

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1403.10.1.4.6

درصد همانندی: ۹٪

تأثیر الگوهای دورپیوند اقیانوس آرام بر رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران

زینب اسمعیل زاده^۱، برومند صلاحی^{۲*}، مهناز صابر^۳^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

z.ismaeilzadeh@gmail.com

salahi@uma.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

mahnaz.saber@uma.ac.ir

^۳ پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

چکیده

این پژوهش، ارتباط بین رطوبت نسبی در ایستگاه‌های واقع در جلگه‌ها و سواحل جنوبی ایران با الگوهای اقیانوس آرام را بررسی می‌کند. با استفاده از روش‌های آماری شامل تحلیل همبستگی پیرسون، تحلیل واریانس رگرسیون و رگرسیون پس‌رونده، داده‌های ۲۵ ایستگاه سینوپتیک و ۱۴ الگوی پیوند از دور اقیانوس آرام تحلیل شدند. نتایج نشان داد که در مقیاس منطقه‌ای بیشترین همبستگی بین الگوهای اقیانوس آرام و رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران به ترتیب با الگوی SOI (۰/۷۵) و الگوهای PDO، TROPICAL SST، PWARMPOOL (۰/۷) مشاهده شد. این الگوها توانستند تغییرات رطوبت نسبی را در ایستگاه‌های کنگان جم (۹۱ درصد) و بندر ماهشهر (۹۰ درصد) با دقت زیادی تبیین کنند. همچنین، همبستگی چندگانه و ضرایب تبیین برای ایستگاه‌های میناب (۸۴ درصد)، بندر جاسک (۸۰ درصد)، امیدیه (۷۷ درصد)، بندر لنگه (۷۴ درصد)، بوشهر (۷۳ درصد)، آبادان (۶۶ درصد)، بندرعباس (۶۱ درصد) و چابهار (۴۶ درصد) محاسبه شد. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده تأثیرپذیری متفاوت مناطق از الگوهای اقلیمی است. بر اساس مدل‌های رگرسیون چندمتغیره ارتباط بین الگوهای SOI، ENSO، NINO3.4 و TNi و سپس الگوهای PWPOOL و WHWP با رطوبت نسبی قوی‌تر است. یافته‌ها بیانگر آن است که الگوهای اقیانوس آرام در تبیین تغییرات رطوبت نسبی کارایی مناسبی دارند. این پژوهش بر اهمیت مطالعه الگوهای پیوند از دور در تحلیل تغییرات اقلیمی منطقه‌ای تأکید کرده و نشان می‌دهد که این الگوها می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر در پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: الگوهای اقلیمی، اقیانوس آرام، دورپیوند، سواحل جنوبی ایران، همبستگی.

۱. مقدمه

رطوبت نسبی به‌عنوان یکی از متغیرهای کلیدی در سیستم‌های آب‌وهوایی، نقش تعیین‌کننده‌ای در پویایی اتمسفر، شکل‌گیری ابرناکی و توزیع بارش دارد. طبق مطالعات دانشمندان گرمایش سریع شمالگان^۱ باعث تغییر در الگوهای جتی و کاهش سرعت جریان‌های هوایی شده که ممکن است بر رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران تأثیر بگذارد. همچنین افزایش دمای جهانی نیز از طریق تغییر در الگوهای پیوند از دور مانند ENSO، می‌تواند بر رطوبت نسبی منطقه اثرگذار باشد. در مناطق ساحلی، این پارامتر تحت تأثیر پیچیده‌ای از فرایندهای محلی و فرامنطقه‌ای قرار می‌گیرد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها، الگوهای دورپیوند^۲ هستند. در سال‌های اخیر، با تشدید تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، شاهد تغییرات محسوسی در رفتار رطوبت نسبی در این مناطق بوده‌ایم. برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند که افزایش دمای سطح دریا (SST) در اقیانوس هند و اطلس شمالی، همراه با تغییر در الگوهای پیوند از دور مانند نوسان جنوبی ال نینو (ENSO)، الگوی دوقطبی اقیانوس هند (IOD) و نوسان اطلس شمالی (NAO)، می‌تواند الگوهای رطوبتی در سواحل جنوبی ایران را دستخوش تغییر کند. این تغییرات نه تنها بر اقلیم منطقه، بلکه بر کشاورزی، سلامت عمومی و حتی اقتصاد انرژی (به‌ویژه در مناطق صنعتی مانند عسلویه و بندرعباس) تأثیرگذار است. سواحل جنوبی ایران، به‌ویژه در مجاورت خلیج فارس و دریای عمان، به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه و قرارگیری در کمربند خشک جهانی، از یک سو تحت تأثیر سامانه‌های موسمی اقیانوس هند و از سوی دیگر متأثر از نوسانات اقیانوس اطلس قرار دارند. این منطقه، به‌عنوان یک گذرگاه اقلیمی، نه تنها از منابع رطوبتی محلی، بلکه از الگوهای پیوند از دور در مقیاس‌های زمانی فصلی تا چنددهه‌ای تأثیر می‌پذیرد.

مطالعات متعددی در دهه‌های اخیر ارتباط بین الگوهای دورپیوند و پارامترهای اقلیمی در خاورمیانه را بررسی کرده‌اند. تغییرات دمایی در اقیانوس آرام از طریق مکانیسم‌های انتقال انرژی جوی (مانند الگوی نوسان آرام/آمریکای شمالی (PNA)) می‌تواند بر پویایی مونسون هند و در نتیجه بر رطوبت دریای عرب تأثیر بگذارد. این

مطلب نشان می‌دهد که این تغییرات، ناشی از ترکیبی از گرمایش جهانی، تغییرات در بادهای موسمی و افزایش شار گرمایی سطح دریا است [۱-۴]. الگوهای PDO و EP/NP با تعدیل دمای سطح آب در شرق و شمال اقیانوس آرام، بر گردش جوی نیمکره شمالی و در نتیجه بر انتقال رطوبت به مناطق حاشیه‌ای مانند خلیج فارس تأثیر می‌گذارند [۵-۶]. فاز مثبت PDO با افزایش فعالیت‌های چرخندی در خلیج فارس همراه است [۵]. الگوهای PNA و WP با تغییر مسیر جت‌استریم‌ها و سیستم‌های فشار، می‌توانند بر الگوهای بارش و رطوبت در خاورمیانه مؤثر باشند [۷-۸]. ولتر و همکاران (۱۹۹۸) شاخص MEI را به‌عنوان یک شاخص چندمتغیره ENSO معرفی کرده و ارتباط آن با تغییرات رطوبت در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری را بررسی نمودند [۹]. بارنستون و لایوزی (۱۹۹۹) ارتباط بین PNA و تغییرات فشار سطح دریا در منطقه خاورمیانه را بررسی کردند [۸]. تورترگ و استپانیاک (۲۰۰۱) شاخص TNI^۳ و نقش آن در پیش‌بینی تغییرات رطوبت در مناطق تحت تأثیر ENSO را بررسی نموده‌اند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که شاخص‌های چندمتغیره انسو (MEI و TNI)، ارتباط غیرمستقیم اما معناداری با تغییرات رطوبت در سواحل جنوبی ایران دارند [۱۰]. چن و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی تأثیر الگوی غرب اقیانوس آرام (WP) بر تغییرات جت‌استریم و پیامدهای آن بر رطوبت مناطق دورتر مانند خاورمیانه را بررسی کردند [۱۱]. نیومن و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی، مروری جامع بر مکانیسم‌های PDO و تأثیرات آن بر اقلیم مناطق مختلف از جمله خلیج فارس داشته‌اند [۶]. ژانگ و همکاران (۱۹۹۷) تأثیر EP/NP بر ناهنجاری‌های دمایی اقیانوس هند و تأثیر آن بر رطوبت سواحل ایران را تحلیل کردند [۱۲]. این یافته‌ها نشان می‌دهند که الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام می‌توانند از طریق مکانیسم‌های پیچیده جوی-اقیانوسی بر رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران تأثیر بگذارند. بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود، رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران تحت تأثیر الگوهای پیوند از دور قرار دارد. به‌عنوان مثال، اسمعیل‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) مطالعه‌ای بر ۲۵ ایستگاه سینوپتیک سواحل جنوبی ایران انجام دادند که همبستگی پیرسون نشان داد که دوقطبی اقیانوس هند (IOD)

و الگوی بارش هند مرکزی با رطوبت نسبی این منطقه به ترتیب همبستگی منفی $0/65-$ و $0/45$ دارد. همچنین پاسخ رطوبت نسبی به تغییرات الگوها حاکی از وجود تفاوت‌های مکانی در منطقه دارد. در برخی ایستگاه‌ها مانند بهبهان و بندر دیر، بیش از ۸۰ درصد تغییرات رطوبت نسبی توسط این الگوهای اقیانوس هند تبیین می‌شود، درحالی‌که در چابهار و بندرعباس این تأثیر کمتر از ۱۰ درصد است [۱۳]. همچنین، در سال‌های اخیر، تأثیر پدیده‌های حدی اقلیمی بر رطوبت نسبی مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، رخداد‌های آبرگرمایش دریای عرب^۴ که در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ ثبت شدند [۴، ۱۴]، منجر به افزایش غیرعادی رطوبت و بارش‌های سیل‌آسا در سواحل چابهار شدند. این رویدادها نشان می‌دهد که تغییر در الگوهای پیوند از دور می‌تواند احتمال وقوع شرایط حدی را در منطقه افزایش دهد و موجب تغییرات در رطوبت مناطق دورتر شوند.

با توجه به پیچیدگی روابط بین الگوهای دورپیوند و رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران، این سؤال مطرح می‌شود که کدام الگوهای پیوند از دور بیشترین تأثیر را بر تغییرات رطوبت نسبی در این منطقه دارند؟ و آیا می‌توان از این الگوها برای پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبی در آینده استفاده کرد؟ پاسخ به این پرسش‌ها نه تنها از نظر علمی مهم است، بلکه برای برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی، مدیریت منابع آب و حتی طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع در شهرهای ساحلی کاربرد دارد. با توجه به افزایش دمای جهانی و تغییر در الگوهای پیوند از دور، انتظار می‌رود که رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران در دهه‌های آینده دستخوش نوسانات بیشتری شود. از این رو، درک دقیق مکانیسم‌های حاکم بر این تغییرات، گامی ضروری در جهت انطباق با تغییرات اقلیمی است. بنابراین این پژوهش می‌تواند به درک بهتر واکنش رطوبت نسبی به نوسانات اقلیمی جهانی کمک کند و راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و انرژی در منطقه ارائه دهد.

بررسی رطوبت هوا اهمیت زیادی در شناخت شرایط آب‌وهوایی و تحولات آن دارد. این پارامتر تأثیر بسزایی در اتخاذ راهبردهای مناسب در بخش‌های مختلف از جمله تولیدات کشاورزی و برنامه‌ریزی‌های اقتصادی دارد.

