

بررسی عوامل جوی تأثیرگذار در نوسانات سطح تراز آب دریای کاسپین از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲

مه‌ریار علی محمدی^{۱*}، ارسلان قلی نژاد^۲، هادی نجاری کهنوج^۳، علی محمدی^۴، احمد ذاقق آبادی^۵

۱- استادیار گروه هواشناسی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر

۲- کارشناس ارشد پدافند غیر عامل، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر

۳- کارشناسی ارشد مدیریت ناوبری و علوم دریایی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر

۴ و ۵- استادیار گروه هواشناسی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر

چکیده

نوسانات سریع سطح تراز آب دریای کاسپین نقش مهمی در تعیین میزان مخاطرات فرسایشی، پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی، تخریب و خشک شدن مناطق ساحلی، تالاب‌ها و خلیج‌های کناره‌ای و از بین رفتن منابع اقتصادی و تخریب صنایع دریایی دارد. هدف از این تحقیق بررسی عوامل جوی تأثیرگذار بر سطح تراز آب دریای کاسپین می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ECMWF از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ که شامل میزان بارش بر روی دریای کاسپین، میزان تبخیر از روی آن و میانگین دمای سطح دریای کاسپین می‌باشد به بررسی عوامل تأثیرگذار در نوسانات سطح آب دریای خزر پرداخته شد. جهت تعیین میزان دبی ورودی آب رودخانه‌ها به دریای کاسپین از منابع کتابخانه‌ای معتبر استفاده گردید. داده‌های نوسانات دریای کاسپین از سازمان بنادر دریافت گردید. نتایج نشان می‌داد که میزان بارش بر روی دریای کاسپین روند کاهشی و از طرف دیگر میزان تبخیر از روی دریای خزر روند صعودی دارد. علت اصلی روند افزایشی تبخیر از روی دریای کاسپین، روند افزایشی دمای سطح دریا می‌باشد که در طول ۳۰ سال حدود ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد. دبی آب رودخانه ولگا روند کاهشی را نشان می‌دهد که دلیل آن میزان روند کاهشی بارش می‌باشد. به‌عنوان یک نتیجه کلی، تغییرات اقلیمی باعث کاهش بارش، افزایش دما و افزایش تبخیر و نهایتاً کاهش سطح دریای کاسپین می‌باشد، بطوریکه این روند تا سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت.

کلید واژه‌ها: دریای کاسپین، سطح تراز، بارش، تبخیر، دمای سطح دریا.

مقدمه

دریای کاسپین به عنوان بزرگترین دریاچه جهان، در گذر سال‌ها دست‌خوش تغییراتی شده است. یکی از این موارد تغییراتی است که در تراز سطحی این دریاچه اتفاق افتاده است. تراز سطحی نقش مهمی در هر پهنه آبی بازی می‌کند و کمیت مهمی در سنجش تغییرات اقلیم است. این مهم بیش‌ازپیش دارای اهمیت می‌شود هنگامی که حوزه مورد بحث پهنه بسته‌ایی چون دریای کاسپین باشد؛ زیرا که نوسانات تراز سطحی در آن ۱۰۰ برابر اقیانوس‌ها است (بابا گلی متی کلائی، ۱۳۹۷).

از سال ۱۸۳۵ میلادی که اولین مشاهدات آبنگاری در دریای کاسپین صورت گرفت تاکنون سطح تراز بین سطوح ارتفاعی ۲۵- تا ۲۹- متر نسبت به دریای بالتیک یعنی به میزان ۴ متر نوسان داشته است (علی‌نژاد تبریزی و خوشروان، ۱۳۹۶). نتایج منصوری (۱۴۰۰) و خشتابه و همکاران (۱۴۰۲) نشان می‌دهد که تغییرات خط ساحلی دریای کاسپین به واسطه نوسانات سطح آب دست‌خوش تغییراتی شده است. نوسانات سریع سطح تراز آب دریای کاسپین نقش مهمی در تعیین میزان مخاطرات فرسایشی، پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی، تخریب و خشک شدن مناطق ساحلی، تالاب‌ها و خلیج‌های کناری و از بین رفتن منابع اقتصادی و تخریب صنایع دریایی خواهد شد. بررسی ذخیره‌گاه‌های زیست‌محیطی کره زمین در حاشیه دریای کاسپین از جمله خلیج گرگان از مهم‌ترین چالش‌های حاضر متأثر از نوسانات تراز سطح آب دریای کاسپین است. اثرات تغییرات اقلیم دریای کاسپین موجب شده که دانشمندان زیادی موضوعات پژوهشی و علمی در ارتباط با تغییر اقلیم را به‌منظور رسیدن به اهدافشان در پیش گیرند. این مطالعات برای تعیین دما، تبخیر، شوری، فشار، چگالی، جهت باد، سرعت باد و پدیده‌های مرتبط دیگر انجام می‌شوند (ایمانی و همکاران، ۲۰۱۴). هدف پژوهش حاضر بررسی عوامل جوی تأثیرگذار بر سطح تراز آب دریای کاسپین با استفاده از داده‌های ECMWF است.

پیشینه تحقیق

خوشروان و وفایی (۱۳۹۵) در پژوهشی به نوسانات سطح تراز آب دریای خزر (گذشته، حال و آینده) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد در صورت تداوم روند گرمایش زمین تخمین زده

می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ سطح تراز آب دریای خزر بیش از ۳/۵ متر کاهش یابد. چن و همکاران (Chen et al, 2017) به بررسی تغییرات سطح آب دریای کاسپین در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۷۹ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد افزایش نرخ تبخیر نقش اساسی در کاهش سطح دریای کاسپین داشته است و انتظار می‌رود کاهش کنونی سطح دریای خزر در آینده قابل پیش‌بینی، تحت سناریوهای گرمایش جهانی ادامه یابد. دای و همکاران (Dai et al, 2018) عامل اصلی خشکسالی و کاهش تراز سطح آب دریاچه‌های بسته را تغییرات اقلیمی و افزایش نرخ تبخیر شناسایی کردند. گینزبرگ و گوستانو (Ginzburg & Kostyanoy, 2018) به بررسی تغییرات تراز سطح آب دریای کاسپین در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۷ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد تراز سطح آب دریای کاسپین در طول این مدت حدود ۱ متر کاهش داشته است. خیراله‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب دریای خزر با استفاده از آنالیز طیفی داده‌های تایید گیج ساحلی پرداختند. آن‌ها از داده‌های ایستگاه جذرومدسنج نکا که ۲۴۲۹ روز بوده که حدود ۶.۵ سال داده (از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ میلادی) استفاده کردند. نتایج آن‌ها کاهش سالانه ۱۵.۷۷- سانتی متر آب دریای خزر را نشان می‌داد. ثروتی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی مدل‌های واکنش ژئومورفولوژیکی خطوط ساحلی جزیره سدی میانکاله نسبت به نوسانات سریع تراز دریای خزر پرداختند. در این راستا، از تصاویر ماهواره Landsat سری سنجنده‌های ۴، ۵، ۷ و ۸، نقشه‌های تاریخی، توپوگرافی و بازدیدهای میدانی متعدد استفاده شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های آماری نوسانات تراز دریا نشان می‌داد تراز دریا از سال ۱۳۷۴ تاکنون وارد مرحله پسروی شده و حدود ۱/۵ متر کاهش یافته است. نرخ پسروی و کاهش سطح تراز بین سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۴ حدود ۶/۸ سانتی متر در سال محاسبه گردید. عطایی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به تغییرات طولانی‌مدت سطح دریای خزر بر اساس مدل موقت ERA و تخلیه رودخانه‌ها پرداختند. در این پژوهش، تبخیر بارش بر اساس مدل ERA-Interim ECMWF به‌منظور برآورد تغییرات در سطح دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته و اعتبار نتایج در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ ارزیابی شده است. داده‌های ثبت‌شده در مورد رودخانه‌هایی که وارد دریای خزر می‌شوند نیز برای پیش‌بینی بهتر تغییرات سطح آب مورد مطالعه قرار گرفت. با

