

## تحلیل زمانی و مکانی دمای سطحی آب دریای خزر با استفاده از توابع متعامد تجربی

علی گرمی خانیکی

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

سحر جوانصمدی\*

کارشناس ارشد، رشته فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

مسعود ترابی آزاد

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

### چکیده

دما یک کمیت بنیادی در اقیانوس شناسی فیزیکی و اساس کار اقیانوس شناسان در مطالعه و شناخت فرآیندها در اقیانوس ها و حوضه های آبی می باشد. 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 شناخت چگونگی توزیع دمای سطحی دریای خزر و عوامل موثر بر آن است. برای این منظور داده های سطحی آب برای یک دوره چهار ساله با استفاده از روش های تحلیل زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفته است. در تحلیل انجام شده، داده های میانگین ماهانه دما برای ۱۴۰۰ ایستگاه در یک دوره چهار ساله مورد استفاده قرار گرفته و به کمک آنالیز توابع متعامد تجربی مقادیر EOF (توابع متعامد تجربی) و PC (ضرایب بسط) و پرلودوگرامها و ضرایب همبستگی مکانی برای مدهای اصلی محاسبه گردید. که نهایتاً هفت مد اصلی استخراج و مقادیر EOF و PC و پرلودوگرام های آن ها مورد تحلیل قرار گرفت و عامل هر یک تعیین گردید که به ترتیب اهمیت عبارتند از: مد اول مربوط به تابش خورشید با سهم ۹۸/۳ درصد در دمای سطحی آب، مد دوم مربوط به تاثیر گودال عمیق واقع در خزر جنوبی بر دمای سطحی دریای خزر با سهم ۱/۴۶ درصد، مد سوم مربوط به تاثیر گودال عمیق واقع در خزر میانی با سهم ۰/۰۹۴ درصد، مد چهارم مربوط به تاثیر گودال واقع در خزر شمالی با سهم ۰/۰۲۶۵ درصد، مد پنجم مربوط به تاثیر ورودی آب رودخانه ولگا از سمت شمال غربی به دریای خزر با سهم ۰/۰۲۲۵ درصد، مد ششم ناشی از تاثیر همرفت دمایی بین دریا و خشکی با سهم ۰/۰۱۶۲ درصد و مد هفتم ناشی از تاثیر وزش بادهای غربی بر دمای سطحی آب دریای خزر با سهم ۰/۰۱۰۲ درصد.

**واژگان کلیدی:** دریای خزر، دمای سطحی آب (SST)، توابع متعامد تجربی (EOF)، ضرایب بسط (pc) و ضرایب همبستگی.

### مقدمه

دما همچون شوری و چگالی، کمیت بنیادی در اقیانوس شناسی فیزیکی و اساس کار اقیانوس شناسان در مطالعه و شناخت فرآیندها در اقیانوس ها و حوضه های آبی می باشد. تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی پهنه آبی، نقش مهمی در

فعالیت های سیستم جوی، زندگی آبزیان، جریانات دریایی، میزان شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه ها دارد. دما را می توان 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 که این جذب 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 قسمت های آب باعث می شود که هر کجا پهنه آبی داشته باشیم به عنوان ذخیره کننده گرما عمل کند. از آن جایی 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.

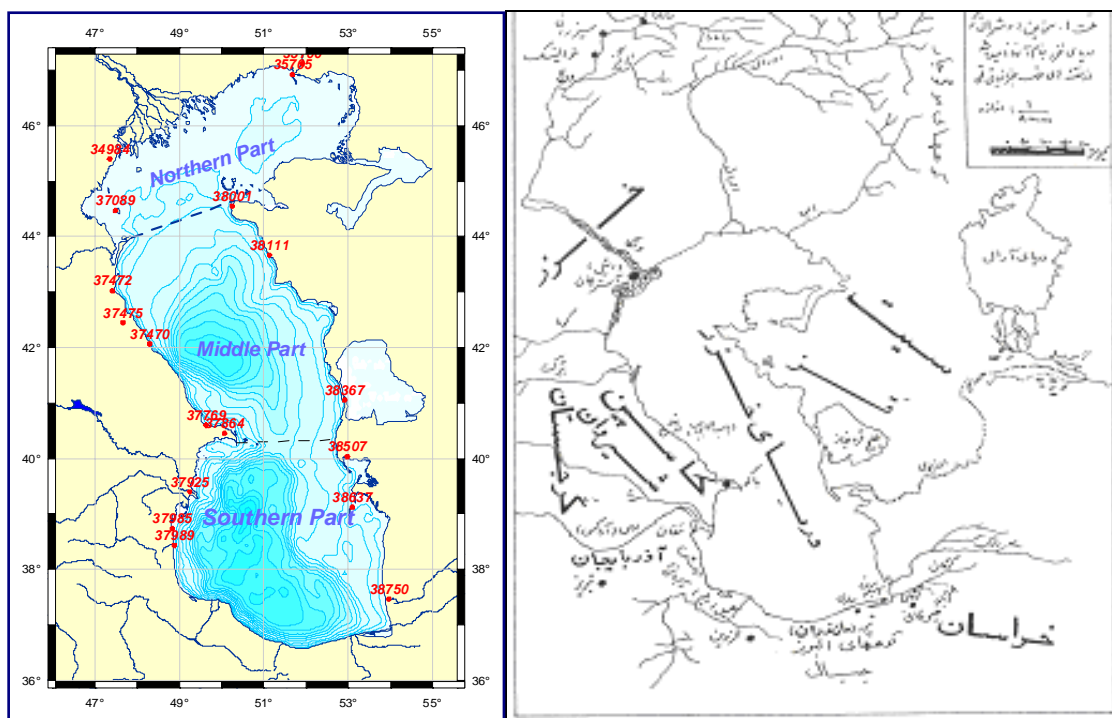
دریای خزر آبگیر بسته منحصر به فردی با درجه شوری نسبتاً پایین است که تمام مشخصات و خصوصیات یک دریا را دارا می باشد. این دریا در شمال ایران و جنوب روسیه واقع شده است. طول دریای خزر، از شمال به سمت جنوب ۱۲۱۰ کیلومتر و در جهت شرق و غرب ۲۱۰ تا ۴۳۶ کیلومتر پهنای دارد. مساحت آن حدود ۳۷۱۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم 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. باریکترین ناحیه آن بین شبه جزیره آبخوران و دماغه کول علی است با طول حدود ۲۲۰ کیلومتر، مساحت جزایر موجود در آن حدود ۲۲۲۰ کیلومتر است. دریای خزر فاقد ارتباط هیدرولوژیک به دریای آزاد است (افتخاری، ۱۳۸۷).