مطالعات نشان داده‌اند که بین نوسانات آب‌وهوایی با متغیرهای اقلیمی مناطق مختلف کره زمین ارتباط معناداری وجود دارد. رطوبت هوا نیز به‌عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده سیستم اقلیمی، متأثر از این الگوهای بزرگ‌مقیاس جوی دستخوش تغییر می‌شود. با مرور پژوهش‌های انجام‌شده مشهود است که در مقایسه با مطالعات گسترده دربارهٔ بارندگی، تحقیقات کمتری به بررسی تغییرات رطوبت هوا اختصاص یافته است. این در حالی است که رطوبت هوا به دلیل نقش تعیین‌کننده در شفافیت جو، فرایند تشکیل پدیده‌های جوی مانند ابر و مه جایگاه ویژه‌ای در مطالعات جوی دارد. همچنین این شاخص جوی تأثیر مستقیمی بر فرایندهای رشد گیاهان و گسترش آفات و بیماری‌های گیاهی دارد [۱۵]. تولید بارش و انتقال گرما در جهت‌های افقی و عمودی در جو، از آثار مهم رطوبت نسبی اتمسفر است. نوسانات میزان رطوبت هوا نقش تعیین‌کننده‌ای در فرایندهای تبخیر و تعرق ایفا می‌کنند. در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک، کاهش رطوبت نسبی منجر به تشدید فرایندهای تبخیری شده که این امر می‌تواند موجب بروز تنش‌های آبی در گونه‌های گیاهی مختلف شود. از سوی دیگر، این پارامتر جوی تأثیر مستقیمی بر شاخص آسایش انسانی دارد، به‌طوری‌که افزایش غیرمتعارف آن می‌تواند موجب کاهش محسوس در کیفیت زندگی و سلامت افراد شود [۱۶]. استرس‌های گرمایی نیز متعاقب افزایش رطوبت تشدید می‌شود و اختلالاتی را در بدن انسان ایجاد می‌کند [۱۷].

این پژوهش به‌منظور شناسایی رابطه بین تغییرات رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران با الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام انجام شد. از جمله دلایل بررسی رابطه بین الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام و رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران، اهمیت اقلیمی سواحل جنوبی ایران است. سواحل جنوبی ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه در مجاورت خلیج فارس و دریای عمان، تحت تأثیر پیچیده‌ای از فرایندهای محلی و فرامنطقه‌ای قرار دارند. این منطقه به‌عنوان یک گذرگاه اقلیمی، هم از منابع رطوبتی محلی و هم از الگوهای پیوند از دور در مقیاس‌های زمانی فصلی تا چنددهه‌ای تأثیر می‌پذیرد. همچنین رطوبت نسبی در این

ایستگاه‌های واقع در داخل محدوده سواحل جنوب تجزیه و تحلیل شدند.

ابتدا داده‌های رطوبت نسبی ایستگاه‌ها در SPSS به مقادیر استاندارد تبدیل شدند تا امکان انجام بررسی آماری بر روی آن‌ها و بررسی ارتباط بین رطوبت نسبی با شاخص‌های اقیانوس آرام فراهم شود. سپس همبستگی رطوبت نسبی ایستگاه‌ها با شاخص‌های اقیانوس آرام در طول دوره آماری (۵۴ ساله) با روش پیرسون محاسبه شد. توصیف شدت ضرایب بر اساس جدول ۲، در نظر گرفته شد. معنی‌داری آزمون همبستگی پیرسون در سطح خطای ۰/۰۱ و ۰/۰۵ برآورد و در تحلیل‌ها استفاده شد. برای نمایش فضایی همبستگی و ترسیم نقشه‌ها از روش بهینه درون‌یابی (کریجینگ) استفاده شد. در ادامه برای تجزیه و تحلیل ارتباط تغییرات شاخص‌های رطوبی سواحل جنوب ایران با الگوهای مورد مطالعه از رگرسیون چندمتغیره از نوع پس‌رونده^۶ استفاده شد. در مراحل پردازش و تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای اکسل، SPSS، SURFER و GIS استفاده شد.

۳. موقعیت منطقه مورد مطالعه

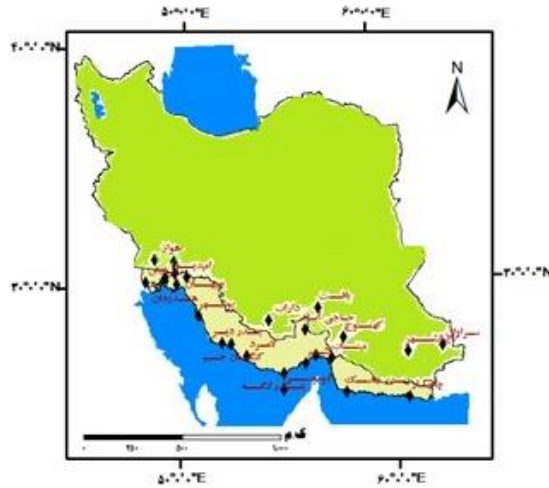
جلگه‌های جنوبی ایران سرزمین‌های همواری هستند که در عرض جغرافیایی پایین قرار گرفته‌اند و بین ناهمواری‌ها و سواحل جنوب ایران واقع شده‌اند. با وجود بالا بودن رطوبت نسبی در سواحل جنوبی به دلیل استیلای پرفشار جنب حاره که اجازه صعود و تشکیل ابر را نمی‌دهد، این سواحل بارش اندکی دارند؛ بنابراین، آب‌وهوای جلگه‌های جنوبی گرم، مرطوب و کم‌بارش است و این ناحیه را باید بخش حاره‌ای ایران محسوب کرد. در مناطق ساحلی جنوب ایران، ترکیب دما و رطوبت بالا به شکل‌گیری پدیده آب‌وهوایی شرجی منجر می‌شود و هرچه میزان بخار آب موجود در هوا بیشتر باشد، شرایط شرجی شدیدتر خواهد بود [۱۸]. موقعیت محدوده مورد مطالعه و پراکنش فضایی ایستگاه‌های منتخب در شکل ۱، آورده شده است.

مناطق نقش کلیدی در شکل‌گیری ابرناکی، توزیع بارش و شرایط شرجی دارد که بر کشاورزی، سلامت عمومی و اقتصاد انرژی تأثیر مستقیم می‌گذارد. تأثیر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی دلیل دیگری بر مطالعه ارتباط الگوها با رطوبت نسبی سواحل است. گرمایش جهانی و تغییرات دمای سطح دریا (SST) در اقیانوس‌های آرام و هند، الگوهای پیوند از دور مانند ENSO، PDO و IOD را تحت تأثیر قرار داده‌اند. این تغییرات می‌توانند الگوهای رطوبتی سواحل جنوبی ایران را دستخوش نوسانات قابل توجهی کنند. کمبود مطالعات پیشین در این زمینه نیز از دلایل توجهی بررسی این ارتباط است. در مقایسه با تحقیقات گسترده درباره بارش، مطالعات کمتری تغییرات رطوبت نسبی و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور را بررسی کرده‌اند. این پژوهش به دنبال پر کردن این خلأ دانشی بوده است. درک ارتباط بین الگوهای پیوند از دور و رطوبت نسبی می‌تواند به بهبود پیش‌بینی‌های اقلیمی، مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در منطقه کمک کند و این، کاربرد عملی نتایج پژوهش است.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده رطوبت نسبی ۲۵ ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در سواحل و جلگه‌های جنوبی ایران و داده الگوهای بزرگ‌مقیاس اقیانوس آرام طی دوره بلندمدت ۵۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۰۴) استفاده شد. داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور و داده‌های الگوهای دورپیوند از سایت نوآ^۵ به صورت ماهانه دریافت شد. ۹ مورد از ۲۵ ایستگاه سینوپتیک از خارج از محدوده مورد مطالعه سواحل جنوب ایران گزینش شدند تا درون‌یابی با دقت بیشتری انجام گیرد. در جدول ۱، فهرست الگوهای پیوند از دور مورد بررسی در این پژوهش آمده است.

همچنین از تحلیل همبستگی و رگرسیون برای ارزیابی ارتباط بین رطوبت نسبی ایستگاه‌های منتخب سواحل جنوب و الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام استفاده شد. در بخش تحلیل رگرسیون از بین ۲۵ ایستگاه سینوپتیک، تنها



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و توزیع فضایی ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱. الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام

نام الگو	علامت اختصاری	نام الگو	علامت اختصاری
نوسان آرام/آمریکای شمالی	PNA	شاخص‌های انتقالی و اختلافی نینو	TNI (Trans-Niño Index)
الگوی شرق آرام-شمال آرام	EP/NP	نوسان دهه‌ای دمای شمال اقیانوس آرام	γ PDO
نوسان غرب اقیانوس آرام	WP	انسوی چند متغیره	MEI
دمای سطح آب در شرق مرکزی آرام حاره‌ای	NINO3.4	استخر آب گرم اقیانوس آرام	Pacific Warm POOL Region, area averaged SST: 60E-170E, 15S-15N
بارش انسو	ENSO precipitation index	دمای سطح آب در آرام حاره‌ای	Tropical Pacific SST EOF 1st EOF of SST (20N-20S, 120E-60W)
نوسان جنوبی	SOI	الگوی نینوی آرام	ONI
استخر گرم نیم کره غربی جنوبی	WHWP	الگوی آرام شمالی	NP (SLP over region 30N-65N, 160E-140W)

جدول ۲. شدت ضرایب همبستگی پیرسون

ضریب	۰ تا ۰/۱	۰/۱ تا ۰/۲	۰/۲ تا ۰/۳	۰/۳ تا ۰/۴	۰/۴ تا ۰/۵	۰/۵ تا ۰/۶	۰/۶ تا ۰/۷
شدت همبستگی	خیلی ضعیف	ضعیف	نسبتاً متوسط	متوسط	نسبتاً قوی	قوی	خیلی قوی

۴. یافته‌ها

۴-۱. بررسی آماری

در جدول ۳، برخی از مشخصات آماری رطوبت نسبی سالانه در محدوده مورد مطالعه آورده شده است. میانگین پهنه‌ای

رطوبت نسبی سالانه در این منطقه ۵۲ درصد است. میزان انحراف معیار مکانی رطوبت نسبی ۸/۲ درصد است که این مقدار بیانگر تغییرات کم میانگین پهنه‌ای رطوبت نسبی است.

