

ارزیابی انرژی گرمایی اقیانوسی جهت تأمین انرژی الکتریکی سکوهای نفت و گاز فراساحلی دریای خزر

سجاد زرشکیان^۱ و داریوش منصوری^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نوره، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نوره، ایران

(دریافت: ۹۸/۷/۶، پذیرش نهایی: ۹۹/۳/۲۰)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی انرژی گرمایی اقیانوسی در مناطق فراساحلی دریای خزر؛ تغییرات قائم دمای آب با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده دمای مقطع قائم سازمان یونسکو و دمای سطحی آب پایگاه داده‌ای مرکز پیش‌بینی هواشناسی میان‌مدت اروپا (ECMWF, European Center for Medium range Weather Forecasting) و همچنین اندازه‌گیری‌های میدانی مقطع قائم دما در مناطق عمیق حوضه جنوبی دریای خزر بررسی شده است. بر این اساس میانگین اختلاف دمای قائم آب به صورت ترموکلاین‌های روزانه، ماهانه، فصلی و دائمی برای داده‌های سازمان یونسکو و اندازه‌گیری‌های میدانی دریای خزر بررسی و امکان استفاده از انرژی گرمایی اقیانوسی در میادین نفت و گاز فراساحلی دریای خزر ارزیابی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند امکان استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی تنها در حوضه جنوبی و در ماه‌های جولای آگوست و سپتامبر میسر است به طوری که قسمت شرقی این حوضه از بیشترین ضریب بهره‌وری جهت استحصال انرژی گرمایی برخوردار است. بررسی روزانه دمای سطح آب و اختلاف دما قائم آن با عمق ۲۰۰ متری دریای خزر در این ماه‌ها نشان می‌دهد که در بهترین شرایط حوضه جنوبی به طور میانگین ۶۴ روز از سال امکان استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی با حداقل اختلاف دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد را دارد. و تنها میادین سردار جنگل، شاه‌دینیز، گانشلی و آذری امکان استحصال این انرژی را به طور میانگین به ترتیب در ۵۴، ۳۴، ۳۱ و ۳۱ روز از سال دارند.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی گرمایی اقیانوسی، ترموکلاین، سکوهای نفت و گاز، دریای خزر.

۱. مقدمه

آنی در محیط رخ می‌دهند به دست می‌آید (تویدل و ویر، ۲۰۰۶). در واقع این تعریف بر مفاهیم فنی و عملیاتی دلالت دارد که باید به تناسب ویژگی‌های هر واحد صنعتی تبیین و تحلیل شود. لذا اولین و مهم‌ترین گام؛ کاوش محیط و شناسایی منابع انرژی پیرامون آن است. در طول دهه گذشته سطوح بالای مصرف انرژی در کنار الزامات قانونی جدیدی که بر استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکزند؛ فرصت بی‌نظیری را در به کارگیری از انرژی سبز، برای کارخانه‌های صنعتی به گونه‌ای عملی و قابل اطمینان پدید آورده‌اند (گزارش انرژی تجدیدپذیر، ۲۰۱۰). به طوری که در سال ۲۰۱۰، تنها ۸ درصد از کل انرژی مصرفی صنایع نفتی ایالات متحده آمریکا از طریق منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شد. اما در حال حاضر بیش از

رشد فزاینده آلودگی به‌ویژه در صنایع نفتی و شیمیایی که همواره بیشترین آلودگی را در سراسر جهان به محیط‌زیست تحمیل کرده‌اند، جوامع انسانی را بر آن داشته تا به سمت فرآیندهای تولید پاک و استفاده منطقی از انرژی روی آورند. به طوری که امروزه انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی را در تولید برق ایفا می‌کنند (مالمدال و همکاران، ۲۰۱۱). منابع تجدیدپذیر، در حقیقت انرژی‌های پایان‌ناپذیر، پاک، بومی و رایگان هستند که مزیت اصلی در بهره‌برداری از آنها، دسترسی بی‌پایان و رهایی از بسیاری از اشکال گازهای مضر و سوخت‌های فسیلی است (گوپال، ۲۰۱۶). در یک تعریف بنیادی، منابع تجدیدپذیر به انرژی‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق جریان‌های طبیعی و مداوم انرژی که به صورت

نیمی از ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر، در تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد (الیورا و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از قابل‌دسترس‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است حدود ۷۰ درصد از انرژی خورشید که به سطح زمین می‌رسد توسط اقیانوس‌ها جذب می‌شود و همین امر سبب گرم‌تر شدن آب سطح اقیانوس نسبت به لایه‌های زیرین‌تر آن می‌شود. از سوی دیگر از آنجا که دمای آب دریا در شب، روز و در فصل‌های مختلف سال به صورت جزئی تغییر می‌کند این نوع انرژی از پایداری بیشتری در مقایسه با دیگر اشکال انرژی خورشیدی برخوردار است و می‌توان از آن به‌عنوان یک سیستم تولید قدرت پایه استفاده کرد. در واقع، یکی از مهم‌ترین شاخص در به‌کارگیری این نوع انرژی، اختلاف دمای میان آب سطح و اعماق است. عامل مهم دیگر مسافت حوزه‌های عمیق آب از ساحل و یا تأسیسات مصرفی فراساحلی است. از آنجا که برق تولیدی باید به این نواحی منتقل شود این مسافت باید تا حد امکان کوتاه باشد (ذبیحیان و فونگک، ۲۰۱۱).

بدین‌منظور ایده استفاده از این انرژی در مناطق فراساحلی جهت تأمین بخشی از انرژی الکتریکی میادین نفت و گاز فراساحلی مطرح شد. مصرف برق یک سکوی فراساحلی، در محدوده‌ای از ۱۰ مگاوات تا ۵۰ مگاوات قرار دارد در حالی‌که این محدوده برای یک سکوی کوچک‌تر بی‌سرنشین، از ۶ تا ۷ مگاوات متغیر می‌باشد (سونسن و همکاران، ۲۰۱۱). لذا بسته به نوع استفاده از سکوها و عمق آب می‌توان آنها را در غالب: (۱) تأسیسات/سکوه‌های حفاری قابل‌حمل و نقل فراساحلی (۲) انواع سکوها و دکل‌های نفت فراساحلی (۳) کرجی‌های حفاری (۴) سکوها/ دکل‌های حفاری شناور (۵) سکوها/دکل‌های حفاری نیمه‌شناور (۶) سکوها/دکل‌ها قابل‌حمل، دسته‌بندی کرد (گوپال، ۲۰۱۶). در مورد صنعت نفت و گاز به‌طور خاص؛ گام اول تعیین و ارزیابی انرژی‌های اولیه موجود در اطراف یک سکوی نظیر باد، موج و تابش خورشید و غیره است که متعاقب آن،

الزامات مصرف نهایی بار الکتریکی مورد نیاز سکوی نظیر اندازه، ویژگی‌های دینامیکی، عملکرد دقیق، دسترسی‌پذیری و قابلیت اطمینان، توسط کارشناسان مهندسی برق و مکانیک تراز می‌شود و در نهایت، عرضه و تقاضای انرژی به‌واسطه فناوری‌های تجاری موجود تطبیق می‌یابد. در واقع این ارزیابی‌های پیچیده و منحصر به فرد به‌مقتضای ویژگی‌ها و شرایط عملیاتی و محیطی هر سکوی صورت می‌پذیرد (الیورا و همکاران، ۲۰۱۲). از این‌رو باد و خورشید، دو منبع انرژی جایگزین ایده‌آل برای تأمین مقادیر نامتناهی از انرژی پاک برای تأسیسات فراساحلی‌اند (گوپال، ۲۰۱۶).

