

اثرهای رویدادهای خالص و ترکیبی پدیده های ENSO و IOD بر نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران

محمدرضا نظری رادثانی^{۱*}، فاطمه وطن پرست قلعه جوق^۲، سید محمدجعفر ناظم السادات^۳، برومند صلاحی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب گرایش هواشناسی کشاورزی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

^۳ استاد بخش مهندسی آب و رییس مرکز پژوهش های علوم جوی و اقیانوسی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه شیراز

^۴ استاد آب و هواشناسی، دانشکده ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷

چکیده

النینو نوسان جنوبی (ENSO) و دو قطبی اقیانوس هند (IOD) پدیده های جفت شده جوی - اقیانوسی می باشند که در پهنه ی گرمسیری اقیانوس های آرام و هند آشکار می شوند. این پژوهش نشان خالص و برهمکنش این دو پدیده بر بارش پاییزه شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۸ را مورد بررسی قرار داد. یافته های دگرگونی ناهنجاری بادهای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در رویدادهای خالص و ترکیبی دو پدیده، گوناگونی های فراوانی با فازهای روبه روی هم نشان می دهد. بررسی اثرات این الگوهای پیوند از دور در ۲۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی شمال باختری ایران، نشان داد که به طور کلی ENSO نفوذ بیشتری نسبت به IOD بر نوسان های بارش پاییزه در این گستره دارد. با چیرگی رویدادهای خالص ENSO بارش پاییزه برای گستره ی شمال باختری ایران تا ۹۶ درصد افزایش و ۳۷ درصد کاهش به ترتیب در فازهای گرم و سرد نسبت به میانگین بلندمدت دارد. این نوسان بارش پاییزه تحت تاثیر فازهای مثبت و منفی IOD به اندازه ی ۶۱ و ۳۱ درصد نسبت به میانگین بلندمدت به ترتیب، افزایش و کاهش را نشان می دهد. با جابه جایی رویدادهای خالص IOD از فاز مثبت به منفی، ۱۸ ایستگاه در این پهنه افزایش و تنها پنج ایستگاه کاهش بارش پاییزه را بروز دادند. در زمان همراهی پدیده النینو با فاز مثبت IOD بارش در کل پهنه تا ۶۰ درصد افزایش داشته است و خشک سالی پاییزه بیشتر در دورانی رخ داده که پدیده ی لائینا با فاز منفی IOD همراه بوده است. در سنجش میانگین بارش پاییزه فازهای روبه روی هم رویدادهای ترکیبی، یافته های آزمون من ویتنی به گونه ای معنی دار رخداد دوره های تر و خشک پاییزه را نمایان می سازد.

کلمات کلیدی: بارش پاییزه، ENSO، IOD، رویدادهای خالص، رویدادهای ترکیبی، شمال باختری ایران.

مقدمه

پراکنش نابرابر مکانی و زمانی منابع آب و ریزش های جوی، رخداد های سیل و خشک سالی را در بسیاری از گستره های زمین در پی دارد که برای کارکردهای کشاورزی بسیار مهم است. بنابراین اطلاعات درباره ی دگرگونی های بارش نه تنها برای شناخت پویایی آب وهوا بلکه برای کاربردهای آن در کشاورزی و پیشگیری و کاهش بلایای طبیعی ضروری است. برهمکنش میان اقیانوس ها، جو و خشکی ها از مؤلفه های بنیادین در سامانه های آب وهوایی زمین است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). پیوند از دور، ارتباط هم زمان یا با درنگ؛ میان نوسان های فراسنج های اقلیمی یک مکان با دگرگونی الگوهای فشار و دمای سطح دریا در گستره های جغرافیایی دیگر شناسانده شده است. دور پیوندها یک اصل مهم در آب و هواشناسی برای تبیین پدیده ها هستند. (دوستان، ۱۳۹۷). زمانی که دمای آب اقیانوس یک درجه گرم تر یا سردتر از معمول می گردد، انرژی فراوانی به ترتیب خارج و یا داخل جو زمین می گردد. بر هم خوردن تراز معمولی انرژی بین جو، خشکی و اقیانوس های جهان از پیامدهای پدیده ی ENSO^۱ است که در پهنه ی گرمسیری اقیانوس آرام مشاهده می شود. اثر پدیده ی ENSO در آب وهوای جهانی هنگامی چشمگیر می شود که این پدیده در شرایط مرزی خود قرار داشته باشد. منظور از شرایط مرزی این است که در فاز خنثی نباشد، یعنی در فازهای گرم یا سرد باشد. ElNino و LaNina را در مراجع علمی به ترتیب برای نام گذاری فازهای گرم و سرد ENSO^۲ به کار می برند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

ساجی و همکاران (۱۹۹۹) به یک حالت دو قطبی در خاور و باختر اقیانوس هند گرمسیری پی بردند. نوسان دو قطبی اقیانوس هند (IOD)^۲ با تفاوت دمای سطح دریا میان دو گستره ی باختری و خاوری در پهنه ی گرمسیری اقیانوس هند شناسانده می شود. از نگاه علمی، IOD یک پدیده ی اقیانوس و جو جفت شده شبیه به ENSO است که در اقیانوس هند رخ می دهد. همچنین مانند ENSO، دگرگونی در شیب دمای سطح دو سوی اقیانوس هند گرمسیری منجر

به تغییرات در بالاروی و ریزش هوا و اختلاف رطوبت در دو قطب یاد شده می شود. دو پدیده ی ENSO و IOD بر یکدیگر اثرات متقابلی دارند که برای پیش بینی هم کارایی دارند (لوو و همکاران، ۲۰۱۰). سانگ و همکاران (۲۰۱۹) به تحلیل همبستگی متقاطع موجب برای بررسی تکامل رابطه ی IOD-ENSO در یک دوره ی ۱۵۰ ساله پرداخته و دریافتند که رابطه ی IOD-ENSO در مقیاس های زمانی غالب ۱/۵، ۳ و ۲۴ سال از نظر آماری معنی دار بوده و رویدادهای مثبت (منفی) IOD و ElNino (LaNina) اغلب با تغییرپذیری ENSO و IOD در مقیاس زمانی بیشتر از ۳ سال تعیین می شود. سازوکاری که IOD به وسیله ی آن روی ENSO به ویژه در سال بعد اثر می گذارد توسط یوئی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده شد، در ابتدا تکامل جابه جایی شار گرمای نهان خاور سو (از باختر به خاور) به افزایش سرعت باد کمک کرده و در نتیجه ی افزایش تبخیر به مرور دمای سطح دریا را خنک می کند. تناوب ناحیه ای از باختر به خاور اقیانوس آرام رخ می دهد که به تشدید سرعت باد کمک می کند، در نتیجه می تواند تبخیر را تقویت کند و دمای سطح دریا را خنک سازد. چنین تغییراتی در پی واگرایی به نوبه خود می تواند باعث بالا آمدن غیرعادی آب سرد شود. با قوی شدن بادهای تجاری هم زمان یک فرآیند تخلیه ی آب گرم آغاز شده که این واگرایی اقیانوسی سبب بالا آمدن آب های سرد و کاهش عمق دماشیب^۳ و بروز LaNina می شود (لیم و هندون، ۲۰۱۷).

باران های موسمی در میانمار طی ماه های مه تا اکتبر تجربه می شود، این بارندگی ها با فاز مثبت IOD همبستگی منفی دارد و رویدادهای LaNina منجر به سیل در آنجا می شود (سین و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهش خو و همکاران (۲۰۱۶) مشخص گردید که فازهای مثبت و منفی هم زمانی دو پدیده ی ENSO و IOD به ترتیب افزایش بارندگی های پاییزه در جنوب و شمال چین را در پی دارد. لی و ژائو (۲۰۱۹) اثرات فاز گرم ENSO و فاز مثبت IOD را به صورت خالص^۴ (جدداً) و ترکیب شده بر بارش های فصلی چین مورد بررسی قرار دادند، مشخص شد که پاسخ های فصلی بارش از فصلی به فصل دیگر ناهمگونی

3 Thermocline

4 Pure

1 El Niño-Southern Oscillation

2 Indian Ocean Dipole

خنثی، رویدادهای گرم ENSO به طور قابل ملاحظه‌ای شدت و احتمال وقوع دوره های خشک سالی (مرطوب) پاییزی را به‌ویژه برای پهنه های جنوبی ایران کاهش (افزایش) می‌دهد. از سوی دیگر، زمانی که LaNina شدید حاکم می‌شود، احتمال شرایط مرطوب (خشک) کم (زیاد) و احتمال خشک سالی شدید پاییزی تشدید می‌شود (ناظم السادات و قاسمی ۲۰۰۴). نمایه‌ی SOI^۵ در فصل تابستان با بارش‌های پاییزه در گستره های باختری و شمال باختری ایران رابطه‌ی معنی‌دار و پایداری دارد (روغنی و همکاران، ۱۳۹۱). هم زمانی فاز گرم ENSO با فاز گرم PDO^۶ از ۱۰ تا ۹۰ درصد اندازه‌ی بارش پاییزه در پهنه‌ی جنوبی ایران را افزایش می‌دهد، درحالی‌که ناهمساز با آن چیرگی هم زمان فازهای سرد این دو پدیده با خشک سالی‌های کم مانند در پاییز برای جنوب ایران همراه است (قائد امینی و همکاران، ۱۳۹۳).

