نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال ششم/ شماره ۱۹/ تابستان ۱۳۹۹/ صفحات ۱۸۳ - ۱۵۵

امکان‌سنجی تولید برق از امواج جزر و مدی در بندر شهید رجایی به‌وسیله شبیه‌سازی عددی

علیرضا داوودی
کارشناس ارشد گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
alireza.d1367@gmail.com
علیرضا شیرنشان
استادیار گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران (نویسند مسئول)
arshirneshan@yahoo.com

امروزه استحصال انرژی از امواج دریا به‌عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر گسترش روزافزون نیاز به انرژی برای توسعه فعالیت‌های صنعتی، آلودگی هوای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، گرم شدن هوا، اثرات گلخانه‌ای به چالشی تازه برای بشر تبدیل‌شده است. انرژی جزر و مدی نوعی از انرژی است که از تبدیل نیروی جزر و مد دریا به الکتریسیته یا سایر انواع کاربردی انرژی به دست می‌آید. اگرچه این انرژی هنوز به‌طور گسترده استفاده نمی‌شود ولی پتانسیل لازم برای تولید برق پایدار در آینده را دارد. ایران به دلیل داشتن جریانات ضعیف دریایی، دارای توان پتانسیل کمی در استحصال این انرژی جهت تولید برق می‌باشد ولی شرایط طول و عرض خلیج‌فارس و وجود چندین خور کوچک و بزرگ و انشعابات آن‌ها در شمال این خلیج، باعث تشدید پدیده جزر و مد در این مناطق گشته است و قابلیت استحصال آن را ممکن و توجیه‌پذیر می‌نماید. در این مطالعه با در نظر گرفتن یک سیستم تک حوضچه‌ای و قرار دادن یک نمونه توربین تجاری هد پایین در مسیر جریان آب به امکان‌سنجی تولید برق از موج جزر و مدی در بندر شهید رجایی بندرعباس پرداخته‌شده است. این مدل در نرم‌افزار Flow-3D به‌صورت عددی موردبررسی قرار گرفت. مطابق با هندسه و ابعاد حوضچه و دریچه خروجی و با حل معادلات ناویر استوکس و تعیین سرعت جریان آب در طول دوره زمانی، انرژی قابل‌دسترس برای توربین تخمین زده شد. نتایج نشان داد که یک موج جزر و مدی با دامنه متوسط ۳ متر در بندر شهید رجایی قادر به تولید متوسط ۱۲۶۷ کیلووات ساعت توان در یک سیکل جزر و مدی خواهد بود. مقایسه میزان توان تولیدی در بندر امام خمینی و بندر شهید رجایی نشان داد که بندر امام خمینی به دلیل دارا بودن دامنه بالاتر جزر و مدی قادر به تولید توان بیشتری (تقریباً ۶۵ درصد) نسبت به بندر شهید رجایی است.

واژگان کلیدی: انرژی جزر و مد، تولید برق، توربین، حوضچه یک‌طرفه، بندر شهیدرجایی

تاریخ دریافت: ۱۸/ ۳ / ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۹/ ۵/ ۱۳۹۹

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

۱. مقدمه

شکل دیگری از انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی امواج و جریان جزر و مدی است. این منبع انرژی، دارای پتانسیل زیادی می‌باشد. از مزایای انرژی امواج و جریان جزر و مدی، عدم آلودگی به‌واسطه تولید گاز دی‌اکسید کربن، حفظ منابع سوخت، کاهش خطرپذیری سوخت در آینده و افزایش تنوع در منابع تأمین برق می‌باشد. با این وجود تناوبی بودن و وابستگی این منابع به شرایط آب‌وهوا، چالش‌برانگیز است. شناخته نشدن منابع انرژی دریایی در سواحل ایران مانع توسعه این منابع شده است و لازم است که تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد (نجف پور و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از روش‌های استفاده از انرژی جزر و مد ایجاد حوضچه است. در این روش با مسدود کردن خلیج حاصل از مصب رود یا خلیج اصلی توسط یک سد، حوضچه‌ای را به وجود می‌آورند. در طول دوره مد، حوضچه پر می‌شود. زمانی که سطح آب در حوضچه بالاتر از سطح آب دریا باشد، انرژی پتانسیل آب مسدود شده حوضچه با گذشتن از توربین به انرژی مکانیکی تبدیل‌شده و به‌واسطه ژنراتور برق تولید می‌شود (فو[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

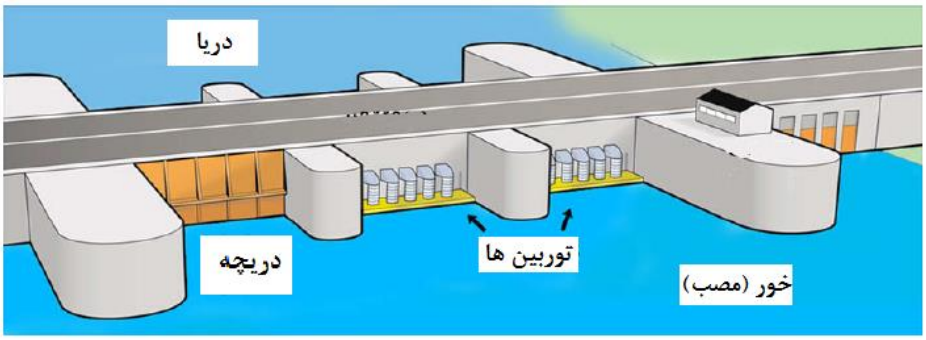
نیروگاه‌های جزر و مدی این است که نیروگاه‌های جزر و مدی بر خلاف نیروگاه‌های آبی سنتی به شکل سیکلی کار می‌کنند و به علت اینکه در همه مواقع جزر و مد حداقل ارتفاع و دبی موردنیاز برای عملکرد توربین‌ها موجود نیست باید زمانی را برای پرشدن حوضچه و ایجاد حداقل ارتفاع جهت تولید برق در نظر گرفت.

همچنین نیروگاه‌ها جزر و مدی دارای منابع انرژی برگشت‌پذیر هستند و با طراحی دقیق و ساخت مناسب، می‌توان از این نیروگاه‌ها در طولانی مدت استفاده کرد. موقعیت رقابتی برق این نیروگاه‌ها از بسیاری جهات به ویژگی‌های محلی بستگی دارد، اما تأثیر این نیروگاه‌ها روی محیط‌زیست را می‌توان به عنوان یک نقش مؤثر در نظر گرفت.

1. Fu

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

آرایش‌های حوضچه در بهره برداری از انرژی جزر و مد به صورت یک حوضچه‌ای، دو حوضچه‌ای و ترکیبی یک حوضچه‌ای طبقه بندی می‌شود (بدارد[1]، ۲۰۰۷). شکل(۱) قسمت‌های مختلف یک نیروگاه جزر و مدی را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل۱. قسمت‌های مختلف نیروگاه جزر و مدی (فریرا[2] و استفان[3]،۲۰۰۹)

در آرایش یک حوضچه‌ای تنها یک حوضچه با دریا ارتباط دارد. در حقیقت حوضچه و دریا توسط یک دیواره جدا شده‌اند و جریان بین آن‌ها از طریق مجرای آبگذر[4] که در امتداد دیواره قرار دارد عبور می‌کند. لازم به ذکر است که از این روش در مناطقی استفاده می‌شود که دامنه جزر و مد کم باشد (مانند خلیج‌فارس). به همین دلیل در این تحقیق آرایش یک حوضچه‌ای با جریان از سوی حوضچه به دریا در نظر شده است. از تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نجف پور و همکاران (۱۳۹۲) به مدل‌سازی مکانیکی سامانه تک حوضچه‌ای در جزر و مد پرداختند. در این تحقیق یک مدل ریاضی وابسته به زمان را برای تولید انرژی الکتریکی از سامانه تک حوضچه‌ای در جزر و مد ارائه کردند. با استفاده از این مدل و داده‌های جزر و مد در بندرامام

1. Bedard
2. Ferreira
3. Estefen
4. Sluice Way

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

مقدار توان به‌دست‌آمده از این سامانه محاسبه شد. نتایج مدل نشان داده است که انرژی جزر و مد قادر به تأمین ۴۰/۶ مگاوات برق در این بندراست.

اشتری‌لرکی و همکاران (۱۳۹۲) انرژی الکتریکی حاصل از جزر و مد در خور دورق را به وسیله مدل هیدرودینامیکی کوهیرنس برآورد کرده و با استفاده از رابطه بین سطح آب و انرژی پتانسیل، میزان الکتریسیته قابل استحصال در حالت‌های مختلف موردبررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از رابطه بین سطح آب و انرژی پتانسیل، اگر تولید یک‌طرفه و فقط در حالت مد به جزر انجام شود، برای حوضچه‌ای به مساحت شصت کیلومترمربع و دامنه متوسط جزر و مدی چهار متر می‌توان به طور متوسط ۱۱۲/۳ مگاوات انرژی الکتریکی برداشت نمود.

