

समुद्री मात्स्यिकी पर तूफानों की बढ़ती आवृत्ति और तीव्रता का प्रभाव

राजीव रंजन¹, अंकिता झा² एवं शेल्टन पादुआ¹

¹भाकृअनुप -केंद्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान, कोच्ची

²भाकृअनुप -भारतीय जल प्रबंधन संस्थान, भुवनेश्वर

ई-मेल: rajeevranjanagri@gmail.com Mb.- 9760824896

प्रस्तावना

तूफान एक प्रमुख वायुमंडलीय विक्षोभ है जिसके बाद मौसम की स्थिति में अचानक और अक्सर तीव्र परिवर्तन होते हैं। इसमें आमतौर पर वायुमंडलीय द्रव्यमान की तीव्र गति शामिल होती है, जिसके परिणामस्वरूप तेज हवाएँ, भारी वर्षा, बिजली, गरज के साथ तूफान, धूल भरी आंधी आदि आती हैं। तूफान वायुमंडलीय दाब में अचानक परिवर्तन के कारण होते हैं और इनकी तीव्रता हल्की से लेकर अत्यधिक तक हो सकती है। ये विक्षोभ गर्म और ठंडी वायुमंडलीय द्रव्यमान के बीच परस्पर क्रिया से उत्पन्न होते हैं। वायुमंडलीय स्थितियों में अस्थिरता के कारण तूफान उत्पन्न होते हैं। भौगोलिक स्थिति और गंभीरता के आधार पर, तूफान विभिन्न प्रकार के हो सकते हैं जैसे उष्णकटिबंधीय तूफान, चक्रवात, हरिकेन या टाइफून।

तूफानों के प्रभाव स्थानीय मौसम परिवर्तनों से लेकर बड़े पैमाने पर प्राकृतिक आपदाओं तक हो सकते हैं, जो स्थलीय और समुद्री दोनों वातावरणों को प्रभावित करते हैं। समुद्री क्षेत्रों में तूफान समुद्र की सतह की स्थितियों को बाधित करते हैं, लहरों के स्वरूप को प्रभावित करते हैं और पारिस्थितिक तंत्र की गतिशीलता पर गहरा प्रभाव डालते हैं। तूफान तेज सतही हवाएँ उत्पन्न करते हैं, जो ऊर्जा को समुद्र में स्थानांतरित कर बड़ी लहरों और अशांत समुद्री परिस्थितियों का निर्माण करती हैं। तूफानी हवाएँ महासागर की ऊपरी परतों का मिश्रण करती हैं और अपवेलिंग और डाउनवेलिंग का कारण बनती हैं। ऊर्ध्वाधर मिश्रण से सतही ऊष्मा गहराई तक पहुँचती है, जिससे सतह का तापमान घटता है और परिणामस्वरूप समुद्र के सतह का तापमान (SST) बदल जाता है। कम वायुमंडलीय दबाव और तेज हवाएँ तूफानी लहरें पैदा करती हैं जो तटीय क्षेत्रों में समुद्र स्तर को बढ़ाकर गंभीर बाढ़ और तटरेखा के कटाव का

कारण बन सकती हैं। अधिक टर्बुलेंस के दौरान समुद्र तल की तलछट पुनः निलंबित हो जाती है, जिससे जल की पारदर्शिता घटती है और प्रवाल भित्तियों, समुद्री घास के मैदानों तथा अन्य समुद्री आवासों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। इस प्रकार, तूफान स्थानीय पारिस्थितिक तंत्र में परिवर्तन लाने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह प्रक्रिया सतह से ऑक्सीजन युक्त जल को नीचे ले जाती है और गहराई से पोषक तत्वों से भरपूर जल को ऊपर लाती है।

तूफान निर्माण के मुख्य कारक

तूफानों के निर्माण की प्रक्रिया जटिल होती है, जिसमें कई प्राकृतिक और वायुमंडलीय तत्व भूमिका निभाते हैं। हालाँकि इनके उत्पत्ति के पीछे अनेक कारण होते हैं, लेकिन वैज्ञानिक रूप से कुछ प्रमुख कारक ऐसे हैं जो तूफान के विकास और तीव्रता को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं। ऐसे ही कुछ मुख्य कारणों का विवरण यहाँ प्रस्तुत किया गया है:

