

पानी में ऊष्मीय प्रदूषण प्रबंधन हेतु गणितीय प्रतिमानों का महत्व

संजय नाथ झा

केन्द्रीय जल और विद्युत अनुसंधानशाला, पुणे
ईमेल—snj202003@yahoo.co.in

सारांश

ऊर्जा स्थायी आर्थिक विकास और बेहतर मानव जीवन के लिए एक अत्यंत महत्वपूर्ण कारक है। तेजी से आर्थिक विकास और वैश्विक जनसंख्या वृद्धि बिजली संयंत्रों की बढ़ती संख्या की मांग करते हैं। ऊर्जा का उत्पादन कई स्रोतों से किया जाता है इन स्रोतों में से, ताप विद्युत उत्पादन ऊर्जा उत्पादन का पारंपरिक तरीका है जिसमें, कोयले या गैस को जलाकर पानी को गर्म किया जाता है व उसके भाप से टरबाइन को संचालित किया जाता है छजीवाश्म ईंधन के जलने से कई प्रदूषण तत्व जैसे CO₂, NO_x, SO_x, फ्लाई ऐश इत्यादि उत्पन्न होते हैं जो पर्यावरण को प्रभावित करते हैं। परमाणु ऊर्जा तुलनात्मक रूप से स्वच्छ, विश्वसनीय और सस्ती ऊर्जा स्रोत है व साथ ही यह जलवायु परिवर्तन के नकारात्मक प्रभावों को कम करती है। परमाणु ऊर्जा संयंत्रों में उपयोग के लिए परमाणु रिएक्टर से उत्पादित गर्मी टरबाइन चलाने के लिए प्रयोग की जाती है। 2017 में उत्पन्न कुल बिजली का लगभग 10% अकेले परमाणु ऊर्जा है। भारतीय परिदृश्य के लिए ताप विद्युत की कुल बिजली उत्पादन क्षमता 226.27 GW है और मार्च 2019 में बिजली उत्पादन 94.83 BU है। भारत में तापीय ऊर्जा संयंत्र कुल बिजली उत्पादन का 63.7% बिजली उत्पन्न करते हैं। इसी प्रकार स्थापित क्षमता का परमाणु क्षमता उत्पादन 6780.00 मेगावाट है और पिछले 1 वर्ष में विद्युत उत्पादन में 2.69% की वृद्धि हुई है। कुल बिजली उत्पादन का 1.9% बिजली से उत्पन्न होती है। अतः हम अब भी मुख्यतः तापीय ऊर्जा संयंत्रों से ऊष्मीय प्रदूषण हमेशा होता है।

ऊष्मीय प्रदूषण किसी भी प्रक्रिया द्वारा पानी की गुणवत्ता का क्षरण है जो परिवेश के पानी के तापमान को बदलता है। ऊष्मीय प्रदूषण का एक सामान्य कारण बिजली संयंत्रों और औद्योगिक निर्माताओं द्वारा शीतलक के रूप में पानी का उपयोग है। जब शीतलक के रूप में उपयोग किए जाने वाले पानी को उच्च तापमान पर प्राकृतिक वातावरण में वापस किया जाता है, तो तापमान में अचानक परिवर्तन से ऑक्सीजन की आपूर्ति कम हो जाती है और पारिस्थितिकी तंत्र रचना को प्रभावित करता है। विशेष तापमान रेंज के लिए अनुकूलित मछली और अन्य जीवों को पानी के तापमान में अचानक परिवर्तन (या तो तेजी से वृद्धि या कमी) के कारण "ऊष्मीय शॉक" के रूप में जाना जा सकता है। मौजूदा और आगामी तटीय संरचनाओं के लिए उचित योजना और डिजाइन के अभाव में, साइट पर प्राकृतिक समुद्री जीवन खतरे में पड़ जाता है और ऐसे विकास के परिणाम गंभीर और लंबे समय तक चलने वाले हो सकते हैं। आवश्यकता के बावजूद, ऊष्मीय फैलाव की समस्याओं के संबंध में अपेक्षाकृत कम मार्गदर्शन उपलब्ध है। पर्यावरण संरक्षण अधिनियम, 1986 के लागू होने से पहले, परियोजनाओं के लिए पर्यावरण मंजूरी अनिवार्य नहीं थी।