کتابداری و احمدی (۱۳۹۵) مدلی عددی ارائه کردند که توسط آن می‌توان رژیم جزر و مد در منطقه‌ای دلخواه از آب‌های دریاها را تشخیص و سپس توان آن را محاسبه کرد. در این تحقیق، در یک مطالعه‌ی موردی، اطلاعات تراز سطح آب خلیج‌فارس در سواحل بندرعباس برای مدت ۲۹ روز برداشت و بـه کمک مدل مذکور، توان جزر و مد منطقه محاسبه شد.

جوکار و لاری (۱۳۹۵) یک مدل عددی هیدرودینامیکی جریان جزر و مدی در آب‌های خلیج فارس را با استفاده از اندازه گیری‌های میدانی در ایستگاه‌های مختلف جهت دستیابی به الگوی ترازهای جزر و مدی توسعه دادند. در این تحقیق از مدل FM در نرم افزار FlowModel با ساختار مش نامنظم و با در نظرگرفتن نیروهای نجومی جریان‌های جزر و مدی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان دادکه مؤلفه‌های جریان‌های جزر و مدی به‌دست‌آمده از مدل جهانی اقیانوسی در نواحی ساحلی وکم عمق تطابق و دقت کمی دارد؛ در حالی که در مناطق عمیق اختلاف بسیار کمتری بین مؤلفه‌های متناظر مشاهده گردید.

اکبری نسب و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی سرعت جریان جزر و مدی در خلیج بوشهر را با استفاده از مدل عددی TELEMAC-2D مدل‌سازی کردند. پس از اجرای مدل، داده‌های سرعت جریان با داده‌های تجربی و پایگاه داده جهانی TPXO مقایسه شد. نتایج تحقیق بیانگر افزایش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

همبستگی از ۴۲ درصد به ۹۱ درصد بود که حاکی از مناسب بودن مدل برای مدل‌سازی اندازه سرعت جریان در خلیج بوشهر بود.

فریرا و استفان (۲۰۰۹) به بررسی انرژی جزر و مدی در مناطق شمال و شمال شرق برزیل پرداختند. در این مطالعه از یک نیروگاه مجهز به توربین‌های با ارتفاع کم و یک سد مجهز به دریچه‌ی متحرک استفاده شد. نتایج نشان داد که در این طرح انرژی تئوری تولید شده با توجه به وضعیت جریان جزر و مدی و تجهیزات الکترومکانیکی در محدوده ۷۰۰۰ تا ۴۷۰۰۰ کیلووات ساعت در روز می‌باشد که می‌تواند مصرف برق خانه محلی را تأمین کند.

چن[1] و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود با استفاده از یک مدل سه‌بعدی به مدل‌سازی سطح آب و جریانات جزر و مدی در تنگه تایوان به‌منظور تعیین مکانی بالقوه برای بهره‌برداری از انرژی جریان جزر و مدی پرداختند. نتایج نشان داد که بالاترین جریان‌های جزر و مدی در کانال پیئنگ هو در تنگه تایوان رخ می‌دهد و کانال مورد نظر یک محل مناسب برای استقرار توربین جزر و مدی است.

گنازالس-کابالین[2] و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل دوبعدی و یک روش مطالعه به‌منظور ارزیابی پتانسیل انرژی جزر و مدی به دست آمده از حرکات جزر و مدی ارائه کردند. مدل و روش مورد نظر در بندر آبلیس اسپانیا مورد استفاده قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین انرژی قابل برداشت در دهانه رود موجود می‌باشد و این مقدار انرژی به‌طور نمایی با افزایش فاصله از دهانه رود کاهش می‌یابد.

لیوس[3] و همکاران (۲۰۱۵) میزان انرژی جزر و مدی در دریای ایرلند را با استفاده از یک مدل هیدرودینامیکی سه بعدی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق یک منبع با مساحت ۹۰ کیلومتر

1. Chen
2. González-Caballín
3. Lewis

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

مربع با دامنه جزر و مدی محدود ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که انرژی این منبع می‌تواند تا هفت برابر افزایش یابد در صورتی که یک فن آوری تا عمق آب بزرگتر از ۲۵ متر مستقر شود.

گوئرا[1] و همکاران (۲۰۱۷) مجموعه‌ای از اندازه گیری‌های میدانی را در کانال چاکااو[2] جهت تعیین انرژی حاصل از جزر و مد با در نظر گرفتن پارامترهای ارتفاع موج‌های جزر و مدی، سرعت جریان آب و آشفتگی جریان انجام دادند و سپس بر اساس داده‌های تجربی یک مدل عددی هیدرودینامیکی را توسعه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سرعت جریان از ۴ متر بر ثانیه، میزان آشفتگی جریان حدود ۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین میزان توان برآورد شده در منطقه مورد نظر به طور متوسط ۵ کیلووات بر متر مربع است.

در تحقیق دیگری آرتال[3] و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی انرژی حاصل از جزر ومد در کانال چاکااو[4]، نشان دادند که توان حاصل از امواج جزر و مد بهاره (چهل کیلووات بر متر مربع) به میزان چهار برابر نسبت به توان حاصل از امواج جزر و مدی خفیف (ده کیلووات بر متر مربع) بزرگتر است. همچنین نشان داده شد که جریان‌های جزرو مدی درونی در ارزیابی انرژی جزر و مدی در کنار تغییرات سیکل‌های بهاره و خفیف بسیار حائز اهمیت است.

مجیا-اولوارس[5] و همکاران (۲۰۲۰) به در نظر گرفتن یک مدل صفر بعدی، انرژی جزر ومدی قابل استحصال در چهار سایت اصلی خلیج کالیفرنیا در مکزیک را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که توان متوسط سالانه بین ۲۰ تا ۵۰ کیلووات ساعت بر متر مربع خواهد بود؛ در حالی که حداکثر مقادیر توان از ۴۵ تا ۵۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع در مجاورت خلیج سانتا کلارا[6] خواهد بود. همچنین این مطالعه زمینه‌ای را برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر خلیج کالیفرنیا برای انتخاب مکان‌های مناسب برای بهره برداری از انرژی جزر و مدی فراهم می‌کند.

1. Guerra
2. Chacao
3. Artal
4. Chacao
5. Mejia-Olivares
6. Gulf of Santa Clara

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

گوه[1] و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی که بر اساس یک مدل سازی عددی برای پیش بینی میزان انرژی حاصل از جزر ومد در منطقه ساحلی توان[2] انجام شد نشان دادند که بر پایه هشت سناریوی مختلف، رابطه ارتفاع استقرار توربین و تغییرات سرعت جریان آب با افزایش ارتفاع کمتر خواهد بود به طوری که درصورت استقرار توربین جزر و مدی در نواحی عمیق تر (۲۸/۴۴ تا ۳۱/۴۴ متر) تأثیری بر تغییرات سرعت جریان آب مشاهده نخواهد شد.

با توجه به بررسی انجام‌شده، تاکنون تحقیقی در خصوص بررسی امکان انرژی قابل‌دسترس از طریق جزر و مد در اسکله شهید رجایی انجام‌نشده است که در این مطالعه با مدل کردن سه بعدی یک حوضچه در بندر شهید رجایی و با استفاده از اطلاعات جزر و مدی این منطقه، میزان انرژی قابل دسترس تخمین زده شد.

۲. مدل سازی

در این تحقیق برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار Flow3D که یک نرم‌افزار بر اساس روش دینامیک سیلات محاسباتی[3] و برای مدل کردن جریان‌های سطح آزاد است استفاده شد. مطابق با هندسه و حوضچه و دریچه خروجی، ارتفاع سطح آب و حل گذرای معادلات ناویر استوکس به‌صورت سه‌بعدی ابتدا سرعت جریان آب در طول دوره زمانی تعیین گردید و سپس توان لحظه‌ای قابل دسترس مطابق با رابطه زیر به دست آورده شد (وازکوئز[4] و ایگلسیاس[5]، ۲۰۱۵، گنازالس-کابالین و همکاران، ۲۰۱۶):

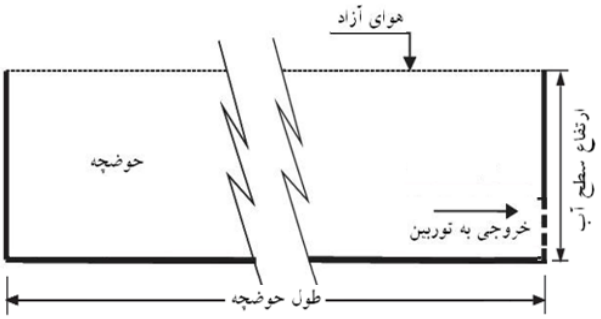
$$Power(t): \left(\frac{1}{2}\right).\eta.\rho.u_x^3(t).A_{Turbin} \quad (۱)$$

1. Goh
2. Tuan
3. CFD
4. Vazquez
5. Iglesias

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

که در رابطه مورد نظر η نشان دهنده بازده توربین، u_x سرعت سیال خروجی از دریچه توربین در راستای x و ρ چگالی آب و $A_{Turbine}$ سطح ورودی به توربین بر حسب مترمربع می‌باشد.