### پیشینه تحقیق

در داخل کشور می توان به مقاله دکتر حسن زاده اشاره کرد، وی تحلیل (EOF) را روی خلیج فارس انجام داد. هدف اصلی او تحقیق و بررسی در خصوص تعاملات و تاثیرات متقابل دریایی- هوایی خلیج فارس در مقیاس های زمانی سالانه و ده سالانه بود. برای این منظور از داده های SLP, SST موجود در یک فاصله زمانی ۳۴ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۷) استفاده شده است. چهار الگوی اصلی EOF برای SST به دست آمد که ۹۹/۸٪ مجموع واریانس ماهانه SST را توجیه می کند. هر کدام به تنهایی ۹۰/۹٪ و ۷/۵٪ و ۱٪ و ۰/۴٪ از واریانس را تعریف می کنند. رساله دکتری رئیس السادات، تغییرات فصلی دمای سطح آب را در قسمت شمالی اقیانوس هند شامل خلیج فارس و دریای عمان بررسی کرده است. در این پایان نامه دمای سطح آب و سنجی های فیزیکی که با دما بر همکنش دارند در ناحیه شمال اقیانوس هند مورد بررسی قرار گرفته است. روش دینامیکی استفاده شده در این پایان نامه به همراه روش (EOF) نشان می دهد که تغییرات سینوسی دمای سطح آب در تابستان در کل منطقه دچار اختلال شده و به علت پدیده مانسون به یک کاهش و سرمایش تابستانی منجر شده است و این تنها می تواند در اثر فرا رفت آب، همرفت و اختلاط عمیق مکانیکی آب در اثر وارونی باد و تغییرات شدت آن در این فصل باشد.

در تحقیق دیگری (North, 1982) با هدف پیش بینی میدان آنومالی ارتفاع ۵۰۰ میلی باری برای ژانویه های ۱۹۴۲-۱۹۴۷ بر روی یک شبکه ۶۴ نقطه ای که سرزمین اصلی آمریکایی جنوبی و قسمتی از اقیانوس های اطراف را می پوشاند، تحلیل مکانی و زمانی را به کار برد، و آن را تحلیل توابع متعامد تجربی (Empirical Orthogonal Function) نامید. از آن به بعد

تحلیل EOF یا (Empirical Orthogonal Function) در بسیاری از تحلیل های هواشناسی به کار گرفته می شود. همچنین (Venegas et al., 1996). این روش را روی داده های ۴۰ ساله دمای سطح دریا در اطلس جنوبی در آنالیز داده های اقیانوسی- جوی برای کمیت های مختلفی نظیر فشار جو و سطح دریا و نیز برای میدان باد و سایر پارامترهای اقلیمی به کار گرفت



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و قسمت های مختلف دریای خزر (کرمی خانیکی، ۱۳۸۳).

### مواد و روش ها

دریای خزر بر اساس موقعیت جغرافیایی، نشانه های فیزیکی، عمق، پستی و بلندی به سه بخش کلی خزر شمالی، خزر میانه و مرکزی و خزر جنوبی تقسیم می شود (شکل ۱). خزر شمالی ۲۵ درصد کل مساحت دریا را به خود اختصاص داده و همچنین ۵٪ از حجم آب های دریای خزر در این قسمت قرار دارد. خزر شمالی کم عمق ترین ناحیه خزر بوده و بیشترین ژرفای آن حدود ۲۵ متر است و میانگین ژرفای آن ۴/۴ متر است. بیش از ۱۳۰ رودخانه کوچک و بزرگ به دریای خزر می ریزند که رودخانه های بزرگ عمدتاً در سواحل شمالی و رودخانه های کوچک در سواحل غربی و جنوبی پراکنده شده اند. رود ولگا بزرگترین رودخانه در حوضه خزر شمالی است که به تنهایی حدود ۸۰ درصد آب ورودی دریای خزر را تأمین می کند. خزر شمالی برای مدت زیادی از سال منجمد است. عمق متوسط خزر میانی ۱۷۴ یا ۱۹۲ متر و حداکثر عمق آن حدود ۷۸۸ متر و دارای مساحتی حدود ۱۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد. حجم خزر میانی کمتر از یک سوم حجم کل دریای خزر است، ۳۶/۴ درصد کل مساحت دریای خزر به این بخش اختصاص دارد و در مقایسه با بخش خزر شمالی دارای مناطق عمیق تر و ژرفتر است. بخش جنوبی که آب های ساحلی ایران را تشکیل می دهد، عمق آن به ۹۶۰ تا ۱۰۰۰ متر می رسد. مساحت خزر جنوبی حدود ۱۴۸۶۴۰ کیلومتر مربع و تقریباً ۳۹/۳ درصد کل مساحت دریای خزر را شامل

