तटीय भूक्षरण

शरद चंद्र

तटीय क्षेत्र की क्षरण प्रक्रिया में तटरेखा के ठोस पदार्थों और उसके साथ-साथ तलछट में भी पुनः फैलाव हो रहा है। ऐसा आमतौर पर प्राकृतिक कारणों जैसे लहरों, ज्वारीय और तटीय धाराओं और अपवाह के कारण होता है। भूक्षरण के कारण या तो प्राकृतिक हैं या मानव निर्मित। कभी-कभी यह दोनों कारणों के संयोजन से होता है। पहला कारण एक निरंतर प्रक्रिया है जिसका प्रतिरोध करना बहुधा असंभव होता है जबकि दूसरे कारण के पीछे अक्सर दोषपूर्ण तरीके वाली नियोजित गतिविधियाँ हैं जिन्हें निश्चित रूप से नियंत्रित किया जा सकता है या रोका भी जा सकता है।

हाल के वर्षों में बढ़ती मानव आबादी और तटों के पास तेज़ी से होने वाली विकास गतिविधियों के कारण तटीय क्षेत्रों को अधिक महत्व दिया जाने लगा है। विकासात्मक गतिविधियों से नाजुक तटीय वातावरण बेहद प्रभावित हुआ है और लगभग 20 प्रतिशत भारतीय आबादी तटीय क्षेत्र में रहती है। मुंबई, चेन्नई, कोलकाता, कोच्चि और विशाखापत्तनम जैसे कई घनी आबादी वाले औद्योगिक शहर तटीय क्षेत्रों के समीप स्थित हैं।

भारतीय तट की कुछ आम समस्याएँ हैं जिनमें इंजीनियरिंग युक्तियों की आवश्यकता होती है। इनमें प्रवेश चैनलों में गाद जमना, नदी के मुहाने का बंद होना, तूफान के बढ़ने से बाढ़ आना, संकरी खाड़ियों, नदियों और नदी और समुद्र जल के संगम स्थलों के मुहानों पर रेती जमना और तट का भूक्षरण शामिल हैं। हालांकि सभी समस्याओं से निपटने की आवश्यकता है पर तटीय क्षरण चिंता का मुख्य विषय है।

तटरेखा परस्पर संबद्ध भौतिक प्रणालियों की एक जटिल श्रृंखला है जिसमें अपतटीय और तटवर्ती दोनों प्रक्रियाएँ शामिल हैं। तटीय क्षरण इन भौतिक प्रक्रियाओं में से एक है जो तटरेखा के ठोस पदार्थों के साथ-साथ तलछट में भी पुनः फ़ैलाव का कारण बनती है और ऐसा आमतौर पर प्राकृतिक कारणों जैसे लहरों, ज्वारीय और तटीय धाराओं और संकुचल के कारण होता है। क्षरण तब होता है जब तटीय पदार्थ को कहीं और जमा करने के लिए हटाया जाने का अनुपात आपूर्ति से अधिक हो जाता है जिसके परिणामस्वरूप तटरेखा भूभाग की ओर खिसकने लगती है।

तटीय तलछट के साथ अंत:स्थलीय क्षरण से उत्पन्न होने वाले तलछट नदियों द्वारा समुद्र की ओर पहुँचते हैं, तट के आस पास पुनः जमा होते हैं और रेट के टीलों, समुद्र तटों, दलदल और शैल भित्तियों में तब्दील हो जाते हैं। रेत दूसरे समुद्र तट पर, समुद्र के गहरे तल में, समुद्री खाई में या रेत के टीले के स्थलीय भाग पर पहुँच सकती है। रेत-अंतरण प्रणाली द्वारा रेत के हटने से समुद्र तट के आकार और संरचना में स्थायी परिवर्तन होते हैं।

तटीय क्षरण का मुख्य कारण लहरें हैं। लहर सागर के मध्य भाग में उत्पन्न होती हैं और तट की ओर बढ़ती है। लहरें तट पर भारी मात्रा में ऊर्जा लाती हैं जो उनके तट से टकराने, धाराओं के बनने, जल स्तर में परिवर्तन और तलछट के आवागमन, उथल-पुथल और ऊष्मा द्वारा नष्ट हो जाती हैं। तरंग ऊर्जा के तीन कारण हैं : समुद्र की सतह पर बहने वाली हवा की गति, फैलाव की दूरी (यानी समुद्र की वह दूरी जहां तक हवा बह रही है) और वह अवधि जब तक