شکل (۲) شماتیک مقطع طولی هندسه مدل را نشان می‌دهد.



شکل۲. شماتیک مقطع طولی هندسه مدل

لازم به توضیح است که ارتفاع سطح آب دریا بر اساس گزارش داده نگاری ساعتی تراز آب توسط ایستگاه سنجش جزر و مد در بندر شهید رجایی در سال ۱۳۹۵ در نظر گرفته شد.

۲-۱. معادلات حاکم و روش حل عددی

معادلات حاکم بر مسئله به شرح زیر است (لوئیس[1] و همکاران، ۲۰۱۵ و سانچز[2] و همکارن، ۲۰۱۴):

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=Q \qquad (۲)$$

که در آن u، v و w مؤلفه‌های سرعت و Q نشان دهنده شدت منبع جرم در واحد سطح است.

معادلات حرکت در جهت افقی:

1. Lewis
2. Sanchez

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

$$\begin{cases} \frac{Du}{Dt} = fv - g\frac{\partial\zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0}\int_{z'=z}^{z'=\zeta}\frac{\partial\rho}{\sigma x}dz' + \upsilon_h\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \upsilon_v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \\ \frac{Dv}{Dt} = -fu - g\frac{\partial\zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0}\int_{z'=z}^{z'=\zeta}\frac{\partial\rho}{\sigma y}dz' + \upsilon_h\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + \upsilon_v\left(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \end{cases} \quad (۳)$$

که در آن ζ ارتفاع سطح آزاد نسبت به صفحه مرجع (Z=0) و f پارامتر نیروی کوریولیس، g شتاب گرانشی، υ_h و υ_v ضرایب ویسکوزیته افقی و عمودی، ρ و ρ_0 چگالی و چگالی مرجع آب دریا هستند.

معادله حرکت در جهت عمودی:

با فرض آب کم عمق، معادله حرکت عمودی به یک معادله فشار هیدرو استاتیک کاهش می‌یابد، چون شتاب حرکت سیال در سیستم جزر و مدی در مقایسه با شتاب ثقل ناچیز است. بنابراین معادله حرکت در جهت z به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (۴)$$

معادله جابجایی:

$$\frac{Dc}{Dt} = D_h\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}\right) + D_v\frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \lambda_d c + R_s \quad (۵)$$

که در این معادله، C مخلوط شوری یا دما است. D_h و D_v به ترتیب ضرایب انتشار افقی و عمودی، λ_d نمایانگر فرایند فروپاشی مرتبه اول و R_s اصطلاح منبع در واحد سطح است.

برای حل معادلات آشفتگی از مدل آشفتگی ε-κ استفاده شد (مینگهام[1] و همکاران، ۲۰۱۶) که:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (۶)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma x_j}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_{k+}G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_K \quad (۷)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(p\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right] + G_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k} + (G_k + G_{3\varepsilon}G_b) - C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (۸)$$

1. Mingham

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

پارامترهای مورد استفاده در معادلات انتقالی κ-ε، عبارتند از:

G_k: انرژی ناشی از گرادیان‌های سرعت متوسط جریان.

G_b: انرژی ناشی از بویانسی (برای جریان‌های بدون جاذبه و انتقال حرارت صفر می‌باشد).

Y_m: انرژی جنبشی ناشی از اثرات تراکم‌پذیری جریان (برای جریان‌های تراکم ناپذیر صفر است).

σ_k و σ_ε : اعداد پرانتل متناسب با κ و ε هستند.

S_k و S_ε : هم ترم‌های چشمه) هستند. ثابت‌های معادله عبارتند از:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44 \;\; C_{2\varepsilon} = 1.92 \;\; C_\mu = 0.09 \;\; \sigma_k = 0.1 \;\; \sigma_\varepsilon = 1.3$$

۲-۲. توربین

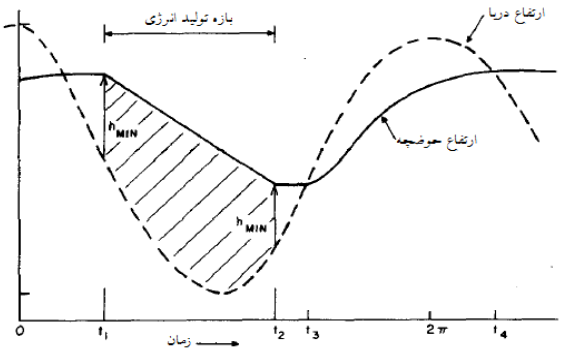
با توجه به کم بودن دامنه جزر و مد در منطقه مطالعاتی مورد نظر، نیاز به استفاده از توربین‌هایی با هد ارتفاعی پایین می‌باشد که توربین VLH DN 3550 با قطر روتور ۳/۵ متر و توان اسمی ۱۵۸کیلووات برای استفاده در مطالعه حاضر انتخاب شد.

۲-۳. تغییرات آب حوضچه و دریا

در این تحقیق یک سیستم تک حوضچه‌ای[1] با جریان از سوی حوضچه به دریا مدل شده است. با توجه به توربین به‌کار برده شده در این مطالعه، ارتفاع آب روی توربین همواره باید بیشتر از ۱/۴ متر باشد تا توربین بتواند تولید انرژی کند. شکل (۳) بازه تولید انرژی (t_1 تا t_2) با توجه به اختلاف ارتفاع سطح آب حوضچه و دریا که باید حداقل به میزان ۱/۴ متر باشد را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

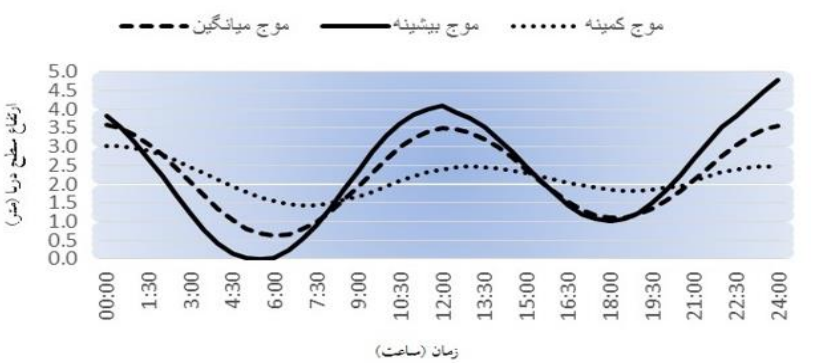
1. One Way System

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



شکل ۳. مراحل تولید انرژی در سیستم یک حوضچه‌ای با جریان از سوی حوضچه به دریا (پراندل[1] و همکاران، ۱۹۸۴)

در این تحقیق به دلیل حجم بالای داده‌های دامنه جزر و مدی برای هر روز در سال و طولانی شدن زمان مدل‌سازی با در نظر گرفتن موج‌های روزانه، موج میانگین بر اساس میانگین تمامی سیکل‌های روزانه در یک سال محاسبه و سپس موجی که به موج میانگین نزدیکتر بود انتخاب و شبیه سازی بر اساس آن صورت گرفت. در شکل ۴ موج‌های میانگین، کمینه و بیشینه باهم مقایسه شده‌اند. دامنه جزر و مدی در این سه روز به ترتیب ۳، ۱/۵ و ۳/۸ متر است.

