



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Evaluation of Extractable Energy from Tidal Farm in the Qeshm Channel Using Numerical Flow Simulation

Davood Shariatmadari¹, Mostafa Siadat Mousavi², Cyrus Ershadi^{3,*}¹ Ph.D Student Hormozgan University, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran² Associate Prof. University of Science and Industry of IRAN, Faculty of Civil Engineering, University of Science and Industry of Iran³ Assistant Professor Hormozgan University, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1235-3

Article History:

Received: 03/02/2020

Revised: 17/05/2021

Accepted: 30/04/2021

Keywords:

Renewable energy

Tide

Qeshm Canal

Tidal horizontal axial turbine

Tidal farm

Delft3D

*Corresponding author:

✉ cyrusershadi1@yahoo.co.uk

10.52547/joc.12.46.1

ABSTRACT

Background and Objectives: Increased use of fossil fuels has irreversible consequences such as global warming, ozone depletion, changes in rainfall patterns, sea level rise and detrimental effects on the lives of plants, animals and humans. Today, in many developed countries, energy such as wind and solar as well as marine renewable energy is used to reduce its harmful effects on the environment. The use of these energies is increasing rapidly and countries are studying new plans in this field. Almost all renewable energy comes from the sun, and the energy of the tidal is an exception. The origin of this phenomenon is related to the gravitational effect of the moon and the sun. Undoubtedly, among the natural phenomena used for energy extraction, the tidal has the highest continuity and predictability.**Methods:** Researches show that the Qeshm canal in the Persian Gulf is one of the potential locations for the use of tidal energy. These turbines can effectively convert tidal energy into electrical energy. For this purpose, a large-scale three-dimensional model based on finite difference from the Persian Gulf was initially set up, which was validated using observational data including water level and flow velocity. The results of this model were entered into the Qeshm 3D model as input data. The grid of this model is 20 meters. In the areas of Qeshm canal that have the highest flow velocity, a tidal farm was established to show the effects of the turbine and an additional term was added to the momentum equations.**Findings:** In the Qeshm Channel, potential sites were identified. A tidal farm with 72 horizontal axis turbines was set up and the power output of the farm was investigated for one-month. Based on the modeling results of Delft 3D numerical model, the one-month power output of this field was estimated to be 33.15 MW.**Conclusion:** The aim of this study was to investigate the amount of tidal energy in Qeshm canal. Using a numerical model, energy potential points in Qeshm canal were identified and a tidal farm was set up in Qeshm canal using porous plates. The amount of energy obtained from this farm was calculated.

©2021 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

10



NUMBER OF REFERENCES

16

ارزیابی انرژی قابل استحصال از مزرعه جزر و مدی در کانال قشم با استفاده از شبیه‌سازی عددی جریانات

داود شریعت‌مداری^۱، سیدمصطفی سیادت‌موسوی^۲، سیروس ارشادی^{۳*}^۱دانشجوی دکترای سازه‌های دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران^۲دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران^۳استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰

واژگان کلیدی:

انرژی تجدیدپذیر

جزر و مد

کانال قشم

توربین محور افقی جزر و مد

مزرعه توربینی

دلفت سه‌بندی

*نویسنده مسئول

✉ cyrusershadi1@yahoo.co.uk

پیشینه و اهداف: افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی عواقب جبران‌ناپذیری مانند گرم شدن کره زمین، شکاف لایه ازن، تغییر در الگوی بارندگی، افزایش تراز سطح آب دریا و اثرات مخرب بر زندگی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها دارد. امروزه در بسیاری از کشورهای پیشرفته از انرژی‌هایی نظیر باد و خورشید و همچنین انرژی تجدیدپذیر دریایی به منظور کاهش اثرات مخرب آن بر محیط زیست استفاده می‌شود. استفاده از این انرژی‌ها به سرعت در حال افزایش است و کشورها به مطالعه طرح‌های جدید در این زمینه می‌پردازند. تقریباً تمام انرژی‌های تجدیدپذیر از تابش خورشید منشأ می‌گیرند و انرژی جزر و مد در این مورد استثنا است. منشأ این پدیده به اثر گرانشی ماه و خورشید مربوط است. بدون شک در بین پدیده‌های طبیعی که جهت استحصال انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، جزر و مد بالاترین تداوم و قابلیت پیش‌بینی را داراست.

روش‌ها: مطالعات نشان می‌دهد که کانال قشم در خلیج فارس یکی از نقاط مستعد بهره‌برداری از انرژی جزر و مد است که در این تحقیق به بررسی استحصال انرژی جزر و مدی در این کانال با استفاده از توربین‌های محور افقی جریان جزر و مدی پرداخته می‌شود. این توربین‌ها می‌توانند به طور موثری انرژی جزر و مد را به انرژی الکتریسته تبدیل کنند. برای این منظور در ابتدا یک مدل بزرگ مقیاس سه بعدی مبتنی بر اختلاف محدود از خلیج فارس برپا گردید که با استفاده از داده‌های مشاهداتی شامل سطح آب و سرعت جریان مدل صحت‌سنجی شد. نتایج این مدل به عنوان داده‌های ورودی وارد مدل سه بعدی قشم با گره بندی ۲۰ متر شد. در مناطقی از کانال قشم که دارای بیشترین سرعت جریان می‌باشند، یک مزرعه جزر و مدی برپا گردید جهت نشان دادن اثرات توربین نیز یک‌ترم اضافی به معادلات مومنوم اضافه گردید.

یافته‌ها: در کانال قشم محل‌های مستعد انرژی جزر و مد مشخص گردید و در آنجا یک مزرعه جزر و مدی با ۷۲ توربین محور افقی برپا گردید و توان خروجی مزرعه برای یک ماه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل‌سازی انجام شده در مدل عددی Delft3D، توان خروجی یک ماهه این مزرعه ۳۳،۱۵ مگاوات در مساحتی با ۲۲۹۵۰۰ مترمربع برآورد گردید.

نتیجه‌گیری: هدف این تحقیق بررسی مقدار انرژی حاصل از جزر و مد در کانال قشم بود که با استفاده از یک مدل عددی نقاط مستعد انرژی در کانال قشم شناسایی شد و با استفاده از صفحات متخلخل یک مزرعه جزر و مدی در کانال قشم برپا گردید و مقدار انرژی حاصل از این مزرعه محاسبه شد.

مقدمه

دادن ماکزیمم و مینیمم مقدار استخراج انرژی استفاده کردند که این ضرایب به ترتیب ۰,۸ و ۰,۶ به دست آمد [۴].

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه استحصال انرژی از دریا صورت گرفته است. اشتی لرکی انرژی حاصل از جزر و مد در سواحل ایرانی خلیج فارس را مطالعه نمود. در این بررسی، سواحل از دو لحاظ جریان‌های جزرومدی و دامنه جزر و مد مورد بررسی قرار گرفتند و برای این منظور از شبیه‌سازی جریان‌های دریایی با استفاده از مدل تفاضل محدود کوهرنس انجام شد [۵].

