

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۴

صفحات: ۲۳۲ - ۲۱۷

ارزیابی تغییر اقلیم دریای خزر از طریق تحلیل روند دمای سطح آب

اکبر زهرایی^۱، جواد خوشحال دستجردی^{۲*}، عبدالعظیم قانقرمه^۳

چکیده

تغییرات دمای سطح آب دریا و دریاچه‌ها می‌تواند اثرات قابل توجهی بر اکوسیستمهای دریایی و زندگی جوامع انسانی حواشی این دریاها داشته باشد. با تحلیل روند دمای سطح آب دریاها می‌توان میزان اثرپذیری آن دریا از تغییر اقلیم جهانی را بررسی نمود. با توجه به اینکه دریای خزر به عنوان بزرگترین پیکره آبی بسته جهان شناخته شده است این تغییرات دمای سطح آب می‌تواند صدمات زیادی به اکوسیستم حساس و شکننده این دریا وارد کند. هدف تحقیق حاضر تحلیل روند دمای سطح آب دریای خزر به منظور بررسی اثر پذیری این دریا از تغییر اقلیم جهانی جهت اعمال آن در برنامه‌ریزهای مدیریتی جهت حفظ تعادل این اکوسیستم آبی ارزشمند می‌باشد. این تحقیق با استفاده از داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی $25^{\circ} \times 25^{\circ}$ درجه قوسی طی یک دوره آماری ۲۹ ساله در قالب روشهای آماری ناپارامتری بر روی ۷۲۰ یاخته انجام گردید. نتایج تحقیق نشان داد که در مقیاسهای ماهانه، فصلی و سالانه دمای سطح آب دریای خزر دارای روند افزایشی قابل توجهی است که این روند نیازمند توجه برنامه‌ریزان و مدیران تصمیم گیرنده در کشورهای حاشیه این دریا بمنظور حفظ تعادل اکوسیستم آن می‌باشد. آهنگ افزایش دمای سطح آب حدود 0.5 سلسیوس به ازای هر دهه برای این دریا می‌باشد. با توجه به اینکه خزر یک سیستم بسته می‌باشد هر گونه افزایش محسوس دمای سطح آب می‌تواند اثرات زیانباری بر زندگی آبزیان، منابع آب، تبخیر از سطح دریا و به تبع آن بر تراز و وضعیت آلودگی دریا داشته باشد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، تحلیل روند، دمای سطح آب، دریای خزر.

zahraei@geo.ui.ac.ir

javadkhoshhal@yahoo.com

a_ghanghermeh@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان

۲- دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

۳- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان

مقدمه

گرمایش جهانی در قرن بیست و یکم به یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی جهان تبدیل شده است (چان^۱، ۲۰۰۶). دمای سطح آب (SST^۲) یکی از مهمترین متغیرهایی است که درک روابط بین جو و پیکره‌های آبی را بهتر می‌کند (رینولد و همکاران، ۲۰۰۷). تحلیل داده‌های شبکه‌ای دمای سطح آب باعث می‌شود که یک سری داده نامنظم به یک شبکه منظم تبدیل شود تا از طریق آن بتوان تحلیل (اسمیت و رینولد، ۲۰۰۳) و پیش‌بینی (کورتلی و اسروکز، ۲۰۰۲) دمای یک پیکره آبی را انجام داد. در واقع با در دست داشتن داده‌های بلند مدت دمای سطح آب می‌توان به بررسی تغییرات ارتباط بین جو و سطوح آبی پی برد (ياسوناکا و هاوانا^۳، ۲۰۱۱). تغییرات دمای سطح آب دریاها و بخصوص دریاچه‌ها می‌تواند اثرات قابل توجهی بر خواص شیمیایی آب، اکوسیستمهای آبی (کاواک^۴، ۲۰۱۲)، هود و همکاران (۱۹۹۰)، رابینسون و ویلیامز (۱۹۹۳)، نیکجایر و وان کمپ (۱۹۸۹)، آکلسون و همکاران (۱۹۸۸)، فاکس و همکاران (۲۰۰۵)، وانگ و همکاران (۲۰۰۶)، مایلز و هی (۲۰۱۰)، گینزبورگ و همکاران (۲۰۰۲)، ابیگیل و همکاران (۲۰۰۸) و کاواک و کارادوقان (۲۰۱۲)؛ فعالیت‌های دریایی و نیز بر جوامع انسانی سواحل آنها داشته باشد (یو و بوئر^۴، ۲۰۰۶). دریاچه خزر به عنوان بزرگترین دریاچه جهان می‌تواند یکی از اهداف مهم مطالعات اثرات تغییر اقلیم بر یک اکوسیستم آبی بسته باشد. این دریاچه با توجه به گسترش عرضی قابل توجه خود (حدود ۱۰ درجه عرض جغرافیایی بین شمال و جنوب) دارای یک گستره دمایی متفاوت بوده (کاواک^۵، ۲۰۱۲) و علاوه بر آن در اثر اختلاف عمق آب که از جنوب به شمال در این دریاچه کاهش می‌یابد، حجم آب دریا نیز در سطوح متساوی در تراز سطح دریا از جنوب به شمال کاهش خواهد یافت (جامسیموف^۶، ۱۹۹۹). لذا در صورت دریافت انرژی تابشی یکسان به سطوح جنوبی و شمالی به دلیل ویژگیهای فیزیکی خاص آب، دمای سطح آب نیز با افزایش عمق در تابستان کاهش و در زمستان افزایش می‌یابد. لذا علاوه بر میزان تغییرات شدت و مدت تابش بر دمای سطح آب دریا، تغییرات عمق آب هم یکی از مولفه‌های مهم تاثیرگذار نوسانات دمایی بر آن می‌باشد. بسیاری از محققان در سالهای اخیر به تحلیل روند مولفه‌های دمایی بخصوص دمای سطح آب جهت آشکارسازی تغییر اقلیم و اثرات آن بر محیط اطراف اقدام نموده‌اند. کار گروه محیطی سازمان ملل در سال ۲۰۱۶ با انتشار یک گزارش با عنوان روندهای دمای سطح آب در اکوسیستمهای بزرگ دریایی به دسته‌بندی روند دمای سطح آب در پنج دسته خیلی افزایشی، افزایشی، متوسط، کم و دریا‌های باروند کاهشی با استفاده از داده‌های دمای سطح آب در طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۵۷ اقدام کردند ولیکن متأسفانه دمای سطح آب دریای خزر در این گزارش مورد توجه قرار نگرفته بود (بلکین^۷، ۲۰۱۶). تاکافومی در سال ۲۰۰۸ روند دمای سطح آب دریای جنوبی ژاپن را تحلیل کرد و نتیجه گرفت که روند گرمایش دمای سطح آب، در اطراف ژاپن بیشتر از میانگین جهانی آن می‌باشد. بگراد و همکاران در سال ۲۰۰۴

1- Chan
2- Sea Surface Temperature
3- Yasunaka and Hanawa
4- Yu and Boer
5. Kavak
6. Gamsimov
7. Belkin