پوراصغر و همکاران (۲۰۱۲) بر پایه‌ی تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهداتی با کاربرد روش‌های آماری خطی نتیجه گرفتند که تغییرات بین سالانه‌ی بارندگی روی نیمه‌ی جنوبی ایران در ماه‌های اکتبر و نوامبر بیشتر از ENSO با IOD مرتبط است. پوراصغر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند در فصل بارش برای نیمه‌ی جنوبی ایران ناهنجاری شار نم جنوب خاوری بر روی دریای عرب به شکل واچرخندی درآمده و نم بیشتری از دریای عرب، دریای سرخ و خلیج فارس هنگام چیرگی فاز مثبت IOD به گستره‌های جنوبی ایران منتقل می‌شود. از سوی دیگر، شار نم در ایران طی دوران IOD منفی دارای ناهنجاری شمالی است که منجر به کاهش ورود نم و بارندگی می‌شود. پوراصغر و همکاران (۱۳۹۶) با بهره‌گیری از روش تابع متعامد تجربی (EOF) برای بررسی تأثیرات دمای سطح آب اقیانوس هند روی تغییرات زمانی مکانی بارش و پهنه‌بندی آن در نیمه‌ی جنوبی ایران طی فصل بارش نتیجه گرفتند که؛ هنگام دوره‌های ترسالی و خشک سالی یک شیو دمایی میان خاور و باختر اقیانوس هند گرمسیری دیده می‌شود. این شیو دمایی هنگام ترسالی ناهنجاری منفی در خاور و مثبت در باختر دارد که سبب تغییر سوی باد شده و جریان شار نم، خاوری (خاور وزان یا باختر سو: از خاور به

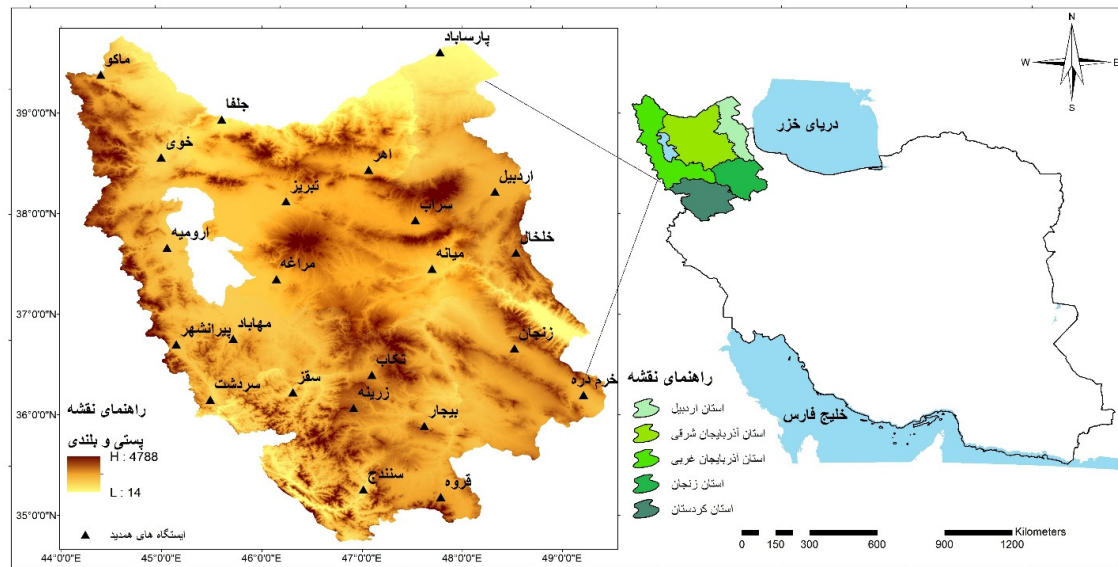
دارد. همچنین یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه و تجزیه و تحلیل همبستگی جزئی نشان از آن دارد که IOD بیشتر به بارش غیرعادی در جنوب چین هنگام پاییز و در منطقه‌ی میان رودخانه‌ی یانگ تسه و رودخانه‌ی زرد برای تابستان بعدی کمک می‌کند. درحالی‌که ENSO در درجه‌ی اول سبب افزایش بارش در خاور چین طی زمستان و بهار می‌شود.

افزایش انتقال شار خالص نم (رطوبت) اتمسفر روی عربستان سعودی هنگام ElNino هم زمان با فاز مثبت IOD بیشتر است (چاکروبارتی و همکاران، ۲۰۰۶). ساها و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر فاز IOD و ENSO بر تغییرپذیری بارندگی سالانه‌ی موسمی تابستانه‌ی شمال خاوری هند را مورد مطالعه قرار دادند و مشخص شد که بارش از خلیج بنگال به طرف منطقه‌ی سوماترا کاهش می‌یابد و سال‌های دارای فاز منفی IOD سبب وزش بادهای موسمی جنوب باختری می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد؛ یک ناهنجاری مثبت در طول سال‌های رویداد ElNino به دلیل ناهنجاری دمای سطح دریا در خاور و مرکز اقیانوس آرام قبل از ماه آغازین موسمی تابستانی وجود دارد. از جمله پژوهش‌های دیگری که در سطح جهان به بررسی تأثیرات ترکیبی ENSO و IOD روی بارش پرداخته است می‌توان به کای و همکاران (۲۰۱۱)، لیگوری و همکاران (۲۰۲۲) در استرالیا و نور اوتامی و هدایت (۲۰۱۶) در اندونزی اشاره کرد. بارلو و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند با افزایش ناهنجاری‌های مثبت دمای سطح دریا در استخر آب گرم، خشک‌سالی شدید در مرکز و جنوب باختری آسیا رخ می‌دهد. هنگام LaNina افزون بر خشک سالی، افزایش دما بر میزان تبخیر و شدت ذوب برف در جنوب باختری آسیا نمود پیدا می‌کند (بارلو و همکاران، ۲۰۱۶).

ناظم السادات و کوردی (۲۰۰۰) نشان دادند که یک رابطه‌ی همبستگی میان ENSO و بارش‌های پاییزه‌ی ایران وجود دارد. در پژوهش ایشان نشان داده شد؛ شمال باختری ایران از جمله گستره‌هایی است که در آن بارش پاییزه به اندازه‌ی بیشتری زیر نمود فازهای ENSO قرار می‌گیرد. یافته‌های به‌دست‌آمده در بررسی صدک‌های بارش هنگام رویدادهای ENSO نشان از آن دارد که در مقایسه با دوره‌ی

5 Southern Oscillation Index

6 Pacific Decadal Oscillation



شکل ۱. جایگاه جغرافیایی ۲۳ ایستگاه همدیدی در گستره ی شمال باختری ایران

بارش گستره ی جنوب مرکزی ایران پرداختند، افزایش ضریب همبستگی منفی موجود میان بارش و مقادیر SST هنگام پاییز در دوره ی LaNina از یافته های پژوهش ایشان است. بیشتر مطالعات، اثرات فردی ENSO یا IOD بر بارش در مناطق گوناگون ایران را بررسی کرده اند و تعداد کمی از آن ها تأثیر ترکیبی هر دو پدیده بر بارش منطقه ای را در نظر گرفته اند. در مطالعه ی پیش رو، اثرات جداگانه و هم زمان پدیده های ENSO و IOD بر نوسانات بارش در شمال باختری ایران هنگام پاییز و سازوکارهای احتمالی زیربنای این تأثیرات مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

الف: داده های بارش دیده بانی شده و منطقه مورد مطالعه داده ی ماهانه ی بارش برای ۲۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی در شمال باختری ایران بر پایه ی موجود بودن از سازمان هواشناسی ایران دریافت گردید. شکل ۱ در گستره ی میان عرض های ۳۵ تا ۴۰ درجه ی شمالی و طول های ۴۴ تا ۵۰ درجه ی خاوری، پراکنش مکانی این ایستگاه ها را نشان داده است. همچنین جدول ۱ بازه ی زمانی برای دوره ی آماری موجود در هر ایستگاه را نشان می دهد.

باختر) می شود. وارون چنین شرایطی در دوره ی خشک سالی روی شیو دمایی سطح آب اقیانوس هند گرمسیری وجود دارد. فلاح زاده و همکاران (۱۳۹۷) با کاربرد مدل شبکه ی عصبی دریافتند؛ پنج نمایه ی نوسان دهه های اقیانوس آرام (PDO)، Nino4، چند متغیره ی ENSO (MEI)، دو قطبی اقیانوس هند (IOD) و نوسان مادن جولیان (MJO) در دوره ی زمانی شش ماهه با خشک سالی های حوضه ی قره قوم دارای ارتباط است. میرزایی حسنی و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه ی دریاچه ی ارومیه اثر الگوهای پیوند از دور بر بارش و خشک سالی را بررسی کردند و نتایج نشان داد که شاخص NAO^۹ بیشترین همبستگی را دارد، نتایج پژوهش طلوعی و همکاران (۱۴۰۰) از یافته های آنان پشتیبانی می کند. در واکاوی ارتباط IOD با تغییرپذیری بارش هفتگی تابستانه در جنوب خاوری ایران آزمون همبستگی و تبدیل موجک گسسته (DWT) به کار گرفته شد، نتایج ارتباط قوی و معنی داری را میان IOD و بارش ایستگاه های زاهدان، ایرانشهر و بندرعباس نشان داد (آرمش و همکاران، ۱۳۹۷). محمدی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی ارتباط پیوند از دور SST^{۱۰} و ENSO بر