लेखक केंद्रीय जल आयोग के निदेशक (तटीय प्रबंधन) हैं। ईमेल: sharadchandra-cwc@nic.in

हवा बह रही है। आकस्मिक तरंगें स्थानिक और सामयिक परिवेश के साथ विभिन्न रूप लेती हैं और उनके लक्षण समुद्र तल पर होने वाली गतिविधियों के साथ बदलते हैं। समुद्र तटों की ज्यामिति और संरचना को निर्धारित करने में लहरें प्रमुख कारक हैं। लहरों की गतिविधियाँ तट पर पदार्थों/तलछट को हटाने और जोड़ने की प्रक्रियाओं को निर्धारित करती हैं।

कभी-कभार तटीय तलछट अभिवृद्धि द्वारा तट के दिखाई देने वाले भाग में लौट आती है। अभिवृद्धि और क्षरण की ये दो प्रक्रियाएँ तट की भौगोलिक संरचना को निर्धारित करने में प्रमुख भूमिका निभाती हैं। तटीय क्षरण और अभिवृद्धि के कारण तटरेखा में बदलाव प्राकृतिक प्रक्रियाएँ हैं जो विभिन्न कालक्रम के दौरान होती हैं। कालगत पैमाने के सन्दर्भ में ये प्रक्रियाएँ छोटे परिमाण की घटनाओं जैसे तूफान, लहरों की नियमित गतिविधियों, ज्वार और हवाओं और बड़े परिमाण की घटनाओं जैसे हिमाच्छादन या प्रवर्तन (ऑरोजेनिक) चक्रों, या विवर्तनिक (टेक्टोनिक) गतिविधियों की प्रतिक्रिया में हो सकती हैं जो तटीय भूमि के धंसने या उभरने का कारण बनती हैं।

तटीय क्षरण को प्रभावित करने वाले प्राकृतिक कारण लहरें, हवाएं, ज्वार, तटवर्ती धाराएं, तूफान, समुद्र के स्तर में वृद्धि आदि हैं। समुद्र तट पर लहरों और ज्वार जैसी विभिन्न प्रक्रियाओं की संयुक्त क्रियाशीलता तटरेखा की स्थिरता को बनाए रखती है। यदि किसी कारण से समुद्र तट के किसी हिस्से में तलछट का पहुँचना तटवर्ती बहाव/समुद्र के स्तर में वृद्धि या लहरों के निरंतर प्रभाव के कारण कम हो जाता है तो यह गंभीर क्षरण का कारण बन सकता है।

भारत में तटीय क्षरण का इतिहास

तटीय क्षरण से भारत में केरल सबसे अधिक प्रभावित राज्य है। साठ के दशक में किये गए मूल आकलन में लगभग 57 प्रतिशत समुद्र तटीय भूमि अति संवेदनशील पायी गई थी। वैसे तो राज्य में तटीय भूमि के क्षरण को लंबे समय से महसूस किया जाता रहा है और रिकॉर्ड बताते हैं कि उन्नीसवीं शताब्दी में भी क्षरण प्रतिरोधी निर्माण कार्य किये गए थे। अस्सी के दशक के अंत में किए गए एक आकलन ने संकेत दिया कि केरल के समुद्र तट की लगभग 85 प्रतिशत लंबाई क्षरण की चपेट में थी। बाद में यह पाया गया कि कर्नाटक और महाराष्ट्र भी समुद्र के क्षरण से बुरी तरह प्रभावित हुए थे। अन्य राज्यों में यह समस्या विभिन्न कारणों के चलते कुछ कुछ स्थानों/तटीय क्षेत्रों में पाई गई। पुदुच्चेरी में पहली समुद्र-क्षरण प्रतिरोधी पहल फ्रांसीसियों द्वारा बीस के दशक के आरंभ में की गयी जब पुदुच्चेरी में शहरी समुद्र तट भूमि के साथ-साथ 1.75 कि.मी. लंबी *रिटेनिंग वॉल* का निर्माण किया गया था।