این تحقیق به ارزیابی انرژی گرمایی اقیانوسی در مناطق فراساحلی دریای خزر به‌عنوان منطقه‌ای سرشار از ذخایر سوخت‌های فسیلی، با هدف تأمین بخش از انرژی الکتریکی سکوه‌های نفت و گاز فراساحلی می‌پردازد که در این رابطه دمای سطحی آب در سه حوضه شمالی، میانی و جنوبی دریای خزر با استفاده از داده‌های روزانه سرعت باد پایگاه ERA-Interim متعلق به مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپا ECMWF از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ استخراج و مقطع قائم دمای آب با استفاده از داده‌های سازمان یونسکو بررسی شده است.

۲. مبانی نظری و روش کار

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

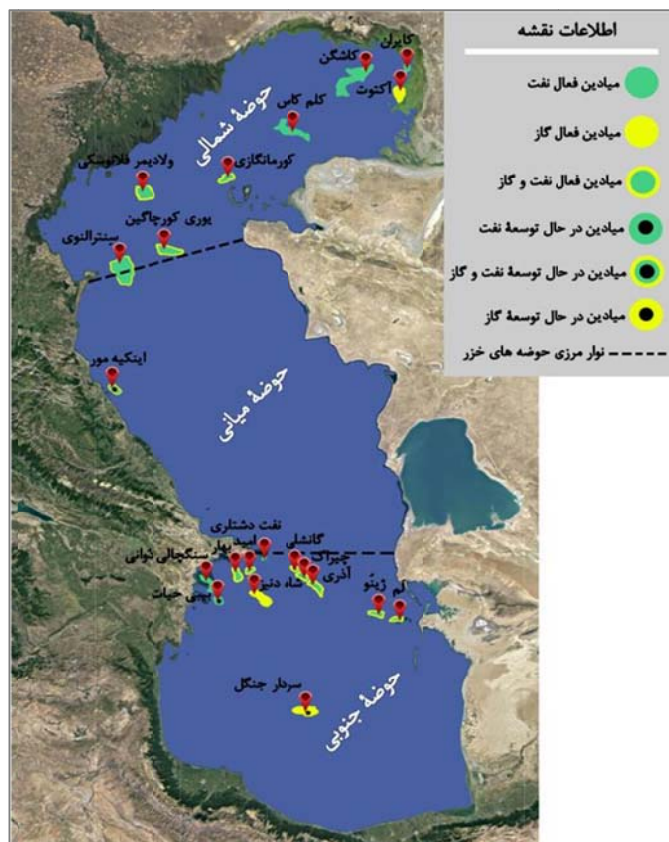
دریای خزر، بزرگ‌ترین بدنه آبی بسته جهان (با داشتن ۴۰ درصد از آب‌های داخلی) با مساحت و حجمی معادل 371000 km^2 و 87200 km^3 از شمال توسط روسیه و قزاقستان، از شرق توسط ترکمنستان، از جنوب توسط ایران و از غرب توسط آذربایجان احاطه شده‌است (رسو و آنی، ۲۰۱۳). تقسیمات خزر، به‌لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناختی و هواشناسی قابل‌توجه است: قسمت شمالی خزر تنها شامل فلات خزر است (کوسارف، ۲۰۰۵). که ویژگی آن عمق بسیار کم این ناحیه است که با میانگین

ذخایر سوخت فسیلی محدود شده در حالی که منافع احتمالی منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر انرژی گرمایی اقیانوسی در مناطق فراساحلی به خوبی مورد بررسی و توجه قرار گرفته نشده است (ذبیحیان و فونگ، ۲۰۱۱).

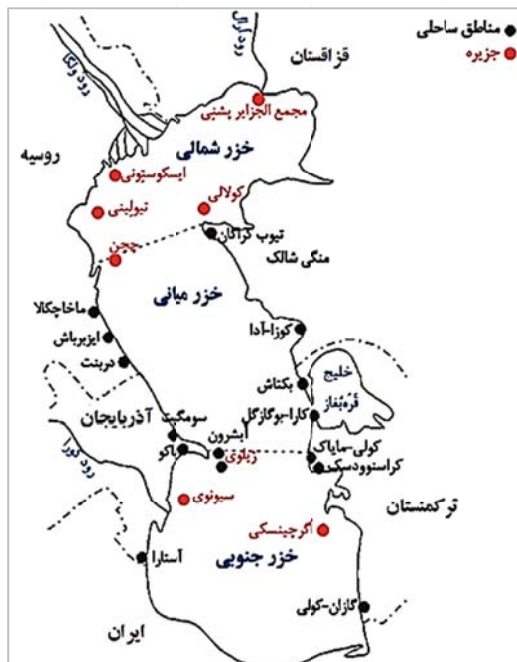
این حوضه آبی به لحاظ فیزیکی نیز به سه منطقه شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می شود (امیراحمدی، ۲۰۰۸). که مطابق شکل ۲ مرز بین دو حوضه شمالی و میانی، آستانه منطقه منگی شالک؛ که از میان جزیره چچن و دماغه تیوب کاراگان می گذرد و مرز میان دو حوضه میانی و جنوبی، آستانه آپشرون؛ که از میان جزیره ژیلوئی و دماغه کوولی می گذرد می باشد (دیمونت، ۲۰۰۸).

عمق بین ۵ تا ۶ متر، تنها ۱ درصد از حجم کل آب دریای خزر را در خود جای می دهد. عمق دریا با حرکت به سمت قسمت های میانی به طور محسوسی زیاد شده و به میانگین ۱۹۰ متر می رسد (دیمونت، ۲۰۰۸). عمیق ترین قسمت خزر بخش جنوبی آن است که در برخی مناطق عمقی بیش از ۱۰۰۰ متر دارد. بخش میانی و جنوبی دریای خزر به ترتیب ۳۳ درصد و ۶۶ درصد از حجم کل آب خزر را شامل می شوند (برنامه محیط زیست خزر، ۲۰۰۸).

دریای خزر را همچنین می توان مهم ترین منبع ذخیره انرژی در نظر گرفت که البته این توجه در حال حاضر به دلیل تعدد پروژه های نفت و گاز فراساحلی در حوضه های شمالی، میانی و جنوبی مطابق شکل ۱ عمدتاً به



شکل ۱. توزیع مکانی میدان استراتژیک نفت و گاز فراساحلی بر اساس تقسیمات فیزیکی دریای خزر.



شکل ۲. تقسیم بندی فیزیکی دریای خزر (دیمونت، ۲۰۰۸).