براساس مطالعات گذشته، مشخص شده است که بخش‌های محدودی از خلیج فارس دارای پتانسیل کافی برای استخراج انرژی جزر و مدی است و به طور ویژه بهترین پتانسیل جزر و مدی در خور موسی و کانال قشم وجود دارد. در ایران بیشتر تحقیقاتی که در زمینه استحصال انرژی جریان‌های جزر و مدی تاکنون انجام شده در منطقه خور موسی متمرکز بوده است. از جمله محموداف و چگینی (۱۳۹۲) که با استفاده از دو مدل عددی سه بعدی هیدرودینامیک کوهرنس و بوم به مطالعه و برآورد انرژی جریان‌های جزر و مدی در خور موسی پرداختند [۶].

اشتی لرکی و همکاران با استفاده از مدل سه بعدی کوهرنس به تخمین میزان انرژی الکتریسیته ناشی از جزر و مد در خور دورق پرداختند [۷]. خسروی و همکاران چرخه جزر و مد را در تنگه خوران بررسی کردند [۸]. در این تحقیق با توجه به مشخصات هندسی کانال قشم و وجود جریان‌های جزر و مدی قوی در این ناحیه به بررسی قابلیت استحصال انرژی در این کانال پرداخته می‌شود. در فصل بعد به معرفی منطقه و مدل عددی مورد استفاده در این تحقیق پرداخته می‌شود. سپس جزئیات ساخت مدل و داده‌های اندازه‌گیری مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه صحت‌سنجی مدل ساخته شده ارائه می‌گردد و نتایج حاصله مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در انتها به پیاده‌سازی مزرعه جزر و مدی و ارزیابی منابع جزرومدی پرداخته شده و در فصل آخر نیز نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

روش پژوهش

۱. معرفی منطقه و مدل عددی

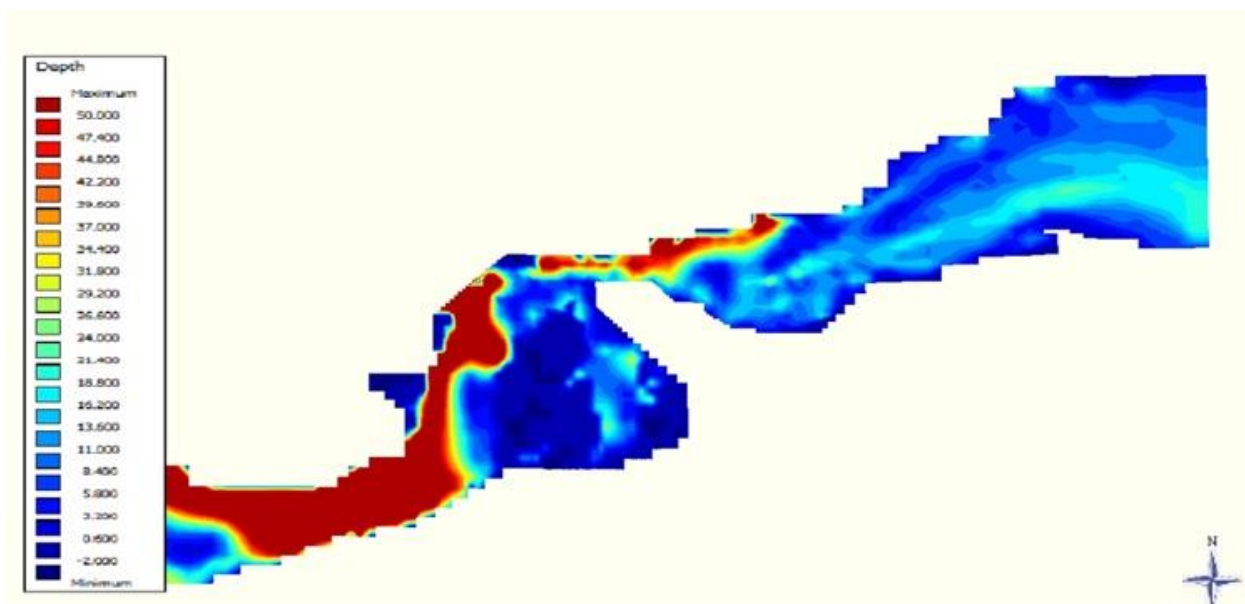
۱-۱ منطقه‌ی مورد مطالعه

تنگه خوران یا همان کانال قشم به طول ۱۱۵ کیلومتر در حد فاصل جزیره قشم و فلات ایران واقع شده است. شکل ۱ موقعیت این کانال را نشان می‌دهد. عرض این تنگه در مدخل شرقی ۲۲ کیلومتر و در حرکت به سمت غرب تا ۲/۵ کیلومتر کاهش می‌یابد و سپس در انتهای شرقی به عرض حدود ۱۰ کیلومتر می‌رسد و به خلیج فارس می‌پیوندد [۵].

با توجه به نگرانی‌های محیط زیستی امروز، تقاضا برای منابع انرژی پاک و پایدار در حال افزایش است. یکی از منابع بالقوه برای چنین انرژی‌هایی، جزر و مد است. جزر و مد امواج بلند سطحی گرانشی در اقیانوس‌ها و دریا هستند که با کشش گرانشی ماه و خورشید ایجاد می‌شوند. به دلیل چرخش زمین در اطراف محور آن و نیز به دور خورشید، بیشتر مکان‌ها روزانه دو بالاروی و پایین‌روی سطح آب را تجربه می‌کنند. تغییر از ارتفاع بالا به پایین سطح آب و بالعکس یک سیکل جزر و مدی را تولید می‌کند. البته انرژی جزر و مد تنها منبع انرژی پایدار نیست بلکه باد و انرژی خورشیدی نیز نمونه‌های دیگر این منابع هستند. ماهیت قابل پیش‌بینی بودن نیروهای تولیدکننده جزر و مد اغلب منجر به ایجاد نتایج قابل پیش‌بینی از ارتفاع موج جزر و مدی می‌شود به این دلیل، این انرژی به طور ویژه‌ای برای تولید برق جذاب است. یک دستگاه انرژی جزر و مد، نوسانات سطح را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. میزان بازدهی دستگاه جزر و مدی یک جنبه مهم اقتصادی بودن استفاده از انرژی جزر و مد در یک منطقه است.

چندین فناوری برای استخراج انرژی جزر و مد وجود دارد. توربین‌های محور عمودی و توربین‌های محور افقی جریان جزر و مد از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین فن‌آوری‌های استحصال انرژی جزر و مد هستند [۱]. توربین‌های محور افقی جزر و مدی عموماً به طور مشابه با توربین‌های بادی محور افقی کار می‌کنند، با این تفاوت که توربین‌های جزر و مدی در آب شناور هستند و توربین‌های بادی در هوا قرار می‌گیرند. پره‌های توربین محور افقی جزر و مد انرژی جنبشی جریان جزر و مد را توسط میله‌هایی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. توان تولید برق توربین‌های جزر و مد به سرعت جریان جزر و مد وابسته است. در نتیجه در مناطقی که سرعت جزر و مد زیاد است، این توربین‌ها قابل کاربرد هستند. حداقل سرعت پیک برای اجرای مقرون به صرفه اقتصادی توربین‌های جزر و مد، حدود ۱ متر بر ثانیه برآورد می‌شود [۲].

