مطالعه و طراحی مقدماتی یک مبدل انرژی جنبشی موج جزر و مد در تنگه خورانِ قشم (خلیج فارس)

مهدی نظری برنجکوب [۱]، محمود غیاثی [۲]، حسن قاسمی [۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۱/۳/۶
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۱/۵/۱۲

چکیده:

اختلاف غلظت نمک بین نقاط مختلف دریا باعث جریانات دریایی می گردد. این جریان در خلیج فارس در جهت خلاف عقربه های ساعت با سرعت متوسط ۰/۵ متر بر ثانیه وارد تنگه هرمز و پس از گذر از سواحل ایران و سپس کشورهای عربی از تنگه خارج می گردد. تأثیر پدیده جزر و مد بر جریان دریایی ورودی به خلیج فارس به خصوص در تنگه باریک و طولانی خوران که در حد فاصل فلات ایران و جزیره قشم قرار دارد، باعث افزایش سرعت تا بیش از ۲ متر بر ثانیه می گردد و قابلیت استحصال انرژی و تولید الکتریسیته از این جریان را میسّر و توجیه پذیر می نماید.

در این مقاله، پس از بررسی پتانسیل انرژی جزر و مدی آبهای ایران و بررسی هیدرودینامیک تنگه خوران قشم، یک دستگاه مبدل انرژی جریانات آزاد دریا با راندمان بیش از ۳۰ درصد و با قابلیت افزایش سرعتِ این جریانات تا بیش از ۲ برابر آن و همچنین با عملکردی دو طرفه و اجرا به صورت مزرعه توربینی، جهت استحصال انرژی جنبشی موج جزر و مدی در تنگه خوران، با توان تولید ۱.۱ کیلووات برق طراحی گردیده است.

کلمات کلیدی:
جزر و مد، جریانات دریایی، تولید الکتریسیته، کانال قشم، توربین Gorlov

۱) کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (نویسنده مسئول) mehdi.nazari۸۳@yahoo.com
۲) استادیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر mghiasi@aut.ac.ir
۳) دانشیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر gasemi@aut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

مقدمه

تاثیرات جاذبه ماه بر زمین باعث برآمدگی و فرورفتگی وسیعی در سطح آب دریاها می شود که به آن جزر و مد گویند. بیشترین تأثیر این پدیده را بر جریانات دریایی می‌توان در تنگه‌ها بخصوص زمانی که تحت تأثیر عواملی همچون کشش خورشید (دوره کهکشندی)، نیروهای سانتریفوژی چرخشی گردش زمین (نیروی کوریولیس) و تشدیدات محلی یا جریان ثانویه‌ای (جریان گرانشی، نیروی محرک باد، پدیده پمپاژ جزر و مدی دو هفتگی) نیز قرار دارند، جستجو کرد[۱۱].

استحصال انرژی جزر و مد و جریانات دریایی دهه‌های متوالی است که مورد توجه جوامع بوده است. به هر حال، در استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر، توجه به روش‌های استحصال آنها بسیار مهم است، چرا که بسیاری از طرح‌های اجرا شده در سطح دنیا همچون نیروگاه آناپولیسِ کانادا (۱۹۸۴) و رانسِ فرانسه (۱۹۶۶) که با ایجاد سد بر روی جریانات جزر و مد دریا ساخته‌اند، از آنجایی که در دوره طراحی و ساخت آنها به هزینه‌های چرخه حیات آن (هزینه‌های زیست محیطی) توجه نشده است، امروزه منسوخ و ندامت شده مطرح می‌گردند.

جزر و مد و جریان های ثانویه ای

پدیده جزر و مد به صورت روزانه، نیم روزانه و یا مختلط است که بعضاً تحت تأثیر سه جریان ثانویه‌ای (محلی) نیز قرار می‌گیرد. اولین و مؤثرترین این جریانات، جریانهای گرانشی است که در اثر اختلاف شوری آب مناطق مختلف یک خور، تنگه و یا یک رودخانه، جزر و مدی ایجاد و باعث گرادیان چگالی طولی می‌گردد. این پدیده موجب افزایش جریان مدی و سرعت جریان جزری می‌گردد. دومین عامل ایجاد جریان ثانویه، توسط نیروی محرک باد است، بادی با سرعت بین۶ تا ۷ متر بر ثانیه می تواند ۲ درصد سرعت جریان سطحی را افزایش دهد و سومین اثر مربوط به پدیده پمپاژ جزر و مدی است که توسط جزر و مدهای دو هفتگی ایجاد می‌شود[۱۱].

بررسی مناطق جزر و مدی ایران

از بهترین مناطق جزر و مدی ایران می‌توان خورهای واقع در شمال خلیج فارس و تنگه خوران قشم را نام برد. ارتفاع موج جزر و مدی در این مناطق تحت تأثیر عوامل محلی و جریانات ثانویه‌ای به بیش از ۵ متر می‌رسد و سرعت جریانات دریایی بیش از ۲ متر بر ثانیه گزارش شده است. هم فازی جریانات دریایی با موج جزر و مدی، جریان گرانشی شدید (در اثر تبخیر و عدم بارندگی) در خورها و پدیده پمپاژ دو هفتگی از عوامل محلی و جریانات ثانویه‌ای در مناطق فوق هستند ضمن آنکه، تغییرات عرض و توپوگرافی بستر در خورهای شمالی خلیج فارس و تنگه خوران تأثیر گذار بر جریانات دریایی و موج جزر و مدی نیز می‌باشند.

جریانات دریایی در حوزه خلیج فارس در جهت خلاف عقربه‌های ساعت با سرعت متوسط ۰/۵ متر بر ثانیه وارد تنگه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

هرمز شده و پس از گذر از سواحل ایران و سپس کشورهای عربی از تنگه خارج می‌گردد، دلیل این جهت چرخش، عمق بیشتر سواحل ایران نسبت به کشورهای عربی است که در نتیجه آن، شوری کمتری در سواحل ایران (^{PSU} ۳۷-۳۶) نسبت به سواحل عربی (^{PSU} ۴۱-۴۰) را ایجاد کرده است[۱].

