

शैक्षणिक संदर्भ अंक १३३ डिसेंबर २०२१-जानेवारी २०२२

# सागर लहरी आणि ऊर्जा

लेखक: किरण बर्वे

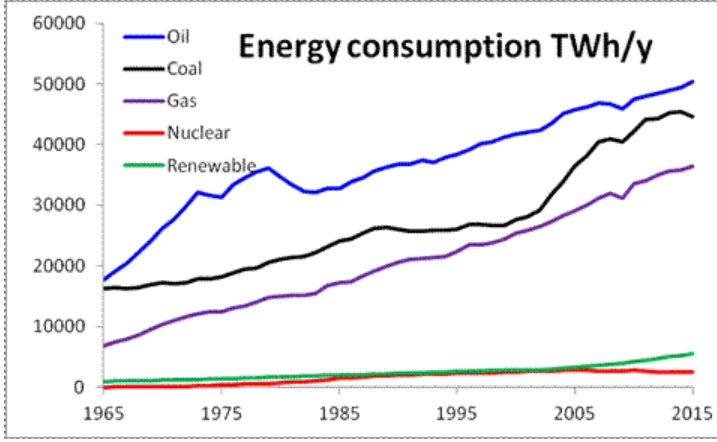
# सागर लहरी आणि ऊर्जा

लेखक: किरण बर्वे

आपण सर्वांनी समुद्राच्या किनाऱ्यावर लाटा बघण्यातील आनंद अनुभवला असेल. सतत आणि बऱ्याच प्रमाणात नियमित रीतीने येणाऱ्या लाटांबद्दल कुतूहल आणि आकर्षण असतेच. पाण्यात आत शिरून मजा करत असताना, लाटा सतत आपल्याला किनाऱ्याकडे ढकलत असतात. लाटांची ताकद मोठी आणि सतत जाणवणारी. अर्थातच या प्रक्रियेत किनाऱ्याच्या दिशेने ऊर्जा अविरत येत असते.

किनाऱ्यावर येत असताना लाट फुटते आणि तिच्यातील ऊर्जा विखुरते. जर या लाटांतील ऊर्जा थोड्या खोल समुद्रात पकडता आली आणि तिचे विद्युत शक्तीत रूपांतर करता आले तर? हा प्रश्न जगात शतकानुशतके विचारला गेला. छोटे मोठे प्रयत्न करण्यात आले. गेल्या शतकात मात्र अधिक पद्धतशीरपणे 'सागरलहरींतून ऊर्जा निर्मिती' या विषयात संशोधन झाले. गेल्या दोन ते तीन दशकात कमीत कमी प्रदूषणकारी आणि नैसर्गिक रीतीने सतत उपलब्ध (नूतनीकरणयोग्य पेक्षा हे वर्णन मला योग्य वाटते. मात्र शाश्वत असेही म्हणू नये) अशा ऊर्जास्रोतांचे शोध आणि विकास अनिवार्य ठरला. सागर लहरींपासून ऊर्जा (तरंगऊर्जा) हा स्रोत, ग्रीन आणि रिन्यूएबल म्हणजेच कमीत कमी प्रदूषणकारी आणि नैसर्गिकरित्या सतत उपलब्ध आहे.

गेल्या दोन दशकात अशा स्रोतांचा वापर अधिक होत आहे. त्यात मुख्य वाटा



चित्र १: जागतिक पातळीवर गेल्या काही दशकांत विविध प्रकारच्या ऊर्जास्रोतांच्या वापरातील वाढ

स्रोत:

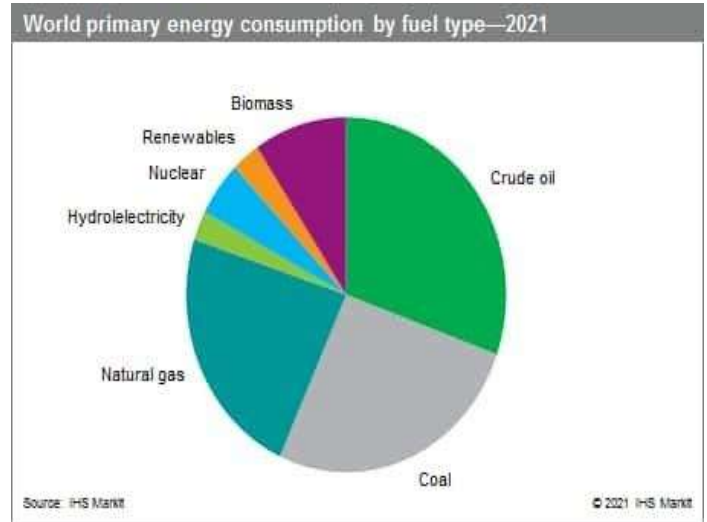
[https://pipiwiki.com/wiki/World\\_energy\\_consumption](https://pipiwiki.com/wiki/World_energy_consumption)

सौरऊर्जा आणि पवनऊर्जा यांचा आहे. मात्र एकूण वापरामधील त्यांची टक्केवारी खूपच कमी आहे. सोबतच्या चित्र १ मधील आलेखावरून स्पष्ट होईल, की एकंदरीत ऊर्जावापर वाढत आहे आणि त्यामधील सतत उपलब्ध आणि हरितऊर्जा वापरण्याचे

प्रमाणही वाढत आहे, मात्र ही वाढ अपेक्षित वेगाने झालेली नाही.

चित्र २ मध्ये ऊर्जावापराची सद्यस्थिती दिसून येते. एकूण ऊर्जावापरात आजही हरित ऊर्जास्रोतांचे प्रमाण नगण्यच आहे.

भारतात गेल्या दशकामध्ये सौर आणि पवनऊर्जा निर्माण लक्षणीयरित्या वाढले आहे. पवनऊर्जा क्षेत्रात ऊर्जा निर्मिती खर्चात घट झाली आहे आणि सौरऊर्जा विविध स्वरूपात वापरली जात आहे. उदा. दुर्गम प्रदेश, शेतीचे पंप, खारे



चित्र २: २०२१ साली वापरल्या गेलेल्या विविध प्रकारच्या प्राथमिक ऊर्जास्रोतांचे परस्पर प्रमाण

स्रोत: <https://ihsmarket.com/products/energy-chemical-economics-handbook.html>

पाणी गोडे करणे, पाणी गरम करणे इ. हळूहळू सौरऊर्जाही परवडू लागेल. आत्ताच सौरउर्जा वापराचा प्रती युनिट दर सरासरी दराच्या आसपास आला आहे.

एक लक्षात घ्यायला हवे की ज्या वेळी सौर आणि पवनउर्जेचा वापर धोरण म्हणून आपण करायला लागलो त्यानंतर काही वर्षांनी त्यातील तंत्रज्ञान आणि निर्मिती खर्चात घट होऊ लागली आहे. त्यामुळे या व्यतिरिक्त असलेले हरित आणि सतत उपलब्ध ऊर्जास्रोत यांचा वापर करावयाचा धोरणात्मक निर्णय घ्यायला हवा. खरे म्हणजे प्रदूषण करणारा कोणताही ऊर्जास्रोत वापरणे धोकादायक ठरेल अशी स्थिती आहे. गेल्या काही वर्षांतील हवामानबदल अनुभवल्यावर हाच निष्कर्ष निर्विवादरित्या समोर आला आहे. तेव्हा सागरतरंगऊर्जा या स्रोताकडेही आता दुर्लक्ष करून चालणार नाही.