می شود حجم آب در این بخش ۵۱۲۴۵ کیلومتر مکعب بوده که ۶۵/۵ درصد حجم کل دریا را تشکیل می دهد. عمق متوسط خزر جنوبی حدود ۳۴۵ متر است حجم آن کمتر از دو سوم دریای خزر است (افتخاری، ۱۳۸۷).

آب و هوای دریای خزر متأثر از موقعیت جغرافیایی و پرخه های جوی عبوری از روی ارتفاعات سواحل آن است. دریای خزر تقریباً در عرض های پایین قرار دارد به همین علت مقدار قابل توجهی از پرتوهای خورشید را دریافت می کند. مجموع سالانه دریافت انرژی خورشید بر روی دریای خزر حدود  $3700 \frac{mj}{m}$  است. بر رژیم آب و هوای دریای خزر بویژه در بخش های جنوبی و غربی آن رشته کوه های البرز و قفقاز و در بخش های شمالی و شرقی، استپ ها و بیابان ها اثر می گذارد. آب و هوای ناحیه خزر توسط 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 (افتخاری، ۱۳۸۷).

دمای آب خزر به علت وسعت زیادی که دارد از محدوده یکسانی در بخش دما برخوردار نیست. دمای آب در بخش های 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 می باشد. با توجه به عرضهای جغرافیایی دمای آب دارای تغییراتی می باشند. میزان تفاوت دما در فصل بهار بین بخش شمالی و جنوبی دریای خزر کاهش می یابد. در اوایل تابستان این کاهش بیشتر مشهود است. به طوری که در این زمان دمای آب سطح دریا تقریباً در سه بخش یکسان می گردد. در فصل پائیز تفاوت دمای آب سطح دریا در بخش های شمالی، میانی و جنوبی قابل مشاهده است به طوری که این تفاوتها در آبان ماه بین  $6^{\circ}C$  تا  $18^{\circ}C$  متغیر است. دمای متوسط و سالانه خزر شمالی بین  $11^{\circ}C$  تا  $13^{\circ}C$  می باشد. در زمستان با کاهش بسیار چشمگیر دما معمولاً سطح آب دریا در خزر شمالی از یک لایه یخی پوشیده می شود. در حالی که در کرانه های جنوبی حرارت بین  $8^{\circ}C$  تا  $10^{\circ}C$  است. در خزر میانی در فصل زمستان دمای آب  $5^{\circ}C$  الی  $6^{\circ}C$  است و در فصل بهار دمای آب بین  $5/7^{\circ}C$  تا  $12^{\circ}C$  و در فصل تابستان دمای آب بین  $9^{\circ}C$  تا  $26^{\circ}C$  است. در خزر جنوبی چینه بندی قائم دما حفظ می شود و در زمستان دمای بخش های فوقانی آب از  $9^{\circ}C$  به  $7^{\circ}C$  کاهش می یابد. همچنین در اعماق پائین تر از ۲۰۰ متر دما به  $5/7^{\circ}C$  الی  $5/9^{\circ}C$  می رسد. در فصل بهار دما در بخش وسیعی از طبقات بالایی خزر جنوبی  $12^{\circ}C$  الی  $13^{\circ}C$  است. در فصل تابستان دمای آب در لایه های بالایی به  $26^{\circ}C$  تا  $28^{\circ}C$  می رسد (افتخاری، ۱۳۸۷).

#### داده های مورد استفاده

داده های مورد استفاده شامل داده های میانگین ماهانه دمای سطحی آب دریای خزر (SST) برای حدود ۱۴۰۰ نقطه در یک دوره سه ساله که به کمک ماهواره Aqua از سنجنده MODIS اندازه گیری شده از سایت استخراج گردید (<http://poet.jpl.nasa.gov>). با توجه به این که این سنجنده اندازه ها را برای یک شبکه به فاصله گره های ۹ km ثبت کرده است، لذا تعداد داده های دما بوده که تحلیل آن ها را مشکل می کند. با حذف مرتب ایستگاه ها در فواصل معین

طول و عرض جغرافیایی دریای خزر، تعداد ایستگاه ها را کاهش داده و به تعداد مطلوب می رسانیم. برای این منظور فواصل ایستگاه ها برابر ۱۷ km انتخاب گردید. لازم به توضیح است که در برخی از ایستگاه ها که دمای سطح آب ثبت نشده بود، به کمک روش درون یابی، دمای سطح آب تعیین گردید.