ग्रोइन समुद्र या नदी के किनारे लंबवत निर्मित एक कठोर हाइड्रोलिक संरचना

तटीय क्षरण के कारण

तटरेखा जो भूमि और समुद्र के बीच की सीमा रेखा है गतिशील पर्यावरणीय परिस्थितियों के कारण लगातार अपना आकार और स्थिति बदलती रहती है। तटीय क्षेत्रों में विभिन्न विकासात्मक परियोजनाएँ बनाई जाती हैं जो उन पर बहुत दबाव डालती हैं और विभिन्न तटीय खतरों जैसे मिट्टी का कटाव, समुद्री जल अंतर्वेशन, प्रवाल विरंजन, तटरेखा परिवर्तन आदि को जन्म देती हैं।

भूक्षरण के कारण या तो प्राकृतिक हैं या मानव निर्मित। कभी-कभी यह दोनों कारणों के संयोजन से होता है। पहला कारण एक निरंतर प्रक्रिया है जिसका प्रतिरोध करना बहुधा असंभव होता है जबकि दूसरे कारण के पीछे अक्सर दोषपूर्ण नियोजित गतिविधियाँ हैं जिन्हें निश्चित रूप से नियंत्रित किया या रोका भी जा सकता है। जलवायु परिवर्तन, समुद्र के स्तर में वृद्धि और क्षरण के अन्य दीर्घकालिक कारणों के प्रभावों का अभी भी पता नहीं चल पाया है।

प्राकृतिक कारण

तटीय क्षरण को प्रभावित करने वाले प्राकृतिक कारण लहरें, हवाएं, ज्वार, तटवर्ती धाराएं, तूफान, समुद्र के स्तर में वृद्धि आदि हैं। समुद्र तट पर लहरों और ज्वार जैसी विभिन्न प्रक्रियाओं की संयुक्त क्रियाशीलता तटरेखा की स्थिरता को बनाए रखती है। यदि किसी कारण से समुद्र तट के किसी हिस्से में तलछट का पहुँचना तटवर्ती बहाव/समुद्र के स्तर में वृद्धि या लहरों के निरंतर प्रभाव के कारण कम हो जाता है तो यह गंभीर क्षरण का कारण बन सकता है।

यहां एक अन्य महत्वपूर्ण कारक तलछट के किसी दिशा में परिवहन की दर का चढ़ना उतरना है मसलन कुछ उभारदार रचनाओं या बाथीमेट्रिक (जल की गहराई संबंधी) हालातों से लहर की स्थितियों में आने वाला उतार चढ़ाव। साथ ही नदी से समुद्र तट को तलछट की आपूर्ति में प्राकृतिक रूप से आने वाले बदलाव समुद्र तट के क्षरण को प्रभावित कर सकते हैं।

तटीय क्षरण को बढ़ाने का एक अन्य प्रमुख कारण समुद्र के स्तर में वृद्धि है। समुद्र का बढ़ता स्तर तटरेखा को पीछे हटाने की प्रक्रिया को बढ़ावा देगा। यह प्रक्रिया मोटे कणों की तलछट वाले तटीय क्षेत्रों की तुलना में उन तटीय क्षेत्रों में अधिक है जिनमें महीन कणों वाली तलछट होती है।

तालिका 1: 2004-06 और 2014-16 की समय सीमा के उपग्रह चित्रों के आधार पर तैयार किए गए भारतीय तट के तटरेखा परिवर्तन एटलस के निष्कर्ष

राज्य	क्षरण क्षेत्र (हेक्टेयर में)	क्षरण की लंबाई (कि.मी. में)	अभिवृद्धि क्षेत्र (हेक्टेयर में)	अभिवृद्धि की लंबाई (कि.मी. में)	स्थिर लंबाई (कि.मी. में)	कुल लंबाई (कि.मी. में)
गुजरात, दमण और दीव	313.6	109.76	207.75	49.18	1051.44	1210.4
महाराष्ट्र	104.75	75.16	209.94	60.27	588.64	724.07
गोवा	28.78	21.7	13.6	7.13	116.73	145.56
कर्नाटक	72.05	40.19	111.39	47.74	230.86	318.78
केरल	285.02	137.33	303.3	121.13	327.17	585.63
तमिलनाडु और पुदुच्चेरी	358.35	128.88	470.68	188.6	531.57	849.07
आंध्र प्रदेश	795.67	188.95	807.88	208.15	413.33	810.4
ओडिशा	831.35	143.6	753.5	98.77	208.19	450.53
पश्चिम बंगाल	393.67	56.3	141.18	33.9	67.24	157.45
लक्षद्वीप द्वीप समूह	16.59	11.65	18.4	13.15	115.84	140.66
अंडमान-निकोबार द्वीप समूह	480.08	230.77	1004.01	256.31	1669.7	2156.79
कुल	3679.91	1144.29	4041.63	1084.33	5320.71	7549.34