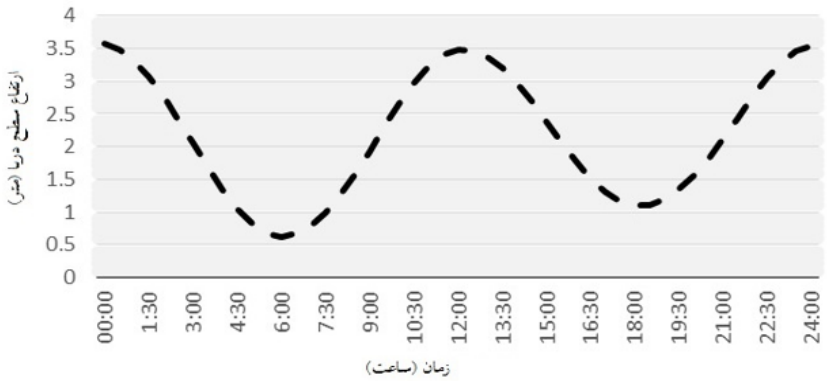


شکل ۴. نمودار سه موج جزر و مدی انتخابی

1. Prandle

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

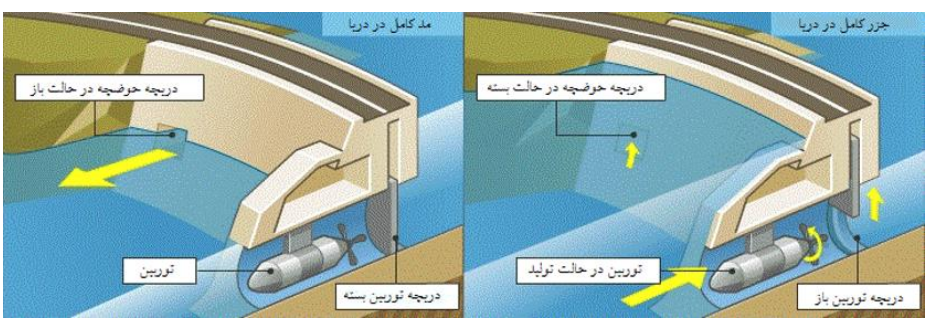
شکل (۵) نشان‌دهنده تغییرات سطح آب دریا در موج میانگین با دامنه ارتفاع ۳ متر می‌باشد.



شکل ۵. تغییرات سطح آب دریا در موج میانگین

۲-٤. هندسه تحقیق

حوضچه مورد نظر در این مطالعه دارای طولی برابر با ۵۰۰ متر و عرض ۵۰۰ متر بوده و عمق آن ۴ متر است. در پایین حوضچه دریچه‌ای مستطیلی با عرض ۲ متر و ارتفاع ۱ متر قرار گرفته که مجرای ورود جریان آب از سوی حوضچه به توربین بوده و حوضچه را به دریا متصل می‌کند. دریچه و توربین پایین‌تر از ارتفاع جزر کامل دریا قرار دارند. در شکل۶ نمایی شماتیک از حوضچه و دریا نشان داده شده است.



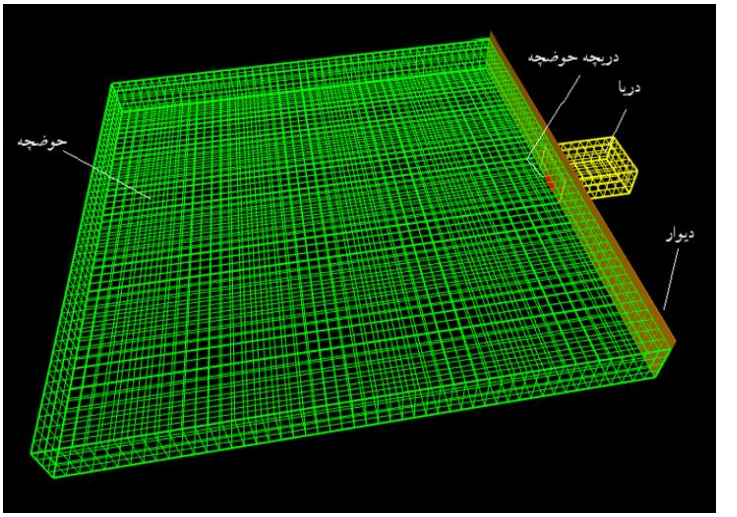
شکل ۶. نمایی از نیروگاه جزر و مدی با جریان از سوی حوضچه به دریا (پراندل[1] و همکاران، ۱۹۸۴)

1. Prandle

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

۲-۵. شبکه‌بندی و اعتبارسنجی

شکل ۷ شبکه‌بندی مدل نشان داده شده است. در این مدل‌سازی چهار اندازه شبکه به‌صورت مکعب مربع با ابعاد ۰/۵ و ۱ و ۲ و ۴ میلی‌متر مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۷. شبکه‌بندی کلی مدل

همچنین جهت اعتبارسنجی نتایج مدل، با توجه به اینکه امکان داده برداری از حوضچه اصلی مورد مطالعه به علت عدم راه اندازی وجود نداشت؛ مدلی بر اساس حوضچه تحقیقاتی کوچکی که در بندر شهید رجایی وجود دارد، توسعه داده و نتایج آن با داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده توسط شرکت تدبیر ساحل پارس در حوضچه مورد نظر مقایسه شد. مشخصات حوضچه تحقیقاتی در جدول (۱) و تصویر از آن شکل (۸) در ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات حوضچه تحقیقاتی

مساحت حوضچه	۴۰۰۰۰ متر مربع
مساحت دریچه توربین	۲ متر مربع
نوع توربین	VLHDN 3550
بازده توربین	۰/۸

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

در اندازه گیری تجربی برای حوضچه تحقیقاتی، سرعت لحظه‌ای جریان آب در ورودی دریچه برای بازه ۳۰ دقیقه و هر ۵ دقیقه یک بار اندازه‌گیری شده است که نتایج تجربی به‌دست‌آمده در جدول ۲ ارائه شده است.

شکل ۸. حوضچه تحقیقاتی مورد آزمایش

جدول ۲. داده‌های تجربی مربوط به حوضچه تحقیقاتی

ردیف	زمان (دقیقه)	سرعت لحظه‌ای (متر بر ثانیه)	هد آب روی توربین (متر)	ارتفاع آب در حوضچه (متر)	ارتفاع آب در دریا (متر)
۱	۰	۳/۲۰	۱/۴۰	۳/۹	۲/۵
۲	۵	۳/۲۸	۱/۴۲	۳/۸۵	۲/۴۳
۳	۱۰	۳/۲۹	۱/۴۳	۳/۸۰	۲/۳۷
۴	۱۵	۳/۳۰	۱/۴۴	۳/۷۵	۲/۳۱
۵	۲۰	۳/۳۲	۱/۴۶	۳/۷۰	۲/۲۴
۶	۲۵	۳/۳۸	۱/۵۵	۳/۶۵	۲/۱
۷	۳۰	۳/۳۴	۱/۴۸	۳/۶۰	۲/۱۲

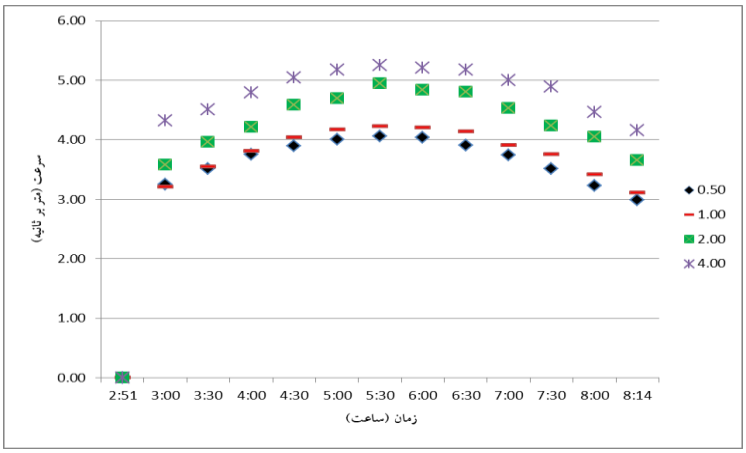
مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

۳. نتایج و بحث

۳-۱. استقلال شبکه

در این تحقیق جهت استقلال شبکه از چهار اندازه ۰/۵ و ۱ و ۲ و ۴ میلی‌متر استفاده شد. مقدار سرعت لحظه‌ای به دست آمده از حل مدل برای شبکه‌های مختلف مطابق با شکل (۹) می‌باشد.



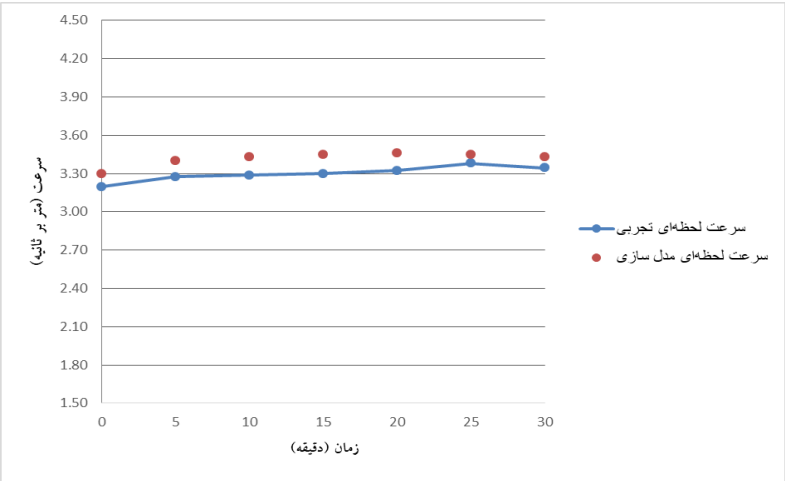
شکل ۹. نمودار سرعت لحظه‌ای برای اندازه‌های مختلف شبکه بندی

با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مقادیر دو شبکه ۰/۵ و ۱ میلی‌متر تقریبا بر هم منطبق بوده و سرعت لحظه‌ای در هر دو یکسان است. با توجه به اینکه شبکه ۱ میلی‌متر نیاز به محاسبات کمتری دارد این اندازه شبکه برای مدل‌سازی مطالعه حاضر انتخاب شد.

