और ऊपरी वायुमंडल में दीर्घ-तरंगीय शीतलन के कारण जल चक्र तीव्र होता है। इन चरम घटनाओं से सम्बद्ध मानसूनी परिसंचरण की स्थिति, दिशा, आकार और तीव्रता में उल्लेखनीय भिन्नता हो सकती है। यह देखा गया है कि, स्थानीय और अल्पकालिक भारी वर्षा घटक, अधिकांशतः वृहत्त पैमाने पर दीर्घकालिक तीव्र वर्षा गतिविधियों का भाग होते हैं। उदाहरणार्थ, 26-27 जुलाई, 2005 के दौरान, मुंबई में एक ही दिन में 940 मिमी से अधिक वर्षा हुई। अध्ययन से ज्ञात हुआ कि उस अवधि के दौरान सम्पूर्ण प्रायद्वीपीय क्षेत्र में भारी वर्षा की स्थिति थी, जिससे देश में अब तक का सबसे अधिक दैनिक वर्षा संचय (98 बिलियन घन मीटर) आंकलित किया गया। उपकरणों, उपग्रहों, रडार, और संख्यात्मक मौसम भविष्यवाणी निदर्श से प्राप्त आंकड़ों से यह संकेत मिलता है कि मुंबई में यह अभूतपूर्व वर्षा स्थानीय स्तर की चरम वर्षा घटनाओं में एक महत्वपूर्ण बढ़ती प्रवृत्ति को दर्शाती थी। कई अध्ययनों ने यह भी प्रलेखित किया है कि ग्रीष्मकालीन मानसूनी वर्षा की चरम घटनाओं की आवृत्ति बढ़ रही है, जो मुख्य रूप से पर्यवेक्षी, मेसोस्केल और माइक्रोस्केल मौसम गतिविधियों में उल्लेखनीय वृद्धि के कारण है। IPCC की छठवीं मूल्यांकन रिपोर्ट का अनुमान है कि एक उष्ण जलवायु में जल चक्र की तीव्रता के कारण, प्रति 1°C अतिरिक्त उष्णता वृद्धि से चरम वर्षा में 7% की वृद्धि होगी परिणामतः ऐसी घटनाएं, की पुनरावृत्ति बारम्बार होगी। भारत में चरम वर्षा घटनाओं की बढ़ती आवृत्ति के लिए मुख्य रूप से निम्नलिखित कारकः बंगाल की खाड़ी और अरब सागर के ऊपर सिनॉप्टिक-स्तर की गतिविधियों में वृद्धि, असामान्य संवहनात्मक अस्थिरता, भूमध्यरेखीय हिंद महासागर के ऊपर वायुमंडलीय स्थितियाँ तथा अन्य संबंधित जलवायु और स्थानीय कारक उत्तरदाई हैं।

हाल के वर्षों में उत्तर-पश्चिम हिमालय क्षेत्र में भारी वर्षा की घटनाओं की आवृत्ति में काफी वृद्धि हुई है। यह वृद्धि, क्षेत्र की अत्यधिक जटिल स्थलाकृति और उष्णकटिबंधीय एवं वाह्य-उष्णकटिबंधीय वायुमंडलीय प्रणालियों के मध्य क्रियाशीलता का परिणाम है। इन घटनाओं को सामान्यतः बादल फटने के रूप में जाना जाता है, जिसमें एक लघु क्षेत्र में बहुत कम समय में मूसलाधार वर्षा होती हैं। अंतर्राष्ट्रीय आपदा के आंकड़ों के अनुसार, विगत 30-40 वर्षों में पश्चिमी हिमालय में अत्यधिक वर्षा की घटनाओं में उल्लेखनीय वृद्धि हुई है। 2010 के बाद से भारतीय हिमालयी क्षेत्र के अंतर्गत स्थित, लेह, उत्तराखंड, जम्मू और कश्मीर, और हिमाचल प्रदेश राज्यों में इस प्रकार की लगभग 20 से अधिक प्रमुख घटनाएं आंकलित की गई हैं। इसके अतिरिक्त, लगभग पाँच घटनाएं पाकिस्तान के उपोष्णकटिबंधीय क्षेत्र में, और दो-दो घटनाएं नेपाल और चीन में रिकॉर्ड की गई हैं। उत्तर-पश्चिम हिमालय, मानसून के मौसम के दौरान ऐसी चरम घटनाओं के प्रति विशेष रूप से संवेदनशील है। इसका कारण क्षेत्र की जटिल स्थलाकृति और उष्णकटिबंधीय एवं वाह्य- उष्णकटिबंधीय प्रणालियों के बीच की क्रियाशीलता है। भारत के अन्य क्षेत्र भी प्रत्येक वर्ष सूखे की अवधि के दौरान आश्चर्यजनक रूप से कभी-कभी चरम वर्षा की घटनाओं का अनुभव करते हैं। ये अभूतपूर्व घटनाएं सामान्यतः गहरे पश्चिमी गर्तों और भारतीय महासागर से आने वाली दक्षिण-पश्चिमी हवाओं के बीच अंतःक्रिया के कारण होती हैं, जिनमें प्रशांत महासागर से आने वाली पूर्वी हवाएं भी समाहित हो जाती हैं। इन अंतःक्रियाओं के परिणामस्वरूप फिलीपींस से लेकर सिंधु बेसिन तक फैले विस्तृत और तीव्र मानसूनी गर्तों का विकास होता है। अरब सागर और बंगाल की खाड़ी इन प्रणालियों को अत्यधिक आर्द्रता प्रदान करते हैं। इसके साथ ही, असामान्य मानसूनी गर्त के भीतर मौसम प्रणालियाँ विकसित होती हैं जो परस्पर अंतःक्रिया करती हैं। क्षेत्र की स्थलाकृति इन घटनाओं की तीव्रता में और अधिक वृद्धि कर देती है, जिसके परिणामस्वरूप क्षेत्र में चरम वर्षा घटनाओं की आवृत्ति और तीव्रता में वृद्धि पाई जाती है।