भारतात अजून तरंगऊर्जा क्षेत्रातील अभ्यास खूपच प्राथमिक अवस्थेत आहे. या लेखमालेत आपण तरंगऊर्जेचे स्वरूप, थोडक्यात इतिहास आणि तरंगऊर्जासमृद्ध क्षेत्रांचा शोध कसा घेतला जातो या विषयीचे भारतातील संशोधन यांची ओळख करून घेणार आहोत. प्रत्यक्ष संयंत्राबद्दल आपण कमी विचार करणार आहोत. मात्र भारतात तरंगऊर्जा कोणत्या प्रकाराने वापरली जाऊ शकते या विषयी थोडी चर्चा करू.

सागराच्या तरंगामध्ये ऊर्जा कशी साठवली जाते? समुद्रावर सूर्याच्या तापमानामुळे, पृथ्वीच्या गतीमुळे हवेचा दाब बदलतो त्यामुळे वादळे आणि वारे सुटतात. वारा आणि समुद्राचा वरचा थर एकमेकांना भिडलेले असतात. वारा वाहत असताना समुद्राच्या पाण्यावर तरंग किंवा लाटा तयार होतात आणि त्या पुढे पुढे जाऊ लागतात. लाटांची उंची (Wave Height), तरंगलांबी (Wave Period), आणि दिशा (Wave Direction) हे वाऱ्याचा

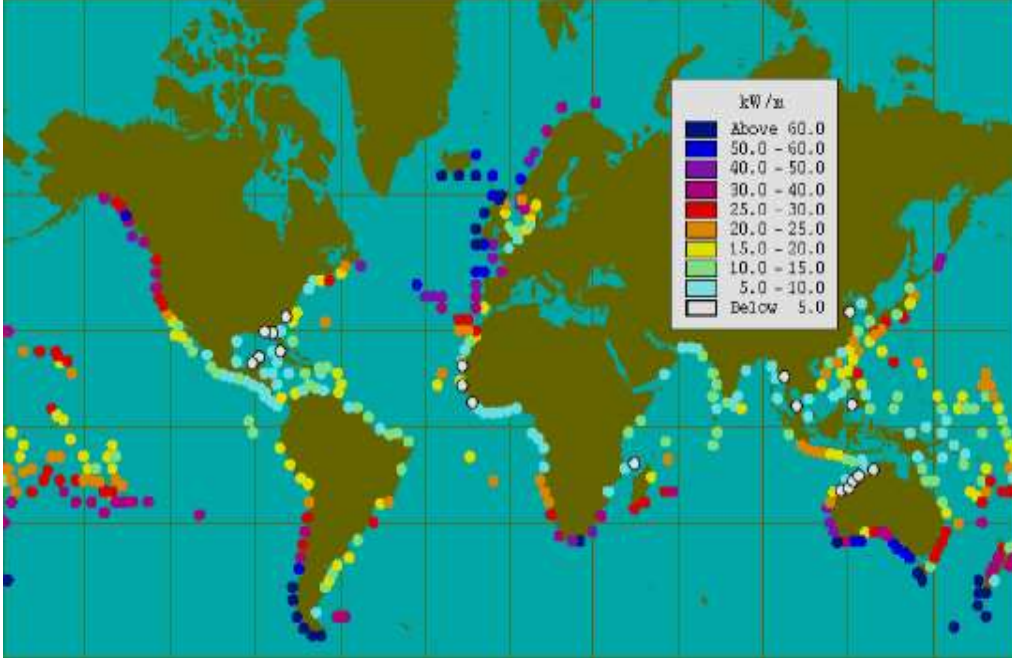
वेग आणि वारा किती वेळ किती क्षेत्रफळावर वाहत आहे त्यावर अवलंबून असतात. तास न तास वेगवान वारे वाहत असतील तर ३ मीटर, ४ मीटर उंचीच्या लाटा तयार होतात. जर असा वारा मोठ्या प्रदेशावर वाहत असेल तर त्या संपूर्ण क्षेत्रफळावरील वाऱ्यातील ऊर्जा या लाटांना मिळत राहते. आता लाटांची फौजच किनाऱ्याच्या दिशेने जाऊ लागते.