بلوندن و همکاران توربین محور افقی با مساحت دیسک چرخنده $A_d = 201 \text{ m}^2$ ، قطر 16 m و سرعت $\frac{m}{s} 2.5$ و نیز ضریب رانش $C_T = 0.8$ را در کد TELEMAC-2D شبیه‌سازی کردند و در این مدل‌سازی از یک مزرعه جزرومدی با ۱۶۰ عدد توربین که مساحتی حدود ۲ کیلومتر مربع را پوشش می‌داد استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که توان تولیدی حاصل از جزر و مد تقریباً ۹۰ مگاوات است [۳]. راموس و همکاران برای مطالعه استخراج انرژی از جزرومد از مدل Delft3D در حالت انتگرال‌گیری شده در عمق استفاده کردند. در این تحقیق یک مزرعه توربین جزر و مدی با ۸ عدد توربین به قطر ۵ متر و با فاصله ۱۵ متر بر اساس استاندارد طراحی توربین Evopod شبیه‌سازی شد. آن‌ها از دو مقدار ضریب رانش برای نشان



شکل ۱: محدوده کانال قشم

Fig.1: The Qeshm ranges canal

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial[(d+\zeta)U]}{\partial x} + \frac{\partial[(d+\zeta)V]}{\partial x} = Q \quad (3)$$

۲. معرفی مدل هیدرودینامیک Delft3D

به طوری که ζ تراز آب بالای سطح مرجع بوده، d عمق آب بوده و U و V تصاویر سرعت متوسط‌گیری شده در لایه مورد نظر در جهت x و y است. f پارامتر کوریولیس، g شتاب گرانشی، ν_h ضریب ویسکوزیته افقی، ρ_0 و ρ' چگالی اولیه و تغییرات آن است. τ_{sy} و τ_{sx} تنش برشی کف و τ_{by} و τ_{bx} تنش برشی سطح هستند.

Delft 3D یک برنامه شبیه‌سازی هیدرودینامیکی سه بعدی یا دوبعدی است. مدول Delft3D-flow بخشی از Delft3D است که به مدلسازی جریان اختصاص دارد و به حل عددی معادلات آب کم عمق می‌پردازد که شامل معادلات ناویر استوکس است. Delft3D-flow جریان غیرپایدار و نتایج پدیده‌های انتقال ناشی از جزر و مد و یا نیروهای هواشناسی را که شامل اثرات تغییر چگالی در نتیجه درجه حرارت غیر یکنواخت و توزیع شوری است شبیه‌سازی می‌کند. این مدل می‌تواند برای پیش‌بینی جریان در آب‌های کم عمق، مناطق ساحلی، خورها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیز استفاده شود [۹].

۳. برپایی مدل و داده‌های اندازه‌گیری

۱-۳ برپایی مدل

هدف تحقیق در این مطالعه، بررسی میزان انرژی در اطراف جزیره قشم است. برای انجام این هدف دو مدل ساخته شد. مدل اول یک مدل کلی با شبکه‌بندی بزرگ با تفکیک‌پذیری ۴ کیلومتر در مرزها است که قسمتی از دریای عمان و کل خلیج فارس را پوشش می‌دهد و در ادامه به نام مدل خلیج فارس از آن یاد می‌شود. مدل دوم به نام مدل قشم نام‌گذاری می‌گردد و یک مدل با شبکه‌بندی ریز است که فضای بین جزیره قشم و سواحل ایران را پوشش می‌دهد.

این شبکه در اطراف مرزها دارای تفکیک‌پذیری مکانی حدود ۲۰۰ متر است و این فاصله در محل‌های مستعد جریان زیاد جزر و مدی به ۲۰ متر می‌رسد. علت استفاده از دو مدل مستقل، بهینه‌سازی زمان اجرای شبیه‌سازی‌ها بوده است. پس از صحت‌سنجی مدل اول، نتایج آن جهت شبیه‌سازی دقیق‌تر به عنوان شرایط مرزی به مدل

معادلات حاکم جریان در مختصات سیگما با شرط فشار هیدرواستاتیک در آب کم عمق که شامل معادلات اندازه حرکت و پیوستگی است به صورت زیر بیان می‌گردند:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial \rho'}{\partial x} dz + \quad (1)$$

$$\frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_0(d + \zeta)} + \nu_h \nabla^2 U$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial \rho'}{\partial y} dz + \quad (2)$$

$$\frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_0(d + \zeta)} + \nu_h \nabla^2 V$$

۳-۲ داده‌های اندازه‌گیری

اطلاعات اندازه‌گیری شده تراز سطح آب در ۷ ایستگاه در محدوده خلیج فارس (قشم، رجائی، کشتی سازی، بوشهر، کنگان، دیرویلیم) که توسط سازمان نقشه برداری ایران انجام شده است و همچنین اطلاعات سرعت جریان در ۲ ایستگاه (بوشهر و دیلم) که از سازمان بنادر گرفته شده مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به زمان اندازه‌گیری، عمق آب و محل اندازه‌گیری نشان داده شده است.

۴. صحت‌سنجی و کالیبره کردن مدل

در ابتدا مدل خلیج فارس برپا گردید و با توجه به اینکه اطلاعات تراز سطح آب به دست آمده از اندازه‌گیری‌های سازمان نقشه‌برداری برای ماه ۵ سال ۲۰۱۱ است و اطلاعات سرعت جریان سازمان بنادر برای ماه ۷ سال ۲۰۱۱ است، بنابراین مدل خلیج فارس برای هر سه ماه اجرا گردید. نتایج خروجی تراز سطح آب و سرعت جریان در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.

در جدول ۲ و ۳ نیز نتایج آماری خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی آمده است. لازم به ذکر است اجرای مدل از ۱۰ روز قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها شروع شد تا مدل در اصلاح گرم شده باشد. جهت انجام این تحلیل از دو پارامتر آماری مجذور میانگین خطای مربعات و ضریب همبستگی استفاده شد که در ادامه معرفی شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_n - M_n)^2} \quad (5)$$

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O}_n) (M_n - \bar{M}_n)}{\sigma_O * \sigma_M} \quad (6)$$

به طوری که N تعداد اندازه‌گیری‌ها، n شمارشگر داده‌هاست، O_n اطلاعات مشاهداتی و M_n اطلاعات مدل‌سازی شده نظیر اطلاعات مشاهداتی است. σ_O و σ_M انحراف استاندارد اطلاعات مشاهداتی و اطلاعات اندازه‌گیری است.

