

پیش بینی دمای سطحی آب با استفاده از آنالیز فوریه در دریای خزر

سحر جوانصمدی^۱، مسعود ترابی آزاد^{۲*}، علی کرمی خانیکی^۳

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا

۲. دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران شمال

۳. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۹

چکیده

دما یک کمیت بنیادی در اقیانوس شناسی فیزیکی و اساس کار اقیانوس شناسان در مطالعه و شناخت فرآیندها در اقیانوس ها و حوزه های آبی است. تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی پهنه آبی، نقش مهمی در فعالیت های تغییرات اقلیم، زندگی آبزیان، جریانات دریایی، میزان شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه ها دارد. هدف از این تحقیق پیش بینی دمای سطحی دریای خزر است. برای این منظور داده های میانگین ماهانه دمای سطحی آب برای ۲۴ ایستگاه در دریای خزر طی یک دوره چهار ساله ۲۰۰۷-۲۰۰۳ مورد استفاده قرار گرفته و به کمک آنالیز فوریه، ضرایب بسط محاسبه شده بدین ترتیب دما برای سالهای آینده پیش بینی شده است. همچنین میانگین دمای سطحی در سه بخش خزر به کمک دمای این ایستگاه ها محاسبه و نحوه تغییرات دما در زمان های مختلف بررسی شد. از طیف های سری زمانی مشخص شد که تقریباً در تمام ایستگاهها، تغییرات دما در زمان های مختلف از یک الگو پیروی می کند. بطوریکه طیف فرکانس الگوی پررودیک مشخص ۱۲ ماهه در همه ایستگاهها دارد.

واژگان کلیدی: دریای خزر، دمای سطحی آب دریا (SST)، آنالیز فوریه، تحلیل طیفی

*نویسنده مسوول، پست الکترونیک: Torabi_us@yahoo.com

۱. مقدمه

دما را میتوان همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله مواد که تبدیل به انرژی گرمایی می شود تعریف کرد. آب، تابش خورشیدی را به شدت جذب می کند. این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می کند و نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه های جاذب انرژی در اقیانوس ها و دریاها به دو تا سه متر می رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می شود. ضریب جذب بالای آب همراه با ظرفیت گرمایی ویژه بالای آن و انتقال های گوناگون گرما به سایر قسمتهای آب باعث می شود که هر کجا پهنه آبی داشته باشیم به عنوان ذخیره کننده گرما عمل کند. از آنجایی که دریاها و اقیانوس ها مهمترین منابع رطوبتی و محل تشکیل سیستم های مختلف جوی هستند، ویژگی های گرمایی آب و ارتباط متقابل آن با دمای هوا در این امر دارای اهمیت است. در دنیای امروز مطالعات زیادی در مورد نقش دریاها و دریاچه ها بر روی مناطق و اکوسیستم های مجاور آن صورت گرفته است. برای استفاده بهتر از منابع دریایی، حمل و نقل آبی، حفاظت تأسیسات ساحلی در برابر امواج و بهره برداری از انرژی آب داشتن اطلاعات کمی و کیفی از مشخصه های پهنه آبی لازم و ضروری است که یکی از این پارامترها، دمای سطح آب است. علاوه بر شرایط دمایی کلیما تولوژی، توزیع زمانی و مکانی دمای سطح دریاها برای کاربردهای مختلف از جمله پیش بینی بودجه گرمایی به وسیله مدل های عددی، مطالعه جریان دریاچه ها و هواشناسی ارزشمند است. دمای آب به وسیله دماسنج هایی که در محفظه هایی به داخل آب فرستاده می شوند در عمق های مختلف اندازه گیری می شود. این اندازه گیری یا در ایستگاههای ثابت دریایی (بویه)^۱ انجام می گیرد یا توسط قایق ها و

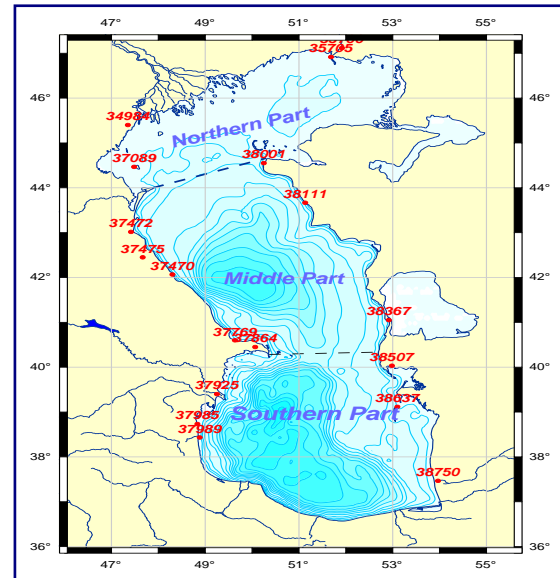
کشتیهای تحقیقاتی که در محل های مخصوص مستقر هستند، انجام می شود. جمع آوری اطلاعات و مشاهدات به علت گستردگی منطقه مورد مطالعه و تغییرات زیاد برخی از پارامترها و دیگر مشکلات، کاری هزینه بر و وقت گیر است. در سالهای اخیر استفاده از فناوری ماهواره ای و علم سنجش از دور، دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس شناسی گسترش روز افزون یافته است. با بر آورد دمای سطحی آب از روی داده های ماهواره ای، دمای سطحی دریا در دوره های زمان بلند مدت حاصل می شود از این اطلاعات در مطالعات دریایی و اقیانوسی نظیر بررسی الگوی جریانات مختلف دریا، محیط های مناسب زندگی و تجمع آبزیان، رابطه بین شوری و دما، نواحی جریانات فراچاهش^۲ و تغییرات دریایی و غیره می توان استفاده کرد (جلال زاده وهمکاران، ۱۳۸۷).

دریای خزر آبگیر بسته منحصر به فردی با درجه شوری نسبتاً پایین است که تمام مشخصات و خصوصیات یک دریا را دارد. این دریا در شمال ایران و جنوب روسیه واقع شده است. طول دریای خزر، از شمال به سمت جنوب ۱۲۱۰ کیلومتر و در جهت شرق و غرب ۲۱۰ تا ۴۳۶ کیلومتر پهنای دارد. مساحت آن حدود ۳۷۱۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم آب آن به ۷۸۲۰۰ کیلومتر مکعب بالغ می گردد. طول سواحل خزر، ۷۰۰۰ کیلومتر است که ۹۹۲ کیلومتر از سواحل جنوبی آن از مصب رود اترک در شرق تا مصب رود آستارا در غرب متعلق به سواحل ایران است. دریای خزر بر اساس موقعیت جغرافیایی، نشانه های فیزیکی و هیدروگرافی به سه بخش کلی خزر شمالی، خزر میانه و مرکزی و خزر جنوبی تقسیم می شود (شکل ۱). آب و هوای دریای خزر متأثر از موقعیت جغرافیایی و چرخه های جوی عبوری از روی ارتفاعات سواحل آن است (افتخاری، ۱۳۸۷).