روند دمای سطح آب در خلیج آلاسکا را با داده‌های دمای سطح آب ۲۶ ایستگاه طی دوره ۱۹۹۷-۱۹۵۰ تحلیل نمودند. خوش اخلاق و همکاران (۲۰۱۶) تحلیل روند دمای سطح دریای خزر برای چهار نقطه از سطح خزر طی یک دوره سی ساله تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که در هر چهار نقطه مورد بررسی در مقیاس سالانه روند دما افزایشی بوده است. خواجوی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی مدل‌سازی دمای هوای سواحل جنوبی خزر و نیز آشکارسازی تغییر اقلیم در این دریا را با داده‌های سه ایستگاه انزلی، رامسر و بابلسر با روش خطی تحلیل کردند. آنها با استفاده از مدل‌های ماهانه (آریما) و فصلی (ساریما) سری زمانی مدل‌های سه گانه مناسبی را برای پیش بینی دما ارائه نمودند. در این تحقیق همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده حدود ۹۷ درصد بود. پانین در سال ۲۰۰۷ در پژوهشی به دلایل افت سه متری آب خزر در دهه ۷۰ میلادی پرداخت. وی داده‌های دما، سرعت باد و مقدار تبخیر را روندیابی کرد و نتیجه گرفت که روند سرعت باد در دریا کاهشی و روند دما و بارش افزایشی و معنی‌دار بوده است. لذا تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در سطح کلان تأثیرات خود را بر رژیم آبی و سطح آب آن بر جای گذاشته‌اند. سونسون و وار (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس تغییرات ذخیره آب دریای خزر را طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ میلادی با یک روش تلفیقی بررسی کردند. آنها با استفاده از داده‌های مذکور سعی کردند تا حد امکان تفاوت بین تغییرات طبیعی و دستکاری توسط انسان را مشخص نمایند. یکی از نتایجی که از پژوهش حاصل شد این بود که تغییرات دما سبب تغییرات حجم آب دریا شده و تراز بلند مدت آب آن را متأثر ساخته است. مولوی عربشاهی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه سینوپتیک در استان‌های گیلان و مازندران از جمله آستارا، انزلی، رشت، لاهیجان و رامسر به تحلیل روند دما و بارش سواحل جنوبی دریای خزر و ارتباط آنها با پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی پرداختند و نتیجه گرفتند که داده‌های بارش دارای یک روند کاهشی ضعیف و داده‌های دما دارای یک روند افزایشی قوی در خزر جنوبی بوده است همچنین داده‌های دمای خزر جنوبی با داده‌های پیوند سیاره‌ای^۱ NAO و^۲ ENSO بیشترین ارتباط را دارد. جمشیدی و نوردین (۲۰۱۷) دو عنصر دما و شوری آب خزر جنوبی را با تغییرات عمق دریا در ایستگاه رودسر بررسی و نتیجه گرفتند که تغییرات عمودی دمای سطح آب از ۲۹ درجه سلسیوس در سطح بطور خطی تا ۸ درجه سلسیوس در عمق ۱۱۷ متری کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی (۲۵/۰*۲۵/۰* درجه قوسی) و زمانی (روزانه) مناسب و نیز در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با استفاده از ابزار تحلیل فضایی اقدام به نمایش توزیع روند در تمام سطح دریای خزر و همچنین استخراج مساحت دسته‌های مختلف روند و درصد هر یک از آنها و ... گردیده است. هدف تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تأثیرپذیری دمای سطح آب تمامی خزر از گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌باشد که می‌توان ادعا کرد نسبت به تحقیقات پیشین از دقت و جامعیت بیشتری برخوردار بوده و در حد خود می‌تواند مفید بوده و برای تحقیقات آتی مقدمه‌ای ارزشمند بحساب آید.

1- North Atlantic oscillation

2- El Nino Southern Oscillation

داده‌ها و روش‌ها

دریای خزر بزرگترین دریاچه جهان است که گسترش مداری آن در حدود ۱۲۰۰ کیلومتر و گسترش نصف النهاری آن حدود ۳۲۰ کیلومتر می‌باشد. این دریاچه از عرض ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا عرض ۴۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی و از طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی تا طول ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه گسترده شده است (خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶). داده‌های دمای سطح آب در این پژوهش از مرکز پایگاه داده‌های NCEP/NCAR که داده‌های آن دمای سطح آب دریا در واحد زمانی روزانه در محدوده ۴۶ تا ۵۵ درجه طول و ۳۶ تا ۴۷ درجه عرض جغرافیایی و بصورت شبکه‌ای در نرده‌های ۰/۲۵*۰/۲۵ درجه قوسی در طی دوره آماره ۱۹۸۲-۲۰۱۰ میلادی از پایگاه داده^۱ NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده اخذ گردید. یک پایگاه شبکه‌ای جدید برای پارامتر دمای سطح آب دریای خزر بصورت روزانه ایجاد گردید که دارای ۷۲۰ گره قوسی بود. صحت سنجی داده‌های دمای سطح آب بصورت تعریف کد فیلتر برای مقادیر کمینه و بیشینه انجام گرفت. با توجه به تغییرات در نرم اقلیمی مناطق مختلف تحلیل روند سری زمانی عناصر مختلف اقلیمی یک نیاز است. یکی از روش‌های کاربردی جهت تحلیل روند که بصورت ناپارامتری می‌باشد روش من-کندال (Mann-Kendal) است. این روش توسط من (۱۹۴۵) ارائه و پس از وی توسط کندال (۱۹۷۰) تصحیح و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) نشان از وجود روند در سری زمانی داده‌ها دارد. بر مبنای داده‌های این پایگاه نقشه‌های وکتوری و رستری دمای سطح آب بصورت ماهانه، فصلی و سالانه ترسیم، تحلیل و روندیابی گردید. ابزار تحلیل روند در این پژوهش روش ناپارامتری من کندال می‌باشد. در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های jام و kام سری می‌باشند. تابع علامت sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\begin{aligned} \operatorname{sgn}(x_j - x_k) &= +1 && \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \operatorname{sgn}(x_j - x_k) &= 0 && \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \operatorname{sgn}(x_j - x_k) &= -1 && \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر محاسبه شد:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (۳)$$

for $n > 10$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۴)$$

for $n < 10$

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) می‌باشد. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$z = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ for } S > 0 \quad (۵)$$

$$z = 0 \text{ for } S = 0$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ for } S < 0$$

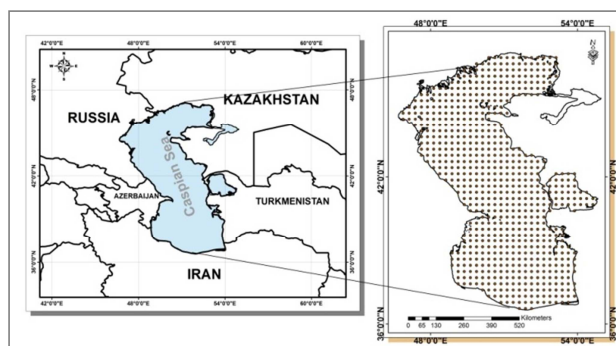
با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (۶)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۰).