۳-۲. اعتبارسنجی

شکل ۱۰ مقادیر سرعت لحظه‌ای در حالت تجربی و مدل‌سازی برای حوضچه تحقیقاتی را نشان می‌دهد که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، داده‌های تجربی با مقادیر به‌دست‌آمده در مدل عددی اختلاف بسیار کمی (حدود ۴ درصد) دارد که حاکی از معتبر بودن مدل مورد نظر دارد.

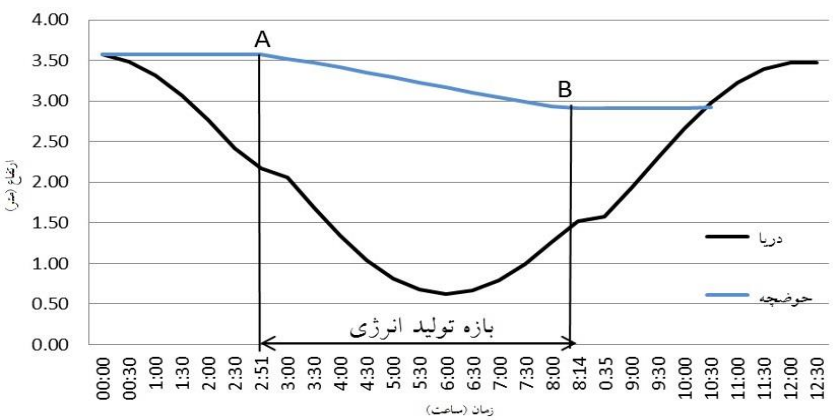
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



شکل ۱۰. مقادیر سرعت لحظه‌ای در حالت تجربی و مدل‌سازی برای حوضچه تحقیقاتی

۳-۳. نتایج به‌دست‌آمده برای حوضچه مورد تحقیق

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، جهت ایجاد حداقل هد کاری توربین، دریچه حوضچه بسته نگاه داشته شده است تا در نقطه A هد مورد نظر حاصل گردید. در این نقطه ارتفاع سطح آب در حوضچه برابر با ۳/۵۷ متر است. در اینجا نقطه A نقطه شروع و نقطه B (نقطه‌ای که در آن هد به ۱/۴ متر می‌رسد) نقطه پایان سیکل استحصال انرژی است.

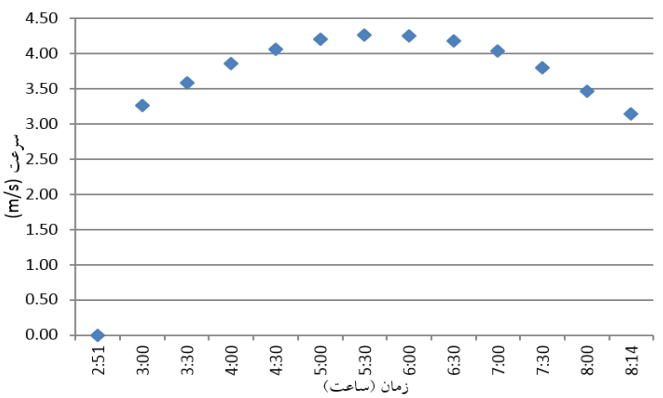


شکل ۱۱. بازه زمانی تولید انرژی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

در نقطه B هد روی توربین از محدوده مشخصه کاری توربین خارج شده، در نتیجه در این نقطه بازه تولید به اتمام می‌رسد و دریچه توربین بسته شده و ارتفاع آب حوضچه ثابت می‌ماند.

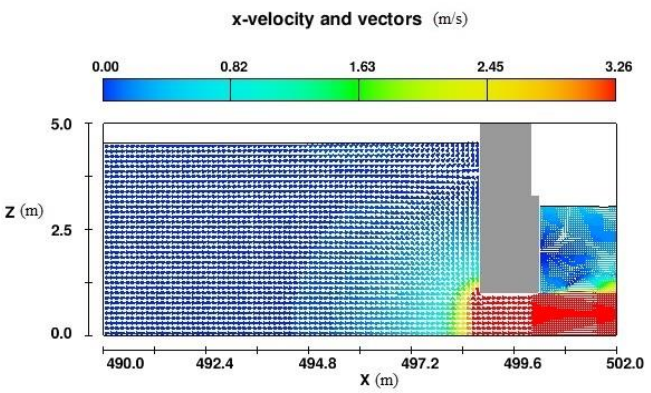
با توجه به شکل مورد نظر نقطه A و B برابرند با زمان‌های ۲:۵۱ و ۸:۱۴ . بنابراین بازه تولید انرژی از برابر است با ۱۹۳۴۰ ثانیه (۵/۳۷ ساعت). در نقطه A در اثر باز شدن دریچه، آب از حوضچه به سمت دریا جریان می‌یابد. در این لحظه آب دریا در اثر جزر در حال کاهش است و این حجم آب ورودی باعث تغییر سرعت کاهش ارتفاع آب دریا در جلوی حوضچه می‌شود که در بازه زمانی ۲:۵۱ تا ۳:۰۰ شیب نمودار ارتفاع سطح آب دریا کاهش می‌یابد. در نقطه B در اثر بسته شدن دریچه، جریان آب از سوی حوضچه به دریا قطع می‌شود. در این لحظه آب دریا در اثر مد در حال افزایش است و مشاهده می‌شود که در بازه زمانی ۸:۰۰ تا ۸:۱۴ شیب نمودار ارتفاع سطح آب دریا کاهش می‌یابد. شکل (۱۲) سرعت لحظه‌ای جریان آب ورودی به دریچه توربین را نشان می‌دهد. با توجه به شکل تا حدود ساعت ۵:۳۰ که دریا به جزر کامل می‌رسد اختلاف ارتفاع بیشتر شده و سرعت خروج آب از دریچه افزایش می‌یابد. از این لحظه به بعد به دلیل اینکه دریا به سمت مد پیش می‌رود و حوضچه همچنان در حال تخلیه است، اختلاف ارتفاع کم شده و سرعت کاهش می‌یابد تا لحظه‌ای که تولید انرژی متوقف گردد.



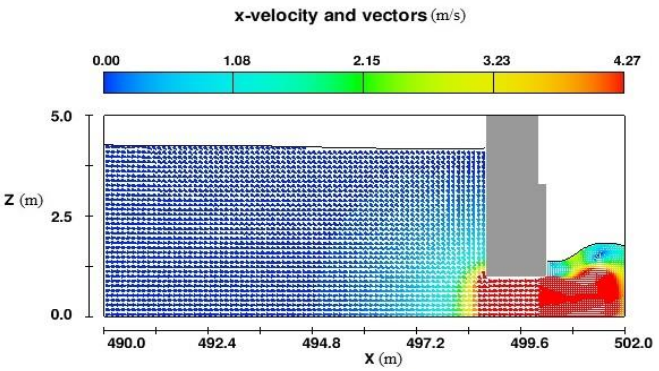
شکل ۱۲. سرعت لحظه‌ای جریان آب ورودی به دریچه توربین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

همچنین بردار سرعت سیال خروجی در مرکز دریچه در شکل (۱۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که بیشترین سرعت در زمان ۵:۳۰ دقیقه می‌باشد. مطابق با قسمت الف در شروع مدل‌سازی سرعت برابر با ۳/۲۶ متر بر ثانیه است. در قسمت ب مشاهده می‌شود که سرعت در لحظه‌ای که دریا در جزر کامل قرار دارد برابر با ۴/۲۷ متر بر ثانیه است که بیشترین میزان سرعتی است که در طول مدل‌سازی به دست می‌آید. در قسمت ج که پایان سیکل است به دلیل افزایش ارتفاع آب در دریا و کاهش هد، سرعت کاهش یافته و تولید متوقف می‌شود. با بررسی مدل این نتیجه حاصل می‌شود که زمان طلایی برای دستیابی به بیشترین سرعت و انرژی، در بازه زمانی است که جزر کامل روی می‌دهد.

