

ارزیابی تغییرات مکانی، روند و توزیع فراوانی مقادیر دمای آب در جنوب دریای خزر در فصل گرم

امید بیرقدار کشکولی^{۱*}؛ محمد قدمی^۲، رضا مدرس^۱

^۱ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۸۳۱۱۱ - ۸۴۱۵۶، ایران

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۸۳۱۱۱ - ۸۴۱۵۶، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۶ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱

چکیده

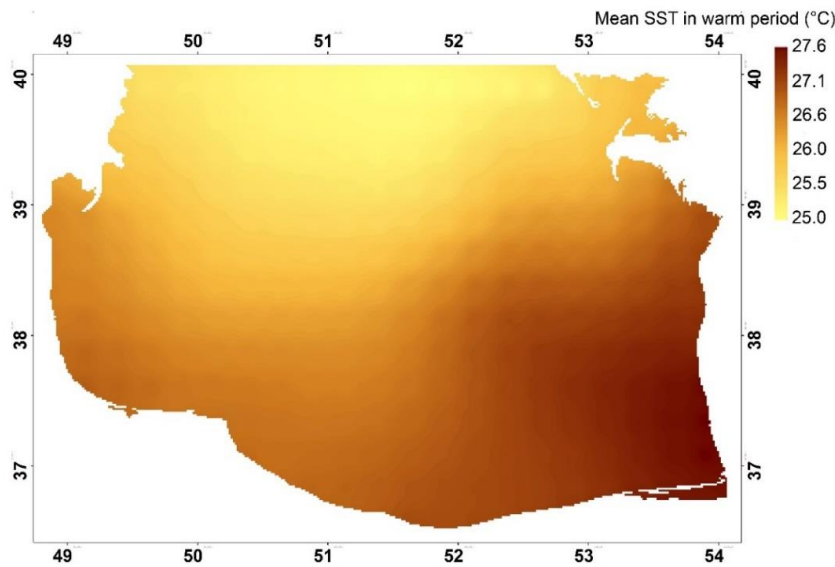
هدف از مطالعه حاضر ارزیابی الگوی مکانی میانگین، روند تغییرات زمانی و توزیع فراوانی دمای سطحی آب در فصل گرم و همچنین رویدادهای فرین در بخش جنوبی دریای خزر در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ با استفاده از داده های ماهواره ای طولانی مدت با وضوح بالا می باشد. دامنه تغییرات میانگین دمای فصل گرم در دریای خزر بین ۲۷/۶-۲۵ درجه سلسیوس است. بالاترین و پایین ترین میانگین طولانی مدت دمای سطحی آب در فصل گرم به ترتیب در حاشیه جنوب شرقی و نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. دامنه تغییرات میانگین دما در وقایع فرین بین ۲۹/۲-۲۷/۴ سانتیگراد بود. بالاترین میانگین طولانی مدت دمای سطحی آب در طی وقایع حدی فصل گرم حاشیه شرق تا جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. روند زمانی تغییرات دمای سطحی آب در بخش جنوبی دریای خزر در طول فصل گرم و در طی وقایع فرین به ترتیب برابر با ۰/۰۸-۰/۰۴ و ۰/۰۸۴-۰/۰۴ درجه سلسیوس بر سال بود. همچنین، هیچ گونه روند منفی که نشان دهنده کاهش دما باشد در دمای فصل گرم و وقایع فرین مشاهده نشد. بر اساس توابع چگالی احتمال، روند تغییرات دما در طی وقایع فرین با شدت بیشتری نسبت به روند دما در طول فصل گرم افزایش یافته است. افزایش چولگی در تابع چگالی احتمال روند تغییرات دما در وقایع فرین در مقایسه با چولگی مشاهده شده در تابع تغییرات روند دما در فصل گرم، مبین افزایش مقادیر عددی روند در وقایع فرین نسبت به دوره گرم می باشد.