हम ऊष्मीय और परमाणु ऊर्जा संयंत्रों से ऊष्मीय फैलाव की समस्याओं का अध्ययन करने के लिए गणितीय प्रतिमानों का महत्व समझने का प्रयास कर रहे हैं। वास्तविकता में ऐसी किसी गणना की आवश्यकता को पूरा करने वाले चर, तटीय इंजीनियरिंग समस्याओं के लिए काफी जटिल प्रकृति के हैं। तटीय प्रक्रियाओं और संबंधित रूपतामक विकास को आंशिक अंतर समीकरणों को हल करके गणितीय रूप से वर्णित किया जा सकता है, जो कि वेग, दबाव और सतह ऊंचाई जैसे चर में तैयार किए जाते हैं। ये समीकरण अंतरिक्ष और समय में निरंतर हैं। लेकिन व्यवहार में, इन अंतर समीकरणों को विश्लेषणात्मक रूप से हल नहीं किया जा सकता है। इसके समाधान में, संख्यात्मक प्रतिमान एक प्रभावी विकल्प प्रदान करते हैं। वे किसी भी सामान्य समीकरण को संख्यात्मक एल्गोरिदम में बदल सकते हैं। इन समीकरणों को एल्गोरिदम में कोडित किया जाता है और कंप्यूटर प्रोग्राम के लिए एक इनपुट के रूप में उपयोग किया जाता है। फिर कंप्यूटर प्रोग्राम संख्यात्मक समाधान देते हैं जो सटीक निरंतर समाधान के साथ काफी सहमति/अनुरूप/समझौते में हैं। गणितीय प्रतिमान (मॉडल) के कई फायदे हैं 'ये तेज, विश्वसनीय, कम खर्चीले और शक्तिशाली उपकरण हैं। मॉडल दी गई समस्या का विश्लेषण करने में मदद करते हैं। समस्या के सर्वोत्तम इष्टतम समाधान पर पहुंचने के लिए विभिन्न परीक्षणों को करने के बाद उन्हें विभिन्न समाधानों के प्रभावों की भविष्यवाणी करने के लिए भी उपयोग किया जाता है।

डेटा किसी भी प्रकार के गणितीय प्रतिमान अध्ययन का एक महत्वपूर्ण पहलू है। यह किसी भी गणितीय प्रतिमान के अस्तित्व व सफलता के लिए अति आवश्यक है। कोई भी गणना डेटा अमान्य परिणाम और प्रभाव उत्पन्न कर सकता है। जिससे अपूर्ण क्षति हो सकती है। विभिन्न प्रकार के डेटा होते हैं जैसे लहरें, ज्वार, धाराएँ और मौसम संबंधी डेटा जैसे हवा, परिवेश का पानी का तापमान, सापेक्षिक आर्द्रता, बादल (क्लाउडकवर), सौर पृथक्करण इत्यादि। इन्हें ऊष्मीय फैलाव अध्ययन करते समय ध्यान में रखना आवश्यक है।

Abstract

Thermal pollution is the degradation of water quality by any process that changes the ambient water temperature. A common cause of heat pollution is the use of water as a coolant by power plants and industrial manufacturers. When the water used as a coolant is returned to the natural environment at high temperatures, a sudden change in temperature reduces oxygen supply and affects ecosystem composition. Fish and other organisms are adapted to a particular temperature range and these sudden changes (either rapid increases or decreases) in water temperature can be referred to as "heatshocks". In absence of proper planning and design for existing and upcoming coastal structures, the natural marine life at the site gets endangered and consequences of such development can be severe and long lasting. Despite the need, relatively little guidance is available regarding thermal dispersion problems. Also, prior to the enactment of the Environmental Protection Act, 1986, environmental clearance was not mandatory for projects.

In this paper, an attempt has been made to understand the importance of mathematical modeling to study the problems of thermal dispersion from thermal and nuclear power plants. In coastal engineering problems, variables that actually meet the requirement of such a calculation are of a fairly complex nature. Coastal processes and related morphological evolution can be described mathematically by solving partial differential equations, which are formulated into variables such as velocity, pressure, and surface elevation. These equations are continuous in space and time. But in practice, these differential equations cannot be solved analytically. In its solution, numerical models provide an effective alternative. They can transform any general equation into a numerical algorithm. These equations are coded in the algorithm and used as an input for computer programs. Then computer programs give numerical solutions that are in conformity with exact continuous solutions. There are several advantages of the mathematical model. These are fast, reliable, inexpensive and powerful tools. Models help to analyze the given problem. They are also used to predict the effects of different solutions after performing various tests to arrive at the best optimal solution of the problem.

