विशेष प्रकाशन सं. 93
ISSN : 0972-2351

जलवायु परिवर्तन और मात्स्यिकी

केंद्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान
(भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद)
कोचीन - 682 018

भारतीय तटों में प्रवाल विरंजन घटनाओं में समुद्री सतह तापमान की भूमिका

एम. हुसैन अली, वी.वी. अफसल और एम. राजगोपालन
केंद्रीय समुद्री मात्स्यिकी अनुसंधान संस्थान, कोचीन

आमुख

आजकल प्रवाल भित्तियों के बीच दिखायी पड़नेवाली सबसे खतरनाक समस्या है प्रवाल विरंजन। प्रवालों की हानि के लिए अन्य कई घटक (मत्स्यन, प्रवाल रोग तथा परभक्षियों का आक्रमण, अवसाद आदि) होने पर भी हाल ही में प्रवाल विरंजन अत्यंत भीषणकारी घटक देखा गया है। साधारणतया पानी की लवणता, प्रकाश, विषाक्तता, सौर विकिरण, सूक्ष्म जीव ग्रसन, निम्न ज्वार और अवसाद और तापमान की प्रतिक्रिया के रूप में विरंजन होता है। बढ़ती की अवरुद्धता या समाप्ति या पुनरुत्पादन व्यवस्था में होनेवाले गड़बड़ से प्रवालों में होनेवाले दबाव की अंतिम अभिव्यक्ति है विरंजन।

हाल के दशकों में प्रवालों में दिखाए पडे व्यापक विरंजन से यह मालूम पडता है कि महा समुद्र के सतह का तापमान बढ़ता रहता है और भविष्य में होने वाले जलवायु परिवर्तन से दीर्घकालीन तौर पर प्रवालों का विरंजन हो जाएगा। विगत सदी के दौरान विश्व के उष्णकटिबंधीय महा समुद्रों के तापमान में उल्लेखनीय वृद्धि हुई है। समुद्र के तापमान में होनेवाली दशकीय वृद्धि कम होने पर भी समुद्रांदर में रहनेवाले प्रवालों के लिए यह तापमान अधिक होगा। यह बात पहचानी गयी है कि भौगोलीय तापन से सब से अधिक बुरा असर पडने वाले प्रवाल और प्रवाल जीव हो जाएंगे।

तापीय दबाव और प्रवाल विरंजन के तरीके

प्रवाल विरंजन का आत्यंतिक कारण तापमान नहीं माना जा सकता है, बल्कि इससे संबंधित अन्य पर्यावरणीय परिवर्तन (विशेषतः प्रकाश) और सामान्य तापमान से परिवर्तन होने की गहनता और अवधि भी हो सकते हैं। तापीय दबाव से होने वाले विरंजन को पानी के उच्च तापमान के क्षेत्रों तक सीमित नहीं किया जा सकता है। फिर भी पानी के उच्च तापमान होनेवाले क्षेत्रों के प्रवाल विरंजन के प्रति अत्यंत संवेदनशील दिखाए पडे हैं।

कई स्थानीय प्रभावों से लघु पैमाने तक प्रवालों का विरंजन होता है, लेकिन व्यापक प्रवाल विरंजन ग्रीष्म कालीन समुद्री तापमान की वजह से होता है। पिछले 20 वर्षों के दौरान प्रवाल विरंजन के छह भौगोलिक चक्र "व्यापक प्रवाल विरंजन घटनाएँ" हुए हैं। समुद्री तापमान और प्रेरित विरंजन के बीच की कड़ी दो दशकों से पहले ही पहचानी गयी है और यह रिपोर्ट किया कि "कम प्रकाश गहनता में प्रवाल ऊतक चरम तापमान का सहन कर सकते हैं"। इसके अतिरिक्त अनुसंधानकारों ने प्रवालों की तापीय अवसीमा और उच्चतम तापीय सहनीयता पर चर्चा की है। समुद्री तापमान में बढ़ती और प्रकाश में प्रवालों के अनावरण के आपसी सहयोग या ये दोनों घटक मिल-जुलने से व्यापक प्रवाल विरंजन होता है। वर्द्धित जलीय तापमान की गहनता से ही नहीं, बल्कि प्रवालों पर गरम पानी के प्रवेश की अवधि के अनुसार विरंजन की गहनता का पूर्वानुमान किया जा सकता है। इससे तापीय अवसीमा के मूल्य व्यक्त हो जाता है। ये मूल्य अक्षांश, प्रवाल जाति, अन्य भौतिक घटकों (जैसे प्रकाश) और ऐतिहासिक परिवेश के अनुसार बदल जाएगा। समुद्री सतह तापमान के मापन से विरंजन की गाढ़ता पर सूचना प्राप्त होती है। अन्य घटकों पर जांच करना आवश्यक होने पर भी समुद्री सतह तापमान में होनेवाली असंगति और प्रकाश में अनावरण होने की अवधि के मापन से अगली सदी में प्रवालों के विरंजन से मृत्युता तक की अवनति का संकेत मिलना आसान होगा।