1. समुद्र के तापमान में वृद्धि

समुद्र के बढ़ते तापमान के कारण श्रेणी 4 और 5 के तूफानों की संख्या में वृद्धि हो रही है। गर्म पानी न केवल इन तूफानों को अधिक समय तक बनाए रखता है बल्कि उनकी तीव्रता में तेज वृद्धि भी करता है। समुद्र का तापमान सीधे तौर पर तूफान की शक्ति को प्रभावित करता है। आईपीसीसी रिपोर्ट के अनुसार, समुद्र सतह के तापमान में हर 10°C वृद्धि से तूफान की तीव्रता लगभग 3-5% बढ़ सकती है। ऐतिहासिक आंकड़े भी इस संबंध की पुष्टि करते हैं, जो दर्शाते हैं कि वर्तमान में आने वाले शक्तिशाली तूफान अतीत की तुलना में कहीं अधिक प्रबल हैं।

2. वायुमंडलीय नमी की उपलब्धता

नमी शब्द वायु में जलवाष्प की उपस्थिति को दर्शाता है। वायुमंडल में नमी बादलों के निर्माण और वर्षा के लिए आवश्यक होने के साथ-साथ ऊर्जा के स्थानांतरण में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। जलवाष्प जल-चक्र का एक प्रमुख घटक है। नमी के स्तर को सामान्यतः आर्द्रता के रूप में मापा जाता है। उच्च आर्द्रता न केवल वायु को अधिक गर्म महसूस कराती है, बल्कि विभिन्न मौसमी घटनाओं, विशेषकर तूफान के निर्माण पर भी महत्वपूर्ण प्रभाव डालती है। मध्य क्षोभमंडल (लगभग 5कि.मी. ऊँचाई) में नमी की उपस्थिति तूफानों के विकास और उनकी तीव्रता के लिए अत्यंत महत्वपूर्ण है।

3. निम्न वर्टिकल विंड शियर

विंड शियर वह अंतर है जो वायुमंडल में ऊँचाई के साथ वायु की गति और दिशा में उत्पन्न होता है। निम्न वर्टिकल विंड शियर उष्णकटिबंधीय चक्रवातों की संरचना को ऊर्ध्वाधर रूप से संगठित बनाए रखता है, जबकि उच्च शियर बादलों को झुका या बिखेर कर तूफान के निर्माण को बाधित करता है। जब सतह और वायुमंडल के ऊपरी स्तरों के बीच वायु की गति और दिशा में अंतर अंतर कम रहता है, तो विकसित हो रहा तूफान अपनी वर्टिकल संरचना बनाए रखता है। इससे गर्म, आर्द्र वायु सीधे ऊपर उठ पाती है, जिसके परिणामस्वरूप प्रणाली अधिक संगठित और सशक्त बन जाती है।

4. कोरिओलिस प्रभाव (विचलन प्रभाव)

पृथ्वी के घूर्णन से उत्पन्न कोरिओलिस प्रभाव तूफानों के लिए आवश्यक घूर्णन प्रदान करता है। यह बल ध्रुवों के समीप सबसे अधिक और भूमध्य रेखा पर लगभग नगण्य होता है, जिसके कारण भूमध्य रेखा के पास उष्णकटिबंधीय चक्रवात नहीं बनते। कोरिओलिस बल न केवल तूफानों की घूर्णन दिशा निर्धारित करता है, (उत्तरी गोलार्ध में वामावर्त (एन्टी क्लॉकवाइज़) और दक्षिणी गोलार्ध में दक्षिणावर्त (क्लॉकवाइज़)); बल्कि महासागरीय धाराओं की दिशा को भी प्रभावित करता है।

समुद्री मत्स्य पालन पर तूफानों का प्रभाव

1. मछली प्रजनन चक्र

यह वर्ष भर मछली प्रजातियों के प्रजनन पैटर्न, समय तथा रणनीतियों को दर्शाता है, जिसमें उनकी मौसमी प्रजनन प्रवृत्तियाँ भी शामिल होती हैं। ये प्रजनन चक्र विभिन्न पर्यावरणीय, जैविक और पारिस्थितिक कारकों जैसे तापमान, दिन की लंबाई (फोटोपीरियड), लवणता, जल प्रवाह, भोजन की उपलब्धता और पर्यावरणीय स्थिरता से प्रभावित होते हैं। ये सभी कारक निर्धारित करते हैं कि मछलियाँ कब, कहाँ और किस प्रकार प्रजनन करेंगी। तूफान मछलियों के प्रजनन चक्र को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं, क्योंकि ये चक्र स्थिर पर्यावरणीय परिस्थितियों पर आधारित होते हैं (तालिका 1)