۲-۲. داده‌های محیطی

به منظور بررسی اختلاف قائم دمای آب دریای خزر از داده‌های اندازه‌گیری میدانی سازمان یونسکو که در سال ۱۹۹۶ در سه حوضه دریای خزر اندازه‌گیری شده، استفاده شده است. و به منظور بررسی تغییرات دمای سطحی آب در ماه‌های مختلف سال به دلیل عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری میدانی در فصل‌های مختلف سال از داده دمای سطحی دریا (Sea Surface Temperature) مدل عددی ECMWF-Era interim, Daily با دقت مکانی ۰/۱۲۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است.

۲-۳. مبانی فیزیکی OTEC

چرخه OTEC از اختلاف دمای میان آب گرم دریا در سطح اقیانوس و آب سرد دریا در عمق برای تولید برق بهره می‌گیرد؛ به این صورت که از آب گرم سطح برای تولید بخار (سیال کاری جهت راندن توربین)؛ و از آب سرد لایه‌های زیرین اقیانوس جهت تغلیظ بخار و اطمینان از این که اختلاف فشار بخار به قدر کافی برای به‌راه افتادن

توربین وجود داشته باشد، استفاده می‌کند (کیم و همکاران، ۲۰۰۹). در عمل دو روش جهت آوردن آب سرد عمق به سطح وجود دارد: روش اول پمپاژ آب و روش دوم نمک‌زدایی آب دریا در همان لایه‌های زیرین آب. در روش دوم به دلیل آن که چگالی آب شیرین کمتر است به صورت خودکار روی سطح آب غوطه‌ور می‌شود (پیلسی و فوجیتا، ۲۰۰۲).

به طور کلی سه تکنیک اساسی برای استخراج انرژی از نیروگاه‌های OTEC به کار گرفته می‌شود که عبارت است از: (۱) چرخه‌باز، (۲) چرخه بسته و (۳) چرخه‌هیبریدی در فرآیند چرخه‌باز از آب دریا به عنوان سیال کاری استفاده می‌شود درحالی‌که ماده سیال کاری در فرآیند چرخه‌بسته، آمونیاک، کلروفلوئوروکربن (CFC, Chlorofluorocarbon) یا پروپان است. چرخه هیبریدی نیز از طرح ترکیبی فرآیندهای چرخه باز و چرخه بسته استفاده می‌کند (لوئیس و همکاران، ۲۰۱۱). خوشبختانه سیستم‌های OTEC در کنار تولید انرژی الکتریکی، ویژگی‌هایی همچون قابلیت تولید آب آشامیدنی (در چرخه باز)، امکان استفاده از آب سرد

آب سرد جهت استفاده به سطح پمپ می‌شود باید عمقی که آب سرد مورد نیاز در دسترس است لحاظ شود که معمولاً عمق کمتر از ۱۰۰۰ متر برای این منظور مناسب ارزیابی می‌شود (شورای انرژی جهانی، ۲۰۰۹؛ پیلسی و فوجیتا، ۲۰۰۲).

$$\eta_{\max} = \frac{T_w - T_c}{T_w} \quad (1)$$

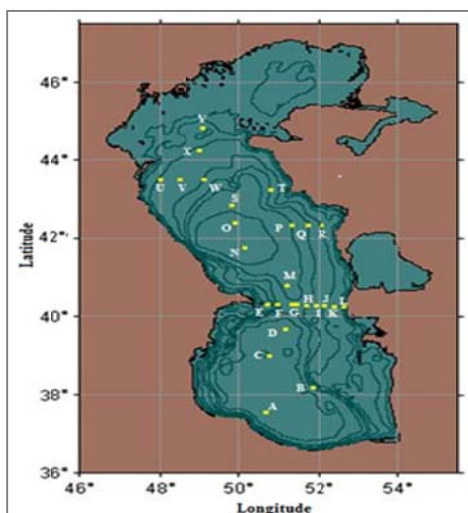
که در آن η_{\max} بیشینه بازدهی است که از اختلاف دمای آب گرم و سرد به دست می‌آید، T_w دمای مطلق آب گرم بر حسب درجه کلوین و T_c دمای آب سرد بر حسب درجه کلوین است (نجفی و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به رابطه ۱ اگر اختلاف دما بین لایه ۲۰۰ متری و سطح دریای خزر، ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای سطحی ۲۷ درجه سانتی‌گراد فرض شود بازده چرخه ایده‌آل (چرخه کارنوت) برابر با ۵/۶ درصد خواهد بود.

۳. یافته‌ها

۳-۱. صحت سنجی داده‌های ECMWF

به منظور نشان دادن دقت داده‌های پایگاه روزانه ERA Interim داده‌های دمای سطح آب این پایگاه در ۲۵ نقطه در سه حوضه دریای خزر مطابق شکل ۳ که اندازه‌گیری میدانی سازمان یونسکو در آن نقاط انجام شده اعتبارسنجی شده است.

خروجی برای سیستم‌های خنک‌کننده هوا، کاربرد آب غنی شده از مواد مغذی در پرورش گیاهان آبی و غذاهای دریایی دارد. افزون بر این؛ از آنجا که آب سرد اعماق دریا حاوی مواد مغذی و ارگانسیم‌های زنده (پلانکتون) است هنگامی که در جریان پروسه به سطح می‌آیند می‌تواند طیف وسیعی از گونه‌های آبی دریایی را جهت تغذیه جذب کند که از این جهت انتظار می‌رود برای توسعه و تجاری‌سازی صنعت ماهی‌گیری سودمند باشد (پیلسی و فوجیتا، ۲۰۰۲). برای سکوهای نفت و گاز فراساحلی به دلیل دور بودن از شبکه آب آشامیدنی استفاده از چرخه باز به دلیل تولید آب آشامیدنی در این چرخه مطلوب است. راه‌اندازی یک نیروگاه OTEC در مقیاس تجاری نیازمند یکی از مهم‌ترین پیش شرط‌های محیطی، یعنی وجود حداقل اختلاف دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد میان لایه سطحی و زیرین آب اقیانوس است (حسین و همکاران، ۲۰۱۷). معمولاً با توجه به اختلاف دمای کمی که میان آب گرم و سرد وجود دارد بازده چنین موتورهایی که از رابطه ۱ به دست می‌آید بسیار پایین است (دورسکی، ۲۰۰۶). لذا برای یک اختلاف دمای کمتر از بیست درجه سانتی‌گراد از آنجا که انرژی مورد نیاز جهت پمپاژ آب بیش از انرژی الکتریکی معادل تولید شده است نمی‌توان از این نوع انرژی به عنوان یک منبع تجدیدپذیر اثربخش استفاده کرد. افزون بر این از آنجا که

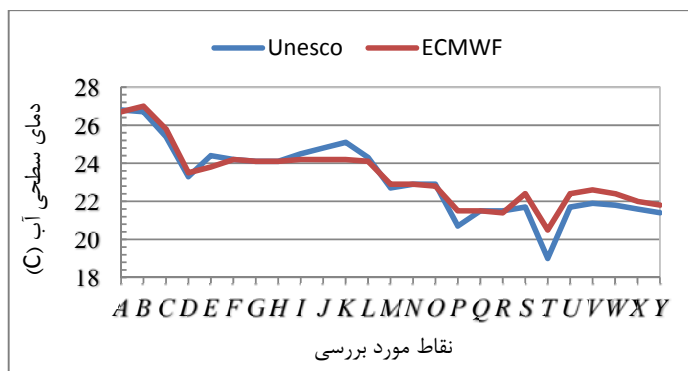


شکل ۳. مناطق اندازه‌گیری شده سازمان یونسکو.