महत्वपूर्ण निष्कर्षः

विगत दो दशकों (2001-2020) के दौरान, अखिल भारतीय वार्षिक और मानसूनी वर्षा में पिछली शताब्दी (1901-2000) की तुलना में 1.1% की कमी आई है। यद्यपि, यह गिरावट सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण नहीं है। क्षोभमंडल तापमान में एक महत्वपूर्ण वैश्विक उष्णता की प्रवृत्ति का अवलोकन किया गया है। परिणाम दर्शाते हैं कि उत्तरी गोलार्ध में उष्णता की दर में दक्षिणी गोलार्ध की तुलना में वृद्धि अधिक है। यह भी पाया गया है कि वर्षा वाले महीनों के दौरान, उत्तरी उपोष्णकटिबंधीय क्षेत्र और तिब्बती पठार में असामान्य गर्मी देखी जाती है, जबकि सबसे शुष्क महीनों के दौरान ये क्षेत्र ठंडे हो जाते हैं, जो कि तापमान विसंगतियों और वर्षा पद्धति के मध्य के सुदृढ़ संबंध को दर्शाते हैं।

अखिल भारतीय मानसून वर्षा श्रृंखला कई समय-स्तरों पर उतार-चढ़ाव का एक एकीकृत मिश्रण है। वैश्विक क्षोभमंडल की असमान तापमान वृद्धि ने मानसूनी परिसंचरण को अधिक सशक्त लेकिन अत्यधिक विकृत बना दिया है, जिसके कारण विभिन्न क्षेत्रों और समयावधि में विषम वर्षा वितरण हुआ है। यह विकृति चरम वर्षा घटनाओं की बढ़ती अनिश्चितता और असंगति में भी योगदान देती है। वैश्विक तापमान और परिसंचरण विसंगतियाँ विभिन्न स्थानिक और कालिक स्तरों पर गंभीर वर्षा घटनाओं से निकटता से सम्बद्ध हैं। यह वैश्विक और क्षेत्रीय जलवायु प्रणालियों की परस्पर सम्बद्ध प्रकृति को प्रदर्शित करती हैं।

मानसून परिवर्तनशीलता और चरम घटनाओं से उत्पन्न चुनौतियों का समाधान करने के लिए उन्नत वैज्ञानिक और तकनीकी उपकरण विकसित करने की तत्काल आवश्यकता है। बाढ़ से होने वाले जान-माल, अर्थव्यवस्था, और पर्यावरण से होने वाली हानि को कम करने के लिए कुशल आपदा प्रबंधन प्रणाली आवश्यक है। वार्षिक वर्षा का प्रभावी संग्रहण और वितरण सुनिश्चित करने के लिए आत्मनिर्भर और तकनीकी रूप से उन्नत दृष्टिकोण अपनाना महत्वपूर्ण है। यह रणनीति दीर्घकालिक जलवायु भविष्यवाणियों पर निर्भरता को कम करेगी और कृषि, विद्युत उत्पादन और घरेलू उपयोग के लिए जल संसाधन प्रबंधन को स्थायी बनाएगी।

संपर्क करें:
डॉ. अश्विनी रानडे
राष्ट्रीय जलविज्ञान संस्थान,
रुड़की।