در شکل ۳ نتایج مقایسه تراز سطح آب در ایستگاه‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مدل خلیج فارس نشان داده شده است و در جدول ۲ نتایج این ۷ ایستگاه شبیه‌سازی شده به صورت آماری بیان گردیده است. با توجه به نتایج، همبستگی بین نتایج بسیار مناسب است و توافق خوبی بین سری زمانی تراز سطح آب ایستگاه‌ها با شبیه‌سازی مدل عددی در ۷ ایستگاه وجود دارد.

قشم داده شد. برای بر پا کردن هر دو مدل از شبکه مستطیلی استفاده شد.

برای بر پا کردن هر دو مدل از شبکه مستطیلی استفاده شد. اطلاعات عمق‌سنجی نیز از سایت Gebco-04 با تفکیک‌پذیری مکانی ۰/۰۲۵ درجه گرفته شد. در جهت قائم از مختصات سیگما با ۵ لایه استفاده گردید. در امتداد مرز باز، بهترین تخمین سطح آب توسط ۸ مؤلفه جزر و مدی به مدل داده شد و سطح آب در مرزها از رابطه زیر تعیین گردید:

(۴)

$$H(t) = H_0 + \sum_{k=1}^K H_k F_k \cos\{\omega_k t + (V_0 + U)_k - G_k\}$$

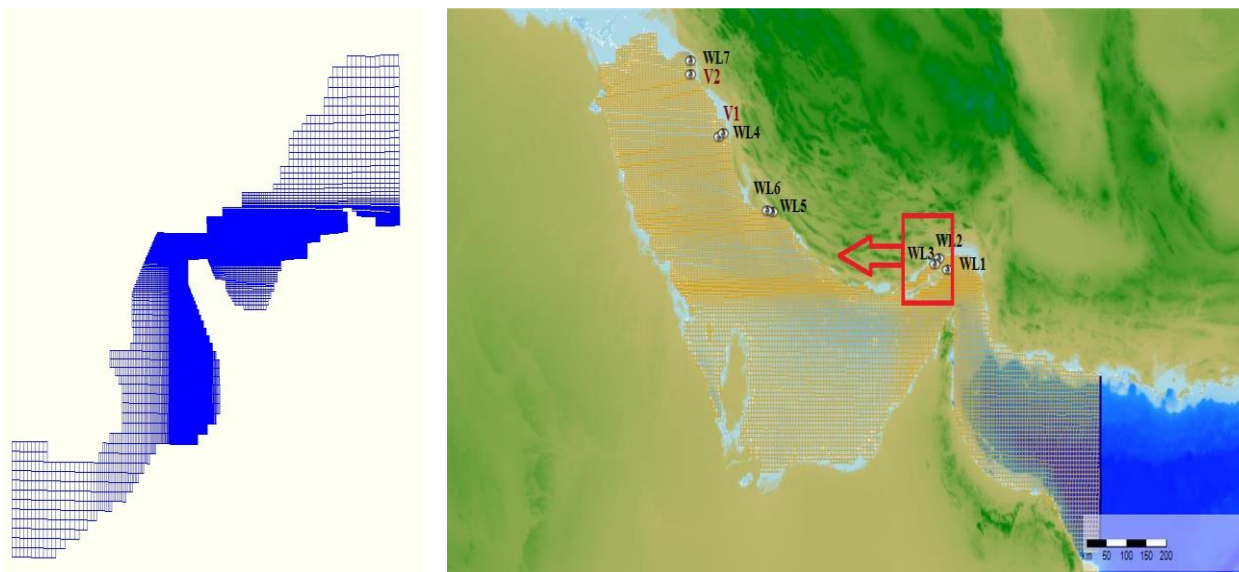
به طوریکه $H(t)$ تراز سطح آب جزر و مد در زمان t است. H_0 سطح آب میانگین در یک دوره زمانی مشخص است H_k . دامنه جزر و مد محلی در پیرو مد نظر است. F_k ضریب دامنه آن پیرو، ω_k سرعت زاویه‌ای آن پیرو، $(V_0 + U)_k$ فاز نجومی جزر و مد در گرینویچ و G_k فاز جزر و مد محلی است.

لازم به ذکر است مهم‌ترین هشت مؤلفه جزر و مد در این منطقه عبارتند از: $Q_1, O_1, P_1, K_1, N_2, M_2, S_2, K_2$ که از مدل TMD¹ استخراج شده و به مدل عددی خلیج فارس وارد شدند. لازم به ذکر است که TMD یکی از ابزارهای قدرتمند و کاربردی برای استخراج مؤلفه‌های جزر و مد و سرعت آب بر اساس تصاویر ماهواره‌ای است.

به طور کلی تعداد شبکه‌های مدل خلیج فارس در راستای طول جغرافیایی ۲۰۵ عدد و تعداد شبکه‌ها در راستای عرض جغرافیایی ۱۷۶ عدد انتخاب شد. گام زمانی آزمایش ۳۰ ثانیه بوده و ضریب زبری مانینگ، بعد از سعی و خطا در مدل خلیج فارس $0.022 \text{ sm}^{\frac{1}{3}}$ انتخاب گردید و برای مدل قشم نیز عدد مشابهی استفاده گردید. به علاوه برای افزایش دقت شبیه‌سازی برای ویسکوزیته عمودی در هر دو مدل از روش k-E استفاده شد.

مدل قشم به وسیله شبکه 110×206 گره‌ای در جهت‌های افقی گسسته‌سازی شد و ابعاد ریزترین شبکه 20×20 متر انتخاب گردید. در مرزهای باز در این مدل، سری زمانی تراز آب از مدل خلیج فارس استخراج شد. گام زمانی مدل قشم ۶ ثانیه انتخاب گردید. در هر دو مدل نیروهای باد و فشار هوا نیز که با دقت ۰/۲۵ درجه از سایت EMCWF استخراج شده‌اند به مدل داده شد. در شکل ۲ محدوده مدل‌سازی در هر دو مدل به همراه ایستگاه‌های مشاهداتی مدل خلیج فارس نشان داده شده است.