جدول ۳. شاخص‌های آماری رطوبت نسبی سالانه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه

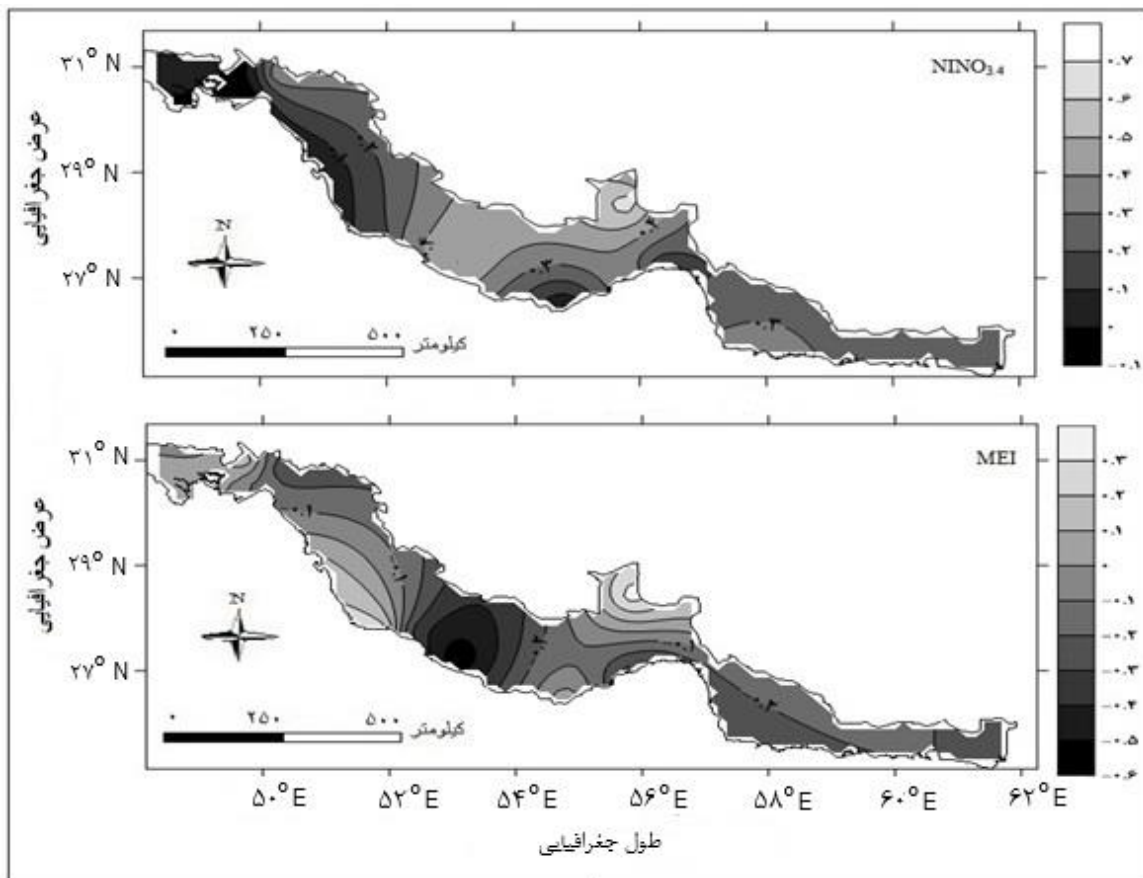
میانگین	میان	واریانس	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی	حداکثر	حداقل	دامنه	ضریب تغییرات
۵۲	۵۱/۸	۶۷/۱	۸/۲	۰/۱	-۱/۱	۶۹/۲	۳۵/۱	۳۴/۱	۰/۲

همچنین توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون رطوبت نسبی سواحل جنوب با الگوی MEI نشان می‌دهد پراکنش ضرایب بین $0/6-$ تا $0/3+$ بوده ولی همبستگی منفی و با شدت بالا بیشتر از همبستگی مثبت مناطق بیشتری از محدوده را پوشش می‌دهد. در نیمه غربی محدوده یک هسته دارای همبستگی معکوس قوی مشاهده می‌شود که به اطراف از میزان (شدت) آن کاسته شده است. در حوالی حاجی‌آباد یک هسته دارای همبستگی مثبت وجود دارد که در اینجا نیز با گسترش شعاعی سمت پیرامون، شدت همبستگی کاهش یافته و حتی به مقادیر منفی گرایش پیدا کرده است. در بخش‌های جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، ارتباط معکوس ضعیفی مشاهده می‌شود، در حالی که در نواحی شرقی، این رابطه معکوس گستره وسیع‌تری را شامل می‌شود. در محدوده بندر دیر، اگرچه همبستگی مثبت ضعیفی ثبت شده، اما این ارتباط در جهت شمالی به تدریج به همبستگی منفی تبدیل می‌شود. جالب توجه آنکه تنها ایستگاه لامرد از نظر آماری رابطه معکوس معناداری با این شاخص نشان می‌دهد که مقدار آن $0/63-$ با سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده و از شدت قوی برخوردار است.

۲-۴. تحلیل فضایی همبستگی بین رطوبت نسبی

سواحل جنوبی ایران و الگوهای اقیانوس آرام

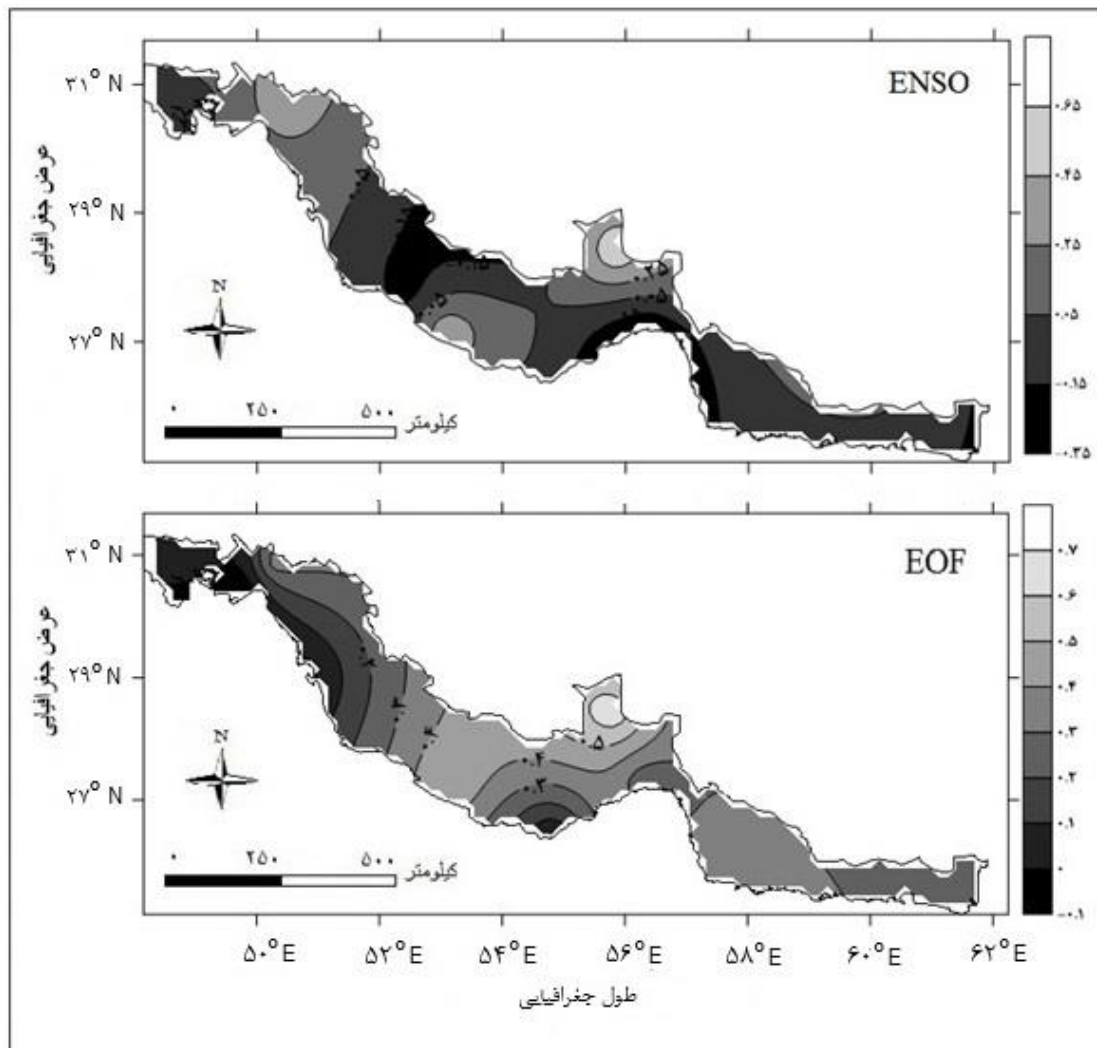
نقشه پراکنش ضرایب همبستگی پیرسون متغیر رطوبت نسبی با الگوی NINO3.4 (شکل ۲) نشان می‌دهد که همبستگی مثبت بر همبستگی منفی غلبه دارد و ضرایب همبستگی بین $0/1-$ تا $0/7+$ متغیر است که از غرب پهنه به طرف مرکز و از سواحل به طرف شمال بر ضرایب همبستگی مثبت افزوده می‌شود. در شمال غربی محدوده وسعت کوچکی همبستگی منفی با شدت خیلی ضعیف مشاهده می‌شود و سایر مناطق همبستگی مثبت با این الگو دارند که شدت آن از خیلی ضعیف تا قوی است. الگوی فضایی مشاهده شده این است که از سمت غرب به طرف مرکز محدوده بر میزان همبستگی مثبت افزوده می‌شود تا جایی که مقدار ضرایب آن به $0/7+$ می‌رسد یعنی همبستگی مثبت قوی در این قسمت قابل ملاحظه است. به طور کلی، شاخص مورد بررسی ارتباط مثبت نسبتاً محکمی با میزان رطوبت هوای نواحی ساحلی جنوب کشور برقرار می‌کند. با این حال، بررسی‌های انجام شده حاکی از عدم معنادار بودن رابطه بین این شاخص و داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های ساحلی منطقه است.



شکل ۲. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی سالانه محدوده مورد مطالعه با الگوهای NINO3.4 و MEI (مأخذ: نگارندگان)

بالاترین ضرایب همبستگی معکوس ثبت شده است. در مقابل، در بخش‌های شمال غربی و مرکزی منطقه، شواهد آماری از وجود همبستگی مثبت حکایت دارد. قابل توجه اینکه در منطقه حاجی‌آباد، این رابطه مستقیم به مقدار قابل‌ملاحظه ۶۵ درصد رسیده است که نشان می‌دهد همبستگی در این قسمت خیلی قوی است. این بدان معنی است که در این قسمت با افزایش میزان شاخص ENSO، میزان رطوبت نسبی منطقه افزایش پیدا می‌کند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شدت همبستگی مثبت به تدریج با فاصله گرفتن از حاجی‌آباد کاهش یافته و در نهایت به رابطه معکوس تبدیل می‌شود. همچنین تحلیل‌های آماری نشان داد که تنها در ایستگاه سراوان ارتباط معکوس معناداری (۰/۴۹-) بین این شاخص و میزان رطوبت هوا با سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌شود.

شکل ۳، پراکنش ضرایب همبستگی بین رطوبت نسبی سالانه منطقه مورد مطالعه با الگوهای ENSO و EOF را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین الگوی ENSO و متغیر رطوبت نسبی این محدوده بین ۰/۳۵- تا ۰/۶۵ است و وسعت زیادی از پهنه همبستگی معکوس با شدت ضعیف دارد. به عبارتی در اغلب ایستگاه‌های این منطقه دوره‌های توأم با تشدید فعالیت الگوی ENSO منجر به کاهش محسوس رطوبت هوا شده است. در بخش‌های غربی نوار ساحلی، رابطه معکوسی با این نوسان اقلیمی مشاهده می‌شود که این ارتباط در جهت شمالی شدت بیشتری دارد. الگوی توزیع همبستگی‌ها در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه، ترکیبی از روابط مثبت و منفی را نمایان می‌سازد. بیشترین شدت همبستگی منفی در بخش‌های جنوب شرقی منطقه به چشم می‌خورد، به‌طور ویژه در محدوده بندرهای دیر و عباس که

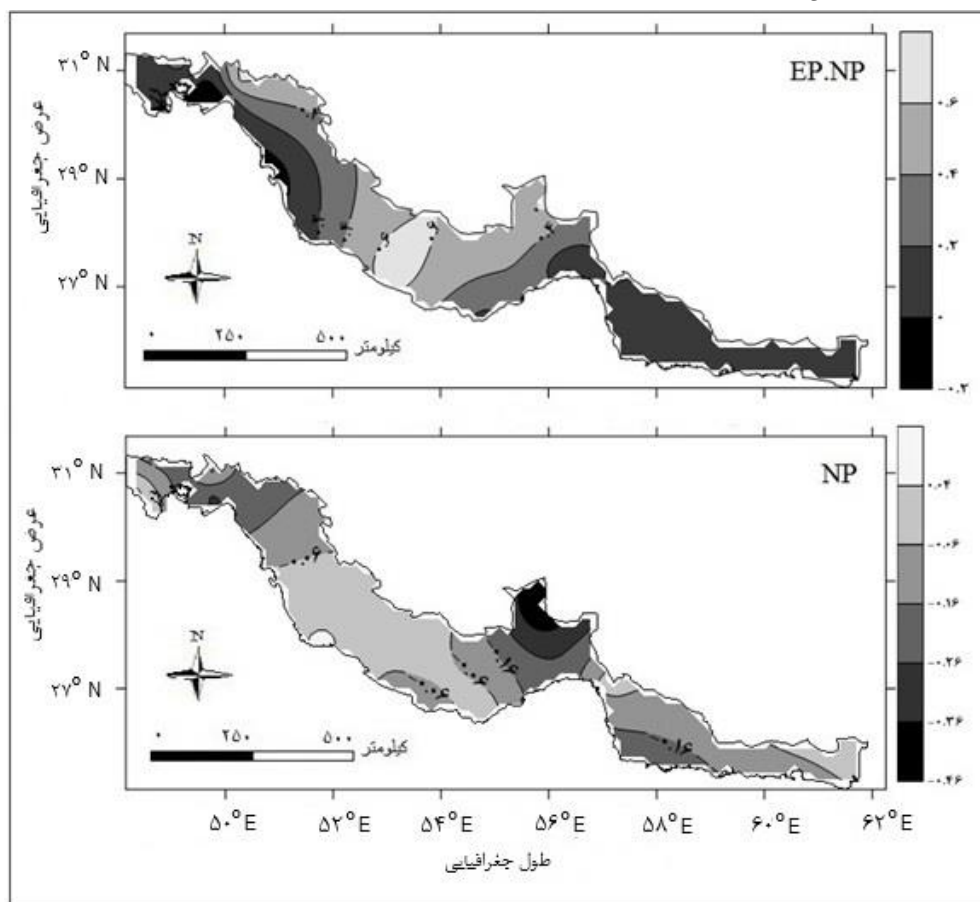


شکل ۳. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوهای ENSO و EOF (مآخذ: نگارندگان)

ضرایب از $0.2-$ تا $0.6+$ است و ضرایب همبستگی مثبت بیشتر از همبستگی منفی است. در بخش غربی، ناحیه‌ای کوچک با همبستگی منفی ضعیف دیده می‌شود که با حرکت به سمت شرق، مقدار ضریب همبستگی به تدریج افزایش می‌یابد و به $0.7+$ یا بیشتر می‌رسد. به عبارت دیگر، شدت همبستگی از حد ضعیف آغاز شده و در نواحی شرقی به سطح بسیار قوی می‌رسد. همچنین، میزان همبستگی مثبت در نیمه شرقی منطقه به طور محسوسی بیشتر از نیمه غربی است. در کل هر چه از سواحل به طرف شمال می‌رویم بر میزان ضرایب همبستگی مثبت افزوده می‌شود. همبستگی این الگو با رطوبت نسبی ایستگاه‌های رامهرمز، بهبهان و لامرد در سطح خطای $0.05+$ معنی دار است. به این نحو که در ایستگاه رامهرمز، ضریب همبستگی $0.49+$ (با شدت نسبتاً قوی) مشاهده می‌شود. در ایستگاه بهبهان، این ضریب به $0.66+$ (با شدت قوی) می‌رسد، در حالی که در ایستگاه لامرد، بالاترین میزان همبستگی با ضریب $0.7+$ (با شدت خیلی قوی) محاسبه شده است.

همبستگی بین رطوبت نسبی محدوده با الگوی Tropical Pacific EOF (Tropical SST EOF) در دامنه‌ای بین $0.1-$ تا $0.7+$ قرار دارد که همبستگی مثبت در وسعت زیادی از پهنه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در این نقشه، یک پهنه با همبستگی منفی بسیار ضعیف (با ضریب حدود $0.1-$) تنها در بخش شمال غربی مشاهده می‌شود، در حالی که در سایر مناطق، همبستگی مثبت با شدت متغیر از ضعیف تا قوی وجود دارد. در مرکز نقشه، یک هسته اصلی دیده می‌شود که در آن همبستگی از صفر آغاز شده و به تدریج با حرکت به سمت اطراف افزایش می‌یابد تا جایی که ضریب همبستگی به $0.7+$ (با شدت قوی) می‌رسد. از مرکز به سمت نیمه غربی، شدت همبستگی مثبت کاهش یافته و در نهایت به همبستگی منفی تبدیل می‌شود. در مقابل، در نیمه شرقی، همبستگی مثبت با شدت متوسط تا نسبتاً متوسط حاکم است. همچنین، این شاخص تنها با ایستگاه بندر جاسک همبستگی مستقیم و معناداری (با ضریب $0.41+$ و سطح اطمینان ۹۵ درصد) نشان می‌دهد.

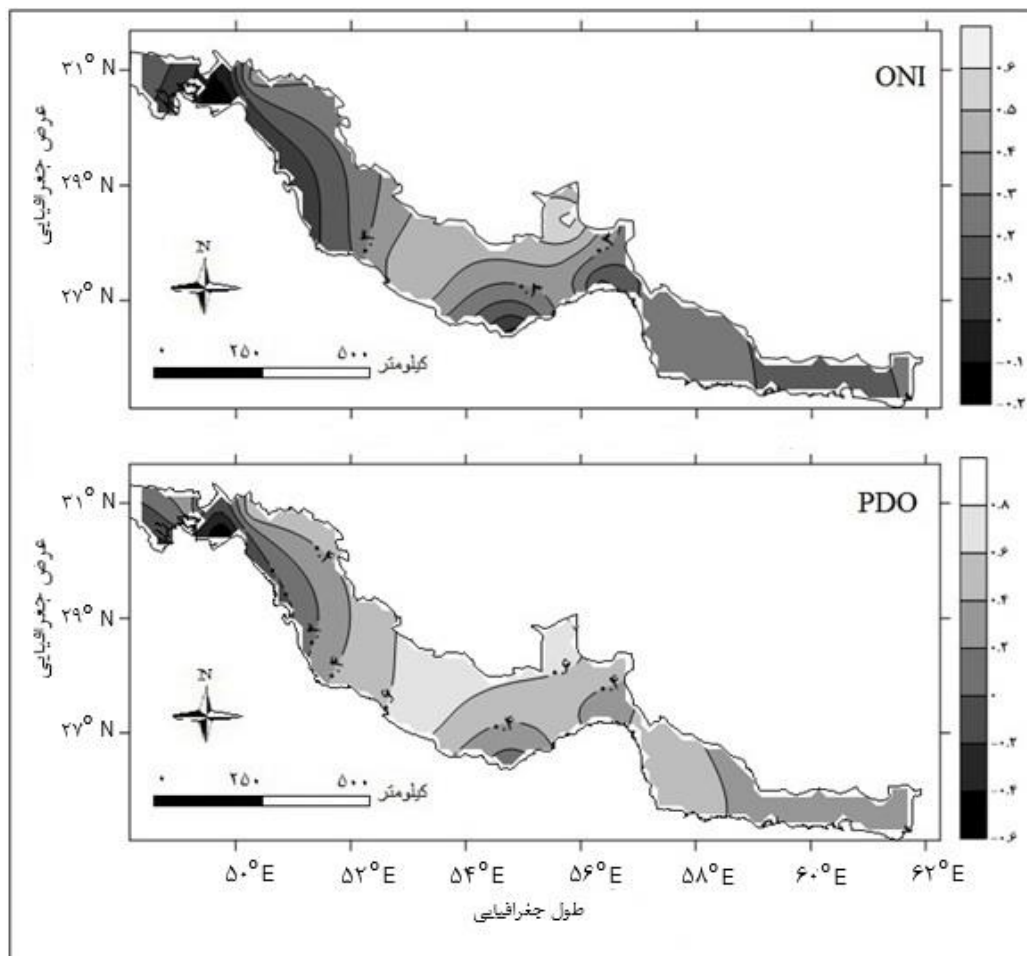
نقشه پراکنش ضرایب همبستگی رطوبت نسبی سواحل جنوب با الگوی EP/NP (شکل ۴) نشان می‌دهد که میزان



شکل ۴. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه و الگوهای EP/NP و NP (مأخذ: نگارندگان)

نیمه غربی تأثیرپذیری بیشتری از این الگو داشته است. از بندر جاسک به طرف شمال و شرق از میزان ضریب همبستگی کاسته شده است. همبستگی رطوبت نسبی ایستگاه‌های ابوموسی (۰/۴۹-)، بافت (۰/۵۲-) و اهواز (۰/۳۵-) با این شاخص در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنی دار است. میزان ضرایب همبستگی الگوی ONI با رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه بین ۰/۲- تا ۰/۶ قرار دارد (شکل ۵) و شامل هر دو نوع مثبت و منفی است. شدت همبستگی مثبت بیشتر از منفی است. از سمت غرب، همبستگی مثبت آغاز شده و با حرکت به سمت مرکز، میزان آن افزایش می‌یابد تا جایی که در مرکز به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در نیمه شرقی نیز همبستگی مثبت ناقصی با شدت نسبتاً متوسط تا متوسط مشاهده می‌شود. هم از نیمه شرقی و هم از نیمه غربی، با نزدیک شدن به مرکز، ضریب همبستگی افزایش یافته و در نهایت در مرکز با شدت قوی نمایان می‌شود. با این حال، این شاخص هیچ‌گونه همبستگی معناداری با رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان نمی‌دهد.