تنگه خوران قشم

تنگه خوران یا همان کانال قشم به طول ۱۱۰ کیلومتر درحد فاصل جزیره قشم و فلات ایران واقع شده است. شکل ۱ موقعیت این تنگه زیبا 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 در حوالی بندر باسعیدو به خلیج همیشه فارس می‌پیوندد. این تنگه از منظر محیط زیست، جزو مهمترین مناطق دریایی ایران و جهان است. این منطقه مهمترین زیستگاه آبی کشور محسوب شده و زایشگاه دلفین‌های خلیج فارس است و تنها زیستگاه حیوانات و پرندگان حاره‌ای ایران محسوب می‌شده است. باد غالب بر تنگه در راستای شمال جنوب بوده و تأثیر آن بر روی جریان‌های آبی کم می‌باشد.



شکل۱ : موقعیت تنگه خوران قشم در حد فاصل دریای عمان و خلیج فارس

خورهای واقع در شمال خلیج فارس

مهمترین خور در شمال خلیج فارس خور موسی است که به شکل شاخهٔ مثلثی در منتهی‌الیه شمالی خلیج فارس و در خوزستان واقع شده است. این خور دارای ژرفای۲۰ تا۵۰ متر است و به مثابه شریان وسیعی که در خشکی ریشه دوانیده، معبر مهم ارتباطی ایران محسوب می‌شود. خور موسی از مجموعه خورها نظیر خور ماهشهر، غَزلان، سِلج، قَناقه، مِلح، مریموس، دورق، زنگی و ... تشکیل شده است. شکل ۲ موقعیت این خور زیبا و استثنائی را نشان می‌دهد.

خورهای شمال خلیج فارس از نقطه نظر فیزیک اقیانوس شناسی خورهای منفی محسوب می‌شوند و جهت جریان در اکثر آنها در نزدیکی سطح و بستر به سمت شمال خور و در اعماق میانی به سمت خلیج فارس است، لذا یک سیستم جریان دو لایه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

بخوبی از سطح تا بستر گسترش یافته و دبی خاص جریان اولری پسماند در هر دو دوره کهکشندی و مهکشندی، تقریباً به سمت شمال خور است به طوری که انتقال سریع و خودبخود رسوبات سوار بر سیستم جریانات به خارج از خور وجود نخواهد داشت[۶]. این پدیده ایجاد سد بر روی هر حوضچه ای از این خورها را غیر قابل توجه می‌نماید، چرا که رسوبات باقیمانده بر پشت سد، عمر مفید طرح را پایین آورده و توجیه پذیری اقتصادی چنین طرحی را زیر سئوال خواهد برد.



شکل۲ : موقعیت خور موسی و خورهای واقع درآن در شمالی ترین نقطه خلیج فارس[٦]

انرژی جزر و مد دریا

انرژی جزر و مد متشکل از دو مؤلفه است؛ انرژی پتانسیل (E_p) و انرژی جنبشی (E_v). مقدار انرژی پتانسیل با رابطه (۱) بیان می‌گردد که ارتفاع جزر و مد (h) و مساحت حوضچه تحت تأثیر (A_s) در میزان انرژی حاصله مؤثر اند[۱۱] و انرژی جنبشی موج جزر و مدی (E_v) را می توان با رابطه (۲) بیان نمود که بیانگر تأثیر سرعت جریان موج جزر و مدی (V_w) و میزان جرم در حال انتقال (آب)، m است[۹].

$$E_p = 0.5.g.\rho.A_s.h^{\,2} \qquad (۱)$$

$$E_v = 0.5.m.V_w^{\,2} \qquad (۲)$$

انرژی جنبشی جزر و مد در خور های شمال خلیج فارس

در این تحقیق، به منبع اطلاعاتی قابل دسترسی استناد شده است. یکی اندازه گیری انجام شده توسط شهرداری ماهشهر با دو ایستگاه جزر و مد سنجی ثابت است که حدود ۳۲ روز فعال بوده است، حداکثر دبی اندازه گیری شده m^3/s ۵۲ و سرعت m/s ۰.۷ در نقاط ابتدایی خور ماهشهر ثبت گردیده است[۴].

در اندازه‌گیری دیگری که جهت تعیین گردش آب در خور موسی انجام شده است، دو ایستگاه، یکی در بخش میانی خور و نزدیکی ورودی آن و دیگری در شمال خور مستقر گردیده و در دوره‌های ۱۶ ساعته اندازه گیری جزر و مد در دو ماه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

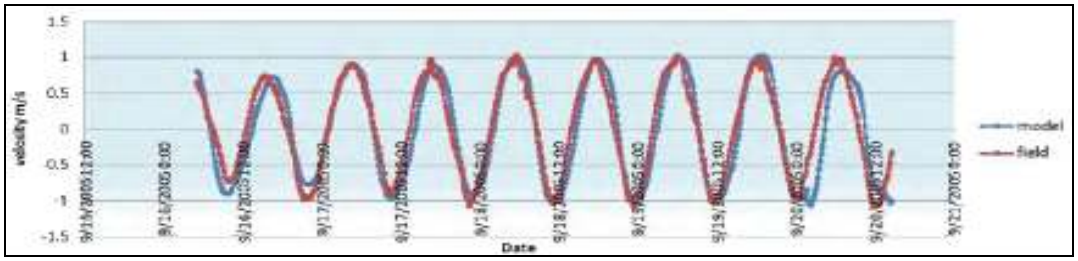
از سال انجام شده است که بر این اساس، حداکثر سرعت جریان آب ۰.۶ متر بر ثانیه به ثبت رسیده است [۶].

به هرحال، با توجه به تکثّر خورها و شرایط متفاوت توپوگرافی بستر، عرض و طول خورها و وجود جریان‌های گرانشی شدید، می‌توان سرعت های بیش از $^{m/s}$ ۱.۵ را برای برخی از خورهای شمال خلیج فارس پیش بینی نمود. بر اساس اندازه‌گیری‌های فوق، فرض وجود سرعت متوسط $^{m/s}$ ۰.۵ برای جریانات آب در خورهای موسی مطلوب و به واقعیت نزدیک می‌رسد. با توجه به رابطه (۲) و با فرض دبی $^{m/s}$ ۵۰ انتقال آب در موج جزر و مدی منطقه، توان حداقل $^{Kn.m}$ ۶.۲۵ را می‌توان برای مناطق مساعدی از حوزه خورهای شمالی خلیج فارس انتظار داشت.