۱. Buoy

۲. Upwelling

خزر کاهش می یابد. در اوایل تابستان این کاهش بیشتر مشهود است. به طوریکه در این زمان دمای آب سطح دریا تقریباً در سه بخش یکسان می شود. در فصل پائیز تفاوت دمای آب سطح دریا در بخش های شمالی، میانی و جنوبی قابل مشاهده است به طوریکه این تفاوت ها در آبان ماه بین ۶ تا ۱۸ درجه سانتی گراد متغیر است. دمای متوسط و سالانه خزر شمالی بین ۱۱ تا ۱۳ درجه سانتی گراد است. این دما حدود ۳-۱ درجه سانتیگراد کمتر از آب های اقیانوس ها و در همان عرض جغرافیایی است. خزر شمالی بسیار کم عمق بوده، میزان تبادل گرمایی آن با عمق نیز از دیگر بخش ها کمتر است. در زمستان با کاهش زیاد دما معمولاً سطح آب دریا در خزر شمالی از یک لایه یخی پوشیده می شود. در حالیکه در کرانه های جنوبی دما بین ۸ تا ۱۰ درجه سانتی گراد است. در خزر میانی در فصل زمستان دمای آب ۵ الی ۶ درجه سانتی گراد است و در فصل بهار دمای آب بین ۷/۵ تا ۱۲ درجه سانتی گراد و در فصل تابستان دمای آب بین ۱۰ تا ۲۶ درجه سانتی گراد است. در فصل بهار دما در بخش وسیعی از طبقات بالایی خزر جنوبی ۱۲ الی ۱۳ درجه سانتیگراد است. در امتداد ساحل غربی دریا دما ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی گراد کمتر از ساحل شرقی است. در فصل تابستان دمای آب در لایه های مجاور سطح به ۲۶ تا ۲۸ درجه سانتی گراد می رسد (Kostianoy and Kosarev, 2005; Lebedev and Kostianoy, 2008). توسط Ibrayev و همکاران (۲۰۱۰) برهمکنش هوا دریا و تغییرات فصلی گردش آب دریای خزر با استفاده از یک مدل سه بعدی مطالعه شد. الگوهای اصلی گردش آب خزر، فراجوشی تابستانی در سواحل شرقی و توزیع شرقی-غربی دمای سطحی آب و تغییرات آن در اثر فرآیند فراجوشی و اختلاط تحلیل شد. بهمن زادگان و همکاران الگوی دمای سطحی و کلروفیل a را در خزر جنوبی با استفاده از یک مدل آماری مورد بررسی قرار دادند. یک پلوم آب گرم از قسمت جنوب شرقی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و بخش های مختلف دریای خزر (افتخاری، ۱۳۸۷)

رژیم آب و هوای دریای خزر به ویژه در بخش های جنوبی و غربی تحت تاثیر رشته کوه های البرز و قفقاز و در بخش های شمالی و شرقی، استپ ها و بیابانهای مجاور آن است. آب و هوای ناحیه خزر به وسیله توده های هوای سرد قطب شمال و مرطوب دریایی از اقیانوس اطلس، خشک و سرد قاره ای از قزاقستان و گرم حاره ای عبوری از دریای مدیترانه و ایران تعیین می شود. در اکثر مواقع میانگین دمای هوا بر روی دریا بیشتر از ساحل است و تنها در نیمه دوم بهار و تابستان است که این حالت بر عکس می شود. سرد ترین زمان بر روی نواحی غربی و مرکزی دریای خزر ماه بهمن است. دمای آب خزر به علت وسعت زیادی که دارد از محدوده تغییرات یکسانی برخوردار نیست. دمای آب در بخشهای شمالی، مرکزی و جنوبی در فصول سال متفاوت است. تغییرات آب نه تنها در سطح بلکه در اعماق مختلف نیز وجود دارد. دو علت اساسی برای اختلاف دما در آب خزر وجود دارد: یکی عرض جغرافیایی و دیگری عمق های متفاوت آب دریا است. با توجه به عرض های جغرافیایی دمای آب تغییراتی دارد. میزان تفاوت دما در فصل بهار بین بخش شمالی و جنوبی دریای

s ₂	۵۰/۸۸	۳۶/۹۶
s ₃	۵۰/۵۴	۳۷/۲۱
s ₄	۵۲/۴۶	۳۷/۳۸
s ₅	۴۹/۳۸	۳۷/۶۲
s ₆	۵۰/۷۱	۳۷/۸۸
s ₇	۵۲/۱۲	۳۸/۱۲
s ₈	۴۹/۰۴	۳۸/۴۶
s ₉	۵۰/۶۲	۳۸/۷۱
s ₁₀	۴۹/۳۸	۳۹/۰۴
s ₁₁	۴۹/۵۴	۳۹/۴۶
s ₁₂	۴۹/۶۲	۳۹/۸۸
s ₁₃	۵۰/۲۱	۴۰/۲۹
s ₁₄	۵۰/۸۸	۴۰/۳۸
s ₁₅	۵۰/۶۲	۴۱/۱۲
s ₁₆	۴۸/۷۹	۴۱/۸۸
s ₁₇	۵۱/۰۴	۴۲/۵۴
s ₁₈	۴۷/۷۹	۴۳/۲۹
s ₁₉	۴۹/۷۱	۴۳/۹۶
s ₂₀	۴۸/۲۹	۴۴/۰۴
s ₂₁	۴۸/۴۶	۴۴/۴۶
s ₂₂	۷۹/۴۸	۴۴/۸۸
s ₂₃	۴۹/۷۱	۴۵/۳۸
s ₂₄	۵۲/۸۸	۴۶/۶۲

برای پارامترهای موج، سری زمانی خاصیت تناوبی دارد بنابراین می توان از مدل یک موج ساده سینوسی استفاده نمود، اگر یک معادله سینوسی به داده های سری زمانی برازش دهیم، معادله حاصل به صورت زیر خواهد بود:

$$Y_i = \beta_0 + \gamma \sin\left(\frac{2\pi(t_i - \theta)}{p}\right) + \varepsilon_i \quad (1)$$