جدول ۱: دسته‌های روند دمای سطح آب در دریای خزر

مقدار Z	دسته روند	ردیف
$Z > -2.54$	روند کاهشی در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد	۱
$-1.96 < Z < -2.54$	روند کاهشی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد	۲
$Z = \mp 1.96$	بدون روند	۳
$+1.96 < Z < +2.54$	روند افزایشی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد	۴
$Z > +2.54$	روند افزایشی در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد	۵

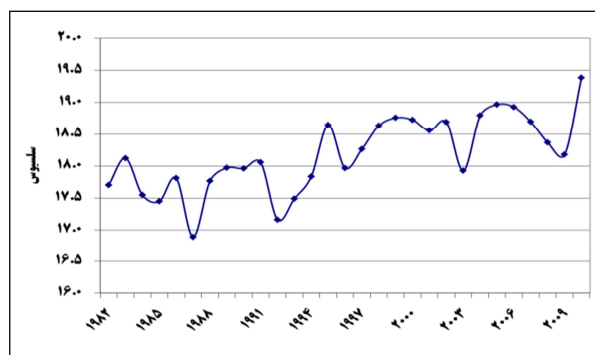


شکل ۱: موقعیت دریای خزر و پراکنش داده‌های شبکه‌ای دمای سطح آب

نتایج و بحث

توصیف دمای سطح آب

در طول سال خطوط همدمای در خزر به واسطه عرض جغرافیایی توزیع مداری دارد بطوریکه از جنوب به شمال دریا از مقدار دمای سطح آب کاسته می‌شود. در مقیاس سالانه در خزر جنوبی فشردگی خطوط همدمای بیشتر از خزر میانی و شمالی است (شکل ۳). کمینه دمای سالانه در جنوب شرقی خزر $۱۹/۴$ درجه سلسیوس و در خزر شمالی $۱۱/۸$ درجه سلسیوس است. نتایج توزیع جزئی دمای سالانه سطح آب در خزر طبق جدول شماره دو نشان می‌دهد که میانگین سالانه دمای سطح آب در این دریا $۱۵/۶$ درجه سلسیوس می‌باشد. این میانگین در خزر شمالی، میانی و جنوبی به ترتیب برابر با $۱۲/۸$ ، $۱۵/۲$ و $۱۷/۴$ درجه سلسیوس است. متوسط دمای سطح آب تابستان در خزر $۲۴/۵$ درجه سلسیوس می‌باشد. کمینه آن نیز در این فصل $۲۱/۸$ درجه در خزر شمالی و بیشینه آن هم با $۲۷/۲$ درجه سلسیوس در خزر جنوبی دیده می‌شود. خطوط همدمای سطح آب در خزر جنوبی حالت مداری و در خزر میانی و شمالی حالت نصف النهاری دارد. میانگین دمای سطح آب در خزر شمالی $۲۳/۵$ درجه، خزر میانی $۲۳/۴$ درجه و خزر جنوبی $۲۵/۷$ درجه سلسیوس است. مقادیر موجود در جدول شماره یک نشان می‌دهد که میانگین دمای خزر شمالی و میانی در فصل تابستان نزدیک به هم است. میانگین دمای سطح آب دریای خزر در فصل بهار $۱۷/۳$ درجه سلسیوس، کمینه آن در خزر میانی حدود $۱۴/۲$ و بیشینه آن در خزر جنوبی $۲۰/۳$ درجه سلسیوس می‌باشد (جدول شماره ۲ و شکل شماره ۲). در فصل بهار نیز همانند فصل تابستان میانگین دمای سطح آب در خزر شمالی و میانی مشابه است. در فصل بهار این فصل دمای سطح آب در مصب رودخانه ولگا نسبت به سایر بخش‌های خزر شمالی بیشتر است. در فصل بهار بخش مرکزی خزر میانی دچار یک افت محسوس در میانگین دمای خود نسبت به سایر بخش‌های خزر می‌باشد. با توجه به جابجایی آبهای گرم از خزر جنوبی و میانی در امتداد شیب قاره مناطق حاشیه گرم‌تر از مناطق عمیق خزر میانی می‌باشد. عمق زیاد مرکز خزر میانی باعث هدایت گرمایی و ذخیره آن در فصول گرم و بالای این حرارت بصورت تدریجی در فصول سرد سال است. طبیعتاً در فصول گذار مانند فصل بهار انرژی مناطق عمیق‌تر دریا مانند خزر میانی رو به اتمام بوده و لذا کمتر بودن دمای این بخش نسبت به سایر قسمت‌ها قابل توجیه است.



شکل ۲: میانگین بلند مدت دمای سطح آب خزر طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰

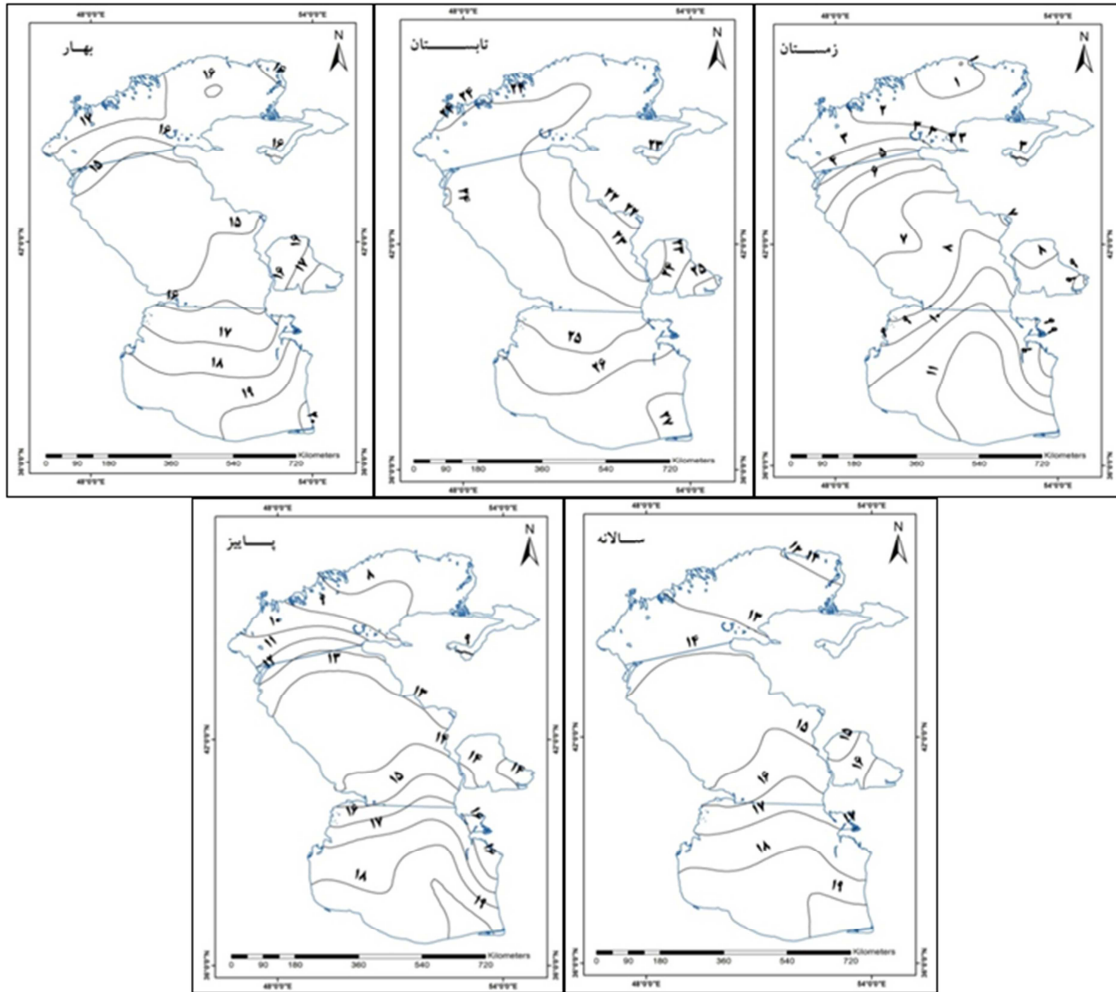
از ویژگی قابل توجه درجه حرارت فصل زمستان دمای سطح آب خزر افزایش قابل توجه آن از شمال به جنوب دریاست. یکی از دلایل مهم برای این تفاوت را می‌توان در قضیه اتلاف گرما از سطح خزر در فصل زمستان دانست. اتلاف گرمای خزر شمالی در زمستان حدود ۶۰۰ تا ۸۰۰ مگاژول بر مترمربع است در حالیکه این اتلاف در خزر جنوبی به ۲۰۰ مگاژول بر مترمربع می‌رسد (کوساریو و یابلونسکیا، ۱۹۹۴). در فصل زمستان عدم تقارن شرقی-غربی در دمای سطح آب دریا بخصوص در خزر شمالی به وضوح قابل رویت می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان در قرارگیری مصب رودخانه‌های بزرگ دریای خزر مانند ولگا و اورال در بخش غربی خزر نسبت به بخش شرقی آن دانست. همانگونه که از نقشه توزیع دمای زمستان در شکل شماره ۳ پیداست در مصب رودخانه‌های بزرگ با توجه به عمق کم، با خنک شدن سطح آب در حدود دو تا سه درجه نسبت به خزر شرقی شکل می‌گیرد. دلیل دیگر را می‌توان در ریزش هوای سرد از کوهستان‌های واقع در بخش غربی خزر نسبت به بخش شرقی آن دانست. در تمامی ماه‌های سال تراکم خطوط همدمای سطح آب در خزر میانی بسیار کم است که بیانگر یکنواختی دما در طول سال در این بخش از دریا می‌باشد که بیان کننده یکنواختی دمای سطح آب در این بخش از خزر می‌باشد (شکل شماره ۳ و ۴). سه دلیل برای ایجاد آن می‌توان بیان کرد: ۱- جریان‌های دریایی سرد که از آب‌های ورودی ولگا از عرض‌های بالاتر وارد خزر می‌شوند و به این منطقه می‌رسند و باعث کمتر شدن نوسانات دمایی آب می‌گردد ۲- عمق زیاد دریا در این بخش از دریا می‌باشد که در اثر آن تاثیرپذیری دما از محیط اطراف کمتر شده و نوسانات دمایی را پایینتر می‌آورد. ۳- جریان رو به سطح حرارت از عمق به سطح دریا در این بخش از خزر در دوره سرد سال و جریان از سطح به عمق در دوره گرم است که دامنه تغییرات را در گستره این بخش از دریا کاهش می‌دهد. مناطق کرانه‌ای که محل عبور آب‌های گرمتر جنوبی می‌باشد گرمتر از مناطق عمیق‌تر واقع در بخش‌های مرکزی خزر میانی می‌باشد که کمتر تحت تاثیر این جریانها واقع می‌شوند. شدت افت دمای سطح آب خزر شمالی در فصل زمستان بیشتر از سایر بخش‌های دیگر خزر است. اولاً بطور کلی روند دمای سطح دریای خزر مانند تمامی کره زمین تابع عرض جغرافیایی و در نتیجه دریافت انرژی تابشی خورشید است. ۲- همانطور که گفته شد عمق خزر شمالی نسبت به سایر بخش‌های دیگر این دریا بسیار کمتر بوده و لذا نوسانات دمای سطح آب در این بخش نسبت به عرض جغرافیایی شدیدتر است.