### روش EOF در تحلیل داده های مکانی-زمانی

داده های دما برای زمان های و مکان های مختلف در دریای خزر (داده های زمانی- مکانی) با استفاده از روش توابع متعامد تجربی (Empirical Orthogonal Function - EOF) تحلیل گردید. برای توضیح این روش، فرض می کنیم مقدار یک پارامتر  $x$  (مثلا دمای سطحی آب) در محل ها (یا ایستگاه های مختلف  $x_1, x_2, \dots, x_p$ ، در زمان های  $t_1, t_2, \dots, t_n$  اندازه گیری شده است (Bjornsson, et al, 1997). داده های اندازه گیری شده را در ماتریس  $F$  طوری ذخیره می کنیم که هر سطر آن مقادیر پارامتر  $x$  را در کلیه ایستگاه ها برای یک زمان معین مطابق ماتریس زیر شامل شود.

$$F = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & & & \\ \vdots & & & \\ x_{n1} & & & x_{np} \end{pmatrix}_{n \times p} \quad (1)$$

در این ماتریس  $x_{ij}$  معرف مقدار پارامتر،  $x$  در ایستگاه  $i$  و زمان  $j$  است. هر  $map$  در یک بردار، در یک سطر ماتریس  $F$  چیده می شود، ماتریس  $F$ ، یک ماتریس  $n \times p$  می باشد، که  $n$  تعداد زمان ها و  $p$  تعداد ایستگاه ها است. در ماتریس  $F$ ، داده های هر سطر را می توان به صورت منحنی های میزان ترسیم کرد، که به آن یک  $map$  می گوئیم و هر ستون ماتریس  $TF$  یک سری زمانی مربوط به یک ایستگاه است. پس از تشکیل ماتریس  $F$  که به ماتریس داده ها معروف است، ماتریس کوواریانس  $R$  از ضرب ترانهاده ماتریس داده ها در خودش مطابق معادله ۲ به دست می آید

$$R = F^t . F \quad (2)$$

سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس  $R$  محاسبه می شود طوری که:

$$RC = C \lambda \quad (3)$$

که در آن  $\lambda$  یک ماتریس قطری شامل مقادیر ویژه و  $C$ ، ماتریس بردارهای ویژه مربوط به ماتریس  $R$  است. هر دو ماتریس  $\lambda$  و  $C$ ، ماتریس های  $p \times p$  هستند. هر مقدار ویژه  $\lambda_{jj}$  متناظر با یک بردار ویژه  $c_{ij}$  ( $j=1, \dots, n$ )، است که به آن مد  $z_j$ ، یا EOF  $z_j$ ، می گویند. هر مد یا EOF را می توان به صورت یک  $map$ ، رسم کرد. مثلا ستون اول با  $C$ ، هر یک از این بردارهای ویژه مثل یک  $map$  هستند. اگر ماتریس مقادیر ویژه به صورت نزولی مرتب شود،  $EOF_1$  بردار ویژه وابسته به بزرگترین مقدار مقدار ویژه خواهد بود. هر مقدار ویژه  $\lambda_j$ ، کسری از واریانس کل ماتریس  $R$  است. این کسر از تقسیم  $\lambda_j$  بر حاصل جمع کلیه مقادیر ویژه به دست می آید. هر چه مقدار ویژه مربوط به یک بردار ویژه یا مد بیشتر باشد، سهم آن مد در تشکیل داده ها بیشتر است.

ماتریس بردارهای ویژه  $C$  خاصیتی دارد که  $I = C^t C = C C^t$  این یعنی که بردارهای ویژه عمود بر هم هستند. یا ضریب همبستگی بین بردارهای ویژه مختلف برابر صفر است. به همین دلیل آن ها را توابع تجربی عمود بر هم می نامند.