**चित्र ३ : सागर लहरी आणि लहरींतील महत्त्वाचे गुणधर्म यांचे विविध कारणांसाठी अभ्यास झालेले आहेत**

**स्रोत:** [https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_currents/media/supp\\_cur03a.html](https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/media/supp_cur03a.html)

वारा दीर्घकाळ आणि मोठ्या क्षेत्रफळावर वाहत असेल तर किनाऱ्यापर्यंत पोचणाऱ्या मोठ्या लाटा तयार होतात. वाऱ्यातील ऊर्जा ही लाटांच्या रूपाने एकत्र होते आणि किनाऱ्यावर येते. अर्थात तरंगामध्ये खूप मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा एकवटलेली असते. म्हणून तरंगऊर्जा ही पवनऊर्जेपेक्षा अधिक संपृक्त असते. मात्र त्यातून आपल्याला वापरण्यायोग्य अशा प्रकारे ऊर्जा मिळवणे सोपे नाही. जगातील सागर तटांजवळ किती उंचीच्या, तरंगलांबीच्या लाटा येतात हे सर्वसाधारणपणे माहित आहे. त्यांचे विज्ञान ठाऊक आहे आणि उपलब्ध माहितीवरून आपण योग्य अंदाज बांधलेले आहेत. त्यात दर वर्षी सुधारणा होत आहे. त्या आधारे जगात कोठे किती ऊर्जा आहे यांचा नकाशा चित्र ४ मध्ये दिला आहे.



चित्र ४: जगातील उपलब्ध तरंगऊर्जा  
(स्त्रोत: संदर्भ ४, आकृती ३१)

चित्र ५ मधील नकाशात भारताच्या सागरी तटांवर दर मीटरमध्ये सरासरी किती तरंगऊर्जा आहे हे दिले आहे. उदाहरणार्थ मुंबईजवळ किनाऱ्यावर दर मीटरमध्ये सरासरी ५ ते १० किलोवॉट ऊर्जा आहे. याचा अर्थ असा की जर तुम्ही मुंबईजवळ ५०० मीटर लांबीचा ७ मीटर समुद्र खोलीवरील भाग घेतला तर तिथे सरासरी  $५०० \times १० = ५०००$  किलोवॉट (kw) म्हणजे ५ मेगावॉट ऊर्जा असेल. अरे वा, मग फारच उत्तम! ऊर्जानिर्मिती करायलाच लागू या.

विशिष्ट प्रदेशात लाटांची उंची जास्त असते अशी निरीक्षणे आहेत. खोल समुद्रातील वाऱ्याचा वेग, दिशा, वाहण्याचा काळ आणि प्रदेश यावरून लाटांची उंची, दिशा आणि वारंवारिता यांचा अंदाज बांधता येतो. आणि त्या अंदाजानुसार आणि निरीक्षणांच्या आधारे भारतात असे काही प्रदेश निवडले आहेत.



चित्र ५: भारतातील उपलब्ध तरंगऊर्जा (स्रोत: संदर्भ ४, आकृती ५१)

सर्वात पहिले निरीक्षण असे आहे की, तरंगऊर्जा किफायतशीर ठरेल असे प्रदेश पश्चिम किनाऱ्यावर जास्ती प्रमाणात आहेत. पश्चिम किनाऱ्यावर पृथ्वीचे परिवलन, वारे यामुळे लाटांची उंची जास्त आहे आणि या किनाऱ्यावर तुलनेने कमी प्रमाणावर चक्रीवादळे येतात. त्यामुळे समुद्रातील बांधकाम अधिक सुरक्षित राहते. त्यामुळे पश्चिम तटावर तरंगऊर्जा संपादन करणे शक्य आहे.