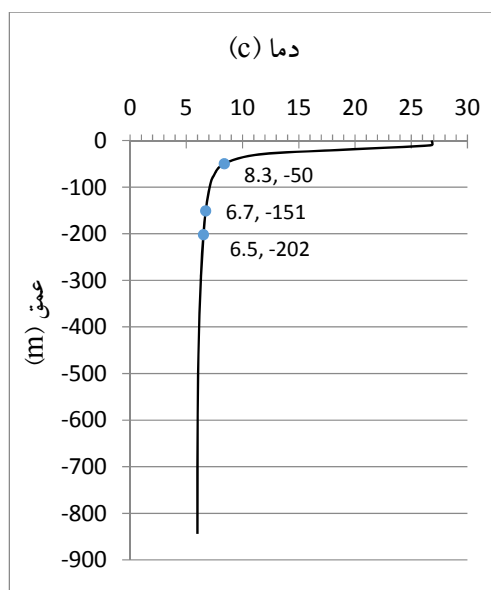
شناسایی مناطقی که اختلاف دمای قائم آب به ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد ابتدا از داده‌های اندازه‌گیری میدانی سازمان یونسکو که کل سه حوضه دریای خزر را پوشش می‌دهد استفاده شده است. در شکل ۱ مناطقی از خزر که توسط این سازمان اندازه‌گیری میدانی شده نشان داده شده است. با رسم مقطع قائم دما آب برای ۲۵ نقطه اندازه‌گیری شده میدانی سازمان یونسکو تنها در نقاط A واقع در عرض جغرافیایی ۳۷/۵۵۰ و طول جغرافیایی ۵۰/۶۹۲ و B واقع در عرض جغرافیایی ۳۸/۱۷۰ و طول جغرافیایی ۵۱/۸۵۳ اختلاف دمای مطلوب برای استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی مشاهده شده است که مقطع قائم دمای آنها در شکل‌ها (۵ و ۶) آورده شده است.

در شکل ۴ داده‌های دمای سطحی آب سایت ECMWF با داده‌های اندازه‌گیری میدانی سازمان اتمی یونسکو در ۲۵ نقطه از A تا Y در سه حوضه دریای خزر مقایسه و ضریب همبستگی آن محاسبه شده است. مطابق شکل ۴ داده‌های دمای سطح آب سایت ECMWF با ضریب همبستگی ۰/۹۷۱ دارای دقت مطلوبی است بنابراین می‌توان در زمان‌های که اندازه‌گیری میدانی وجود ندارد از داده‌های این سایت استفاده کرد.

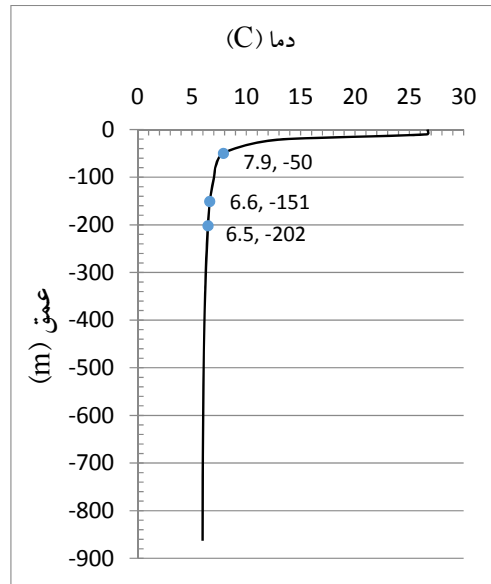
۲-۳. ارزیابی مقطع دمای قائم داده‌های اندازه‌گیری سازمان یونسکو
به‌منظور بررسی مقطع قائم دمای آب دریای خزر برای



شکل ۴. مقایسه دمای سطحی آب ECMWF با داده‌های اندازه‌گیری سازمان یونسکو.



شکل ۵. مقطع قائم دمای آب در نقطه A.



شکل ۶. مقطع قائم دمای آب در نقطه B.

است، می‌رسد.

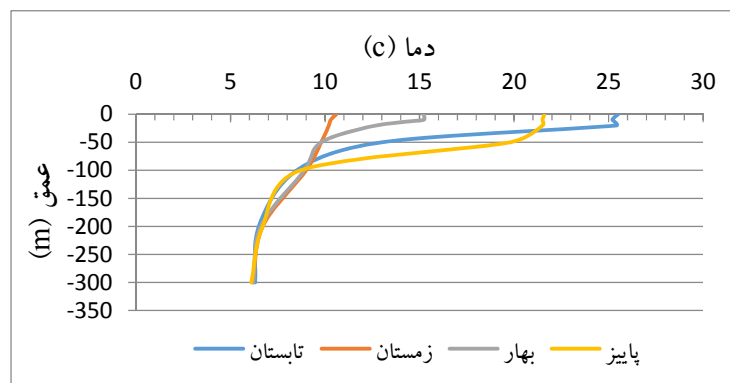
۳-۳. بررسی فصلی ترموکلاين در حوضه جنوبي دریای خزر

به منظور بررسی ترموکلاين در حوضه جنوبي دریای خزر چهار نقطه در حوضه جنوبي که موقعیت آنها در جدول ۱ آورده شده، بررسی و مقطع قائم دمایی آنها به وسیله اندازه‌گیری میدانی در شکل‌های ۷ تا ۱۰ آورده شده است.

مطابق شکل‌های ۵ و ۶ در ۱۰ متر اول لایه آمیخته مشاهده می‌شود زیرا با افزایش عمق تغییراتی در دمای آب ایجاد نمی‌شود، از عمق ۱۰ متر تا ۶۰ متر شاهد لایه ترموکلاين خواهیم بود که با تغییر عمق دمای آب به طور محسوسی کاهش می‌یابد. به طوری که با افزایش عمق به میزان ۵۰ متر دمای آب ۱۸/۸ درجه کاهش می‌یابد. این کاهش دما با افزایش عمق با شیبی بسیار کم به نسبت لایه ترموکلاين اتفاق می‌افتد به طوری که در عمق ۱۵۱ متر اختلاف دما به ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد که مناسب OTEC

جدول ۱. موقعیت مکانی نقاط بررسی شده مقطع قائم دمای آب در حوضه جنوبي.