کلمات کلیدی: چگالی احتمال، دریای خزر، دمای سطحی، فصل گرم، وقایع فرین

دمای سطحی آب دریا (SST) به عنوان یکی از پارامترهای مهم فیزیکی در محیط دریایی محسوب می شود که عمیقاً بر ساختارها، عملکرد و پویایی حیات در این اکوسیستمها تأثیر می گذارد. در مقیاس جهانی به علت تغییرات اقلیمی و گرمایش اتمسفری معاصر، دمای سطحی آب دریاها با روند افزایشی طولانی مدتی همراه بوده که این موضوع در پنجمین گزارش هیات بین الدول تغییرات آب و هوایی به صورت ویژه مورد تأکید قرار گرفته است (IPCC-2013 AR5, Hartmann *et al.*, 2013). افزایش دمای سطحی آب دریاها عمدتاً پیچیده تر از یک افزایش ساده و یکنواخت دما می باشد (Sarmiento *et al.*, 1998; Stine *et al.*, 2009; Taboada and Anadón, 2012). گرمایش آبهای سطحی دریاها با تغییرات قابل توجه در الگوهای فصلی، فراوانی و شدت وقایع فرین و الگوی لایه بندی در ستون آب همراه بوده است (DeCastro *et al.*, 2014; Costoya *et al.*, 2015). این تغییرات ممکن است پیامدهای مهمی را برای کلیه فرایندهای دریایی، تمامی اجزا و ساختارهای اکولوژیکی و در نتیجه پایداری اکوسیستمها داشته باشد.

به طور کلی در چندین دهه گذشته، اکوسیستمهای دریایی در جهان گرمایش سطحی قابل توجهی را تجربه کرده اند، با این حال تفاوت های منطقه ای و جغرافیایی قابل ملاحظه ای در الگوی گرمایش در اکوسیستمهای مختلف مشاهده شده است (Levitus *et al.*, 2005; Chaidez *et al.*, 2017). به طوری که سرعت گرم شدن آب های سطحی در اکوسیستمهای دریایی بسته و نیمه بسته بالاتر از سایر مناطق بوده است و پیش بینی می شود اثرات گرمایش در این اکوسیستم ها شدیدتر باشد (Chaidez *et al.*, 2017). اندازه نسبتاً کوچک دریاها بسته و نیمه بسته، همچنین عدم ارتباط آنها با دریاها آزاد و محدود بودن جغرافیای زیستی، از دلایل عمده حساسیت بالای موجودات زنده مستقر در این اکوسیستم ها نسبت به تغییر شرایط محیطی نظیر افزایش

دمای سطحی آب می باشد. با تشدید گرمایش جهانی، پیش بینی می شود آسیب پذیری ساختارهای اکولوژیکی، صنایع صیادی و جوامع وابسته به آنها در اکوسیستم های دریایی بسته و نیمه بسته افزایش یابد. از تهدیدات مهم مرتبط با گرمایش جهانی در این اکوسیستم ها، می توان به تغییر در الگوی دمای سطحی آب در فصول گرم و همچنین وقوع رخدادهای شدید حرارتی (وقایع فرین) در این فصول اشاره کرد. آسیب پذیری این اکوسیستم ها در روند گرمایش جهانی، ممکن است با تداخل سایر عوامل نظیر بهره برداری بیش از حد و آلودگی ها تشدید گردد. دریای خزر به عنوان بزرگترین پهنه آبی (از لحاظ وسعت) محصور در خشکی و فاقد ارتباط با آبهای آزاد اقیانوسی در جهان شناخته شده است. این اکوسیستم آبی توسط آسیا و اروپا محصور شده و توسط پنج کشور (یعنی ایران، روسیه، آذربایجان، قزاقستان و ترکمنستان) احاطه شده است. این پهنه آبی منحصر به فرد میزبان جمعیت های ارزشمند ماهیان خاویاری (فسیلهای زنده)، گونه در معرض خطر فک خزری و بیش از ۱۶۲ گونه و زیرگونه از ماهیان می باشد (Khodorevskaya *et al.*, 2014). نظیر سایر اکوسیستم های دریایی علی الخصوص دریاها بسته و نیمه بسته، دریای خزر نیز تحت تأثیر گرمایش جهانی قرار گرفته و خواهد گرفت. در مطالعه Kostianoy و همکاران (2019) گزارش شده است که میانگین سالیانه دمای سطحی آب در جنوب دریای خزر (بین سالهای ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵) در حدود ۰/۸ سلسیوس نسبت به سالیان قبل (Ginzburg *et al.*, 2005) افزایش یافته است. مطالعات متعددی در خصوص گرم شدن دریای خزر و عمدتاً با تمرکز بر روند تغییرات سالیانه و ماهیانه دمای آبهای سطحی در این اکوسیستم صورت پذیرفته است (Ginzburg *et al.*, 2005; Kavak, 2012; Khoshakhlagh *et al.*, 2016; Kostianoy *et al.*, 2019; Ghasemifar *et al.*, 2019). با این وجود، هنوز ابعاد و جنبه های مهمی از تغییرات دمای سطحی آب در دریای خزر مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است که از جمله آنها می



شکل ۱- تغییرات مکانی میانگین دمای سطحی آب جنوب دریای خزر در فصل گرم (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