मात्र यात काही अडचणी आहेत. वाहते पाणी खूप मोठ्या प्रमाणात असते पण जलविद्युत तयार करायला योग्य जागा कमी असतात. अशा जागा शोधून पाणी साठवून मग वीज तयार करता येते. त्यासाठी अत्यंत पद्धतशीरपणे शोध घ्यावा लागतो, अभ्यास करावा लागतो. त्याचप्रमाणे, जरी समुद्र किनाऱ्यावर सर्व ठिकाणी तरंगऊर्जा असली तरी तिचे रूपांतर करून वापरणे प्रत्येक ठिकाणी किफायतशीर असतेच असे नाही. ज्या ठिकाणी

अधिक ऊर्जा उपलब्ध आहे, जी जागा सुरक्षित आहे, जिथे सहजी जातायेता येईल अशी जागा लागते. अर्थात वरील नकाशांतील माहितीचा उपयोग सर्वसाधारणपणे कोणते किनारे तरंगऊर्जासंपन्न आहेत हे ठरवण्यासाठी होतो. मात्र नेमके स्थान ठरवण्यासाठी अधिक अभ्यासाची जरूर असते.

ह्या विषयाचा अभ्यास गेल्या पाच वर्षांत पुण्यातील शासकीय संशोधन केंद्रात केला आहे. लेखक त्यात सहभागी होता.

नकाशात असेही दिसेल की, दक्षिण महाराष्ट्र, त्यातही सिंधुदुर्ग जिल्हा आणि दक्षिण कर्नाटक सीमा आणि उत्तर केरळ, तसेच भारताचे सर्वात दक्षिणेचे टोक इथे २० ते २५ किलोवॉट प्रती मीटर ऊर्जा आहे. महाराष्ट्रात सिंधुदुर्गच्या खालोखाल दक्षिण रायगड आणि रत्नागिरी जिल्हा ऊर्जासमृद्ध आहे. मात्र हे अंदाज वा निष्कर्ष ढोबळ आहेत. तरंगऊर्जा मिळवायची तिथे ती कोणत्या वेळी किती उपलब्ध आहे आणि कोणत्या भागात अधिक आहे हे नेमके माहीत असणे जरूरीचे आहे.

किनाऱ्याजवळ ज्या जागी तरंगऊर्जा संपादित करावयाची तेथील लाटांचे सर्व गुणधर्म मोजणे हा सर्वोत्तम उपाय आहे, मात्र तो शक्य नाही. एका ठिकाणी मोजमाप करायला सुद्धा खूप खर्च येतो आणि आपल्याला विविध ठिकाणी मोजमाप करायला हवे. मात्र येथे आपल्याला शास्त्रीय ज्ञानाचा उपयोग होतो. शतकानुशतकांच्या निरीक्षणांना, विज्ञानातील उपलब्ध ज्ञानाच्या आधारे समजून घेत सागरकिनाऱ्याची अभियांत्रिकी (Coastal Engineering) ही विद्याशाखा विकसित झाली आहे. याच्या आधारे किनाऱ्यावर येणाऱ्या लाटांच्या गुणधर्मांविषयी सुयोग्य अंदाज बांधता येतो. ही प्रक्रिया

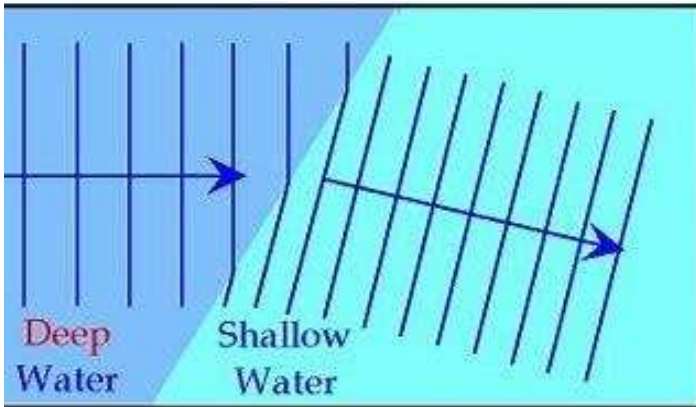


वारंवार तपासली गेली आहे. या प्रक्रियेच्या तपशीलात न जाता ती कशी वापरली जाते हे समजावून घेऊ या.