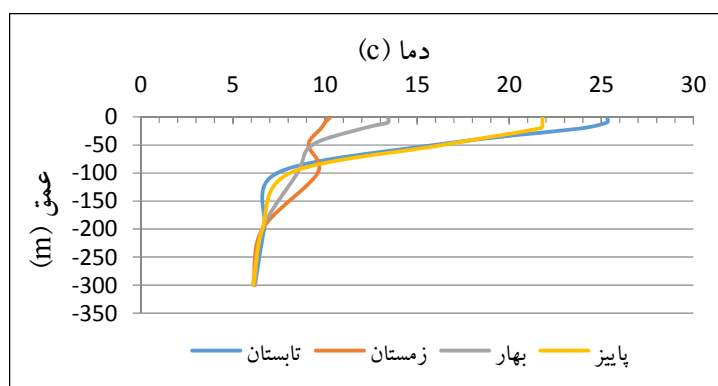
نقاط	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۵۲/۳۹	۳۶/۵۴
۲	۵۱/۳۰	۳۶/۴۷
۳	۵۰/۳۷	۳۷/۰۹
۴	۵۲/۴۱	۳۷/۱۴



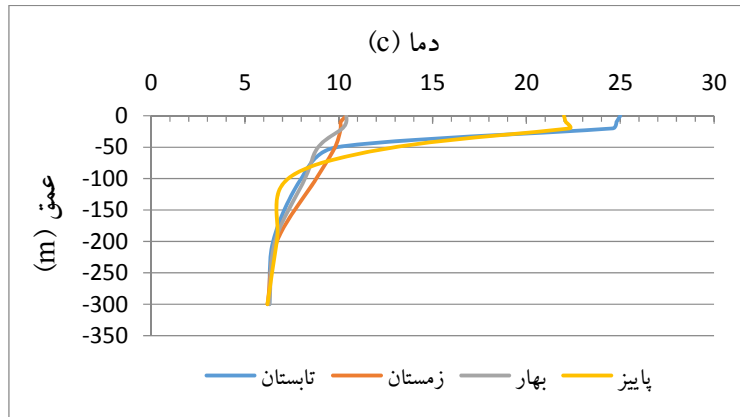
شکل ۷. مقطع قائم فصلی دما آب در نقطه ۱ واقع در حوضه جنوبی.

همان‌طور که در شکل ۸ می‌توان مشاهده کرد در فصل بهار از عمق ۱۰ تا ۶۰ متری ۵ الی ۶ درجه کاهش دما داریم بنابراین می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در بهار را داد. با بررسی نمودار مربوط به فصل تابستان می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین را در عمق ۲۰ تا ۱۰۰ متری مشاهده کرد. در فصل پاییز از عمق ۲۰ تا ۱۱۰ متری دما به شدت کاهش می‌یابد که می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در پاییز را داد. در فصل زمستان نیز از سطح تا عمق ۲۰۰ متری تغییرات دمایی به صورت نامنظم رخ می‌دهد و از این عمق به بعد دما تقریباً ثابت می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۷ می‌توان مشاهده کرد در فصل بهار از عمق ۱۰ تا ۶۰ متری ۶ درجه کاهش دما داریم بنابراین می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در بهار را داد. با بررسی نمودار مربوط به فصل تابستان می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین را در عمق ۲۰ تا ۵۰ متری مشاهده کرد. در فصل پاییز از عمق ۲۰ تا ۱۰۰ متری دما به شدت کاهش می‌یابد که می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در پاییز را داد. در فصل زمستان نیز از سطح تا عمق ۲۰۰ متری کاهش اندک و تدریجی دما رخ می‌دهد و از این عمق به بعد دما تقریباً ثابت است.



شکل ۸. مقطع قائم فصلی دما آب در نقطه ۲ واقع در حوضه جنوبی.

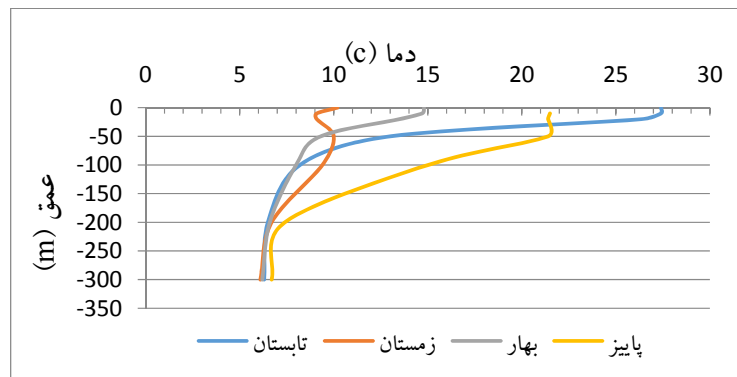


شکل ۹. مقطع قائم فصلی دما آب در نقطه ۳ واقع در حوضه جنوبی.

مشاهده کرد. در فصل پاییز از عمق ۲۰ تا ۸۵ متری دما به شدت کاهش می‌یابد که می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در پاییز را داد. در فصل زمستان نیز از سطح تا عمق ۲۰۰ متری تغییرات دمایی به صورت نامنظم رخ می‌دهد و از این عمق به بعد دما تقریباً ثابت می‌شود. نکته حائز اهمیت در بررسی فصلی مقطع قائم دمای آب در شکل‌های ۵ تا ۱۰ که در مناطق عمیق حوضه جنوبی قرار دارد نشان می‌دهد که دمای عمق ۲۰۰ متر به مقدار ثابت ۶/۵ الی ۷ درجه سانتی‌گراد در تمامی فصل‌های سال می‌رسد و در عمق‌های پایین‌تر به‌ازای افزایش عمق دمای آب تغییرات چشمگیری ندارد (شیعه و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو جهت استخراج منبع آب سرد برای نیروگاه OTEC باید از عمق ۲۰۰ متری دریای خزر که دمای آب استفاده کرد. در ادامه دمای سطحی آب به‌عنوان منبع آب گرم مورد بررسی قرار گرفته شده است.

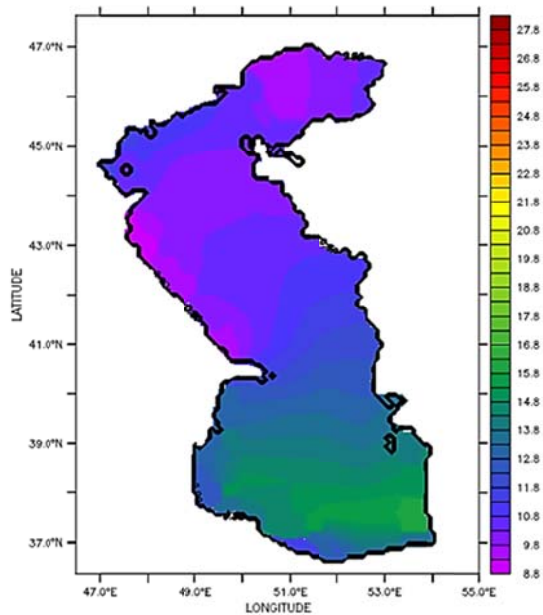
همان‌طور که در شکل ۹ می‌توان مشاهده کرد در فصل بهار از عمق ۱۰ تا ۵۰ متری اندکی کاهش دما داریم که این کاهش دما با شدت کمتری تا عمق ۲۰۰ متری ادامه دارد. با بررسی نمودار مربوط به فصل تابستان می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین را در عمق ۲۰ تا ۵۵ متری مشاهده کرد. در فصل پاییز از عمق ۲۰ تا ۸۰ متری دما به شدت کاهش می‌یابد که می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در پاییز را داد. در فصل زمستان نیز از سطح تا عمق ۲۰۰ متری کاهش اندک و تدریجی دما رخ می‌دهد و از این عمق به بعد دما تقریباً ثابت است.