جغرافیایی $(48.8^{\circ}\text{E}-54^{\circ}\text{E}, 36.57^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{N})$ به صورت روزانه و با وضوح بالا با اندازه شبکه $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ درجه $28/75 \times 28/75$ کیلومتر) از پایگاه اطلاعاتی سازمان ملی جوی و اقیانوس شناسی آمریکا (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>)

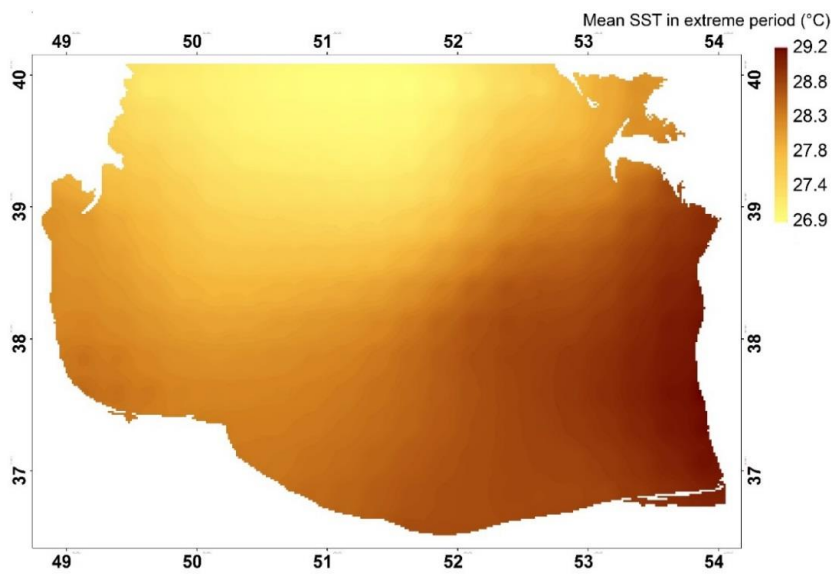
برای دوره زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶ (۳۵ سال) دریافت شد. داده ها با فرمت NetCDF داندود و دمای سطحی آب به صورت روزانه و برای هر گرید به صورت مجزا با استفاده از نرم افزار R استخراج شد. شروع و پایان فصل گرم در هر سال و همچنین رخداد وقایع فرین در فصل گرم مطابق با روش ارائه شده توسط Costoya و همکاران (2015) و به شرح زیر محاسبه گردید:

برای هر سال در هر پیکسل، اولین روزی که مقدار دمای سطحی آب در آن از چارک ۷۵ میانگین دمای روزانه همه روزهای سال بیشتر باشد به عنوان شروع فصل گرم و آخرین روزی که مقدار دمای آن از چارک ۷۵ میانگین دمای روزانه همه روزهای سال بیشتر باشد به عنوان پایان فصل گرم انتخاب می شود. همچنین برای هر سال، در هر پیکسل روزهایی که مقدار دمای سطحی

توان به تغییرات طولانی مدت الگوی دمایی در فصل گرم و همچنین وقوع رخداد های شدید حرارتی (وقایع فرین) در این فصول اشاره نمود. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی الگوی زمانی- مکانی مقادیر میانگین، روند طولانی مدت و تغییرات توزیع فراوانی دمای سطحی آب در فصل گرم و همچنین رویدادهای فرین در بخش جنوبی دریای خزر با استفاده از داده های ماهواره ای طولانی مدت با وضوح بالا می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مد نظر در این مطالعه، بخش جنوبی دریای خزر (محدوده جغرافیایی پایین تر از عرض 40° درجه شمالی، شکل ۱) می باشد. این بخش، 35% درصد از مساحت و حدود 64% از حجم کلی دریای خزر را شامل می شود. بخش جنوبی دریای خزر با میانگین عمق 300 متر و حداکثر عمق 1025 متر، عمیق ترین بخش این اکوسیستم آبی محسوب می شود. شوری آب در این بخش حدود 13 گرم/لیتر می باشد (Aladin and Plotnikov, 2004). داده های دمای سطحی آب برای منطقه مورد مطالعه (مجموعاً 236 پیکسل در محدوده



شکل ۲- تغییرات مکانی میانگین دمای سطحی آب جنوب دریای خزر در طی وقایع فرین (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