समुद्री तापमान बढ़ने से तीव्र और गहन रूप से व्यापक विरंजन होने के लिए कारणभूत मुख्य घटक नीचे दिए जाते हैं।

- पिछले 100 वर्षों के दौरान उष्णकटिबंधीय/उपोष्ण-कटिबंधीय समुद्री तापमान में बढ़ती। पिछली एक सदी की अपेक्षा उष्णकटिबंधीय/उपोष्णकटिबंधीय महा समुद्रों के तापमान में 0.4-1.0^{0}C की वृद्धि हुई है।
- ई एन एस ओ घटनाओं के समय और गहनता ग्रीष्म के महीनों में तीव्र होते हैं क्योंकि ग्रीष्म में समुद्री तापमान प्रवालों और उनके जोज़ान्तेल्ला की सहनीयता से भी अधिक होगा।
- तापीय अवसीमा की प्रकट स्थिरता के अवलोकन से यह स्पष्ट होता है कि परिवर्तन के प्रति अनुकूलन पिछले कुछ दशकों से लेकर प्रवाल भित्तियों पर होनेवाले तापीय दबाव की दर की अपेक्षा बहुत कम है।

प्रवाल जातियों की तापीय सीमाओं पर आकलन करने पर विरंजन की गहनता और तीव्रता समझने में सहायक हो जाएगा। वास्तव में 'होटस्पोट' जो भौगोलिक रूप से तापीय असंगतियों से संबंधित है और 'डिग्री हीटिंग वीक्स' (विरंजन के समय होट्स्पोट की अवधि और गहनता से संबंधित है, (विरंजन की चेतावनी मिलने के लिए उपयुक्त किए जाते हैं। वर्तमान अध्ययन में उल्लिखित तापीय अवसीमा माहिक आंकडे पर आधारित है और इसे 'डिग्री हीटिंग मंथ' (डी एच एम) के रूप में द्योतित किया जाता है। इस अध्ययन में 0.5 और अधिक डी एच एम मूल्य पर प्रवालों का विरंजन शूरु होता है। यह + 1^{0}C असंगति में प्रवाल दीर्घकाल तक समुद्री तापमान में अनावरण करने के समान होता है।

तापीय दबाव का वर्तमान संघात

वर्ष 1970 के मध्यकाल में भौगोलीय तापन (आइ पी सी सी 2001) की वर्द्धित दर के साथ साथ व्यापक प्रवाल विरंजन पर अधिकाधिक रिपोर्ट प्राप्त हुई थी। इसी समय ग्रीन हाउस गैस उत्स्रवण से होनेवाले भौगोलीय तापन के शक्य संघातों पर बडी आशंका उभर आयी थी। व्यापक प्रवाल विरंजन, प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में असाधारण रूप से समुद्री सतह का तापमान अधिक होने पर संभव होता है। भारतीय महा सागर और मध्य पूर्व भाग के 18 प्रवाल क्षेत्रों के तापीय दबावों के अवलोकन से यह संकेत मिलता है कि वर्ष 1970 से लेकर गरम मौसम की तीव्रता और वर्ष 1997-98 के दौरान तापीय दबाव की गहनता सबसे अधिक थी। वर्ष 1998 में विरंजन का बुरा आसर सब से अधिक दिखाया पडा। वर्ष 1998-2002 के दौरान व्यापक प्रवाल विरंजन और समुद्री तापमान में बढ़ती अधिक मात्रा में दृश्यमान थे।

वर्ष 1989 से लेकर भारत की प्रवाल भित्तियों में व्यापक विरंजन और मृत्युता की 29 घटनाएं रिपोर्ट की गयी हैं। ये घटनाएं वर्ष 1989, 1998, 1999 और 2002 में हुई हैं। वर्ष

1989 से पहले व्यापक विरंजन की रिपोर्ट नहीं की गयी थी। वास्तविक समय के आंकडे उपलब्ध नहीं होने की वजह से वर्ष 1985-2005 के लिए ए वी एच आर आर उपग्रह आंकडा संग्रहित किया गया। भारतीय प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में यह आंकडा उपयुक्त करके प्राप्त समुद्री सतह तापमान की दर सारणी - 1 में दी गयी है। मल्टी वेरिएट एन्सो सूचक जो कच्छ की खाडी के अतिरिक्त सभी भित्ति क्षेत्रों के लिए लागू है, उपयुक्त करके तापमान दर के सह संबंध का विश्लेषण किया गया है।

आन्डमान समुद्र

सभी प्रवाल भित्ति स्थानों में समुद्री सतह तापमान पर टाइम सीरीस आंकडा उपलब्ध नहीं होने की वजह से वर्ष 1985-2005 के दौरान संग्रहित एन ओ ए ए एन ए एस ए आंकडा एस एस टी और प्रवाल विरंजन के बीच का सह संबंध समझने के लिए उपयुक्त किया गया। आन्डमान समुद्र में वर्ष 1985-2005 के दौरान की तापमान प्रवणता का विश्लेषण (चित्र-1) यह दिखाता है कि भित्ति क्षेत्र का तापमान, जो पहले