در نقشه پراکنش ضرایب همبستگی پیرسون رطوبت نسبی با الگوی NP همبستگی منفی کلاً در پهنه مورد مطالعه غلبه دارد (شکل ۴) ولی شدت آن کم است. دامنه ضرایب پراکنندگی آن از ۰/۴۶- تا ۰/۰۴+ متغیر است و همبستگی رطوبت نسبی ایستگاه‌های ابوموسی، بافت و اهواز با این الگو از نوع معکوس ناقص در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است. در قسمت‌های شمالی و مرکزی منطقه، یک هسته با ضریب همبستگی منفی مشاهده می‌شود که شدت آن به تدریج با فاصله گرفتن از مرکز کاهش می‌یابد. در بخش غربی، تنها یک ناحیه بسیار کوچک با همبستگی مثبت وجود دارد که به دلیل ضعیف بودن شدت آن، می‌توان از آن صرف نظر کرد. رطوبت نسبی در پهنه مورد مطالعه عمدتاً با شاخص NP رابطه همبستگی منفی نشان می‌دهد، هر چند میزان این همبستگی در بخش‌های مختلف، متفاوت است. با این حال، شدت همبستگی در هیچ نقطه‌ای از ۰/۵+ فراتر نمی‌رود. در نیمه غربی منطقه، همبستگی منفی با شدت بسیار ضعیف گسترش بیشتری دارد و در بیشتر گستره نیمه شرقی همبستگی منفی با شدت ضعیف قابل مشاهده است، می‌توان گفت که نیمه شرقی در مقایسه با



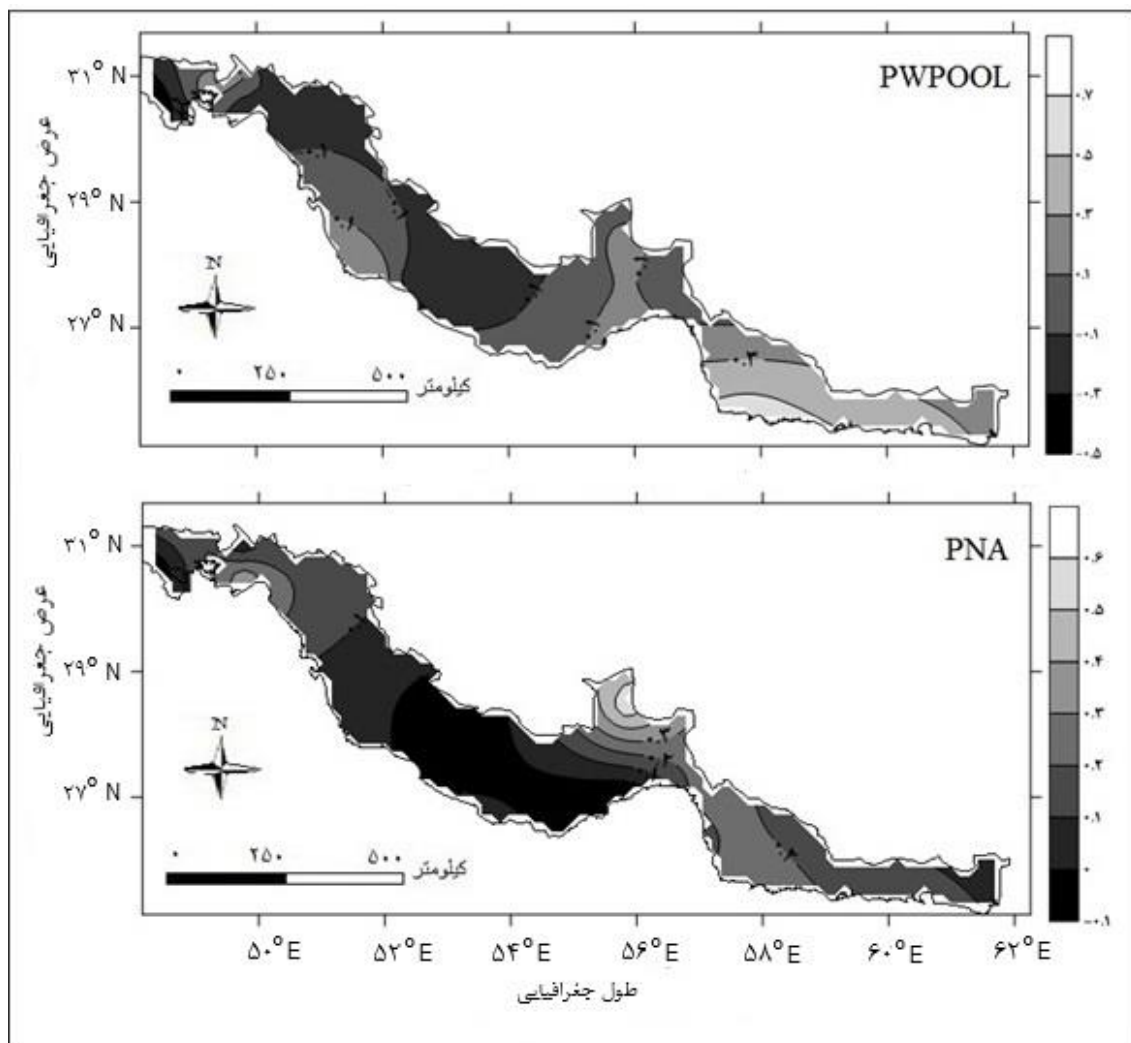
شکل ۵. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوهای ONI و PDO (مآخذ: نگارندگان)

گسترش یافته‌اند. همچنین، در بخش کوچکی از شمال غربی، همبستگی منفی با شدت نسبتاً متوسط دیده می‌شود که با نزدیک شدن به مرکز و غرب، شدت آن کاهش می‌یابد. در بندر جاسک همبستگی مثبت با شدت نسبتاً قوی وجود دارد که به طرف شمال از میزان همبستگی مثبت کاسته شده است. رطوبت نسبی ایستگاه‌های آبادان، چابهار و بندر جاسک با شاخص PWARMPOOL همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارد. آبادان با ضریب $-0/54$ دارای همبستگی معکوس ناقص با شدت نسبتاً قوی، چابهار با ضریب $0/41$ دارای همبستگی مستقیم ناقص با شدت متوسط و بندر جاسک با ضریب $0/66$ دارای همبستگی مستقیم ناقص با شدت قوی با این الگو می‌باشند. همچنین ایستگاه رامهرمز همبستگی معنی‌دار $-0/56$ (شدت نسبتاً قوی) در سطح اطمینان ۹۵ درصد این شاخص دارد.

شکل ۶، توزیع فضایی ضرایب همبستگی رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوی PNA را نشان می‌دهد. ضرایب از $-0/1$ تا $0/6$ متغیر هستند که شدت ضریب همبستگی منفی کم ولی وسعت آن در نیمه غربی بیشتر است و بقیه قسمت‌ها را همبستگی مثبت پوشانده است. در نیمه شرقی همبستگی مثبت بین رطوبت و این الگو وجود دارد که بیشترین میزان آن در بندر جاسک دیده می‌شود؛ اما با حرکت به سمت شمال، از شدت این همبستگی مثبت کاسته می‌شود. در مقابل، در نیمه غربی، هر دو نوع همبستگی مثبت و منفی قابل مشاهده است. همچنین، یک هسته همبستگی در بخش شمالی و مرکزی نقشه وجود دارد که شدت آن با فاصله گرفتن از مرکز کاهش می‌یابد. در شمال شرقی نیز همبستگی مثبتی با شدت ضعیف تا نسبتاً متوسط به چشم می‌خورد. همبستگی رطوبت نسبی اهواز با این شاخص $0/33$ درصد است که در سطح معنی‌داری $0/95$ درصد معنی‌دار است.

شکل ۵، نقشه پراکنش ضرایب همبستگی بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوی PDO دامنه‌ای بین $-0/6$ تا $0/7$ را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت با شدتی متغیر از ضعیف تا بسیار قوی در گستره‌ای وسیع مشاهده می‌شود، در حالی که همبستگی منفی (هرچند با شدت ضعیف تا قوی)، تنها در محدوده‌ای بسیار کوچک ظاهر شده است. در نیمه شرقی، الگوی غالب را همبستگی مثبت با شدت متوسط تشکیل می‌دهد. با حرکت از شرق و غرب به سمت مرکز، ضریب همبستگی به تدریج افزایش می‌یابد تا جایی که در بخش مرکزی به حداکثر مقدار خود، یعنی $0/7$ می‌رسد. در نیمه غربی، همبستگی مثبت و منفی در کنار یکدیگر دیده می‌شوند، اما در بخش شمال غربی، تنها در محدوده‌ای کوچک، همبستگی منفی قابل مشاهده است. در بخش‌هایی از غرب مرکز محدوده هیچ همبستگی بین دو متغیر وجود نداشته است. در نیمه غربی نیز بعد از یک همبستگی منفی جزئی بر ضریب همبستگی افزوده شده است. بین رطوبت نسبی ایستگاه‌های اهواز و داراب با این الگو همبستگی معنی‌دار از نوع مستقیم ناقص در سطح اطمینان ۹۹ درصد و لامرد، بندر جاسک، کنگان جم و میناب همبستگی مستقیم ناقص در سطح ۹۵ درصد وجود دارد. میزان ضرایب همبستگی اهواز $0/39$ ، داراب $0/78$ ، لامرد $0/74$ ، بندر جاسک $0/45$ ، کنگان جم $0/49$ و میناب $0/46$ است.

دامنه میزان ضرایب همبستگی بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه و الگوی PWPOOL بین $-0/5$ تا $0/7$ قرار دارد (شکل ۶). در نزدیکی سواحل، ضریب همبستگی از شدت قوی برخوردار است، اما با حرکت به سمت شمال از میزان آن کاسته می‌شود. وسعت مناطق با همبستگی مثبت بسیار بیشتر از مناطق با همبستگی منفی است. در نیمه شرقی، ضریب همبستگی مثبت به صورت پراکنده مشاهده می‌شود، در حالی که در نیمه غربی، هر دو نوع همبستگی مثبت و منفی



شکل ۶. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوهای PWARMPOOL و PNA (مآخذ: نگارندگان)

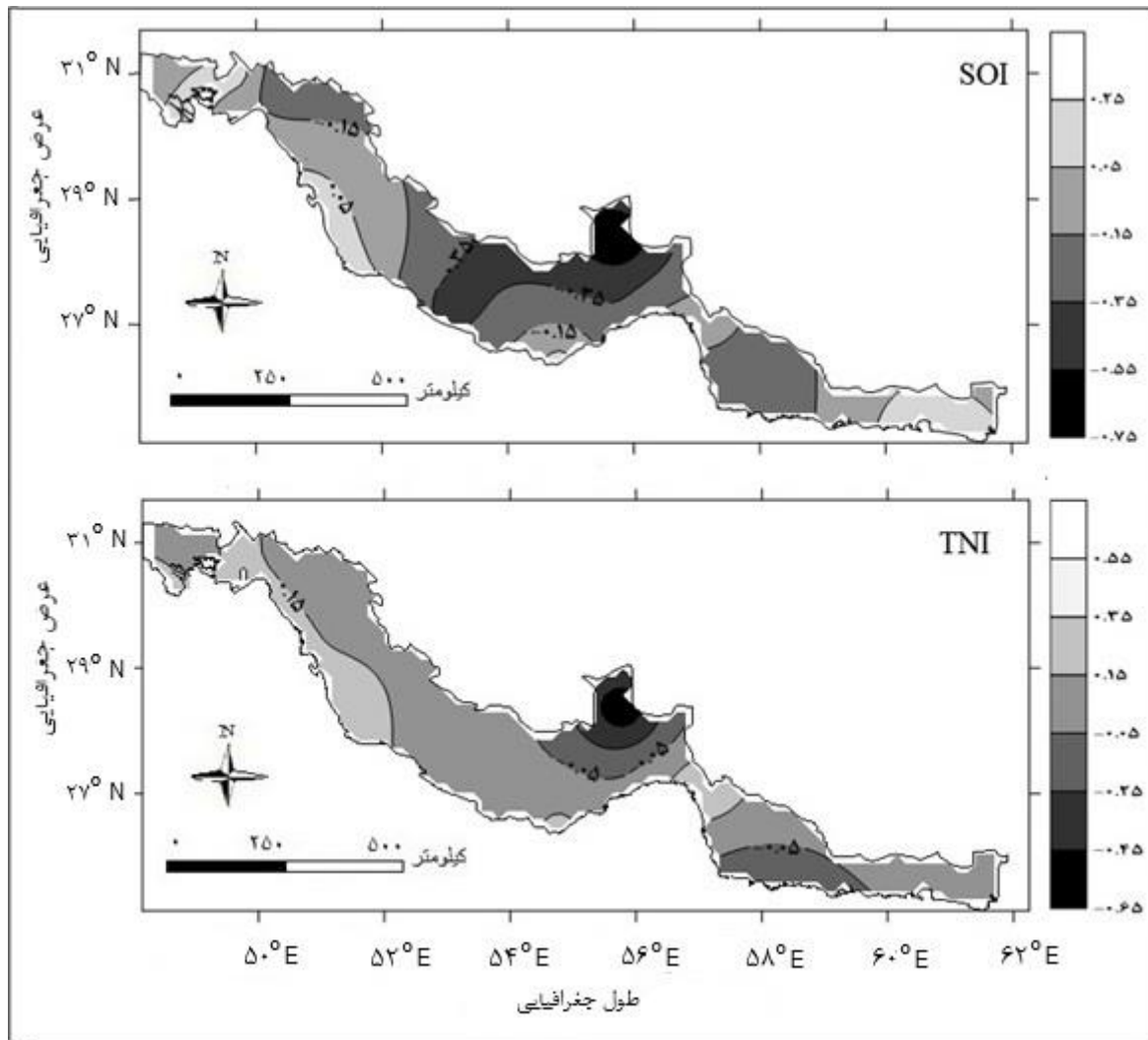
قوی گسترده است و در نقطه مقابل این ایستگاه، هر چه از جنوب به شمال و نیز از شرق و غرب محدوده به سمت مرکز می‌رویم بر میزان ضریب همبستگی منفی افزوده می‌شود. این شاخص با ایستگاه بندر جاسک (-0.38) و حاجی‌آباد همبستگی معکوس ناقص معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد دارد.