همان‌طور که در شکل ۱۰ می‌توان مشاهده کرد در فصل بهار از عمق ۱۰ تا ۲۵ متری ۶ درجه کاهش دما داریم بنابراین می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین در بهار را داد این کاهش دما با شدت کمتری تا عمق ۲۰۰ متر ادامه دارد. با بررسی نمودار مربوط به فصل تابستان می‌توان احتمال تشکیل لایه ترموکلاین را در عمق ۲۰ تا ۵۵ متری

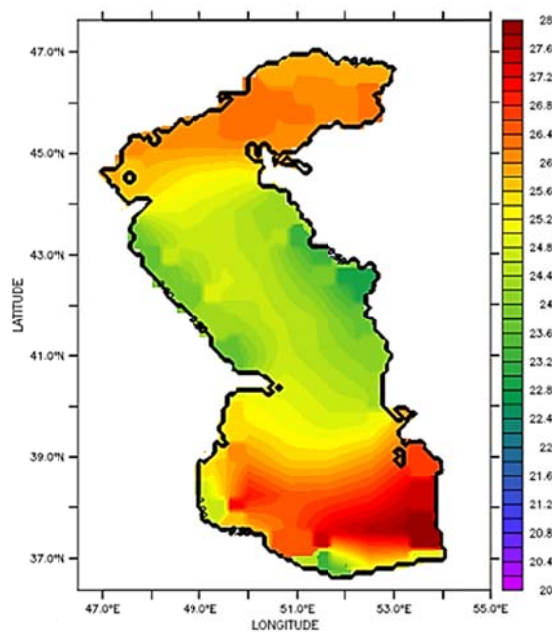


شکل ۱۰. مقطع قائم فصلی دما آب در نقطه ۴ واقع در حوضه جنوبی.

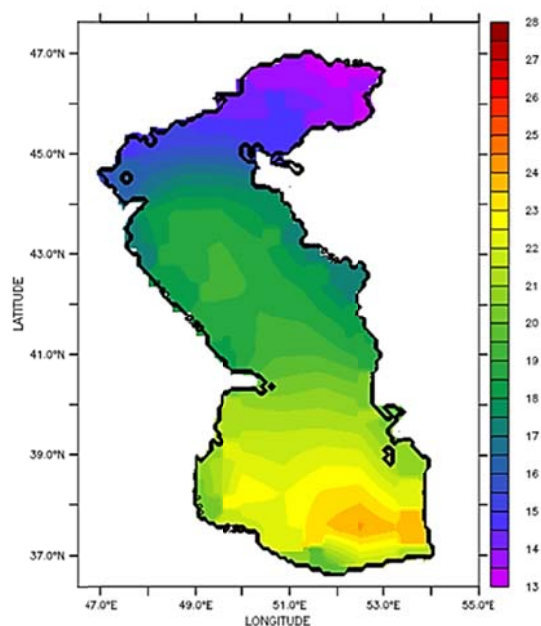
۳-۴. بررسی فصلی دمای سطحی آب دریای خزر به منظور بررسی انرژی گرمایی اقیانوسی در مناطق فراساحلی در سه حوضه دریای خزر، میانگین فصلی دمای سطح آب در ۱۰ سال با بررسی این پدیده تجدیدپذیر از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ رسم شده است.



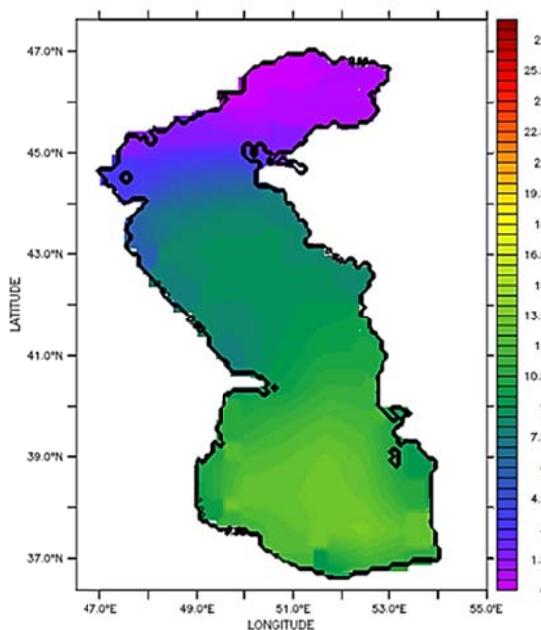
شکل ۱۱. میانگین دمای سطحی آب در فصل بهار بر حسب (°C).



شکل ۱۲. میانگین دمای سطحی آب در فصل تابستان بر حسب (°C).



شکل ۱۳. میانگین دمای سطحی آب در فصل پاییز بر حسب ($^{\circ}\text{C}$).



شکل ۱۴. میانگین دمای سطحی آب در فصل زمستان بر حسب ($^{\circ}\text{C}$).

زمستان در رتبه‌های بعدی جای دارند. بنابراین انتظار می‌رود تنها در فصل تابستان اختلاف دمای ۲۰ درجه بین سطح و عمق آب (با توجه به ۶/۵ الی ۷ درجه سانتی‌گراد شدن دمای آب در عمق ۲۰۰ متر) که مورد نیاز نیروگاه های OTEC است در دریای خزر مشاهده شود.

در جدول ۲ میانگین فصلی دمای سطح آب در فصل‌های سال به تفکیک هر حوضه با بررسی این داده از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ آورده شده است.

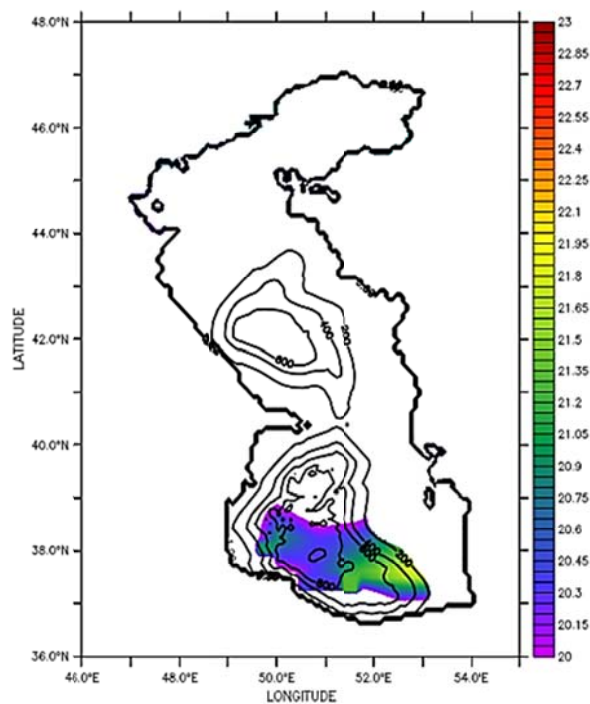
همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بیشینه میانگین فصلی دمای سطح آب در سه حوضه دریای خزر در فصل تابستان رخ می‌دهد و فصل‌های پاییز، بهار و

جدول ۲. میانگین فصلی دمای سطحی آب در سه حوضه دریای خزر.