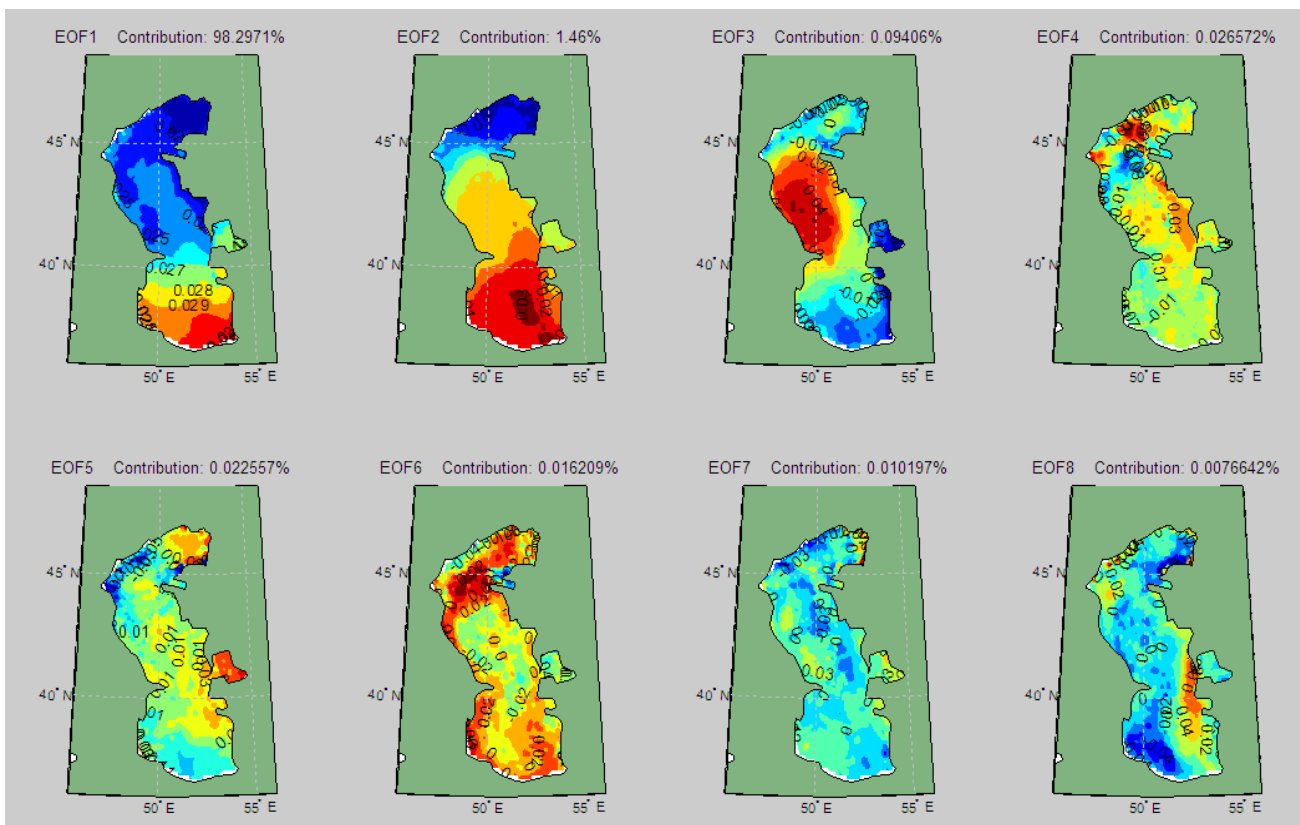
برای این که ببینیم  $EOF_1$  در زمان چگونه نمو می کند  $a_1 \rightarrow = f c_1 \rightarrow$  را محاسبه می کنیم. بردار  $a_1 \rightarrow$  یک سری زمانی بوده که تغییرات مد ۱ یا  $EOF_1$  را در زمان نشان می دهد. عموماً برای هر  $EOF_j$  محاسبه شده، می توانیم یک  $a_j$  متناظر بیابیم که ضرایب انبساط یا مولفه های اصلی (PC) هستند. در حقیقت می توان گفت که ماتریس داده های F را به یک سری مولفه های مکانی که (EOF) و یکسری مولفه های زمانی که (PC) تجزیه کرده ایم که از ضرب این مولفه های که می توان داده های اولیه را دوباره بدست آورد.

$$F = \sum_{j=1}^p a_j \rightarrow .(EOF_j) \quad (۴)$$

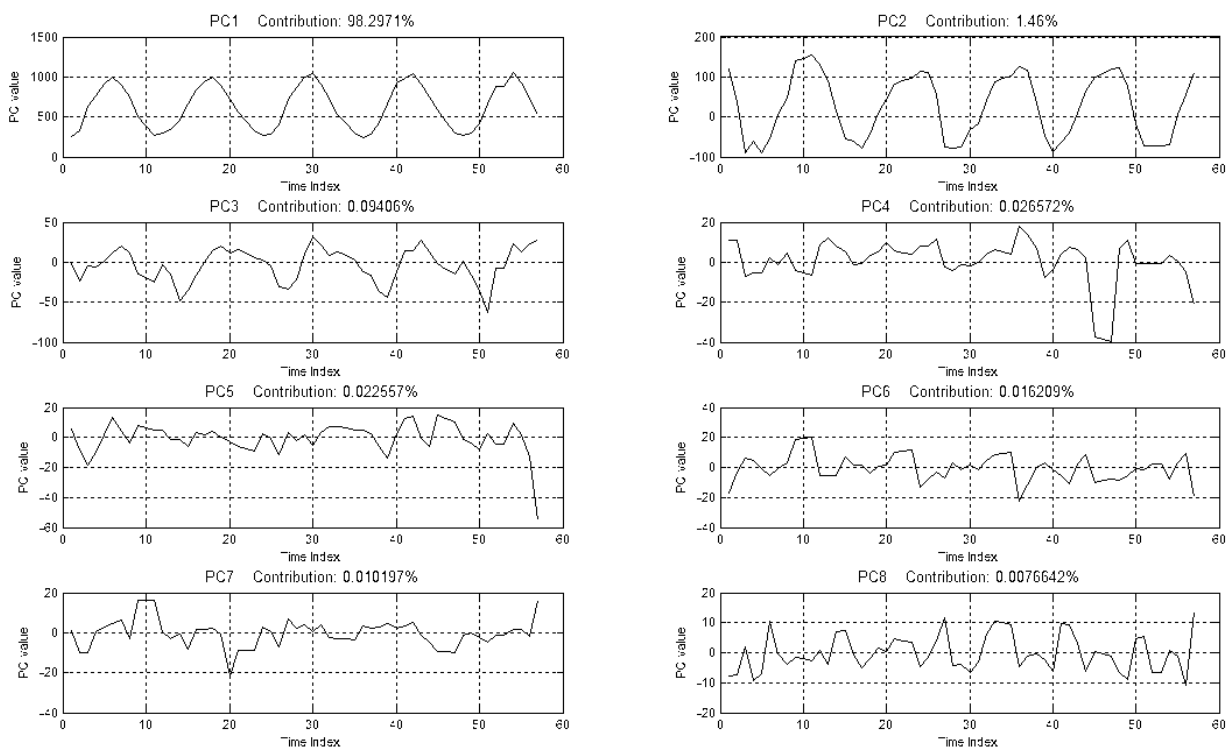
عموماً استفاده از EOF به منظور بازسازی و بسط داده ها است. پس ما فقط EOF هایی را که بزرگترین مقادیر ویژه را دارند استفاده می کنیم. اولین مقدار ویژه، رفتار داده ها را تسخیر کرده اند و سایر مقادیر ویژه نوین هستند.