सारणी -1 भारत के 5 प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में वर्ष 1985-2005 के दौरान समुद्री सतह तापमान की तापन दर (आंकडा स्रोतः COADS, AVHRR)

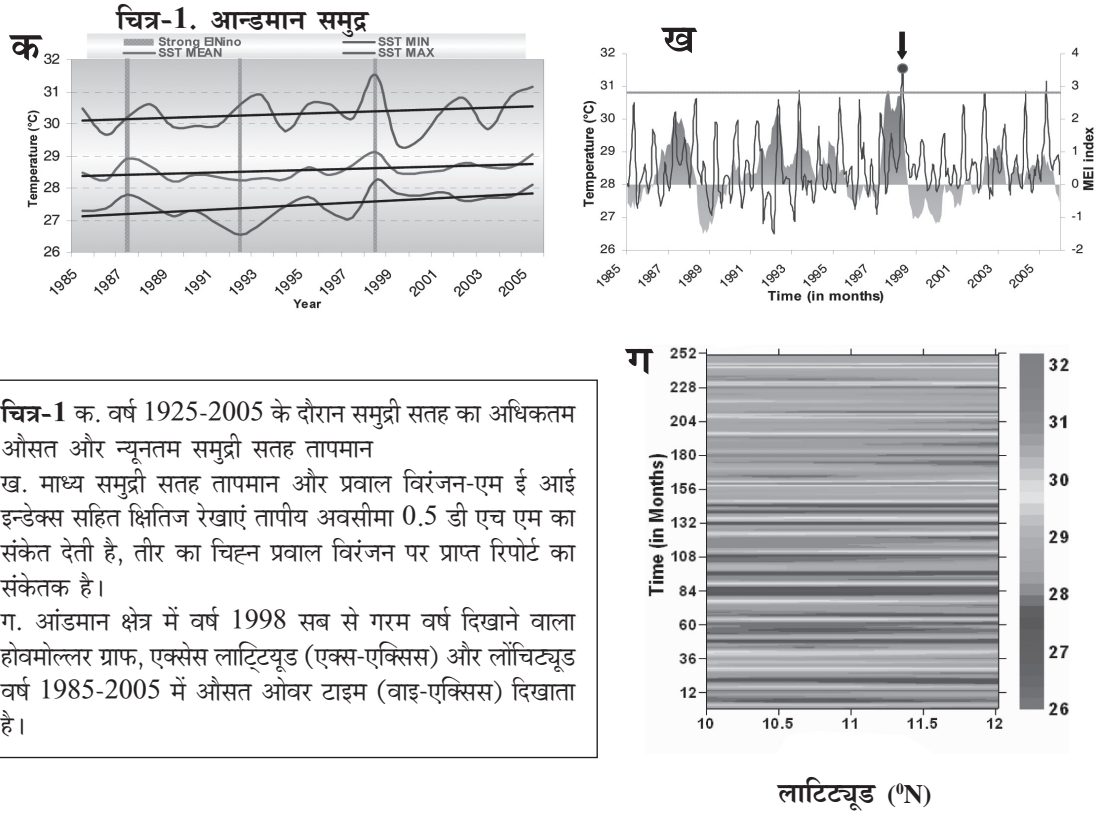
स्थान	1985-2005 (AVHRR) (^{0}C वृद्धि/दशक)	एम ई आइ के साथ सह संबंध (1985-2005)
आन्डमान द्वीप समूह	0.192	0.186 **
निकोबार द्वीप समूह	0.172	0.143 *
मान्नार खाडी	0.203	0.144 *
लक्षद्वीप आर्चिपेलाग्रो	0.205	0.201 **
कच्छ की खाडी	0.116	0.086

** 0.01 स्तर में महत्वपूर्ण

* 0.05 स्तर में महत्वपूर्ण

0.14^{0}C /दशक थी, की अपेक्षा 0.19^{0}C /दशक है। चित्र 1 क से वार्षिक माध्य, न्यूनतम और अधिकतम तापमान व्यक्त होता है। लंबायमान रेखाएं इस अवधि के दौरान हुई एल निनो घटनाएं

चित्र-1. आन्डमान समुद्र



चित्र-1 क. वर्ष 1925-2005 के दौरान समुद्री सतह का अधिकतम औसत और न्यूनतम समुद्री सतह तापमान

ख. माध्य समुद्री सतह तापमान और प्रवाल विरंजन-एम ई आई इन्डेक्स सहित क्षितिज रेखाएं तापीय अवसीमा 0.5 डी एच एम का संकेत देती है, तीर का चिह्न प्रवाल विरंजन पर प्राप्त रिपोर्ट का संकेतक है।