به طوریکه Y_i پارامتر اندازه گیری شده در زمان های t_i است و ε_i مقدار خطای هر نقطه تا منحنی برازش داده شده و بقیه پارامترها به صورت زیر معرفی می گردند:

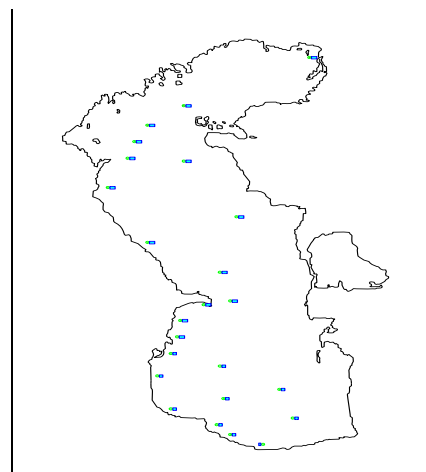
p پریود موج، $\frac{1}{p}$ فرکانس موج که به صورت

$f = \frac{1}{p}$ نشان داده می شود، β_0 میانگین داده

به طرف شمال غربی و مرکز خزر جنوبی وجود دارد. بخش جنوب شرقی خزر در ماه مرداد بیشترین دمای سطحی را دارد (Bahmanzadegan et al, 2013).

۲. مواد و روش ها

داده های مورد استفاده، میانگین ماهانه دمای سطحی آب دریای خزر^۱ در یک دوره چهار ساله است که به کمک ماهواره **Aqua** از سنجنده **MODIS** اندازه گیری شده است. با توجه به اینکه این سنجنده اندازه ها را برای یک شبکه به فاصله گرهای ۹ کیلومتر ثبت می نماید، لذا تعداد داده های دما زیاد بوده که با حذف مرتب ایستگاهها در فواصل معین طول و عرض جغرافیایی دریای خزر، تعداد ایستگاهها به ۲۴ ایستگاه تقلیل یافت و ۲۴ ایستگاه انتخاب شد. (شکل ۲ و جدول ۱) پس از اعمال تصحیحات لازم بر روی داده ها در برخی از ایستگاهها که دمای سطح آب ثبت نشده بود، به کمک روش درون یابی، دمای سطح آب تعیین گردید. (Dergachev et al., 2001)



شکل ۲. موقعیت ایستگاههای انتخابی ۲۴ گانه در دریای خزر

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاههای انتخابی ۲۴ گانه در دریای خزر

station	عرض (شمالی)	طول (شرقی)
s ₁	۳۶/۷۱	۵۱/۷۱

اگر ماتریس X مربعی باشد می توان ماتریس مجهولات یعنی β را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$B = X^{-1}Y$$

اگر ماتریس X مربع نباشد باید از ماتریس ترانزاده X یعنی X^T استفاده کرد و ماتریس B را از فرمول زیر بدست آورد:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

در روش فوق از چندین موج سینوسی استفاده شده است به همین دلیل، این روش را، روش آنالیز هارمونیک چندگانه می نامند. این روش برای زمانی که پریودها نامعلومند، بسیار پیچیده است. بنابراین از روش استاندارد دیگری برای تخمین پریودهای نامعلوم استفاده می شود؛ این روش را روش آنالیز فوریه می نامند.

در روش آنالیز فوریه فرض می شود که کل زمان برداشت داده ها T_S باشد که T_S همان پریود موج اول یعنی P_1 می باشد یعنی:

اگر فاصله زمانی هر برداشت Δt در نظر گرفته شود و طبق مطالب قبل $n = 2H + 1$ برداشت داشته باشیم، پس پریود کل به صورت $P_1 = T_S = n\Delta t$ است و پریودهای بعدی را با علامت اختصاری $T_2 = P_2$ و $T_3 = P_3$ و ... $T_H = P_H$ در نظر گرفته و به صورت زیر بیان می شود:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 C_{i1} + \beta_2 S_{i1} + \beta_3 C_{i2} + \beta_4 S_{i2} + \dots + \beta_{2H-1} C_{iH} + \beta_{2H} S_{iH} + \varepsilon_i \quad (3)$$

با استفاده از این پریودها می توان فرکانس های عددی و به تبع آن فرکانس های زاویه ای را به صورت زیر بدست آورد:

فرکانس اولیه

$$f_1 = \frac{1}{n} = f \rightarrow \omega_1 = \frac{2\pi}{n} = \omega \rightarrow$$

بقیه فرکانس های عددی بر حسب f و فرکانس های زاویه ای بر حسب ω بیان می شود.

$$f_H = \frac{H}{n} = Hf \rightarrow \omega_H = H\omega = \frac{2\pi H}{n}$$

ها، γ دامنه موج و θ اختلاف فاز موج است (باقری راد، ۱۳۸۶).

اگر تعداد داده های اندازه گیری شده بسیار زیاد باشد، نمی توان یک موج سینوسی را بر آنها منطبق نمود. بنابراین از چند موج سینوسی برای انطباق داده ها استفاده می گردد، با فرض اینکه تعداد امواج سینوسی $H > 1$ باشند و پریود هر یک از امواج P_H, \dots, P_2, P_1 معلوم باشند. در این حالت معادله امواج سینوسی به صورت زیر فرض می شود:

$$Y_i = \beta_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi(t_i - \theta_1)}{P_1}\right) + \gamma_2 \sin\left(\frac{2\pi(t_i - \theta_2)}{P_2}\right) + \dots + \gamma_H \sin\left(\frac{2\pi(t_i - \theta_H)}{P_H}\right) + \varepsilon_i \quad (2)$$

بنابراین در معادله فوق $2H + 1$ مجهول وجود دارد. برای بدست آوردن مجهولات باید $2H + 1$ معادله ساخته شود. اگر تعداد برداشت ها n باشد حداکثر تعداد امواجی که می توان برازش داد برابر است با:

$$H = \frac{n-1}{2}$$

معادله (۲) را بسط داده و فرض می شود که:

$$S_{ih} = \sin\left(\frac{2\pi i}{P_n}\right) \text{ و } C_{ih} = \cos\left(\frac{2\pi i}{P_n}\right)$$

سپس معادله (۲) به صورت زیر نوشته می شود:

که می توان معادله (۳) را به صورت دستگاه معادلات نوشته و سپس آن را به صورت ماتریسی حل کرد. معادله ماتریسی آن به صورت $Y = \beta X + \varepsilon$ می باشد.