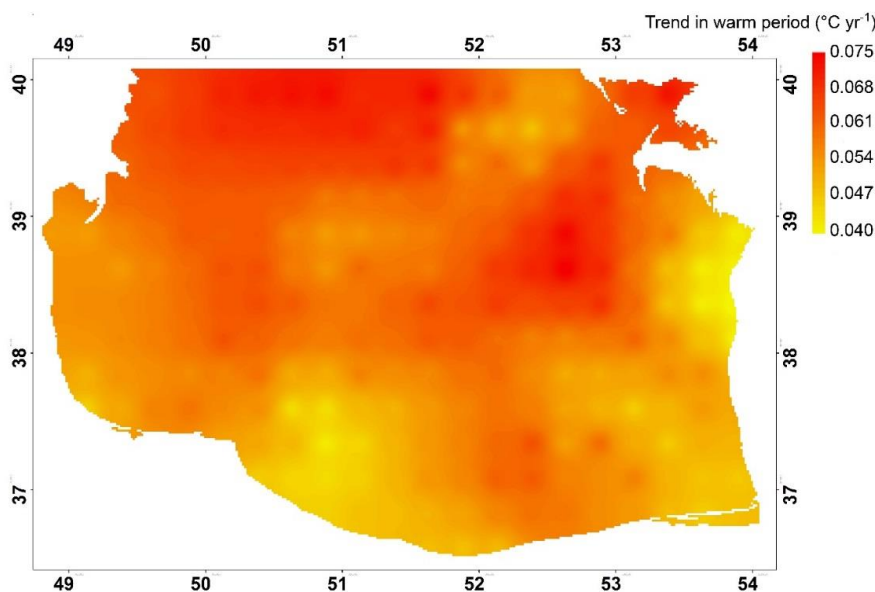
بین ۲۷/۶-۲۵ سلسیوس می باشد. بالاترین و پایین ترین میانگین طولانی مدت دمای سطحی آب در فصل گرم به ترتیب در حاشیه جنوب شرقی و نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. به نظر می رسد که دمای سطحی آب در طول فصل گرم در نواحی ساحلی بخش جنوبی دریای خزر بالاتر از مناطق مرکزی آن باشد. این موضوع خصوصا در نوار ساحلی جنوب شرق منطقه مورد مطالعه (که بخش بزرگ این محدوده آبی در کشور ایران قرار دارد) بارز می باشد.

شکل شماره ۲، میانگین دمای سطحی آب بخش جنوبی دریای خزر را در طی وقایع فرین در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ نشان می دهد. براساس شکل ۲، دامنه تغییرات میانگین دما در وقایع فرین بین ۲۹/۲-۲۷/۴ سلسیوس می باشد. بالاترین میانگین دمای سطحی آب در طی وقایع فرین فصل گرم حاشیه شرق تا جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که تقریبا به لحاظ پراکنش مکانی با تغییرات دما در دوره فصل گرم همخوانی دارد اما در طی وقایع فرین بیشینه دمای ثبت شده اندکی به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر پیشروی کرده است (این موضوع خصوصا در مناطق شرقی بخش جنوبی خزر

آب در آنها بیشتر از چارک ۹۵ میانگین دمای روزانه همه روزهای سال باشد به عنوان وقایع فرین در فصل گرم در نظر گرفته می شوند. برای تعیین چارک های مد نظر از رگرسیون چندکی (کوانتایل) استفاده شد (Koenker and Bassett, 1978). از مدل رگرسیون خطی (حداقل مربعات) با یک متغیر مستقل زمانی (سال) برای محاسبه روند تغییرات سالیانه دما در هر پیکسل در طول فصل گرم و همچنین وقایع فرین در فصل گرم استفاده گردید. ترسیم نقشه میانگین و روند طولانی مدت این تغییرات با استفاده از نرم افزار ArcMap 10.5 صورت پذیرفت. توابع چگالی احتمال (PDF) مربوط به روند تغییرات دما در دوره فصل گرم و همچنین روند تغییرات دمایی در طی وقایع فرین با استفاده از نرم افزار Minitab 16 محاسبه و ترسیم شد.

نتایج و بحث

شکل شماره ۱، میانگین دمای سطحی آب بخش جنوبی دریای خزر را در طول فصل گرم در طی بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ نشان می دهد. از نظر جغرافیایی، دامنه تغییرات میانگین دمای فصل گرم در دریای خزر