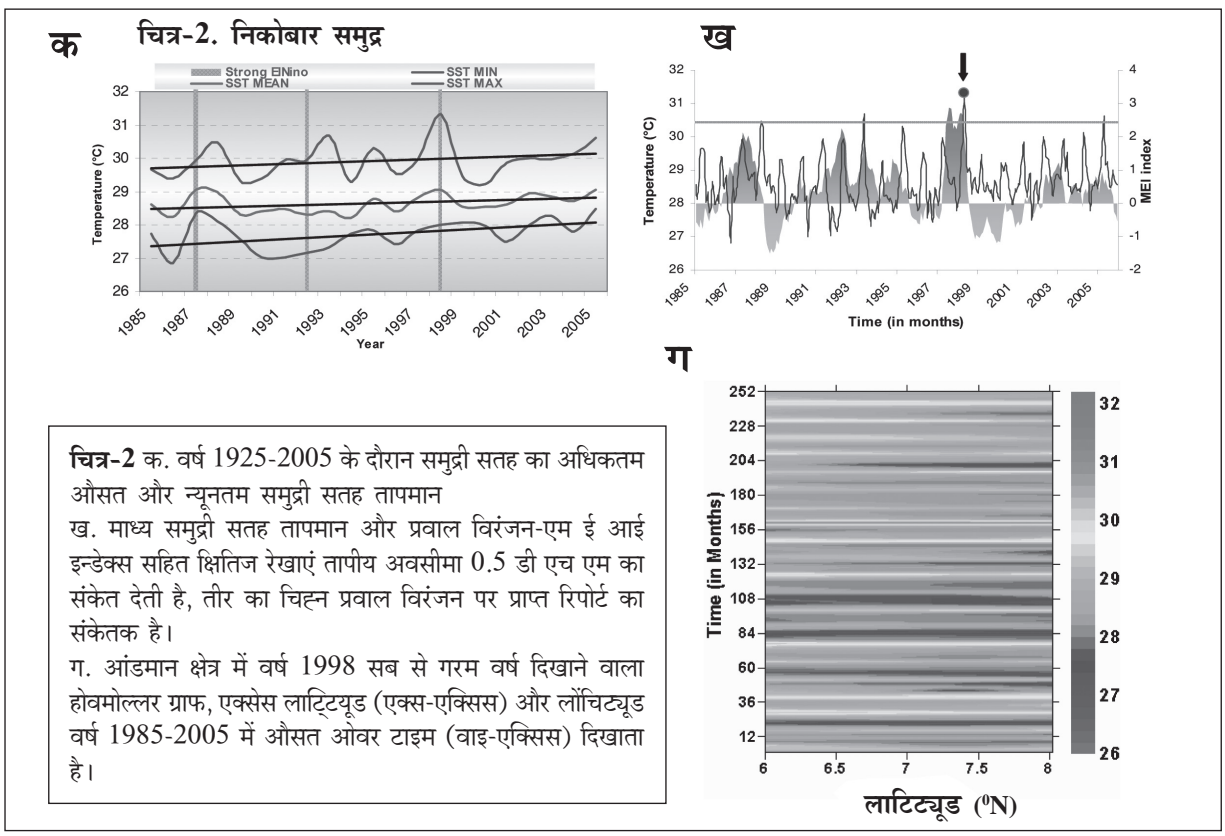
ग. आंडमान क्षेत्र में वर्ष 1998 सब से गरम वर्ष दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ, एक्सेस लाट्टियूड (एक्स-एक्सिस) और लोंचिट्यूड वर्ष 1985-2005 में औसत ओवर टाइम (वाइ-एक्सिस) दिखाता है।

और इस के प्रभाव से तापमान में हुई वृद्धि व्यक्त करती हैं।

चित्र 1 ख में प्रवाल विरंजन के लिए 0.5 डी एच एम क्षितिजीय अवसीमा के साथ माहिक एस एस टी मूल्य दिखाए जाते हैं। चित्र में एम ई आई सूचक मूल्य भी दिखाए जाते हैं (उल्लेखनीय सह संबंध $P<0.01$; सारणी 1) चित्र ग एस एस टी का माहिक नमूना दिखानेवाला होवमोल्लर ग्राफ है। चित्र से व्यक्त होता है कि वर्ष 1998 में सबसे अधिक तापमान हुआ है इस के बाद वर्ष 2002 में।

निकोबार समुद्र

चित्र 2 क निकोबार प्रवाल भित्ति क्षेत्र के वार्षिक माध्य न्यूनतम और अधिकतम तापमान व्यक्त करता है। चित्र में