7 Multivariate ENSO Index

8 Madden-Julian Oscillation

9 North Atlantic Oscillation

10 Sea Surface Temperature

جدول ۱. طول دوره ی آماری ۲۳ ایستگاه همدیدی در شمال باختری ایران

ایستگاه	دوره آماری	ایستگاه	دوره آماری	ایستگاه	دوره آماری
اردبیل	۱۹۷۷-۲۰۱۸	جلفا	۱۹۸۶-۲۰۱۸	سقز	۱۹۶۱-۲۰۱۸
ارومیه	۱۹۶۱-۲۰۱۸	خرمدره	۱۹۸۶-۲۰۱۸	سنندج	۱۹۶۱-۲۰۱۸
اهر	۱۹۸۶-۲۰۱۸	خلخال	۱۹۸۷-۲۰۱۸	قروه	۱۹۸۹-۲۰۱۸
بیجار	۱۹۸۸-۲۰۱۸	خوی	۱۹۶۱-۲۰۱۸	ماکو	۱۹۸۵-۲۰۱۸
پارسایاد	۱۹۸۵-۲۰۱۸	زرینه	۱۹۸۹-۲۰۱۸	مراغه	۱۹۸۴-۲۰۱۸
پیرانشهر	۱۹۸۷-۲۰۱۸	زنجان	۱۹۶۱-۲۰۱۸	میانه	۱۹۸۷-۲۰۱۸
تبریز	۱۹۶۱-۲۰۱۸	سراب	۱۹۸۷-۲۰۱۸	مهاباد	۱۹۸۵-۲۰۱۸
تکاب	۱۹۸۶-۲۰۱۸	سردشت	۱۹۸۸-۲۰۱۸		

ب: داده و فازبندی نمایه ی دورپیوندها

داده ی ماهانه ی نمایه ی BEST جهت محاسبه ی ساده و ارائه ی نمایه ی ENSO که برای اهداف تحقیقاتی طراحی شده است از پایگاه اینترنتی <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list> در دوره ی ۲۰۲۱-۱۹۴۸ برداشت گردید. SOI اختلاف فشار میان جزیره ی تاهیتی در مرکز اقیانوس آرام و داروین در شمال استرالیا است، Nino ۳.۴ میانگین دمای سطح دریا در گستره ای کران مند به ۵ درجه ی شمالی تا ۵ درجه ی جنوبی و ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه ی باختری می باشد که برای سنجش قدرت ENSO در اقیانوس آرام گرمسیری به کار می رود. از آن جا که ENSO یک پدیده ی جفت شده میان جو و اقیانوس است، برای آشکارسازی هماهنگی هر دو فرآیند جوی و اقیانوسی این پدیده، شاخص BEST ساخته شده است. این نمایه (شاخص) بر پایه ی ترکیب یک جزء اقیانوسی پدیده ی ENSO (Nino ۳.۴ SST) و یک جزء جوی این پدیده یعنی نمایه ی نوسان جنوبی (SOI) که هر دو استاندارد شده اند، شناسانده می شود. نمایه ی BEST^{۱۱} به خوبی با نمایه ی بارش ENSO (ESPI)^{۱۲} که به وسیله ی کورتیس و آدلر (۲۰۰۰) ارائه شده، همبستگی دارد و به درستی نیرو و جایگاه گردش واکر^{۱۳} (واکر، ۱۹۲۴) (کتز، ۲۰۰۲) را توصیف می کند. اعداد مثبت و منفی BEST به ترتیب بیانگر فازهای گرم (ElNino) و سرد (LaNina) ENSO هستند.

سری زمانی ماهانه ی نمایه ی حالت دو قطبی (DMI)^{۱۴} برای دوره ی زمانی همانند با نمایه ی BEST (از ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۱) از پایگاه اینترنتی https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/DMI برداشت گردید. DMI که شیو اختلاف از میانگین دمای سطح دریا میان باختر اقیانوس هند استوایی (۵۰ تا ۷۰ خاوری و ۱۰ جنوبی تا ۱۰ شمالی) و جنوب خاوری اقیانوس هند استوایی (۹۰ تا ۱۱۰ خاوری و ۱۰ جنوبی تا خط استوا) است، اندازه ی نمایه ی دو قطبی اقیانوس هند (IOD) را نشان می دهد. یک دوره ی IOD مثبت با آب های سردتر از میانگین در خاور اقیانوس هند استوایی و گرم تر از میانگین در باختر اقیانوس هند استوایی مشخص می شود. ناهمباز با آن یک دوره ی IOD منفی با آب های گرم تر از میانگین در خاور اقیانوس هند استوایی و سردتر از میانگین در باختر استوایی اقیانوس هند مشخص می شود. مقادیر استاندارد شده ی DMI مثبت (منفی) نمایانگر فاز مثبت (منفی) IOD است. شکل ۲ جایگاه جغرافیایی گستره های مربوط به پایش دو پدیده ی IOD و ENSO در اقیانوس های آرام و هند را به نمایش می گذارد.

پیوند نزدیک میان IOD و ENSO گزینش جداسازی این دو پدیده را چالش برانگیز کرده است. به دلیل این ارتباط تنگاتنگ میان ENSO و IOD (لوو و همکاران، ۲۰۱۰) (یوئی و همکاران، ۲۰۲۱)، برای دسته بندی ریزبینانه تر فازهای آن ها؛ شبیه به روش (آشوک و همکاران، ۲۰۰۴) (لی و ژائو، ۲۰۱۹) از فازهای خالص هر پدیده بهره گیری می شود تا اثر

11 Bivariate EnSo Timeseries

12 ENSO Precipitation Index

13 Walker Circulation

14 Dipole Mode Index

پدیده ی دیگر هنگام بررسی اثر جداگانه، حذف شده باشد. از این رو در هر سال از میانگین حسابی سه ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر در نمایه های BEST و DMI سری زمانی فصل پاییز در دوره ی ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۱ برای پدیده های ENSO و IOD ساخته شد. سپس این سری های زمانی از بزرگ به کوچک مرتب شده و یک سوم های بالایی و پایینی (هر یک حدود ۲۵ سال) به ترتیب برای فازهای گرم (مثبت) و سرد (منفی) پاییز ی این دو پدیده در نظر گرفته می شود.

با وجود رابطه ی تنگاتنگ میان ENSO و IOD، سال های زیادی شامل حضور دو پدیده در فاز مشترک یا رویداد ترکیبی می شود (دو پدیده در یک فاز مشخص هم زمان هستند). از این رو، برای بررسی اثر جداگانه و تنهای هر یک از این دو پدیده؛ خالص سازی سال های رخداد هر کدام نسبت به دیگری لازم است. در نتیجه فازهای خالص (معرف اثر تنها) هر پدیده، هم زمان با فاز خنثی پدیده ی دیگر پیدا است، تا سال مشترکی میان رویدادهای خالص و رویدادهای ترکیبی (در پاییز) وجود نداشته باشد. برای مثال سال های مربوط به رویدادهای خالص PIOD و El از هم مجزا بوده و در سال های رویدادهای ترکیبی El-PIOD نیز وجود ندارند، زیرا اثر خالص مطرح است و به طور کامل باید از پدیده ی دیگر جداسازی شود.

یک رویداد خالص برای فازهای گرم و سرد ENSO زمانی شناسایی می شود که در آن سال، IOD در فازهای مثبت و منفی نباشد. به همین شیوه رویداد خالص فازهای مثبت و منفی IOD زمانی است که هم زمان با فازهای گرم و سرد ENSO نیست. به دیگر سخن فازهای خالص هر پدیده همراه با سال هایی در نظر گرفته می شود که پدیده ی دیگر در فاز خنثی (یک سوم میانی در سری زمانی مرتب شده) است. رویدادهای ترکیبی و فازهای جفت شده، از هم زمانی هر دو فاز گرم (مثبت) و سرد (منفی) این دو پدیده به دست می آید. با این پیمانه ها، رویدادهای خالص و ترکیبی به گونه ای شناسانده می شوند که هیچ اشتراکی باهم ندارند.

در جدول ۲ شماره ی سال های چهار گروه از فازهای خالص و چهار گروه از فازهای ترکیب شده ی ENSO و IOD برای فصل پاییز آورده شده است. سال های همراه با چیرگی

فازهای خالص گرم (ElNino) و سرد (LaNina) ENSO در پاییز به ترتیب با El و La نشان داده شده اند. فازهای خالص ElNino و LaNina، فازهای روبه روی هم هستند. سال هایی که در دسته های PIOD و NIOD جای دارند به ترتیب همراه با رویداد های خالص مثبت و منفی IOD پاییزه هستند. فازهای PIOD و NIOD، فازهای روبه روی هم در پدیده ی IOD هستند. دوره ها ی همراهی ElNino و فاز مثبت IOD در پاییز با EL-PIOD، هم زمانی LaNina با فاز منفی IOD به وسیله ی La-NIOD نشان داده می شوند. رویدادهای ترکیبی EL-PIOD و La-NIOD، فازهای روبه روی هم در شرایط جفت شدن دو پدیده هستند. همچنین برای نام گذاری رویدادهای هم زمانی ElNino با فاز منفی IOD و LaNina با فاز مثبت IOD به ترتیب El-NIOD و La-PIOD به کار گرفته شده است که این دو فاز ترکیبی نیز روبه روی هم در نظر گرفته می شود.