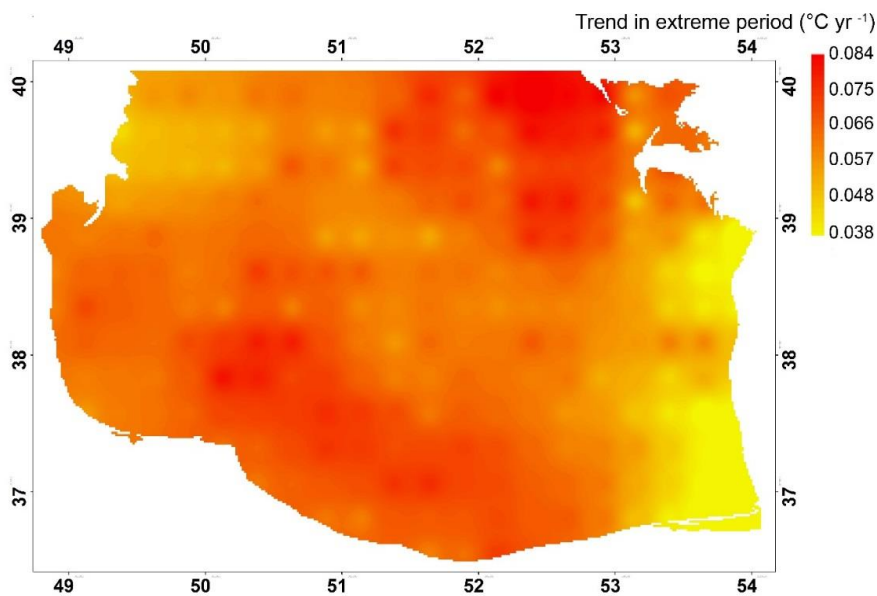


شکل ۳- توزیع مکانی روند تغییرات دمای سطحی آب جنوب دریای خزر در طول فصل گرم (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

کمترین میزان افزایش دما در طول این دوره ۳۶ ساله بود که بخش‌های ساحلی ایران نسبت به سایر مناطق از شدت گرمایش کمتری برخوردار بود (شکل شماره ۳). شدت روند زمانی تغییرات دمای سطحی آب بخش جنوبی دریای خزر را در طی وقایع فرین (در بازه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶) شکل شماره ۴ نشان داده شده است. براساس این شکل دامنه تغییرات روند دمای دوره فرین در دریای خزر بین $0/04-0/084$ درجه سلسیوس بر سال می باشد که نشان دهنده افزایش دما به میزان $3-1/4$ درجه سلسیوس در بازه زمانی ۳۶ ساله مطالعه حاضر می باشد. برخلاف روند زمانی تغییرات دما در طول فصل گرم، بیشترین روند افزایش دمای سطحی آب در طی وقایع فرین در مناطق شمال شرق و جنوب و کمترین مقادیر این روند در حاشیه شرق و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. همچنین، هیچ گونه روند منفی که نشان دهنده کاهش دما باشد، مشاهده نشد. با مقایسه نقشه‌های روند تغییرات دما و میانگین مقادیر دمایی در طی دوره فرین می توان بیان کرد که مناطقی دارای بالاترین میانگین دما در دوره فرین، کمترین روند افزایشی دما را در دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ نشان دادند (اشکال ۲ و ۴).

واضح تر است). با تقسیم بندی فرضی منطقه مورد مطالعه به دو نیمه شمالی و جنوبی می توان بیان کرد که، بخش جنوبی هم در دوره فصل گرم و هم در طی وقایع فرین، میانگین دمای سطحی بالاتری را نسبت به بخش شمالی نشان می دهد (اشکال شماره ۱ و ۲).

شدت روند زمانی (شیب رگرسیون) تغییرات دمای سطحی آب بخش جنوبی دریای خزر در طول فصل گرم (در بازه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶) در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. دامنه این روند زمانی $0/04-0/08$ سلسیوس بر سال است که نشان دهنده افزایش دما به میزان $2/9-1/4$ سلسیوس در طول دوره ۳۶ ساله این مطالعه می باشد. همچنین، هیچ گونه روند منفی که نشان دهنده کاهش دما باشد مشاهده نشد. بیشترین روند افزایش دما در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که از لحاظ جغرافیایی این روند افزایشی در بخش شمال غربی و مناطق مرکزی به سمت شرق بارزتر بود. مناطق جنوبی، شرق و جنوب شرق حاکی از کمترین روند افزایش دما بودند. این درحالیست که بالاترین میانگین دمای سطحی آب در طول فصل گرم، در نواحی جنوب شرقی ثبت گردید. نواحی ساحلی منطقه مورد مطالعه، نشان دهنده



شکل ۴- توزیع مکانی روند تغییرات دمای سطحی آب جنوب دریای خزر در طی وقایع فرین (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