चित्र-2. निकोबार समुद्र

चित्र-2 क. वर्ष 1925-2005 के दौरान समुद्री सतह का अधिकतम औसत और न्यूनतम समुद्री सतह तापमान
ख. माध्य समुद्री सतह तापमान और प्रवाल विरंजन-एम ई आई इन्डेक्स सहित क्षितिज रेखाएं तापीय अवसीमा 0.5 डी एच एम का संकेत देती है, तीर का चिह्न प्रवाल विरंजन पर प्राप्त रिपोर्ट का संकेतक है।
ग. आंडमान क्षेत्र में वर्ष 1998 सब से गरम वर्ष दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ, एक्सेस लाट्टियूड (एक्स-एक्सिस) और लोंचिट्यूड वर्ष 1985-2005 में औसत ओवर टाइम (वाइ-एक्सिस) दिखाता है।

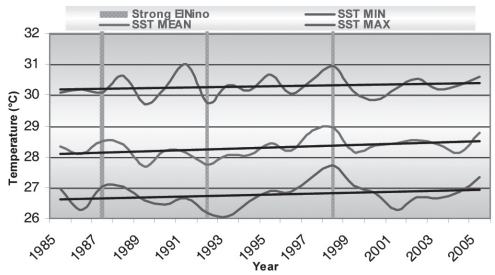
प्रवाल भित्तियों क्षेत्र में रिपोर्ट किए गए भौगोलिक तापन से भी 0.17^0C /दशक की दर का तापमान व्यक्त होता है। लंबायमान रेखाओं से इस अवधि के दौरान हुई एल निनो घटनाएं और इस से समुद्री सतह तापमान में हुए प्रभाव दृश्यमान है। एल निनो घटनाओं के बाद वर्ष 1987-88 और 1992-93 के दौरान तापमान में बढ़ती हुई, लेकिन 1998 में सबसे अधिक तापमान था। चित्र 2 ख में प्रवाल विरंजन के लिए 0.5 डी एच एम क्षितिजीय अवसीमा के साथ माहिक एस एस टी मूल्य दिखाए जाते हैं। चित्र 2 में एम ई आई सूचक मूल्य और दोनों के बीच का उल्लेखनीय सहसंबंध भी दिखाए जाते हैं ($P<0.05$; सारणी 1) चित्र 2 ग एस एस टी का माहिक नमूना दिखाते वाला है होवमोल्लर ग्राफ है। चित्र से व्यक्त होता है कि वर्ष 1998 सब से अधिकतम तापमान महसूस हुआ वर्ष था, इसके बाद वर्ष 2002.

मान्नार खाडी

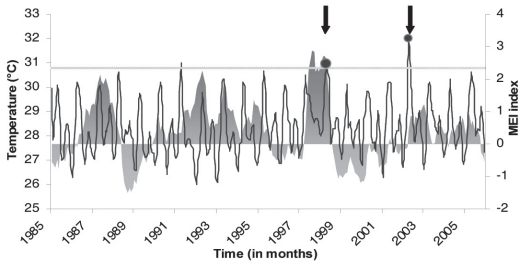
चित्र 3 क मान्नार खाडी के वार्षिक माध्य, न्यूनतम और अधिकतम तापमान व्यक्त करता है। चित्र में, प्रवाल भित्तियों के क्षेत्र में रिपोर्ट किए गए भौगोलिक तापन से भी 0.20^0C /दशक की दर के तापमान की प्रवणता व्यक्त होती है। लंबायमान रेखाओं से इस अवधि के दौरान हुई एल निनो घटनाएं और इससे समुद्री सतह तापमान में हुए प्रभाव दृश्यमान है। वास्तव में एल निनो वर्ष 1987-88 और 1992-93 के दौरान की एल

क

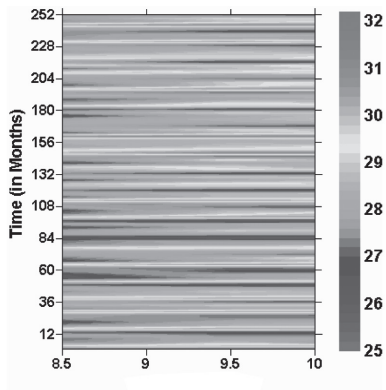
चित्र-3. मान्नार खाडी



ख



ग



चित्र-3 क. वर्ष 1925-2005 के दौरान समुद्री सतह का अधिकतम औसत और न्यूनतम समुद्री सतह तापमान
ख. माध्य समुद्री सतह तापमान और प्रवाल विरंजन-एम ई आई इन्डेक्स सहित क्षितिज रेखाएं तापीय अवसीमा 0.5 डी एच एम का संकेत देती है, तीर का चिह्न प्रवाल विरंजन पर प्राप्त रिपोर्ट का संकेतक है।
ग. आंडमान क्षेत्र में वर्ष 1998 सब से गरम वर्ष दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ, एक्सेस लाट्टियूड (एक्स-एक्सिस) और लोंचिट्यूड वर्ष 1985-2005 में औसत ओवर टाइम (वाइ-एक्सिस) दिखाता है।