انرژی جنبشی جزر و مد در تنگه خوران قشم

برای بررسی مشخصه‌های هیدرولیکی موج جزر و مدی و جریانات آبی در تنگه خوران دو منبع مطالعاتی در این تحقیق در دسترس بوده است. اولین طرح مطالعاتی مربوط به مطالعات طرح احداث پل ارتباطی بین جزیره قشم و فلات ایران است. این مطالعات بر مبنای داده‌های اندازه گیری شده ایستگاه‌های محلی و مدل سازی الگوهای موج و جریان در تنگه خوران صورت گرفته و بیان می‌کند که جریان در طول تنگه در منطقه پهل-لافت یک جریان شدید رفت و برگشتی است؛ به شکلی که در هر روز، دو بار جریان شرقی و جریان غربی اتفاق می‌افتد و سرعت جریان در جهت غرب بیشتر است و سرعت جریان اندکی قبل از ورود به تنگه پهل-لافت بیشتر از وسط تنگه است[۲]. به طور کلی، جریان منطقه با تغییرات نیم روزه همراه است و جهت جریان از غرب به شرق بیشتر است و حداکثر سرعت جریان در حدود $^{m/s}$ ۲ پیش بینی می‌گردد.

دومین منبع اطلاعاتی در دسترس، طرح مطالعاتی مربوط به یک مدل سازی هیدرودینامیکی تحت اثر جریانهای جزر و مدی است. این مدل در حالت دو بعد و تک لایه و برای یک دوره ۲۸ روزه اجرا شده و نتایج با داده‌های میدانی موجود در شرق، مرکز و غرب منطقه تطبیق مناسب دارند. شکل ۳ مقایسه نتایج مدل با داده‌های میدانی را نشان می‌دهد[۳].



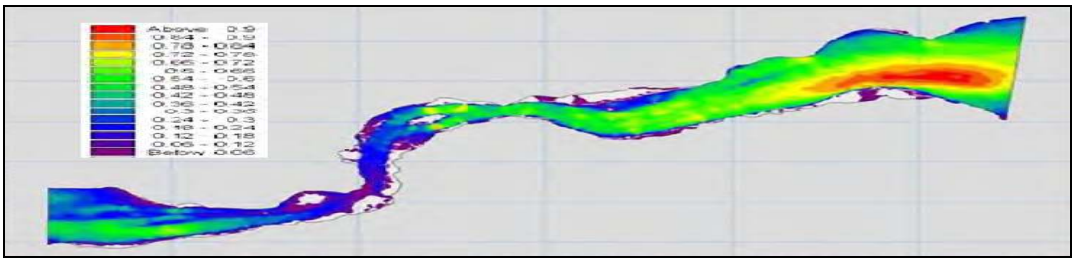
شکل۳ : مقایسه نتایج مدل برای جریان U با داده‌های میدانی[۳]

با توجه به خطای کم این مدل سازی با اندازه گیری‌های واقعی موجود و دردسترس، پارامترهای سرعت، دبی و همچنین جهت جریان ورودی و خروجی به کانال قشم در یک بازه زمانی کامل جزر و مدی به دست آمده است که بیان

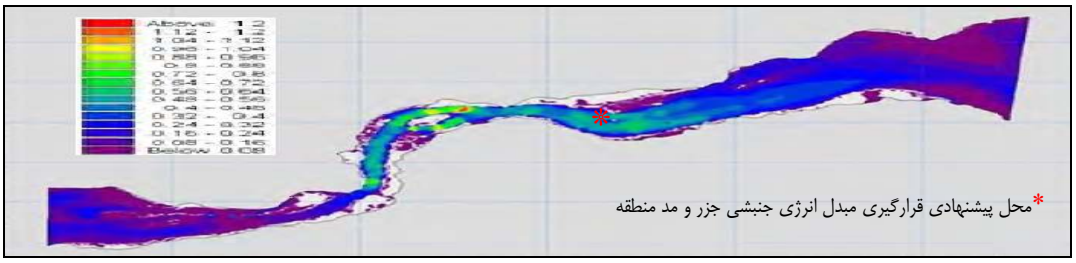
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

کننده سرعت حداکثری بین ۱/۱۲ تا ۱/۲ متر بر ثانیه برای جریان در حالت جزرِ کامل و در حالت مدِ کامل بین ۰/۸۴ تا ۰/۹ متر بر ثانیه در حال عبور از تنگ ترین نقطه کانال خوران می‌باشد. شکل‌های ۴ و ۵ بیان کننده مقادیر سرعت جریان‌های جزر و مدی در تنگه خوران، به ترتیب در حالت مَد و جَزر کامل است. دبی خاص ورودی و خروجی کانال از لحاظ کمی تقریباً برابر یکدیگر و در یک جهت می‌باشند. مقدار دبی ورودی $۸۸۶\ m^3/s$ و مقدار خروجی آن برابر با $۸۲۵\ m^3/s$ محاسبه شده است و همچنین جریان ایجاد شده از شرق به غرب کانال در بیشتر اوقات حاکم است[۳].

به طور کلی، براساس منبع اطلاعاتی دوم که دارای تطبیق عالی با داده‌های واقعی است، در مناطق مرکزی تنگه خوران که با تنگ شدگی در آن مواجه هستیم، سرعت بالاتر و متغیرتر است و در کانال‌های فرعی و نواحی مجاور مسیر اصلی سرعت جریان به خاطر کاهش عمق افت پیدا می‌کند و با توجه به فاصله دو مرز شرقی و غربی، یک اختلاف فاز ۲ ساعته در کانال دیده می‌شود.



شکل ٤ : مقادیر سرعت جریان های جزر و مدی در کل تنگه خوران و در حالت مد کامل[۳]



شکل۵ : مقادیر سرعت جریان های جزر و مدی در کل تنگه خوران و در حالت جزر کامل[۳]

جمع بندی شرایط هیدرولیکی تنگه خوران قشم

براساس دو منبع تحقیقاتی فوق[۲،۳]، می‌توان سرعت جریان آب در تنگه خوران (کانال قشم) را در حالت جزر بیش از $۱\ m/s$ و در حالت مدِ کامل بیش از $۰/۸\ m/s$ در نظر گرفت. دبی ورودی و خروجی به کانال از لحاظ کَمی تقریباً برابر بوده و همواره در جهت شرق به غرب حاکِم است. لذا برای طراحی دستگاه مبدل انرژی جنبشی موج جزر و مدی حاکِم بر این منطقه، سرعت متوسط $۰/۷\ m/s$ را می‌توان با ضریب اطمینان مطلوبی انتخاب نمود. چنانچه دستگاه قبل از تنگه پهل-لافت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

(در شکل ۵ با علامت * نشان داده شده است) واقع شود، این سرعت حداقل سرعت حاکِم بر این ناحیه براساس دو منبع تحقیقاتی فوق خواهد بود.