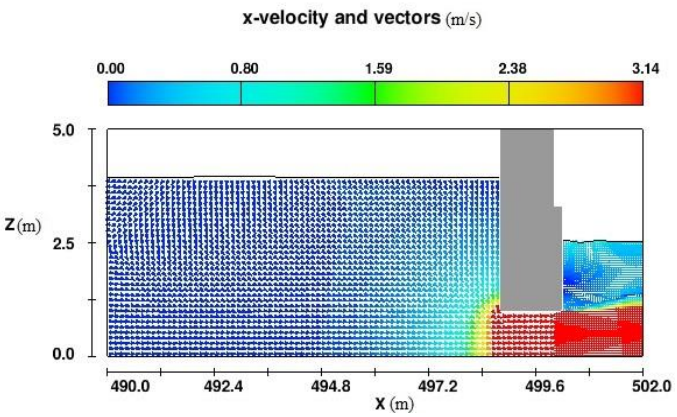


الف



ب

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

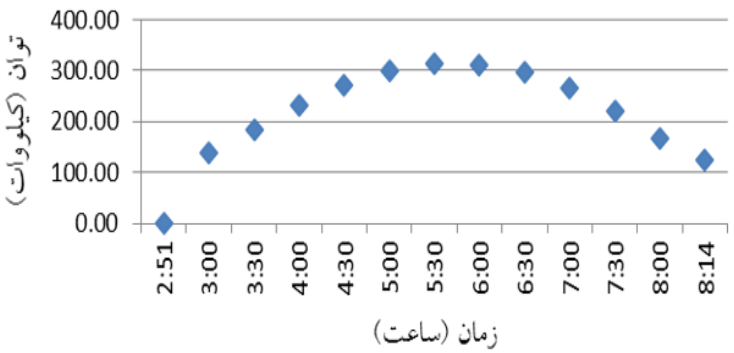


ج

شکل ۱۳. بردار سرعت لحظه‌ای سیال خروجی از دریچه در بازه‌های زمانی
الف) شروع سیکل ب) میانه سیکل ج) پایان سیکل

۳-٤. محاسبه توان و انرژی تولیدی

با به‌دست آوردن سرعت لحظه‌ای جریان آب و در نظر گرفتن بازده ۸۰ درصد برای توربین توان تولیدی از رابطه (۱) به دست آورده شد که نتایج به‌دست‌آمده برای هر بازه زمانی در نمودار شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴. میزان توان تولیدی در هر بازه زمانی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

همچنین برای به دست آوردن توان کل، رابطه (۹) استفاده شد.

$$P_{Total} = \frac{P_{1+}P_2 + P_{3+\cdots}}{N} \qquad (۹)$$

که در این رابطه P_{Total} توان کل و P_1 و P_2 و ... توان در بازه‌های زمانی مختلف و N تعداد بازه‌های زمانی است. همچنین با توجه به وقوع دو جزر و مد در یک شبانه روز (تقریبا هر ۱۲ ساعت یک بار) در منطقه مورد مطالعه، در طول سال ۶۸۹ بار مد اتفاق می‌افتد که برای سیکل مورد نظر در سال میزان کل انرژی قابل استحصال برابر خواهد بود با:

کیلووات ساعت۸۷۲۹۶۳ = ۶۸۹ × ۱۲۶۷

که در جدول (۳) برآورد کل توان و انرژی تولیدی در حوضچه مورد نظر در یک سال مشخص آورده شده است.

جدول ۳. میزان کل توان و انرژی سیکل مورد نظر

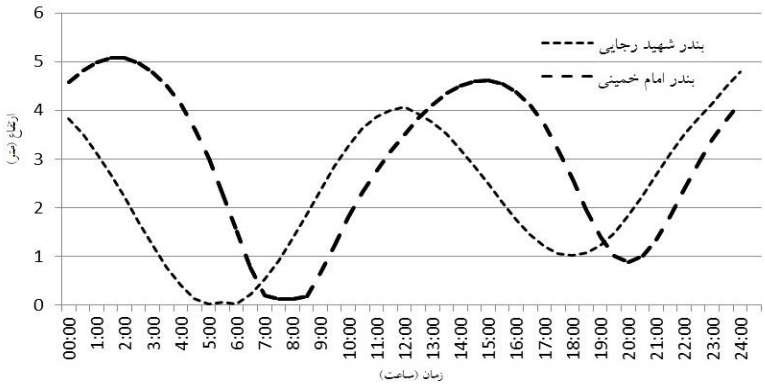
کل انرژی تولیدی (کیلووات ساعت)	توان تولیدی (کیلووات)	طول بازه تولید (ساعت)
۱۲۶۷	**۲۳۵/۶**	**۵/۳۸**

مأخذ: نتایج تحقیق

۳-۵. مقایسه میزان تولید برق در اسکله شهید رجایی و بندر امام خمینی

جهت مقایسه میزان استحصال انرژی در حوضچه‌های بندر امام خمینی و بندر شهید رجایی، دو موج با دامنه بیشینه در سال در این دو بندر انتخاب شد. سپس با مدل کردن این دو موج و به‌دست آوردن میزان حداکثر انرژی قابل استحصال در بندر شهید رجایی و بندر امام خمینی نتایج با هم مقایسه شد. نمودار دو موج انتخاب شده در شکل ۱۵ آورده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



شکل ۱۵. نمودار سیکل امواج بیشینه انتخابی
در حوضچه‌های دو بندر امام خمینی و شهید رجایی (رضائی و همکاران، ۱۳۹۴)

همچنین مشخصات دو موج انتخابی برای هر کدام از مکان‌های مورد مطالعه در جدول (۴) بیان شده است.

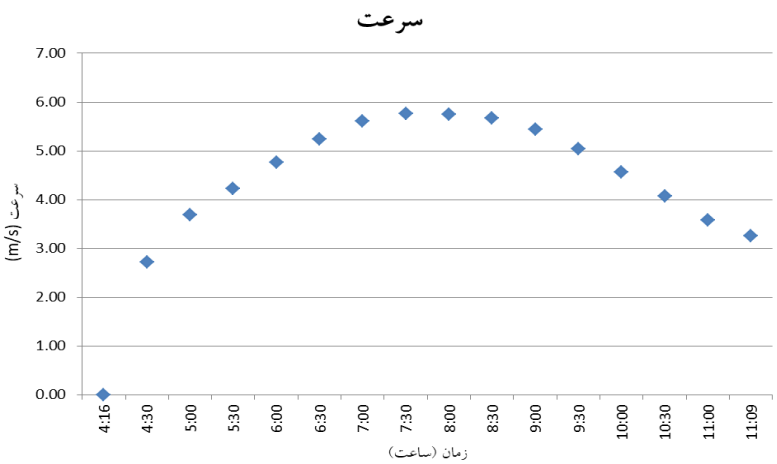
جدول ۴. مشخصات دو موج انتخابی در بندر امام خمینی و بندر شهید رجایی

بندر شهید رجایی	بندر امام خمینی	
۳/۸	**۵/۳**	دامنه موج (متر)
۶/۶۴	**۶/۸۸**	زمان تولید در یک سیکل (ساعت)

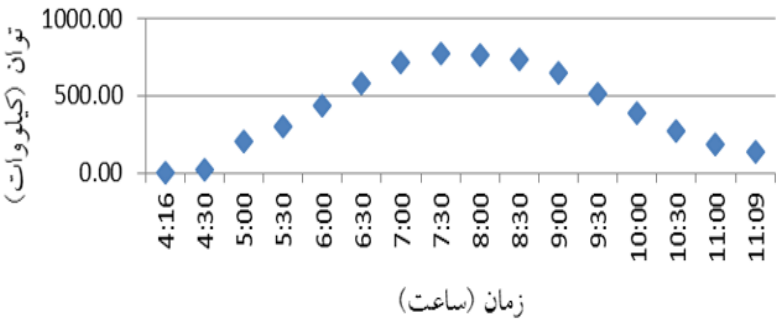
مأخذ: نتایج تحقیق

نتایج حاصل از سرعت و توان مربوط به بندر امام خمینی در شرایط موج بیشینه به ترتیب در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ ارائه شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



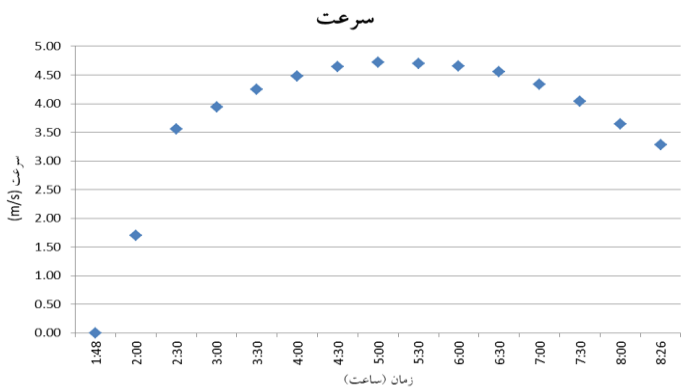
شکل ۱۶. سرعت خروجی جریان آب از دریچه در حوضچه بندر امام خمینی



