

## مطالعه همبستگی شاخص‌های ENSO، IOD، NAO و تغییرات دمای سطح دریا در خلیج فارس

پردیس رفعتی<sup>۱</sup> و مریم رضازاده<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. استادیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت: ۹۸/۱۲/۲۰، پذیرش نهایی: ۹۹/۳/۲۰)

### چکیده

با توجه به تأثیرات الگوهای دورپیوند بر پارامترهای جوی و اقیانوسی در مناطق مختلف، همبستگی سه الگوی دورپیوند نوسان اطلس شمالی (NAO)، دوقطبی اقیانوس هند (IOD) و نوسان جنوبی ال‌نینو (ENSO) با بی‌هنجاری دمای سطح دریای خلیج فارس در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور داده‌های درون‌یابی بهینه دمای سطح دریا (OISST) و شاخص چند متغیره ENSO (MEI.V2)، IOD و NAO در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ تحلیل شده است. روند افزایشی سری زمانی دمای سطح دریا ناشی از گرمایش جهانی در بازه ۱۹۸۲-۲۰۱۸ به‌روش کمترین مربعات خطی به مقدار  $0.4^{\circ}\text{C}$  بر دهه محاسبه شده است. توزیع مکانی روند نشان‌دهنده بیشترین مقدار در شمال‌غرب خلیج فارس در حاشیه استان خوزستان و کشور کویت و کمترین مقدار در شرق و جنوب‌شرق خلیج فارس است. با استفاده از روش همبستگی پیرسون بیشترین همبستگی با شاخص ENSO و به‌میزان  $-0.23$  با تأخیر ۴ ماهه و کمترین همبستگی با شاخص IOD به‌میزان  $0.16$  با تأخیر ۱۳ ماهه برآورد شده است. توزیع مکانی همبستگی شاخص الگوهای دورپیوند با بی‌هنجاری دمای سطح دریا، نشان می‌دهد که مرکزی با بیشینه همبستگی قابل‌تمایز از نواحی دیگر در خلیج فارس یافت نشده است.

واژه‌های کلیدی: همبستگی، ENSO، IOD، NAO، دمای سطح دریا، خلیج فارس.

### ۱. مقدمه

(دیکسون و همکاران، ۲۰۰۰). دوقطبی اقیانوس هند (IOD) تفاضل استاندارد شده دمای سطح دریا (SST) میان غرب و شرق اقیانوس هند است و مانند نوسان جنوبی ال‌نینو (ENSO)، یک پدیده جفت شده جوی اقیانوسی است. در فاز مثبت (منفی) IOD، آنومالی مثبت SST در غرب (شرق) اقیانوس هند و آنومالی منفی در شرق (غرب) اقیانوس هند است (چاکرابورتی و همکاران، ۲۰۰۶). ENSO نوسانات باد و SST در شرق اقیانوس آرام حاره‌ای است که بر روی اقلیم حاره و جنب‌حاره اثرگذار است. فاز مثبت ENSO به‌عنوان ال‌نینو و فاز منفی آن به‌عنوان لانینا شناخته می‌شود. ال‌نینو آنومالی مثبت و لانینا آنومالی منفی SST در شرق اقیانوس آرام حاره‌ای است (آشووک و یاماگاتا، ۲۰۰۹). در شکل ۱ موقعیت الگوهای دورپیوند ذکر شده مشخص شده است (ایندرانی، ۲۰۱۸).

مطالعه الگوهای دورپیوند و همبستگی آنها با پارامترهای جوی اقیانوسی باعث افزایش دقت در پیش‌بینی‌های فصلی می‌شود و برای بررسی تغییر اقلیم و در نتیجه تصمیم‌گیری‌های بین‌المللی و در مقیاس کوچک‌تر کشوری موردنیاز است. خلیج فارس به‌دلیل موقعیت اقتصادی، جغرافیایی و سیاسی همواره مورد توجه دانشمندان و پژوهشگران بوده است. لذا مطالعه میزان تغییرات دمای سطح خلیج فارس تحت‌تأثیر الگوهای دورپیوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نوسان اطلس شمالی (NAO) یکی از الگوهای دورپیوند نمیکره شمالی است که در اثر تغییر فشار مراکز پرفشار آזור جنب‌حاره و کم‌فشار ایسلند جنب قطب به‌وجود می‌آید. در فاز مثبت (منفی)، پرفشار آזור و کم‌فشار ایسلند قوی‌تر (ضعیف‌تر) از حالت میانگین آن است

پژوهشی دیگر داده‌های ماهواره‌ای SST در بازه زمانی ۲۱ ساله برای یافتن الگوی مکانی اثر ENSO بر SST در خلیج کالیفرنیا مورد تحلیل قرار گرفت. با استفاده از روش EOF مد اصلی تغییرات SST غیر فصلی تعیین و با اثر مکانی شاخص ENSO مقایسه شد. مد اول برای ۸۰ درصد تغییرات غیر فصلی برآورد شده و سری زمانی آن با ضریب همبستگی  $-0.58$  با شاخص SOI مرتبط بوده است (هراسروانته و همکاران، ۲۰۰۷). در مطالعه دیگری همبستگی NAO و SST در گرینلند در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر همبستگی مثبت میان NAO و SST است، ضریب همبستگی در سال ۲۰۰۵ به مقدار  $0.944$ ، در سال ۲۰۰۸ به مقدار  $0.7$  و در سال ۲۰۰۹ به مقدار  $0.74$  با تأخیر یک ماهه می‌رسد (گو و همکاران، ۲۰۱۲). فرستر و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی اثر الگوهای دورپیوند نوسان جنوبی و نوسان قطب جنوب بر روی SST اقیانوس نمیکره جنوبی پرداختند. در فاز مثبت الگوها روند منفی (سرد) SST در عرض‌های بالای اقیانوس نمیکره جنوبی و روند مثبت (گرم) در عرض‌های میانی و جنب حاره اقیانوس نمیکره جنوبی مشاهده شده است.

خلیج فارس در موقعیت  $24^{\circ}$  تا  $30^{\circ}$  درجه و  $30$  دقیقه عرض شمالی و  $48^{\circ}$  تا  $56^{\circ}$  درجه و  $25$  دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در منطقه پرفشار جنب حاره قرار گرفته که اقلیم آن خشک است (پریوت، ۱۹۵۹). اقلیم در خلیج فارس به دو فصل عمده چهار ماهه و دو دوره گذار دو ماهه تقسیم می‌شود: فصل تابستان در خلیج فارس (ژوئن-سپتامبر)، دوره گذار پاییز (اکتبر و نوامبر)، فصل زمستان (دسامبر-مارس) و دوره گذار بهار (آوریل و می) است. در طول دوره‌های گذار، وضع آب‌وهوا عمدتاً ناپایدار بوده، الگوهای آب و هوا به‌خوبی تعریف نشده و طوفان‌های حاره‌ای رایج هستند (والترز، ۱۹۹۰). طبق پژوهشی دیگر که بر روی دمای سطح خلیج فارس و ۴ خلیج دیگر در حاشیه دریای عمان و