توجه به تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل نرم‌افزاری، به‌طور متوسط، میزان تبخیر با نرخ $0/89$ کیلومتر مکعب در سال افزایش یافته است، درحالی‌که بارش و تخلیه رودخانه‌ها در طول دوره آماری ۳۶ سال به‌ترتیب $1/09$ و $1/41$ کیلومتر مکعب در سال کاهش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که دلیل اصلی کاهش سطح دریای خزر طی سال‌های اخیر را می‌توان افزایش تبخیر در مقایسه با بارندگی و تخلیه رودخانه‌های ورودی دانست. تورانی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی تعامل تغییرات سطح دریای خزر و نوسانات رسوب در تغییرات خط ساحلی (مطالعه موردی، خط ساحلی رودخانه تجن) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد که جابجایی خط ساحلی طبق قوانین کلی است که دانشمندان در مورد تغییرات سطح دریا و جابجایی خط ساحلی گفته‌اند. صابری لویه و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل الگوی رفتاری سناریوهای آب و هوایی و تأثیر آن بر تغییرات سطح آب دریای خزر پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که افزایش سطح دریای خزر به‌آرامی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. اگر افزایش حداکثر پیش‌بینی‌شده رخ دهد، سواحل خزر آسیب‌پذیرترین جابجایی ساحلی را تجربه خواهد کرد. لبدو و گوستانو (Lebedev & Kostianoy, 2020) به بررسی تغییرات تراز سطح آب دریای کاسپین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارتفاع سنجی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد که کاهش تراز سطح آب از سال ۲۰۰۵ یک روند تقریباً ثابتی را داشته است.

عساکره و ورناسری قندعلی (۱۳۹۹) به تغییرات دهه‌ای میانگین بارش ماه‌های فصل سرد در ناحیه خزری طی نیم سده اخیر پرداختند. بدین منظور از پایگاه داده‌های روزانه بارش، حاصل میان‌یابی ۳۸۵ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران-سنجی سازمان هواشناسی کشور و ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو طی بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۶۶ (۵۱ سال)، با تفکیک مکانی 3×3 کیلومتر استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد بیشینه میانگین بارش ماهانه از جنوب غربی دریای خزر به سمت ارتفاعات البرز و شرق ناحیه جابه‌جا شده است. عزیزپور و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند پایین آمدن تراز آب دریای خزر در سال‌های اخیر سبب شده که تبادل آب بین خلیج گرگان و دریای خزر با سرعت کم‌تری انجام شود. ترابی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی تغییرات پهنه آبی تالاب‌های میانکاله و انزلی در ارتباط با تغییرات تراز دریای

خزر و بارش به‌وسیله تکنیک‌های سنجش از دور پرداختند. در این پژوهش بررسی تغییرات سطح آب تالاب‌های انزلی و میانکاله در ارتباط با تغییرات تراز آب دریای خزر و بارش در حوضه تالاب‌های انزلی و میانکاله در بازه سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۰ بوده که به‌وسیله تکنیک‌های سنجش از دور و با استفاده از ماهواره‌های لندست ۸، ۷، ۵، GPM و سنجنده‌های آلتیمتری همراه با بهره‌گیری از شاخص طیفی آشکارساز آب (MNDWI) انجام گردیده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات تالاب میانکاله و انزلی در بلندمدت متأثر از تراز سطح آب دریای خزر بوده اما به علت ظهور آبگیرهای کوچک در محدوده مصوب تالاب انزلی که به علت رشد گونه‌های گیاهی در مناطقی که دچار خشکی آب شده و قسمت‌هایی از پهنه آبی را از حوضچه اصلی جدا ساخته است. عظام و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی روند تغییرات توپوگرافی دینامیکی تراز آب دریای خزر و اثر آن بر روی تغییرات خط ساحلی ایران با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای پرداختند. در این پژوهش داده‌های آنومالی تراز سطح دریا، سطح ژئوئید و سطح متوسط دریا برای مدت ۲۰ سال طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲، به‌منظور بررسی روند تغییرات خط ساحلی و سطح آب دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج آن‌ها نشان می‌داد بررسی مقاطع تغییرات تراز دریا نشانگر تغییرات غیریک‌نواخت و نامنظم بوده و در دوره‌هایی روند کاهشی و در دوره‌هایی روند افزایشی را نشان می‌داد، اما روند تغییرات به‌صورت کلی منفی و میزان آن به‌طور متوسط ۳۲ میلی‌متر در سال می‌باشد.

چن و همکاران (Chen et al, 2023) با استفاده از داده‌های ماهواره سنجی به بررسی تغییرات تراز دریای کاسپین در دوره زمانی ۱۹۹۳-۲۰۲۲ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد نرخ کاهش تراز دریای کاسپین در طول این مدت $5/7$ سانتیمتر در طول یک سال می‌باشد. لاهیجانی و همکاران (Lahijani et al, 2023) به بررسی تراز دریای کاسپین از سال ۱۹۷۸ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد تغییر سطح آب. در طول دوره ۱۹۷۸-۱۹۹۵ با نرخ 15 سانتی‌متر در سال افزایش یافت و از سال ۱۹۹۶ به میزان 8 سانتی‌متر در سال کاهش یافت. عزیزپور و غفاری (Azizpour & Ghaffari, 2023) به تجزیه و تحلیل تغییرات فصلی و بلندمدت سطح دریای خزر به منظور بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر تغییرات سطح دریا در این سامانه دریاچه‌ای با استفاده از روش تحلیل طیفی

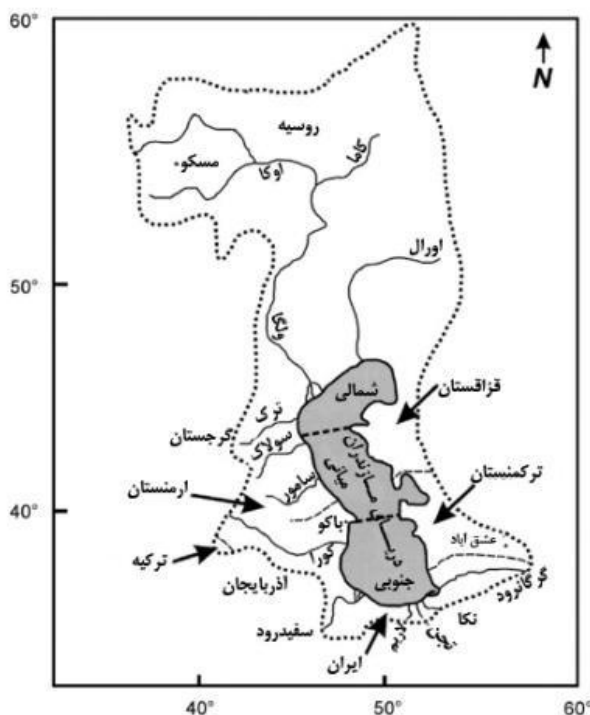
کرده است که عامل اصلی آن افزایش بخار آب از سطح دریای کاسپین می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

حوزه مورد مطالعه در این پژوهش دریای کاسپین (شکل ۲) و داده‌های مورد استفاده از سازمان ECMWF و سازمان بنادر کشور دریافت گردید. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ECMWF از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ که شامل میزان بارش بر روی دریای کاسپین، میزان تبخیر از روی آن و میانگین دمای محدوده دریای خزر می‌باشد به بررسی عوامل تأثیرگذار در نوسانات سطح آب دریای خزر پرداخته شد. جهت تعیین میزان دبی ورودی آب رودخانه‌ها به دریای کاسپین از منابع کتابخانه‌ای معتبر استفاده گردید. داده‌های نوسانات دریای کاسپین از سازمان بنادر دریافت گردید. با استفاده از نرم‌افزار ProUCL نمودار روند داده‌های بارش، تبخیر، دما و دبی ورودی آب رودخانه‌ها از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ ترسیم گردید. با استفاده از همین نرم‌افزار از آزمون روند Mann-Kendall برای تعیین روند داده‌ها استفاده گردید.