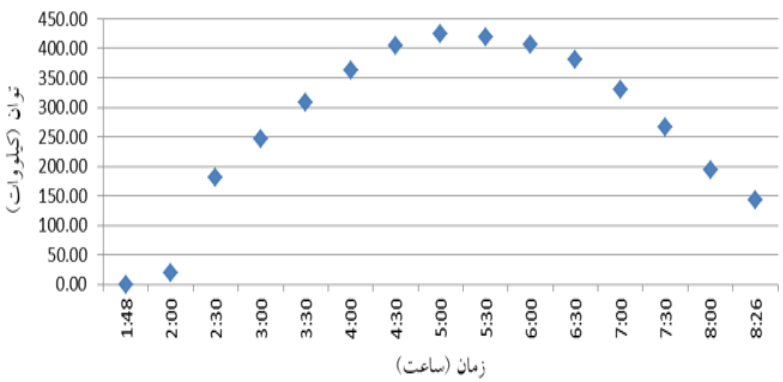
شکل ۱۷. توان تولیدی در در حوضچه بندر امام خمینی

نتایج سرعت و توان حاصل از شبیه سازی در شرایط موج بیشینه در بندر شهید رجایی به ترتیب در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ ارائه شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



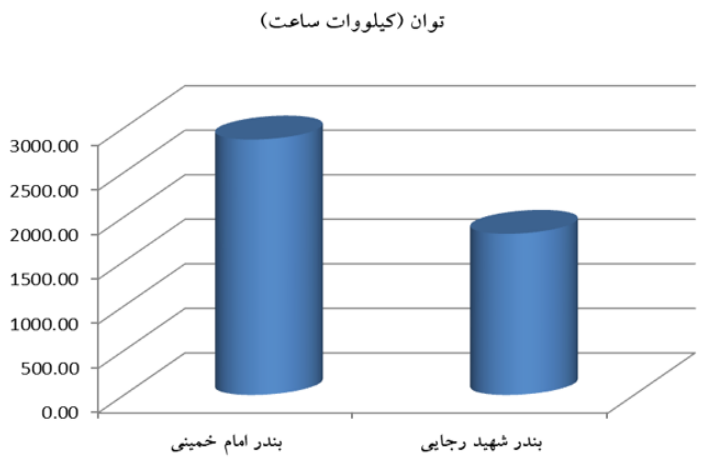
شکل ۱۸. سرعت خروجی آب از دریچه در شرایط موج بیشینه در در حوضچه بندر شهید رجایی



شکل ۱۹ . توان تولیدی در در حوضچه بندر شهید رجایی

همچنین شکل (۲۰) میزان کل انرژی قابل استحصال در موج بیشینه در حوضچه‌های دو بندر را نشان می‌دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]



شکل ۲۰. مقایسه میزان کل انرژی تولیدی در در حوضچه‌های بنادر امام خمینی و شهید رجایی

با توجه به اینکه به طور کلی با افزایش دامنه جزر و مدی سرعت لحظه‌ای خروجی بیشتری می‌شود، با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان استحصال انرژی در بندر امام خمینی به دلیل بالاتر بودن دامنه جزر و مد، بیشتر از بندر شهید رجایی است.

میزان توان تولیدی جریان جزر و مدی در بندر شهید رجایی تقریباً ۰/۰۰۱ کیلووات بر متر مربع است که در مقایسه با مقدار توان تولیدی در تحقیقات انجام شده قبلی به میزان ۰/۲ کیلووات بر متر مربع (چن و همکاران،۲۰۱۳) و ۵ کیلووات بر متر مربع (گوئرا و همکاران، ۲۰۱۵) مقدار کمی است؛ هر چند با مقدار توان تولیدی در تحقیق انجام شده توسط گنازالس-کابالین و همکاران (۲۰۱۶) به میزان متوسط ۰/۰۰۰۵ کیلووات بر متر مربع قابل قیاس است.

از طرف دیگر بازده استحصال انرژی جزر و مدی به بازده توربین بستگی دارد که از ۷۵ تا ۹۰ درصد متغیر است و در مقایسه با بازده استحصال انرژی بادی که حداکثر ۴۰ درصد است مقدار بسیار بیشتری است(ناربل[1] و همکاران، ۲۰۱۴).

1. Narbel

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

۳-۶. هزینه

با در نظر گرفتن نتایج تحقیقات وازکوئز و ایگلسیاس (۲۰۱۵) و (آستاریس[1] و همکاران، ۲۰۱۵)، هزینه تراز شده انرژی[2] برای جریان جزر و مدی که شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری[3] و تعمیر و نگهداری[4] می‌شود می‌تواند به طور متوسط از ۰/۲ تا ۰/۵۵ یورو به ازای هر یک کیلووات ساعت انرژی تولیدی متغیر باشد که با توجه به کم بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های جزر و مدی، بخش اصلی هزینه مربوط به هزینه‌های سرمایه گذاری است که این مقدار تقریباً ۵برابر هزینه تولید برق تراز شده انرژی بادی در ساحل (۰/۰۴۷ تا ۰/۰۸۶ یورو به ازای هر یک کیلووات ساعت) است (ناربل و همکاران، ۲۰۱۴).

در این مطالعه برای محاسبه هزینه تراز شده انرژی از رابطه زیر استفاده شد (وازکوئز و ایگلسیاس (۲۰۱۵):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} CAPEX/(1+r)^t + OPEX_t/(1+r)^t}{\sum_{t=1}^{n} AEP/(1+r)^t} \qquad (۱۰)$$

که AEP انرژی تولیدی سالیانه، CAPEX هزینه سرمایه گذاری که شامل هزینه‌های خرید و نصب توربین، کابل کشی و ایجاد شبکه و سازه و فونداسیون می‌شود، OPEX شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری، t دوره بهره برداری که در این مطالعه ۲۰ سال در نظر گرفته شده و r نرخ کاهش (به درصد) که در مطالعات مربوط به انرژی جزر و مدی ۱۰ درصد است. همچنین مقدار هزینه‌های تعمیر و نگهداری ۵ درصد هزینه‌های سرمایه گذاری در نظر گرفته شده است که هر سال یک درصد با توجه افزایش عمر تجهیزات به آن اضافه می‌شود(ناربل و همکاران، ۲۰۱۴).

با در نظر گرفتن استعلام‌های انجام شده، جدول (۵) میزان هزینه‌ها را نشان می‌دهد.

1. Astariz
2. Levelized cost of electricity(LCOE)
3. Capital cost
4. Operation and maintenance (O&M) cost

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

- خرید، نصب، اتصال و راه اندازی توربین به مبلغ ۵۵۰۰۰۰ یورو (مطابق با استعلام از شرکت MJ2 Technologies)
- برای سازه و فونداسیون نزدیک به ۳۰۰۰۰ متر مکعب بتن نیاز است که با احتساب هر مترمکعب بتن به میزان ۳۵۰۰۰۰۰ ریال و در نظر گرفتن هزینه ۳۰ میلیارد ریالی میل‌گرد و خاکبرداری در منطقه، هزینه مورد نظر ۱۳۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال می‌شود که به طور تقریبی معادل ارزی آن ۵۴۰۰۰۰ یورو در نظر گرفته شد.
- هزینه کابل کشی و اتصال به شبکه با در نظر گرفتن ۵ کیلومتر کابل و قیمت ۱۸ یورو به ازای هر متر کابل برابر ۹۰۰۰۰ یورو خواهد شد.

جدول ۵. هزینه ها

CAPEX			OPEX	E_t
خرید و نصب توربین	کابل کشی و اتصال به شبکه	فونداسیون و سازه	هزینه تعمیرات و نگهداری و عملیاتی سالیانه	انرژی تولیدی سالیانه
550,000 €	90,000 €	540,000 €	59,000 €	872963 kWh

با در نظر گرفتن نرخ کاهش مطابق با رابطه (۱۰) و افزایش یک درصدی هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالیانه، هزینه تراز شده انرژی ۱/۴۲ یورو به ازای هر کیلووات ساعت انرژی به‌دست می‌آید که نسبت به تحقیقات دیگر مقدار بیشتری است و علت آن را باید دامنه کم جریان جزر و مدی در اسکله شهید رجایی دانست.