समजा तुम्ही समुद्र किनाऱ्यावर उभे आहात तर लाटा तुमच्या समोरच्या दिशेने येतात असे आढळेल. एकदा मुंबईच्या चौपाटीवर उभा होतो तर जणू मला सलामी देण्यासाठीच लाटा माझ्याच समोरून येत होत्या ! मी ती दिशा पक्की लक्षात ठेवली. २६० अंश उत्तर. नंतर काही कारणाने मी चेन्नईच्या समुद्राकाठी गेलो असताना परत एकदा लाटा माझ्या समोरून येत होत्या. लाटांची दिशा बघितली. ती १६० अंश उत्तर होती. मी गोंधळलो. बरे किनाऱ्यावर उभे असताना समोरून लाटा येतात हा अनुभव सगळ्यांना येतो. मलाच काही सोने लागलेले नाही. या प्रश्नाचे उत्तर सागर अभियांत्रिकी देते.

ज्या प्रमाणे प्रकाशाचे वक्रीभवन (refraction) होते त्याच पद्धतीने सागर लाटांचे होते. अतिशय सोपे उत्तर आहे. चित्र ६ (अ), (ब) व (क) वरून हे स्पष्ट होईल.

प्रकाश माध्यमाच्या घनतेतील बदलामुळे दिशा बदलतो. इथे समुद्राच्या खोलीतील



चित्र ६(अ): खोलीमध्ये बदल झाला तो दाखवणारी समोच्च रेषा(contour)

स्रोत: [www.physics45.com](http://www.physics45.com)

बदलामुळे लाटांची दिशा बदलते. समोच्च रेषा काढून हे स्पष्ट होते. पाण्यातील तरंगांसाठी खोलीतील बदल हा घनतेतील बदलाप्रमाणे तरंगांच्या दिशेत बदल घडवतो. त्याप्रमाणे समान खोली दाखवणाऱ्या समोच्च रेषेला लाटांची दिशा लंब

होत जाते. आपण उंचसखल जमीन नकाशात दाखवत असताना समान उंचीचे बिंदू जोडून समोच्च रेषा दाखवतो. त्याप्रमाणे खोलीमधला बदल दाखवणारी एकच रेषा आपण दाखवली आहे चित्र ६(अ) मध्ये आणि तरंगांची दिशा त्या समोच्च रेषेला लंब झाली आहे.

चित्र ६(ब) मधील फोटोत दिसत आहे की कशाप्रकारे लाटा किनाऱ्यावर येताना



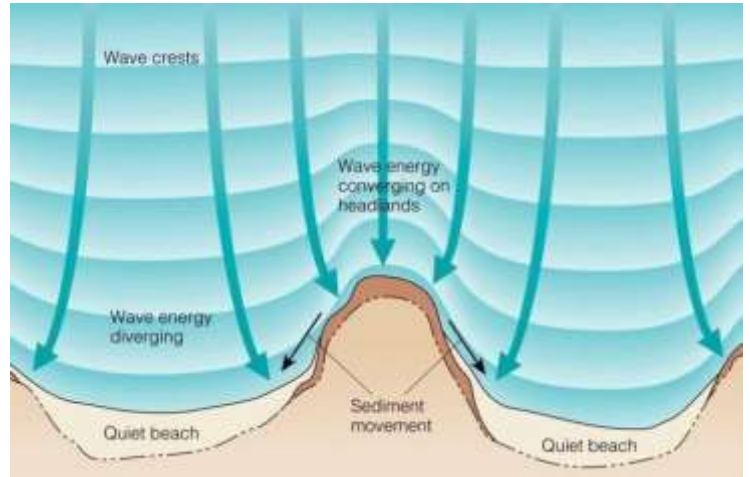
चित्र ६(ब)

काठाला समांतर होतात आणि त्यामुळे त्या आपल्या समोरून येतात.