پ: تهیه ی نقشه های ترکیبی

برای شناخت نشان فازهای خالص و ترکیب شده ی پاییزه ی دو پدیده ی ENSO و IOD بر دگرگونی اندازه های بارش و فرآیند زایش و رسیدن توده هواهای باران را به پهنه ی مورد بررسی هم زمان با چیرگی این فازها، نقشه های ناهنجاری بارش و ناهنجاری باد تراز ۸۵۰ میلی بار برگرفته از پایگاه اینترنتی <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl> با بهره گیری از نرم افزار GrADS^{۱۵} روی هم انداخته و ساخته شد. این نقشه ها تأثیر هشت فاز یادشده بر بارندگی در طول پاییز از نگر یک واکنش فرا گرمسیری را نشان می دهد. سوگیری و بزرگی بادهای نشان دهنده ی عدم تقارن در جریان های قوی، ضعیف و انتقال نم به (از) شمال باختری هم زمان با دوران تر (خشک) است.

ت: روش آماری برای تحلیل اثر در داده های ایستگاهی

در هر سال از مجموع بارش سه ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر برای هر ایستگاه، داده ی بارش پاییزه ساخته شد. سپس در هر یک از ۲۳ ایستگاه برای سال های متناظر با فازهای یاد شده

ایستگاه، برای سنجش اختلاف میانگین در فازهای روبه روی هم؛ سه بار آزمون من-ویتنی در گروه های روبه روی هم به کار گرفته شد.

بنیان این روش سنجش و مقایسه ی میانگین گروه ها به صورت جفت (دوبه دو) است. فرضیه ی صفر برای این آزمون، برابری میانگین گروه ها است. هنگامی که فرض صفر رد شود به این معنی است که میانگین دو گروه آزمایش شده با یکدیگر متفاوت است. رد فرض صفر ($P-value < 0/05$) بیان گر معنی داری اثرات فازهای روبه روی هم از نگاه آماری بر میانگین بارش پاییزه و برای هر ایستگاه می باشد و روشن می سازد که میانگین بارش در فازهای روبه روی هم با پنج درصد خطا گوناگونی دارد. به دیگر سخن جا به جایی فازهای روبه روی هم نقش ارزنده ای بر نوسان بارش پاییزه در آن ایستگاه دارد. چنانچه $P-value$ کوچک تر از خطای $a = 0/01$ شود آنگاه با ۹۹ درصد اطمینان نمی توان فرض برابری میانگین ها را پذیرفت که موجب رد فرض صفر شده و اختلاف معنی دار در میانگین فازها را نشان می دهد.

ث: تهیه نقشه ها با GIS

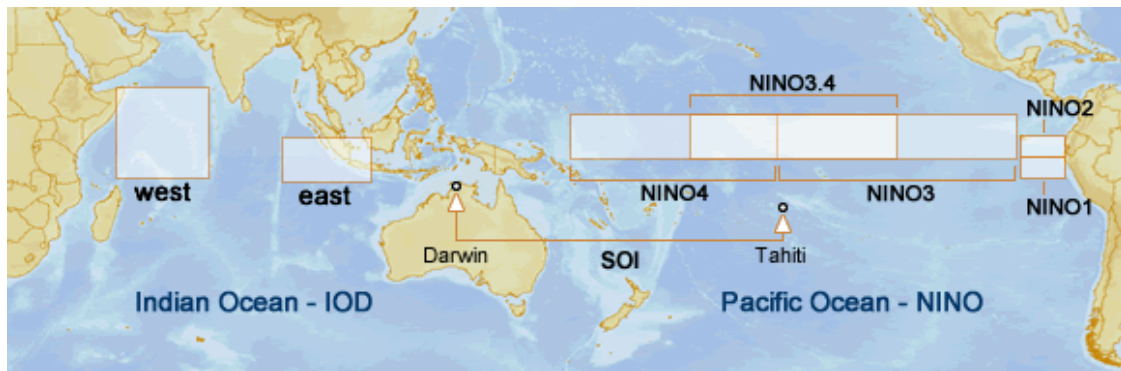
با کاربرد روش وزن دهی وارون فاصله (IDW)^{۱۷} در ArcMap، درون یابی نسبت میانگین شش فاز خاص و ترکیبی به میانگین دراز مدت و نسبت سه دسته ی فازهای روبه روی هم، ۹ نقشه ی پهنه بندی برای نمایش پراکنش جغرافیایی اندازه ی نسبت ها روی گستره ی شمال باختری ایران تهیه گردید. نقشه های به دست آمده بزرگی و شدت تغییرات بارش در حالات یاد شده را برای گستره ی مورد بررسی به نمایش می گذارد که ناشی از اثرات دورپیوندی جابه جایی این فازها است.

نتایج و بحث

در شکل های ۳ تا ۶، عدد زیر نماد فلش در قسمت پایین و سمت راست نقشه ها، مقیاس سرعت ناهنجاری های باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بر حسب متر بر ثانیه است. پس طول بردارها در شکل های ۳ تا ۶ با توجه به راهنمای مقیاس

در جدول ۲، میانگین بارش پاییزه ی ایستگاهی هم زمان با چیرگی هر فاز محاسبه شد. در هر یک از ایستگاه ها میانگین بارش پاییزه ی فازها با نمادهای $\bar{P}_{El}$ ، $\bar{P}_{La}$ ، $\bar{P}_{PIOD}$ ، $\bar{P}_{NIOD}$ ، $\bar{P}_{La-NIOD}$ و $\bar{P}_{El-PIOD}$ نشان داده می شود. با نگرش به نادر بودن رخداد های ترکیبی $El-NIOD$ و $La-PIOD$ و نبود داده ی بارش ایستگاهی (جدول ۱) بسنده در سال های مربوط به این فازها (جدول ۲) از محاسبه ی میانگین های داده ی ایستگاهی در این دو فاز چشم پوشی شده است. برای هر ایستگاه میانگین بلندمدت (۳۰ ساله ی ۱۹۸۹-۲۰۱۸) بارش پاییزه محاسبه و با نماد $\bar{P}$ نشان داده می شود. نسبت میانگین بارش پاییزه در دوره ی چیرگی سال های هر فاز به میانگین بلندمدت بارش پاییزه برای هر یک از ۲۳ ایستگاه سنجیده می شود. هرگاه این نسبت به ترتیب بزرگ تر و کوچک تر از یک باشد، نشان از رخداد دوره های تر و خشک هنگام چیرگی هر فاز در آن ایستگاه دارد. به اندازه ی نسبت این میانگین ها می توان رخداد دوره های تر و خشک در گستره ی شمال باختری ایران را به چیرگی فازهای خالص و دو فاز ترکیبی وابسته دانست.

در هر ایستگاه نسبت میانگین بارش پاییزه برای سه حالت فازهای روبه روی هم $\bar{P}_{El} / \bar{P}_{La}$ ، $\bar{P}_{El} / \bar{P}_{PIOD}$ و $\bar{P}_{La-NIOD} / \bar{P}_{El-PIOD}$ محاسبه گردید. هرگاه این نسبت بزرگ تر از یک باشد نشان دهنده ی افزایش میانگین بارش هنگام سال های صورت کسر در برابر میانگین بارش هم زمان با سال های مخرج کسر است. چنانچه این نسبت نزدیک به یک شود، گوناگونی قابل توجهی در میانگین بارش پاییزه ی فازهای روبه روی هم در آن ایستگاه وجود ندارد. همچنین جهت آزمودن اختلاف میانگین بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم، برای هر ایستگاه با کاربرد آزمون ناپارامتری من-ویتنی^{۱۶} در نرم افزار SPSS، سنجش بزرگ تر بودن میانگین یکی از دو گروه داده نسبت به دیگری انجام شد. آزمون من-ویتنی معادل ناپارامتری آزمون استودنت دو نمونه ی مستقل است. به کارگیری این آزمون نشان می دهد در چه ایستگاه هایی ناهمسانی معنی دار از دیدگاه آماری، میان میانگین های بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم وجود دارد. به این ترتیب در هر



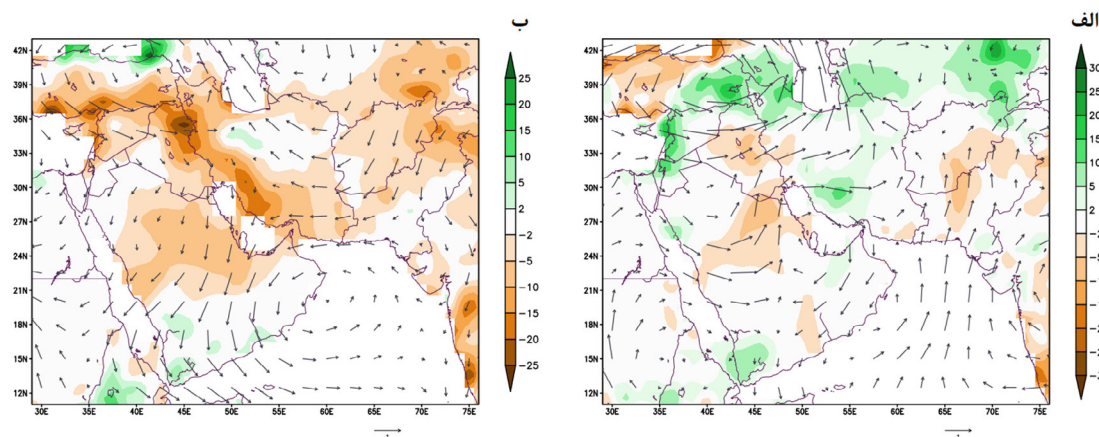
شکل ۲. گستره های مورد استفاده برای پایش ENSO و IOD روی پهنه های گرمسیری اقیانوس های هند و آرام
منبع: <http://html.about/indices/enso/climate/au.gov.bom.www/>