شکل ۷، توزیع همبستگی رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران با الگوی TNI را نشان می‌دهد که دامنه میزان ضرایب از -0.2 تا 0.6 متغیر است و از لحاظ وسعت و شدت، همبستگی مثبت بر منفی غلبه دارد. بخش زیادی از نیمه شرقی دارای مثبت با شدت خیلی ضعیف دارد. با حرکت به سمت شرق، مقدار همبستگی مثبت افزایش می‌یابد. در نیمه غربی، ضریب همبستگی مثبت کاملاً غالب است و بخش عمده‌ای از این

مطابق شکل ۷، در رابطه بین الگوی SOI با رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه، همبستگی منفی بر همبستگی مثبت غلبه دارد. میزان پراکنش ضرایب از -0.75 تا 0.25 است. در بخش جنوب شرقی، پهنه‌ای محدود با همبستگی مثبت دیده می‌شود که شدت آن در حد خیلی ضعیف تا ضعیف است. همچنین، در مناطق شمال غربی و بخشی از غرب نیز همبستگی مثبت با همان شدت مشاهده می‌شود. در مقابل، در مرکز منطقه، گستره‌ای وسیع از همبستگی منفی با شدت متغیر از ضعیف تا خیلی قوی وجود دارد. این الگو نشان می‌دهد که در این ناحیه، با افزایش مقدار شاخص نوسان جنوبی، از میزان رطوبت نسبی کاسته شده و در مقابل، با کاهش این شاخص، رطوبت نسبی افزایش می‌یابد. بیشترین ضریب همبستگی منفی در قسمت حاجی‌آباد (-0.75) با شدت خیلی

همبستگی منفی کمتر است، اما شدت آن در مقایسه با همبستگی مثبت بیشتر است به ویژه در مرکز هسته ضریب همبستگی منفی با شدت قوی دیده می شود که از مرکز هسته به اطراف از میزان ضریب همبستگی منفی کاسته شده است. هیچ همبستگی معنی داری بین رطوبت نسبی سواحل جنوب و این شاخص مشاهده نشد.

ناحیه را همبستگی مثبت با شدت بسیار ضعیف پوشش داده است. در قسمت غربی پهنه، همبستگی مثبت با شدت ضعیف دیده می شود، در حالی که در شمال غرب، منطقه کوچکی تحت تأثیر همبستگی مثبت با شدت نسبتاً متوسط قرار گرفته است. با حرکت به سمت غرب، از میزان این همبستگی مثبت کاسته می شود. به طور کلی، ضریب همبستگی مثبت بخش گسترده تری از منطقه را در بر گرفته است، در حالی که وسعت



شکل ۷. نقشه های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرسون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوهای SOI و TNI (مآخذ: نگارندگان)

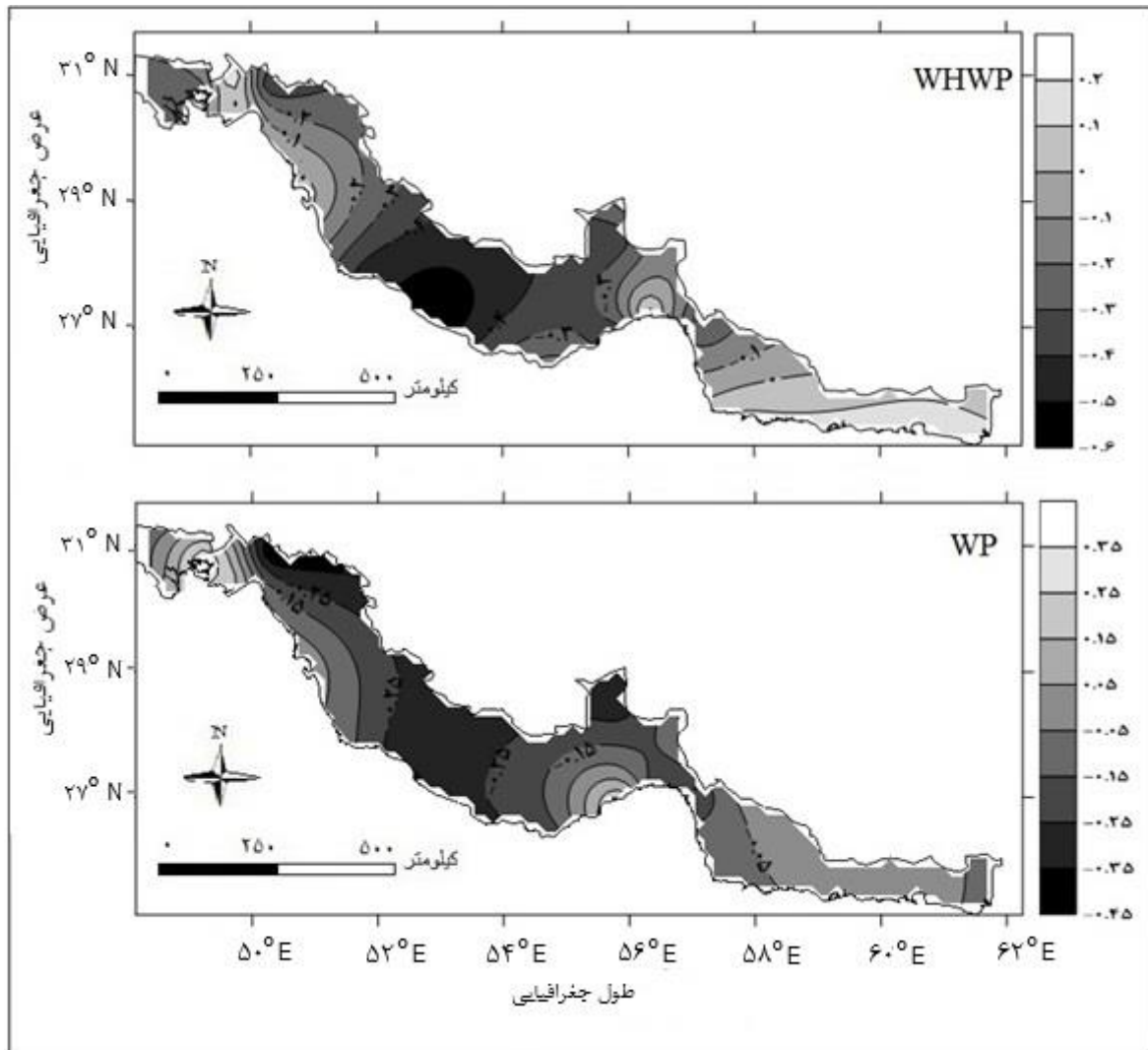
کلاً در نیمه غربی از اطراف به مرکز بر ضریب همبستگی منفی افزوده شده است. همبستگی رطوبت نسبی ایستگاه آبادان (-۰/۳۰) و کنگان جم (-۰/۴۹) با این شاخص از نوع معکوس ناقص در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است. در جنوب شرق همبستگی مثبت با شدت خیلی ضعیف تسلط دارد که به طرف مرکز به همبستگی منفی تبدیل می شود. در

شکل ۸، همبستگی بین رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران با الگوی WHWP را نشان می دهد. میزان ضرایب به دست آمده بین -۰/۶ تا ۰/۲ هستند که همبستگی منفی بر وسعت بیشتری از این پهنه تسلط دارد و در قسمت جنوب غربی در (بندر دیر) همبستگی منفی با شدت قوی خود مشاهده می شود که به اطراف از میزان ضریب همبستگی منفی کاسته شده است.

در نهایت به همبستگی منفی تبدیل می‌شود. همچنین با حرکت از مرکز به سمت غرب، شدت همبستگی منفی بیشتر شده است، به طوری که در منطقه بهبهان به -0.4 و حتی بالاتر (در حد متوسط) می‌رسد. با این حال، از این ناحیه به بعد، دوباره از میزان همبستگی منفی کاسته شده و در بخش شمال غربی، این رابطه به همبستگی مثبت تغییر می‌کند. به طور کلی، از نظر گستردگی، پهنه‌های دارای همبستگی منفی از مناطق با همبستگی مثبت بزرگ‌تر هستند. علاوه بر این، شدت همبستگی منفی نیز در مقایسه با همبستگی مثبت، قوی‌تر است. بین این شاخص نیز با رطوبت نسبی ایستگاه‌ها همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

حوالی بندرعباس ضرایب تمایل به مثبت شدن دارند. در منتهی‌الیه شرق همبستگی مثبت وجود دارد و به سمت مرکز محدوده به همبستگی منفی تبدیل می‌شود.