लहरें

कई मामलों में, लहरें सब से महत्वपूर्ण पैरामीटर होती हैं, जो तटीय घटनाओं और संबंधित डिजाइन को प्रभावित करती हैं। गहरे समुद्र में लहरें भिन्न ऊंचाइयों और आवृत्तियों की होती हैं और सभी दिशाओं में प्रसार करती हैं। इन्हें समुद्री लहरों के रूप में जाना जाता है। हालांकि, जब लहरें गहरे समुद्र को छोड़ देती हैं और तट की ओर यात्रा करती हैं, तो वे तरंगों की आवृत्ति के अनुसार अलग हो जाती हैं, जिन्हें स्वेल (Swell) लहरों के रूप में जाना जाता है। अपतटीय क्षेत्र की पवन ऊर्जा तटीय क्षेत्र में के माध्यम से पहुँचती हैं। लहरें तटीय संरचनाओं पर गतिशील प्रभाव डालती हैं, जिसका उन्हें सामना करना पड़ता है। तटरेखा में, लहरें किनारे के क्षरणया अभिवृद्धि का कारण बनती हैं। लहरें समुद्र तल पर तलछट को उत्तेजित करती हैं और उन्हें निलंबन में लाती हैं, जोकि धाराओं द्वारा ले जाया जाता है, जिससे गाद उत्पन्न हो सकती है और वह बदरगाहों तक पहुँच सकती है। इसलिए, लहर की समझ और तरंग जलवायु की जानकारी तटीय इंजीनियरों के लिए महत्वपूर्ण है। तरंग जलवायु एक विशेषस्थान पर समुद्र की सामान्य स्थिति को संदर्भित करती है। सबसे महत्वपूर्ण पैरामीटर महत्वपूर्ण लहर ऊंचाई (Hs), पीकवेवपीरियड (Tp), औसत अवधि (Tz), और माध्य तरंग दिशा के साथ तरंग जलवायु हैं। इसे एक तरंग गुलाब आरेख के रूप में व्यक्त किया जाता है। इसके अलावा, एक तटीय संरचना के निर्माण के लिए चरम डिजाइन तरंग स्थितियों के अतिरिक्त डेटा की आवश्यकता होती है।

ज्वार

सामान्यीकृत तरीके से, ज्वार को समुद्र में जलस्तर के आवधिक वृद्धि और पतन के रूप में परिभाषित किया गया है। वे सूर्य, चंद्रमा, पृथ्वी और अन्य खगोलीय पिंडों के आकर्षण बल द्वारा निर्मित होते हैं। बढ़ते जल स्तरको बाढ़ ज्वार कहा जाता है, जब कि निचले हिस्से को भाटा कहा जाता है। जब चंद्रमा, सूर्य और पृथ्वी एक ही रेखा में होते हैं तो वसंत ज्वार उत्पन्न होता है, जब चंद्रमा और सूर्य पृथ्वी के लिए चतुर्थांश में होते हैं तो लघु ज्वार उत्पन्न होता है। तटीय क्षेत्रों की संरचनाएं जैसे कि ब्रेकवाटर, सीवाल्स, ग्राइन, पावर प्लांट और अन्य तटवर्ती तटीय संरचनाएं ज्वार की विविधताओं के संपर्क में हैं। इस प्रकार, ज्वार स्तर का ज्ञान क्रेस्टस्तर की संरचनाओं के लिए आवश्यक है (i) ताकि प्रवर्धित लहर के साथ उच्चतम जल स्तर संरचनाको ओवर टॉप न करे। (ii) स्थान की संरचनाओं को खड़ी दिशाको अंतिम रूप देना। ज्वारीय स्तर हमेशा एक मानक डेटम जैसे चार्ट डेटमयाजी टीएस बेंच मार्क के साथ सहसंबद्ध होते हैं।

धाराएं

धाराओं महासागर की धाराएं अनिवार्य रूप से निरंतर, क्षैतिज और दिशात्मक समुद्री जल चालन होती हैं, जोहवा, को रिओलिस प्रभाव, ब्रेकिंगवेव्स, ज्वार, भित्तिचित्र, समुद्रीसंचलन, कैबेलिंग, तापमान और लवणता अंतर जैसी कई शक्तियों द्वारा पानी पर प्रभाव स्वरूप उत्पन्न होती हैं। धारा वेग के परिमाण और दिशा की जानकारी अभिवृद्धि/कटाव और गाद के पैटर्न का अनुमान लगाने के लिए आवश्यक हैं। ज्वारीय धाराएं आवधिक वृद्धि और गिरने के कारण जल स्तर के कारण होती हैं। ज्वार की धाराएं विशेष रूप से नदी के मुहाने और निकट-नदी के मुहाने में तटीय प्रक्रियाओं में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। निकट-तटधाराओं को लंबे किनारे की धाराओं, चीर धाराओं, तटवर्ती-अपतटीय धाराओं के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। ये सभी धाराएं संरचना के स्थान के आधार पर विभिन्न संरचनाओं के लिए विभिन्न प्रकार की