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد که چرخه سالانه دبی رودخانه مرتفع سیبری و ولگا به ترتیب اثرات قابل توجهی بر تغییرات سطح دریای خزر در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند. خوشروان و همکاران (Khoshrovan et al, 2023) به بررسی میزان جابجایی خط ساحلی و تغییرات مورفولوژیکی خط ساحلی در موقعیت تالاب گمیشان بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ پرداختند. نتایج نشان دهنده جابجایی قابل توجه خط ساحلی از ۱۳۶- تا ۱۰۷۲- متر در پایین دست مصب رودخانه گرگانرود در منطقه جنوبی است. همچنین نتایج حاکی از ارتباط معنی‌داری با دوره کاهش سطح دریای خزر در طول دوره مورد مطالعه است. شربتی (Sharbaty, 2023) به بررسی تأثیرات کاهش تراز دریای کاسپین بر خلیج گرگان پرداخت. نتایج ایشان نشان می‌داد ادامه روند کاهش سطح آب به عنوان دور جدیدی از ویژگی‌های نوسانی سطح آب در دریای خزر دور از انتظار نیست. با توجه به جدا شدن خلیج گرگان از دریای خزر خطرات جبران ناپذیر زیست محیطی و اقتصادی بسیاری را به دنبال خواهد داشت که بر مدیریت خرد و کلان منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای تأثیر می‌گذارد.

بطور خلاصه نتایج پژوهش‌های انجام شده در گذشته نشان می‌دهد که تراز سطح آب دریا از سال ۱۳۷۴ روند کاهشی پیدا



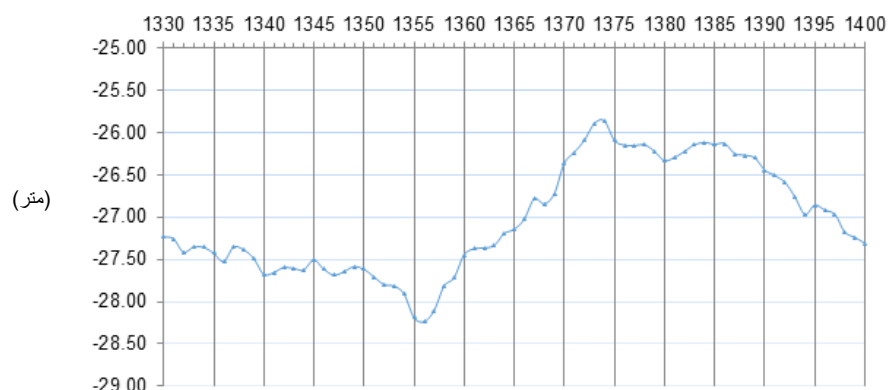
شکل ۱- نقشه دریای خزر و تقسیم بندی بخش‌های داخلی دریا به همراه محدوده حوزه آبریز (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹)

یافته‌های تحقیق

تراز دریای کاسپین

تراز کنونی دریای کاسپین بین ۲۶- و ۲۸- متر بر اساس سطح دریای بالتیک می‌باشد اما به لحاظ تاریخی در حدود ۳ متر افت و خیز را در طول قرن بیستم تجربه کرده است، در حالی که در همین دوره زمانی، تراز جهانی اقیانوس‌ها در حدود ۲ میلی‌متر در سال نوسان داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین تراز

دریای کاسپین به ترتیب حدود ۲۵/۸- متر (تیرماه ۱۳۷۴) و ۲۷/۷۵- متر (آذرماه ۱۳۹۸) از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. تراز دریای کاسپین در تاریخ ۱ آبان ۱۳۹۹ حدود ۲۷/۷۴- متر اندازه‌گیری شده است که نسبت به زمان مشابه در سال گذشته حدود ۵ سانتی‌متر کاهش داشته است و نسبت به سال ۱۳۹۷ حدود ۱۵ سانتی‌متر کاهش داشته است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۴۰۰، شکل، ۲).

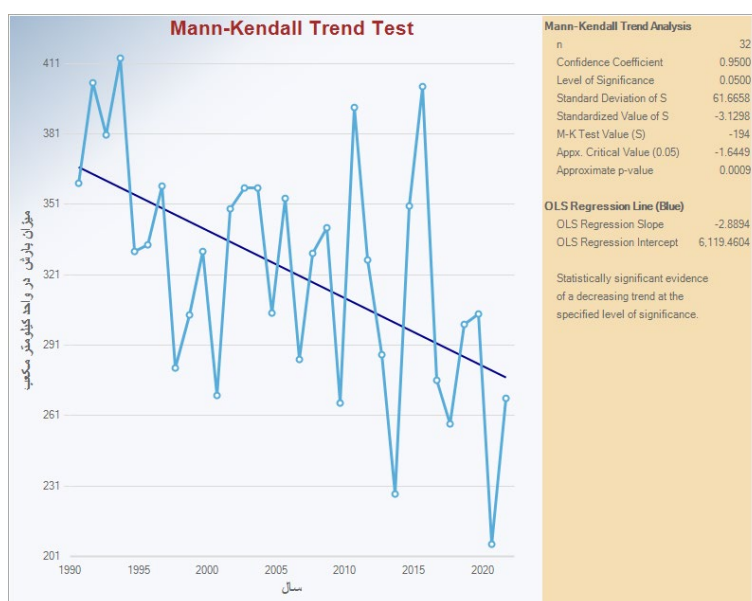


شکل ۲- تغییرات تراز آب دریای کاسپین (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۴۰۰)

میزان بارش

نمودار روند بارش سالانه در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۳ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۹۰ کیلومتر

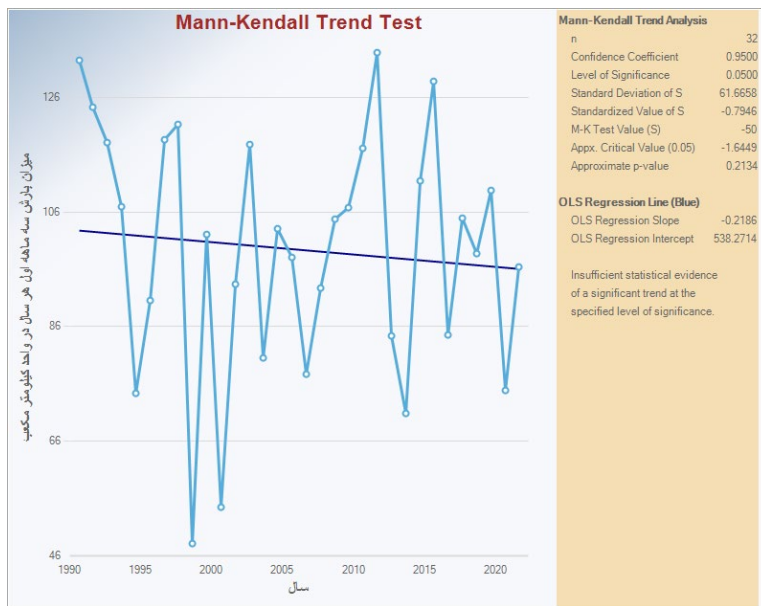
مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار $p\text{-value}$ $0/0009$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند کاهش معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۳- میزان بارش در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF. منبع: نگارنده)

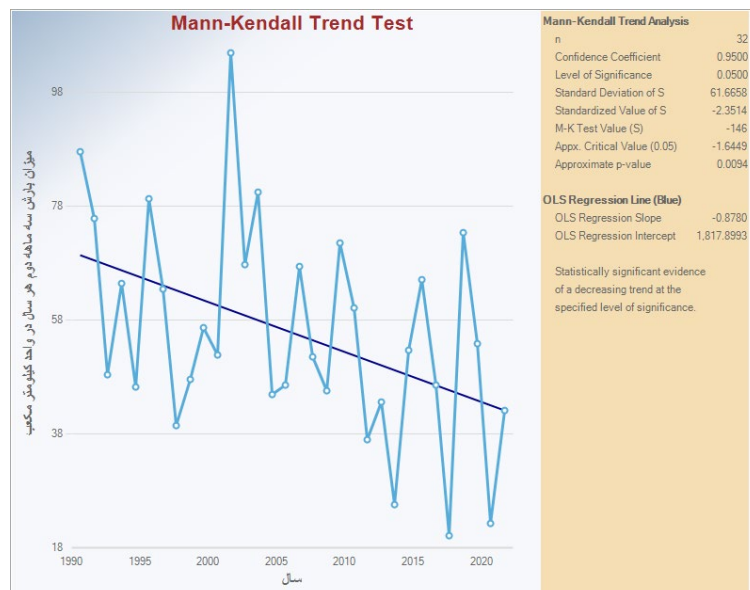
نمودار روند بارش در سه ماهه دوم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۵ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۲۸ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۰۰۹۴ بدست آمد و کمتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند بارش در سه ماهه اول هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۴ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۶ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۲۱۳ بدست آمد و بیشتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند کاهشی معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۴- میزان بارش در سه ماهه اول هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF.