एक अन्य कारण भू-भाग का धसकना है। यह एक क्षेत्रीय घटना है जो एक क्षेत्र विशेष में सतह क्षेत्र को घटाती है। यह समुद्र के स्तर में वृद्धि के समान समुद्र तट को प्रभावित करता है हालांकि इस धसकन के कारण के अनुसार प्रभाव की दर भिन्न हो सकती है।

इसके अलावा भीषण तूफान, ज्वार-भाटा और चक्रवात जैसी विनाशकारी घटनाओं के कारण समुद्र का स्तर असामान्य ऊंचाई तक बढ़ जाता है और गंभीर क्षरण का कारण बनता है। जल का अचानक और उग्र प्रवाह रेत के टीलों के समुद्र की ओर बढ़ने का कारण बनता है। रूपरेखा में संतुलन न होने के कारण जल के बहाव में व्यापक बढ़ोतरी भी रेत के अपतटीय संचलन का कारण बनता है।

मानव निर्मित क्षरण

अधिकांश मानव-निर्मित क्षरण प्राकृतिक परिवहन प्रक्रिया के साथ-साथ नदियों की तलछट मात्रा में मानवीय हस्तक्षेप के कारण होता है। मानव गतिविधि को तटीय रक्षा संरचनाओं, नदी विनियमन कार्यों, तलकर्षण (ड्रेजिंग), कुल निष्कर्षण/रेत खनन, तेल/गैस अन्वेषण (दीर्घकालिक धंसाव के रूप में) और बंदरगाहों के रूप में गिना जा सकता है जो तलछट की आवाजाही को प्रभावित करते हैं।

तटीय गतिविधियाँ भी प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से समुद्र तट के क्षरण का कारण बन सकती हैं। कुछ उदाहरण निम्नलिखित हैं:

- भूमि पुनरुद्धार के माध्यम से या रेत के टीले वाले स्थल में घरों का निर्माण तटीय प्रक्रियाओं और तलछट स्थिरता पर दीर्घकालिक प्रभाव डालता है।
- कॉलिंग पोतों (यात्रा के दौरान इंधन लेने या माल की ढुलाई के लिए रुकने वाले पोत) के लिए सुरक्षित लंगर डालने और मार्गनिर्देशन प्रदान करने के लिए बने बंदरगाहों में अक्सर तट-लंबवत/झुकावदार जहाज़ी घाट और तरंग-रोध (ब्रेकवाटर्स) होते हैं जो तटवर्ती भाग में रेत की पहुँच को अवरुद्ध करते हैं और ऊपरी-बहाव की ओर अभिवृद्धि का कारण बनते हैं और नीचे की तरफ बहाव की ओर क्षरण करते हैं।
- तट से पुन: पूर्ति योग्य मात्रा से अधिक रेत हटाने से तटवर्ती भाग में रेत की पहुँच मात्रा बिगड़ जाती है और इसके परिणामस्वरूप नीचे की तरफ बहाव की ओर भाग में क्षरण हो सकता है।
- तटीय भाग में बनी ऊसंधियाँ (ग्रोयन्स) और जलबंधक (जेटी) और अन्य संरचनाएँ तटवर्ती भाग में रेत की पहुँच में हस्तक्षेप करती हैं और उनके डिजाइन के त्रुटिपूर्ण होने की दशा में क्षरण होने की संभावना हो सकती है। ऊसंधियाँ ऊर्ध्वप्रवाह भाग पर तटीय तलछट के संचय के माध्यम से तटीय आवागमन को अवरुद्ध करके तटरेखा के एक हिस्से की रक्षा करती हैं। यह तटवर्ती बहाव राशि में कमी का कारण बनता है और इसका अनुप्रवाह क्षेत्र पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है क्योंकि क्षरण की समस्या अनुप्रवाह क्षेत्र में स्थानांतरित हो जाती है।
- सीवाल्स (समुद्र को रोकने की दीवारें), बल्कहेड्स (पोतभित्तियां), तरंग-रोध (ब्रेकवाटर्स) आदि जैसी संरचनाओं का निकटवर्ती क्षेत्रों के क्षरण के रूप में दुष्प्रभाव होता है। सीवाल्स जैसी सुरक्षात्मक संरचनाएँ अपने छोर पर क्षरण को बढ़ाती हैं जिससे समुद्र की दीवार के सिरे की घिसाई होती