## نتایج

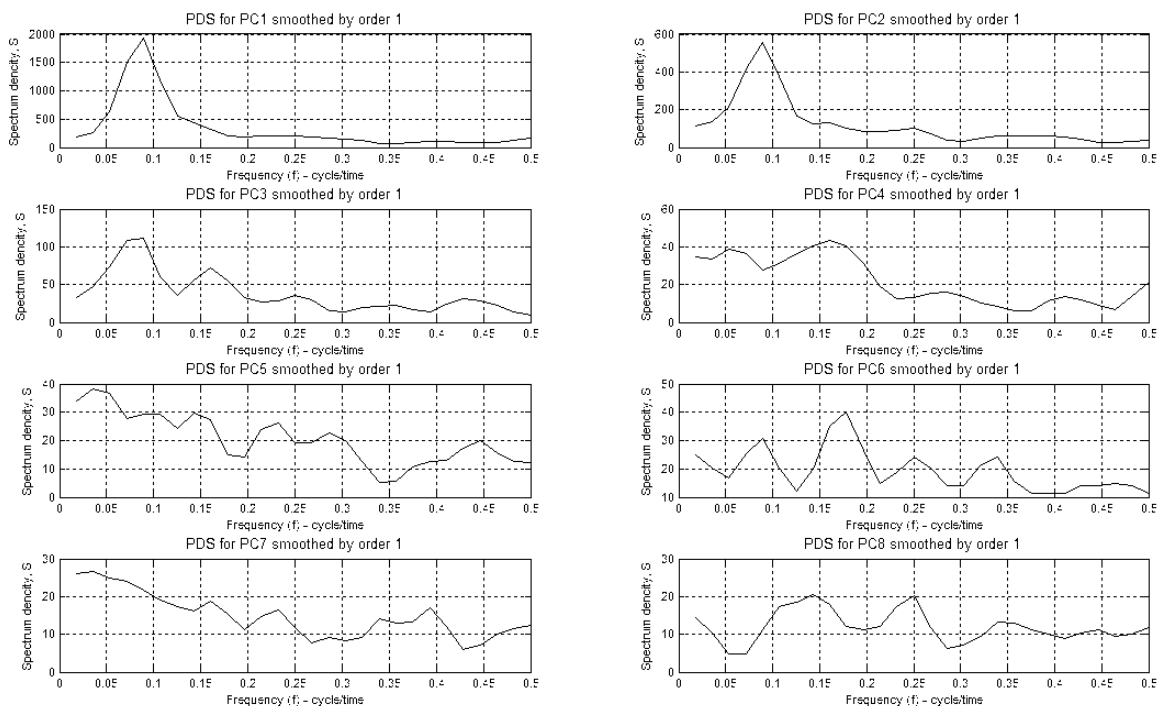
به منظور بررسی عوامل موثر بر دمای سطحی آب دریای خزر با استفاده از توابع متعامد، نرم افزاری توسط نگارنده در محیط Matlab نوشته شد. با استفاده از داده های مربوط به ۱۱۴۰ ایستگاه در مدت ۴ سال، برنامه نوشته شده اجرا گردید که نتایج آن در شکل های ۳ تا ۶ آمده است.