بطوریکه:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_H \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & C_{11} & S_{11} & \dots & C_{1H} & S_{1H} \\ 1 & C_{21} & S_{21} & \dots & C_{2H} & S_{2H} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & C_{n1} & S_{n1} & \dots & C_{nH} & S_{nH} \end{bmatrix}$$

حال فرض می شود:

۳. نتایج

به منظور پیش بینی دمای سطحی آب دریای خزر با استفاده از آنالیز فوریه، به کمک نرم افزار MATLAB برنامه ای نوشته شد که این برنامه قادر است داده ها را به صورت سری زمانی رسم کرده و ضرایب فوریه را محاسبه کند و نیز پریدوگرام های مربوطه را رسم نماید. (فکور، ۱۳۷۴) تغییرات دمای سطح در طی سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۷ ایستگاه های ۲۴ گانه به طور میانگین سالیانه و برای ماههای فوریه، می، آگوست و نوامبر از چهار فصل سال در شکل های ۳ تا ۷ ارائه شده است (al., 1991; Brockwell Thieboux, 1994; Rauscher, 2001) et.

$$a_h^2 + b_h^2 = \gamma_h^2$$

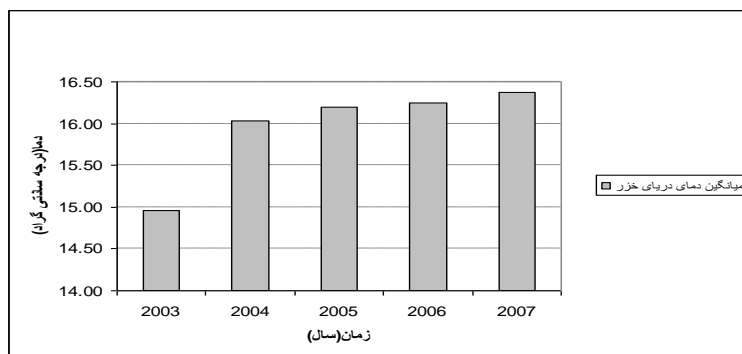
$$a_0 = \bar{Y}$$

$$a_n = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n C_{ih} Y_i \quad (6)$$

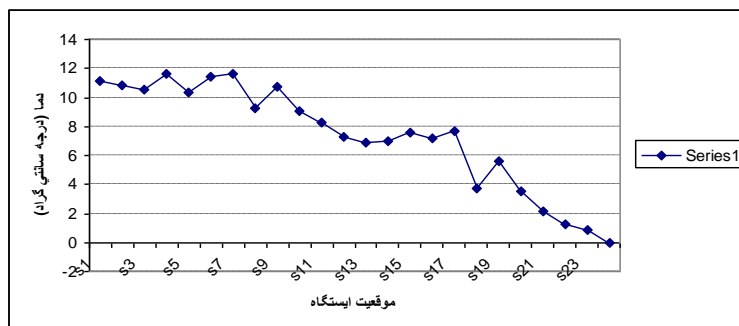
$$b_n = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n S_{ih} Y_i$$

به طوریکه a_0 میانگین داده ها و ضریب a_n بسط کسینوسی داده ها و b_n بسط سینوسی داده ها هستند، که در مقایسه با بسط فوریه می توان a_n و b_n را همان ضرایب فوریه در نظر گرفت. بنابراین برای هر موج دو مجهول وجود دارد که همان ضرایب فوریه می باشند. (Piegrsch et al., 2005) دامنه موج γ_h را نیز می توان به صورت زیر به دست آورد:

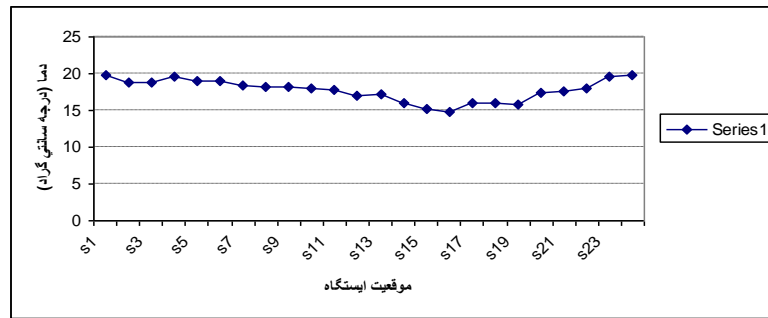
$$a_h^2 + b_h^2 = \gamma_h^2 \quad (7)$$



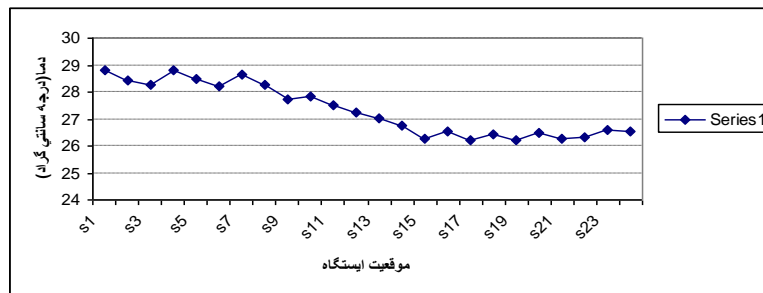
شکل ۳. میانگین دمای دریای خزر طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷



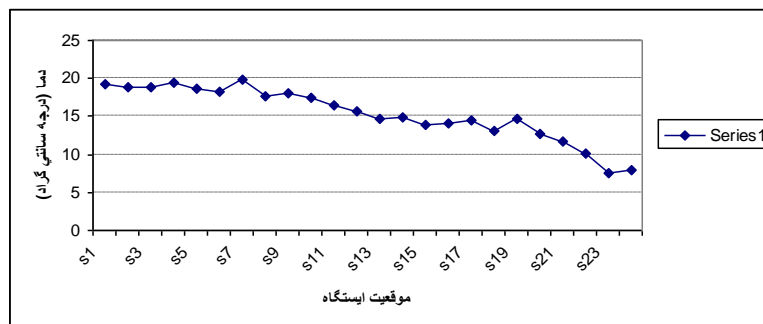
شکل ۴. تغییرات دمایی ایستگاههای ۲۴ گانه ماه فوریه (بهمن) طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷



شکل ۵. تغییرات دمایی ایستگاههای ۲۴ گانه ماه می (اردبیل) طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷



شکل ۶. تغییرات دمایی ایستگاههای ۲۴ گانه ماه آگوست (مرداد) طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷



شکل ۷. تغییرات دمایی ایستگاههای ۲۴ گانه ماه نوامبر (آبان) طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷

نشان داده شده است. با توجه به نتایج آنالیز طیفی برای دمای سطحی (SST) خزر، پریودوگرام های آنها مورد تحلیل قرار گرفت که خصوصیات هریک از آنها به شرح زیر است:

طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷ نحوه تغییرات دمایی سطحی دریای خزر روند افزایشی داشته است (شکل ۳). شکل های ۴ تا ۷ منحنی تغییرات دما در ایستگاههای ۲۴ گانه را نشان می دهند. در ماه فوریه

همچنین به طور نمونه برای ایستگاه های ۱ از خزر جنوبی، ۱۵ از خزر میانی و ۲۴ واقع در خزر شمالی سری زمانی دما در طی سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۷ به وسیله برنامه نوشته شده (y-t) و اندازه گیر یهای میدانی (y-t) رسم شد (شکل های ۱۰-۸). پریودوگرام های دما جهت آنالیز طیفی در ایستگاه های ۲۴ گانه رسم شد. به عنوان نمونه این پریودوگرام ها برای ایستگاه های شماره ۱۵ و ۲۴ در شکل های ۱۱ و ۱۲

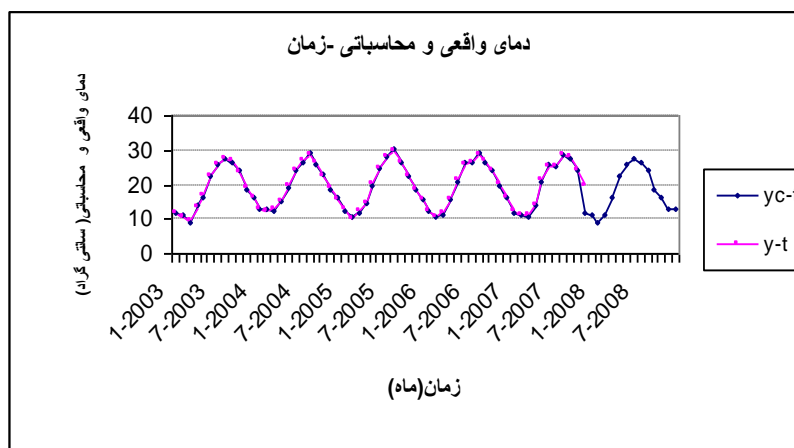
مشاهده شد.

در شکل ۹ مشاهده می شود که در خزر میانی بیشترین میانگین دما در سال ۲۰۰۶ در حدود ۱۵/۸۳ درجه سانتی گراد، و کمترین آن در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۱۴/۵۹ اندازه گیری شده است. ماکزیمم دمای واقعی و ماکزیمم دمای محاسباتی به ماه هشتم سال ۲۰۰۷ و مینیمم آنها به ماه اول سال ۲۰۰۴ تعلق دارد. اختلاف بین بیشترین و کمترین دما در این ایستگاه حدود ۲۱/۰۶ درجه سانتی گراد محاسبه گردید. میانگین ماهانه دمای سطحی آب در مدت مذکور به صورت یک سری زمانی با پریود سالانه مشاهده شد.

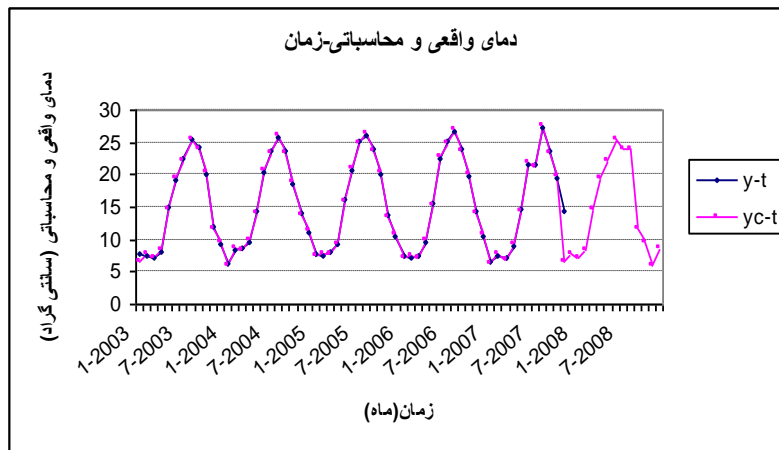
در خزر شمالی بیشترین میانگین دما در سال ۲۰۰۷ در حدود ۱۴/۶ درجه سانتی گراد و کمترین آن در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۱۲/۷۴ اندازه گیری شده است (شکل ۱۰). ماکزیمم دمای واقعی و ماکزیمم دمای محاسباتی به ماه هشتم سال ۲۰۰۷ و مینیمم آنها به ماه اول سال ۲۰۰۳ مربوط است. اختلاف بین بیشترین و کمترین دما در این ایستگاه حدود ۲۹/۳۷ درجه سانتی گراد محاسبه گردید. میانگین ماهانه دمای سطحی آب در مدت مذکور به صورت یک سری زمانی با پریود سالانه مشاهده شد.

از ایستگاه شماره ۱ تا ۲۴، دما با شیب تندی روند کاهشی دارد. ملاحظه می شود که در ماه می دمای ایستگاههای خزر میانی کم تر از دمای سایر ایستگاهها است. به عبارتی در این ماه دمای خزر شمالی و جنوبی تقریباً یکسان است با توجه به اینکه خزر جنوبی در عرضهای پایین است لذا در ماههای گرم سال شاهد افزایش دما هستیم از طرفی عمق کم خزر شمالی نیز سبب بالا رفتن دما می شود بنا بر این در این ماه دمای سطحی خزر شمالی و جنوبی تقریباً یکسان می شود. در ماه آگوست تقریباً یک حالت هم دمایی در سه بخش دریای خزر دیده می شود. در ماه نوامبر روند کاهش دما مجدداً آغاز می شود.