समुद्र तट पोषण और उसंधियों/कृत्रिम अंतरीपों के संयोजन का उपयोग तलछट के नीचे की ओर बहाव को रोकने में मदद करता है, इस प्रकार नीचे की ओर बहाव से होने वाले क्षरण को कम करता है। यह पुन: पोषण की बारंबारता को भी कम करता है।

है और समुद्र तट का अग्र भाग छोटा हो जाता है।

- समुद्र तटों के साथ-साथ और तरंग क्षेत्र में रेत/बजरी के खनन से तटीय क्षेत्र के तलछट संसाधनों में कमी क्षरण का कारण है।
- बंदरगाहों, नौवहन चैनलों और ज्वारीय प्रवेशिकाओं का रख-रखाव तटकर्षण तटवर्ती क्षेत्र की रेत को गहरे समुद्र में पटक दिये जाने का कारण बनता है। यह तट के सक्रिय तलछट संतुलन को बिगाड़ता है और उसे फिर से स्थापित करने के लिए क्षरण को बढ़ावा देता है।
- प्रवाल खनन और संरक्षी प्रवाल भित्तियों का दूषण करने के अन्य साधन भी तटीय क्षरण और समुद्र तट क्षरण का कारण बनेंगे। प्रवाल के नष्ट होने से कार्बोनेट रेत का बनना बंद हो जाता है और भित्तियों का संरक्षी गुण लुप्त हो जाता है।
- तलछट ढलान स्थिरता को बनाए रखने/सुधारने और तलछट को रोक कर उसे समेकित करने के लिए वनस्पति महत्वपूर्ण है। मानव गतिविधियों के कारण टिब्बों की वनस्पति और मैंग्रोव के हटने से कम ऊर्जा वाले तटीय क्षेत्र अधिक ऊर्जा के संपर्क में आते हैं और तलछट स्थिरता घटती है। इससे तटीय क्षेत्र के क्षरण में वृद्धि होती है।

अधिकतर मामलों में प्राकृतिक और मानव-प्रेरित दोनों कारणों के संचयी प्रभाव तटीय क्षरण के लिए ज़िम्मेदार हैं।

जलवायु परिवर्तन के घटनाक्रम हाल ही में तटीय पर्यावरण के महत्वपूर्ण निर्धारक के रूप में उभरे हैं। वैज्ञानिक और अनुसंधान समुदाय के लिए जलवायु परिवर्तन के घटनाक्रम नई बात नहीं है। एक व्यापक वैज्ञानिक और अनुसंधान सर्वसम्मति के अनुसार जलवायु परिवर्तन एक वास्तविक तथ्य है।

जलवायु परिवर्तन के घटनाक्रम हाल ही में तटीय पर्यावरण के महत्वपूर्ण निर्धारक के रूप में उभरे हैं। वैज्ञानिक और अनुसंधान समुदाय के लिए जलवायु परिवर्तन के घटनाक्रम नई बात नहीं है। एक व्यापक वैज्ञानिक और अनुसंधान सर्वसम्मति के अनुसार जलवायु परिवर्तन एक वास्तविक तथ्य है।

तटीय क्षेत्र समुद्र के स्तर में वृद्धि, तूफानों की आवृत्ति और तीव्रता में परिवर्तन, वर्षा में वृद्धि और समुद्र के अधिक उष्ण तापमान के प्रति संवेदनशील हैं। इसके अलावा वायुमंडल में कार्बन डाइऑक्साइड की बढ़ती सांद्रता के कारण महासागर अधिक गैस अवशोषित कर रहे हैं और अधिक अम्लीय हो रहे हैं। इस बढ़ती अम्लता का तटीय और समुद्री पारिस्थितिक तंत्र पर व्यापक प्रभाव पड़ सकता है। समुद्र तट के साथ बसे निचले इलाके में समुद्री जल के अतिक्रमण (सतही और ज़मीनी) के कारण खारेपन की आशंका है।