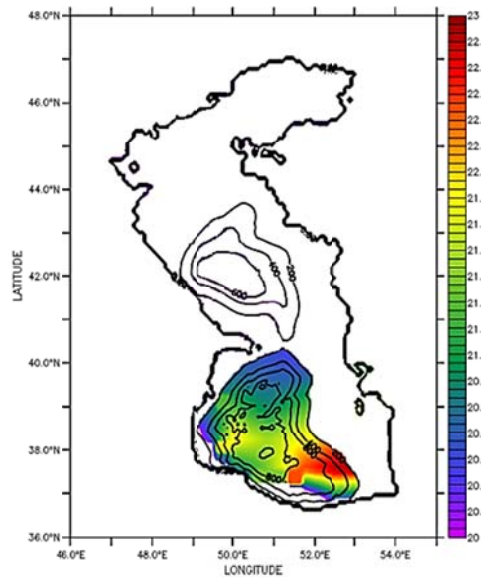
دمای سطحی آب (°C)			فصل‌ها
حوضه شمالی	حوضه میانی	حوضه جنوبی	
۱۰/۵	۱۰/۴	۱۴/۲	بهار
۲۵/۹	۲۴/۲	۲۶	تابستان
۱۴/۴	۲۰/۲	۲۱/۹	پاییز
۲/۱	۹/۷	۱۳/۸	زمستان

بیشتر برسد، که این امر با توجه به دمای سطحی دریای خزر تنها در فصل تابستان امکان‌پذیر خواهد بود. بر این اساس در شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ مکان‌هایی از دریای خزر که میانگین ماهانه اختلاف دمای قائم در آنها تا عمق ۲۰۰ متر به حداقل ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، نشان داده شده است.

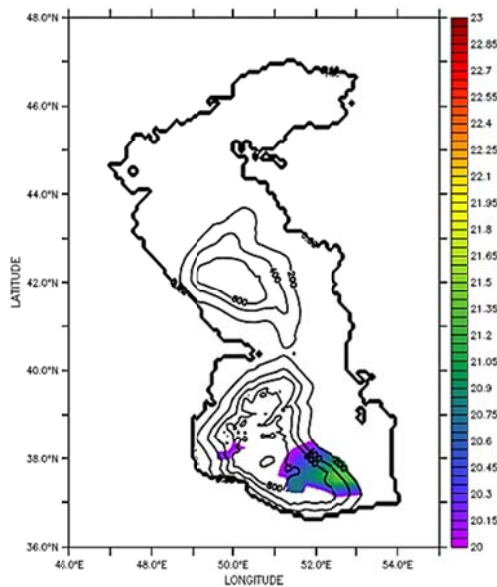
۳-۵. شناسایی مکان‌های مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی گرمایی اقیانوسی جهت شناسایی مکان مناسب برای استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی در دریای خزر نیاز به شناسایی مکان‌هایی خواهیم داشت که اختلاف دمای بین سطح و عمق ۲۰۰ متر به ۲۰ درجه سانتی‌گراد و یا



شکل ۱۵. اختلاف دمای قائم آب تا عمق ۲۰۰ متر بر حسب (°C) در ماه جولای.



شکل ۱۶. اختلاف دمای قائم آب تا عمق ۲۰۰ متر بر حسب ($^{\circ}\text{C}$) در ماه آگوست.



شکل ۱۷. اختلاف دمای قائم آب تا عمق ۲۰۰ متر بر حسب ($^{\circ}\text{C}$) در ماه سپتامبر.

گرمایی اقیانوسی استفاده کرد.

۳-۵. ارزیابی میدانی فراساحلی دریای خزر

به منظور استفاده از انرژی گرمایی اقیانوسی برای میدانی نفت و گاز فراساحلی، تنها میدانی سردار جنگل در طول جغرافیایی $51^{\circ}3'$ و عرض جغرافیایی $38^{\circ}5'$ ، شاه‌دیز در طول جغرافیایی $50^{\circ}4'$ و عرض جغرافیایی $39^{\circ}8'$ ، گانشلی در

با توجه به میانگین‌های ماهانه در ماه‌های گرم سال در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر تنها در بخش‌های از حوضه جنوبی امکان استفاده بهینه از انرژی گرمایی اقیانوسی مشاهده می‌شود. نتیجه بررسی روزانه اختلاف دمای قائم آب دریای خزر در چهار ماه جون، جولای، آگوست و سپتامبر نشان می‌دهد که قسمت شرقی حوضه جنوبی دریای خزر ۶۴ روز در سال می‌توان از انرژی

سال متوالی و دمای عمق ۲۰۰ متری دریای خزر که برابر با ۶/۵ الی ۷ درجه سانتی‌گراد در فصل‌های مختلف سال ثابت است نشان می‌دهد که تنها در حوضه جنوبی آن هم در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر امکان استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی وجود دارد به طوری که قسمت شرقی این حوضه از بیشترین ضریب بهره‌وری جهت استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی برخوردار است.

بررسی‌های میانگین روزانه اختلاف دما در این ماه‌ها نشان می‌دهد که در شرق حوضه جنوبی ۶۴ روز از سال امکان استحصال انرژی گرمایی با اختلاف دمای قائم ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا عمق ۲۰۰ متری وجود دارد. و تنها میادین سردار جنگل، شاه‌دیز، گانشلی و آذری امکان استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی را به طور میانگین در ۵۴، ۳۴، ۳۱ و ۳۱ روز از سال دارند. نکته حائز اهمیت در مورد دریای خزر که آن را از دیگر حوضه‌های آبی جهان متمایز می‌کند این است که منبع آب سرد در این دریا جهت استحصال انرژی گرمایی اقیانوسی در عمق ۲۰۰ متری قابل برداشت است، این در حالی است که در مناطق دیگر جهان منبع آب سرد باید از عمق ۱۰۰۰ متر پمپ شود. این ویژگی باعث افزایش راندمان نیروگاه OTEC در دریای خزر می‌شود.

با توجه به این که انرژی گرمایی اقیانوسی در دریای خزر تنها در حوضه جنوبی آن هم در روزهای محدودی از فصل تابستان قابل استفاده است استحصال انرژی باد و موج در ماه‌های سرد سال به عنوان یک منبع تجدیدپذیر برای سکوهای نفت و گاز فراساحلی در سه حوضه دریای خزر پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- Amirahmadi, H., 2008, The Caspian Region at a crossroad: challenges of a new frontier of energy and development. UK: Palgrave Macmillan; 320.
- Annual Energy Review (AER), 2010, U.S. Energy Information Administration. Available at: <http://www.eia.gov/aer/>. Accessed October 15, 2011.
- Caspian Environment Program (CEP), 2008, General

طول جغرافیایی ۵۱/۱ و عرض جغرافیایی ۴۰/۲ و آذری در طول جغرافیایی ۵۱/۳ و عرض جغرافیایی ۴۰/۰۵ واقع در حوضه جنوبی دریای خزر امکان استفاده از انرژی گرمایی اقیانوسی را دارد. در جدول ۳ میانگین روزهایی که در ماه‌های گرم سال می‌توان از این انرژی با اختلاف دمای قائم بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد در موقعیت میادین استفاده کرد با بررسی ۱۰ ساله پتانسیل انرژی گرمایی اقیانوسی در موقعیت میادین آورده شده است.

جدول ۳. میانگین روزهایی که امکان استفاده از انرژی گرمایی در موقعیت میادین وجود دارد.