مطالعات فراوانی در دنیا درخصوص ارتباط دور پیوندها با SST انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه کلین و همکاران اشاره داشت که به بررسی ارتباط میان ENSO با بی‌هنجاری‌های SST در اقیانوس‌های دور مانند اقیانوس هند، اطلس شمالی حاره‌ای و جنوب دریای چین پرداختند. نتایج حاکی از بی‌هنجاری مثبت SST در این دریاها با تأخیر ۳ تا ۶ ماه پس از بیشینه بی‌هنجاری SST در اطلس حاره‌ای است. تغییرات گردش‌های جوی همراه با الینو باعث تغییر در پوشش ابر و تبخیر می‌شود که در نتیجه باعث افزایش شار گرمای خالص ورودی به این دریاها می‌شود، به‌ویژه در شرق اقیانوس هند و دریای جنوب چین افزایش فرونشست در طول الینو باعث کاهش پوشش ابر و افزایش تابش خورشیدی جذب شده توسط اقیانوس و در نتیجه افزایش SST می‌شود (کلین و همکاران، ۱۹۹۹). فانگ و همکاران (۲۰۰۶) بررسی دریای جنوب چین با استفاده از روش تابع متعامد تجربی (EOF)، مد اصلی دمای سطح دریا را تحلیل و الگوی آن را رسم کردند. در بررسی‌های بیشتر همبستگی ENSO با مد اول EOF مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل الگوی همبستگی سری زمانی شاخص ENSO و سری زمانی اولین مد EOF در دریای جنوب چین بیانگر یک روند کلی مشابه برای هر دو سری زمانی است که در برخی ماه‌ها تفاوت مشهودی قابل مشاهده است. ضریب همبستگی میان شاخص ENSO (Nino3.4: 5N-5S, 170W-120W) و تابع ضریب زمانی اولین مد EOF با تأخیر ۸ ماهه  $0.62$  محاسبه شده که این تأخیر برای بیشینه همبستگی به‌دست آمده است. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر الگوهای دورپیوند غرب آرام (WP)، نوسان قطب شمال (AO) و ENSO بر روی آنومالی کمینه دمای هوای سطح شرق آسیا در زمستان ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ پرداختند. کمینه دمای روزانه عمدتاً به نوسانات گردش‌های محلی سینوپتیکی الگوهای دورپیوند بزرگ مقیاس و کمینه دمای ماهانه عمدتاً به الگوهای فرکانس پایین ارتباط داشته‌اند. در

آن با IOD روی جنوب شرق ایران پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که ارتباط مثبت و معنادار شاخص IOD با بارش تابستانه ایران‌شهر، بندرعباس و زاهدان وجود دارد و نواحی که تحت تأثیر کم فشارهای پاکستان و خلیج فارس هستند، بیشتر از شاخص IOD تأثیر می‌پذیرند. غیور و عساکره (۱۳۸۱) در بررسی افت و خیزهای دما در جاسک طی یک دوره ۱۰۴ ساله با ENSO و NAO به این مهم دست یافتند که شاخص نوسان جنوبی (SOI) دورپیوند ENSO و شاخص NAO به شدت بر دمای جاسک مؤثر بوده و در مجموع تا ۴۰ درصد تغییرات مؤلفه‌های نوسانی دما را توجیه می‌کند. در پژوهشی دیگر خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۷) اثرات NAO را بر رژیم بارش و دمای سواحل جنوبی دریای خزر بررسی کرده و مشخص شد فاز مثبت NAO با دوره‌های افزایش بارش و کاهش دما و فاز منفی NAO با دوره‌های کاهش بارش و افزایش دما همزمان است. خلاصه همبستگی‌های ذکر شده در مطالعات بالا میان کمیت‌های مختلف و الگوهای دورپیوند در جدول ۱ گردآوری شده است.

در تحقیقات مشابه تأثیرات الگوهای دور پیوند بر بارش و دما، رطوبت، خشکسالی و یخبندان بررسی شده است ولی ارتباط الگوها با تغییرات SST به‌طور مجزا مطالعه نشده است و به همین دلیل ضرورت مطالعه تغییرات دمای سطح خلیج فارس با شاخص‌های دورپیوندی احساس می‌شود. با توجه به این مهم، در این پژوهش همبستگی سه الگوی دورپیوند ENSO، IOD و NAO با دمای سطح خلیج فارس در دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۲ بررسی شده است. برای این منظور از داده‌های درون‌یابی بهینه دمای سطح دریا (OISST) و شاخص چند متغیره ENSO (MEI.V2)، IOD و NAO برای تحلیل تغییرات دمای سطح خلیج فارس در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۲ استفاده شده است.

دریای سرخ در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۹ انجام شد، تأثیر قوی ENSO و IOD بر تغییرات دمای سطح خلیج‌ها مشاهده شد. خلیج‌های غربی دریای عرب تحت تأثیر مستقیم سیستم‌های فشاری جوی متفاوتی مانند سیستم پرفشار سبیری، ال‌نینو، گردش جنوبی، NAO و IOD هستند. اگرچه ارتباط یک به یک مشاهده نشده و پدیده ال‌نینو و لاتینا در همه سال‌ها تأثیر یکسانی بر خلیج‌های شرقی و غربی نداشتند ولی در این پژوهش تأثیر ENSO و IOD بر تغییرات SST مشخص شده است. برای مثال در سال ۱۹۹۷-۱۹۹۸ که یکی از سال‌های فعالیت ENSO می‌باشد، افزایش دما در خلیج‌های غربی دریای عرب و دریای سرخ مشاهده شده است و در سال ۱۹۹۲ خلیج‌های غربی و دریای سرخ آنومالی منفی بالایی ناشی از اثر فاز منفی قوی IOD داشتند (نانکیولیر و همکاران، ۲۰۱۳).

مرجانی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی ENSO پرداخته و در مطالعه خود شاخص cai معرفی شده در پژوهش کای و همکاران را اصلاح کردند، نتایج حاصل از این مطالعه بر اساس تحلیل شاخص cai اصلاح شده بیانگر کاهش اندک وقوع ال‌نینوهای قوی و افزایش اندک لاتینا‌های قوی تحت تأثیر گرمایش جهانی است، که این امر نتایج حاصل از مطالعات پیشین مبنی بر افزایش وقوع ال‌نینوهای قوی را تایید نکرده است. ناظم السادات و شیروانی (۱۳۸۴) با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه امکان پیش‌بینی دمای زمستانه سطح آب در منطقه خلیج فارس را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیانگر اهمیت ویژه دمای سطح آب خلیج فارس در زمستان قبلی جهت پیش‌بینی دمای زمستانه سطح آب است. در مرحله بعد دمای پاییزه و تابستانه برای پیش‌بینی دمای زمستانه نقش خواهند داشت. آرامش و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه موردی به تحلیل تغییرپذیری بارش تابستانه و ارتباط

جدول ۱. همبستگی میان کمیت‌های مختلف ذکر شده در مراجع.

مرجع	کمیت‌های بررسی شده در مرجع برای محاسبه همبستگی	تعریف شاخص/الگو	بیشینه همبستگی میان کمیت‌های بررسی شده در مرجع
خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۷)	بارش و دمای هوا در سواحل جنوبی دریای خزر، NAO	NAO: نوسان اطلس شمالی	بیشینه همبستگی با بارش در ماه اکتبر به مقدار ۰/۳۵ بیشینه همبستگی با دما در ماه ژوئن به مقدار ۰/۴۵
فانگ و همکاران (۲۰۰۶)	مدهای EOF دمای سطح دریای جنوب چین، Nino3.4	Nino3.4: نوسان دمای اقیانوس آرام در مرکز اقیانوس	بیشینه همبستگی با تأخیر ۸ ماهه با مد اول EOF به مقدار ۰/۶۲
هراسروانته و همکاران (۲۰۰۷)	مدهای EOF دمای سطح دریا در خلیج کالیفرنیا، SOI	SOI: نوسان جنوبی	بیشینه همبستگی با مد اول EOF به مقدار -۰/۵۸
گو و همکاران (۲۰۱۲)	دمای سطح دریا در گرینلند، NAO	NAO: نوسان اطلس شمالی	بیشینه همبستگی با تأخیر ۱ ماهه در سال ۲۰۰۵ به مقدار ۰/۹۴ بیشینه همبستگی با تأخیر ۱ ماهه در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۰/۷ بیشینه همبستگی با تأخیر ۱ ماهه در سال ۲۰۰۹ به مقدار ۰/۷۴



شکل ۱. موقعیت الگوهای دورپیوند NAO، IOD، ENSO (ایندرانی، ۲۰۱۸).