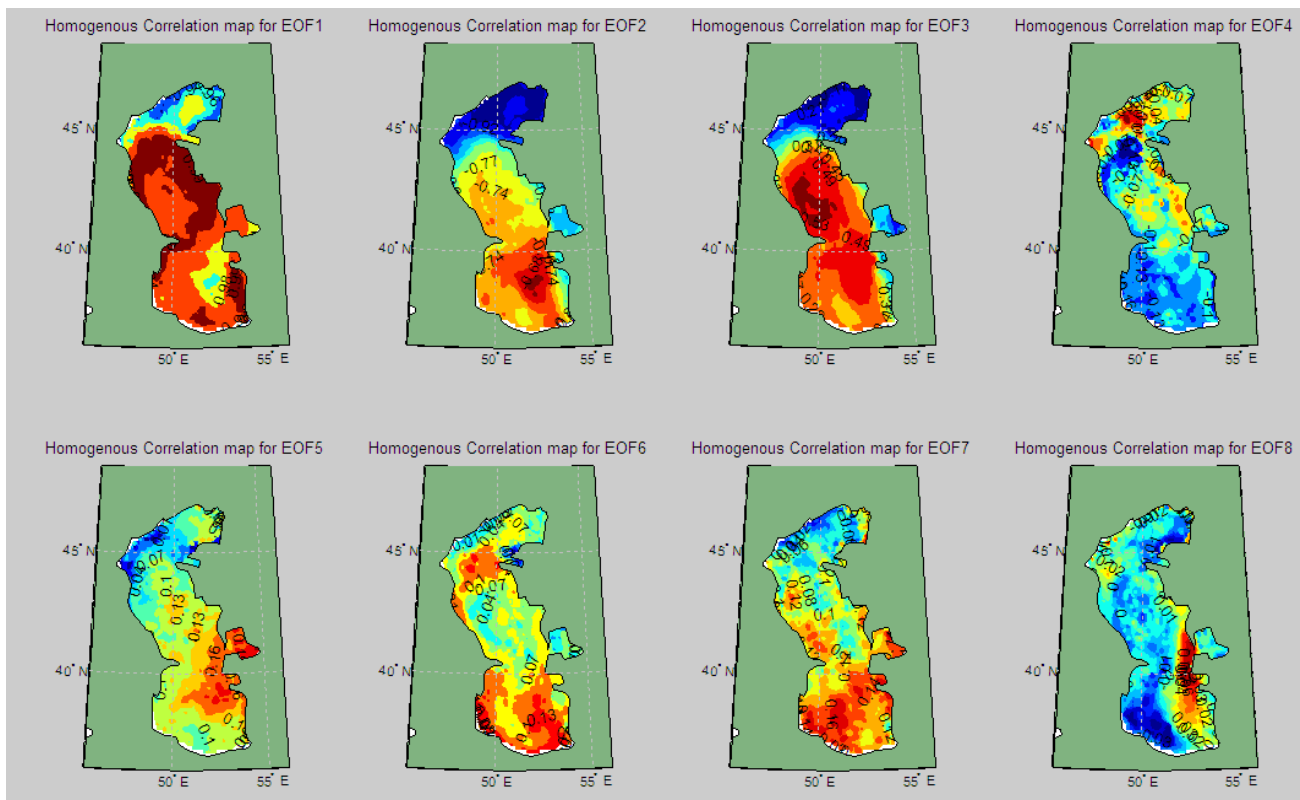
شکل ۳ مقادیر EOF برای ۸ مد اصلی



شکل ۴ مولفه های اصلی (PC) مربوط به ۸ مد اصلی



شکل ۵ پریودوگرام مربوط به هشت مولفه اصلی (PC)



شکل ۶ ضرایب همبستگی بین مولفه های اصلی و داده های مکانی دمای سطحی

### نتیجه گیری

با توجه نتایج آنالیز طیفی و آنالیز EOF برای SST خزر، هفت مد اصلی استخراج و مقادیر EOF و PC و پرلودگرام های آن ها مورد تحلیل قرار گرفت و عامل هر یک تعیین گردید. خصوصیات هریک از مدها و عامل مربوط به آن به شرح زیر است:

مد ۱: با بررسی EOF1 و PC1 در شکل های ۳ تا ۶ می توان نتیجه گرفت: دوره تناوب مد ۱ برابر ۱۲ ماه است (شکل ۴ و ۵) که معادل زمان یکبار گردش زمین به دور خورشید یا یک سال است. به همین دلیل این مد را می توان ناشی از تاثیر دمای هوا یا تابش خورشید بر روی دمای سطحی آب دانست. سهم این مد از داده های دمای سطحی آب خزر معادل ۹۸/۳ درصد است. یعنی این که ۹۸/۳ درصد از تغییرات دمای سطحی آب خزر ناشی از تغییرات دمای هوا است. مقادیر EOF1 برای کلیه نقاط خزر مثبت است (شکل ۳). یعنی دمای سطحی آب با دمای هوا رابطه مستقیم دارد. مقادیر EOF1 از جنوب به شمال کاهش می یابد (شکل ۳). طوری که در قسمت های جنوبی خزر مقدار آن ۱/۵ برابر قسمت های شمالی خزر است. به عبارت دیگر تاثیر دمای هوا بر دمای سطحی آب در قسمت های جنوبی خزر ۵۰ درصد بیش از قسمت های شمالی آن است. مقادیر EOF1 در امتداد طول جغرافیایی تقریباً ثابت ولی در امتداد عرض جغرافیایی تغییر می کند (شکل ۳). به عبارت دیگر تاثیر دمای هوا بر دمای آب فقط تابع عرض جغرافیایی (فاصله از استوا) است و به طول جغرافیایی بستگی ندارد. در پرلودگرام مربوط به PC1 دو مقدار حداکثر (پیک) مشاهده می شود (شکل ۵). پیک اول بر فرکانس ۰/۰۸ یا دوره تناوب ۱۲ ماهه انطباق دارد که چگالی طیفی آن معادل ۲۰۰۰ است. پیک دوم بر فرکانس ۰/۲۵ یا دوره تناوب ۴



ماهه منطبق است و چگالی آن معادل ۲۵۰ است. به عبارت دیگر مد شماره ۱ دارای دو دوره تناوب سالانه و فصلی است (بهتر است فصل طبیعی در محدوده دریای خزر ۴ ماهه تعریف شود) که قدرت پیک سالانه ۸ برابر پیک فصلی است. لازم به ذکر است که به دلیل استفاده از داده های ماهانه، پیک روزانه از پریودوگرام حذف شده است.