¹ Tide Model Driver



شکل ۲: محدوده مدل‌سازی مدل خلیج فارس و مدل قشم
Fig.2: Modeling range of Persian Gulf model and Qeshm model

جدول ۱: اطلاعات ایستگاه‌های مشاهداتی

Table 1: Details of measurement stations

ایستگاه مشاهداتی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره اندازه‌گیری	عمق آب
WL.1	56.27956869	26.93746462	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.2	56.066667	27.1	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.3	55.95	27.033333	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.4	50.833333	28.983333	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.5	52.05	27.833333	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.6	51.933333	27.833333	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
WL.7	50.09305759	30.07531986	۲۰۱۱/۰۶/۱-۲۰۱۱/۰۵/۱	
V.1	50.8591706	28.9756047	۲۰۱۱/۰۸/۱-۲۰۱۱/۰۷/۱	10m
V.2	50.12051088	29.8696740	۲۰۱۱/۰۸/۱-۲۰۱۱/۰۷/۱	25 m

جدول ۲: پارامترهای خطا در تخمین تراز سطح آب در ایستگاه‌های مشاهداتی

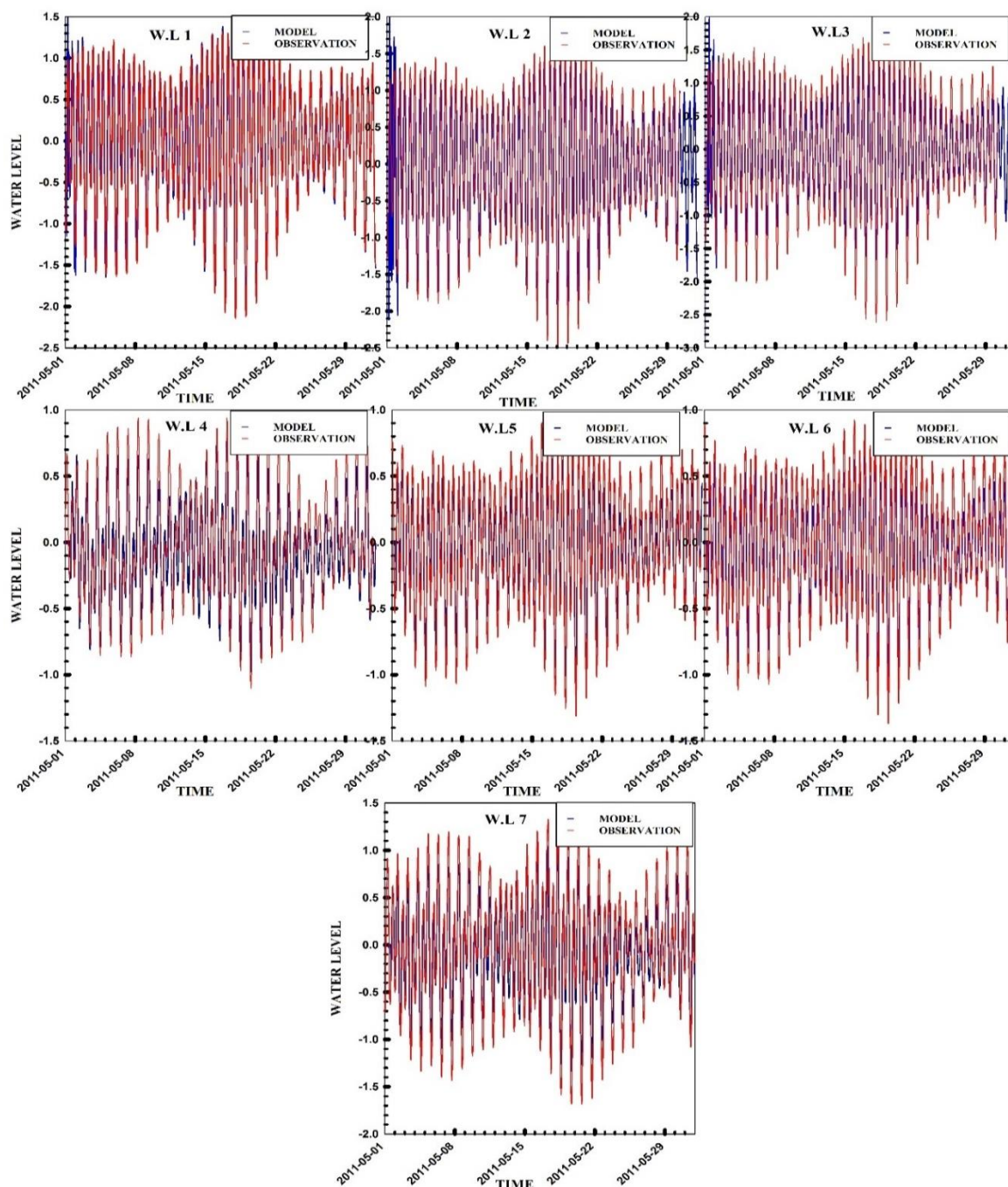
Table 2: Water level verification

ایستگاه مشاهداتی	آنالیز خطا	
	RMSE	R
WL.1	0.235	0.948
WL.2	0.363	0.924
WL.3	0.374	0.954
WL.4	0.184	0.924
WL.5	0.187	0.956
WL.6	0.194	0.958
WL.7	0.307	0.910

جدول ۳: نتایج سرعت جریان در ایستگاه‌های مشاهداتی

Table 3: Current verification

ایستگاه مشاهداتی	آنالیز خطا	
	RMSE	R
V.1	0.199	0.841
V.2	0.147	0.750



شکل ۳: نتایج تراز سطح آب در ایستگاه‌های مشاهداتی و مدل عددی

Fig.3: Comparison between measured and simulated water surface elevation (m)

وجود این انحرافات، این مدل برای پیش‌بینی مؤثر توزیع جریان‌های جزر و مدی در آب‌های خلیج فارس مناسب ارزیابی می‌شود.

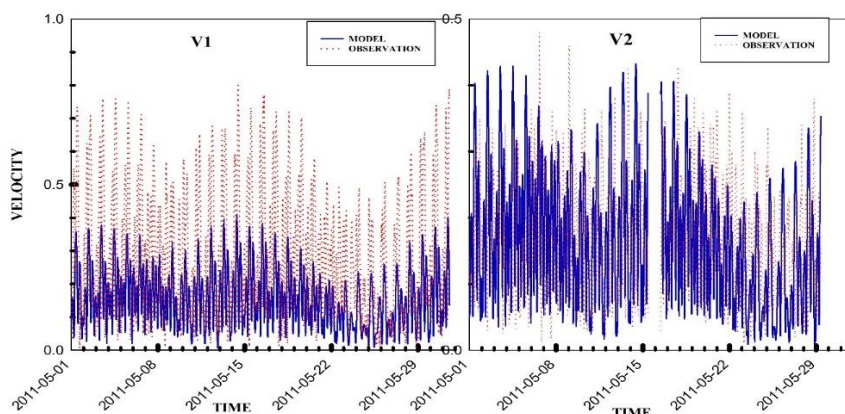
۵. پیاده‌سازی مزرعه جزر و مدی

چندین طرح از مبدل‌های انرژی جزر و مد وجود دارد و نمای کلی از آن‌ها را می‌توان در وب‌سایت EMEC یافت [۱۰]. همچنین لیستی از توسعه‌دهندگان توربین جزر و مد را می‌توان در مراجع یافت [۱۱]. با این حال استانداردترین طراحی چنین مبدلی تا به امروز، توربین محور افقی نشان داده شده در شکل ۵ است که به منظور تولید برق، انرژی جریان را به حرکت دوار تبدیل می‌کند. شکل ۶ نمونه‌ای از