तटीय सुरक्षा उपाय

तटीय सुरक्षा उपाय प्राकृतिक या मानव निर्मित कारणों से तटीय क्षेत्र क्षरण की दीर्घकालिक औसत दर को कम करते हैं। कम क्षरण का अर्थ है भूमि और समुद्र के बीच एक व्यापक प्रतिरोधक (बफर) क्षेत्र। प्रकृति न केवल क्षरण करती है बल्कि उससे रक्षा भी करती है। क्षरण से समुद्र तट की सुरक्षा प्रकृति द्वारा एक स्थिर समुद्र तट के रूप में प्रदान की जाती है, जो आकस्मिक लहर ऊर्जा को क्षीण करने में सक्षम है। दुर्भाग्य से ऐसे समुद्र तट सभी तटीय क्षेत्रों में मौजूद नहीं हैं। प्रकृति के तटीय संरक्षण को अंतरीपों (हेडलैंड्स), भित्तियों (रीफ्स), चट्टानों, तटों, टिब्बों आदि में देखा जा सकता है।

क्षरण को रोकने के लिए संरक्षण कार्य दीर्घकालिक आधार पर होना चाहिए और पूरी तरह से क्षेत्र की जांच और उपलब्ध आंकड़ों के आधार पर स्थान विशेष की स्थितियों के अनुरूप योजना बनाई जानी चाहिए जिसके लिए लम्बे समय तक पर्यवेक्षण की आवश्यकता होती है। हालांकि जहां क्षरण भीषण होता है वहां उसे रोकने और गंभीर नुकसान से बचाव के लिए तत्काल कदम उठाने ज़रूरी हैं। इसके लिए उस स्थल में अन्यत्र मौजूद संरचनाओं के डिजाइन और कार्य क्षमता के आधार पर अल्पकालिक उपाय उठाने आवश्यक होते हैं।

क्षरण को नियंत्रित करने के उपायों में गैर-संरचनात्मक और संरचनात्मक या उनके संयोजन शामिल हैं। लहरों और तटीय तलछट परिवहन को नियंत्रित करने के लिए इन समाधानों में कम से कम दो जलीय (हाइड्रोलिक) कार्यविधियाँ होती हैं (कवाटा, 1989); समाधानों को लागू करने में उनके अंतर्निहित सिद्धांतों को अच्छी तरह से समझा जाना चाहिए अन्यथा वे विफल हो जाएंगे। इष्टतम परिणामों के लिए हाल ही में ठोस और मध्यम विकल्पों का संयोजन अधिक प्रचलित हो गया है क्योंकि किसी एक का उपयोग किया जाना कमजोर साबित हुआ है। कई योजनाएँ विफल हो गई हैं और अनुचित डिजाइन, निर्माण और रखरखाव के कारण पर्यावरणीय और सामाजिक-आर्थिक समस्याएँ पैदा हुई हैं और अक्सर केवल स्थानीय रूप से किसी स्थान पर या क्षेत्रीय या क्षेत्राधिकार परिसीमाओं पर लागू की जाती हैं न कि किसी व्यवस्था परिसीमाओं पर जो प्राकृतिक प्रक्रियाओं को दर्शाती हैं (कम्फुइस), 2002)। इन उपायों का संक्षिप्त विवरण नीचे दिया गया है:

गैर-संरचनात्मक उपाय

गैर-संरचनात्मक उपायों का उद्देश्य प्राकृतिक शक्तियों का प्रतिरूपण करके और तट की प्राकृतिक स्थलाकृति को बनाए रखते हुए लहर ऊर्जा को क्षीण करना है।

इन उपायों को मध्यम समाधान भी कहा जाता है। इनमें से कुछ हैं:

- समुद्र तटों का कृत्रिम पोषण
- तटीय वनस्पतियाँ जैसे मैंग्रोव और ताड़ का रोपण
- ज्वारीय प्रवेशिकाओं पर रेत का उपपथन
- टिब्बों की पुनर्रचना/पुनर्वास

ठोस संरचनाओं को चुनने से पहले गैर-संरचनात्मक उपायों जैसे प्राकृतिक तटीय प्रक्रियाओं के अनुकूलन (बड़े घटाव अंतरों का उपयोग करके, महत्वपूर्ण संरचनाओं को स्थानांतरित करके आदि) और तटीय क्षरण को घटाने (तटीय ढलानों को स्थिर करना, लहरों की ट्रिपिंग आदि) का उपयोग किया जाना चाहिए।

इन उपायों की सीमाएँ हैं। समुद्र तटों का कृत्रिम पोषण जटिल और महंगी प्रक्रिया है, मैंग्रोव वृक्षारोपण केवल दलदली भूमि और अर्ध-उष्णकटिबंधीय या उष्णकटिबंधीय परिस्थितियों में ही संभव है। इनमें से कुछ उपाय हैं:

संरचनात्मक उपाय

संरचनात्मक उपाय जिन्हें ठोस संरचनात्मक/इंजीनियरिंग उपायों के रूप में भी जाना जाता है जल को संभावित क्षति क्षेत्रों तक पहुँचने से रोकने या सीमित करने के लिए तट के पास निर्मित भौतिक संरचनाओं का उपयोग करते हैं। ये समाधान तटीय क्षरण की दर को रोकने/कम करने के लिए तटीय प्रक्रियाओं को प्रभावित करते हैं।

तटीय क्षरण की रोकथाम के लिए उपयोग किए जाने वाले संरचनात्मक उपायों में समुद्री दीवार, पुश्ताबंदी, तरंग- रोधों (ब्रेकवाटर्स), ग्रोइन्स/ऊर्संधियाँ (ग्रोयन्स)/पर्वत-स्कंधों (स्पर्स), अपतटीय भित्तियों (रीफ्स) और कृत्रिम अंतरीप (हेडलैंड) शामिल हैं।

उपरोक्त उपायों में से समुद्री दीवार (सीवॉल) प्रचलित है और आम तौर पर लगभग सभी समुद्री राज्यों में अलग-अलग अनुपात में उपयोग किया जाता है।

उर्संधियाँ (ग्रोयस) एक दृढ़ हाइड्रोलिक संरचना है जो समुद्र के किनारे (तटीय इंजीनियरिंग में) या नदी के किनारे से लंबवत रूप से निर्मित होती है।

संरचनात्मक और गैर-संरचनात्मक उपायों का संयोजन:

यह पहले कहा जा चुका है कि संरचनात्मक और गैर-संरचनात्मक उपायों के संयोजन का उपयोग करने से बेहतर कार्यकुशलता और दक्षता हासिल करने में मदद मिलती है। संयोजन सहक्रियात्मक परिणाम देता है और पर्यावरण और आर्थिक रूप से स्वीकार्य तटीय सुरक्षा प्रणाली प्रदान करता है। ठोस समाधानों से विभिन्न प्रकार के नुकसान होते हैं जैसे विभिन्न स्थलों पर क्षरण और अनावश्यक अभिवृद्धि, महंगा होना और कभी-कभी स्थल के सौन्दर्य को बिगाड़ कर उसका आर्थिक महत्व घटाना आदि। मध्यम समाधानों के संदर्भ में यह गौरतलब है कि ये त्वरित परिणाम देने वाले समाधान नहीं हैं और इन्हें प्रभावी होने में समय लगता है और ये केवल मध्यम से दीर्घकालिक परिप्रेक्ष्य में ही प्रभावी होते हैं।

उपरोक्त पहलुओं को ध्यान में रखते हुए और मध्यम समाधानों के दीर्घकालिक सकारात्मक प्रभाव को इष्टतम बनाने के लिए मध्यम और ठोस समाधानों के कई संयोजनों का चयन किया जा सकता है। ये संयोजन अल्पकालीन ठोस संरचनाओं के रूप में कार्य करते हैं। इन संयोजनों की कुछ आम पद्धतियाँ निम्नलिखित हैं:

- कृत्रिम अंतरीपों/उर्संधियों के साथ समुद्र तट के पोषण का संयोजन
- अस्थायी अपतटीय तरंग रोधों/कृत्रिम भित्तियों के साथ वृक्षारोपण का आमतौर पर उपयोग किया जाता है।

समुद्र तट पोषण और उर्संधियों/कृत्रिम अंतरीपों के संयोजन का उपयोग तलछट के नीचे की ओर बहाव को रोकने में मदद करता है, इस प्रकार नीचे की ओर बहाव से होने वाले क्षरण को कम करता है। यह पुन: पोषण की बारंबारिता को भी कम करता है।

हमें ज्ञात है कि हमारे विशाल देश के लिए तटीय क्षरण एक व्यापक और बहुआयामी समस्या है। दोनों पारंपरिक तरीक़ों (समुद्र की दीवार जैसी ठोस संरचनाओं का उपयोग करके) और टिब्बा पुनर्वास जैसे नए, अभिनव मध्यम उपायों का उपयोग करके तटीय क्षरण के खतरे का मुकाबला करने और हमारे तटों की रक्षा करने के प्रयास किए जा रहे हैं।