منبع: نگارنده

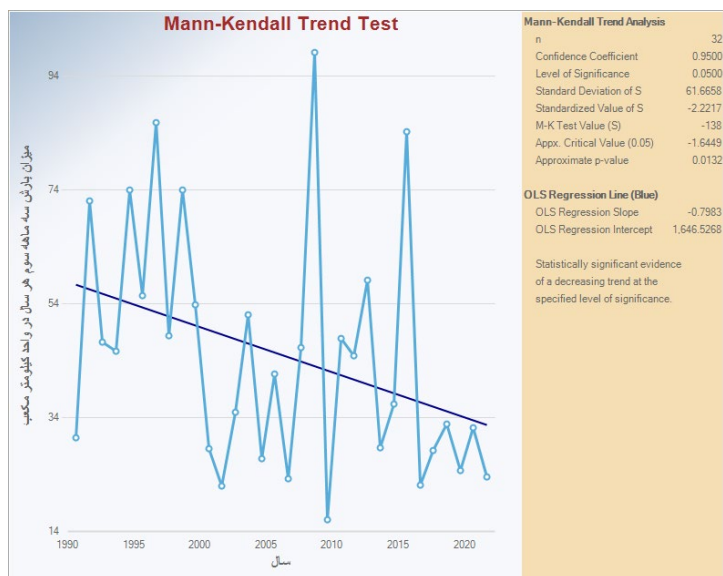


شکل ۵- میزان بارش در سه ماهه دوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF.

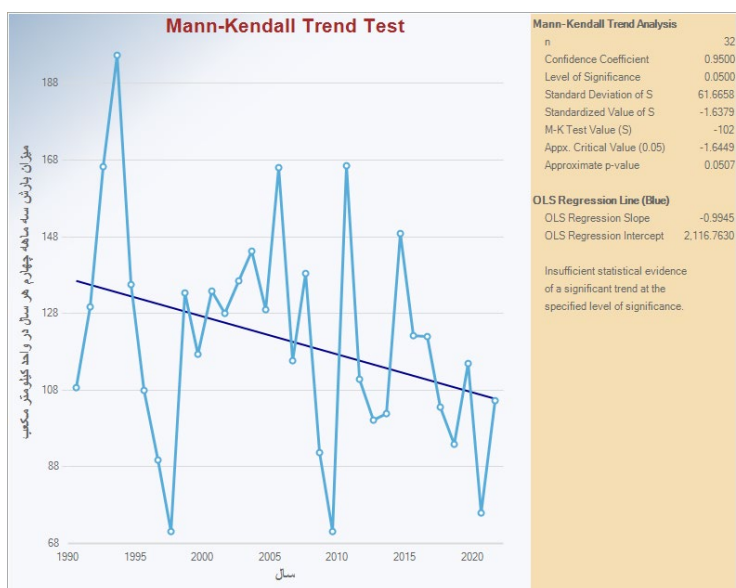
منبع: نگارنده

نمودار روند بارش در سه ماهه چهارم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۷ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۳۱ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کنندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۰۱۳۲ بدست آمد و کمتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند بارش در سه ماهه سوم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۶ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۲۵ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کنندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۰۱۳۲ بدست آمد و کمتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۶- میزان بارش در سه ماهه سوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF. منبع: نگارنده

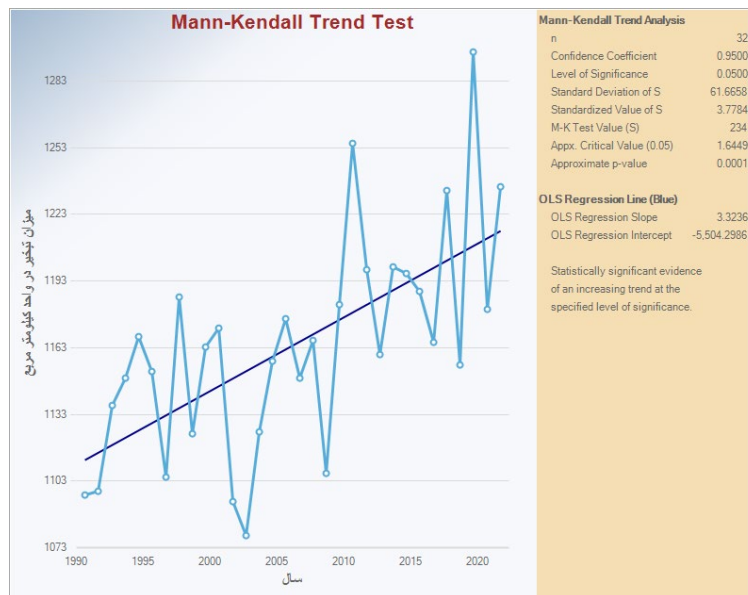


شکل ۷- میزان بارش در سه ماهه چهارم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF. منبع: نگارنده

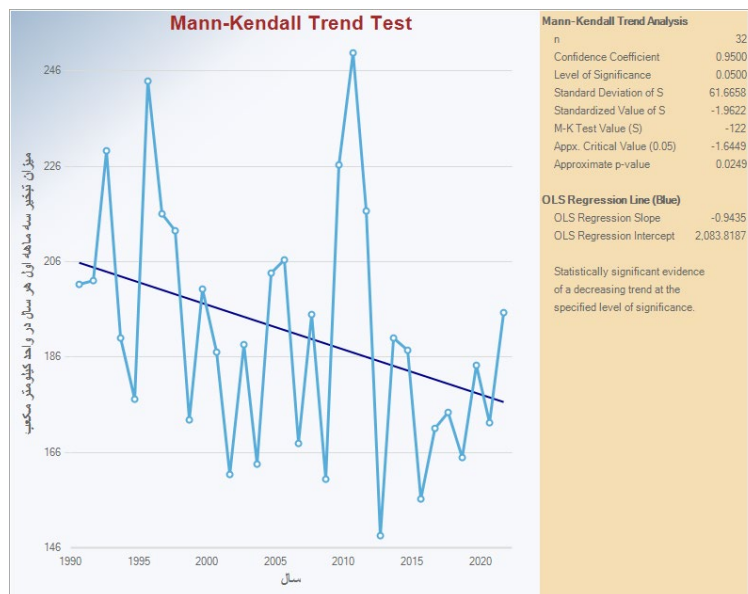
میزان تبخیر

نمودار روند تبخیر در سه ماهه اول هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۹ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۲۹ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۰۲۴۹ بدست آمد و کمتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تبخیر در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۸ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۱۰۳ کیلومتر مکعب افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p-value ۰/۰۰۰۱ بدست آمد و کمتر از مقدار ۰/۰۰۵ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۸- میزان تبخیر در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



شکل ۹- میزان تبخیر در سه ماهه اول هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده

سال‌های اخیر، از عوامل تأثیرگذار بر کاهش تراز آب بوده است.

نمودار روند تغییرات دمای سطح دریا در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ میانگین دما به اندازه ۱/۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0000$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تغییرات دمای سطح دریا در سه ماهه اول هر سال در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۴ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ میانگین دما به اندازه $0/1$ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/2852$ بدست آمد و بیشتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار نمی‌باشد.

نمودار روند تغییرات دمای سطح دریا در سه ماهه دوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۵ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ میانگین دما به اندازه $2/1$ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0000$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تغییرات دمای سطح دریا در سه ماهه سوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۶ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ میانگین دما به اندازه $1/6$ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0001$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تغییرات دمای سطح دریا در سه ماهه چهارم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۷ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ میانگین دما به اندازه $0/6$ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه

نمودار روند تبخیر در سه ماهه دوم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۳۴ کیلومتر مکعب افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0028$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تبخیر در سه ماهه سوم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۶۴ کیلومتر مکعب افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0000$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

نمودار روند تبخیر در سه ماهه چهارم هر سال میلادی در کل محدوده دریای کاسپین در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نمودار روند نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۳۵ کیلومتر مکعب افزایش داشته است. با توجه به آزمون من-کندال و با توجه به اینکه مقدار p -value $0/0334$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد.