समस्याएं पैदा करती हैं। धारा वेग का मापण सतह, मध्य-गहराई और नीचे तल पर किया जाता है। आजकल ध्वनि की डॉपलर वर्तमान प्रोफाइलर्स (एडीसीपी) का व्यापक रूप से उपयोग किया जा रहा है।

हवा

समुद्र का वातावरण हमेशा हवा से जुड़ा होता है। समुद्र के वातावरण में, जल स्तर से ऊपर किसी भी संरचना को हवा के भार के अधीन किया जाता है। स्टॉर्मवाटर लेवल सेट होने के लिए हवाएं भी जिम्मेदार हैं। इस तरह के तूफान भूमि के बड़े क्षेत्रों के जलमग्न होने का कारण बन सकते हैं। तरंगों को उत्पन्न करने के अलावा, हवा वर्तमान और जल स्तर को ऊपर और नीचे भी पैदा करती है। पवन दिशा के संबंध में वर्तमान क्षेत्र स्थिति के समुद्र तट के साथ संचालित होता है। यह देखा गया है कि पानी हवा की दिशा में नहीं चलता है। एक बार जब पानी का कण हवा में जाने लगता है, तो घर्षण बल और को रिवोलिसबल उस पर काम करना शुरू कर देते हैं और कण हवा के साथ एक कोण में बढ़ने लगते हैं।

भारतीय मौसम विभाग द्वारा प्रकाशित पवन डेटा भारतीय मौसम विभाग से उपलब्ध है। पवनगुलाब आरेख हवा की गति की घटना के प्रतिशत, और अच्छी तरह से शांत अवधि के प्रतिशत के बारे में जानकारी देता है।

पानी का तापमान

सामग्री (ठोस, तरल, गैसीययाप्लाज्मा), घनत्व, घुलनशीलता, वाष्पदबाव, और विद्युत चालकता सहित कई भौतिक गुण ताप मान पर निर्भर करते हैं। रासायनिक अभिक्रियाएँ होने की दर और सीमा निर्धारित करने में तापमान भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। उच्च डिग्री तापमान हानिकारक प्रतिक्रियाओं में परिणाम कर का कारण बन सकते हैं। तापमान सतह से उत्सर्जित ऊष्मीय विकिरण के प्रकार और मात्रा को भी नियंत्रित करता है। ऊष्मीय परिवर्तनों का पानी की गुणवत्ता पर स्पष्ट प्रभाव हो सकता है।

सापेक्ष आर्द्रता

सापेक्ष आर्द्रता (आरएच) किसी दिए गए तापमान पर जल वाष्प दबाव का संतुलित जल वाष्प के दबाव का अनुपात है। सापेक्ष आर्द्रता तापमान और प्रणाली के दबाव पर निर्भर करती है। शांत वायु की तुलना में जलवाष्प की समान मात्रा में उच्च सापेक्ष आर्द्रता होती है। उच्च नमी बिजली संयंत्र की समग्र उत्पादकता को प्रभावित कर सकती है। सापेक्ष आर्द्रता वाष्पीकरण दर को सीधे प्रभावित करती है। तो यह ऊष्मीय एक्सचेंज घटना मॉडलिंग के ऊष्मीय सिमुलेशन में एक बहुत ही महत्वपूर्ण कारक है।

क्लाउड कवर

क्लाउड कवर पृथ्वी की सतह से सौर विकिरण की मात्रा का निर्धारण करने वाला सब से महत्वपूर्ण मौसम संबंधी कारक है। यह एक विशिष्ट स्थान से है आकाश की अस्पष्टता को दर्शाता है। क्लाउड कवर को धूप की अवधि के साथ सह संबंध किया जाता है सब से कम धूप वाले स्थानों में क्लाउड कवर अधिक जबकि सबसे अधिक धूपवाले स्थानों में क्लाउड कवर कम होते हैं। बादल कुशलता से प्रकाश को परावर्तित करते हैं और इस तरह ग्रह के ठंडा होने में योगदान करते हैं। बादलों से सूर्य से आने वाली धूप के विकिरण से सतह की ऊर्जा के विकिरण दोनों को परावर्तित करते हैं दर्शाती है, जिससे वैश्विक ऊष्मीय संतुलन के दोनों पक्ष प्रभावित होते हैं।