۳- در فصل زمستان خزر شمالی تحت تاثیر سامانه‌های عرض‌های بالاتر از قبیله پرفشار سیبری، ریزش هوای سرد قطبی و پرفشارهای مهاجر اروپایی است که از حدود آبان تا اواخر فروردین این شرایط بطور فراوان‌تری نسبت به دیگر فصول این بخش از دریا را متاثر می‌سازد.

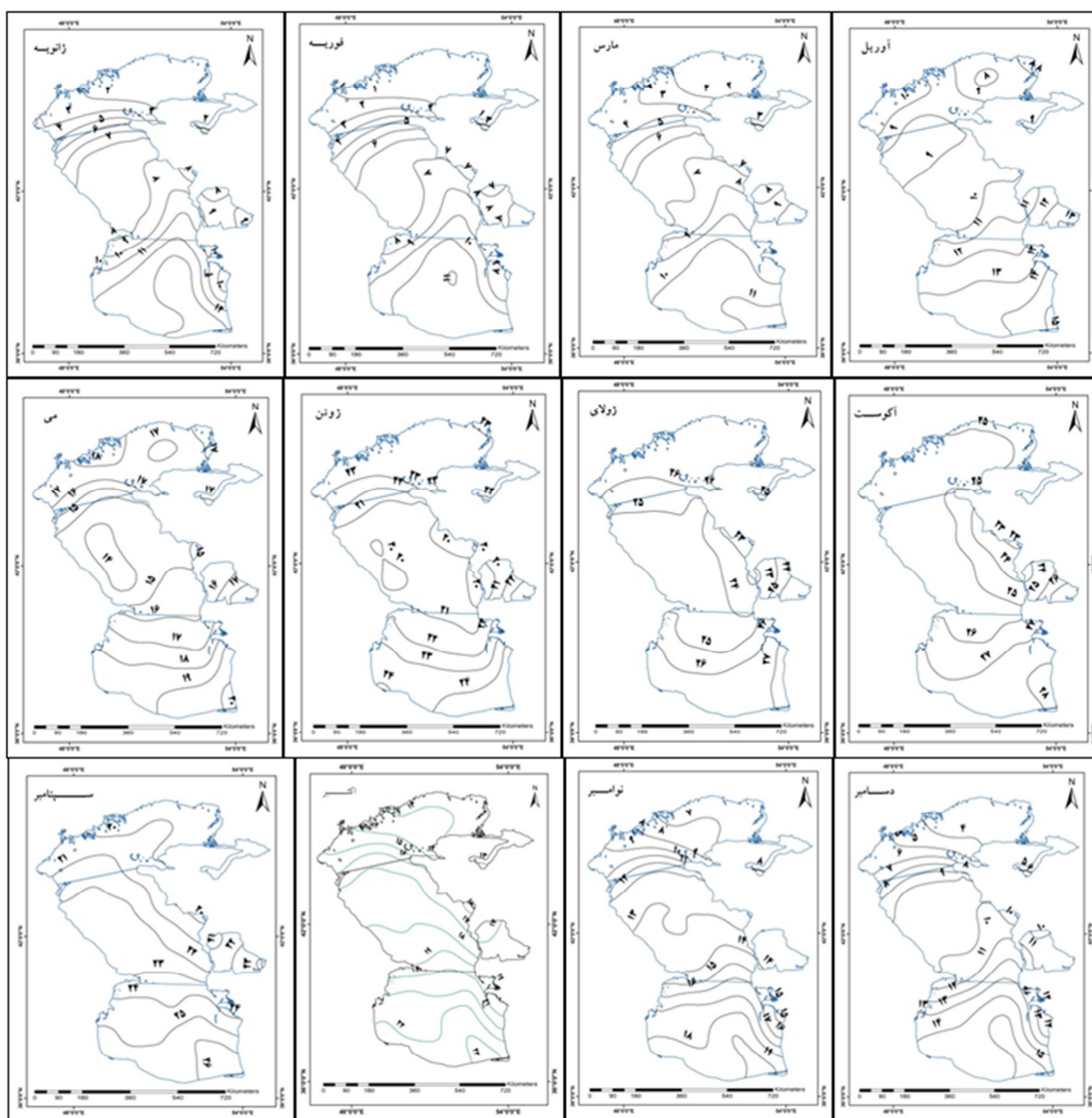
جدول ۲: مشخصات دمای سطح آب بخشهای مختلف دریای خزر طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۲ میلادی