## ۲. روش پژوهش

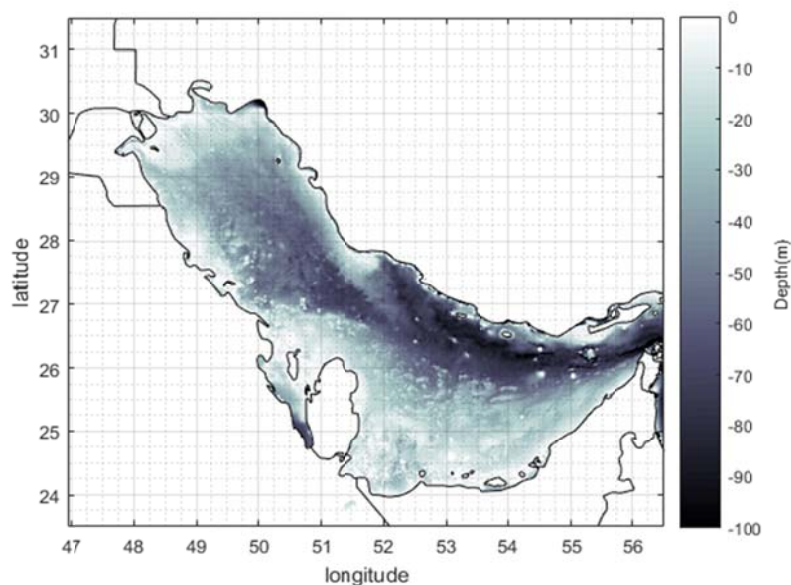
### ۲-۱. شاخص الگوهای دورپیوند

شاخص یک مقیاس عددی است که در آن عوامل منحصر به فرد مورد نیاز برای توصیف یک پدیده پیچیده در یک عدد جمع می‌شوند و این عدد

راه رایجی برای مشخص کردن وضعیت پدیده است و قابلیت دنبال کردن در طول زمان را دارد. شاخص‌های مختلفی برای دیده‌بانی اقیانوس آرام حاره‌ای و مشخص کردن وضعیت الگوی دور پیوندی ENSO وجود دارد. از جمله شاخص‌ها می‌توان به شاخص‌های فشاری

۱۹۸۲ اخذ شده است. شاخص‌ها بر اساس انحراف معیار و میانگین ماهانه دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۰ نرمال شده‌اند. در این مطالعه همچنین از داده‌های درون‌یابی بهینه دمای سطح دریا (OISST) برای بررسی تغییرات SST و ارتباط احتمالی آن با الگوهای دورپیوند استفاده شده است. داده‌های OISST شامل داده‌های هفتگی و ماهانه با شبکه ۱ درجه و داده‌های روزانه با شبکه ۰/۲۵ درجه است. این داده‌های جهانی ترکیبی از داده‌های مشاهداتی ماهواره‌ای دمای اقیانوس و داده‌های میدانی مانند داده‌های کشتی‌ها و بویه‌هاست. در این پژوهش با توجه به ابعاد منطقه مورد مطالعه (خلیج فارس) از داده‌های روزانه OISST با دقت ۰/۲۵ درجه استفاده شده و داده‌های موردنظر از پایگاه اینترنتی (<https://www.esrl.noaa.gov>) اخذ شده است. در شکل ۲ طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، شبکه‌بندی داده‌های OISST و عمق خلیج فارس نشان داده شده است. داده‌های عمق‌سنجی از پایگاه اینترنتی (<https://www.gebco.net>) استخراج شده است.

هوا مانند SOI، دمای سطح دریا مانند (Nino3.4: 5N-5S, 170W-120W)، (Nino3: 5N-5S, 150W-90W)، (Nino1+2: 0S-10S, 90W-80W) و (Nino4: 5N-5S, 160E-150W)، تابش طول‌موج بلند خروجی و باد اشاره کرد. در این پژوهش برای مطالعه پدیده ENSO از شاخص MEI.V2 که ترکیبی از متغیرهای جوی و اقیانوسی است استفاده شده است. شاخص‌های MEI.V2 و IOD، از پایگاه اینترنتی (<https://www.esrl.noaa.gov>) در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۲ اخذ شده است. شاخص MEI.V2 سری‌زمانی حاصل از تابع متعامد تجربی است که ترکیبی از پنج متغیر (دمای سطح دریا، فشار سطح دریا، باد سطحی مداری، باد سطحی نصف‌النهاری و تابش طول‌موج بلند خروجی) می‌باشد و مزیت استفاده از این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های ENSO کثرت عناصر به‌کار گرفته شده در شاخص و در نتیجه دقیق‌تر بودن آن است (والتر و تیملین، ۲۰۱۱). برای بررسی پدیده NAO نیز شاخص NAO از پایگاه اینترنتی (<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov>) در بازه زمانی ۲۰۱۸-



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی خلیج فارس و شبکه‌بندی داده‌های OISST با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه، عمق‌سنجی خلیج فارس بر حسب متر با رنگ مشخص شده است.

## ۲-۲. روش

داده‌های SST تهیه شده از پایگاه NOAA روزانه هستند. ابتدا برای بررسی توزیع مکانی و زمانی دمای سطح خلیج فارس از داده‌های دریافت شده ۳۷ سال در دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۸، که داده‌های هر سال در یک فایل Netcdf ذخیره شده‌اند میانگین ماهانه گرفته شده و پس از آن ۳۷ فایل داده در یک فایل ادغام شده است. داده‌های SST دارای مقادیر حقیقی بر روی اقیانوس‌ها و دریاها هستند و بر روی خشکی‌ها داده‌ها به‌عنوان مقدار گمشده ذخیره شده‌اند، که این مسأله برای ترسیم مکانی داده‌ها و انجام اعمال ریاضی و آماری روی داده‌ها مشکل ایجاد می‌کند. لذا برای حل این مسأله از فایل Ismask.oisst.nc که در پایگاه NOAA موجود است استفاده شده است. این فایل باعث می‌شود مقدار گمشده خشکی از داده‌های ورودی جدا شده و دیگر در انجام اعمال مختلف ریاضی، آماری و ترسیمی مشکلی ایجاد نشود. پس از پوشاندن، داده‌های خشکی‌های مناطق مورد نظر از طریق انتخاب طول و عرض جغرافیایی آنها از داده‌های کره زمین جدا شده است. داده‌های SST برای خلیج فارس از ۴۶/۵ تا ۵۶/۵ درجه شرقی و ۲۳/۵ تا ۳۱/۵ درجه شمالی در نظر گرفته شده است. برای تحلیل اثر الگوهای دور پیوند بر SST ابتدا اثر فصلی بررسی شده و سپس با حذف روند آنومالی تحلیل می‌شود. برای حذف اثر فصلی و یافتن آنومالی دمای سطح خلیج فارس، میانگین ۳۷ ساله هر ماه محاسبه و سپس تفاضل داده‌های ماه مورد نظر برای کل سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۱۸ از میانگین ۳۷ ساله‌اش محاسبه شده است. برای بررسی همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با الگوهای دور پیوند در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. ضریب همبستگی دو متغیر میزان وابستگی خطی آنهاست، در صورتی که هر متغیر N مشاهده اسکالر داشته باشد ضریب همبستگی به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\rho(A, B) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \left( \frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (1)$$

که  $\mu_A$  و  $\sigma_A$  میانگین و انحراف معیار متغیر A،  $\mu_B$  و  $\sigma_B$  نیز میانگین و انحراف معیار متغیر B هستند. ماتریس ضریب همبستگی دو متغیر، ماتریس ضریب همبستگی برای هر ترکیب دو به‌دوی متغیر است.

$$R = \begin{pmatrix} \rho(A, A) & \rho(A, B) \\ \rho(B, A) & \rho(B, B) \end{pmatrix} \quad (2)$$

در این روش برای یافتن با مفهوم بودن رابطه از Pvalue آزمون student's t-test استفاده شده است. مقدار بحرانی Pvalue برای قابل اطمینان بودن همبستگی ۰/۰۵ می‌باشد (پرس و همکاران، ۲۰۰۷) و در صورت کمتر بودن Pvalue از این مقدار می‌توان همبستگی را با مفهوم و قابل اطمینان دانست. فاصله اطمینان بازه‌ای است که ضریب با داشتن مقادیر در آن فاصله دارای Pvalue کمتر از ۰/۰۵ بوده و قابل اطمینان است. در این مطالعه مرز بالایی و پایینی فاصله اطمینان به ترتیب R-up و R-low نامیده شده است.