میدان	تعداد روزهای مناسب استحصال OTEC			
	جولای	آگوست	سپتامبر	کل سال
سردار جنگل	۱۹	۲۸	۷	۵۴
شاه دیز	۱۰	۲۱	۳	۳۴
گانشلی	۸	۲۱	۲	۳۱
آذری	۸	۲۱	۲	۳۱

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های روزانه دمای سطح آب دریای خزر پایگاه ECMWF-ERA Interim با دقت مکانی ۰/۱۲۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته، برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ و داده‌های اندازه‌گیری میدانی مقطع قائم دمای آب سازمان یونسکو در سه حوضه دریای خزر و همچنین اندازه‌گیری‌های میدانی مقطع قائم دما در مناطق عمیق حوضه جنوبی دریای خزر، پتانسیل انرژی گرمایی اقیانوسی دریای خزر ارزیابی و میادین نفت و گازی که امکان بهره‌برداری از این انرژی را دارند شناسایی شد. نتایج بررسی میانگین ماهانه دمای سطح آب دریای خزر در ۱۰ background of the Caspian Sea. Available at: http://www.ssmi.com/qscat/seawinds_data_monthly.html/.

- Dumont, H. J., 2008 Aquatic invasions in the Black, Caspian, and Mediterranean seas (nato science series). Kluwer Academic Publisher. US: Kluwer Academic. 314.
- Dworsky R. 2006, A warm bath of energy-ocean

- thermal energy conversion. Available at: <https://www.resilience.org/stories/2006-06-07/warm-bath-energy-ocean-thermal-energyconversion>.
- Gopal, N., 2016, Use of Hywind in Oil and Gas Platforms to Reduce CO₂ and NO_x Gas Emission. Master Thesis, Retrieved from Technology.
- Hussain, A., Arif, S.M. and Aslam, M., 2017, Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 71(C), 12-28. doi: /10.1016/j.rser.2016.12.033.
- Kim, N.J., Ng, K.C. and Chun, W. 2009, Using the condenser effluent from a nuclear power plant for Ocean Thermal Energy Conversion [OTEC]. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 36(10), 1008–1113. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.08.001.
- Kosarev, A. N., 2005, *Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Hdb Env Chem, 5, 5-31.
- Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T. and Torres-Martinez, J. 2011, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; Chapter 6, Ocean Energy.
- Malmedal, K., Sen, P. K. and Candelaria, J., 2011, *Electrical Energy and the Petro-Chemical Industry: Where are we going?* Paper presented at IEEE 58th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference, Toronto, Canada.
- Najafi, A., Rezaee, S. and Torabi, F. 2012, Sensitivity Analysis of A Closed Cycle Ocean Thermal Energy Conversion Power Plant. *Proceedings of the Renewable Energy and Distributed Generation Confrence*; 6-8. doi: 10.1109/ICREDG.2012.6190461.
- Oliveira, M. F., Saidel, M. A., Queiroz, A. R. S. and Filho, E. N. 2012, Renewable sources at offshore petroleum and gas production platforms. Paper presented at IEEE 59th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference. Chicago USA.
- Pelc, R. and Fujita, R.M., 2002, Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*. 26(6), 471–479. doi:10.1016/S0308-597X (02)00045-3.
- Rusu, E. and Onea, F. 2013, Evaluation of the wind and wave energy along the Caspian Sea. *Journal of Energy*. 50:1-14.
- Shiea, M., Nasimi, S. and Valipour, A., 2018, Ocean thermal energy estimate in the southeastern of Caspian sea: A numerical study. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 47(8):1581-1586.
- Svendsen, H. G., Hadiya, M., Veirød Øyslebø, E. and Uhlen, K., 2011, Integration of offshore wind farm with multiple oil and gas platforms. *Proceedings of the IEEE Trondheim PowerTech*, Trondheim, Norway.
- Twidell, J. and Weir, T., 2006, *Renewable Energy Resources*. 2nd ed. London (UK): Taylor and Francis, 464.
- World Energy Council (WEC), 2009, *Survey of Energy Resources Interim Update 2009*. London: WEC; 98p.
- Zabihian, F. and Fung, A. S., 2011, Review of marine renewable energies: Case study of Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15, 2461–2474.

Evaluation of ocean thermal energy for supplying the electric power of offshore oil and gas platforms

Zershakian, S.¹ and Mansoury, D.^{2*}

1. M.Sc. Student, Department of Physical Oceanography, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Assistant Professor, Department of Physical Oceanography, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

(Received: 28 Sep 2019, Accepted: 9 June 2020)

Summary

The Caspian Sea, the world's largest enclosed body of water, covers an area and volume of 371,000 km² and 87,200 km³, respectively, and limited to the north by Russia and Kazakhstan, to the east by Turkmenistan, to the south by Iran, and to the west by Azerbaijan. The Caspian Sea can be considered the most important source of energy storage, although this focus is currently limited to fossil fuel reserves due to the multitude of offshore oil and gas projects in the North, Middle and South basins, while the potential benefits of renewable energy sources such as Oceanic thermal energy in offshore areas has not been well studied. The present study seeks to evaluate the ocean thermal energy in the offshore regions of the Caspian Sea and examine the vertical variations of water temperature using UNESCO data and ECMWF water surface temperature database. Accordingly, the mean water temperature difference has been investigated as daily, monthly and seasonal across the permanent thermocline for the Caspian Sea using Pyferret software and the possibility of the use of ocean thermal energy in offshore oil and gas fields has been evaluated. In order to show the accuracy of the ERA Interim, Daily database data, its surface water temperature data at 25 points in three Caspian basins were validated according to UNESCO field measurements at those sites. Trends of changes between the Unesco and ECMWF data are in good agreement, including in the eastern part of the Caspian Sea basin, indicating a upwelling phenomenon in this region. In general, ECMWF site surface water temperature data with a correlation coefficient of 0.971 have good accuracy. Therefore, due to the lack of field measurement data, ECMWF site data for Caspian surface water temperature can be used. To study the temperature profile of the Caspian Sea to identify areas where the vertical water temperature difference reaches 20 ° C. First, UNESCO field measurement data covering all three Caspian basins were used. By plotting temperature profiles for 25 UNESCO field measured points only at points A and B, respectively, at geographical locations 37.550 N, 50.692 E, 38.380 N and 51.853 E, the eligible temperature difference for oceanic thermal energy extraction was observed. Examining all points in the deep areas shows that the water temperature reaches 6.5 to 7 ° C at 200 m depth, and at lower depths there is no significant change in water depth. Therefore, the OTEC needs to check the water temperature in the upper layers of water. The findings show that ocean thermal energy can be extracted only from the southern basin during July and September, so that the eastern part of the southern basin has the highest coefficient for thermal energy extraction. Daily monitoring of the vertical variations of water temperature in these months shows that in the best conditions of the southern basin, it is possible to obtain the ocean thermal energy with a minimum temperature of difference 20°C, 64 days a year, and only Sardar, Shahdeniz, Ganeshli and Azeri fields have the possibility of obtaining this energy for 54, 34, 31 and 31 days of the year, respectively.

Keywords: Renewable energy; Ocean thermal energy; Thermocline; Oil and gas platforms; the Caspian Sea.

* Corresponding author:

mansoury@modares.ac.ir