در نقشه همبستگی رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوی WP (شکل ۸) که ضرایب بین -0.45 تا 0.35 قرار دارند، پراکنش ضرایب مثبت و منفی با شدت کم در کل پهنه قابل مشاهده است. عمده وسعت نیمه شرقی پهنه، همبستگی منفی با شدت خیلی ضعیف با این الگو دارد. با حرکت از شرق به غرب بر شدت ضریب همبستگی منفی افزوده شده است. در بخش مرکزی منطقه، یک هسته با همبستگی مثبت اما با شدت ضعیف مشاهده می‌شود که با دور شدن از مرکز، از میزان این همبستگی کاسته شده و



شکل ۸. نقشه‌های توزیع فضایی ضرایب همبستگی پیرو سون بین رطوبت نسبی محدوده مورد مطالعه با الگوهای WHWP و WP (مآخذ: نگارندگان)

۳-۴. رگرسیون چندمتغیره و تبیین تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه‌های ساحل جنوب

در خصوص ارتباط ۱۴ الگوی اقیانوس آرام با رطوبت نسبی ایستگاه‌های محدوده با استفاده از بررسی ضریب همبستگی چندمتغیره و درصد تغییرات تعیین شده رطوبت نسبی محدوده توسط این الگوها و مدل‌های رگرسیونی پس‌رونده نتایج زیر به دست آمد: در ایستگاه چابهار با ورود تمام الگوها ۴۶ درصد از تغییرات رطوبت نسبی آن توسط الگوهای اقیانوس آرام تبیین می‌شود و با حذف ۹ الگوی کم‌اثر و ورود الگوهای TROPICAL SST، SOI-EOF، NINO3.4، TNI، ENSO، WP و PWPOOL به ۲۹ درصد می‌رسد که بیانگر این نکته است ۹ الگوی حذف شده قادرند تنها ۱۷ درصد از تغییرات متغیر را تبیین کنند. در ایستگاه بندرعباس با ورود کل الگوهای اقیانوس آرام ۶۱ درصد از تغییرات رطوبت نسبی آن توجیه می‌شود که در مرحله دوازدهم با حذف الگوهای WP،

ENSO و TNI ۲۸ درصد از تغییرات رطوبت نسبی این ایستگاه تبیین می‌شود. بنابراین سهم الگوهای حذف شده ۳۳ درصد بوده است. در ایستگاه آبادان در مدل اول و با ورود تمامی الگوها ۶۵ درصد از تغییرات رطوبت نسبی تبیین می‌شود که با حذف ۱۱ الگو در مرحله ۱۲ این ضریب به ۳۹ درصد می‌رسد. تأثیرگذارترین الگوها بر رطوبت نسبی این ایستگاه الگوهای EP/NP، PNA و MEI هستند. در ایستگاه بوشهر با ورود تمامی الگو به مدل، ۷۳ درصد از تغییرات رطوبت نسبی توسط الگوها توجیه می‌شوند. پس از آنکه ۱۰ الگو از میان ۱۴ الگوی اولیه وارد شده به مدل حذف شدند، تنها ۴ الگوی باقی‌مانده (شامل NINO3.4، ENSO، SOI و WHWP) توانستند حدود ۶۳ درصد از تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه بوشهر را تبیین کنند. این نتیجه نشان می‌دهد که ۱۰ الگوی حذف شده در مجموع سهم ناچیزی (کمتر از ۱۰ درصد) در توضیح تغییرات رطوبت نسبی این ایستگاه داشته‌اند. در بندر لنگه ۷۴ درصد از تغییرات با ورود الگوها تبیین می‌شود که در مدل هفتم با حذف ۶ الگوی کم‌اثر و ورود الگوهای ONI، NINO3.4، WHWP، SOI، NP،

WP، ENSO و TNI به ۶۹ درصد می‌رسد و سهم ۶ الگوی کم‌اثر حذف شده تنها ۵ درصد بوده است

در ایستگاه امیدیه با ورود ۱۴ الگوی اقیانوس آرام ۷۷ درصد از تغییرات رطوبت نسبی آن با الگوها تبیین می‌شود که در مرحله ۹ با حذف الگوهای کم‌اثر و ورود ۵ الگوی پراثر (NINO3.4، PWPOOL، ONI، SOI، TNI) این ضریب به ۷۳ درصد می‌رسد. در بندر جاسک با ورود تمام الگوها ۸۰ درصد از تغییرات رطوبت نسبی تبیین می‌شود. در مرحله نهم ۶۹ درصد از تغییرات این متغیر با ورود الگوهای NP، TROPICAL SST، EP/NP، TNI، ENSO، WP توجیه می‌شود یعنی سهم الگوهای حذف شده از این تغییرات ۱۱ درصد است. در ایستگاه میناب در مدل اول با ورود کل الگوها در مجموع ۸۴ درصد از تغییرات رطوبت نسبی این ایستگاه تبیین می‌شود و پس از ۱۲ مرحله حذف و ورود الگوهای پراثر ۳ الگوی (WHWP، WP، TNI) ۵۷ درصد از تغییرات آن را توجیه می‌کند. این بدان معنی است که ۱۱ الگوی دیگر ۲۷ درصد از تغییرات را تبیین می‌کنند. در بندر ماهشهر با ورود کل الگوها ۹۰ درصد از تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه توجیه می‌شود. پس از مرحله ۶ با حذف الگوهای کم‌اثرتر به ۸۴ درصد در مرحله هفتم می‌رسد. در ایستگاه کنگان جم ۹۱ درصد از تغییرات رطوبت نسبی با ورود همه الگوها تبیین می‌شود که در مدل هفتم، با حذف الگوهای کم‌اثر و ورود الگوهای پراثر از جمله NP، NINO3.4، PNA، ENSO، SOI، PWPOOL و MEI، میزان تأثیر به ۸۶ درصد رسید.

مقادیر ضریب همبستگی چندگانه، ضریب تبیین (R^2) و خطای برآورد الگوهای موجود در اقیانوس آرام مرتبط با رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۴ آمده است. این محاسبات با استفاده از مدل رگرسیون پس‌رونده انجام شده است. مطابق این جدول کمترین میزان همبستگی بین الگوهای اقیانوس آرام و رطوبت نسبی این محدوده (۴۶ درصد) در ایستگاه چابهار و بیشترین آن در کنگان جم (۹۱ درصد) محاسبه شد. میزان همبستگی بین این دو متغیر در ایستگاه‌های کنگان جم، بندر ماهشهر، میناب، بندر جاسک،

ON1، PNA و TNI (۰/۶)، MEI و WHWP (۰/۶-)، NP (۰/۴۶-) و WP (۰/۴۵-) است. در بیش از نیمی از موارد همبستگی بین رطوبت نسبی و الگوها از نوع مستقیم ناقص بوده است. وجود همبستگی مستقیم بین رطوبت نسبی سواحل جنوب با الگوی ENSO همسو با نتایج پژوهش پوینده و همکاران [۱۶] بوده و شناسایی همبستگی معکوس با الگوی SOI با نتایج پژوهش خدقلی و همکاران [۱۹] مطابقت دارد. از این یافته‌ها می‌توان دریافت که الگوهای اقلیمی اقیانوس آرام تأثیر قابل توجهی بر تغییرات رطوبت نسبی در جلگه‌ها و سواحل جنوبی ایران دارند و این مبین ارتباط پیچیده بین اقلیم منطقه‌ای و الگوهای جهانی است. همچنین الگوهای SOI، TROPICAL SST، PDO و PWPOOL به‌عنوان عوامل کلیدی در تغییرات رطوبت نسبی شناسایی شده‌اند که می‌توانند در پیش‌بینی‌های اقلیمی و مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گیرند. تنوع همبستگی‌ها (وجود همبستگی‌های مستقیم و معکوس) با الگوهای مختلف همسو با نتایج پژوهش مک‌گرگور و همکاران [۲۰] مبین آن است که مکانیسم‌های تأثیر این الگوها بر رطوبت نسبی پیچیده و چندبعدی است. بر اساس مدل‌های رگرسیون چندمتغیره ارتباط بین الگوهای SOI، NINO_{3.4}، ENSO و TNI در مرتبه بعدی الگوهای PWPOOL و WHWP با رطوبت نسبی قوی‌تر است. در مرتبه سوم الگوهای ON1، WP، PNA، TROPICAL SST، EP/NP و MEI، نیز جزو الگوهای مؤثر محسوب می‌شوند. این مطلب نقش کلیدی این الگوها در تغییرات اقلیمی منطقه و قدرت آن‌ها در پیش‌بینی رطوبت نسبی سواحل جنوب را نشان می‌دهد. همچنین الگوهای SOI، NINO_{3.4} و ENSO که به‌عنوان قوی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رطوبت نسبی شناسایی شده‌اند، به‌طور گسترده در مطالعات اقلیمی به‌عنوان عوامل اصلی تغییرات آب‌وهوایی در مناطق مختلف جهان شناخته می‌شوند [۲۱-۲۷]. همبستگی قوی این الگوها با رطوبت نسبی در سواحل جنوبی ایران نشان می‌دهد که این منطقه به‌طور ویژه تحت تأثیر نوسانات اقلیمی اقیانوس آرام قرار دارد. تفاوت در شدت تأثیر الگوها بر رطوبت نسبی ایستگاه‌های سواحل جنوبی کشور را می‌توان به دلایلی از جمله تفاوت‌های مکانی، ویژگی‌های محلی و تعامل

امیدیه، بندرعباس، بوشهر، آبادان، بندر لنگه و چابهار به‌ترتیب حدود ۹۱، ۹۰، ۸۴، ۸۰، ۷۷، ۷۵، ۷۳، ۶۶، ۶۱ و ۴۶ درصد به‌دست آمد. بنابراین الگوهای اقیانوس آرام، تغییرات رطوبت نسبی در ایستگاه‌های کنگان و بندر ماهشهر را با دقت بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها تبیین می‌کنند. در رتبه بعدی، ایستگاه‌های میناب و بندر جاسک نیز ضریب توجیه‌پذیری قابل قبولی داشته‌اند. علاوه بر این، مقادیر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای این چهار ایستگاه سطح مطلوبی دارد که نشان‌دهنده ارتباط معنادار بین متغیرهای موردبررسی است.

جدول ۴. مقادیر ضریب همبستگی چندگانه (R) و R² و خطای استاندارد برآورد بین رطوبت نسبی ایستگاه‌ها و الگوهای اقیانوس آرام (مآخذ: نگارندگان)

ایستگاه	ضریب همبستگی چند متغیره (R)	درصد تغییرات تبیین شده (R ²)	خطای استاندارد برآورد
کنگان	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۳
بندر ماهشهر	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۷۵
میناب	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۷۷
بندر جاسک	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۴۵
امیدیه	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۵۹
بندر لنگه	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۷۹
بوشهر	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۵۹
آبادان	۰/۸۱	۰/۶۶	۰/۴۹
بندرعباس	۰/۷۸	۰/۶۱	۰/۹۳
چابهار	۰/۶۸	۰/۴۶	۱/۱

۵. بحث

نتایج پژوهش نشان داد بیشترین درصد همبستگی بین الگوهای اقیانوس آرام و رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران به ترتیب مربوط به الگوی SOI (۰/۷۵-)، الگوهای TROPICAL SST، PDO، PWPOOL (۰/۷)، الگوهای ENSO (۰/۶۵) و NINO_{3.4} (۰/۶۵-)، الگوهای EP/NP،

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون، تحلیل واریانس رگرسیون و تجزیه و تحلیل رگرسیون چندمتغیره پس رونده ارتباط احتمالی رطوبت نسبی ایستگاه‌های واقع در جلگه‌ها و سواحل جنوبی ایران با الگوهای اقیانوس آرام محاسبه شد. یافته‌ها نشان دادند که تفاوت‌های منطقه‌ای در تأثیر این الگوها در مناطق مختلف مشاهده می‌شود و برخی ایستگاه‌ها ضریب تبیین بالا و برخی پایینی دارند. به طوری که کنگان جم (۹۱٪) و بندر ماهشهر (۹۰٪) بیشترین تأثیرپذیری را از الگوهای اقیانوس آرام نشان دادند و این ایستگاه‌ها احتمالاً تحت تأثیر مستقیم الگوهای دریایی مانند PDO و PWPOOL قرار دارند، در مقابل، چابهار (۴۶٪) و بندرعباس (۶۱٪) کمترین تأثیرپذیری را داشتند که ممکن است ناشی از تأثیرپذیری بیشتر از عوامل محلی (مانند بادهای موسمی اقیانوس هند) باشد. با وجود این، این الگوها در خصوص تغییرات رطوبت نسبی محدوده توان تبیین بالایی دارند. با توجه به توانایی بالای الگوهای اقیانوس آرام در تبیین تغییرات رطوبت نسبی، یافته‌های این پژوهش می‌توانند در برنامه‌ریزی‌های اقلیمی، مدیریت منابع آب و کشاورزی در سواحل جنوبی ایران استفاده شوند. پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبی می‌تواند به کاهش اثرات منفی ناهنجاری‌های اقلیمی مانند خشک‌سالی یا رطوبت بیش‌ازحد کمک کند. به طور کلی، این پژوهش بر اهمیت مطالعه الگوهای پیوند از دور در تحلیل تغییرات اقلیمی منطقه‌ای تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که این الگوها می‌توانند به عنوان ابزاری مؤثر در پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی استفاده شوند. یافته‌های پژوهش می‌تواند به بهبود پیش‌بینی‌های اقلیمی و مدیریت بهتر منابع طبیعی در منطقه کمک کند. همچنین، تأکید بر پیچیدگی سیستم اقلیمی منطقه، لزوم استفاده از مدل‌های جامع‌تر و چندمتغیره را برای تحلیل تغییرات اقلیمی برجسته می‌سازد. در کل، این یافته‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های اقلیمی، کشاورزی و مدیریت منابع آب در منطقه استفاده شود، زیرا پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبی می‌تواند به کاهش اثرات منفی ناهنجاری‌های اقلیمی کمک کند.