در شکل ۴ نتایج سرعت جریان برای ایستگاه بوشهر در عمق ۱۰ متری و ایستگاه دیلم در عمق ۲۵ متری با نتایج حاصل از شبیه سازی توسط مدل عددی نشان داده شده است و در جدول ۳ این نتایج با همدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج ایستگاه بوشهر نسبت به ایستگاه دیلم مناسب‌تر است اما به طور کلی نتایج مدل در برآورد سرعت جریان کمی در مقایسه با نتایج تراز سطح آب ضعیف‌تر است که دلیل آن ممکن است مجموعه عواملی از جمله خطاهای جریان در هنگام جزر و مد، ضریب اصطکاک کف، وضوح عمق‌نگاری یا نادیده‌گرفتن عواملی مانند موج و انتقال رسوب باشد. به طور کلی با

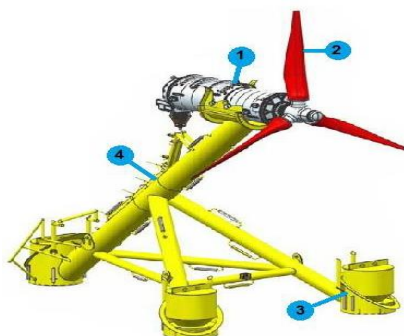
نسخه فعلی Delft3D هیچگونه مفاهیم اختصاصی برای تعریف توربین‌های جزر و مد را شامل نمی‌شود. یکی از روش‌هایی که برای نشان دادن توربین در این نرم‌افزار به کار می‌رود، افزودن عبارت تلفات مومنتم به معادلات حاکم برای شبیه‌سازی میدان جریان استخراج انرژی است (Batten et al., 2013). در این روش معادلات ۱ و ۲ به صورت زیر بازنویسی می‌شوند [۱۱].

توربین جزر و مد چسبیده به کف دریا را نشان می‌دهد که اجزای اصلی یک مبدل انرژی جزر و مد در آن مشخص شده است. اجزای اصلی یک توربین جزر و مدی افقی شامل: ۱- ناسل برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی؛ ۲- پره‌ها؛ ۳- وزنه برای نگاه داری دستگاه در یک محل؛ و ۴- سازه نگاه‌دارنده است.



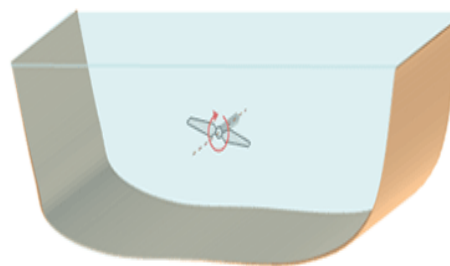
شکل ۴: نتایج سرعت جریان در ایستگاه‌های مشاهداتی و مدل عددی

Fig.4: Comparison between measured and model outputs for the current velocities (m/s)



شکل ۶: اجزای یک توربین افقی جزر و مد

Fig.6: Components of a horizontal tidal turbine



شکل ۵: توربین افقی جزر و مد

Fig.5: Horizontal tide turbine

برای این تحقیق، توربین‌ها با وارد کردن یک سری صفحات متخلخل به مدل، شبیه‌سازی شدند. صفحات یاد شده بر اساس پارامتر C_{loss} که یک ضریب درگ درجه دوم است و روی لایه‌هایی که صفحات متخلخل قرار دارند اعمال می‌شود. به این ترتیب داریم:

$$M_x = C_{loss-U} \frac{U^2}{\Delta x} \quad (9)$$

$$M_y = C_{loss-V} \frac{V^2}{4y} \quad (10)$$

به طوری که C_{loss-U} و C_{loss-V} تلفات انرژی در جهات U و V هستند. ضریب درگ هر صفحه نیز به وسیله فرمول‌های زیر در نظر

$$\begin{aligned} \frac{D_U}{D_t} = & fv - g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-d}^{\xi} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + v_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \\ & + v_v + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + M_x \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{D_V}{D_t} = & fu - g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-d}^{\xi} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + v_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \\ & + v_v + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (8)$$

به طوری که M_x و M_y عبارت‌هایی بر واحد سطح در جهت‌های U و V شبکه محاسباتی هستند.

جزر و مدی با محور افقی به صورت موثری به کار گرفته شده است [۱۳، ۱۲].

نتایج و بحث

۱. ارزیابی منابع

هدف از تحقیق حاضر، استخراج انرژی جزر و مد در کانال قشم است. با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته، منطقه‌ای که بیشترین جریان‌های جزر و مدی وجود دارد در شکل ۹ نشان داده شده است. توربین‌های جزر و مدی محور افقی با قطر ۲۰ متر بر طبق استاندارد EMEC انتخاب شدند [۱۴]. فاصله جانبی توربین‌ها در مزرعه جزر و مدی محور افقی حداقل باید دو برابر قطر توربین باشد و همچنین فاصله طولی توربین‌ها از یکدیگر نیز حداقل برابر ۶ برابر قطر توربین در نظر گرفته می‌شود. با توجه به بیشترین مقدار سرعت جزر و مد، توربین‌ها در ۸ ردیف با ۹ توربین در هر ردیف برپا شدند. مجموعاً ۷۲ توربین در مساحتی برابر با ۲۲۹۵۰۰ مترمربع قرار گرفت.

نتایج شبیه‌سازی برای توزیع سرعت بر اساس عملکرد توربین‌ها برای مدت یک ماه محاسبه شده و نتایج در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. برای محاسبه توان خروجی مزرعه از روش زیر برای تخمین اولیه خروجی هر توربین در مزرعه می‌توان استفاده نمود.

$$P_{device} = P_m A \eta \quad (13)$$

که در آن A منطقه جاروب شده توسط گردش پره‌های هر توربین، η ضریب بازدهی توربین (که مقدار ۰٫۳ برای آن در نظر گرفته شده) و P_m میانگین چگالی جزرومدی موجود انرژی است که در دسترس هر توربین قرار دارد و از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\rho \int_0^T |U_T|^3 dt \quad U_T > 1 \quad P_m = \frac{1}{2 * T} \quad (14)$$

به طوری که T دوره تناوب اصلی جزر و مد در منطقه است. ρ چگالی سطح آب دریا و U_T بردار سرعت در راستای محور توربین است با فرض اینکه سرعت لازم برای شروع حرکت توربین ۱ m/s است، محاسبات انجام گردید.

لازم به ذکر است سرعت جزر و مد با زمان تغییر می‌کند و سرعت متوسط آن در یک دوره به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$U_T = \frac{\sum_{\sigma=a}^{\sigma=b} U_{\sigma}}{|b-a|} \quad (15)$$

به طوری که U_{σ} سرعت جریان در هر لایه سیگما است و a و b لایه های سیگما در بالا و پایین موتور توربین است. نتایج به دست آمده از این روش نشان می‌دهد که توان خروجی مزرعه جزر و مدی برای یک ماه حدود ۳۳،۱۵ مگا وات خواهد بود.