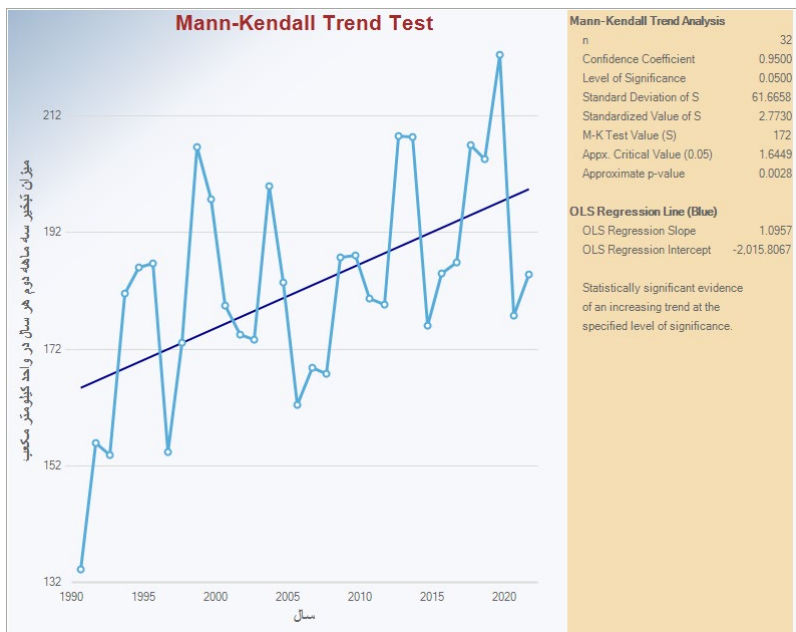
به‌عنوان یک نتیجه‌ی کلی، تبخیر روند افزایشی در حالیکه بارش روند کاهش‌ی داشته است. لازم به ذکر می‌باشد که اختلاف فاحش بین تبخیر و بارش سالانه تا حدودی با ورود آب رودخانه‌ها به دریای کاسپین به تعادل می‌رسد. در بخش بعدی جهت بررسی علت اصلی افزایش تبخیر نمودار روند دمای سطح دریا مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

تغییرات دما

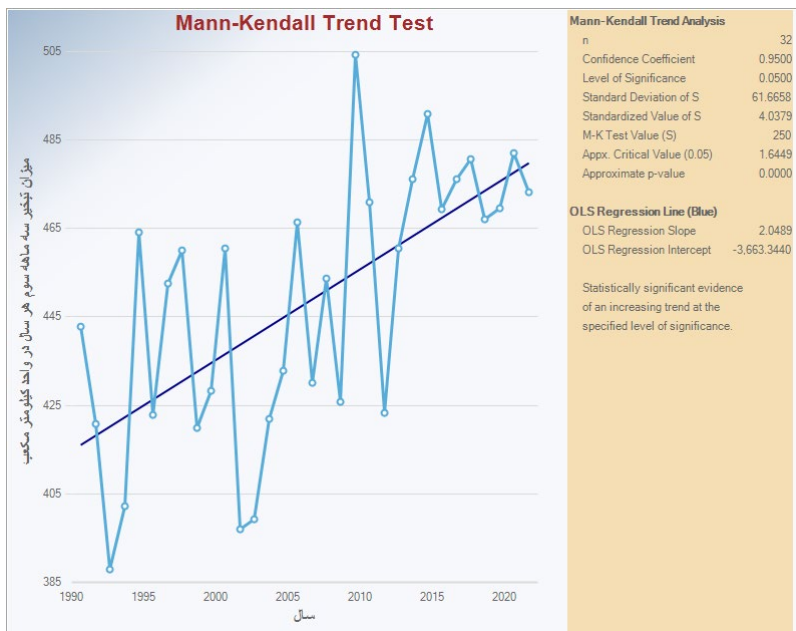
دمای سطح آب دریا نیز به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی در تبادل حرارتی و شاخصی در ارزیابی پتانسیل تبخیر از سطح آب که جزء مؤلفه‌های اصلی خروجی در بیلان آب کاسپین محسوب می‌گردد، در بررسی روند تغییرات تراز آب و ارزیابی علل نوسانات در کاسپین مورد مطالعه قرار می‌گیرد. روند افزایشی دمای سطح آب دریای کاسپین به‌ویژه در

می‌کند. بنابراین روند افزایش دما که با افزایش تبخیر آب رابطه مستقیم دارد، یکی از عوامل مؤثر افزایش نوسانات سطح آب دریای کاسپین است که باعث کاهش سطح تراز آب این دریا شده است.

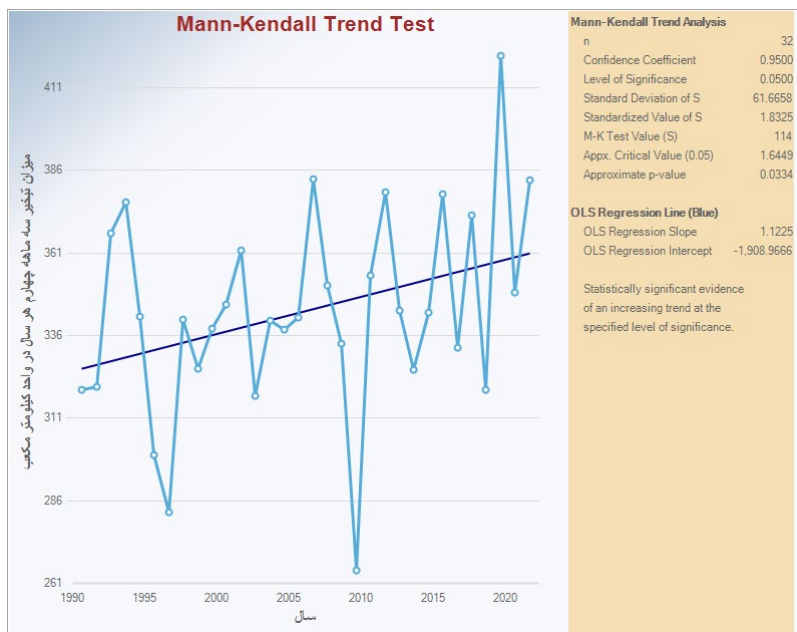
مقدار p -value $0/0386$ بدست آمد و کمتر از مقدار $0/005$ است؛ می‌توان گفت که این روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد. دلیل اصلی افزایش دمای سطح دریا افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که از خروج تابش‌های زمینی جلوگیری



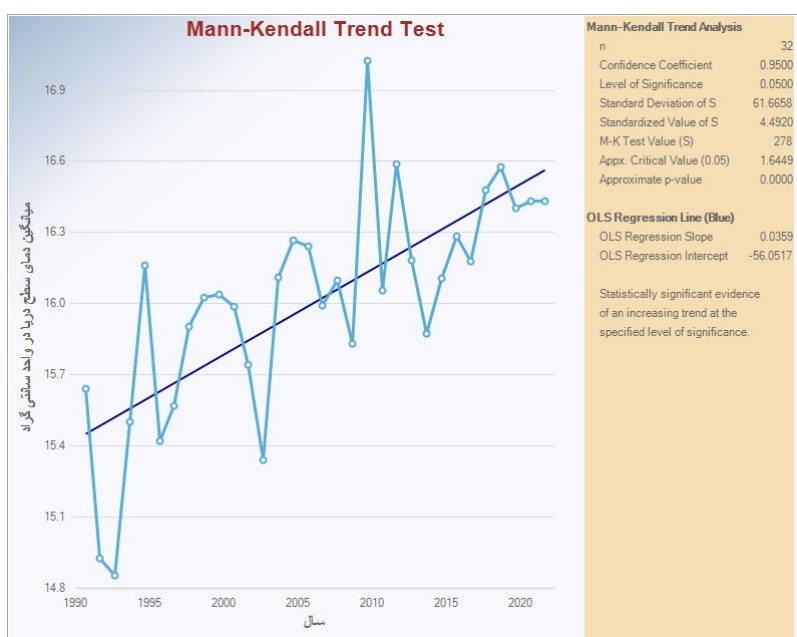
شکل ۱۰- میزان تبخیر در سه ماهه دوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF. منبع: نگارنده