निनो घटनाओं के दौरान घटित नहीं हुई, लेकिन वर्ष 1998 के दौरान अधिकतम तापमान हुआ था। चित्र 3 ख में प्रवाल विरंजन के लिए 0.5 डी एच एम क्षितिजीय अवसीमा के साथ माहिक एस एस टी मूल्य दिखाए जाते हैं। चित्र में एम ई आई सूचक मूल्य ($P<0.05$; सारणी 1) व्यक्त होता है। चित्र 3 ग एस एस टी का माहिक नमूना दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ है। चित्र से व्यक्त होता है कि 1998 सब से अधिकतम तापमान का वर्ष था और इस के बाद 2002।

लक्षद्वीप क्षेत्र

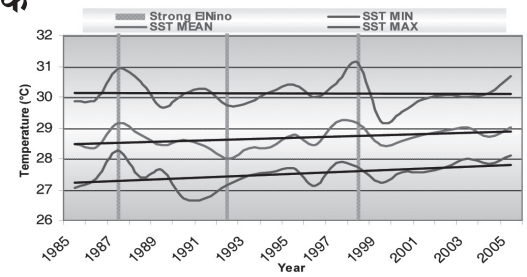
चित्र 4 क लक्षद्वीप प्रवाल भित्ति क्षेत्र के वार्षिक माध्य, न्यूनतम और अधिकतम तापमान व्यक्त करता है। चित्र में, प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में रिपोर्ट किए गए भौगोलिक तापन से भी 0.21^0C /दशक की दर के तापमान की प्रवणता व्यक्त होती है। लंबायमान रेखाओं से इस अवधि के दौरान हुई एल निनो घटनाएं और इस से समुद्री सतह तापमान में हुए प्रभाव दृश्यमान है। वास्तव में एल निनो का प्रभाव वर्ष 1987-88 और 1998 के की एल निनो घटनाओं के दौरान हुआ। चित्र 4 ख में प्रवाल विरंजन के लिए 0.5 डी एच एम क्षितिजीय अवसीमा के साथ माहिक एस एस टी मूल्य दिखाए जाते हैं, चित्र में एम ई आई सूचक मूल्य ($P<0.01$; सारणी 1) उच्च मात्रा में व्यक्त होता है। चित्र 4 ग समुद्री सतह तापमान का माहिक नमूना दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ है। चित्र से व्यक्त होता है कि वर्ष 1998 सब से अधिकतम तापमान का वर्ष था और इस के बाद 2004।

कच्छ की खाडी

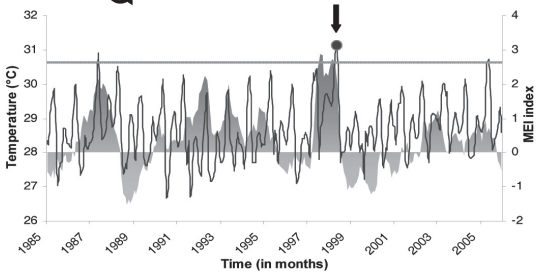
चित्र 5 क कच्छ की खाडी के प्रवाल भित्ति क्षेत्र के वार्षिक माध्य, न्यूनतम और अधिकतम तापमान व्यक्त करता है। चित्र में प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में रिपोर्ट किए गए भौगोलिक तापन से भी 0.21^0C /दशक की दर के तापमान की प्रवणता व्यक्त होती है। लंबायमान रेखाओं से इस अवधि के दौरान हुई एल निनो घटनाएं और इससे समुद्री सतह तापमान में हुए प्रभाव दृश्यमान है। वास्तव में, एल निनो अन्य क्षेत्रों के समान एल निनो की घटनाओं के दौरान नहीं हुआ। अन्य प्रवाल क्षेत्रों की

चित्र-4. लक्षद्वीप क्षेत्र

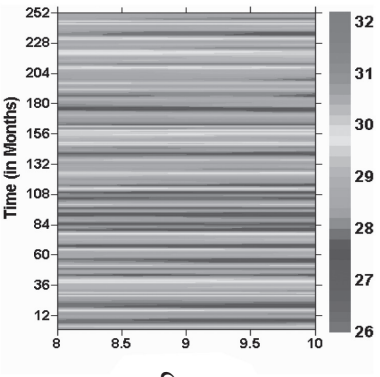
क



ख



ग

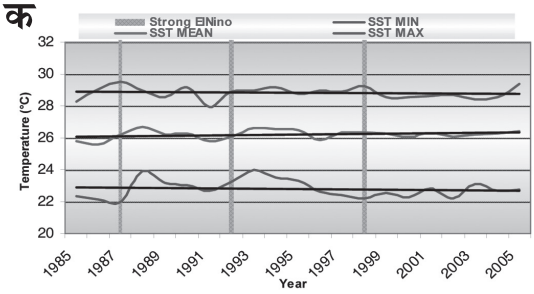


लाटिट्यूड (^{0}N)