٤. نتیجه‌گیری

هدف اصلی از این تحقیق امکان‌سنجی تولید انرژی از حوضچه جزر و مدی بود که با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D یک حوضچه با مشخصات هندسی معین در اسکله شهیدرجایی مدل شد و پس از شبکه‌بندی هندسه مدل و با تعیین سرعت جریان آب در طول، میزان انرژی قابل دسترس جهت

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

تولید برق تخمین زده شد و در نهایت داده‌های خروجی با مطالعات انجام شده در بندر امام خمینی مقایسه شد. با توجه به نتایج به دست آمده نتیجه‌گیری می‌شود که:

۱. توان تولیدی به‌وسیله توربین در نیروگاه‌های جزر و مدی ارتباط بسیار زیادی با تغییرات ارتفاع جزر و مد داشته و با مکعب سرعت نسبت مستقیم دارد. به همین دلیل ساختار نیروگاه باید به‌گونه‌ای باشد که توربین‌ها در نقاطی با بیشترین ارتفاع جزر و مد در نظر گرفته شوند تا نیروگاه بیشترین توان ممکن را تولید کند.

۲. در این مطالعه با بررسی جزر و مد و ایجاد یک حوضچه مصنوعی در بندر شهید رجایی مشخص شد که با توجه وجود دو سیکل جزر و مدی در یک شبانه روز در منطقه مورد مطالعه، در طول سال می‌توان به‌صورت میانگین، سالیانه ۹۲۷ مگاوات‌ساعت انرژی برداشت کرد.

۳. اگرچه این میزان انرژی در مقایسه با تولید یک نیروگاه حرارتی کم باشد ولی باید توجه داشت که صرف‌نظر از سرمایه‌گذاری اولیه که در نیروگاه‌های جزر و مدی بیشتر است، هزینه تولید در این نیروگاه‌ها ناچیز است. عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی، علاوه بر حذف هزینه سوخت، باعث جلوگیری از آلودگی محیط زیست نیز خواهد شد.

۴. با وجود سیستم تک حوضچه‌ای و ابعاد یکسان طرح، میزان برق تولید شده در بندر امام خمینی به دلیل اختلاف ارتفاع بیشتر جزر و مد به مراتب بیشتر (تقریبا ۶۵ درصد) از بندر شهید رجایی می‌باشد.

۵. هر چه میزان انرژی استحصالی بالاتر و دقت در محاسبات بیشتر باشد، می‌توان ریسک سرمایه‌گذاری در این زمینه را کاهش و راندمان سرمایه‌گذاری را افزایش داد.

۶. در صورتی می‌توان در بندر شهید رجایی به دنبال تولید برق بیشتر از طریق سیستم تک حوضچه‌ای بود که اختلاف ارتفاع جزر و مد به روش مصنوعی تقویت گردد تا بتوان از توان تولیدی برای مصارف محدود محلی استفاده کرد.

۷. هزینه تراز شده انرژی ۱/۴۲ یورو به ازای هر کیلووات ساعت انرژی محاسبه شد که نسبت به تحقیقات دیگر مقدار بیشتری است و علت آن را باید دامنه کم جریان جزر و مدی در اسکله شهید رجایی دانست.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

منابع

اشتری‌لرکی، امیر، صدری‌نسب، مسعود، تامچک، ماتیاس، چگنی، وحید و عامر کعبی (۱۳۹۲)، "برآورد انرژی الکتریکی حاصل از جزرومد در خور دورق"، *مجله علوم و فنون دریایی*، دوره۱۲، شماره ۲، صص ۲۴-۱۶.

اکبری نسب، محمد؛ رسولیان، معصومه؛ نادیا طالب پور، نادیا و علی ناصری (۱۳۹۸)، "مدل‌سازی سرعت جریان جزرومدی با استفاده از نرم‌افزار TELEMAC-2D (مطالعه موردی: خلیج بوشهر"، دوفصلنامه هیدروفیزیک، دوره ۵، شماره ۱، صص ۶۱-۶۷.

جوکار، محمد و کامران لاری (۱۳۹۵)، "بررسی جریان کشندی با استفاده ازمدل MIKE21 اندازه-گیری‌های میدانی و مدل جهانی FES در خلیج فارس"، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۱۰۰، صص ۱۱۰-۹۸.

رضایی، حمیدرضا؛ اسماعیلی، احسان؛ حیاتی، مهران و فرید شعبانی (۱۳۹۴) "پتانسیل سنجی استحصال انرژی از امواج جزرومدی با استفاده از توربین های هد پایین در سواحل بندرعباس"، هفدهمین همایش صنایع دریایی.

کتابداری، محمد جواد و محمد احسان احمدی (۱۳۹۵)، "امکان‌سنجی جذب انرژی از امواج دریا در سواحل جنوبی ایران به کمک مدل‌سازی عددی"، فصلنامه علوم و فناوری دریا، شماره ۶۰، صص ۲۹-۲۰.

نجف‌پور، محمدرضا، صامتی، محمد و علی بخش کسائیان (۱۳۹۲)، "مدل‌سازی مکانیکی سامانه تک حوضچه‌ای در جزر و مد"، کنفرانس ملی مهندسی مکانیک ایران.

Artal O. Pizarro, O. and H. Sepúlveda (2019). "The Impact of Spring-neap Tidal-Stream Cycles in Tidal Energy Assessments in the Chilean Inland Sea", *Renewable Energy*, Vol. 139, pp. 496-506.

Astariz, S., Vazquez, A. and G. Iglesias (2015). "Evaluation and Comparison of the Levelized Cost of Tidal, Wave and Offshore Wind Energy", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 7, No. 5, pp. 053112-1-13.

Bedard R. (2007). "Power and Energy from the Ocean Energy Waves and Tides: A Primer", *Electric Power Research Institute*, pp. 5-6.

Chen, W. B., Liu, W. C. and M. H. Hsu (2013). "Modeling Evaluation of Tidal Stream Energy and the Impacts of Energy Extraction on Hydrodynamics in the Taiwan Strait", Energies, Vol. 6, No. 4, pp. 2191–2203.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]

Ferreira R.M. and S.F. Estefen (2009). "Alternative Concept for Tidal Power Plant with Reservoir Restrictions", *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 4, pp. 1151–1157.

Fu E.S., Fang Y. and B. K. Horn (2008). "Power of Ocean: Evaluation of Blue Energy", 4th International Conference on Universal Village (UV), IEEE, pp. 1-4.

Goh H., Lai S., Jameel M., Teh H. and R. Chin (2020). "Feasibility Assessment of Tidal Energy Extraction at the Tg Tuan Coastal Headland: A Numerical Simulation Study", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 38, 100633.

González-Caballín, J. M., Álvarez, E., Guttiérrez-Trashorras, A. J., Navarro-Manso, A., Fernández, J., and E. Blanco (2016). "Tidal Current Energy Potential Assessment by a two Dimensional Computational Fluid Dynamics Model: The Case of Avilés port (Spain)", *Energy Conversion and Management*, Vol. 119, pp. 239–245.

Guerra, M., Cienfuegos, R., Thomson, J. and L. Suarez (2017). "Tidal Energy Resource Characterization in Chacao Channel, Chile", *International Journal of Marine Energy*, Vol. 20, pp. 1-16.

Lewis M., Neill S.P., Robins P.E. and M.R. Hashemi (2015). "Resource Assessment for Future Generations of Tidal-stream Energy Arrays", *Energy*, Vol.83, pp. 403–415.

Li Y., Lence B. and S.M. Calisal (2011). "Alternative Concept for Tidal Power Plant with Reservoir Restrictions", *Energy Conversion and Management*, Vol. 52 pp. 1677–1687.

Mingham C., Qian L. and D. Causon (2016), "Computational Fluid Dynamics (CFD) Models", *Numerical Modelling of Wave Energy Converters*, pp. 105-122.

Mejia-Olivares C., Haigh I.D., Angeloudis A.J., Lewis M.J. and S.P. Neillc (2020). "Tidal Range Energy Resource Assessment of the Gulf of California, Mexico", *Renewable Energy*, Vol. 155, pp. 469-483.

Narbel P., Hansen J.P. and J.R. Lien (2014), **"**Energy Technologies and Economics", Springer.

Prandle D. (1984), "Simple Theory for Designing Tidal Power Schemes Simple Theory for Designing Tidal Power Schemes", *Advances in Water Resources*, Vol. 6, No. 1, pp. 21–27.

Sanchez M., Carballo R., Ramos V., Álvarez M., Vazquez A. and G. Iglesias (2014). "Impact of Tidal Stream Energy Exploitation on Estuarine Hydrodynamics", *Coastal Engineering Proceedings*, Vol. 1, No. 34, pp. 22.

Vazquez A. and G. Iglesias (2015). "LCOE (levelised cost of energy) Mapping: A New Geospatial Tool for Tidal Stream Energy", *Energy*, Vol. 91, pp.192-201.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-01-08]