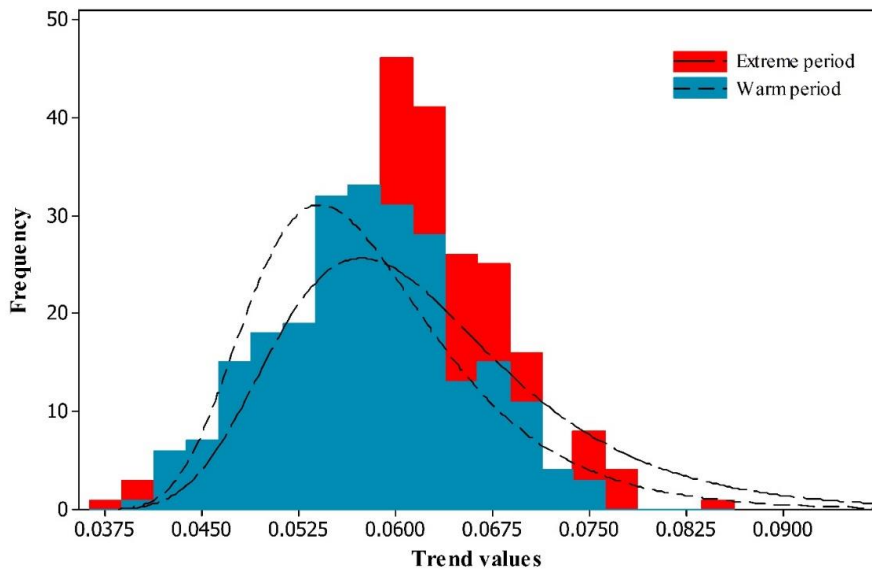
باشد. با توجه به اینکه تعداد داده های روند برای هر دو دوره گرم و فرین ۲۳۶ عدد (مجموع تعداد پیکسل های برای بخش جنوبی دریای خزر) است، می توان بیان کرد که در طول فصل گرم بیشتر پیکسل ها دارای روندی کمتر از ۰/۰۶ و در دوره فرین اکثر پیکسل ها دارای روندی بیشتر از ۰/۰۶ درجه سلسیوس بر سال می باشند. همچنین شکل شماره ۵، نشان می دهد که حداکثر مقادیر افزایش روند دما در طول فصل گرم در حدود ۰/۰۷۵ درجه سانتی گراد بر سال است (که فراوانی بعد از این مقدار به صفر می رسد). حداکثر مقادیر افزایش روند دما در وقایع فرین، در حدود ۰/۰۸۴ درجه سلسیوس بر سال می باشد که نشان می دهد در تعدادی از پیکسل ها شدت روند افزایش یافته است.

جمع بندی

آگاهی از روند تغییرات طولانی مدت دمای سطحی آب دریاها می تواند دارای اهمیت زیادی در مدیریت پایدار منابع زیستی اکوسیستم های دریایی در آینده داشته باشد. در مطالعات پیشین، افزایش دمای آبهای سطحی دریای خزر در دوره های زمانی مختلف مورد

شکل شماره ۵، هیستوگرام و توابع چگالی احتمال مربوط به روند زمانی تغییرات دما در طول فصل گرم و همچنین در طی وقایع فرین را به صورت مقایسه ای نشان می دهد. این شکل، نمایش دهنده توزیع فراوانی هر کدام از طبقات مقادیر روند، تقارن حول میانگین و چولگی می باشد. بر اساس این توابع، روند تغییرات دما در طی وقایع فرین با شدت بیشتری نسبت به روند دما در طول فصل گرم افزایش می یابد. افزایش چولگی در نمودار روند تغییرات دما در وقایع فرین در مقایسه با چولگی مشاهده شده در نمودار مربوط به تغییرات دما در فصل گرم، مبین افزایش مقادیر عددی روند در وقایع فرین نسبت به دوره گرم می باشد (شکل شماره ۵).

نقطه شکست یعنی مقدار روند عددی حدود ۰/۰۶ درجه سلسیوس بر سال، نشان دهنده تغییر در میزان فراوانی روند تغییرات دما در وقایع فرین نسبت به روند تغییرات دما در فصل گرم می باشد. پس از این نقطه شکست، فراوانی مربوط به روند تغییرات دما در وقایع فرین نسبت به روند تغییرات دمای سطحی آب در دوره گرم بیشتر می شود ولی قبل از این نقطه شکست، فراوانی روند دما در فصل گرم نسبت به وقایع فرین بیشتر می



شکل ۵- هیستوگرام چگالی احتمال روند زمانی تغییرات دما در فصل گرم و وقایع فرین (۱۹۸۲-۲۰۱۶)