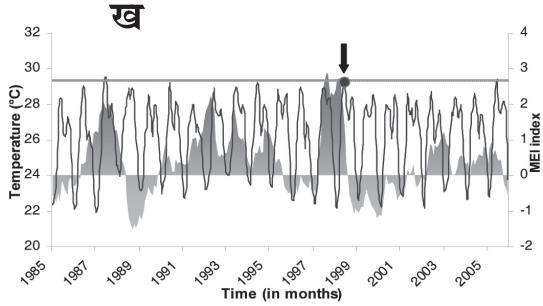
चित्र-4 क. वर्ष 1925-2005 के दौरान समुद्री सतह का अधिकतम औसत और न्यूनतम समुद्री सतह तापमान
ख. माध्य समुद्री सतह तापमान और प्रवाल विरंजन-एम ई आई इन्डेक्स सहित क्षितिज रेखाएं तापीय अवसीमा 0.5 डी एच एम का संकेत देती है, तीर का चिह्न प्रवाल विरंजन पर प्राप्त रिपोर्ट का संकेतक है।
ग. आंडमान क्षेत्र में वर्ष 1998 सब से गरम वर्ष दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ, एक्सेस लाट्टियूड (एक्स-एक्सिस) और लोंचिट्यूड वर्ष 1985-2005 में औसत ओवर टाइम (वाइ-एक्सिस) दिखाता है।