प्रकाश विरळ माध्यमातून घन माध्यमात जाताना दिशा बदलतो हे तुम्ही शिकला आहात. प्रकाशाचाच नव्हे तर सर्वच तरंगांचा हा गुणधर्म आहे. प्रत्येक

तरंग माध्यमातील बदलानुसार दिशा बदलतो. सागरातील लाटा या तरंगच आहेत. त्यामुळे माध्यमाच्या गुणधर्मात बदल होतो त्याप्रमाणे सागरी लाटा दिशा बदलतात. त्यानुसार त्यातून येणाऱ्या ऊर्जेतही बदल होतो.

आपल्याला दिसताना लाटांचा सर्वात उंच भाग (क्रेस्ट) किनाऱ्याला समांतर होत जातो (चित्र ६(ब) पहा). त्यामुळे लाटा आपल्या समोरून येतात असे तटावरील व्यक्तीला दिसते.



चित्र ६(क)

स्त्रोत: [www.surfertoday.com](http://www.surfertoday.com)

चित्र ६(क) मध्ये समुद्रात पुढे आलेल्या सुळक्यामुळे समोच्च रेषा कशा बदलल्या आहेत ते दाखवले आहे. त्यांना लाटांची दिशा लंब होत होत त्यानुसार लाटा वळल्या आहेत. म्हणून पुढे आलेल्या भागावर लाटा केंद्रित झाल्या आहेत. तेथे ऊर्जा अधिक आहे. भिंगामधून येणारा प्रकाश एकत्र येऊन त्यातील ऊर्जा वाढते त्याचप्रमाणे.

विविध ठिकाणच्या समुद्राची खोली मोजून त्या आधारे गणित करून त्या प्रदेशावरून जात असताना लाटांची दिशा कोणती असेल ते ठरवता येते. लाट जशी वळते त्याचप्रमाणे तिच्या उंचीतही बदल होतो. लाटांची वारंवारिताही बदलते. हे सर्व बदल लाटेच्या मार्गातील समुद्राच्या खोलीवर अवलंबून असतात.

अर्थात केवळ समुद्राची खोली माहीत असेल तर तेथील गुणधर्म ठरवता येत नाहीत. त्या परिसरातील खोली तसेच जेथून लाटा या परिसरात येणार असतील तेथील लाटांचे गुणधर्म माहीत असायला हवेत.

ज्या किनाऱ्याजवळ ऊर्जा निर्मिती करावयाची त्या किनारपट्टी जवळच्या १५ ते २० मीटर खोलीपर्यंतच्या प्रदेशातील लाटांचे गुणधर्म निश्चित माहीत करून घेणे तरंगऊर्जेविषयीच्या कोणत्याही उपक्रमासाठी आवश्यक आहे. आणि हे गुणधर्म निश्चित करण्याचे ज्ञान सागरी अभियांत्रिकीकडे आहे.

संदर्भ

१. A Review on Assessment of Wave Energy Potential, Justin Thomas T, K.H Barve , G.S Dwarakish, L.R Ranganath, National Conference on Futuristic Technology in Civil Engineering for Sustainable Development 9th May 2015.

२. Assessment of wave energy potential along South Maharashtra coast, Justin Thomas, Kiran Barve, Ranganath L.R. and G S Dwarakis, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, ISSN 0974-5904, Volume 09, No. 03, June 2016

३. Assessment of wave energy potential using 3-years offshore wind & wave data near Ratnagiri, Maharashtra, Rupesh Kumar, K.H Barve, Ajai Singh, Tasneem Ahsan, L.R Ranganath, INCHOE-2018, Indian Society for Hydraulics and Central Water & Power Research Station, Pune, India

४. Study on Tidal & Waves Energy in India: Survey on the Potential & Proposition of a Roadmap Final Report December 2014, INDIAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT AGENCY LIMITED (IREDA)

क्रमशः

§§§

---

लेखक : किरण बर्वे, भास्कराचार्य प्रतिष्ठान येथे गणित शिकवतात. विज्ञान व गणित विषयांत लेखन करतात. शैक्षणिक संदर्भ गटात सहभागी.