ماه	خزر جنوبی	خزر میانی	خزر شمالی	کل خزر	ماه	خزر جنوبی	خزر میانی	خزر شمالی	کل خزر
ژانویه	۱۰/۲	۷/۴	۳/۱	۶/۹	اکتبر	۲۱/۱	۱۷/۷	۱۴/۴	۱۷/۷
فوریه	۹/۰۵	۶/۱	۱/۹	۵/۶	نوامبر	۱۶/۸	۱۳/۳	۸/۹	۱۳
مارس	۹/۴۵	۶/۷	۲/۸	۶/۳	دسامبر	۱۶/۸	۹/۹	۵/۴	۱۰/۷
آوریل	۱۲/۸	۱۰/۶	۹/۱	۱۰/۸	زمستان	۹/۵	۶/۷	۲/۶	۶/۲
می	۱۷/۹	۱۵/۶	۱۶/۵	۱۶/۶	بهار	۱۷/۹	۱۵/۹	۱۶	۱۶/۶
ژوئن	۲۲/۵	۲۰/۹	۲۲/۵	۲۱/۹	تابستان	۲۵/۷	۲۳/۴	۲۳/۵	۲۴/۲
جولای	۲۵/۵	۲۴/۳	۲۵/۷	۲۵/۱	پاییز	۱۶/۹	۱۳/۷	۹/۶	۱۳/۴
آگوست	۲۶/۸	۲۴/۷	۲۴/۷	۲۵/۴	سالانه	۱۷/۵	۱۴/۹	۱۲/۹	۱۵/۱
سپتامبر	۲۴/۷	۲۱/۶	۲۲/۱	۲۲/۷					

نوسانات دمایی سطح آب خزر در فصل تابستان کمتر از سایر فصول سال است (شکل شماره ۳). همانطور که پیشتر ذکر گردید در فصل تابستان در شمال طول روز بیشتر از جنوب بوده و در جنوب زاویه تابش بیشتر از شمال می‌باشد و لذا طول روز بیشتر در شمال تا حدود زیادی کاهش زاویه تابش را جبران و میزان کمبود انرژی را نسبت به جنوب برطرف می‌سازد. کم عمق بودن دریا در شمال باعث می‌شود که انرژی خورشید در حجم کمتری از آب نسبت به جنوب توزیع گردد و لذا آنها در این بخش زودتر گرم شوند.



شکل ۳: توزیع فصلی و سالانه دمای سطح آب دریای خزر



شکل ۴: توزیع ماهانه دمای سطح آب دریای خزر

تحلیل روند دمای سطح آب

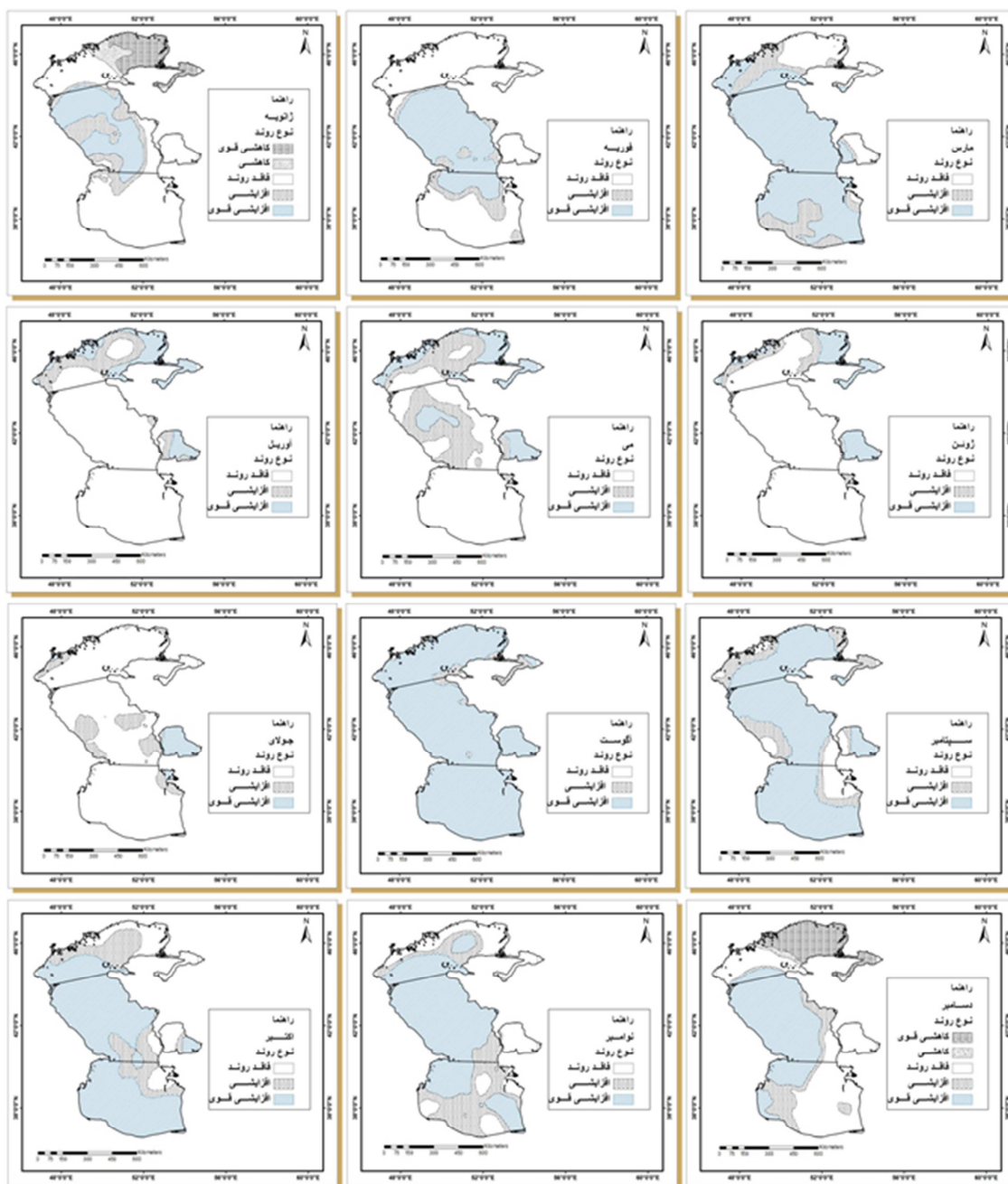
در نرده زمانی سالانه، در بیش از ۹۹ درصد از سطح آب دریا، دمای سطح آب دارای روند افزایشی قوی بوده است. همانطور که در جدول شماره ۳ و شکل شماره ۵ دیده می‌شود تمامی گستره سطح آب دریاچه خزر دارای روند افزایشی است و حدود ۹۹ درصد از مساحت آن دارای روند افزایشی قوی و حدود ۱ درصد آن هم دارای روند افزایشی عادی است. در نرده زمانی فصلی در تمامی فصول سال بجز فصل پاییز روند افزایشی دمای سطح آب در گستره خزر مشاهده می‌شود. اگرچه در قسمت اعظم دریا روند دمای سطح آب افزایشی است اما یک روند کاهشی در حاشیه شمالی دریا به مساحت ۱/۲ درصد از کل مساحت خزر قابل رویت می‌باشد (جدول شماره ۳ و شکل شماره ۶). در