جدول ۲. شماره ی سال های مربوط به فازهای خالص و ترکیبی دو پدیده ی ENSO و IOD در پاییز

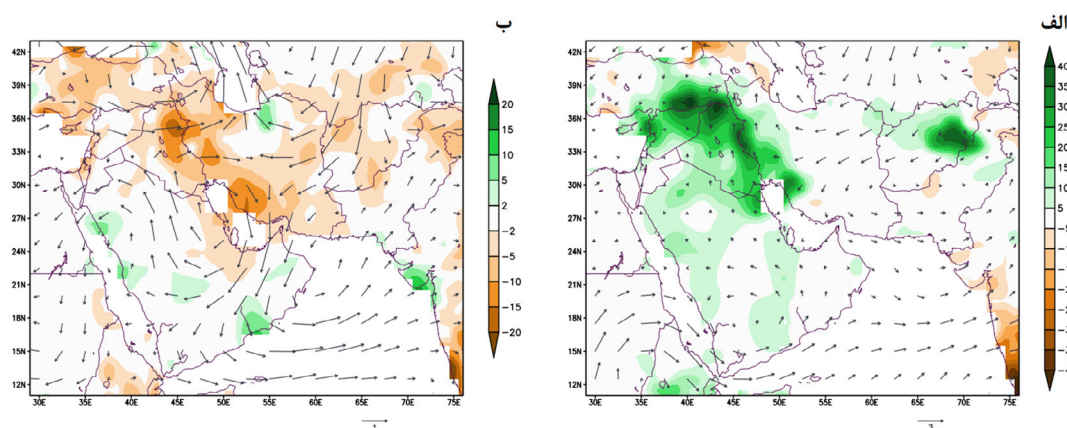
رویدادهای خالص				رویدادهای ترکیبی			
El	La	PIOD	NIOD	El-PIOD	La-NIOD	El-NIOD	La-PIOD
۱۹۵۱	۱۹۷۱	۱۹۶۷	۱۹۴۸	۱۹۶۳	۱۹۴۹	۱۹۵۷	۱۹۶۱
۱۹۶۵	۱۹۷۳	۲۰۱۲	۱۹۵۹	۱۹۷۲	۱۹۵۰	۱۹۵۸	۲۰۱۱
۱۹۶۹	۱۹۸۳	۲۰۱۳	۱۹۶۰	۱۹۷۷	۱۹۵۴	۱۹۶۸	۲۰۱۷
۱۹۷۶	۱۹۸۸	۲۰۱۸	۱۹۶۶	۱۹۸۲	۱۹۵۵	۱۹۹۲	۲۰۲۰
۱۹۷۹	۱۹۹۹		۱۹۷۸	۱۹۸۷	۱۹۵۶		
۱۹۸۶	۲۰۰۰		۱۹۸۰	۱۹۹۱	۱۹۶۴		
۱۹۹۳	۲۰۰۷		۱۹۸۱	۱۹۹۴	۱۹۷۰		
۲۰۰۴	۲۰۰۸		۱۹۸۹	۱۹۹۷	۱۹۷۴		
	۲۰۲۱		۱۹۹۶	۲۰۰۲	۱۹۷۵		
			۲۰۰۵	۲۰۰۶	۱۹۸۴		
			۲۰۱۶	۲۰۰۹	۱۹۹۸		
				۲۰۱۴	۲۰۱۰		
				۲۰۱۵			
				۲۰۱۹			

در پی دارد که از سرعت این بادهای کاسته و سبب خشکی در گستره ی شمال باختری ایران گشته است. در شکل ۴- الف و ۴- ب به ترتیب با رویدادهای خالص فازهای مثبت و منفی IOD هنگام پاییز افزایش و کاهش بارش نسبت به میانگین اقلیمی به ویژه در بخش های باختری و جنوبی منطقه مورد مطالعه آشکار می شود. همان گونه که در شکل ۴ (الف و ب) دیده می شود به جز جریان جنوب باختری دریای سرخ، گوناگونی کمتری در جهت و سرعت بادهای تراز ۸۵۰

پیکان آن نقشه، گویای بزرگی سرعت ناهنجاری های باد است. طی سال های یادشده در جدول ۲ هم زمان با چیرگی فازهای گرم و سرد خالص ENSO در پاییز برای گستره ی شمال باختری ایران، افزایش و کاهش بارش به ترتیب در ElNino و LaNina خالص نسبت به میانگین درازمدت رخ می دهد (شکل ۳). در شکل ۳- الف بادهای باختری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به سمت شمال باختری ایران می وزد. در مقایسه با شکل ۳- ب بروز رویداد خالص LaNina واداشتی



شکل ۳. اختلاف از میانگین بارش و باد برداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هنگام چیرگی رویدادهای خالص El (الف) و La (ب) در پاییز. هنگام چیرگی فازهای یادشده، مناطق با سایه های سبز (قهوه ای) رنگ دارای افزایش (کاهش) بارش پاییزه نسبت به میانگین درازمدت (۱۹۸۱-۲۰۱۰) برحسب میلی متر هستند و بردارها؛ سوگیری و تندی باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین بلندمدت برحسب [m/s] را نمایش می دهند.

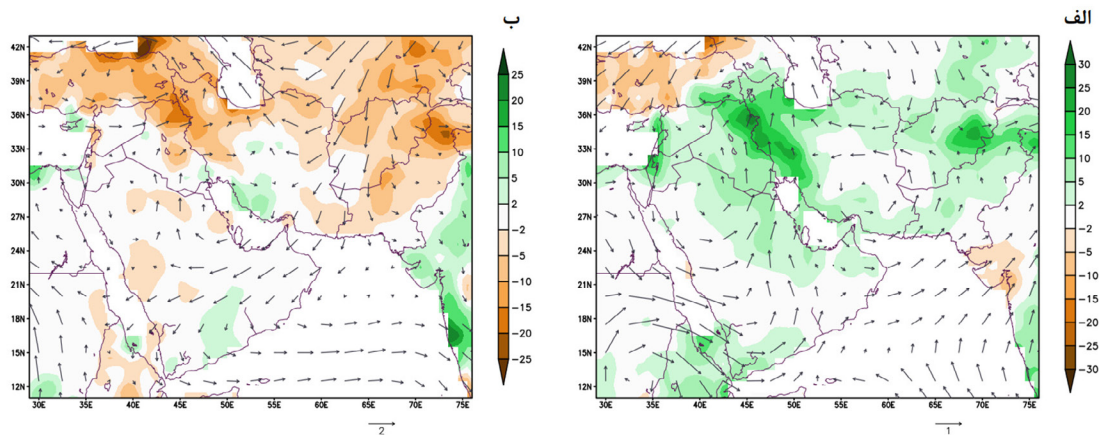


شکل ۴. مانند شکل ۳ ولی برای دوره های فازهای خالص PIOD (الف) و NIOD (ب)

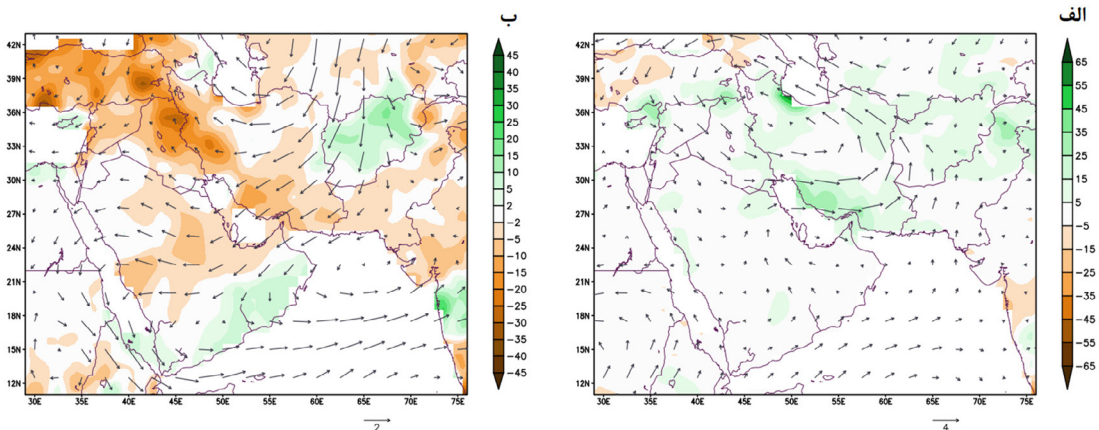
بادها از طریق قطار موجی که از دریای عرب و دریای سرخ به همراه گذر از خلیج فارس سرچشمه می گیرد، سبب ترابرد نم (رطوبت) از روی این پهنه های آبی به سوی شمال باختری ایران می شود (شکل ۵-الف). در شکل ۵-ب همراه با چیرگی رویداد ترکیبی LaNina با فاز منفی IOD هنگام پاییز، هیچ واداشتی برای رطوبت رسانی از دریای سرخ به ایران و به ویژه شمال باختری ایران در اختلاف از میانگین بادهای برداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال دیده نمی شود. این ناهمسانی در سوگیری و تندی بادها هنگام سنجش و مقایسه ی این دو رویداد روبه روی هم، سبب ترسالی و خشک سالی به ترتیب

هکتوپاسکال نسبت به میانگین بلندمدت با جابه جایی فازهای خالص IOD وجود دارد.