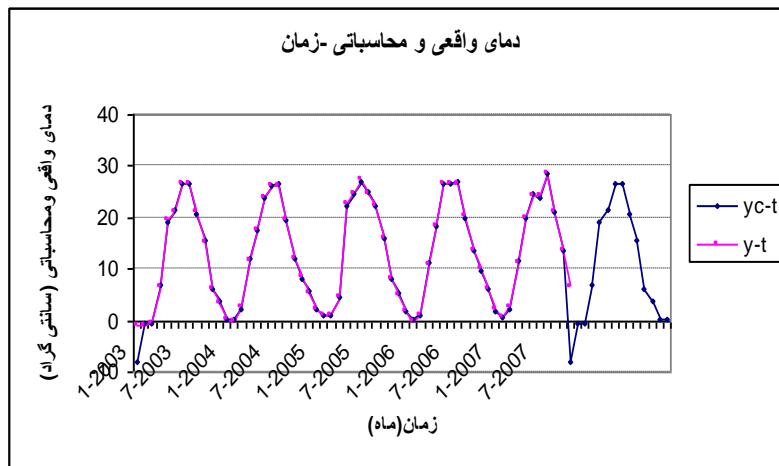
در خزر جنوبی بیشترین میانگین دما در سال ۲۰۰۶ با مقدار ۱۹/۰۱ درجه سانتی گراد و کمترین آن در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۱۷/۵۵ اندازه گیری شده است. (شکل ۸) ماکزیمم دمای واقعی و ماکزیمم دمای محاسباتی در ایستگاه شماره ۱ به ماه هشتم سال ۲۰۰۵ و مینیمم آنها به ماه سوم سال ۲۰۰۳ تعلق دارد. اختلاف بین بیشترین و کمترین دما در این ایستگاه حدود ۲۰/۵۱ درجه سانتی گراد محاسبه گردید. میانگین ماهانه دمای سطحی آب در مدت مذکور به صورت یک سری زمانی با پریود سالانه



شکل ۸. منحنی تغییرات دما در ایستگاه شماره ۱ (خزر جنوبی)



شکل ۹. منحنی تغییرات دما در ایستگاه شماره ۱۵ (خزر میانی)



شکل ۱۰. منحنی تغییرات دما در ایستگاه شماره ۲۴ (خزر شمالی)

$$T=1/f=11.627(\text{time})$$

$$f=0.08621(\text{cycle/time})$$

۴. بحث و نتیجه گیری

اختلاف دما در دریای خزر به دلیل تغییرات زیاد آن در عرض جغرافیایی است. اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار دما در ایستگاههای شمالی بیشتر از ایستگاههای میانی و جنوبی است، زیرا دما در فصل سرد سال در ایستگاههای شمالی واقع در عرض های بالا، در مقایسه با سایر ایستگاهها به شدت کاهش می یابد.

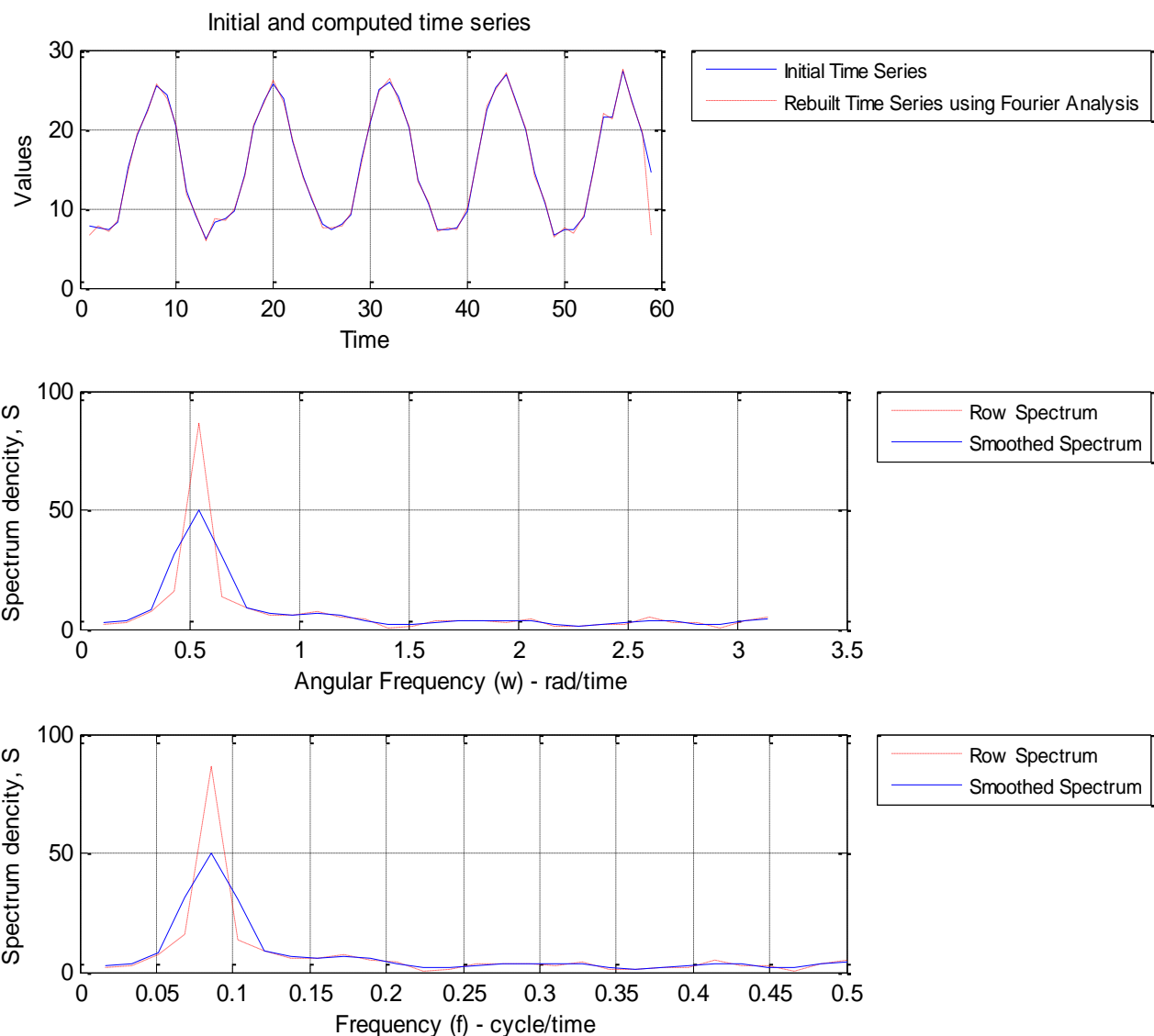
در ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه این تحقیق، برای دریای خزر طی ماه های فصل زمستان دمای سطح با شیب تندی روند کاهشی دارد. این روند در اوایل

فصل بهار با شیب کمتری ادامه دارد. از اوایل اریب هشت ماه تا اوایل فصل تابستان یک حالت همدمای بین ایستگاه های شمالی و جنوبی دیده می شود. در اوایل فصل تابستان تقریباً یک حالت همدمای در کل دریای خزر دیده می شود. از اواخر فصل تابستان روند کاهشی دما آغاز شده و تا پایان فصل پاییز ادامه می یابد.