सूर्य ताप

आतपन या सूर्यताप (Insolation या solar irradiation) किसी कालावधि में किसी क्षेत्रफल पर पड़ने वाले सौर विकिरण की माप है। इसे पृथ्वी की सतह के पास वायुमंडलीय अवशोषण, प्रकीर्णन, परावर्तन और छायांकन के आधार पर मापा जाता है। यह सूर्य से दूरी, सौरचक्र, क्रॉस-चक्रीय परिवर्तन, मापने की सतह का झुकाव, सूर्य की ऊंचाई और क्षैतिज और वायुमंडलीय स्थितियों पर निर्भर होता है। पूरे वर्ष के दौरान पर निर्भर सूर्य ताप के स्तर में परिवर्तन होता है; सर्दियों में सबसे कम और गर्मियों में सबसे ज्यादा जब सूर्य एक क्षेत्र में सीधे ऊपर होता है तो यह सब से अधिक होता है। यह भूमध्य रेखीय क्षेत्रों में सबसे अधिक है और ध्रुवीय क्षेत्रों में सबसे कम है सूर्य ताप को W/m^2 में मापा जाता है।

चूंकि मॉडल डेटा जलवायु के कारकों पर बहुत अधिक निर्भर करता है, इसलिए डेटा संग्रह के क्षेत्र का ध्यान रखना आवश्यक है। इसके अलावा, वाटर बॉडी तापमान और जलवायु डेटा की निरंतर निगरानी विकसित मॉडल को ट्यून करने में सहायक है। मॉडल केवल परिणामों की भविष्यवाणी कर सकता है और केवल तभी जब डेटा सही और सटीक हो। चूंकि डेटा मॉडल के अंशांकन और सत्यापन में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है और साथ ही प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से विभिन्न अन्य मापदंडों के प्रभाव के आकलन के लिए डेटा बिल्कुल आवश्यक है।

ऊष्म प्रवैगिकी के पहले नियम के अनुसार, ऊर्जा का संरक्षण न तो बनाया जा सकता है और न ही नष्ट किया जा सकता है, लेकिन इसे केवल एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित किया जा सकता है। अर्थात्

इसलिए, जल निकाय के लिए शुद्ध ताप प्रवाह हो सकता है

जहां,

qsw लघु-तरंग (या सौर) विकिरण है,
 qatm एक डाउन वेलिंग लॉन्ग-वेव (या वायुमंडलीय) विकिरण है,
 qb एक लंबी-लहर (पीछे, या पानी की सतह) विकिरण है,
 qL लेटेंट गर्मी प्रवाह है,
 qh सेंसिबल गर्मी प्रवाह है,
 qg पानी और तल के बीच प्रवाहकत्व है।

पिछले कुछ वर्षों से गणितीय मॉडलिंग तटीय इंजीनियरिंग का अध्ययन करने के लिए एक बहुत ही कुशल उपकरण बन गया है। ये मॉडल अनिवार्य रूप से द्रव्यमान और गति समीकरण के संरक्षण पर आधारित हैं। स्केल मॉडल के समान, ज्वारीय मॉडल के साथ-साथ वे वर्मॉडल भी हैं। ये मॉडल गवर्निंग समीकरण के आधार पर तीन-आयामी (3 डी) या दो-आयामी (2 डी) हो सकते हैं। वर्तमान में, तटीय इंजीनियरिंग समस्याओं के दो-आयामी मॉडल का उपयोग किया जाता है