चित्र-5. कच्छ की खाडी

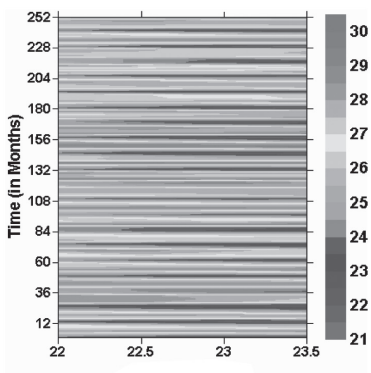
क



ख



ग

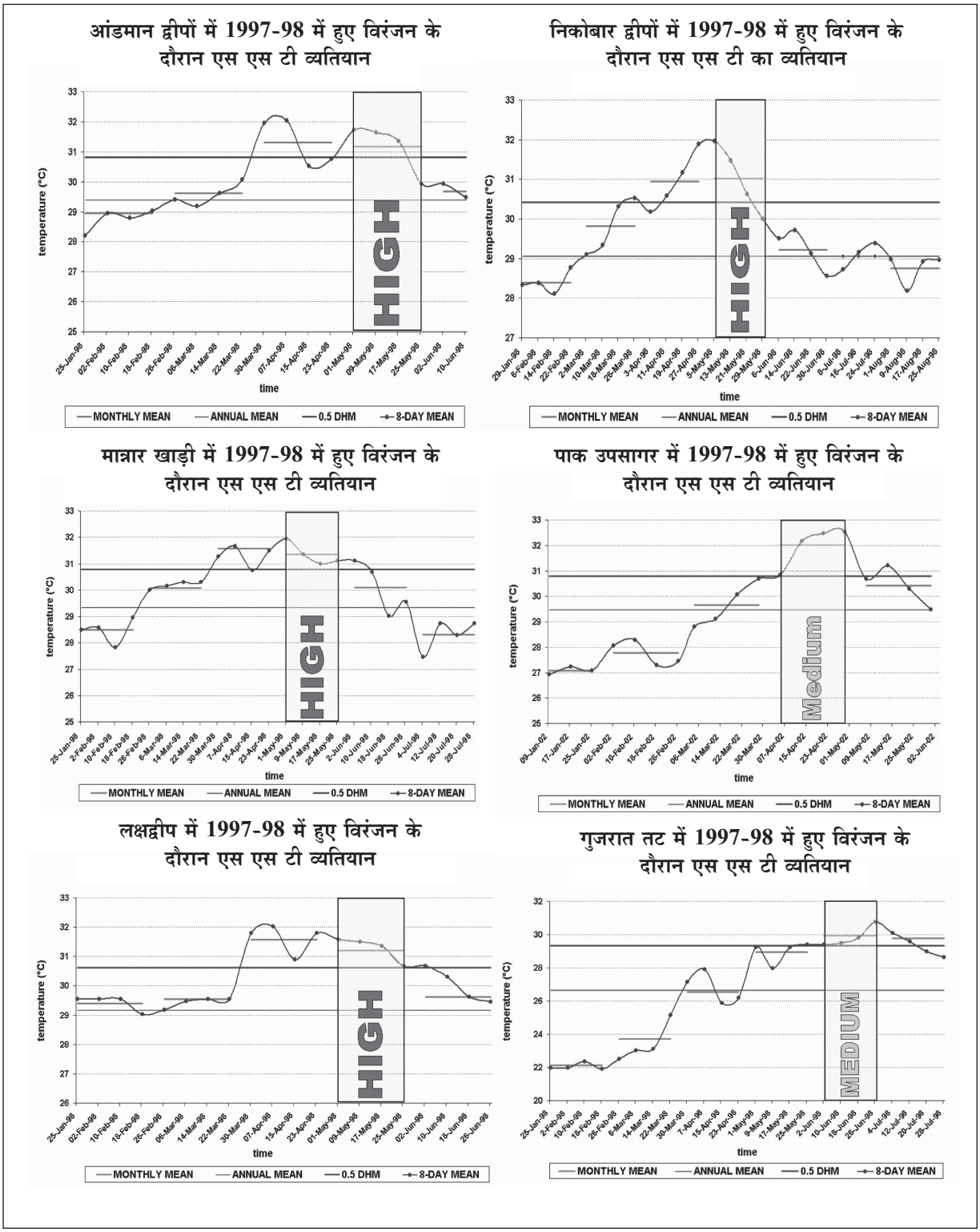


लाटिट्यूड (^{0}N)

चित्र-5 क. वर्ष 1925-2005 के दौरान समुद्री सतह का अधिकतम औसत और न्यूनतम समुद्री सतह तापमान
ख. माध्य समुद्री सतह तापमान और प्रवाल विरंजन-एम ई आई इन्डेक्स सहित क्षितिज रेखाएं तापीय अवसीमा 0.5 डी एच एम का संकेत देती है, तीर का चिह्न प्रवाल विरंजन पर प्राप्त रिपोर्ट का संकेतक है।
ग. आंडमान क्षेत्र में वर्ष 1998 सब से गरम वर्ष दिखाने वाला होवमोल्लर ग्राफ, एक्सेस लाट्टियूड (एक्स-एक्सिस) और लोंचिट्यूड वर्ष 1985-2005 में औसत ओवर टाइम (वाइ-एक्सिस) दिखाता है।

चित्र 6. प्रवाल विरंजन घटनाओं के दौरान समुद्री सतह तापमान

वर्ष 1998 और 2002 के व्यापक प्रवाल विरंजन के दौरान भारतीय प्रवाल भित्ति क्षेत्रों से उपग्रह आंकडों द्वारा किए गए समुद्री सतह तापमान और विरंजन का मापन



अपेक्षा यह प्रवाल क्षेत्र उच्चतम लाट्टिटट्यूड में स्थित होने के कारण यह हुआ होगा। चित्र 5 ख में प्रवाल विरंजन के लिए 0.5 डी एच एम क्षितिजीय अवसीमा के साथ माहिक एस एस टी मूल्य दिखाए जाते हैं। चित्र में एम ई आई सूचक मूल्य उल्लेखनीय नहीं है (सारणी -1)। चित्र 5 ग समुद्री सतह तापमान का माहिक नमूना दिखानेवाला होवमोल्लर ग्राफ है। चित्र से व्यक्त होता है कि वर्ष 1998 सब से अधिक तापमान का वर्ष था।

निष्कर्ष

अब कई सबूत है कि भौगोलिक तापन 0.6^0C का परिवर्तन होने पर पृथ्वी के आवास तंत्र में परिवर्तन हुआ है। इससे प्रवाल भित्ति बनाने वाले जीवों के स्वास्थ्य और वितरण में गंभीर संघात पैदा होते हैं। वर्ष 1979 से पहले प्रवालों का व्यापक विरंजन वैज्ञानिक क्षेत्र में महसूस नहीं हुआ था। वर्ष 1998 में विश्व व्यापक तौर पर हुआ व्यापक प्रवाल विरंजन सब से बडी और पहली घटना थी। इस घटना के साथ साथ कई प्रवाल भित्ति क्षेत्रों के समुद्र का तापमान सबसे अधिक था। कुछ प्रवाल भित्ति क्षेत्रों में वर्ष 1998 के दौरान हुए विरंजन से प्रवाल भित्ति निर्माण के लिए सहायक कई जीवों का नाश हुआ। इन परिवर्तनों से, प्राथमिक आवास या खाद्य स्रोत के रूप में जीवों के वितरण और प्रचुरता में द्वितीय परिवर्तन होता है। पानी के तापमान में हुई बढ़ती से प्रवालों का विरंजन तथा मृत्युता बढ़ गयी है। तापमान में लगभग 2 और 6^0C की प्रक्षेपित बढ़ती से वर्ष 2100 तक आते आते प्रवाल भित्तियों पर होने वाले दबाव का स्तर आज से 5 या 10 गुना अधिक होने की संभावना है। इस तरह के परिवर्तन से पानी का तापमान 2^0C होने पर भी प्रवालों का रहना मुश्किल होगा। प्रवाल जलवायु परिवर्तन के अनुकूल रह सकते हैं या नहीं, यह अनिश्चितता की बात है। तापीय अनुकूलन का पहचान करना प्रवालों के परिरक्षण और नीति रूपायन दोनों के लिए आवश्यक होगा। भविष्य में होनेवाले संघातों, जागरूकता अभियान, तैयारी एवं योजना, उपशमन उपाय आदि पर अब से ही कार्रवाई उठायी जानी चाहिए।