معرفی سیستم‌های استحصال جریانات دریایی و انرژی جنبشی حاصل از موج جزر و مدی

نصب پروانه‌های بزرگ به صورت ثابت و شناور در مسیر جریانات دریایی که توسط جزر و مد تقویت شده‌اند، بهترین گزینه استحصال الکتریسیته از این انرژی دریایی است. استحصال انرژی جنبشی حاصل از موج جزر و مدی عموماً به صورت مزرعه‌ای از توربین‌ها و در جهت عمود بر جریان حاکِم طراحی و اجرا می‌گردد.

نمونه‌ای از توربین های موفق جزر و مدی در شکل ۶ نشان داده شده است. تصویر سمت راست، اولین دستگاه موفق در سطح دنیاست که قادر است انرژی جریانات دریایی را که توسط پدیده جزر و مد تقویت می‌شوند به الکتریسیته تبدیل کند. این مبدل با توان تولید متوسط ۱۵۰ kw برق در ساحل جنوبِ غربی انگلستان (دوون، ۲۰۰۳) برای جریان با سرعت ۱.۸ ~ ۲.۷ متر برثانیه، طراحی و ساخته شده است. این دستگاه در اوج جریان آب ۳۰۰ kw برق تولید می‌کنند[۱۰].



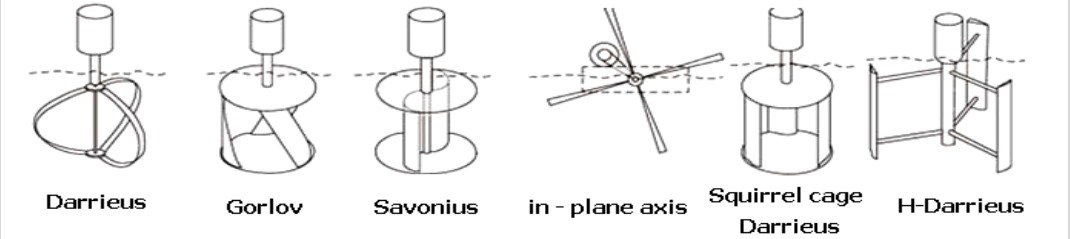
شکل ٦ : تعداد محدودی از طرح های موفق مبدل جزر و مد در دنیا[۸،۱۰]

شکل ۷ یک توربین Gorlov را در جریان آرام نشان می‌دهد. راندمان این توربین‌ها در جریانات کم سرعت نسبت به مابقی توربین‌های آبی بیشتر است، نوسانات و لرزش در این نوع توربین‌ها به واسطه تیغه‌های ایرفویل شکلی آنها بسیار کم است و مقاومت در برابر خستگی بیشتری دارند[۸]. شکل ۸ مدل‌هایی از توربین‌های آبی را که استحصال کننده جریانات با سرعت‌های کم است، نشان می‌دهد[۹].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



شکل ۷ : تعداد محدودی از طرح‌های موفق مبدل جزر و مد در دنیا[۸]



شکل ۸ : مدل‌هایی از توربین‌های آبی استحصال کننده جریانات با سرعت‌های کم [۹]

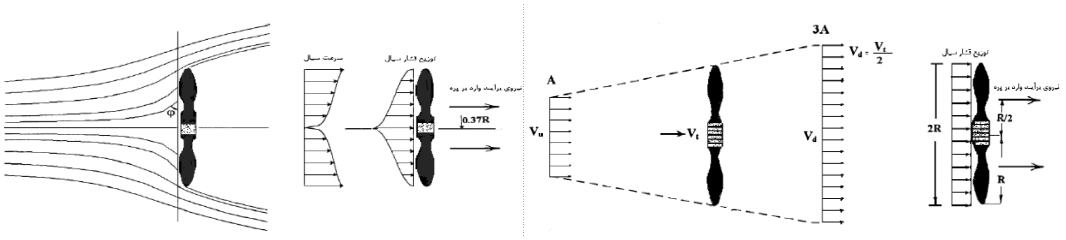
طراحی دستگاه مبدل انرژی جنبشی جزر و مد در تنگه خوران قشم (انرژی جریان آزاد آب)

همانطور که ملاحظه گردید، استحصال انرژی جنبشی جزر و مد در مناطقی از دنیا صورت می‌گیرد که حداقل متوسط سرعت جریان آب، بیش از $1\ ^{m/s}$ باشد. براساس مطالعات فوق، برای تنگه خوران قشم سرعت حداقل جریان آب برابر با $0.7\ ^{m/s}$ در نظر گرفته شد. برای جذب این انرژی، دستگاه مبدل می‌بایست قابلیت افزایش این سرعت را داشته باشد و از توربینی خاص که در جریان‌های کم سرعت و کم ارتفاع، عملکردی مطلوب و راندمان بالا دارد، در آن استفاده گردد.

انتخاب بهینه ترین توربین برای دستگاه مبدل

در مورد استحصال انرژی از جریان آزاد سیال می‌توان به توربین‌های مدل Betz، GGS، Derrieus و Gorlov با راندمانی به ترتیب ۶۰٪، ۳۰٪، ۲۳٪ و ۳۰٪ اشاره کرد. راندمان مدل Betz به دلیل در نظر گرفتن دو شرطِ جریان یکنواخت و عدم لحاظ نمودن انحنای خطوط جریان حول پره‌ها افزایش یافته است[۷،۱۰]. شکل ۹ مدل و فرضیات انتخاب شده در توربین Betz و GGS را نشان می‌دهد[۵].