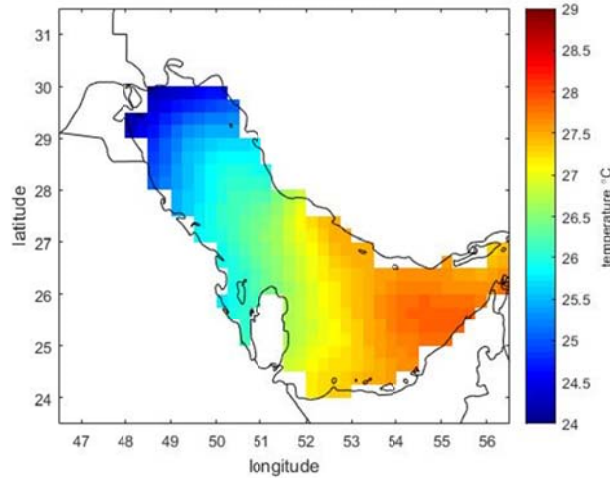
## ۳. بحث و نتیجه‌گیری

## ۳-۱. توزیع زمانی و مکانی دمای سطح خلیج فارس و

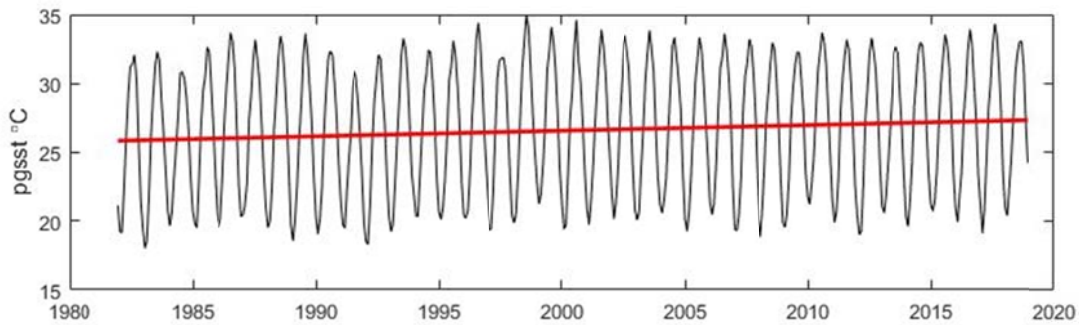
توزیع مکانی روند افزایشی دمای سطح خلیج فارس در شکل ۳-الف میانگین ۳۷ ساله دمای سطح خلیج فارس نشان داده شده است. در قسمت شمال غرب خلیج فارس کمترین دما و در قسمت جنوب شرق آن بیشترین دما قابل مشاهده است. گرادیان دمایی در قسمت شمال غرب و مرکز خلیج فارس بیشتر از جنوب شرق آن است. در جنوب شرق خلیج فارس یک مرکز گرم با دمای  $27/8^{\circ}\text{C}$  شکل گرفته است.

در شکل ۳-ب سری زمانی دمای سطح خلیج فارس قابل مشاهده است. طبق این شکل اثر فصلی دمای سطح خلیج فارس کاملاً مشخص است. علاوه بر این روند افزایشی دمای سطح خلیج فارس از ۱۹۸۲-۲۰۱۸ مشهود است و به‌میزان  $0/4^{\circ}\text{C}$  بر دهه با استفاده از روش کمترین مربعات خطی برآورد شده است. شکل ۴ بیانگر توزیع مکانی روند دمای سطح خلیج فارس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ است. بیشترین مقدار روند در

شمال غربی خلیج فارس در حاشیه استان خوزستان و کشور کویت با میزان  $0.56^{\circ}\text{C}$  بر دهه و کمترین مقدار روند نیز در شرق و جنوب شرقی خلیج فارس با میزان  $0.3^{\circ}\text{C}$  بر دهه قابل مشاهده است. روند محاسبه شده برای دمای سطح خلیج فارس با مقدار محاسبه شده در مطالعه نانکیولیر و همکاران (۲۰۱۳) سازگار است.

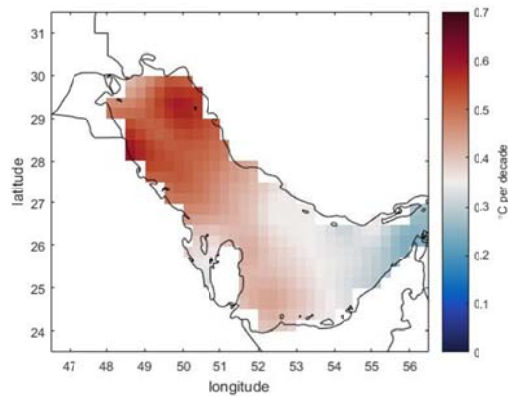


(الف)



(ب)

شکل ۳. (الف) میانگین زمانی (ب) میانگین مکانی دمای سطح خلیج فارس در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۲. در نمودار ب خط سیاه اثر فصلی و خط قرمز روند را نشان می‌دهد.



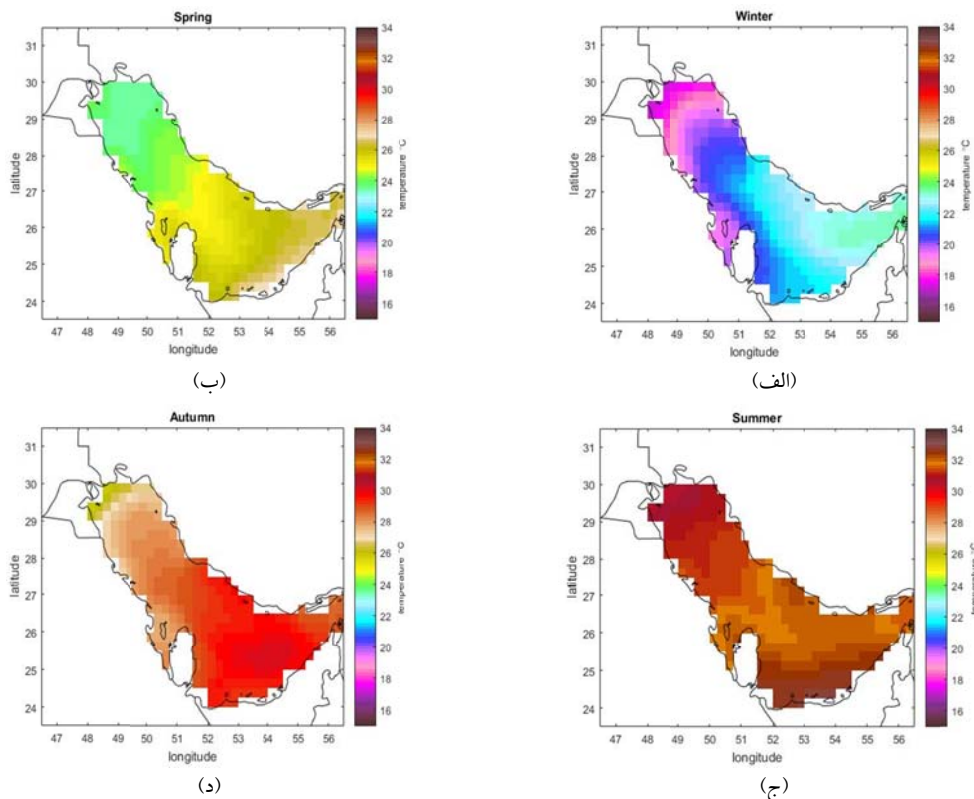
شکل ۴. توزیع مکانی روند دمای سطح خلیج فارس (درجه سانتی‌گراد بر دهه) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۲.