فصل زمستان نیمی از مساحت خزر فاقد روند معنی‌دار و در نیمی دیگر از مساحت آن روند افزایشی عادی وجود دارد. مناطقی که فاقد روند است در خزر شمالی، خلیج قره‌بغاز و خزر جنوبی به خصوص جنوب‌غربی می‌باشد. در این فصل خزر میانی، جنوب خزر شمالی و شمال خزر جنوبی دارای روند افزایشی می‌باشد. در فصل بهار حدود یک سوم از مساحت خزر که حدود ۳۸ درصد می‌باشد فاقد روند و حدود ۶۲ درصد از آن دارای روند افزایشی می‌باشد. به لحاظ گسترش مکانی در این فصل خزر جنوبی فاقد روند معنی‌دار، خزر شمالی، خلیج قره‌بغاز و مرکز خزر میانی دارای روند افزایشی قوی و سایر بخشهای خزر دارای روند افزایشی می‌باشد. در فصل تابستان روند دمای سطح آب همانند الگوی سالانه است. در این فصل در تمامی گستره دریا روند افزایشی قوی دما مشهود است. در این فصل بیش از ۹۹ درصد از مساحت دریا در گستره روند افزایشی قوی است. در فصل پاییز تنوع دسته‌های روند بیش از سایر فصول است. در این فصل حدود ۱/۲ درصد از مساحت دریا در لبه شمالی خزر دارای روند کاهشی، ۲۳/۱ درصد از مساحت دریا فاقد هر گونه روندی است که اغلب در خزر شمالی و خلیج قره‌بغاز دیده می‌شود. ۷۵ درصد از مساحت دریا نیز دارای روند افزایشی است که از این مقدار حدود ۶۶ درصد آن در مرتبه قوی دمای سطح آب می‌باشد. خزر جنوبی، خزر میانی و جنوب خزر شمالی در این فصل دارای روند افزایشی است. در ندره زمانی ماهانه روند افزایشی دمای سطح آب در تمامی ماههای سال به استثناء خزر شمالی در ماههای دسامبر و ژانویه وجود دارد (جدول شماره ۳ و شکل شماره ۵). در ماه ژانویه حدود ۱۳ درصد از مساحت دریا در شمال خزر شمالی دارای روند کاهشی دمای سطح آب می‌باشد. در این ماه حدود ۵۲ درصد از مساحت این دریا فاقد روند دمای سطح آب بوده است و گستره مناطق فاقد روند در خزر جنوبی، خلیج قره‌بغاز و جنوب خزر شمالی قرار دارند. حدود ۳۵ درصد از مساحت دریا نیز دارای روند افزایشی می‌باشد که گستره این روند در خزر جنوبی قابل مشاهده است. در ماه فوریه نسبت به ماه قبل مناطق با روند کاهشی دیده نمی‌شود. در این ماه حدود نیمی از مساحت دریا فاقد روند معنی‌دار است که گستره آن در خزر شمالی و جنوبی است و نیمی دیگر از مساحت دریا دارای روند افزایشی است که در خزر میانی دیده می‌شود. در ماه مارس و اواخر زمستان حدود ۱۵ درصد از مساحت دریا فاقد هر گونه روندی بوده که در خزر شمالی و شرق خلیج قره‌بغاز قابل رویت است. در سایر بخشهای دریا هم روند افزایشی قوی دیده می‌شود. در ماه آوریل حدود ۲۵ درصد از مساحت دریا دارای روند افزایشی می‌باشد که گستره آن در خزر شمالی و خلیج قره‌بغاز دیده می‌شود و در سایر بخشهای دریا روند معنی‌داری قابل مشاهده نیست. در ماه می گستره روند افزایشی دمای سطح آب بیشتر شده و به حدود ۴۵ درصد از مساحت دریا می‌رسد که علاوه بر خزر شمالی تا خزر میانی نیز این روند گسترش پیدا می‌کند. در سایر بخشهای دریا روندی مشاهده نمی‌گردد. در ماه ژوئن در حدود ۸۰ درصد از مساحت دریا روندی در دمای سطح آب دیده نمی‌شود و در حدود ۲۰ درصد از مساحت دریا در خزر شمالی و خلیج قره‌بغاز روند افزایشی در سطح آب وجود دارد. در ماه جولای روند افزایشی با مساحت ۱۷ درصد از مساحت دریا در خلیج قره‌بغاز و خزر میانی و مناطق فاقد روند معنی‌دار در سایر بخشهای خزر مشهود می‌باشد. در ماه آگوست در اواسط تابستان در تمامی بخشهای خزر روند افزایشی قوی سیطره دارد. در ماه سپتامبر این گستره افزایشی قوی به ۹۰ درصد از گستره خزر کاهش پیدا می‌کند و ۱۰ درصد از مساحت آ فاقد روند بوده که گستره آن در شمال شرق خزر جنوبی و جنوب-شرق و جنوب‌غربی خزر میانی دیده می‌شود. در اوایل پاییز و ماه اکتبر حدود ۸۳ درصد از مساحت خزر دارای روند

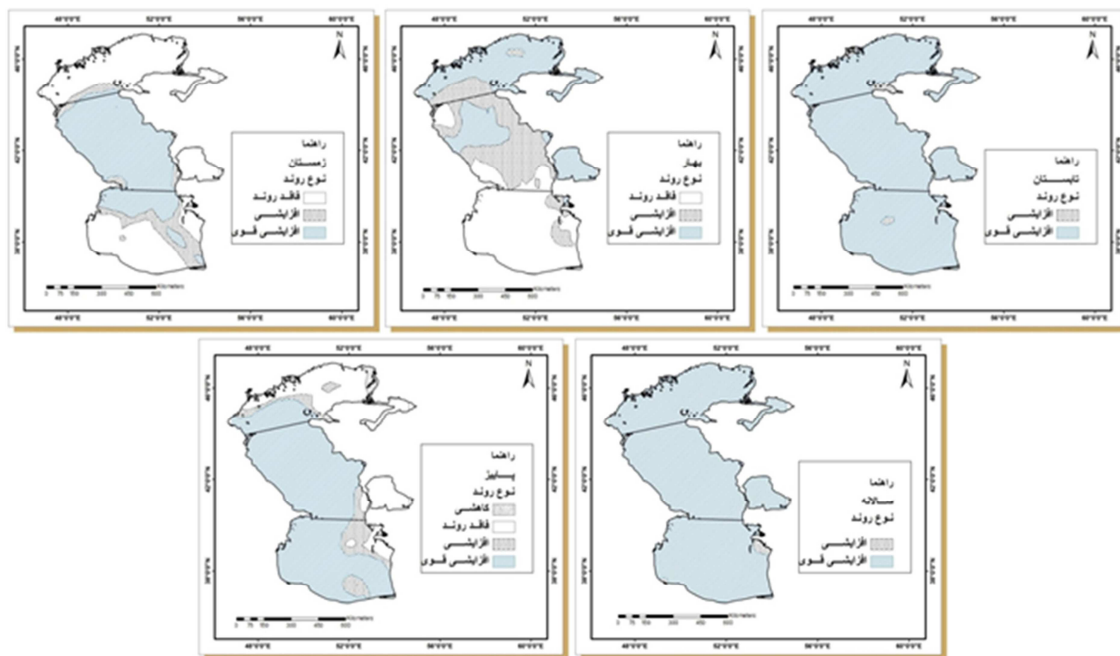
افزایش می‌باشد که بیش از دو سوم آن دارای روند افزایشی قوی می‌باشد. حدود ۱۷ درصد از مساحت دریا نیز در این ماه فاقد هر گونه روند معنی‌داری می‌باشد که مناطق فاقد روند در غرب خلیج قره‌باغ، شمال شرق خزر جنوبی و شمال خزر شمالی دیده می‌شوند. در ماه نوامبر حدود ۷۷ درصد از مساحت دریا دارای روند افزایشی بوده که الگوی توزیع مکانی آن همانند ماه اکتبر می‌باشد. در این ماه مساحت مناطق فاقد روند به ۲۳ درصد افزایش می‌یابد که نسبت به ماه اکتبر در خزر جنوبی نیز به صورت چند لکه اضافه گردیده است. در ماه پایانی سال یعنی دسامبر در حدود ۱۵ درصد از مساحت دریا در خزر شمالی روند کاهشی قوی، در حدود ۵۰ درصد از مساحت دریا در خزر میانی و نیمه غربی خزر جنوبی روند افزایشی قوی و در سایر بخشهای دریا به مقدار ۱۵ درصد روند خاصی در دمای سطح آب دیده نمی‌شود. پس از تحلیل روند با استفاده از مقدار جهش ده ساله میانگین در گامهای زمانی مختلف مقدار افزایش دمای سطح آب برای دریای خزر بدست آمد و در دو گام پیوسته مقدار آن ۰/۵ درجه سلسیوس افزایش به ازای هر دهه بدست آمد.