هم زمان با رخداد فازهای ترکیبی El-PIOD (شکل ۵-الف) و La-NIOD (شکل ۵-ب) افزایش و کاهش بارش پاییزه نسبت به میانگین درازمدت به طور کامل روی گستره ی شمال باختری ایران دیده می شود. افزون بر این، چیرگی El-PIOD (شکل ۵-الف) بر تغییرپذیری بارش پاییزه در گستره ی مورد بررسی همراه با ناهنجاری های باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ناشی از دگرگونی (تغییرات) گرمایشی سطح آب دریاها اثر می گذارد. این دگرگونی ها در جهت گیری



شکل ۵. مانند شکل ۳ ولی برای فازهای ترکیبی El-PIOD (الف) و La-NIOD (ب)



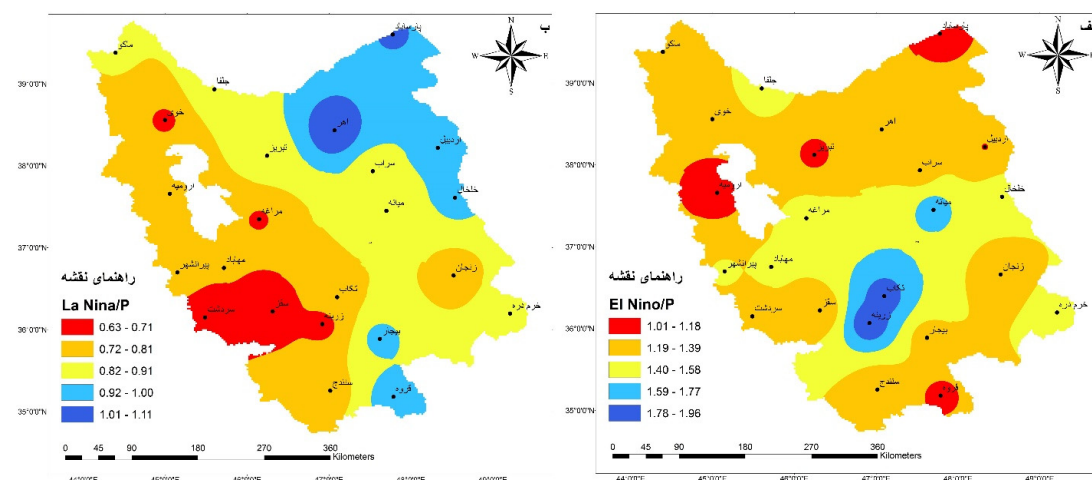
شکل ۶. مانند شکل ۳ ولی برای فازهای ترکیبی El-NIOD (الف) و La-PIOD (ب)

چیرگی رویداد ترکیبی La-PIOD (شکل ۶-ب) در پاییز، جریان نسبتاً قوی از شمال و خاور به سوی گستره ی شمال باختری ایران روانه می شود که با عبور از پهنه های خشکی مانند ازبکستان، ترکمنستان و بخش های کویری ایران توده هوای خشکی را به شمال باختری ایران رسانده که سبب کاهش بارش پاییزه گشته است.

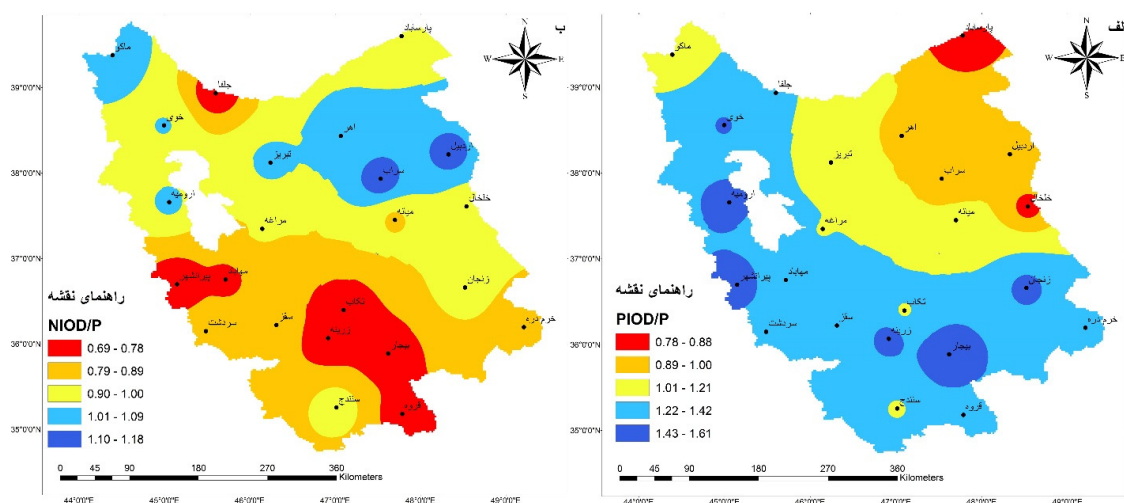
به طور کلی فازهای گرم و مثبت هر دو پدیده موجب ورود نم با عبور بادهای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از روی پهنه هایی با آب های گرم به ایران و افزایش بارش در پاییز می شود. در حالی که فازهای سرد و منفی هر دو پدیده خروج بادهای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از ایران همراه یا ورود این بادهای

در فازهای ترکیبی El-PIOD و La-NIOD هنگام پاییز شده است.

شکل ۶-الف از تفاوت بارش و باد برداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین درازمدت برای فاز رویداد ElNino هم زمان با فاز منفی IOD در پاییز به دست آمده است. شکل ۶-ب نیز اختلاف از میانگین بارش و باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را هنگام رویداد مشترک LaNina با فاز مثبت IOD در پاییز نشان می دهد. در فاز ترکیبی El-NIOD (شکل ۶-الف) سوگیری باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال باختری و همراه با جریان جنوبی است که نشان دهنده ی جریان نیرومند باختری برای شمال باختری ایران است. ناهمساز با آن هنگام



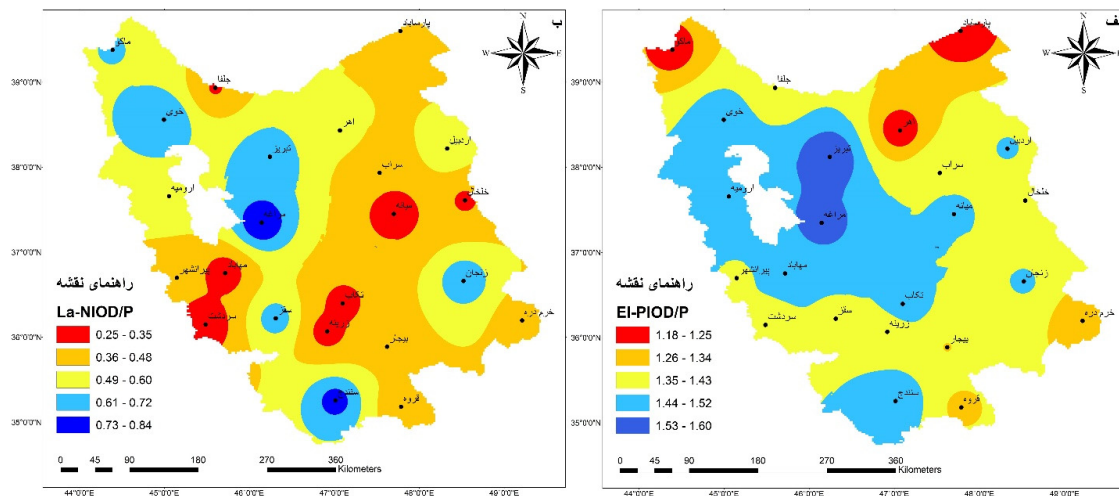
شکل ۷. پهنه بندی $\bar{P}_{El} / \bar{P}$ (الف) و $\bar{P}_{La} / \bar{P}$ (ب) در شمال باختری ایران. گستره هایی با نسبت های بزرگ تر (کوچک تر) از یک افزایش (کاهش) میانگین بارش پاییزه نسبت به میانگین دراز مدت (۱۹۸۹-۲۰۱۸) در زمان چیرگی فازهای مربوطه را نشان می دهند.



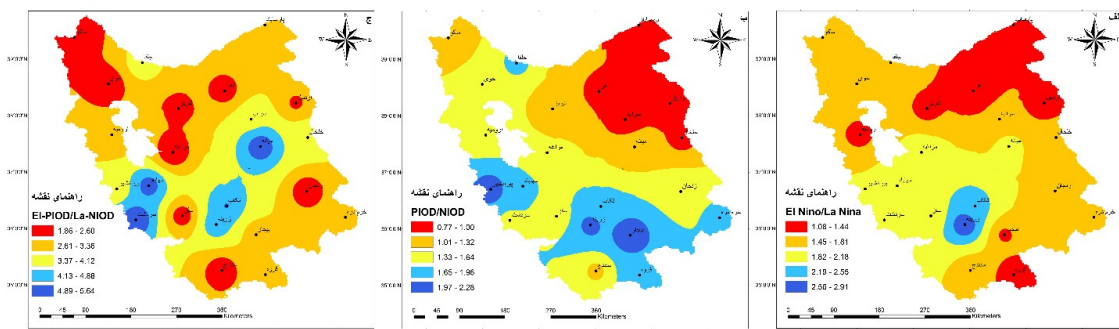
شکل ۸. مانند شکل ۷ ولی برای $\bar{P}_{PIOD} / \bar{P}$ (الف) و $\bar{P}_{NIOD} / \bar{P}$ (ب)