### ۲-۳. تغییرات فصلی دمای سطح خلیج فارس

در شکل ۳-ب تغییرات فصلی سری زمانی دمای سطح خلیج فارس قابل مشاهده است. در ادامه میانگین ۳۸ ساله هر ماه دمای سطح خلیج فارس محاسبه شده است. تحلیل میانگین اقلیمی هر ماه نشان می‌دهد که فصل زمستان در خلیج فارس چهار ماهه (دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس)، دوره گذار بهار دو ماهه (آوریل، می)، فصل تابستان چهارماهه (ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر) و دوره گذار پاییز دو ماهه (اکتبر، نوامبر) است. در شکل ۵ میانگین SST ماه‌های هر فصل و دوره گذار رسم شده است. با توجه به شکل ۵، کمترین (بیشترین) دمای سطح خلیج فارس در فصل زمستان (تابستان) و در ماه‌های (ماه) ژانویه و فوریه (اوت)، به ترتیب کمینه و بیشینه دمای فصل زمستان (تابستان) در شمال غرب و جنوب شرق (شمال غرب و جنوب) خلیج فارس است، بیشینه (کمینه‌ی) گرادیان دمایی سطح خلیج فارس در فصل زمستان (تابستان) و با مقدار بیش از  $5^{\circ}\text{C}$  ( $2^{\circ}\text{C}$ ) قابل مشاهده

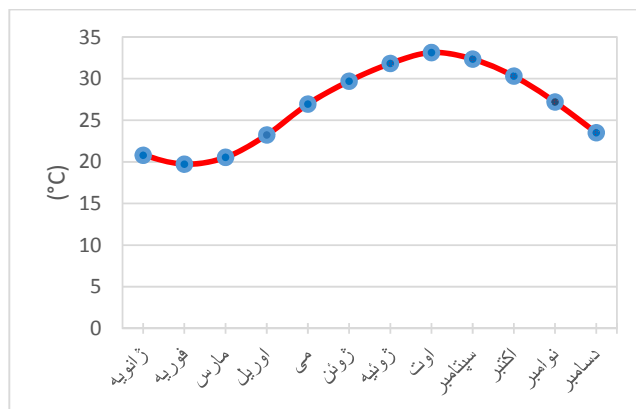
است.

در فصل زمستان و دوره گذار پاییز دماهای بالاتر به سمت شمال غربی خلیج فارس کشیده شده است و در نتیجه دمای نواحی مرکزی خلیج فارس نسبت به سواحل در امتداد آن نواحی بالاتر است. در فصل تابستان نیز در ماه‌های ژوئن و ژوئیه و دوره گذار بهار دماهای پایین‌تر عمدتاً به سمت جنوب و جنوب شرقی که بیشینه دما را دارند کشیده شده است و در نتیجه نواحی مرکزی نسبت به سواحل دمای پایین‌تری دارند. در ماه‌های آگوست و سپتامبر الگوهای دمایی قدری متفاوت است زیرا بیشینه دمای سطح خلیج فارس فقط در جنوب آن دیده می‌شود. در شکل ۶ میانگین زمانی و مکانی دمای سطح خلیج فارس در دوره مورد مطالعه رسم شده است. کمینه دمای میانگین در فصل زمستان و در ماه فوریه ( $19.72^{\circ}\text{C}$ ) و بیشینه دمای میانگین در فصل تابستان و ماه اوت ( $33.13^{\circ}\text{C}$ ) است.



شکل ۵. میانگین دمای ماهانه سطح خلیج فارس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ (الف) فصل زمستان، (ب) دوره‌ی گذار بهار، (ج) فصل تابستان و (د) دوره‌ی گذار پاییز.

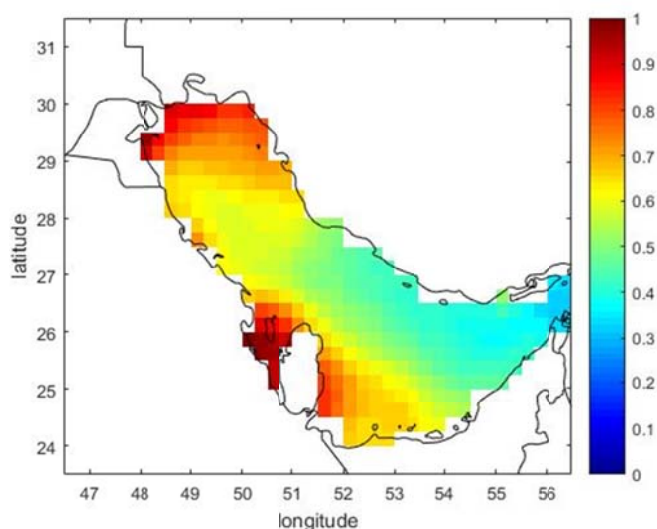




شکل ۶. میانگین ماهانه دمای سطح خلیج فارس در دوره زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۸.

الگوی گردش کلی در خلیج فارس به گونه‌ای است که جریانات ورودی به خلیج فارس از دریای عمان، از شمال خلیج فارس به صورت چرخندی به جنوب و جنوب شرق آن کشیده شده است. نفوذ این جریانات تا مرکز خلیج فارس و شمال کشور قطر است. در نتیجه شمال غرب خلیج فارس تحت تأثیر این جریانات نمی‌باشد و مرکز آب راکد در شمال غرب خلیج فارس وجود دارد. بنابراین افزایش روند و واریانس مشاهده شده به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۷ در غرب خلیج فارس نسبت به شرق و مرکز، می‌تواند تحت تأثیر نفوذ جریانات ورودی به خلیج فارس تا مرکز آن باشد.

واریانس آنومالی دمای سطح خلیج فارس پس از حذف اثر فصلی در شکل ۷ رسم شده است. بیشترین واریانس آنومالی دمای سطح خلیج فارس در شمال غربی و جنوب غربی در حاشیه استان خوزستان و کشورهای کویت، بحرین، قطر و شرق عربستان است که نشان‌دهنده بیشترین تغییرات نسبت به مقدار میانگین در این مناطق است و کمترین واریانس در مناطق مرکزی و شرق اتفاق می‌افتد که بیانگر کمترین تغییرات نسبت به مقدار میانگین است. با توجه به گردش آب از طریق تنگه هرمز و ارتباط آن با دریای عمان همین نتیجه مورد انتظار بوده است. طبق مطالعات رینولدز (۱۹۹۳) و جونز و همکاران (۲۰۰۳)



شکل ۷. واریانس آنومالی دمای سطح خلیج فارس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸.