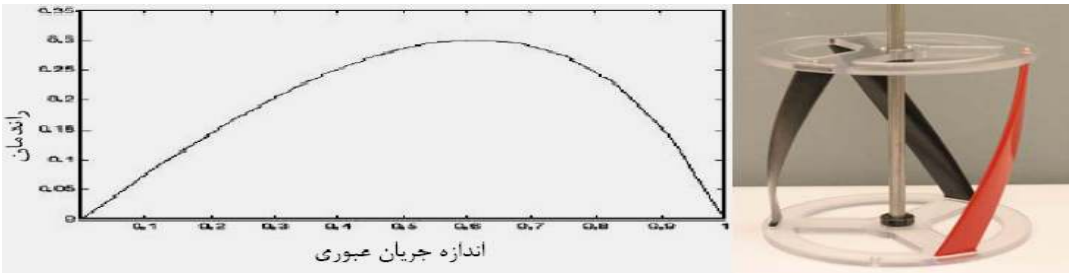
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



شکل ۹ : مدل و فرضیات انتخاب شده در توربین Betz و GGS [۵]

در نمونه واقعی، ایجاد نمودن دو شرطِ یکنواخت بودن جریان عبوری از دستگاه مبدل و عدم انحنای خطوط جریان حول پره‌ها که در مدل Betz فرض گردیده است، بسیار مشکل است. به هرحال، با ایجاد یکنواختی جریان و جلوگیری از آشفتگی آن، افزایش میزان انرژی جذب شده و در نتیجه، افزایش راندمان کلی سیستم مبدل را خواهیم داشت.

مجموعه‌ای از توربین‌های Gorlov شامل هزاران توربین متصل بهم در یک شبکه، انرژی آب رودخانه یا جریانات حاصل از جزر و مد دریا را می‌توانند به الکتریسیته تبدیل کنند. این توربین‌ها دارای صدای بسیار کم است و به واسطه شکلی که دارد آسیبی به جانوران دریایی نیز نمی‌رساند. نمونه‌ای از توربین Gorlov دارای سه پره و نمودار راندمان این توربین برحسب اندازه جریان عبوری در شکل (۱۰) مشخص است[۵].



شکل۱۰: توربین سه پره‌ای Gorlov و نمودار راندمان توربین برحسب اندازه جریان عبوری[۵]

توربین مارپیچیGorlov دارای تیغه‌های ایرفویل شکلی است که همانند ملکول DNA پیچ خورده و باعث کاهش ارتعاش و خستگی در آن می‌شوند و بر خلاف تیغه توربین Derrieus، دارای پایایی و پایداری بیشتر بوده و به راحتی نمی‌شکند. این توربین‌ها با سرعت‌های بسیار کم آب کار می‌کنند و قادرند حداقل ۳۰ درصد انرژی جنبشی جریان آب را جذب نمایند[۷].

با توجه به سرعت کم جریان آبی در تنگه خوران، می‌بایست توربینی انتخاب گردد که در هِدهای بسیار کم، انرژی مفید قابل ملاحظه‌ای توسط آن استحصال گردد. لذا توربین مارپیچیGorlov که بر اساس طرح توربین Derrieus طراحی شده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

است، مطرح می‌گردد.

راندمان توربین Gorlov

در توربین جریان آزاد، راندمان توربین بر حسب مقاومت هیدرودینامیکی فرموله می‌شود. اگر ناحیه‌ای که توربین‌ها در آن نصب شده است با علامت Ω نشان دهیم و فرض کنیم محدوده‌ای باز با مرز مشخص باشد و همچنین فرض شود که توربین‌ها در معرض برخورد مستقیم با سرعت v قرار دارد، در این صورت، ناحیه Ω به صورت مانعی در نظر گرفته شده است. این ناحیه در مقابل عبور جریان سیال از خود مقاومت نشان می‌دهد و دانسیته مقاومت آن r نامیده می‌شود. راندمان توربین η، بیانگر نسبت توان انتقال یافته آب به توربین (توان تولیدی توسط توربین، P_T) به توان قابل انتقال توسط جریان آب عبوری از مقطع توربین در صفحه عمود بر آن (P_w) است که با رابطه (۳) بیان می‌شود [۷].

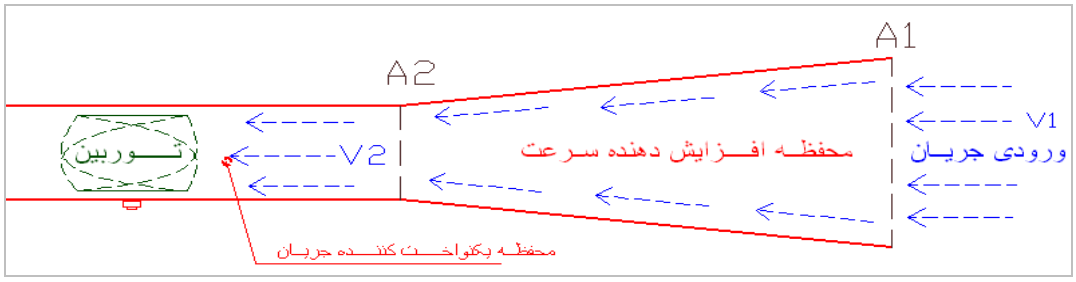
$$\eta = \frac{P_T}{P_W} = \frac{\int_A \vec{\nabla} P.\vec{c}}{\frac{1}{2}.\rho.V^3.|A|} = \frac{\int_A r.|\vec{c}|^2}{\frac{1}{2}.\rho.V^3.|A|} \qquad (۳)$$

افزایش سرعت جریان در دستگاه

برای طراحی مبدل انرژی جریان آبی حاصل از جزرومد، با توجه به کم بودن سرعت این جریان ($^{m/s}$ ۰.۷) می‌بایست، دستگاه به گونه‌ای طراحی می‌گردید که سرعت سیال حداقل ۲ برابر شود. در این صورت، بر اساس رابطه (۲) ، انرژی جنبشی ۴ برابر خواهد شد و این به معنای توجیه‌پذیری طرح و تولید برق با توان در حدود کیلووات است.

با فرض ثابت بودن دبی ورود و خروج از سیستم و لحاظ کردن یک حجم کنترل مفرض، با کاهش سطح مقطع در طول گذر جریان آب از دستگاه تا لحظه برخورد با توربین‌ها، افزایش سرعت حاصل می‌گردد. این موضوع را رابطه (۴) و شکل ۱۱ بهتر بیان می‌کند.

$$Q = V.A \quad , \quad Q_1 = Q_2 \quad , \quad V_1.A_1 = V_2.A_2 \qquad (۴)$$



شکل۱۱ : حجم کنترل افزایش دهنده سرعت و محفظه یکنواخت کننده جریان موج جزر و مد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

کاهش آشفتگی جریان عبوری و تاثیر آن بر راندمان توربین

راندمان توربین‌های مدل Betz به واسطه فرض یکنواختی جریان در طول عبور از روی پره‌ها و عدم انحنای خطوط جریان حول پره‌های توربین تا حدود۶۰٪ افزایش می‌یابد[۵]. پس برای افزایش راندمان توربین با پره‌های Gorlov، می‌بایست قبل از برخورد جریان به پره‌ها از آشفتگی آن جلوگیری و تا حد ممکن جریان یکنواخت‌تر به پره‌ها برخورد نماید. در این صورت، راندمان بیش از ۳۰ درصد برای سیستم پیش‌بینی می‌گردد.