तालिका 1: मछली प्रजनन चक्र पर तूफानों के दुष्प्रभाव

तूफानों का प्रभाव	मछली प्रजनन चक्र पर प्रभाव
प्रजनन स्थलों का क्षरण	तूफान समुद्र तल के आवासों (जैसे प्रवाल भित्तियाँ, मुहाने और मैंग्रोव) को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं और अंडों व घोंसले वाले स्थलों को नष्ट कर देते हैं।
जल के तापमान में परिवर्तन	अचानक तापमान में उतार-चढ़ाव प्रजनन में देरी या अवरोध पैदा करते हैं, क्योंकि कई प्रजातियों के लिए विशिष्ट तापमान सीमा अनिवार्य होती है।
लवणता में परिवर्तन	मीठे पानी का प्रवाह लवणता को घटा देता है, जिसके परिणामस्वरूप अंडों, लार्वा और ब्रूडस्टॉक में तनाव या मृत्यु दर बढ़ जाती है।
ऑक्सीजन स्तर में गिरावट	बढ़ी हुई गन्दगी प्रकाश संश्लेषण को सीमित करता है, घुलित ऑक्सीजन के स्तर को घटाता है और प्रजनन प्रक्रिया पर नकारात्मक प्रभाव डालता है।
प्रवासन प्रक्रिया में व्यवधान	परिवर्तित समुद्री धाराएँ मछलियों के प्रजनन स्थलों की ओर प्रवास को या तो विलंबित कर देती हैं या पूरी तरह बाधित कर देती हैं।
अंडों और लार्वा के मृत्यु दर में बढ़ोतरी	उच्च ऊर्जा वाली तरंगें और तलछट अंडों को क्षति पहुँचाती हैं तथा लार्वा की मृत्यु दर को बढ़ा देती हैं।

2. मछलियों की आबादी

उष्णकटिबंधीय चक्रवात मछलियों की आबादी पर गहरा और अक्सर हानिकारक प्रभाव डालते हैं (तालिका 2)। ये प्रभाव तात्कालिक और दीर्घकालिक दोनों प्रकार के होते हैं, जो मछलियों के अस्तित्व, व्यवहार, प्रजनन क्षमता तथा सम्पूर्ण पारिस्थितिकी तंत्र को प्रभावित करते हैं।

तालिका 2: तूफानों का मछलियों की आबादी पर पड़ने वाले प्रभाव

तूफान का प्रभाव	मछलियों की आबादी पर प्रभाव
आवास का क्षरण	प्रवाल भित्तियाँ (कोरल रीफ्स), मैंग्रोव तथा समुद्री घास के मैदान को नुकसान पहुंचाता है, जिससे प्रजनन और आहार क्षेत्रों में कमी आती है।
मृत्यु दर में वृद्धि	विक्षोभ के कारण अंडों, लार्वा और किशोर मछलियों की मृत्यु हो सकती है, जबकि वयस्क मछलियाँ तनाव या ऑक्सीजन की कमी से प्रभावित होती हैं।
जल की गुणवत्ता में परिवर्तन	अधिक जल बहाव के कारण लवणता में कमी, गंदगी में वृद्धि और प्रदूषकों का प्रवेश होता है, जिससे मछलियों के स्वास्थ्य पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है।
भोजन एवं प्रजनन गतिविधियों में व्यवधान	भोजन की उपलब्धता में कमी और प्रजनन चक्र में व्यवधान के कारण प्रजनन दर में गिरावट आएगी।
प्रजातियों के वितरण और प्रवासन में परिवर्तन	मछलियाँ गहरे या सुरक्षित जल क्षेत्रों की ओर प्रवास करती हैं, जिससे उनकी जनसंख्या संरचना और उपलब्धता में बदलाव आता है।
दीर्घकालिक रूप से मछली संसाधनों की सतत गिरावट	बारंबार तूफानों के आगमन से मछली प्रजातियों की संख्या में गिरावट आती है और व्यावसायिक महत्व की प्रजातियाँ विलुप्ति की कगार पर पहुँच सकती हैं।

3. मछली का आवासीय क्षेत्र

उष्णकटिबंधीय चक्रवात और तूफान मछलियों के आवासों को गंभीर रूप से क्षतिग्रस्त कर सकते हैं, जिससे उनके आवासों पर तात्कालिक और दीर्घकालिक दोनों प्रकार के प्रभाव पड़ते हैं। ये प्रभाव मुख्य रूप से तेज हवाओं, ऊँची लहरों, भारी वर्षा और तूफानी ज्वार-तरंगों (तालिका 3) के कारण उत्पन्न होते हैं।