جدول ۳: مساحت دسته های روند دمای سطح آب دریای خزر (کیلومتر مربع)

نوع روند	کاهشی در سطح ۹۹ درصد $Z > -2.54$		فاقد روند $Z = \pm 1.96$		کاهشی در سطح ۹۵ درصد $-1.96 < Z < -2.54$		افزایشی در سطح ۹۹ درصد $Z > +2.54$		ماه	
	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت		
ژانویه	۱۰/۴	۴۵۹۱۷	۳/۸	۱۶۶۷۹	۲۳۰۲۲۵	۵۲/۲	۶۰۴۶۹	۱۳/۷	۸۷۹۸۳	۱۹/۹
فوریه	۰	۰	۰	۰	۲۴۳۰۶۴	۵۵/۱	۴۲۶۰۲	۹/۷	۱۵۵۶۳۷	۳۵/۳
مارس	۰	۰	۰	۰	۶۵۶۰۴	۱۴/۹	۷۵۴۹۰	۱۷/۱	۳۰۰۲۰۸	۶۸
آوریل	۰	۰	۰	۰	۳۳۴۴۲۲	۷۵/۶	۴۹۹۷۹	۱۱/۳	۵۷۹۰۲	۱۳/۱
می	۰	۰	۰	۰	۲۴۶۳۵۹	۵۵/۸	۱۱۸۰۸۳	۲۶/۸	۷۶۸۶۰	۱۷/۴
ژوئن	۰	۰	۰	۰	۳۵۹۲۳۱	۸۱/۴	۲۸۴۶۲	۶/۴	۵۳۶۱۰	۱۲/۱
جولای	۰	۰	۰	۰	۳۷۰۲۷۷	۸۳/۹	۴۹۰۱۱	۱۱/۱	۲۲۰۱۵	۵
آگوست	۰	۰	۰	۰	۷۸۶	۰/۲	۲۳۰۴۰	۵/۲	۴۱۷۴۷۷	۹۴/۶
سپتامبر	۰	۰	۰	۰	۴۵۶۹۷	۱۰/۴	۷۵۴۵۲	۱۷/۱	۳۲۰۱۵۴	۷۲/۵
اکتبر	۰	۰	۰	۰	۷۲۰۰۳	۱۶/۳	۸۸۶۶۳	۲۰/۱	۲۸۰۶۳۷	۶۳/۶
نوامبر	۰	۰	۰	۰	۱۰۲۱۸۰	۲۳/۲	۱۰۲۵۹۲	۲۳/۲	۲۳۶۵۳۰	۵۳/۶
دسامبر	۱۴/۳	۶۳۰۴۶	۱/۲	۵۳۳۶	۱۵۸۲۱۴	۳۵/۹	۴۸۴۵۶	۱۱	۱۶۶۲۵۱	۳۷/۷
زمستان	۰	۰	۰	۰	۲۱۰۹۶۱	۴۷/۸	۴۶۵۸۸	۱۰/۶	۱۸۳۷۵۴	۴۱/۶
بهار	۰	۰	۰	۰	۱۶۷۱۹۰	۳۷/۹	۱۱۷۷۹۶	۲۶/۷	۱۵۶۳۱۷	۳۵/۴
تابستان	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۵۶۸	۱/۷	۴۳۳۷۳۵	۹۸/۳
پاییز	۰	۰	۱/۲	۵۲۴۰	۱۰۱۷۷۸	۲۳/۱	۴۳۸۹۶	۹/۹	۲۹۰۳۸۹	۶۵/۸
سالانه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶۵۶	۱/۱	۴۳۶۶۴۷	۹۸/۹



شکل ۵: توزیع روند ماهانه دمای سطح آب دریای خزر



شکل ۶: توزیع روند فصلی و سالانه دمای سطح آب دریای خزر

نتیجه گیری

روند توزیع دمای سطح آب در دریای خزر بیش از سایر عوامل تابع عرض جغرافیایی و دریافت انرژی می‌باشد و تاثیر محیط اطراف محلی با توجه به وسعت زیاد آن چشمگیر نیست. به لحاظ توزیع زمانی بیشترین مقدار دمای سطح آب خزر در فصل تابستان و به لحاظ مکانی در خزر میانی دیده می‌شود. عمق کم آب در خزر شمالی، خلیج گرگان و خلیج قره‌باغز و قرار نگرفتن در مسیر جریان‌های آب سرد و گرم باعث شده تا بخش‌های مذکور تاثیر بیشتری از محیط اطراف بگیرند و دریافت انرژی بیشتر صرف تبخیر و دمای محسوس بصورت مقطعی شده تا هدایت آن به لایه‌های پایینی دریا. نتایج پژوهش نشان داد که به استثنای خزر شمالی در اواخر پاییز در سایر بخش‌های آن روند دمای سطح آب افزایشی می‌باشد. جهش ده ساله میانگین دمای سطح آب دریای خزر نشان داد که آهنگ افزایش دمای سطح آب ۰/۵ سلسیوس به ازای هر دهه می‌باشد. این روند افزایشی در فصل زمستان در بخش‌های عمیق‌تر محسوس‌تر از سایر بخش‌های آن می‌باشد. خزر میانی و جنوبی در تمامی ایام سال با روند افزایشی قوی در سری زمانی ماهانه، فصلی و سالانه خود مواجه هستند. افزایش دمای آب دریای خزر در سالهای آتی باعث رخدادهای منفی زیادی برای کشورهای حاشیه این دریا خواهد شد. از جمله این اثرات می‌توان به افزایش حجم آب و پیشروی آب دریا در سواحل دریا بخصوص سواحل کم‌شیب، افزایش اسیدیته شدن آب که باعث حل شدن کربنات کلسیم در آب دریاها و به خطر انداختن موجودات دریایی، افزایش تبخیر از سطح آب و تمرکز بیشتر آلودگی‌ها و ... خواهد شد. با توجه به اینکه خزر یک سیستم بسته می‌باشد هر گونه افزایش محسوس دمای سطح آب می‌تواند اثرات زیانباری بر اکوسیستم

شکندنده این دریا داشته باشد. لذا شکل‌گیری این پدیده نیازمند توجه روزافزون برنامه‌ریزان جهت اعمال آن در برنامه‌های خود می‌باشد تا اثرات آن را به حداقل ممکن برسانند.