इ.मेल : [barvekh@gmail.com](mailto:barvekh@gmail.com)

(कळीचे शब्द: सागर लहरी, सागरी लाटांचे गुणधर्म, सागर लहरींतून ऊर्जा निर्मिती, तरंगऊर्जा, सागरी तरंगांचे वक्रीभवन)

शैक्षणिक संदर्भ द्वैमासिकात प्रसिध्द झालेल्या लेखमाला, एकाच विषयावरील लेख, एका लेखकांचे लेख, अशा स्वरूपाची संकलने आता आम्ही इ-पुस्तक स्वरूपात उपलब्ध करून देत आहोत. वेबसाइटवर सध्या पुढील तीन इ-पुस्तके उपलब्ध आहेत. जरूर पहा, इतरांपर्यंतही पोहचवा. आपला अभिप्राय व सूचना आम्हाला इमेलने कळवा.

जल-थल-मल पुस्तकातील निवडक प्रकरणे <https://www.sandarbhociety.org/pdf/Jal-Thal-Mal%20.pdf>

डॉ आनंद कर्वे यांच्या लेखांचे संकलन <https://www.sandarbhociety.org/pdf/vaidnyanik-mushafiri.pdf>

द्विजगण अवघे लेखमाला <https://www.sandarbhociety.org/pdf/Dvijaga%E1%B9%87a-e-book.pdf>

## शैक्षणिक संदर्भ द्वैमासिकाविषयी

शैक्षणिक संदर्भ हे पालकनीती परिवाराचे द्वैमासिक ऑगस्ट १९९९ पासून संदर्भ सोसायटी प्रकाशित करत आहे. मराठीतून चांगले विज्ञान वाचायला मिळावे, शालेय व महाविद्यालयीन विद्यार्थ्यांच्या कुतूहलाला प्रोत्साहन मिळावे, अनुभवांना जोडून असलेल्या विज्ञानाची सहज ओळख व्हावी आणि समाजात वैज्ञानिक दृष्टिकोन वाढावा, हे याचे उद्देश आहेत.

२०१८ सालापासून आम्ही शैक्षणिक संदर्भची छापील आवृत्ती न काढता इ-अंक प्रकाशित करत आहोत व इमेल आणि व्हॉट्सॅपच्या माध्यमातून वाचकांपर्यंत पोहोचवत आहोत.

आपल्याला आमचे अंक वाचायचे असल्यास आपला इ-मेल पत्ता आणि व्हॉट्सॅप क्रमांक (ऐच्छिक) आम्हाला [sandarbh.marathi@gmail.com](mailto:sandarbh.marathi@gmail.com) वर पाठवावा. दर आठवड्याला एक लेख व दर दोन महिने पूर्ण झाल्यावर आठ लेखांचा एकत्रित एक अंक असे आपल्याला पीडीएफ स्वरूपात मिळतील.

[www.sandarbhsociety.org](http://www.sandarbhsociety.org) या वेबसाईटला जरूर भेट द्या. जुने अंकही त्यावर पीडीएफ स्वरूपात उपलब्ध आहेत.

हा उपक्रम विनामूल्य आहे, पण आपण आपला सहभाग ऐच्छिक देणगी रूपात संदर्भ सोसायटीकडे पाठवू शकता. अधिक माहिती वेबसाईटवर उपलब्ध आहे.

- संपादक मंडळ, शैक्षणिक संदर्भ व विश्वस्त मंडळ, संदर्भ सोसायटी