सुरक्षा कार्यों को प्राथमिकता दी जाती है, योजना बनाई जाती है और समस्या की गंभीरता और व्यापकता के अनुसार उनकी रूपरेखा बनायी जाती है। यह किसी विशेष समाधान को क्रियान्वित करने के लिए आवश्यक संसाधन लागत को तय करने में भी मदद करता है। इसे देखते हुए एक समस्या के रूप में तटीय क्षरण की व्यापकता और गंभीरता को सटीक रूप से समझना बहुत अहम है।

भारत में तटीय क्षरण की स्थिति

सभी समुद्री राज्य/संघ राज्य क्षेत्र अलग-अलग परिमाण में तटीय क्षरण की समस्या का सामना कर रहे हैं। इस संबंध में नवीनतम राष्ट्रीय स्तर के आंकड़े भारतीय तट के तटरेखा परिवर्तन एटलस से प्राप्त किए गए हैं।

भारतीय तट का तटरेखा परिवर्तन एटलस

जल संसाधन, नदी विकास और गंगा संरक्षण विभाग (भारत सरकार) द्वारा गठित तटीय संरक्षण और विकास सलाहकार समिति (सीपीडीएसी) ने उपग्रह डेटा से प्राप्त तटीय क्षरण से संबंधित जानकारी और भारत के सभी समुद्री राज्यों द्वारा उठाये गए सुरक्षा उपायों को दर्शाने वाला एक तटीय एटलस तैयार करने की आवश्यकता की अनुशंसा की। तदनुसार तटीय प्रबंधन निदेशालय, केंद्रीय जल आयोग (सीडब्ल्यूसी), जल संसाधन, नदी विकास और गंगा संरक्षण विभाग, भारत सरकार, नई दिल्ली के आदेश पर, 'भारतीय तट के तटरेखा परिवर्तन एटलस' नामक एक परियोजना केंद्रीय जल आयोग के सहयोग से अंतरिक्ष अनुप्रयोग केंद्र, एसएसी (इसरो), अहमदाबाद द्वारा आरंभ की गयी। एसएसी और सीडब्ल्यूसी के संयुक्त प्रयास से 1989-91 और 2004-06 की समय सीमा के लिए 2014 में एक तटरेखा परिवर्तन एटलस लायी गयी।

सीडब्ल्यूसी ने एसएसी से हाल के उपग्रह आंकड़ों का उपयोग करते हुए तटरेखा परिवर्तन एटलस को अद्यतन करने का अनुरोध किया और एसएसी ने 2014-16 के आंकड़ों के आधार पर पहला अद्यतनीकरण पूरा कर लिया है। इस एटलस में पूरे देश के लिए 1:25,000 के पैमाने पर 2004-06 और 2014-16 की समय-सीमा के लिए उपग्रह आंकड़ों का उपयोग करके तैयार किए गए तटरेखा परिवर्तन मानचित्र शामिल हैं। मानचित्र समुद्री राज्यों/संघ राज्य क्षेत्रों द्वारा उठाए गए तटीय सुरक्षा उपायों की स्थिति के साथ-साथ क्षरण से ग्रस्त स्थिर और बढ़ते तटों को दर्शाते हैं।

भारतीय तट के तटरेखा परिवर्तन एटलस के परिणाम

तटरेखा को 2014-16 की समय सीमा में 1:25,000 के पैमाने पर एलआइएसएस-IV की छवियों से वर्णित किया गया है और तटरेखा परिवर्तन का अनुमान लगाया गया है। एटलस में अपरदन, अभिवृद्धि और स्थिर तट और मौजूद तटीय संरक्षण कार्यों के रूप में वर्गीकृत तटरेखाओं को दर्शाया गया है। 2004-06 के दौरान 7549 कि.मी. के समुद्र तट क्षेत्र का लगभग 15 प्रतिशत का अपरदन हो गया है, 14 प्रतिशत तट की अभिवृद्धि हो गयी है और शेष तट स्थिर बना हुआ है। अभिवृद्धि के तहत क्षेत्र क्षरण के तहत क्षेत्र से अधिक है और कुल 362 हेक्टेयर भूमि की वृद्धि हुई है। पूर्वी भारतीय प्रायद्वीप के साथ तटरेखा अधिक क्रियाशील मानी जाती है और पश्चिमी तट क्षेत्र में केरल और कर्नाटक तटों पर तटरेखा परिवर्तन अधिक होते हैं। ■