برای یکنواخت نمودن جریان عبور از روی پره‌های توربین، مطابق شکل ۱۱ پس از محفظه افزایش دهنده سرعت جریان، یک محفظه با طولی مناسب جهت آرام شدن جریان و کاهش آشفتگی پیش‌بینی گردید. این قسمت دستگاه صرفاً برای افزایش راندمان۳۰ درصدی تائید شده این نوع توربین‌ها در اثر تبدیل جریان آشفته به آرام و اطمینان از راندمان نهایی دستگاه در الگوریتم کاری لحاظ شده است. به کمک رابطه ۵ ، توان قابل استحصال دستگاه برای کمترین راندمان (η=۰.۳) محاسبه گردید.

$$\eta = \frac{P_T}{P_W} \ , \xrightarrow{\eta = 0.3} P_T = 0.3.P_W \quad , \quad P_T = 0.3 \times \frac{1}{2}.\rho.V^3.|A| = 0.15.\rho.A.V^3 = 0.154.A.V^3 \quad (۵)$$

رعایت شاخصه های دستگاه های مبدل انرژی دریایی

در طراحی دستگاه‌ها در شرایط دریا، مسائلی همچون سادگی فناوری و ایمنی آن، قابلیت جابجایی و نصب آسان، پایایی و پایداری در تمام شرایط خاص دریا، قابلیت انتقال آسان به خشکی جهت تعمیرات احتمالی، قابلیت حرکت و جابجایی جهت عبور و مرورهای خاص در داخل تنگه، داشتن جریان برق خروجی یکنواخت، حفظ زیبایی دریا و رعایت مسائل زیست محیطی، بایستی در طراحی سازه و سیستم‌های مبدلی آن مدنظر باشد.

توجیه پذیری اقتصادی طرح پیشنهادی

بررسی دقیق توجیه‌پذیری اقتصادی یک طرح در هر زمینه‌ای مستلزم داشتن اطلاعات کامل از شرایط اجتماعی، سیاسی و نوع دیدگاه‌های زیست محیطی است. به هر حال، در طرح‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، نگاه به آینده‌ای است عاری از آلودگی و حفظ زیبایی‌هایی که خداوند به بشر هدیه کرده است.

در این طرح پیشنهادی، با توجه به سادگی فناوری و امکان ساخت در داخل کشور و همچنین بازده حداقل ۳۰ درصدی دستگاه مبدل، توجیه‌پذیری اقتصادی امکان پذیر و امیدوارانه است. چنین طرحی می‌تواند احیا کننده حیات حیوانات و پرندگان حاره‌ای ایران باشد که در گذشته‌ای نه چندان دور به واسطه عدم رسیدگی و افزایش جمعیت بشر در این منطقه از بین رفته است. با تولید برق توسط یک مبدل انرژی جنبشی جزر و مدی و در نهایت، تولید آب شیرین، حیات وحش منطقه احیا خواهد شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

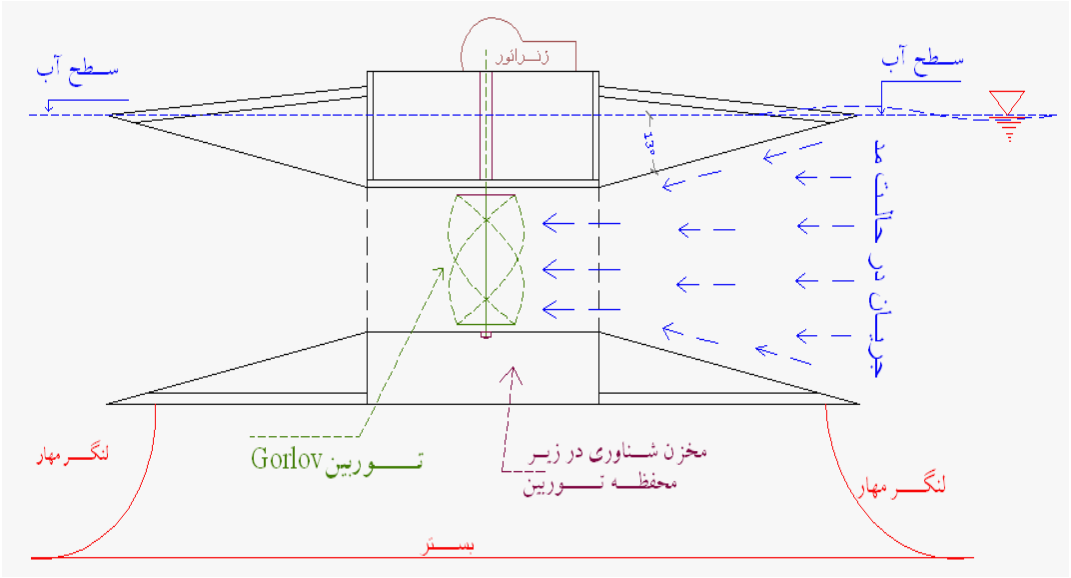
طرح اولیه مبدل انرژی جنبشی جزر و مد در تنگه خوران قشم

به منظور تحقق دو پارامتر مهم افزایش سرعت و آرام سازی جریان عبور از پره‌های جاذب، دستگاهی شناور با قابلیت تنظیم حجم غوطه‌وری به کمک مخازن و قابلیت جذب انرژی جریان از دو طرف (هم در جهت جریان جزر و هم مد) طراحی گردید. بدین شکل که مقاطع داخل سیستم در طول حرکت آب تغییر مساحتِ مقطعی داده که باعث افزایش سرعت سیال عبوری می‌گردد. این افزایش سرعت، پره‌های توربین Gorlov را به حرکت درآورده و سپس دینام نصب شده بروی دستگاه که با پره‌ها کوپل شده است، تولید الکتریسیته می‌نماید. از آنجایی که در جزر و مد جهت جریان تغییر می‌کند، یک تبدیل کننده جهت چرخش نیاز می‌باشد.