तालिका 3: तूफानों का मछली आवासों पर पड़ने वाला प्रभाव

तूफानों का प्रभाव	विवरण
मछली आवास संरचनाओं की क्षति	तेज लहरों और समुद्री उछाल प्रवाल भित्तियों, मैंग्रोव वनों और समुद्री घास के मैदानों को क्षतिग्रस्त कर देते हैं, जो मछलियों के जीवन चक्र के लिए अत्यंत आवश्यक होते हैं।
पानी का बढ़ा हुआ मटमैलापन	तलछट के बहाव से जल अधिक मटमैला हो जाता है, जिससे प्रकाश संश्लेषण के लिए आवश्यक प्रकाश की उपलब्धता घट जाती है और इससे जलजीवों की खाद्य श्रृंखलाएं प्रभावित होती हैं।
जल रसायन में परिवर्तन	तेज बारिश लवणता को घटा देती है, जबकि सतही अपवाह के कारण प्रदूषकों की मात्रा बढ़ जाती है, जिससे जल की गुणवत्ता पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है।
मछलियों के रहने और अंडे देने के स्थानों की हानि	चट्टानों और मैंग्रोव की क्षति से वे स्थान नष्ट हो जाते हैं जो मछलियों को सुरक्षा और प्रजनन के लिए आवश्यक होते हैं।
मछली आवासों का टूटना	तूफानी लहरों के कारण मुहाने और लैगून टूट जाते हैं, जिससे मछलियों का आवागमन, प्रजनन और पोषण स्थल प्रभावित होता है।

4. समुद्री आहार श्रृंखला

तूफ़ानों का समुद्री खाद्य तंत्र पर गहरा और जटिल प्रभाव पड़ सकता है, जो कई बार पूरे समुद्री

पारिस्थितिकी तंत्र की संरचना को बदल देता है (तालिका 4)। ये प्रभाव तूफ़ान की तीव्रता, प्रभावित समुद्री क्षेत्र की विशेषताओं और मौसमी परिस्थितियों पर निर्भर करते हैं।

तालिका 4: तूफ़ान के कारण समुद्री आहार श्रृंखला पर पड़ने वाले प्रभाव

पोषण स्तर	तूफ़ान द्वारा होने वाले प्रभाव
प्राथमिक जैव उत्पादक (फाइटोप्लांकटन)	बढ़ी हुई गंदगी सूर्य के प्रकाश की पहुंच और प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया को बाधित करती है; जबकि तूफ़ानी मिलावट से अल्पकालिक रूप से पोषक तत्वों की मात्रा बढ़ सकती है।
जूलैक्टन	समुद्री विक्षोभ के कारण जीवों के भोजन की उपलब्धता में कमी आ जाती है; जिसके कारण नाजुक जीव बिखर जाते हैं या मर जाते हैं।
छोटी सतही या मध्यम गहराई वाली समुद्री मछली	जूलैक्टन की उपलब्धता घटने से खाद्य श्रृंखला प्रभावित होती है, जिससे इनके प्रवासन व्यवहार में बदलाव आ जाता है।
शिकार करने वाली मछली	शिकार की सीमित उपलब्धता से भोजन संबंधी दबाव बढ़ जाता है; मछलियाँ पलायन करने लगती हैं और आपस में प्रतिस्पर्धा बढ़ जाती है।
समुद्री जानवर और पक्षी	भोजन की कमी से खाने और प्रजनन का तरीका प्रभावित होता है।
संपूर्ण भोजन श्रृंखला	ऊर्जा प्रवाह में रुकावट से असंतुलन पैदा होता है, और कुछ अवसरवादी प्रजातियां हावी हो जाती हैं।

5. पारिस्थितिक असंतुलन

तीव्र और बार-बार आने वाले तूफ़ान पारिस्थितिकी तंत्र के संतुलन को गंभीर रूप से प्रभावित कर सकते हैं, जिससे ऐसी प्रभावों की श्रृंखला शुरू हो सकती है जो समुदाय की संरचना, ऊर्जा प्रवाह और संपूर्ण

पारिस्थितिकीय अखंडता को बदल देती है। ये असंतुलन कई प्रकार से दिखाई दे सकते हैं और इनके प्रभाव प्रायः लंबे समय तक बने रहते हैं (तालिका 5)।