افزایش و کاهش بارندگی ها در پاییز است. بر پایه ی بازه ی آماری موجود در ۲۳ ایستگاه همدیدی شمال باختری ایران (جدول ۱) و فازبندی انجام شده برای رویدادهای خالص و ترکیبی دو پدیده ی ENSO و IOD (جدول ۲)، نسبت میانگین بارش دیده بانی شده در فازهای یادشده به میانگین ۳۰ ساله (۱۹۸۹-۲۰۱۸) برای فصل پاییز محاسبه و پهنه بندی این نسبت ها در شکل های ۷ تا ۹ آورده شده است. پراکنش جغرافیایی ElNino و LaNina

پهنه های خشک به سوی ایران می باشد که کاهش بارش پاییزه را در پی دارد. از سوی دیگر، یافته های مقایسه ی شکل ۶ با شکل های ۳، ۴ و ۵ نشان از نفوذ بیشتر فازهای ENSO در برابر فازهای IOD بر نوسان های بارش پاییزه ی شمال باختری ایران دارد. به طوری که چیرگی فازهای منفی و مثبت IOD به ترتیب افزایش و کاهش بارش پاییزه نسبت به میانگین درازمدت را نمایان نکرده است (شکل ۶- الف و ب)، بلکه حکمرانی فازهای گرم و سرد ENSO پدید آورنده ی این



شکل ۹. مانند شکل ۷ ولی برای $\bar{P}_{EI-PIOD} / \bar{P}$ (الف) و $\bar{P}_{La-NIOD} / \bar{P}$ (ب)



شکل ۱۰. نسبت میانگین بارش پاییزه ی فازهای روبه روی هم در شمال باختری ایران برای رویدادهای خالص فازهای گرم به سرد ENSO (الف)، رویدادهای خالص فازهای مثبت به منفی IOD (ب) و رویدادهای ترکیبی $\bar{P}_{EI-PIOD} / \bar{P}_{La-NIOD}$ (ج).

۷-ب). کاهش بارش پاییزه در دوران LaNina خالص برای نیمه ی باختری پهنه ی موردبررسی بیشتر است. بارش پاییزه هنگام بروز LaNina خالص در ایستگاه های سردشت و سقز به ترتیب ۳۶ و ۳۷ درصد کاهش یافته است.

شکل ۸- الف و ۸- ب به ترتیب پراکنش جغرافیایی نسبت های $\bar{P}_{PIOD} / \bar{P}$ و $\bar{P}_{NIOD} / \bar{P}$ بر پایه ی داده ی دیده بان ایستگاهی در پاییز را نشان می دهد. در بیشتر گستره ی مورد ارزیابی فاز مثبت IOD خالص موجب افزایش بارش پاییزه نسبت به میانگین دراز مدت شده است (شکل

خالص پاییزه به میانگین دراز مدت بارش پاییزه به ترتیب در شکل ۷- الف و ۷- ب نشان داده شده است. با چیرگی ElNino خالص در پاییز همان گونه که در شکل ۷- الف دیده می شود، همه ی مناطق پنج استان شمال باختری ایران افزایش بارش نسبت به میانگین دراز مدت بارش پاییزه را تجربه می کنند. این افزایش در ایستگاه های تکاب و زرینه تا ۹۶ درصد است. چیرگی LaNina خالص موجب کاهش میانگین بارش پاییزه نسبت به میانگین دراز مدت در همه ی منطقه ی مورد مطالعه به جز ایستگاه های اهر و پارس آباد می شود (شکل

شناخت اثرات این فازها بسیار مهم است.

شکل ۱۰- الف ارزیابی نسبت میانگین بارش پاییزه هم زمان با رویدادهای خالص ElNino به LaNina در شمال باختری ایران را نشان می دهد، همه ی این گستره دارای نسبت بزرگ تر از یک است. کمترین و بیشترین اندازه ی نسبت $\bar{P}$ به ترتیب در ایستگاه های اهر و زرینه دیده می شود، ایستگاه اهر تنها با هشت درصد افزایش بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم رویدادهای خالص پدیده ی ENSO کمترین تأثیر را می پذیرد. درحالی که بارش پاییزه روی ایستگاه زرینه با جابه جایی این دو فاز خالص نزدیک به سه برابر (۲/۹۱) نوسان دارد. شکل ۱۰- ب نسبت میانگین بارش پاییزه روی گستره ی شمال باختری ایران با جابه جایی فازهای خالص پدیده ی IOD را نشان می دهد. در ایستگاه های پارس آباد، اهر، اردبیل، سراب و خلخال که در شمال خاوری پهنه ی مورد بررسی جای دارند، اندازه ی $\bar{P}_{IOD} / \bar{P}_{NIOD}$ کوچک تر از یک شده است. این پنج ایستگاه ناهمساز با ۱۸ ایستگاه دیگر مورد بررسی بارش کمتری را در پاییز هنگام رویدادهای خالص فاز مثبت IOD نسبت به رویدادهای فاز منفی آن دریافت می کنند. چند ایستگاه در جنوب و باختر این گستره همان گونه که در شکل های ۴ و ۸ هم هویدا شده بود؛ بیشترین نوسان بارش پاییزه را با جابه جایی رویدادهای خالص IOD دارند، که در ایستگاه بیجار به ۲/۲۸ برابر رسیده است. در شکل ۱۰- ج پهنه بندی اندازه ی $\bar{P}_{El-PIOD} / \bar{P}_{La-NIOD}$ روی گستره ی شمال باختری ایران با بهره گیری از آمار بارش پاییزه در ۲۳ ایستگاه همدیدی آورده شده است. جابه جایی دو فاز El-PIOD و La-NIOD که متشکل از رویدادهای ترکیبی دو پدیده ی ENSO و IOD در پاییز هستند تا اندازه ی زیادی نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران را روایت می کند. اندازه ی $\bar{P}_{El-PIOD} / \bar{P}_{La-NIOD}$ در همه ی ایستگاه ها بزرگ تر از یک است. کمربندی در راستای ایستگاه های سردشت تا خلخال، نشان پر رنگ تری بر نوسان های بارش پاییزه زیر نمود جابه جایی این دو رویداد ترکیبی را بروز می دهد. میانگین بارش پاییزه در ایستگاه های میانه، مهاباد و سردشت بیش از پنج برابر افزایش در دوران El-PIOD نسبت به La-

۸- الف). رویداد خالص فاز مثبت IOD در پاییز برای مناطق شمال خاوری پهنه ی مورد بررسی، کاهش بارش پاییزه را نسبت به میانگین اقلیمی نشان داده است که با شکل ۴- الف هماهنگی دارد. در شکل ۸- ب رویداد خالص فاز منفی IOD بارش پاییزه را نسبت به میانگین درازمدت به جز چند ایستگاه در نیمه ی شمالی منطقه ی مورد مطالعه کاهش داده و این کاهش نسبت به رویداد خالص فاز سرد ENSO کمتر است (شکل ۷- ب). به طور کلی نسبت میانگین های به دست آمده در شکل های ۷ و ۸ روشن می سازد که رویدادهای خالص ENSO نسبت به رویدادهای خالص IOD تأثیر بیشتری بر نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران دارد. رویدادهای ترکیبی El-PIOD و La-NIOD بیشترین فراوانی رخداد در پاییز را دارند (جدول ۲) که به ترتیب موجب افزایش و کاهش بارش پاییزه در سراسر گستره ی شمال باختری ایران هستند (شکل ۹). همه ی نسبت های به دست آمده در شکل ۹- الف بزرگتر از یک است که نشان از افزایش بارش پاییزه هنگام چیرگی هم زمان فاز گرم ENSO با فاز مثبت IOD دارد. میانگین بارش پاییزه در ایستگاه های تبریز و مراغه در زمان رویدادهای ترکیبی El-PIOD تا ۶۰ درصد افزایش یافته است. هنگام چیرگی رویداد ترکیبی La-NIOD همه ی ۲۳ ایستگاه در شمال باختری ایران از ۱۶ تا ۷۵ درصد کمبود بارش پاییزه نسبت به میانگین دراز مدت ۳۰ ساله را نشان می دهند (شکل ۹- ب). به گونه ای که در ایستگاه سردشت با چیرگی این فاز، میانگین بارش پاییزه به یک چهارم میانگین بارش پاییزه در دوره ی ۱۹۸۹-۲۰۱۸ رسیده است. در همه ی پهنه ی شمال باختری ایران اندازه ی نسبت میانگین رویدادهای ترکیبی El-PIOD و La-NIOD به میانگین دراز مدت از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ برای پاییز به ترتیب بزرگ تر (شکل ۹- الف) و کوچک تر (شکل ۹- ب) از یک است. این امر نشان دهنده ی رخداد دوره های تر و خشک هم زمان با رویدادهای ترکیبی El-PIOD و La-NIOD در پاییز است. در سنجش نسبت میانگین های رویدادهای خالص دو پدیده (شکل های ۷ و ۸) با رویداد های ترکیبی (شکل ۹) یافته های ریزبینانه تری به دست می آید. برای بهبود پیش بینی های فصلی، بهره مندی از این یافته ها، ارزیابی و

جدول ۳. نتایج به کارگیری آزمون من-ویتنی برای بررسی معنی داری آماری اختلاف میانگین های بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم

ایستگاه	El vs La	PIOD vs NIOD	El-PIOD vs La-NIOD	ایستگاه	El vs La	PIOD vs NIOD	El-PIOD vs La-NIOD
اردبیل	-	-	*	زرینه	*	*	**
ارومیه	-	*	**	زنجان	*	*	**
اهر	-	-	*	سراب	*	-	**
بیجار	-	*	**	سردشت	*	-	**
پارسا باد	-	-	*	سقز	**	*	**
پیرانشهر	*	*	**	سنندج	*	-	**
تبریز	-	-	**	قروه	-	*	**
تکاب	*	*	**	ماکو	*	-	*
خرمدره	-	*	**	مراغه	*	-	-
خلخال	-	-	**	میانه	*	-	**
خوی	**	-	**	مهاباد	**	*	**
چلغا	**	-	**				

NIOD دارد، همچنین در سراسر گستره ی شمال باختری ایران این افزایش بیش از ۸۶ درصد است.