ابعاد دستگاه

برای کاهش اثرات آشفتگی جریان، زاویه تغییر سطح مقطع گذرنده جریان حدود ۵ درجه محاسبه گردید. براین اساس، طول محفظه افزایش دهنده سرعت ۴.۵ متر خواهد شد. با فرض ثابت بودن دبی ورود و خروج و با فرض عدم اصطکاک بر اساس رابطه (۴) با تغییر سطح مقطع به ۱/۴ ، سرعت از ۰.۷ به ۲.۸ متر بر ثانیه خواهد رسید. با توجه به وجود اصطکاک و اتلاف انرژی در طول ۴.۵ متر محفظه و امکان پس زد و تغییرات جریان ورودی و کاهش سرعت ورودی به حجم کنترل مفروض، سرعت ورودی به محفظه یکنواخت کننده جریان را می‌توان با ضریب اطمینانی مطلوب حدود $^{m/s}$ ۲ لحاظ نمود.

جهت آرام سازی جریان‌های آشفته موج جزر و مدی، یک محفظه در دستگاه قبل از قسمت پره‌های Gorlov پیش‌بینی گردید به ابعاد ۱×۱ و بطول ۱.۵ متر که این طول با توجه به کاهش تدریجی سطح مقطع (۵ درجه) و طول ۴.۵ متری محفظه افزایش دهنده سرعت، مناسب خواهد بود. شکل ۱۲ مقطعی از دستگاه را نشان می‌دهند.



شکل۱۲: پلان دستگاه با قابلیت جذب جریان آب در حالت مد و در حالت جزر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

مشخصه‌ها و توان تولیدی دستگاه مبدل پیشنهادی

با توجه به ویژگی‌های دستگاه (محفظه افزایش دهنده سرعت جریان)، سرعت جریان آب ($^{m/s}$ ۰.۷) در طول عبور از دستگاه افزایش یافته و به متوسط $^{m/s}$ ۲ می‌رسد و جریان برخوردی به پره‌ها به صورت آرام و مستقیم در جهت محور اصلی (x) خواهد بود. راندمان توربین‌های Gorlov استفاده شده در طرح با توجه به نتایج آزمایشگاهی (نمودار شکل ۱۰) و کاربردهای عملی آن (نیروگاه ۸۰ مگاوات کره جنوبی) حداقل ۳۰٪ تائید گردیده است که البته، براساس تحقیقات مدل Best ، در صورت یکنواخت سازی جریان و تبدیل جریان آشفته به آرام، مقادیر بیش از ۳۰ درصد حاصل خواهد شد.

سطح مقاطع عبوری جریان آب موج جزر و مدی از توربین (A_2) یک متر مربع است. لذا با توجه به رابطه (۵)، توان تولیدی توربین (P_T)، ۱.۲۳ کیلونیوتن در متر است. با انتقال توان حاصله به ژنراتوری با راندمان ۹۵٪ و با فرض اتلاف ۵ درصدی در انتقال انرژی، اتلاف کل سیستم (η') که شامل اتلاف در اثر انتقال انرژی جذب شده از توربین به ژنراتور و درون ژنراتور می‌باشد، ۱۰٪ است. لذا توان برق تولیدی (P_D) توسط دستگاه در اثر عبور جریان آب حاصل از موج جزر و مدی با سرعت $^{m/s}$ ۰.۷ حدود ۱.۱ کیلونیوتن در متر خواهد بود.

$$P_T = 0.154.A.V^3 = 0.154\times1\times2^3 = 1.23^{Kn-m} \ , \xrightarrow{\eta' = 0.9} P_D = 0.9\times1.23 = 1.11^{Kn-m}$$

در حالت اوج جریان عبوری، براساس بررسی هیدرودینامیک تنگه خوران سرعت جریان حداقل ۱ متر بر ثانیه است. این سرعت در لحظه برخورد به پره ها به ۲.۸۵ متر بر ثانیه می‌رسد، لذا بیشترین توان تولیدی در حدود ^{kw} ۳.۲ است.

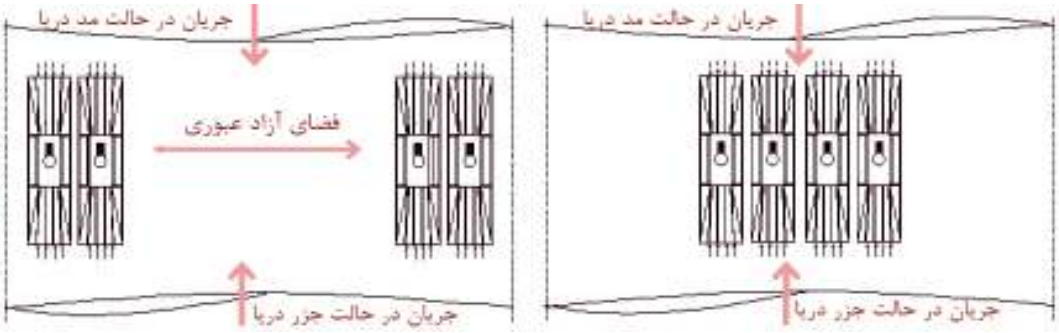
$$\frac{v=1}{V=2.85} \rightarrow P_T = 3.56^{Kn-m} \xrightarrow{\eta' = 0.9}, \ P_D = 3.2^{Kn-m}$$

مشخصه‌های دستگاه مبدل در جدول ۱ ذکر گردیده است. نحوه قرارگیری دستگاه‌ها به صورت مزرعه توربینی و نما از بالای دستگاه در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصه‌های مبدل انرژی جنبشی پدیده جزر و مد منطقه خوران قشم

مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار
ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) ، متر	۲×۲×۱۳	سرعت برخوردی به توربین، m/s	V ≈ ۲
وزن دستگاه ، کیلوگرم	۶۶۰۰	راندمان توربین	٪۳۰
ابعاد مخزن شناوری زیر محفظه، متر	۰.۵×۲×۴	اتلاف انتقال و تبدیل انرژی جذبی	٪۱۰
ابعاد مخزن شناوری کنارهای محفظه	۱×۰.۷×۳.۸	توان متوسط تولیدی دستگاه، kw	۱.۱۱
حجم مخازن تنظیم غوطه وری، m□	۵.۷	بیشترین سرعت (در جزر و مد)، m/s	v ≈ ۰.۹ ~ ۱.۱
فرض سرعت در ورودی (درجزر و مد)	v≈ ۰.۷ m/s	بیشترین توان (در پیک جریان)، kw	$P_D \approx$ ۳.۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