### ۳-۳. تأخیر فاز و همبستگی آنومالی دمای سطح

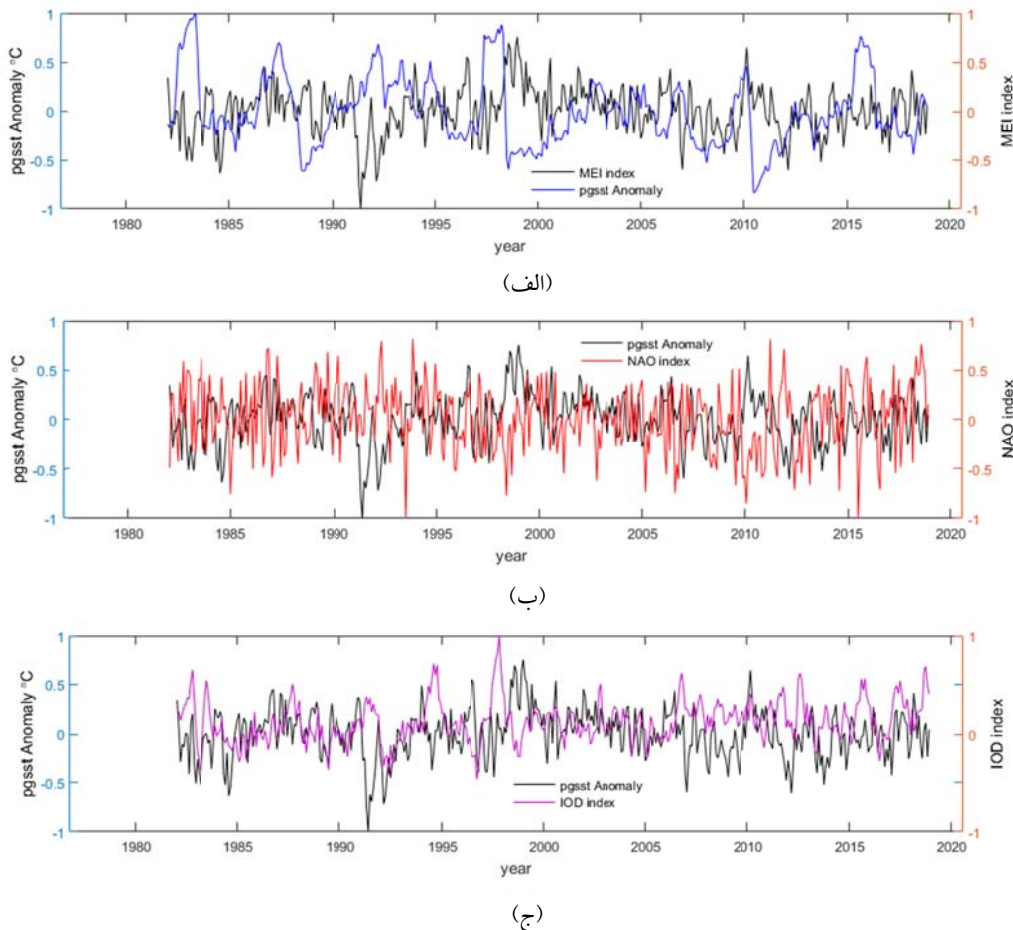
#### خلیج فارس با الگوهای دورپیوند

جدول ۲ معرف جزئیات رفتار هریک از شاخص‌های دورپیوندی MEI.V2، NAO و IOD با دمای سطح خلیج فارس است. طبق این جدول بیشترین همبستگی محاسبه شده میان شاخص و آنومالی دمای سطح خلیج فارس، تأخیر زمانی برای بیشترین همبستگی، مقدار P-value که بیانگر معنی دار بودن ضریب همبستگی است و مقادیر R-up و R-low که بازه‌ای برای معنی دار بودن ضریب همبستگی است، آورده شده است. بیشترین همبستگی با شاخص MEI.V2 با تأخیر ۴ ماهه به مقدار  $-0/23$  به دست آمده است. مقادیر R-up و R-low بیانگر قابل اطمینان بودن ضریب همبستگی در بازه  $-0/31$  تا  $-0/13$  با فاصله اطمینان ۹۵ درصد است. بیشترین همبستگی با شاخص NAO بدون داشتن تأخیر و به مقدار  $-0/19$  برآورد شده است. مقادیر R-up و R-low بیانگر قابل اطمینان بودن ضریب همبستگی در بازه  $-0/28$  تا  $-0/10$  با فاصله اطمینان ۹۵ درصد است. بیشترین همبستگی با شاخص IOD با تأخیر ۱۳ ماهه و به میزان  $0/16$  به دست آمده است. مقادیر R-up و R-low بیانگر قابل اطمینان بودن ضریب همبستگی در بازه  $0/7$  تا  $0/25$  با فاصله اطمینان ۹۵ درصد است. بیشترین همبستگی الگوهای دورپیوندی با آنومالی SST تفاوت متمایزی با یکدیگر برای خلیج فارس نشان نمی‌دهند و با توجه به

پایین بودن مقدار همبستگی می‌توان بیان کرد همبستگی معنی‌داری میان آنومالی دمای سطح خلیج فارس و الگوهای دورپیوندی ENSO، NAO و IOD یافت نشده است. بیشترین همبستگی با ضریب منفی با ENSO و کمترین همبستگی با ضریب مثبت با IOD محاسبه شده است. اثرگذاری IOD بر پارامترهای مختلف عمدتاً با جریان‌ات اقیانوسی است، این در حالی است که ENSO، از طریق جریان‌ات اقیانوسی و سیستم‌های جوی بر پارامترهای مختلف تأثیر می‌گذارد. با توجه به این که سرعت سیستم‌های جوی نسبت به جریان‌ات اقیانوسی بیشتر است به همین دلیل IOD علی‌رغم نزدیک‌تر بودن به خلیج فارس احتمال تأخیر زمانی بیشتر برای آن وجود دارد. در شکل ۸ تغییرات سری زمانی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با سری زمانی شاخص الگوهای دورپیوندی در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ برای منطقه مورد مطالعه رسم شده است. شکل ۸-الف نمودار آبی تغییرات شاخص MEI.V2، (ب) نمودار قرمز تغییرات شاخص NAO، (ج) نمودار بنفش تغییرات شاخص IOD و در هر سه قسمت نمودار سیاه تغییرات آنومالی دمای سطح خلیج فارس است. با توجه به شکل ۸ همبستگی و مطابقت کمی میان شاخص‌های دورپیوند و آنومالی دمای سطح خلیج فارس و همچنین تأخیر زمانی میان قله‌های هر دو سری زمانی ترسیم شده در هر نمودار قابل مشاهده است.

جدول ۲. تأخیر زمانی، ضریب همبستگی پیشینه، P-value، R-up و R-low آنومالی دمای سطح خلیج فارس با شاخص‌های ENSO، NAO و IOD

شاخص	ضریب همبستگی پیشینه	تأخیر (ماه)	P-value	R-up	R-low
MEI.V2	$-0/23$	۴	$2/0099e-06$	$-0/13$	$-0/31$
NAO	$-0/19$	۰	$3/2262e-05$	$-0/10$	$-0/28$
IOD	$0/16$	۱۳	$6/0457e-04$	$0/25$	$0/07$



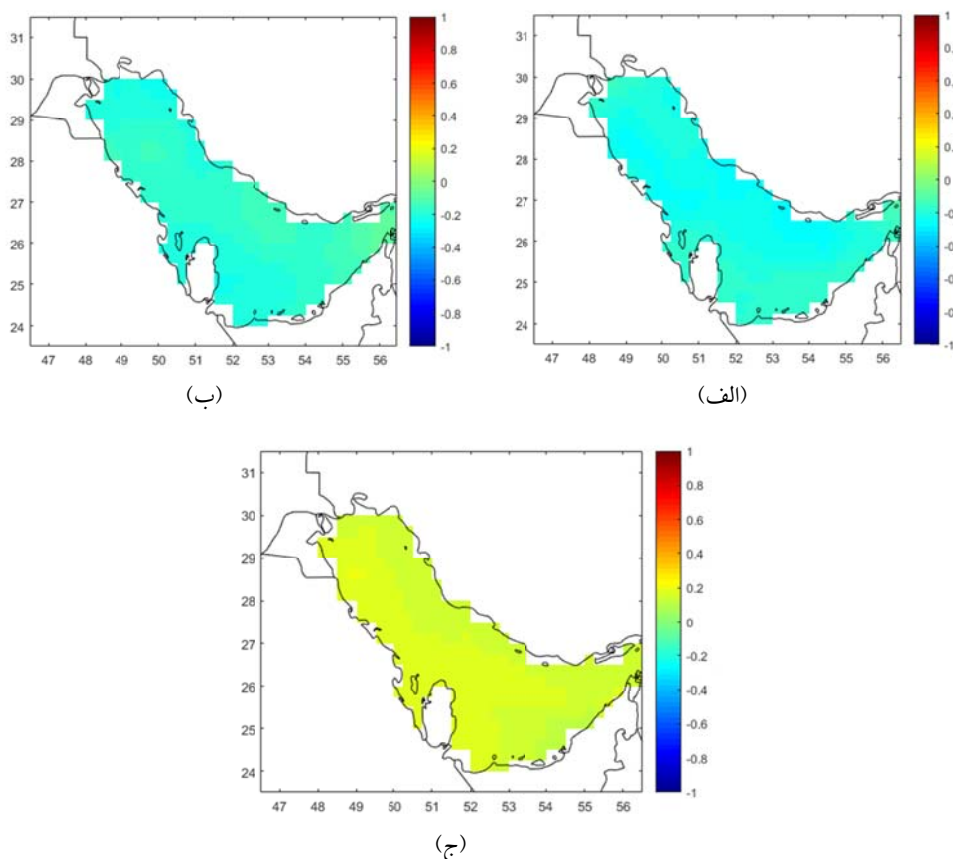
شکل ۸. الف) سری زمانی شاخص MEI.V2 (آبی)، ب) سری زمانی شاخص NAO (قرمز) و ج) سری زمانی شاخص IOD (بنفش). خطوط سیاه در هر سه قسمت نشان‌دهنده سری زمانی آنومالی دمای سطح خلیج فارس است.