तालिका 5: तूफ़ानों के कारण पारिस्थितिकी तंत्र पर पड़ने वाला प्रभाव

प्रभावित क्षेत्र	वर्णन	उदाहरण
भौतिक आवासों की क्षति	लहरों और तूफ़ानी उछाल आवासों को नुकसान पहुँचाती हैं	प्रवाल भित्तियों का टूटना, मैंग्रोव का उखड़ना
तटीय क्षरण और अवसाद (तलछट) प्रवाह	तटीय कटाव और तलछट का मिश्रण, समुद्र तल पर बसे जीवों को नष्ट कर देता है।	समुद्री तटों की क्षति और समुद्री घास का सतह के नीचे दब जाना।

खाद्य श्रृंखला में व्यवधान	प्लैंक्टन विविधता में परिवर्तन से मछली प्रजनन और मछली संसाधनों की पुनःपूर्ति प्रभावित होती है।	मछलियों की संख्या में कमी
ऑक्सीजन की कमी	तूफान के पश्चात जैविक पदार्थों के क्षय से जल में घुलित ऑक्सीजन की कमी होती है, जिसके परिणामस्वरूप कम ऑक्सीजन वाले क्षेत्र (हाइपोक्सिया) उत्पन्न होते हैं।	ऑक्सीजन की कमी से मछलियों की मृत्यु और जीवनरहित क्षेत्र का निर्माण।
प्रजातीय पलायन और उच्च मृत्यु दर।	संवेदनशील प्रजातियाँ प्रभावित होकर पलायन करती हैं या समाप्त हो जाती हैं।	प्रवालों (कोरल) का रंगहीन होना और शंख प्रजातियों (शेलफिश) की आबादी में गिरावट।
समुद्री जल की भौतिक विशेषताओं में परिवर्तन	वर्षा और सतही बहाव लवणता को कम करते हैं; जबकि तूफानी मिश्रण सतही जल को ठंडा कर देता है।	समुद्री जीवों की जीवन परिस्थितियों पर असर
जल प्रदूषण और हानिकारक तत्व	तूफानी बहाव समुद्री क्षेत्रों में हानिकारक रसायन, प्लास्टिक और अपशिष्ट जल ले आता है।	दूषित जल और जैविक संचयन
दीर्घकालीन प्रभाव	आवासीय संरचनाओं की क्षति और पोषक चक्र के विघटन से जैव विविधता और पारिस्थितिकी तंत्र का संतुलन प्रभावित होता है।	अनुपयुक्त प्रजातियों का प्रभुत्व

निष्कर्ष

तूफान समुद्री जीवन को गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं, विशेषकर उन आवासों जैसे प्रवाल भित्तियाँ, मैंग्रोव और समुद्री घास के क्षेत्र, जो मछलियों के प्रजनन व प्रारंभिक जीवन चरणों के लिए आवश्यक होते हैं। गंदगी और तलछट के कारण पानी की पारदर्शिता कम हो जाती है, जिससे मछलियों के खाने और प्रजनन में रुकावट आती है। साथ ही, लवणता और तापमान में बदलाव से कमजोर प्रजातियाँ प्रभावित होती हैं और अपना स्थान बदलने लगती हैं। तूफानों की वजह से समुद्री जीवन में उथल-पुथल मचती है: ऑक्सीजन की कमी से जीव मरते हैं, और उनके प्रजनन व प्रवासन में बाधा आती है। तूफानों से प्लवक (प्लैंक्टन) की मात्रा में बदलाव आता है, जिससे समुद्री भोजन श्रृंखला प्रभावित होती है और इसका असर बड़ी मछलियों तक पहुँचता है। बार-बार तूफान आने से समुद्री आवास नष्ट होते हैं, जिससे जैव विविधता कम होती है और मछलियों की संख्या घटने

लगती है। तूफानों के कारण कृत्रिम रीफ और समुद्री संरक्षित क्षेत्रों की क्षति से संरक्षण प्रयासों को बाधा पहुँचती है।

संक्षेप में, तूफान केवल भौतिक वातावरण को ही नहीं, बल्कि पारिस्थितिक तंत्र और आर्थिक संरचनाओं को भी गंभीर रूप से प्रभावित करते हैं। अतः तटीय क्षेत्रों में बार-बार आने वाले तूफानों और उनके विनाशकारी प्रभावों से निपटने के लिए आपदा प्रतिरोधक क्षमता का निर्माण अत्यंत आवश्यक है। इसके साथ ही, प्राकृतिक संसाधनों की रक्षा, समुद्री जैव विविधता के संरक्षण और समुदायों की आजीविका को सुरक्षित रखने हेतु समावेशी, विज्ञान-आधारित और दीर्घकालिक टिकाऊ तटीय प्रबंधन रणनीतियों को शीघ्र अपनाना समय की मांग है।