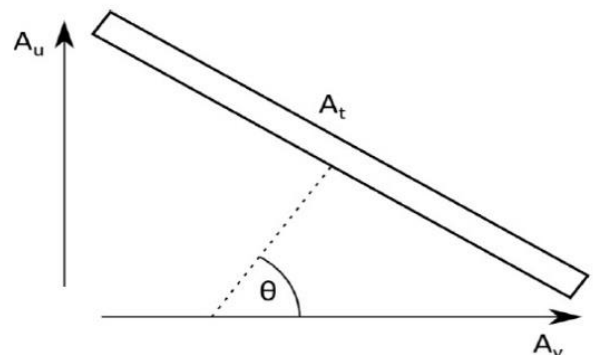
گرفته می‌شود (ضریب درگ در جهت U به صورت زیر بیان می‌گردد):

$$C_{loss-U} = \frac{C_T A_U}{2 \Delta_y \Delta_{zn}} \quad (11)$$

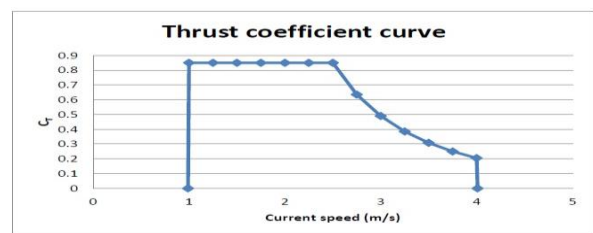
$$A_U = \sum A_t |\sin \theta| \quad (12)$$

به طوری که C_T ضریب تراست توربین، Δ_y فاصله بین نقاط شبکه در طول محور V ، Δ_{zn} ارتفاع لایه عمودی و n تعداد لایه‌هایی است که صفحه متخلخل را پوشش می‌دهد. همچنین θ زاویه بین جهت U و محور توربین بوده، و A_U مساحتی است که در جهت U توربین را پوشش می‌دهد و A_T مجموع مساحتی است که توربین‌ها را پوشش می‌دهند. در شکل ۷ شمایی از نحوه قرارگیری صفحات متخلخل در شبکه محاسباتی نشان داده شده است.

بر اساس پیشنهاد توسعه‌دهندگان مبدل‌های انرژی جزر و مدی، پارامترهای ضریب تراست مورد استفاده برای یک توربین جزرومدی با مشخصات قطر چرخنده ۲۰ متر، سرعت شروع اولیه ۱ m/s، سرعت اسمی ۲٫۵ m/s و سرعت انتهایی ۴ m/s، منحنی ضریب تراست به صورت شکل ۸ پیشنهاد گردید [۷].

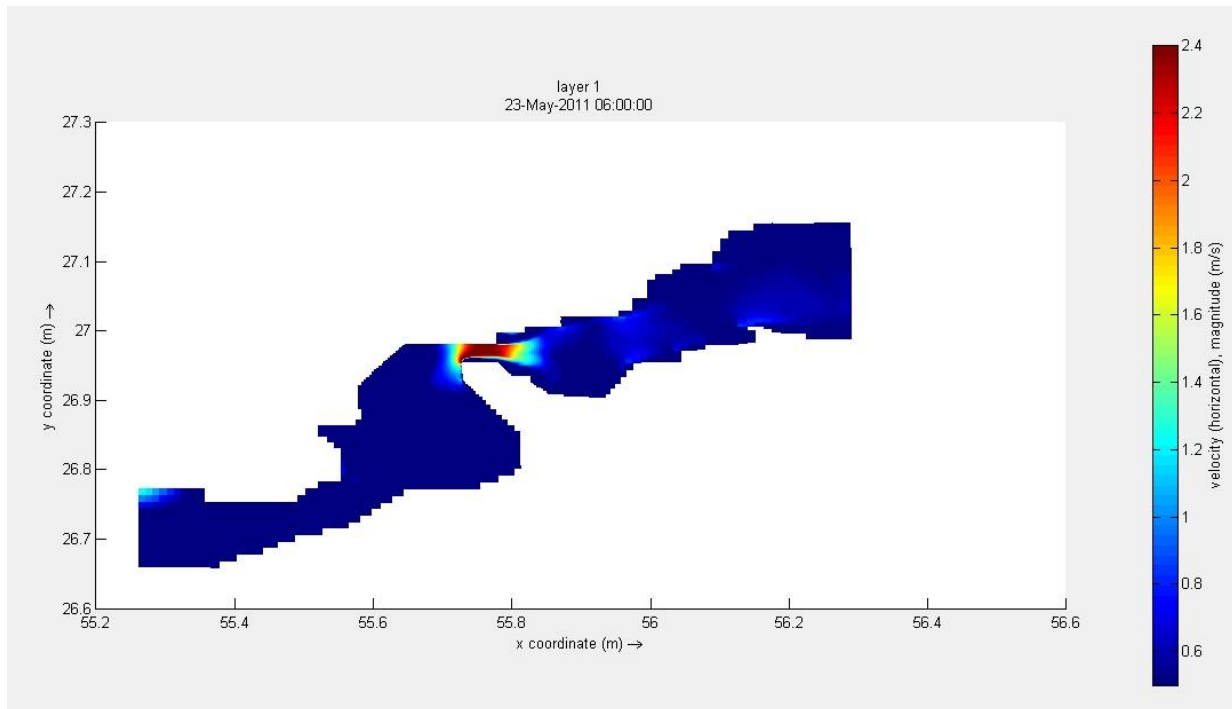


شکل ۷: نحوه قرارگیری صفحات متخلخل در شبکه محاسباتی
Fig.7: Arrangement of the porous plate in the computational grid



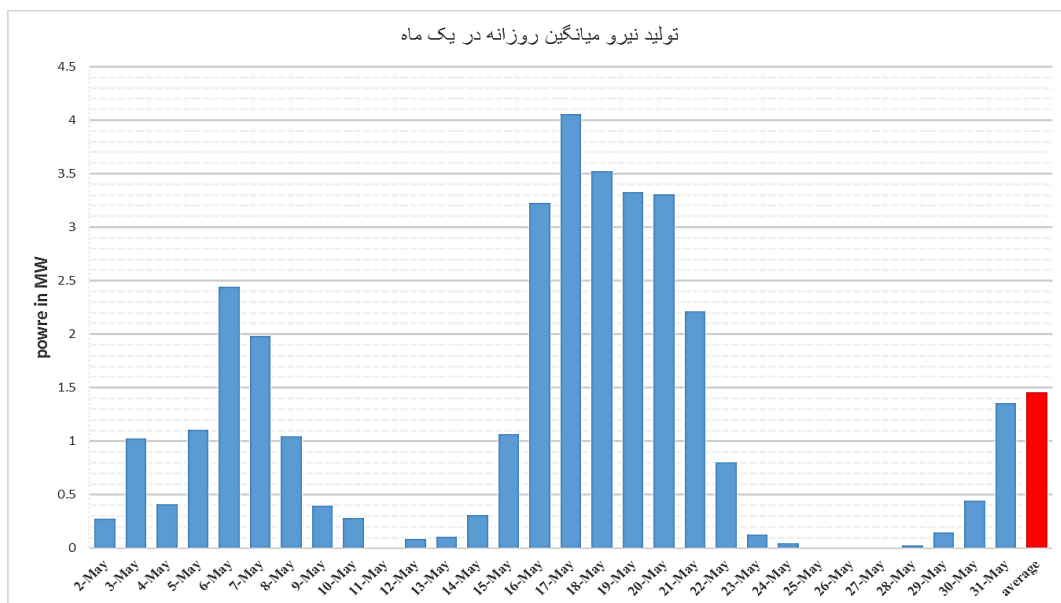
شکل ۸: محاسبه ضریب تراست (Bahaj et al, 2007)
Fig.8: Calculation of the coefficient of trust