### ۳-۴. الگوی مکانی همبستگی آنومالی دمای سطح

#### خلیج فارس با الگوهای دور پیوند

با توجه به شکل ۹-الف مقادیر همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با شاخص MEI.V2 قابل مشاهده است. همبستگی سری زمانی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با سری زمانی شاخص MEI.V2 به مقدار  $-0/22$  برآورد شده است. بیشینه همبستگی در ناحیه مرکزی خلیج فارس با ضریب  $-0/24$  قابل مشاهده است. کمینه همبستگی در ناحیه جنوب خلیج فارس و با مقدار  $-0/18$  مشخص شده است. شکل ۹-ب مقادیر همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با شاخص NAO را نشان می‌دهد. همبستگی سری زمانی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با سری زمانی شاخص NAO به مقدار  $-0/19$  برآورد شده است. بیشینه

همبستگی در شمال غرب، جنوب و جنوب غربی با مقداری بیش از  $-0/20$  و کمینه همبستگی در شمال غربی پایین تر از بیشینه همبستگی و جنوب شرقی به سمت تنگه هرمز با میزان کمتر از  $-0/16$  قابل مشاهده است. با توجه به شکل ۸-ج مقادیر همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با شاخص IOD مقدار  $0/16$  برآورد شده است. با توجه به شکل بیشینه همبستگی در ناحیه‌ای در شمال غرب خلیج فارس (مقدار  $0/18$ ) و کمینه همبستگی در ناحیه جنوب شرقی (مقدار  $0/12$ ) قابل مشاهده است. در نواحی مرکزی و جنوب غرب خلیج فارس عمدتاً همبستگی به میزان  $0/16$  است. در هر سه نقشه همبستگی مکانی ضرایب همبستگی با ضرایب همبستگی سری زمانی تطابق دارند.



شکل ۹. همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس با (الف): شاخص MEI.V2 با ۴ ماه تأخیر، (ب): شاخص NAO بدون تأخیر و (ج): شاخص IOD با ۱۳ ماه تأخیر.

#### ۴. نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا میانگین اقلیمی در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ برای دمای سطح خلیج فارس بررسی شده است. سردترین و گرم‌ترین ناحیه خلیج فارس با توجه به میانگین اقلیمی به ترتیب در شمال غرب و جنوب شرق خلیج فارس قرار دارد. سرتاسر خلیج فارس دارای روند افزایشی دماست. روند برآورد شده برای سری زمانی دمای سطح خلیج فارس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۸ با روش کمترین مربعات خطی به مقدار  $0.4^{\circ}\text{C}$  بر دهه محاسبه شده که با مطالعه نانکیولیر و همکاران (۲۰۱۳) که برای دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۹ به مقدار  $0.4^{\circ}\text{C}$  بر دهه محاسبه شده سازگار است. بیشترین روند افزایش دما در شمال غرب خلیج فارس در حاشیه استان خوزستان و کشور کویت با مرکزی به مقدار  $0.56^{\circ}\text{C}$  بر دهه و کمترین روند افزایش

دما در شرق و جنوب شرقی خلیج فارس به مقدار  $0.3^{\circ}\text{C}$  بر دهه قابل مشاهده است. وجود بیشترین روند افزایش دما در شمال غرب خلیج فارس می‌تواند به علت ورود جریانات دریای عمان از طریق تنگه هرمز تا مرکز خلیج فارس و وجود مرکز راکد در شمال غرب آن باشد (رینولدز، ۱۹۹۳). وجود بیشینه واریانس در شمال غرب خلیج فارس در حاشیه استان خوزستان و کشور کویت و در جنوب غرب خلیج فارس در حاشیه کشورهای بحرین، قطر و شرق عربستان بیانگر بیشترین تغییرات نسبت به مقدار میانگین است. با توجه به ورود آب‌های اقیانوسی تا مرکز خلیج فارس و عدم ورود جریانات به نواحی غربی خلیج فارس، این امر می‌تواند باعث ارتباط کمتر آب‌های اقیانوسی با حاشیه کشورهای ذکر شده در شمال غرب و جنوب غربی خلیج فارس و استان خوزستان و در نتیجه

امر به این معناست که مرکزی با بیشترین همبستگی قابل تمایز با نواحی دیگر خلیج فارس وجود ندارد و این بررسی با مطالعه السنافی و انیس (۲۰۱۵) که مرکزی با بیشترین همبستگی میان دمای سطح خلیج فارس و NAO را در شمال خلیج فارس مشخص کرده اند مغایر است. با توجه به عدم بررسی کافی در این خصوص توسط محققان و پژوهشگران بر روی خلیج فارس، برای قطعیت بیشتر در نتیجه‌گیری نسبت به وجود یا عدم وجود مرکزی با بیشترین همبستگی، مطالعات بیشتر بر روی همبستگی الگوهای دورپیوند با دمای سطح خلیج فارس پیشنهاد می‌شود.

#### مراجع

آرامش، م.، خسروی، م. و سلیقه، م.، ۱۳۹۷، تحلیل تغییرپذیری دوره های بارش تابستانه و آشکارسازی ارتباط آن با الگوی دوقطبی اقیانوس هند (IOD) (مطالعه موردی: جنوب شرق ایران)، م. جغرافیا و برنامه ریزی، ۶۵، ۱۱۳-۱۳۰.

خوش اخلاق، ف.، قنبری، ن. و معصوم پورسماکوش، ج.، ۱۳۸۷، مطالعه اثرات نوسان اطلس شمالی بر رژیم دمای سواحل جنوبی دریای خزر، م. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۶۶، ۵۷-۷۰.

غیور، ح. و عساکره، ح.، ۱۳۸۱، مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران مطالعه موردی: اثر نوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک، م. تحقیقات جغرافیایی، ۱۶، ۹۳-۱۱۳.

ناظم السادات، م. ج. و شیروانی، ا.، ۱۳۸۴، پیش بینی دمای سطح آب خلیج فارس با استفاده از رگرسیون چندگانه و تحلیل مؤلفه های اصلی، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳.

علتی برای افزایش واریانس در آن نواحی باشد (جونز و همکاران، ۲۰۰۳؛ رینولدز، ۱۹۹۳).

بررسی میانگین اقلیمی ماهانه دمای سطح خلیج فارس نشان دهنده دو فصل چهارماهه تابستان (ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر) و زمستان (دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس) و دو دوره گذار دو ماهه بهار (آوریل، می) و پاییز (اکتبر، نوامبر) است که با رژیم‌های اقلیمی فصلی و دوره‌های گذار ذکر شده در مطالعه والترز (۱۹۹۰) سازگار است. کمترین دمای سطح خلیج فارس در فصل زمستان و در ماه‌های ژانویه و فوریه و بیشترین دمای سطح خلیج فارس در فصل تابستان در ماه اوت مشاهده شده است. به ترتیب کمینه و بیشینه دمای فصل زمستان در شمال غرب و جنوب شرق و در فصل تابستان در شمال غرب و جنوب خلیج فارس است. بیشترین گرادیان دمایی سطح خلیج فارس در فصل زمستان و با مقدار بیش از ۵°C اتفاق افتاده است.