त्रिआयामी अध्ययन में गवर्निंग समीकरण कुछ इस प्रकार का होता है

जहाँ T तापमान

t समय

x, y, z आयाम

u_x, u_y, u_z विभिन्न आयामों में गति

D_x, D_y, D_z विभिन्न आयामों में प्रकीर्णन

पानी का घनत्व

गर्म पानी के लिए गवर्निंग समीकरणों को अक्सर विभिन्न संख्यात्मक विधियों जैसे कि परिमित अंतरविधि (FDM), परिमित तत्व विधि (FEM), वर्ण क्रमिक विधि और परिमित मात्रा विधि (FVM) के उपयोग से हल किया जाता है। स्वतंत्र चर अनुदैर्घ्य दूरी, प्रवाह की गहराई और समय हैं। पानी की सतह के उन्नयन और क्षैतिज गति की गणना एक मॉडल आधारित संख्यात्मक योजना का उपयोग करके की जाती है, जो उचित समय के पैमाने के लिए एक क्षेत्र अनुप्रयोग पर संपूर्ण स्तरीकरण चक्र के उपयोग की अनुमति देता है। न्यूमेरिकल मॉडल का उपयोग हाइड्रो-डायनामिक्स के सिमुलेशन, गर्म पानी के फैलाव और पानी में प्लूम (Plume) के लिए किया जाता है। गणितीय मॉडल एक आयामी, दो आयामी और तीन आयामी मुक्त सतह प्रवाह के लिए विकसित हैं इस तरहके MIKE, Flow3D, Telemac, CORMIX आदि के लिए कई वाणिज्यिक और वैज्ञानिक सॉफ्टवेयर उपलब्ध हैं।

गणितीय मॉडल के परिणामों का उपयोग जलीय जीवन के स्थानिक और लौकिक डोमेन में अंतर्निहित समस्या का अनुमान लगाने के लिए किया जाता है। इससे यह भी पता चलता है कि किन वैकल्पिक स्थानों के बारे में गर्म पानी छोड़ने के लिए विचार किया जा सकता है। इसके अलावा, गर्म पानी में फिर से संचलन से बचने के लिए एक रणनीतिक रूप से स्थित बिजली संयंत्र गणितीय मॉडलिंग अध्ययन के परिणामों निर्भर करते हैं।

न्यूमेरिकल मॉडल के कई फायदे हैं। ये तेज़, विश्वसनीय, कम खर्चीले और शक्तिशाली उपकरण हैं। मॉडल दी गई समस्या का विश्लेषण करने में मदद करते हैं। उनका उपयोग विभिन्न समाधानों के प्रभावों की भविष्यवाणी करने के लिए भी किया जाता है जिन्हें विभिन्न परीक्षणों के बाद सब से अच्छे इष्टतम समाधान पर पहुंचने के बाद किया जा सकता है। हालांकि, संख्यात्मक मॉडल, जो अनुमानों की वास्तविकता हैं, केवल एक इंजीनियर/वैज्ञानिक हैं। वे तटीय विशेषज्ञों के ज्ञान और विश्लेषणात्मक क्षमताओं को पूरी तरह से बदल नहीं सकते हैं।

References

- Michael L. Deas, Cindy L. Lowney, Water Temperature Modeling Review Central Valley, California Water Modelling Forum, September 2000
- Robert V. Thomann, John A. Mueller, Principles of surface water quality modeling and control, Harper & Row, 1987
- Vikram Shah, Ankit Dekhatwala, Jyotirmay Banerjee and A K Patra, Analysis of dispersion of heated effluent from power plant: a case study, Sadhana, Vol. 42, No. 4, April 2017, pp. 557-574
- Annual report 2017-18, Central Electricity Authority
- Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems, NRDC issue brief, IB:14-04-C, April 2014
- Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, International Atomic Energy Agency, August 2018
- Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants, Proceedings of a symposium on the physical and biological effects on the environment of cooling systems and thermal discharges at nuclear power stations, August 1974

- S.G. Manjunatha, K.B. Bobade, M.D. Kudale, Pre-cooling Technique for a Thermal Discharge from the Coastal Thermal Power Plant, Procedia Engineering, Volume 116, 2015, Pages 358-365
- M.D. Kudale, Overview of Coastal Engineering, Short Course: "Modeling and Data needs for Coastal Engineering Projects" October, 2012
- A. A. Purohit, Physical Tidal Modeling – Case Studies, Short Course: "Modeling and Data needs for Coastal Engineering Projects" October, 2012
- J. Sinha, Mathematical Modeling Techniques for Thermal Circulation, Short Course: "Modeling and Data needs for Coastal Engineering Projects" October, 2012
- S.N. Jha, R. Manivanan, P.G. Saptarishi, Relationship and impact of climatic factors with coastal environmental parameters due to warm water discharge from a proposed power plant, 'Proceedings of the 9th international conference on Hydro-Science and Engineering', ICHE 2010
- S.N. Jha, R. Manivanan, P.G. Saptarishi, Development of a mathematical model for determining temperature of a lake based on climatic variations and its validation using measured data 'Proceedings of the 9th international conference on Hydro-Science and Engineering', ICHE 2010