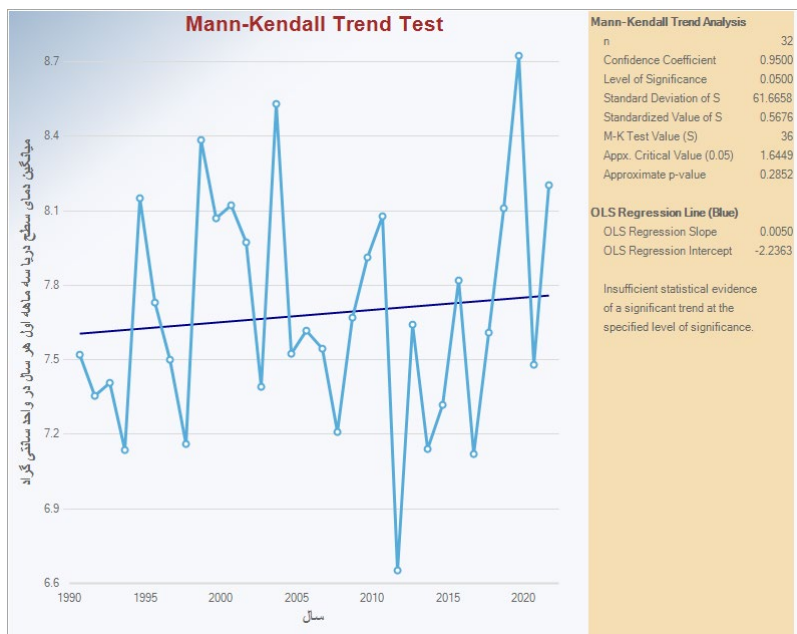
شکل ۱۱- میزان تبخیر در سه ماهه سوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF. منبع: نگارنده



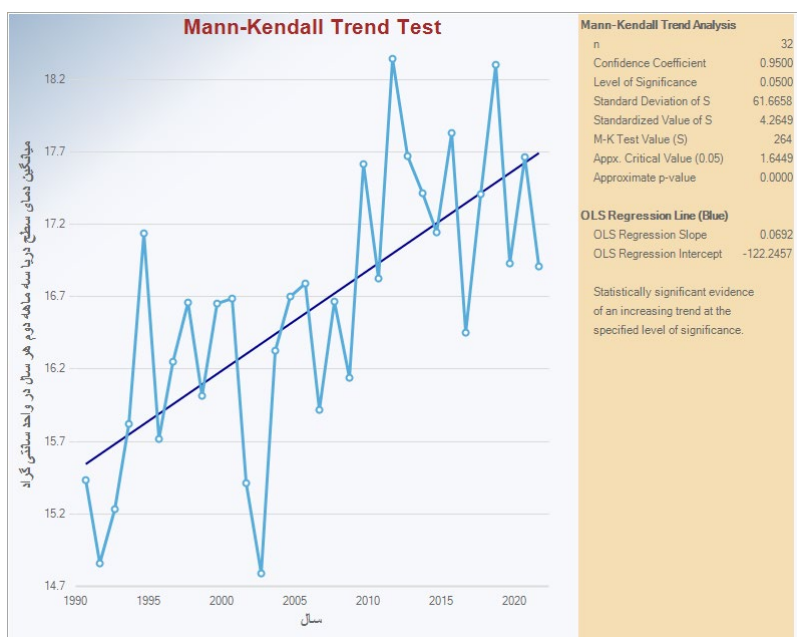
شکل ۱۲: میزان تبخیر در سه ماهه چهارم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



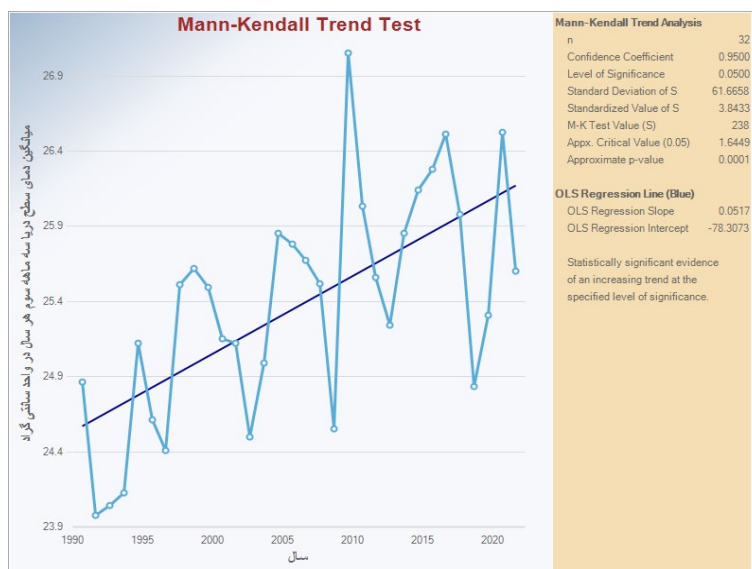
شکل ۱۳- میانگین دما در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



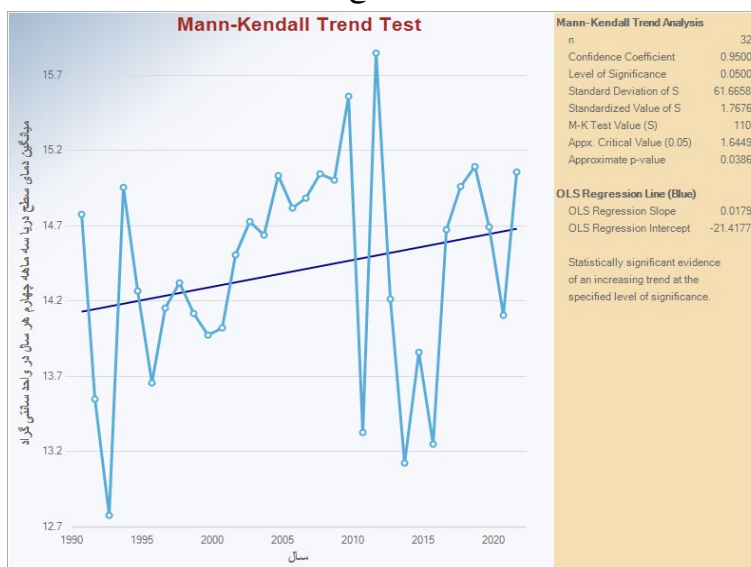
شکل ۱۴- میانگین دما در سه ماهه اول هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



شکل ۱۵- میانگین دما در سه ماهه دوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



شکل ۱۶- میانگین دما در سه ماهه سوم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده



شکل ۱۷- میانگین دما در سه ماهه چهارم هر سال در کل محدوده دریای کاسپین، از سال ۱۹۹۱ الی ۲۰۲۲ با بکارگیری داده‌های ECMWF، منبع: نگارنده

رودخانه‌های آرال و کورا قرار می‌گیرند (جدول ۱). در ساحل ایران رودخانه سفیدرود با میانگین دبی حدود ۴ کیلومتر مکعب در سال بزرگ‌ترین رودخانه محسوب می‌شود. رودخانه‌هایی که به خزر شمالی می‌ریزند حدود ۸۵ درصد آبدهی رودخانه‌ای به دریا را تأمین می‌کنند. در حالیکه رودخانه‌های منتهی به خزر جنوبی حدود ۶۰ درصد بار رسوبی رودخانه‌ای را وارد دریای خزر می‌کنند. به علت گذر رودخانه‌های حوضه جنوبی خزر از کوهستان‌های پرشیب و با پوشش گیاهی کم، میزان رسوب‌دهی این رودخانه‌ها بیشتر می‌باشد (ترابی و همکاران، ۱۳۹۹).