(*et al.*, 2019). لازم به ذکر است که روند تغییرات سالیانه دمای سطحی آب در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۲ (حدوداً برابر با ۰/۰۴ درجه سلسیوس بر سال) نسبت به دوره بیست ساله قبل از آن حدود ۴ برابر افزایش یافته است (*Kostianoy et al.*, 2019). چنین روند افزایشی شدیدی در سایر اکوسیستمهای بسته و نیمه بسته مثل دریای بالتیک، دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ نیز مشاهده شده است (*Chaidez et al.*, 2017) که این موضوع مدیریت آینده منابع زیستی این گونه اکوسیستم ها را بسیار حساستر کرده است. مشکل اصلی در این اکوسیستم ها محدود بودن دامنه مهاجرتی ارگانسیم ها در پاسخ به افزایش دما گزارش شده است. روند نسبتاً یکنواخت افزایش دما در اکثر مناطق بخش جنوبی دریای خزر می تواند این مساله را پیچیده تر نماید. افزایش چولگی و فراوانی شیب های بیشتر روند دما در وقایع فرین نسبت به فصل گرم (شکل شماره ۵)، نشان دهنده پیچیده تر شدن وضعیت گرمایش آبهای سطحی در دریای خزر می باشد. به بیان دیگر، افزایش طولانی مدت دمای سطحی آب در این منطقه فقط شامل یک گرمایش یکنواخت در طول زمان نبوده است، بلکه تعداد

تاکید قرار گرفته است (*Ginzburg et al.*, 2005; *Kavak*, 2012; *Khoshakhlagh et al.*, 2016; *Kostianoy et al.*, 2019). با این وجود، کلیه این مطالعات بر روی تعیین روند تغییرات معمول سالیانه و ماهیانه دمای سطحی در اکوسیستم دریای خزر متمرکز بوده اند و تا کنون مطالعه دقیقی در خصوص سایر ویژگی های کلیدی گرمایش آبهای سطحی در این منطقه شامل تغییرات طولانی مدت دما در طول فصل گرم و همچنین در طی وقایع فرین صورت نپذیرفته است. لذا این مطالعه برای اولین بار کوشیده است تا جنبه های مهم دیگری از تغییرات دمای سطحی آب در جنوب دریای خزر را در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۲ مورد بررسی و مطالعه قرار دهد. نتایج این مطالعه (با استفاده از سری زمانی روزانه دمای سطحی آب)، نشان دهنده روند پایدار گرمایش آب در طول فصل گرم و همچنین در طی وقایع فرین در کلیه بخش های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. روند افزایش دمای سطحی آب در طول فصل گرم و همچنین در طی وقایع فرین در قسمت زیادی از جنوب دریای خزر (اشکال شماره ۳ و ۴)، تقریباً دو برابر بیشتر از روند تغییرات سالیانه دما در این منطقه است (*Kostianoy*)

- 2014). *Journal of Marine Systems* 150:91-101.
- DeCastro, M., Gómez-Gesteira, M., Costoya, X., Santos, F., 2014. Upwelling influence on the number of extreme hot SST days along the Canary upwelling ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 119:3029-3040.
- Ghasemifar, E., Farajzadeh, M., Mohammadi, C. and Alipoor, E., 2019. Long-term change of surface temperature in water bodies around Iran-Caspian Sea, Gulf of Oman, and Persian Gulf—using 2001–2015 MODIS data. *Physical Geography*: 1-15.
- Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Sheremet, N.A., 2005. Sea surface temperature variability. *The Caspian Sea Environment*. Springer, pp. 59-81.
- Hartmann, D.L., Tank, A.M.K., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y.A.R., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., 2013. Observations: atmosphere and surface. *Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.
- Kavak, M.T., 2012. Long term investigation of SST regime variability and its relationship with phytoplankton in the Caspian Sea using remotely sensed AVHRR and SeaWiFS data. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 12:709-717.
- Khodorevskaya, R., Kim, Y., Shahifar, R., Mammadov, E., Katunin, D., Morozov, B., Akhundov, M., Muradov, O., Velikova, V., 2014. State and dynamics of the bioresources in the Caspian Sea.
- Khoshakhlagh, F., Shakouri Katigari, A., Hadinejad Saboori, S., Farid Mojtahedi, N., Momen Poor, F., Asadi Oskuce, E., 2016. Trend of the Caspian Sea surface temperature changes. *Natural Environment Change* 2:57-66.
- Koenker, R., Bassett, Jr., 1978. Regression quantiles. *Econometrica: journal of the Econometric Society*: 33-50.
- Kostianoy, A.G., Ginzburg, A.I., Lavrova, O.Y., Lebedev, S.A., Mityagina, M.I., Sheremet, N.A., Soloviev, D.M., 2019. Comprehensive Satellite Monitoring of Caspian Sea Conditions. *Remote Sensing of the Asian Seas*. Springer, pp. 505-521.
- Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophysical Research Letters* 32.
- Sarmiento, J.L., Hughes, T.M., Stouffer, R.J., Manabe, S., 1998. Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. *Nature* 393:245.
- Stine, A. R., Huybers, P., Fung, I. Y., 2009. Changes in the phase of the annual cycle of surface temperature. *Nature* 457:435.
- Taboada, F. G., Anadón R., 2012. Patterns of change in sea surface temperature in the North Atlantic during the last three decades: beyond mean trends. *Climatic Change* 115:419-431.