با توجه به اینکه داده های دما به صورت میانگین ماهانه هستند، لذا از نمودارهای مذکور فقط سیکل سالانه تغییرات دما دیده می شود. با بررسی طیف حاصل از سایر ایستگاهها نیز همین نتیجه به دست

دمای سطحی آب خزر دو فرآیند متفاوت اصلی روی می دهد. ابتدا افزایش دمای سطح آب سبب کاهش چگالی سطحی آب دریا و لذا سبب پایداری بیشتر ستون آب می گردد. افزایش پایداری باعث کاهش تبادل آب بین سطح و عمق و کاهش توان خود پالایی آب می شود. از طرفی دیگر افزایش دمای سطح آب به دلیل افزایش انرژی جنبشی ملکول های آب دریا، افزایش تبخیر سطحی را به دنبال دارد. افزایش تبخیر سطحی سبب افزایش شوری سطح دریا و کاهش دمای سطح آب می گردد. این تغییر در شوری و دمای سطحی باعث افزایش چگالی در سطح دریا و در

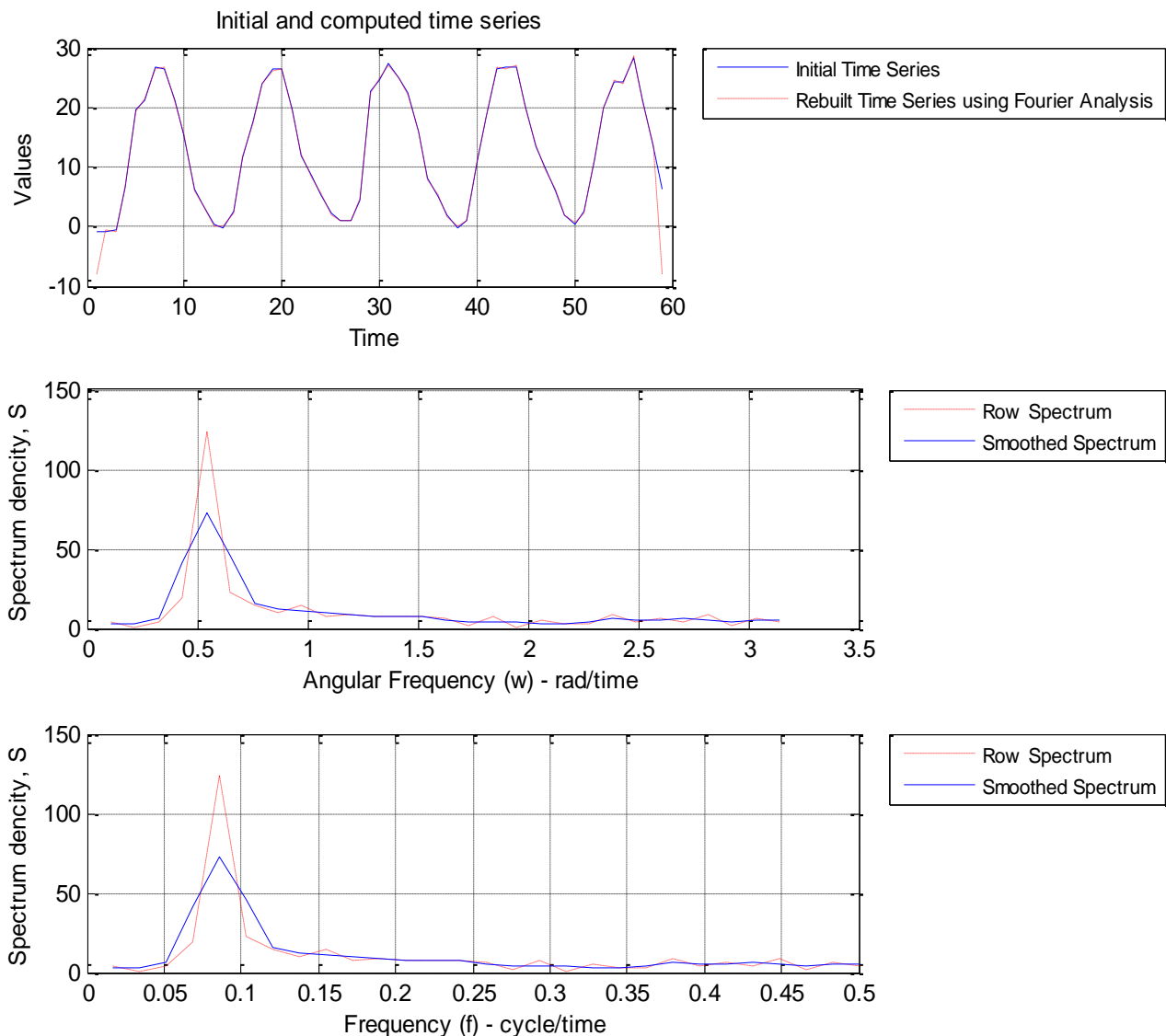
آمد. همچنین تمامی محاسبات، مجدداً به کمک برنامه MATLAB اجرا شد، به طور نمونه شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان می دهند که تغییرات دما در هر ایستگاه دارای سیکل سالانه است، زیرا طیف فرکانس داده های دما در هر یک از ایستگاهها دوره تناوب ۱۱/۶۲ بر حسب ماه را دارد. تغییرات دمای سطحی دریای خزر طی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۷ روند افزایشی داشته است. با مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از توزیع بلند مدت دمای سطح خزر که توسط آکادمی علوم روسیه انجام شده است، مشخص شد که در تمامی ماه های سال روند افزایشی دما سطحی آب



نهایت افزایش نا پایداری در ستون آب دریا می شود.