آب رودخانه‌ها و احداث سد‌ها

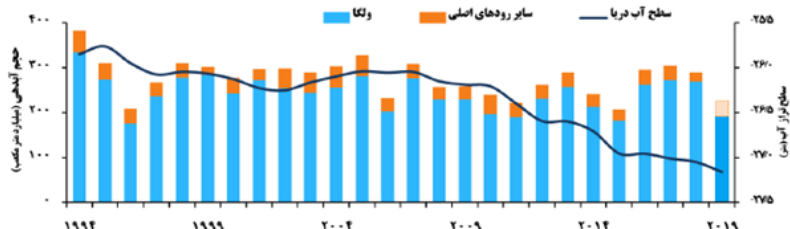
رودخانه‌ها نقش مهمی را بر جریان آب و رسوب سواحل مجاور آن ایفا می‌کنند و باعث تغییرات مورفولوژیکی می‌گردند (صبح‌خیز فومنی، ۱۴۰۱). بیش از ۱۳۰ رودخانه بزرگ و کوچک به دریای خزر می‌ریزند که رودخانه‌های بزرگ عمدتاً در سواحل شمالی و رودخانه‌های کوچک در سواحل غربی و جنوبی پراکنده‌اند. رودخانه ولگا بزرگ‌ترین رودخانه حوضه آبریز دریای خزر است و به‌تنهایی حدود ۸۰ درصد آب ورودی به دریا را تأمین می‌کند و در رده‌های بعدی

جدول ۱: مشخصات رودخانه‌های بزرگ دریای خزر (Smirnova, 1999)

میزان رسوب سالانه (million ton)	درصد نسبت به دبی کل رودخانه‌های خزر	آبدهی در سال (km ³)	مساحت حوضه آبریز (1000km ²)	طول رودخانه (km)	نام کشور ساحلی	نام رودخانه
۱۴	۸۰	۲۴۳	۱۴۰۰	۳۶۹۰	روسیه	ولگا
۳۱/۷	۶	۱۷/۸	۱۸۸	۱۳۶۰	آذربایجان	کورا
۱۵/۱	۳	۸/۹	۴۳/۲	۶۲۳	روسیه	ترک
۲/۷	۲	۷	۲۳۷	۲۴۳۰	قزاقستان	اورال
۳۰	۱/۵	۴/۱	۶۷	۸۰۰	ایران	سفیدرود
۱۳/۲	۱/۵	۴/۴	۱۵/۲	۱۶۹	روسیه	سولاک
۴/۷	۰/۵	۱/۶۳	۷/۷۳	۲۱۳	روسیه	سمور
۲/۵	۰/۴	۱/۱	۰/۲۵	۱۸۵	ایران	هراز

آبدهی آن کم‌تر از میانگین بلندمدت بوده است. حجم آب ورودی رودخانه‌ها به‌عنوان شاخص بسیار مهم در بیلان آب دریای کاسپین محسوب شده و تغییرات سالانه آن متأثر از عوامل اقلیمی، رژیم هیدرولوژیکی و بهره‌برداری‌ها است. با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد که تغییرات تراز دریای کاسپین به‌شدت وابسته به وضعیت اقلیمی و نزولات جوی در منطقه و به‌ویژه حوزه آبریز ولگا می‌باشد. اگرچه برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های ورودی در دهه‌های گذشته نیز نمی‌تواند در این خصوص بی‌تأثیر باشد. هم‌چنین ساخت سدهای متعدد در مسیر رودخانه‌های ورودی به دریای کاسپین از دیگر عوامل کاهش آب دریای کاسپین از طریق سفیدرود و سایر رودخانه‌های شمال کشور محسوب می‌شود. استفاده از آب رودخانه‌ها برای مصارف کشاورزی در کاهش آب ورودی به دریا نیز بسیار تأثیرگذار است.

جهت تعیین مقدار دبی ورودی آب رودخانه‌ها به دریای کاسپین از گزارش نوسانات آب دریای خزر در سال ۲۰۱۹ میلادی که توسط موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ارائه شده است استفاده گردید. متوسط سالانه ورودی آب ولگا به دریای کاسپین حدود ۲۴۰ میلیارد مترمکعب و برآورد سالانه کل ورودی رودخانه‌های منتهی به کاسپین، ۳۰۰ میلیارد مترمکعب است. از سایر رودخانه‌های مهم نظیر کورا، اورال، اترک، سفیدرود، هراز، در مجموع به‌طور متوسط ۳۴ میلیارد مترمکعب آب وارد دریای کاسپین می‌شود. کاهش تراز آب اخیر در حالی است که میزان ورودی آب رودخانه ولگا به‌عنوان تأمین‌کننده بخش اعظم آب رودخانه‌ای به این دریا، در سال ۲۰۱۹، حدود ۲۲ درصد کاهش یافته که این مسئله می‌تواند به‌عنوان یکی از علل مؤثر در کاهش تراز آب اخیر قلمداد گردد (شکل ۱۸). نتایج بررسی‌ها نشان داده است در سال ۲۰۱۹، دوره سیلابی رودخانه ولگا که به‌طور معمول از اواسط اردیبهشت تا اوایل مردادماه ادامه دارد، کوتاه‌تر و میزان



شکل ۱۸- مقایسه تغییرات سطح آب دریا با حجم آبدهی رودخانه‌های مهم حوزه آبریز دریای خزر (موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو،

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل تأثیرگذار در نوسانات سطح تراز آب دریای کاسپین صورت گرفته است. بر همین مبنا، با توجه به هدف و ادبیات موضوع و با استفاده از تحقیقات لازم و کافی، داده‌های پژوهش جمع‌آوری شده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ECMWF از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ که شامل میزان بارش بر روی دریای کاسپین، میزان تبخیر از روی آن و میانگین دمای سطح دریای کاسپین می‌باشد به بررسی عوامل تأثیرگذار در نوسانات سطح آب دریای خزر پرداخته شد. با توجه به افزایش دما (در طول ۳۰ سال حدود ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد) در سال‌های اخیر، تبخیر آب دریا به مراتب بیش‌تر از دهه‌های گذشته بوده است. نمودار روند نشان می‌داد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ تبخیر به اندازه ۱۰۳ کیلومتر مکعب افزایش داشته است. تبخیر آب دریا تأثیر مستقیمی بر نوسانات آب دریای کاسپین داشته است. عطایی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به تغییرات طولانی‌مدت سطح دریای خزر بر اساس مدل موقت ERA و دبی رودخانه‌ها پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که دلیل اصلی کاهش سطح دریای خزر طی سال‌های اخیر را افزایش تبخیر در مقایسه با بارندگی و دبی رودخانه‌ها دانستند. هم‌چنین خوشروان و وفایی (۱۳۹۵) در پژوهشی به نوسانات سطح تراز آب دریای خزر (گذشته، حال و آینده) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که عوامل اقلیمی به‌عنوان مهم‌ترین علت تغییر سطح تراز آب طی دوره هلسون می‌باشند و در صورت تداوم روند گرمایش زمین تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ سطح تراز آب دریای خزر بیش از ۱ متر کاهش یابد. نتایج تحقیقات عطایی و همکاران (۲۰۱۹) و خوشروان و وفایی (۱۳۹۵) با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

عامل بعدی که مورد بررسی قرار گرفت، میزان بارش باران در ۳۲ سال اخیر بوده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، میزان بارندگی در طی سال‌های اخیر بسیار کاهش یافته و یکی از عوامل مؤثر در کاهش سطح آب دریای کاسپین بوده است. نمودار روند نشان می‌داد که در بازه زمانی ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲ بارش به اندازه ۹۰ کیلومتر مکعب کاهش داشته است. خیراله‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی

عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب دریای خزر با استفاده از آنالیز طیفی داده‌های تایید گیج ساحلی پرداختند. آن‌ها از داده‌های ایستگاه جذرومدسنج نکا که ۲۴۲۹ روز بوده که حدود ۶.۵ سال داده (از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ میلادی) استفاده کردند. نتایج آن‌ها کاهش سالانه ۱۵.۷۷- سانتی متر آب دریای خزر را نشان می‌داد. هم‌چنین اقتصادی و زاهدی (۱۳۸۹) در پژوهشی به مطالعه عوامل تأثیرگذار بر نوسانات آب دریای خزر جنوبی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش بارندگی و کاهش تبخیر آب می‌تواند نقش مهمی در افزایش سطح تراز آب دریای خزر داشته باشد. نتایج این تحقیقات با نتایج حاصل از پژوهش‌های خیراله‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) و اقتصادی و زاهدی (۱۳۸۹) در خصوص کاهش بارندگی و افزایش تبخیر آب و در نتیجه آن کاهش سطح آب دریای کاسپین هم‌خوانی دارد. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به روند کاهشی دبی آب رودخانه ولگا اشاره کرد که به‌تنهایی حدود ۸۰ درصد آب ورودی به دریای کاسپین از رودخانه‌ها را تأمین می‌کند.

به‌عنوان یک نتیجه کلی، تغییرات اقلیمی باعث کاهش بارش، افزایش دما و افزایش تبخیر و نهایتاً کاهش سطح دریای کاسپین می‌باشد، بطوریکه این روند تا سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت.