رخدادهای فرین و همچنین میانگین دما در این رخدادهای دچار تغییرات جدی شده است. لازم به ذکر است که وقایع فرین دمایی در طولانی مدت می تواند آثار عمیق اکولوژیکی را بر جوامع زیستی بگذارد. مطالعه دقیق تر این وقایع، همچنین تغییرات دما در طول فصل گرم سال نقش مهمی را در دستیابی به برنامه های مدیریتی اکوسیستم-محور در این منطقه ایفا خواهد کرد. نکته مهم دیگر، تاثیر احتمالی این تغییرات بر الگوی بارشهای محلی، اقلیم و متعاقبا زیستمدان حوضه جنوبی دریای خزر می باشد که مطالعات آینده اقلیمی-هواشناسی در این خصوص بسیار ضروری به نظر می رسد.

افزایش دما بیش از حد تحمل آبریان در اکوسیستم دریای خزر می تواند فیزیولوژی و ساختار جمعیتی آنها را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر این، محدودیت مهاجرتی این ارگانسیم ها (به دلیل بسته بودن این پهنه آبی) ممکن است آسیب پذیری آنها را در مواجهه با گرمایش محتمل آبهای سطحی به ویژه در فصول گرم افزایش دهد زیرا در این دوره زمانی آبریان در بالاترین محدوده تحمل حرارتی زیست می کنند. پایش منظم و مداوم گرم شدن آب به خصوص در فصول گرم و تعیین تاثیرات آن بر فیزیولوژی (رشد، تغذیه و تولید مثل) و همچنین مرگ و میر احتمالی آبریان در این منطقه می تواند به شناسایی زیستگاه های حساس و به کارگیری برنامه های حفاظتی از آنها کمک شایانی نماید. در حال حاضر اطلاعات کمی دقیقی در خصوص محدوده تحمل حرارتی بیوتای خزر وجود ندارد که مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین این محدوده بسیار ضروری می باشد.

مراجع

- Aladin, N., Plotnikov, I., 2004. The Caspian Sea. *Lake Basin Management Initiative Thematic Paper*.
- Chaidez, V., Dreano, D., Agusti, S., Duarte, C.M., Hoteit, I., 2017. Decadal trends in Red Sea maximum surface temperature. *Scientific reports* 7:8144.
- Costoya, X., Gómez-Gesteira, M., Santos, F., 2015. Changes in sea surface temperature seasonality in the Bay of Biscay over the last decades (1982–

Frequency Distribution of Warm Season SST in the Southern Caspian Sea

Omid Beyraghdar Kashkooli^{1*}, Mohammad Ghadami², Reza Modarres¹

¹ Assistant professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

² MSc. Graduate, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding Author Email: omid.beyraghdar@cc.iut.ac.ir

Received: 28 September 2018, accepted: 22 December 2018

ABSTRACT

The purpose of the present study was to evaluate the spatial pattern of the mean, time trends and frequency distribution of sea surface temperature in the warm season as well as extreme events in the southern part of the Caspian Sea (using long-term, high-resolution satellite data during 1982- 2016). The average range of temperature changes in the study area is between 25-27.6°C. The maximum and minimum long-term mean water temperatures during the warm season were observed in the southeastern coasts and northern regions of the study area, respectively. The mean temperature changes in the extreme events were 27.4-29.2°C. The highest long-term average water temperatures during the extreme events was observed in the east to the southeast of the study area. During the warm season and extreme events, the trend of sea surface temperature changes in the southern part of the Caspian Sea was 0.04-0.08 and 0.04-0.084 ° C per year, respectively. Also, there was no negative trend (indicating a decrease in temperature) in warm season temperatures and extreme events. Based on the probability density functions, the temperature changes during the extreme events are more intense than the temperature trend during the warm season. Increasing the skewness in the probability density function of the temperature changes in the extreme events compared to that of the warm season is indicative of increasing the numerical values of the trend in the extreme events compared to the warm season.

Keywords: Sea surface temperature, the Caspian Sea, Warm season, Extreme events, Probability density

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Beyraghdar Kashkooli O., Ghadami M., Modarres R.. (2019). Frequency Distribution of Warm Season SST in the Southern Caspian Sea. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(4): 318-325.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