**مد ۲:** با بررسی EOF2 و PC2 در شکل های ۳ تا ۶ می توان نتیجه گرفت: مقادیر EOF2 در قسمت عمیق خزر جنوبی مثبت و به سمت قسمت های کم عمق شمالی کاهش می یابد. بنابراین می توان این مد را ناشی از تاثیر گودال عمیق واقع در خزر جنوبی بر دمای سطحی دریای خزر دانست. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۱/۴۶ درصد است که نسبت به سهم مد ۱ بسیار ناچیز است. دوره تناوب اصلی این مد سالانه است. همچنین یک پیک ضعیف فصلی با قدرت ۲۰ درصد پیک سالانه مشاهده می شود.

**مد ۳:** مقادیر EOF3 در قسمت عمیق خزر میانی مثبت و به سمت قسمت های شمالی و جنوبی کاهش می یابد. بنابراین می توان این مد را ناشی از تاثیر گودال عمیق واقع در خزر میانی بر دمای سطحی دریای خزر دانست. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۰/۰۹۴ درصد است. دوره تناوب اصلی این مد سالانه است. همچنین یک پیک شش ماهه با نصف قدرت سالانه و یک پیک فصلی با قدرت ۲۰ درصد پیک سالانه مشاهده می شود.

**مد ۴:** مقادیر EOF در قسمت عمیق خزر شمالی مثبت و در سمت قسمت های جنوبی کاهش یافته است. بنابراین می توان این مد را ناشی از تاثیر گودال عمیق واقع در خزر شمالی بر دمای سطحی دریای خزر دانست. لازم به توضیح است که به توجه به شکل ۲ یک گودال نسبتا عمیقی در خزر شمالی وجود دارد که این قسمت در مقایسه با سایر قسمت های خزر شمالی عمیق تر است. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۰/۰۲۶۵ درصد است.

**مد ۵:** با توجه به مقادیر EOF5، مد ۵ را می توان ناشی از تاثیر ورودی آب رودخانه ولگا از سمت شمال غربی به دریای خزر دانست. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۰/۰۲۲۵ درصد است. دوره تناوب اصلی این مد عمدتا سالانه و شش ماهه است.

**مد ۶:** مد ۶ را می توان ناشی از تاثیر همرفت دمایی بین دریا و خشکی دانست. مقادیر EOF6 برای قسمت های ساحلی خزر بیشتر و برای قسمت های وسطی (دور از ساحل) کمتر است. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۰/۰۱۶۲ درصد است. دوره تناوب اصلی این مد عمدتا شش ماهه است.

**مد ۷:** مد ۷ را می توان ناشی از تاثیر وزش بادهای غربی بر دمای سطحی آب خزر دانست. مقادیر EOF7 برای کلیه قسمت های ساحلی خزر تقریبا یکسان است. سهم این مد در دمای سطحی خزر برابر ۰/۰۱۰۲ درصد است. دوره تناوب اصلی این مد عمدتا فصلی است.

همچنین بررسی نقشه های مربوط به توزیع دمای سطحی در دریای خزر نشان می دهد که در طول مدت آماری (سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷) محدوده تغییرات دما در خزر جنوبی ۱۹/۰۱ - ۱۷/۵۵، خزر میانی برابر ۱۵/۸۳ - ۱۴/۵۹ و در خزر شمالی ۱۴/۶ - ۱۲/۷۴ درجه سانتی گراد بوده است. طی سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۷ نحوه تغییرات دمای سطحی دریای خزر روند افزایشی داشته است. در زمستان کمترین دما در خزر شمالی دیده می شود، اختلاف دما بین خزر شمالی و جنوبی حدود ۱۱/۵ درجه سانتی گراد است. اختلاف دما بین خزر شمالی و جنوبی حدود ۲ درجه سانتی گراد است.

## منابع

- ۱- افتخاری، رحیم، (۱۳۸۷): تحلیل و پیش بینی پارامترهای فیزیکی دما، شوری و چگالی در خزر جنوبی به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- ۲- بدیعی، ربیع، (۱۳۶۲): جغرافیای مفصل ایران، اقبال.
- ۳- رئیس السادات، سید حمید رضا، (۱۳۸۳): تغییرات فصلی و درون سالی دمای سطح آب در قسمت شمالی اقیانوس هند شامل دریای عمان و خلیج فارس، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- ۴- کرمی خانیکی، علی، (۱۳۸۳): سواحل ایران، نشر آبخیز، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.
- 5- Bjornsson, H., and S.A. Venegas, (1997): "A Manual for EOF and SVD Analysis of Climatic Data", McGill University, CCGCR Report No. 97-1, Montréal, Québec, Canada, 52pp.
- 6- Hasanzadeh, S., (2007): "EOF and SVD analysis of SST and SLP in the Persian Gulf", Isfahan, Iran.
- 7- North, G.R., Bell, T.L., Cahalan, R.F., AND Moeng, F.J, (1982): "Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function", Mon. weather, Rev., 110:699-706.
- 8- Venegas, S. A., Mysak, K, L.A., and Straub, D.N., (1996): "Atmosphere-ocean coupled variability in the south Atlantic", Report 96-13 ,centre for climate and Global change Research, Mc Gill university, Montréal, Canada.
- 9- <http://poet.jpl.nasa.gov>.