پیشنهادات

ارزیابی خطرات و آسیب‌پذیری اکوسیستم، اقتصادها و سیستم‌های اجتماعی منطقه کاسپین در برابر کاهش سطح دریای کاسپین تا حد زیادی وجود ندارد. کشورهای حاشیه دریای کاسپین بایستی در جلساتی مشترک خطرات زیست محیطی مرتبط با کاهش سطح آب دریای کاسپین را شناسایی کنند.

با توجه به کاهش سطح تراز آب دریای کاسپین در آینده‌ای نزدیک، بسیاری از بنادر دچار مشکل و رکود اقتصادی می‌شوند، در نتیجه می‌توان با تشکیل کارگروهی برای این معضل، به راهکارهایی جهت حل مشکلات آتی پرداخت.

در جلساتی مشترک بین کشورهای حاشیه دریای کاسپین در خصوص سدسازی رودخانه‌ها برنامه‌ریزی جامع انجام داد

- of the Caspian Sea and their impact on Iranian Shoreline changes using satellite altimetry data. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(115), 84-98. doi: 10.22131/sepehr.2020.47882.
9. Chen, J. L., Pekker, T., Wilson, C. R., Tapley, B. D., Kostianoy, A. G., Cretaux, J. F., & Safarov, E. S. (2017). Long-term Caspian Sea level change. *Geophysical Research Letters*, 44(13), 6993-7001.
 10. Chen, J., Cazenave, A., Wang, S. Y., & Li, J. (2023). Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry. *Remote Sensing*, 15(3), 703.
 11. Dai, A., Zhao, T., & Chen, J. (2018). Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*, 4, 301-312.
 12. Eghtesadi, S., & Zahedi, R. (2012). The Study of Effective Atmospheric Parameters on the Southern Caspian Sea Level Fluctuation (case study). *Journal of Marine Science and Technology*, 10(3), 4-13.
 13. Ginzburg, A. I., & Kostianoy, A. G. (2018). Tendencies of changes in hydrometeorological parameters of the Caspian Sea in the modern period (1990s–2017). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 15(7), 195-207.
 14. Imani, M., You, R. J., & Kuo, C. Y. (2014). Forecasting Caspian Sea level changes using satellite altimetry data (June 1992–December 2013) based on evolutionary support vector regression algorithms and gene expression programming. *Global and planetary change*, 121, 53-63.
 15. Khairalezadeh Chari, Kamil, Sultanpour, Ali, Tavakoli, Farrukh, 2016, investigation of factors affecting the changes in the water level of the Caspian Sea using spectral analysis of coastal tide gauge data, the 5th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran.
 16. Khashtabeh, R., asgari, H., khashtabeh, R., Nainiva, S., Moosa Farkhani, E. (2023). Investigating and determining the intensity of desertification in the provinces of the Caspian Sea. *Amphibious Science and Technology*, 4(2), 35-51. doi: 10.22034/jamst.2023.544095.1107.
 17. Khoshrovan, H., Poursafari Yekrang, P., & Alemi Safaval, P. (2023). Caspian rapid Sea level fluctuation and intensity of shorelines displacement in the Gomishan Lagoon. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering*, 8(2), 48-55.
 18. Khoshrovan, Homayoun, Vafaei, Beshra, 2015, Caspian Sea water level fluctuations بطوریکه دست‌کم می‌توان دهانه سد را در مدت تعیین شده در طول سال که نیاز به کشاورزی و باغبانی نیست، باز نمود. کشورهای حاشیه دریای کاسپین اقدامات لازم در جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای که یک فرآیند بین‌المللی می‌باشد را در مجامع بین‌المللی خواستار شوند.
- ### تقدیر و تشکر
- نویسندگان بدین‌وسیله از سازمان بنادر و دریانوردی کشور به‌خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های نوسانات سطح آب و داوران عزیز که با نظرات و پیشنهادات خود باعث ارتقای مقاله شدند تشکر و قدردانی می‌کنند.
- ### منابع
1. Alinejad Tabrizi, Tahereh, Khoshrovan, Homayoun, 2016, Caspian Sea water level fluctuations in the 21st century, 20th Marine Industries Conference.
 2. Asakereh, H., & Varnaseri ghandali, N. (2020). Decade changes in monthly mean of precipitation in recent five decades over the Caspian coast of Iran territory. *Journal of Climate Research*, 1399(42), 31-46.
 3. Ataei H, S., Jabari Kh, A., Khakpour, A. M., Neshaei, S. A., & Yosefi Kebria, D. (2019). Long-term Caspian Sea level variations based on the ERA-interim model and rivers discharge. *International Journal of River Basin Management*, 17(4), 507-516.
 4. Azizpour, J., & Ghaffari, P. (2023). Low-frequency Sea level changes in the Caspian Sea: long-term and seasonal trends. *Climate Dynamics*, 1-11.
 5. Azizpour, J., Hamzepour, A., Rahnema, R. (2021). Calculation of sedimentation rate at the mouth of the Gorgan Bay. *Amphibious Science and Technology*, 1(2), 14-22. doi: 10.22034/jamst.2021.247208.
 6. Babagoli Mati Kalaei, Javad, 2017, study and prediction of Caspian Sea surface level fluctuations, 12th International Energy Conference, Tehran.
 7. Bagheri, H. (2023). Calculation of the sedimentation rate in the southern part of the Caspian Sea using field data (case study: Abbas Abad). *Amphibious Science and Technology*, 4(3), -. doi: 10.22034/jamst.2023.544256.1123.
 8. Bayat Barooni, H., Ezam, M., Aliakbri Bidokhti, A., & Torabi Azad, M. (2020). Investigating dynamic topography variations

25. Sarvati, M. R., Mansori, R., & Ghohrodi Tali, M. (2018). The Effects of Rapid Caspian Sea-Level Fluctuations on the Miankaleh Barrier Coasts. *Physical Geography Quarterly*, 11(40), 1-16.
26. Sharbaty, S. (2023). Investigation of the Caspian Sea water level decreasing effects on the Gorgan Bay.
27. Seyedian, S.M., Radkani, A., Kashani, M. (2022). Assessing of hybrid method in predicting rainfall time series in coastal areas. *Amphibious Science and Technology*, 3(2), 54-71.
28. Sobhkhiz Foumani, R., Mardookhpour, A., Ahmadzadeh Layegh, R. (2022). Numerical investigation of sediment transport and erosion rates according to the river flow in the coast of Kiashahr port. *Amphibious Science and Technology*, 3(3), 65-84.
29. Toorani, M., Yamani, M., & Abdelahi Kakroodi, A. (2019). Investigating the Interaction of Caspian Sea Level Change and Sediment Fluctuations in Coastline changes (Case study: Tajan River shoreline). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3), 126-111.
30. Torabi, O, Karimi, N, Shesh Angu, S, Rashtbari, M, Kalurazhan, A, 2019, investigation of changes in the water zone of Miankala and Anzali wetlands in relation to changes in the level of the Caspian Sea and precipitation by means of remote sensing techniques, the 8th conference National Institute of Water Resources Management of Iran, Mashhad. (past, present and future), 18th Marine Industries Conference, Kish Island.
19. Lahijani H, Haeri Ardakani O, Sharifi A, Naderi Beni A (2010). Sedimentological and Geochemical Characteristics of the Gorgan Bay Sediments. *Journal of Oceanography*; 1 (1) :45-55.
20. Lahijani, H., Leroy, S. A. G., Arpe, K., & Crétaux, J. F. (2023). Caspian Sea level changes during instrumental period, its impact and forecast: A review. *Earth-Science Reviews*, 241, 104428.
21. Lebedev, S., & Kostianoy, A. (2020). Investigation of seasonal and interannual variability of water exchange through the Middle Caspian based on satellite altimetry. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 17.
22. Mansouri, R. (2022). The effect sea-level fluctuations on the shoreline changes in the southern coasts of the Caspian Sea (1975-2017). *Amphibious Science and Technology*, 1(1), 46-69. doi: 10.22034/jamst.2022.247205. (In Persian)
23. Ministry of Energy, Water Research Institute, National Center for Caspian Sea Studies and Research. Caspian Sea water fluctuations report in 2019.
24. saberi Louyeh, F., Alijabni, B., & Khaledi, S. (2019). Analysis of the behavioral pattern of climate scenarios and its impact on the Caspian Sea level changes. *Journal of Climate Research*, 1397(36), 13-30.