شکل۱۳ : نحوه قرارگیری دستگاه‌های مبدل بصورت مزرعه توربینی در تنگه

نتیجه گیری

۱- بالاترین پتانسیل جزر و مدی ایران، در مناطق خورهای شمالی خلیج فارس و تنگه خوران قشم می‌باشد. سرعت جریان آب حاصل از جزر و مد در خورهای شمالی خلیج فارس بین $^{m/s}$ ۰.۴ تا ۱.۵ و برای تنگه خوران بین $^{m/s}$ ۰.۸ تا ۲ پیش‌بینی می‌گردد.

۲- متوسط سرعت جریان آب در تنگه خوران در حالت جزر بیش از $^{m/s}$ ۱ و در حالت مدِ کامل، بیش از $^{m/s}$ ۰/۸ است. دبی خاص ورودی و خروجی به کانال قشم از لحاظ کمی تقریباً برابر یکدیگر بوده و همواره در یک جهت از شرق به غرب حاکِم است، میزان این دبی بیش از $^{m\wedge 3}$ ۸۰۰ می‌باشد.

۳- راندمان ۳۰ درصدی توربین Gorlov، براساس تحقیقات آزمایشگاهی و تجارب نیروگاهی مورد اطمینان می‌باشد. ضمن آنکه با کاهش آشفتگی جریان، براساس تحقیقات مدل Best راندمان آن تا حدود ۶۰ درصد قابلیت افزایش دارد.

۴- پیش‌بینی توان تولیدی ۱.۱ کیلووات برق حاصل از عبور جریانی با سرعت $^{m/s}$ ۰.۷ است. این درحالی است که سرعت جریان آب در اثر جزر و مد و گردش آب در خلیج فارس در تنگه خوران حداقل ۰.۸ و حداکثر $^{m/s}$ ۲ در یک فرایند اندازه‌گیری شده است.

۵- در طراحی دستگاه، پارامترهایی همچون شناوری و پایایی، سادگی فناوری، آسانی نصب، جابجایی سریع و قابلیت انتقال به ساحل، پائین بودن هزینه ساخت و نگهداری، حفظ محیط زیست و زیبایی منطقه لحاظ گردیده است.

۶- با توجه به عدم تطبیق ساعات اوج مصرف برق با تولید انرژی توسط اینگونه مبدل‌ها، می‌توان از توان تولیدی جهت الکترولیز آب و تولید اکسیژن و هیدروژن نیز استفاده کرد و یا انرژی لازم جهت تولید و پمپاژ آب شیرین به منطقه جهت احیای محیط زیست (حیات جانوری جنگل‌های حرا) را تأمین نمود.

۸- به جای دینام روی دستگاه می‌توان به کمک یک پمپ هیدرولیکی دنده‌ای، روغن هیدرولیکی داخل یک چرخه بسته را

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

به حرکت درآورد و باعث افزایش فشار در یک مخزن فشار هیدرولیکی (آکومولاتور) شد و سپس با تنظیم این فشار در برخورد به توربین ژنراتورها، تولید برق یکنواخت را در هر زمان لازم مهیا نمود.

مراجع

[۱] آزرم سا، سید علی. شفیعی، سیامک. کامیابی گل، رجبعلی.(۱۳۸۶)، تغییرات ماهانه میانگین تراز سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب در ۱۹۹۴، نشریه فیزیک زمین و فضا، دوره۳۴، شماره۲، ص۸۳-۹۶.

[۲] شفیعی فر، مهدی. حسینی، شهاب الدین. (۱۳۷۹)، بررسی هیدرولیک جریان و موج در تنگه خوران، چهارمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، سازمان بنادر و کشتیرانی، بندرعباس ایران.

[۳] صادقی، امین. تجزیه چی، مجتبی. چگینی، وحید. (۱۳۸۸)، مدلسازی هیدرودینامیک تنگه خوران تحت اثر جریانهای جزر و مدی، یازدهمین همایش صنایع دریایی، انجمن مهندسی دریایی ایران، جزیره کیش ایران.

[۴] کرمی خانیکی، علی. ضیائیان، فاطمه. خوجه احمد عطاری، مسعود. (۱۳۸۸)، بررسی جزر و مد در خور ماهشهر به کمک اندازه‌گیری میدانی و مدلسازی عددی، یازدهمین همایش صنایع دریایی، انجمن مهندسی دریایی ایران، جزیره کیش ایران.

[۵] محمدی نائینی، محمد رضا. (۱۳۸۹)، بررسی انرژی تجدیدپذیر حاصل از جریان آزاد آب توسط توربین آبی، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره۱، ص۲۵-۳۸.

[۶] نورانیان اصفهانی، مجید. (۱۳۸۵)، مطالعه و بررسی گردش آب در خور موسی، هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، سازمان بنادر و کشتی رانی، تهران.

[۷] A. I. Ryazanov, ‘‘Analytical study of hydro-pneumatic processes for Gorlov’s power system ‘‘ Journal of Power and Energy, Vol. ۲۰۸, Part. A, January ۱۹۹۴.

[۸] C. J. Lawn,‘‘Technologies for tomorrow’s electric power generation’’ Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. ۲۲۳, Part. C, ۲۰۰۹.

[۹] Kari. Sornes, ‘‘Small-scale Water Current Turbines for River Applications ’’ Journal of Zero Emission Subset Resource Organization environmental Norway., January ۲۰۱۰., www.zero.no

[۱۰] P. L. Fraenkel, ‘‘Marine current turbines: pioneering the development of marine kinetic energy converters’’ Journal of Power and Energy, Vol. ۲۲۱ , Part. A, ۲۰۰۷.

[۱۱] R. Bedard, P.T. Jacobson, M. Previsic, W. Musial, and R. Varley.,‘‘An Overview of Ocean Renewable Energy Technologies ’’ Oceanography journal, Vol. ۲۳, No.۲, pp. ۲۲-۳۱, June ۲۰۱۰.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]