دریا در طی سال های اخیر وجود دارد. با افزایش

شکل ۱۱. پریودوگرام دما در ایستگاه شماره ۱۵ خط چین: طیف خام، خط پر: طیف هموار شده



$$f = 0.08621(\text{cycle/time})$$

$$T = 1/f = 11.627(\text{time})$$

شکل ۱۲. پریودوگرام دما در ایستگاه شماره ۲۴ خط چین: طیف خام، خط پر: طیف هموار شده

شده است. به علت محدود بودن دریای خزر، افزایش تراکم جمعیت شهری مجاور سواحل این دریا، توسعه صنعتی و کشاورزی مناطق ساحلی و غیره، افزایش بار آلودگی به این دریا در طی سالهای گذشته را داریم. بنابراین پایداری ستون آب دریا به دلیل افزایش دمای

با توجه به اینکه تغییرات چگالی سطحی آب دریا ی خزر هماهنگ با روند تغییرات دما است، و یا اینکه دما به عنوان فاکتور مؤثرتر بر چگالی سطحی تا شوری مطرح می شود، لذا افزایش دمای سطحی خزر در طی سال های اخیر سبب پایداری بیشتر ستون آب

کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، صفحه: ۳۲۷

باقری راد، م. ۱۳۸۶. بررسی تاثیر دبی رود خانه ولگا، بارش و تبخیر بر روی نوسان تراز آب دریای خزر با استفاده از آنالیز فوریه، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه: ۱۰۱

جلال زاده. الف، ترابی آزاد. م.، دالکی. الف. ۱۳۸۷. مقایسه دمای سطحی حاصل از داده های میدانی و ماهواره ای در خزر جنوبی، پژوهشهای جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵، پاییز ۱۳۸۷، صفحه: ۱۲۱-۱۱۰

فکور، ع. ۱۳۷۵. آشنایی با زبان MATLAB همراه با کاربردهای ویژه در مهندسی برق، کنترل، مخابرات و پیش بینی، جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد، صفحه: ۳۵۳

Bahmanzadegan A. R., Lari K., Fatemi M. R., Azarsina F. 2013. The pattern determination of sea surface temperature distribution and chlorophyll a in the Southern Caspian Sea using SOM Model, Ir. J. of Fisheries Sciences, 12(1):105-114

Brockwell, P and Davis, R. 1991. Time Series: Theory and Methods, Colorado University, Second Edition, P: 470

Dergachev, V.A., Makarenko, N.G., Karimova, L.N., and Danilkina, E.B. 2001. Nonlinear Methods of Analysis of Data with Gaps. J. on Methods and Applications of Absolute Chronology. 20: 45-50

Ibrayev .R.A, E. O' zsoy, C. Schrum, and H. I. Sur. 2010. Seasonal variability of the Caspian Sea three-dimensional circulation, sea level and air-sea interaction, Ocean Sci., 6: 311-329

Kostianoy, A.G. and Kosarev, A.N. 2005. The Caspian Sea Environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, P: 271

Lebedev. Sergey. A, and Andrey G. Kostianoy. 2008. Integrated Use of Satellite Altimetry in the Investigation of the Meteorological, Hydrological, and Hydrodynamic Regime of the Caspian Sea, Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 19, No. 1-2: 71-82

سطحی نیز می تواند در تشدید بحران آلودگی خزر خصوصاً خزر جنوبی مؤثر باشد.

کاهش ذوب یخها، کاهش دبی رودخانه ولگا و عمق کم سواحل شمالی دریای خزر در فصل بهار سبب افزایش دمای سطحی خزر شمالی می شود، به طوریکه در بخش هایی از آن دمای آب با دمای سواحل خزر جنوبی یکسان می شود. از نتایج مهم دیگر این تحقیق، این است که در ماه های می و ژوئن مسیر جریان های ناشی از اختلاف دما در خزر میانی تغییر می کند، به طوریکه نفوذ جریان های آب سرد را به سواحل شرقی خزر میانی و نهایتاً خزر جنوبی داریم. این به دلیل شکل گیری مناطق با دمای سطحی کمتر در سواحل شرقی خزر میانی است که نفوذ آنرا به سواحل شرقی خزر جنوبی نیز داریم.

بیشتر انرژی گرمایی خورشید در قسمت های سطحی آب دریا جذب می شود، بنابر این دمای آب در عمق و حتی در قسمت های عرض های پایین تر ۲ الی ۴ درجه سانتی گراد است. بدین ترتیب گرادیان های دمایی بیشتر در آب های سطحی مشخص می گردد. گرادیان های دمایی یکی از عوامل مؤثر در حرکات و جریانهای سطحی آب خزر خصوصاً خزر جنوبی است. کمترین دامنه تغییرات دما به میزان ۳/۸۴۶ در ماه آگوست و بیشترین دامنه تغییرات دما به میزان ۱۳/۳۰۸ درجه سانتی گراد در ماه نوامبر را داریم. افزایش دبی رودخانه ها، افزایش بارندگی و کاهش دمای سطحی خزر جنوبی در ماه نوامبر دلیل ایجاد گرادیان دمای سطحی بیشتر آب شده است. نفوذ زبانه آب سرد کاملاً محسوس در اواخر فصل پاییز از خزر میانی به خزر جنوبی به علت افزایش گرادیان دمای سطحی آب است.

منابع

افتخاری، ر. ۱۳۸۷. تحلیل و پیش بینی پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی در خزر جنوبی بوسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه

Thiebaut, H.J.1994. Statistical data analysis for ocean and atmospheric sciences. Academic Press, P: 320

Piegorsch, W. W. and Bailer, A. J. 2005. Analyzing Environmental Data, John Wiley & sons, Ltd, P: 224

Rauscher.C.2001.Fundamentals of Spectrum Analysis, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, P: 222

Sea Surface Temperature (SST) Prediction Using Fourier Analysis in the Caspian Sea

Javansamadi.S¹, Torabi Azad.M.^{2*}, Karami Khaniki .A³

1. Islamic Azad University – Astara Branch
2. Department of Physical Oceanography, Islamic Azad University –Tehran North Branch
3. Center of soil protection and watershed

Abstract:

Temperature is one of the fundamental parameters in physical oceanography and study of marine processes. The variation of spatial and local of Sea Surface Temperature (SST) plays an important role on climate change, life of fish, ocean currents, salinity and the other characteristics of seas and lakes. The purpose of this research was to predict SST in the Caspian Sea. The data on the Caspian Sea surface temperature that have been measured with Aqua satellite from MODIS sensor have been collected from 2003 to 2007. This data was analyzed by Fourier series method. Using Fourier analysis Fourier coefficients were calculated and temperature was predicted for future years. Average SST has been calculated for 24 selected stations in three different regions of Caspian Sea. The pattern of SST in different times for Caspian Sea during 2003-2007 was identified. The result of spectral time series showed that temperature variation in different times have a similar pattern. In all stations spectral frequency have a 12 month periodic pattern.

Keywords: Caspian Sea – Sea Surface Temperature (SST) –Fourier analysis –Spectral Analysis

*Corresponding author, E-mail: Torabi_us@yahoo.com