همبستگی میان دمای سطح خلیج فارس و الگوهای دورپیوند با روش همبستگی پیرسون بیانگر بیشترین همبستگی به صورت منفی با ENSO و کمترین همبستگی به صورت مثبت با IOD است. تأخیر زمانی برای بیشترین همبستگی میان آنومالی دمای سطح خلیج فارس و الگوهای دورپیوند، به ترتیب برای ENSO و IOD، ۴ و ۱۳ ماه برآورد شده و برای NAO بدون تأخیر بوده است. با توجه به نزدیک تر بودن دورپیوند IOD از نظر مکانی به خلیج فارس نسبت به ENSO و NAO، تأخیر ۱۳ ماهه IOD می‌تواند به دلیل اثرگذاری توسط جریانات اقیانوسی و کمتر بودن سرعت جریانات اقیانوسی نسبت به سیستم‌های جوی باشد. بررسی مکانی همبستگی آنومالی دمای سطح خلیج فارس و هر یک از الگوهای دورپیوند توزیع نسبتاً یکسانی را در خلیج فارس نشان داده است. این

484.

Chakraborty, A., Swadhin, B., Milind, M., Ryohji, O. and Toshio, Y., 2006, Diagnosis of Tropospheric Moisture over Saudi Arabia and influences of IOD and ENSO, American meteorological society, 134, 598-617.

Dickson, R., Osborn, T., Hurrell, J., Meincke, J.,

Al Senafi, F. and Anis, A., 2015, Shamals and climate variability in the Northern Arabian/Persian Gulf from 1973 to 2012. International journal of climatology, 35, 4509-4528.

Ashok, K. and Yamagata, T., 2009, The El Nino with a difference. Nature, Volume 461, 481-

- Blindheim, J., Adlandsvik, B., Vinje, T., Alekseev, G. and Maslowski, w., 2000, The Arctic Ocean Response to the North Atlantic Oscillation, *American Meteorological Society*, 13(15), 2671-2696.
- Fang, G., Chen, H., Wei, Z., Wang, Y., Wang, X., and Li, C., 2006, Trend and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade, *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Ferster, B. S., Subrahmanyam, B. and Macdonald, A. M., 2018, Confirmation of ENSO-Southern Ocean teleconnections using satellite-derived SST, *Remote Sens.*, 10(2), 331, doi: 10.3390/rs10020331.
- Herrera-Cervantes, H., Liuch-Cota, D., Liuch-Cota, S. and Gutierrez-de-Velasco, G., 2007, The ENSO signature in sea-surface temperature in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 65, 589-605.
- Indrani, R., 2018, *Climate Variability and Sunspot Activity*. s.l.:Springer.
- Johns, W., Yao, F. and Olson, D., 2003, Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research*, 108.
- Klein, S., Soden, B. and Lau, N.-c., 1999, Remote Sea Surface Temperature Variation during ENSO: Evidence for a Tropical Atmospheric Bridge. *Journal of Climate*, 12, 917-932.
- Marjani, s., Alizadeh-Choobari, O. and Irannejad, P., 2019, Frequency of extreme El Niño and La Niña events under global. *Climate Dynamics*, 53, 5799–5813.
- Nandkeolyar, N., Raman, M., Kiran, S. and Ajai, 2013, Comparative Analysis of Sea Surface Temperature Pattern in the Eastern and Western Gulfs of Arabian Sea and the Red Sea in Recent Past Using Satellite Data. *International Journal of Oceanography*, Hindawi, doi: 10.1155/2013/501602.
- Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W. and Flannery, B., 2007, *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. 3rd Edition ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Privett, D. W., 1959, Monthly charts of evaporation from the N. Indian Ocean (including the Red Sea and the Persian Gulf). *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 85(366), 424-428.
- Qu, B., Gabric, A., Zhu, J., Lin, D., Qian, F. and Zhao, M., 2012, Correlation between sea surface temperature and wind speed in Greenland Sea and their relationships with NAO variability, *Water Science and Engineering*, 5(3), 304-315.
- Reynolds, R., 1993, Physical Oceanography of the Persian Gulf, Strait of Hormoz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt. Mitchell Expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27(1), 35-59.
- Walters, K., 1990, *The Persian Gulf Region, a climatological study*, Asheville: United States Air Force.
- Wolter, K. and Timlin, M., 2011, El Niño Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31, 1074-1087.
- Yang, Y., Xie, N. and Gao, M., 2019, The Relationship between the Wintertime Cold Extremes over East Asia with Large-Scale Atmospheric and Oceanic Teleconnections. *Atmosphere*, 10(12).

## Correlation of NAO, IOD and ENSO with the sea surface temperature changes in the Persian Gulf

Rafati, P.<sup>1</sup> and Rezazadeh, M.<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Marine and Atmospheric Science (Non-Biologic), Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran
2. Assistant Professor, Department of Marine and Atmospheric Science (Non-Biologic), Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran

(Received: 10 March 2020, Accepted: 9 June 2020)

### Summary

Sea Surface Temperature (SST) variability, especially its slow variability, creates a potentially predictable source for climate fluctuations. Therefore, the SST variability study sheds light at climate changes, marine life, and prediction of short term and long term climate variation. In this research, the trend and interannual variability of the Persian Gulf SST were analyzed by employing monthly detrended Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) data in 1982-2018. According to the effects of teleconnection patterns on atmospheric and oceanic parameters in different regions, the correlation between NAO, IOD, and ENSO with Persian Gulf SST anomaly is considered in this research. For this purpose, OISST data and MEI.V2, IOD, and NAO indices from 1982 to 2018 were analyzed. The Climatological mean of Persian Gulf SST during this period is shown in figure 5. According to figure 5, northwest of the Persian Gulf was found to be the coolest and southeast of the Persian Gulf was the warmest regions of the Persian Gulf. According to the investigation of this research on monthly variability of the Persian Gulf SST, there are two main seasons with four months, including Summer (June, July, August, September), and Winter (December, January, February, March), and two transition periods with two months, including Spring (April, May), and Autumn (October, November). Based on figure 6, February was the coldest month of winter and August was the warmest month of summer. In both of these months the minimum temperature was observed in the northeast, and the maximum temperature in the southeast of the Persian Gulf. The strongest and the weakest temperature gradient were calculated to be 5°C in winter and 2°C in summer, respectively. There was more than 13°C difference between the spatial mean temperature of February and August. Evaluation of the SST anomaly variance indicated that the maximum variance belonged to the northwest of the Persian Gulf at the coast of Khuzestan province and Kuwait and also to the southwest of the Persian Gulf on the coast of Bahrain, Qatar, and east of Saudi Arabia. Sea surface temperature time series trend triggered by global warming from 1982 to 2018 was calculated to be 0.4°C per decade using the least linear square method. Spatial distribution of trend implies that the maximum trend is observed in the northwest of the Persian Gulf in Khuzestan province and Kuwait coast and the minimum trend is observed in the east and southeast of the Persian Gulf. According to the Pearson correlation method, the maximum (minimum) correlation was calculated to be -0.23 (0.16) employing ENSO (IOD) index considering 4(13) months of delays. The spatial distribution of the correlation between teleconnection patterns indices and the Persian Gulf SST anomaly is demonstrated in figure 9. Results of the analysis pointed out that regarding IOD index, the maximum correlation (0.18) was found at the northwest of the Persian Gulf and the minimum correlation (0.12) was observed at the southeast of the Persian Gulf. Regarding ENSO index, the maximum correlation (-0.24) was at the central region of the Persian Gulf and the minimum correlation (-0.18) was at the south of the Persian Gulf. Concerning NAO index, the maximum correlation (-0.20) was seen at the northwest and the southwest of the Persian Gulf, and the minimum correlation (-0.16) was at the northwest and southeast of the Persian Gulf, near the strait of Hormuz. Therefore, the spatial distribution of correlation between the teleconnection patterns indices and SST anomaly, reveals that there is no center with significant maximum correlation which could give the possibility of distinguishing these areas from the others.

**Keywords:** Correlation, NAO, IOD, ENSO, SST, Persian Gulf.

\* Corresponding author:

rezazadeh@hormozgan.ac.ir