منابع

- Abigail, M.G., Mee, L.D., Raitsos, D.E., Shapiro, G.I., (2008), Non-linearity's, regime shifts and recovery: The recent influence of climate on Black Sea chlorophyll, *Journal of Marine Systems*, pp. 649-658.
- Ackleson, S., Balch, W.M., Holligan, P.M., (1988), White waters of the Gulf Maine, *Journal of Oceanography*, pp.18-22.
- Belkin, i., (2016), Sea surface temperature trends in large marine ecosystems, UNESCO and UNEP, United National Environment Programme, Nairobi, pp.101-109.
- Bograd Steven J., Mendelssohn, R., Schwing, F., Miller, A.J., (2004), Spatial Heterogeneity of Sea Surface Temperature Trends in the Gulf of Alaska, *Atmosphere-ocean journal*, pp.241-247.
- Chan, K.L., (2006), Climate issues in Hong Kong: Mitigation and Adaptation. Bachelor of Engineering degree in Civil and Environmental Engineering at Hong Kong University of Science and Technology, 4p.
- Fox, M.F., Kester, D.R., Yoder, J.A., (2005), Spatial and temporal distributions of surface temperature and chlorophyll in the Gulf of Maine during 1998 using Sea WiFS and AVHRR imagery, *Marine Chemistry*, pp.104-123.
- Gasimov, E., (1999), Long-term investigation of SST regime variability and its relationship with phytoplankton in the Caspian Sea using remotely sensed AVHRR and SeaWiFS data, *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, pp.10-22.
- Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Krivosheya, V.G., Nezlin, N.P., Soloviev, D.M., Stanichny, S.V. Yakubenko, V.G., (2002), Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea, *Journal of Marine Systems*, pp.91-106.
- Hood, R., Abbot, M.R., Huyer, A. Korso, P.M., (1990), Surface patterns in temperature, flow, phytoplankton biomass, and species composition in the coastal transition zone off northern California, *Journal of Geophysical Research*, pp.18081-18098.
- Jamshidi, S., Abu Bakar, Md., Noordin, M., (2017), Temperature, Salinity and Density Measurements in the Coastal Waters of the Rudsar, South Caspian Sea, *Journal of the Persian Gulf, (Marine Science)*, PP.27-35.
- Kavak, M., (2012), Long-Term Investigation of SST Regime Variability and Its Relationship with Phytoplankton in the Caspian Sea Using Remotely Sensed AVHRR and SeaWiFS Data, *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, pp.709-717.
- Kavak, M.T., Karadoğan, S., (2012), The Relationship Between Sea Surface Temperature and chlorophyll concentration in the Black Sea using remote sensing techniques, *Journal of Environmental Biology*, pp. 493-498.
- Kendall, M.G., (1970), Rank Correlation Methods, 2nd Ed., Colorado State Univ., Ft. Collins. Dept. of Psychology, pp.1-68.
- Khajavi, E., Behzadi, J., Nezami, T., Ghodrati, A., Dadashi, A., (2012), Modeling ARIMA of air temperature of the southern Caspian Sea coasts, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, pp. 1279-1287.
- Khoshakhlagh, F., Shakouri Katigari, A., Hadinejad Saboori, SH., (2016), Trend of the Caspian Sea surface temperature changes, *Natural Environment Change*, pp. 57- 66.
- Kosarev, A. N.E. Yablonskaya, A., (1994), the Caspian sea, SPB Academic Publishing, the Hague, the Netherlands.
- Mann, H.B., (1945), Nonparametric tests against the trend, *Journal of Econometrics*, pp. 245-259.
- Miles, T.N., He, R., (2010), Temporal and spatial variability of Chl-a and SST on the South Atlantic Bight: Revisiting with cloud-free reconstructions of MODIS satellite imagery, *Continent Shelf Research*, p.1951-1965.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpeb, K., Leroy, S.A.G., (2015), Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena, *International Journal of climatology*, pp.2156-2172.
- Nykjaer, L., Van Camp, L., (1989), Remote Sensing of the Northwest African upwelling area. Analysis and interpretation of simultaneous pairs of GAC derived sea surface temperature and CZCS derived chlorophyll-like pigment concentration images, Final report, Unimar Sciences ApS., In Ed ISP DK. Institute for Remote Sensing Applications JRC annual report.
- Panin, G., (2007), Caspian Sea level fluctuations as a consequence of regional climatic change. In: Lozán, J. L., H. Grassl, P. Hupfer, L. Menzel & C.-D. Schönwiese. *Global Change: Enough water for all Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg, 384 p.
- Quartly, D., Srokosz, M. A., (2002), SST observations of the Agulhas and East Madagascar retroreflections by the TRMM Microwave Imager, *Phys. Oceanogr.* p.1585-1592.
- Reynolds, R., Smith, T., Liu, C., Chelton, D., Casey, K., Schlax, M., (2007), Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature, *Journal of Climatology*, pp. 5473-5496
- Robinson, C., LeB. Williams, P.J., (1993), Temperature and Antarctic Plankton community respiration, *Journal of Plankton Research*, pp. 1035-1051.
- Smith, T. M., Reynolds, R. W., (2003), Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997), *Journal of Climatology*, pp. 1495-1510.

- Swenson, S., Wahr, J.,(2007), Multi-sensor analysis of water storage variations of the Caspian Sea, Geophysical research letters, vol 34.
- Takafumi, A.,(2008), Long-term Trends of SST in the Seas adjacent to Japan, CLIMAR-III conference, May 6th – 9th, 2008, Gdynia, Poland.
- Wang, J., Qi, Y., Jones, I.S.F.,(2006), An analysis of the characteristics of chlorophyll in the Sulu Sea, Journal of Marine Systems, pp. 111-119.
- Yasunaka, A.S., Hanawa, K.,(2011), Intercomparison of historical sea surface temperature datasets, Journal of Climatology, pp.1056-1073.
- Yu, B., Boer, G.J.,(2006), The variance of sea surface temperature and rejected changes with global warming. Journal of Climatology, pp.801–821.

Assessment of Climate Changes in the Caspian Sea by trend analyzing the sea surface temperature

Akbar Zahraei¹, Javad KHoshhal Dastjerdi², AbdolAzim GHanghermeh³

Received: 02-01-2018

Accepted: 24-04-2018

Abstract

Changes in the Sea surface temperature and lake can have significant impacts on marine ecosystems and the lives of human societies on the edges of these seas. By trend analyzing the temperature of sea surface temperatures, we can examine the extent of its impact on global climate change. Given the fact that the Caspian Sea is known as the world's largest closed water body, these changes in surface water temperatures can cause great damage to the sensitive and fragile ecosystem of this sea. The purpose of the present research is to analyze the trend of sea surface temperature in the Caspian Sea in order to investigate the effect of this sea on global climate change in order to apply it in management plans to maintain the balance of this valuable water ecosystem. This research was performed using non-parametric statistical methods on 720 cells using network data with a spatial resolution of 0.25×0.25 arcs in a 29-year statistical period. The results of the study showed that the monthly, seasonal and annual monthly water temperature of the Caspian Sea has a significant upward trend, which requires the attention of planners and decision makers in the margins of this sea to maintain ecosystem balance. Considering that the Caspian Sea is a closed system, any appreciable increase in surface water temperature can have adverse effects on aquatic life, water resources, evaporation from the sea level and, consequently, on the level and status of pollution of the sea.

Keywords: climate change, trend analysis, Sea surface temperature, Caspian Sea.

¹- PhD Student of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Isfahan, Esfahan, Iran.

^{2*}- Associate Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Isfahan, Esfahan, Iran.

Email: javadkhoshhal@yahoo.com

³- Assistant professor in the department of Geography in the Faculty of human sciences at Golestan University, Gorgan, Iran.