سرعت جریان به هنگام عبور آب از منطقه‌ای که پره توربین در حال گردش قرار دارد افت می‌کند که تأثیر آن مشابه با جریانی است که از یک صفحه متخلخل می‌گذرد. بنابراین در نرم‌افزار دلفت یک توربین به وسیله صفحات متخلخل شبیه‌سازی شده و با تنظیم C_{loss} هم ارزی این دو برقرار می‌شود. این روش برای شبیه‌سازی توربین‌های



شکل ۹: مناطق با بیشترین انرژی جزرومد در کانال قشم

Fig.9: Maximum tidal currents velocity (colour bar in m/s) in the Qeshm canal



شکل ۱۰: نیروی تولیدی روزانه از انرژی جزرومد جزرومد در کانال قشم

Fig.10: Power production of the tidal farm

مستعد انرژی جزرومد هستند شناسایی شده و با بزرگنمایی زیاد در آن محل، مزرعه جزرومدی با ۷۲ عدد توربین برپا شد جهت مدل کردن توربین‌ها و بررسی میزان استحصال انرژی آنها از تئوری دیسک چرخنده استفاده می‌شود. برای مدل کردن آنها در دلفت از صفحات متخلخل استفاده می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که توان میانگین روزانه برای تولید جزرومد در کانال قشم ۱,۴۶ مگاوات در روز است. [۳, ۱۵]

نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق بررسی مقدار انرژی حاصل از جزر و مد در کانال قشم بود. در این مقاله، به توصیف یک مدل هیدرودینامیکی در آب‌های خلیج فارس و در نزدیکی جزیره قشم با استفاده از مدل Delft3D-Flow پرداخته شد. برای صحت‌سنجی نتایج از ۷ ایستگاه مشاهداتی برای تراز سطح آب و ۲ ایستگاه مشاهداتی برای سرعت جریان استفاده شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی با نتایج حاصل از مشاهدات همبستگی مناسبی داشتند. در مدل قشم، محل‌هایی که

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشتند.

تعارض منافع

این مقاله بر اساس «تعارض حرفه‌ای و مالکیت فکری: ارتقای سازمانی و نظریات تخصصی شخصی اینجانب به‌عنوان نویسنده مسئول گردآوری شده است.»

References

1. Bir GS, Lawson MJ, Li Y, editors. Structural Design of a Horizontal-Axis Tidal Current Turbine Composite Blade. ASME 30th International Conference on Ocean, Offshore, and Arctic Engineering; 2011; Nrel, Rotterdam.
2. Mungar S. Hydrodynamics of horizontal-axis tidal current turbines; A modelling approach based on Delft3D: Delft University of Technology; 2014.
3. Blunden LS, Bahaj AS, editors. Effects of tidal energy extraction at Portland Bill, southern UK predicted from a numerical model. 7th European Wave and Tidal Energy Conference; 2007; Porto, Portugal.
4. Ramos VG, Iglesias, Performance assessment of Tidal Stream Turbines: A parametric approach. Energy Conv Manage. 2013;69(2):49-57. doi: 10.1016/j.enconman.2013.01.008
5. Ashtari Larki A. Study of tidal energy potential in Iranian coasts of the Persian Gulf. Khorramshahr, Iran: Khorramshahr university of marine science and technology; 2012.
6. Mahmoudaf M, Chegini V. Numerical modeling and estimation of renewable energy of tidal current in Khoore Musa. J Marine Sci Technol. 2014;63-73.
7. Ashtari Larki A, Sadrasab M, Tomczak M, Chegini V, Kabi A. Estimation of electrical energy due to tide in doragh estuary. J Marine Sci Technol. 2014;12(2):16-24.
8. Khosravi M, Siadat Mousavi SM, Chegini V, Vennell R. Across-channel distribution of the mean and tidal flows in the Khuran Channel, Persian Gulf, Iran. Int J Maritime Technol. 2018. doi: 10.29252/ijmt.10.1
9. Deltares, Delft3D-FLOW user manual 2013 [updated 2020; cited 2018]. Available from: http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf.
10. Tidal clients. EMEC: European Marine Energy Centre 2013 [updated 2020; cited 2013]. Available from: <http://www.emec.org.uk/about-us/our-tidal-clients/>.
11. Batten WM, Harrison ME, Bahaj AS. Accuracy of the actuator disc-RANS approach for predicting the performance and wake of tidal turbines. Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2013;371(1885):20120293. doi: 10.1098/rsta.2012.0293 pmid: 23319711
12. Baston S, Waldman S, Side J. Modelling energy extraction in tidal flows. Terawatt position paper, revision 31. 1st ed: MASTS; 2015.
13. Waldman S, Bastón S, Nematlidinne R, Chatzirodou A, Venugopal V, Side J. Implementation of tidal turbines in MIKE 3 and Delft3D models of Pentland Firth & Orkney Waters. Ocean Coastal Manage. 2017;147:21-36. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.04.015
14. Black & Veatch Consulting Ltd. Assessment of Tidal Energy Resource. Marine Renewable Energy Guides: European Marine Energy Centre (EMEC); 2009.
15. Hardisty J. The analysis of tidal stream power: John Wiley & Sons Inc; 2009.

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Shariatmadari, D., Ph.D Student Engineering Coastal, Department of Civil Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

✉ davood5a5@yahoo.com



Siadat Mousavi, S.M., Associate Pro. University of Science and Industry of IRAN, Faculty of Civil Engineering, University of Science and Industry of Iran.

✉ siadatmousavi@just.ac.ir



Ershadi, C., Assistant Professor Hormozgan University, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Hormozgan, Iran.

✉ cyrusershadi1@yahoo.co.uk



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Shariatmadsri D, Siadat-Mousavi M, Ershadi C. Evaluation of extractable energy from tidal farm in the Qeshm canal using numerical flow simulation. *J Oceanography*. 2021; 12(46):1-12.



<http://doi.org/10.52547/joc.12.46.1>



<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1489-fa.html>



<https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.