پیچیده الگوهای جهانی نسبت داد. در ایستگاه‌های غربی (مانند بندر ماهشهر و کنگان جم)، الگوهای SOI و PDO تأثیر قوی‌تری داشتند، در حالی که در ایستگاه‌های شرقی (مانند چابهار) الگوهای ENSO و MEI نقش کم‌رنگ‌تری ایفا کردند (تفاوت‌های مکانی). این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از فاصله از منابع رطوبتی (مانند دریای عمان) و تأثیرپذیری از الگوهای محلی باشد. ویژگی‌های محلی از قبیل توپوگرافی، جریان‌های دریایی و فعالیت‌های انسانی می‌توانند پاسخ رطوبت نسبی به الگوهای جهانی را تعدیل کنند. برخی الگوها (مانند ENSO و IOD) ممکن است در فازهای خاصی یکدیگر را تقویت یا تضعیف کنند (تعامل الگوها) که منجر به تفاوت در شدت اثرگذاری بر رطوبت نسبی سواحل می‌شود؛ بنابراین، الگوهای پیوند از دور اقیانوس آرام، به ویژه SOI، PDO و ENSO، تأثیر معناداری بر رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران دارند و تفاوت‌های مکانی در تأثیرپذیری ایستگاه‌ها احتمالاً ناشی از عوامل محلی و تعامل پیچیده الگوهای جهانی است.

همچنین الگوهای اقیانوس آرام ۸۴، ۸۰، ۷۷، ۷۴، ۷۳، ۶۶، ۶۱، ۴۶ درصد از تغییرات رطوبت نسبی به ترتیب میناب، بندر جاسک، امیدیه، بندر لنگه، بوشهر، آبادان، بندرعباس و چابهار را تبیین می‌کنند. در عین اینکه توان تبیین الگوهای اقیانوس آرام در خصوص درصد تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه‌ها بیشتر از دمای هوا ارزیابی شد [۲۸] ولی در کل این الگوها با توجه به مقادیر ضرایب تعیین مدل‌ها به خوبی و تا حد زیادی توانستند تغییرات شاخص‌های رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران را تبیین و توجیه کنند. این یافته علاوه بر این که مؤید نتایج پژوهش محمودآبادی و همکاران [۲۹] در خصوص تأثیرگذاری الگوهای پیوند از دور در بارش سیستان و بلوچستان است، به حصول ضریب تبیین بالاتری نسبت به آن نیز اشاره دارد. همچنین الگوی فضایی همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که به طور کلی، ایستگاه‌های غربی (نزدیک به خلیج فارس) نسبت به ایستگاه‌های شرقی (نزدیک به دریای عمان) همبستگی قوی‌تری با الگوهای اقیانوس آرام نشان دادند.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، برگرفته از طرح پسادکتری و با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی است. بنابراین از زحمات معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی و دانشکده علوم اجتماعی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*. 1987;115(6):1083-1126. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)
- [9] Wolter K, Timlin M S. Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank? *Weather*. 1998;53(9):315-324. <https://doi.org/10.1002/joc.1005>.
- [10] Trenberth K E, Stepaniak D P. Indices of El Niño evolution. *Journal of Climate*. 2001;14(8): 1697-1701. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:IOENOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1697:IOENOE>2.0.CO;2).
- [11] Chen K, Gawarkiewicz G G, Lentz S J, Bane J M. (2014). Diagnosing the warming of the northeastern U.S. coastal ocean in 2012: A linkage between the atmospheric jet stream variability and ocean response. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2014;119(1):218-227. <https://doi.org/10.1002/2013JC009393>
- [12] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. (1997). ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*. 1997;10(5):1004-1020. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010%3C1004:ELIV%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010%3C1004:ELIV%3E2.0.CO;2)
- [۱۳] اسمعیل زاده زینب، صلاحی برومند، صابر مهنراز. آشکارسازی ارتباط بین تغییرات برخی از شاخص‌های رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران با الگوهای پیوند از دور اقیانوس هند. فصلنامه علمی علوم و فنون آب‌خاکی. ۱۴۰۲؛ ۴(۳): ۷۸-۵۹. <https://doi.org/10.22034/jamst.2023.544224.1119>
- [14] Chatterjee A, Anil G, Shenoy L R. Marine heatwaves in the Arabian Sea. *Ocean Science*. 2022;18(3):639-657. <http://dx.doi.org/10.5194/os-18-639-2022>
- [۱۵] قره‌خانی ابوذر، قهرمانی نوذر. بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران. آب‌وخاک. ۱۳۸۹؛ ۲۴(۴): ۶۳۶-۶۴۶.
- [۱۶] پوینده اسماعیل، مرادزاده نسترن، ناظم السادات سید محمدجعفر. تأثیر پدیده ال‌نینو- نوسانات جنوبی بر میزان رطوبت نسبی. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب‌وخاک؛ ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۳؛ دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران؛ ۱۳۸۳.
- [1] Rao R R, Sivakumar R. On the possible mechanisms of the evolution of a mini-warm pool during the pre-monsoon season and the genesis of onset vortex in the southeastern Arabian Sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1999;125(555):787-809. <https://doi.org/10.1002/qj.49712555504>
- [2] Kurian J, Vinayachandran P N. Mechanisms of formation of the Arabian Sea mini warm pool in a high-resolution Ocean General Circulation Model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2007; 112(C5): C05009. <https://doi.org/10.1029/2006JC003631>
- [3] Li T, Wang B, Wu B, Zhou T, Chang C P, Zhang R. Theories on formation of an anomalous anticyclone in western North Pacific during El Niño: A review. *Journal of Meteorological Research*. 2017;37(1):1-16. <https://doi.org/10.1007/s13351-023-2161-3>
- [4] Albert J, Gulakaram V S, Vissa N K, Bhaskaran P K, Dash M K. Recent Warming Trends in the Arabian Sea: Causative Factors and Physical Mechanisms. *Climate*. 2023;11(2):35. <https://doi.org/10.3390/cli11020035>
- [5] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, Wallace J M, Francis R C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997;78(6):1069-1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- [6] Newman M, Alexander M A, Ault T R, Cobb K M, Deser C, Di Lorenzo E, Mantua N J, Miller A J, Minobe S, Nakamura H, Schneider N, Vimont D J., Phillips A S, Scott J D, Smith C A. The Pacific Decadal Oscillation, revisited. *Journal of Climate*. 2016;29(12):4399-4427. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0508.1>
- [7] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981;109,784-812, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2)
- [8] Barnston A G, Livezey R E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency

- [25] Wang C, Fiedler P C. ENSO Variability and the Eastern Tropical Pacific: A Review. *Progress in Oceanography*. 2006;69(2-4):239-66.
- [26] Arruda A M d, Centeno L N, Nunes A B. Relation Between Major Climatic Indices and Subseasonal Precipitation in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Meteorology*. 2025;4(1):5. <http://dx.doi.org/10.3390/meteorology4010005>
- [27] Fadhel S, Dawei Han. Al-azerji S F W, Han D. On the connection between large-scale climate indices and rainfall variability in Iraq. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 2025; <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2025.101540>
- [28] صلاحی برومند، اسمعیل زاده زینب، صابر مهنراز. واکاوی همبستگی بین نوسانات حرارتی برخی ایستگاه‌های منتخب سواحل جنوبی ایران با برخی دورپیوندهای اقیانوس آرام. فصلنامه علمی علوم و فنون آب‌خاکی. ۱۴۰۳؛ <https://doi.org/10.22034/jamst.2024.544582.1202>
- [29] محمودآبادی مهدی، امیدوار کمال، مظفری غلامعلی، مزیدی احمد. بررسی الگوهای پیوند از دور مؤثر بر شاخص‌های حدی بارش (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۳۹۷؛ ۹ (۱۷)، ۲۸۰-۲۹۴. <http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.9.17.280>
- [17] باعقیده محمد، انتظاری علیرضا، شجاع فائزه. بررسی وقوع درجه‌های مختلف استرس‌های گرمایی در سواحل جنوب ایران. جغرافیا و پایداری محیط. ۱۳۹۱؛ ۲(۱): ۵۵-۶۸.
- [18] مسعودیان ابوالفضل، کاویانی محمدرضا. اقلیم‌شناسی ایران. اصفهان؛ انتشارات دانشگاه اصفهان. ۱۳۸۷. چاپ اول. ۱۸۲ صفحه.
- [19] خداقلی مرتضی، یغمایی لیلا، صبحی راضیه. بررسی ارتباط از دور سیگنال هواشناسی انسو با نوسانات بارندگی در استان اصفهان. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری؛ ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰؛ گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان، ایران؛ ۱۳۹۰.
- [20] McGregor S, Cassou C, Kosaka Y, & Phillips A S. (2022). Projected ENSO teleconnection changes in CMIP6. *Geophysical Research Letters*. 2022;49: e2021GL097511. <https://doi.org/10.1029/2021GL097511>
- [21] Ropelewski C F, Halpert M S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*. 1987;115(8):1606-26. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115%3C1606:GARSPP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C1606:GARSPP%3E2.0.CO;2)
- [22] Wunsch C. El Nino, La Nina, and the Southern Oscillation. S. George Philander. Academic Press, San Diego, CA, 1989. X, 293 pp., illus. International Geophysics Series. 1990;248:904-5. <https://doi.org/10.1126/science.248.4957.904>
- [23] Trenberth K E. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997;78(12):2771-77. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078%3C2771:TDOENO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078%3C2771:TDOENO%3E2.0.CO;2)
- [24] McPhaden M J, Zebiak S E, Glantz M H. ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*. 2006;314(5806):1740-45. <https://doi.org/10.1126/science.1132588>

پی‌نوشت‌ها

1. Arctic Amplification
2. Teleconnection Patterns
3. Trans-Niño Index
4. Arabian Sea Marine Heatwaves
5. www.esrl.noaa.gov
6. Backward
7. The Pacific Decadal Oscillation