جدول ۳ یافته های آزمون من-ویتنی برای ارزیابی اختلاف معنی دار در میانگین بارش پاییزه ی فازهای روبه روی هم رویدادهای خالص و ترکیبی ENSO و IOD را به نمایش می گذارد که نسبت میانگین بارش پاییزه ی این فازها در شکل ۱۰ روی گستره ی شمال باختری ایران پهنه بندی شد. یادآور می شود، فازهای خالص El و La، فازهای روبه روی هم برای پدیده ی ENSO هستند. فازهای PIOD و NIOD، فازهای روبه روی هم در پدیده ی IOD هستند. رویدادهای ترکیبی EL-PIOD و La-NIOD، فازهای روبه روی هم در شرایط جفت شدن دو پدیده هستند. علامت های یک ستاره (*) و دو ستاره (**) به ترتیب با پنج و یک درصد خطا، بیانگر اختلاف معنی دار بارش پاییزه در آن ایستگاه هنگام سنجش فازهای روبه روی هم است. میانگین بارش پاییزه هنگام چیرگی رویدادهای خالص فازهای گرم و سرد ENSO در ایستگاه های چلغا، خوی، مهاباد و سقز با ۹۹ درصد اطمینان و در شماری از ایستگاه های پراکنده چون ماکو، سراب، مراغه، میانه، پیرانشهر، سردشت، تکاب، زنجان، سنندج و زرینه با ۹۵ درصد اطمینان دارای اختلاف معنی دار است. جابه جایی رویدادهای خالص فازهای گرم و سرد ENSO نشان معنی داری بر نوسان های

بارش پاییزه در این گستره ها دارد. این آزمون ارزیابی اختلاف میانگین بارش پاییزه هنگام رویدادهای خالص فازهای مثبت و منفی IOD برای ایستگاه های ارومیه، پیرانشهر، مهاباد، سقز، تکاب، زنجان، خرمدره، بیجار، زرینه و قروه در سطح ۹۵ درصد را معنی دار نشان داده است.

اندازه ی نسبت میانگین های بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم رویدادهای ترکیبی به مراتب بزرگ تر از نسبت متناظر در رویدادهای خالص است (شکل ۱۰). میانگین بارش پاییزه در فازهای روبه روی هم رویدادهای ترکیبی دو پدیده همان گونه که در جدول ۳ آورده شده، تنها در ایستگاه مراغه اختلاف معنی دار ندارد. به کارگیری آزمون من-ویتنی میانگین بارش پاییزه ی چهار ایستگاه پارس آباد، ماکو، اهر و اردبیل برای سنجش دو گروه فازهای روبه روی هم رویدادهای ترکیبی در سطح ۹۵ درصد و ۱۸ ایستگاه دیگر این پهنه در سطح ۹۹ درصد را دارای اختلاف معنی دار نشان می دهد. به بیان دیگر، جابه جایی EL-PIOD با La-NIOD به گونه ای معنی دار رخداد دوره های ترسالی و خشک سالی پاییزه را برای شمال باختری ایران در پی دارد.

جمع بندی

در این پژوهش برای آگاهی از نوسان هایی که از الگوهای

ترسالی و خشک سالی پاییزه در شمال باختری ایران را دارد. اندازه ی میانگین بارش پاییزه هنگام جفت شدن فازهای ENSO و IOD با بیشترین فراوانی رخداد در رویداد ترکیبی El-PIOD در همه ی ایستگاه های مورد مطالعه بزرگ تر از میانگین دراز مدت بارش پاییزه ی آنها است. این افزایش بارش پاییزه در مقایسه با افزایش بارش هنگام چیرگی رویدادهای ElNino خالص، کمتر است. همچنین با چیرگی رویداد ترکیبی La-NIOD در سراسر گستره ی شمال باختری ایران، بارش پاییزه کمتر از میانگین دراز مدت می شود که موجب خشک سالی شدیدتری نسبت به رویدادهای خالص دو پدیده است. برای همه ی ایستگاه های مورد بررسی نسبت میانگین بارش پاییزه در دوران El-PIOD به دوران La-NIOD بزرگ تر از یک شده است. میانگین بارش پاییزه در ۷۸ درصد (۱۸ از ۲۳) ایستگاه ها در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی دار دارد و به جز ایستگاه مراغه، بقیه ی ایستگاه ها در سطح ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی دار آماری برای میانگین بارش در فازهای El-PIOD و La-NIOD هستند. جابه جایی فاز از El-PIOD به La-NIOD $(\bar{P}_{El-PIOD} / \bar{P}_{La-NIOD})$ در برخی ایستگاه ها نوسان های بارش پاییزه را تا ۵/۶ برابر افزایش می دهد. به طور کلی رویدادهای ترکیبی El-PIOD و La-NIOD به ترتیب دوره های تر و خشک کم ماندی برای بارش پاییزه در شمال باختری ایران به همراه دارد. با وجود تواتر بیشتر این رویدادها نسبت به رویداد های خالص، توجه به اثرات همه ی آنها برای کاربرد در پیش گویی های فصلی بایسته است. دورپیوندهای معرفی شده از منابع کلیدی برای پیش بینی های فصلی بارش هستند که پیشنهاد می شود برای بهبود درستی پیش بینی ها، واکاوی اثرات دیگر دورپیوندها مانند NAO و QBO^{۱۹} به صورت جداگانه و هم زمان با این پدیده ها و برای دیگر فصول انجام شود.

مراجع

آرمش، م.، خسروی، م. و سلیقه، م.، ۱۳۹۷، تحلیل تغییرپذیری دوره های بارش تابستانه و آشکارسازی ارتباط آن با الگوی دو قطبی اقیانوس هند (IOD) مطالعه موردی: جنوب شرق ایران، علمی و پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۵، ۴۵-۴۲.

پیچیده پیروی می کنند و باهدف برنامه ریزی منابع آب و مدیریت مصرف آن در کشاورزی، ساده سازی اثرات پیوند از دور پدیده های ENSO و IOD بر بارش پاییزه ی شمال باختری ایران انجام شد تا مشخص شود چه بینش جدیدی در زمینه ی بهبود پیش بینی های فصلی ارائه می شود. پدیده های ENSO و IOD الگوهای پیوند از دوری هستند که به ترتیب در پهنه های گرمسیری اقیانوس های آرام و هند رخ نمون می شوند. کارکرد این دو پدیده و جایگاه فازهای آنها پیوند تنگاتنگی باهم دارد. در این پژوهش برای ارزیابی اثرات آنها بر نوسان های بارش پاییزه روی شمال باختری ایران از رویدادهای خالص و ترکیبی استفاده شده است.

به دلیل همین پیوستگی میان دو پدیده، رویدادهای ترکیبی آنها فراوانی رخداد بیشتری را نسبت به رویدادهای خالص شناسانده می کند. بر پایه ی فازبندی انجام شده با کاربرد اختلاف از میانگین داده های باد و بارش مدل NOAA^{۱۸} و داده های دیده بانی شده ی بارش ۲۳ ایستگاه همدیدی در شمال باختری ایران، نشان این دو پدیده بر نوسان های بارش بررسی شد. یافته ها نشان داد که ناهم ساز با نتایج پوراصغر و همکاران (۲۰۱۹) پدیده ی ENSO نفوذ بیشتری بر نوسان های بارش پاییزه در شمال باختری ایران نسبت به پدیده ی IOD دارد. هم زمان با چیرگی رویدادهای خالص ENSO نوسان بارش پاییزه برای گستره ی شمال باختری ایران تا ۹۶ درصد افزایش و ۳۷ درصد کاهش به ترتیب در فازهای گرم و سرد است. این نوسان بارش پاییزه زیر نمود فازهای مثبت و منفی IOD به اندازه ی ۶۱ و ۳۱ درصد نسبت به میانگین دراز مدت افزایش و کاهش را نشان می دهد. با جابه جایی رویدادهای خالص IOD از فاز مثبت به منفی، ۱۸ ایستگاه در این پهنه افزایش و تنها پنج ایستگاه کاهش بارش پاییزه را نشان دادند. نسبت میانگین های بارش پاییزه برای ایستگاه های شمال باختری ایران در فازهای روبه روی هم رویدادهای خالص IOD با نتایج ناظم السادات و همکاران (۲۰۲۱) همسو است و با نتایج پوراصغر و همکاران (۲۰۱۹) ناسازگاری دارد. این نسبت برای رویدادهای خالص ENSO در فازهای روبه روی هم (گرم به سرد) در همه ی ایستگاه های مورد بررسی بزرگ تر از یک است، جابه جایی این دو فاز پیامد

- precipitation in China to El Niño and positive Indian Ocean dipole modes, *Atmosphere*, 10(7), 372.
- Lim, E.P. and Hendon, H.H., 2017, Causes and predictability of the negative Indian Ocean Dipole and its impact on La Niña during 2016, *Scientific reports*, 7(1), 1-11.
- Liguori, G., McGregor, S., Singh, M., Arblaster, J. and Di Lorenzo, E., 2022, Revisiting ENSO and IOD contributions to Australian Precipitation, *Geophysical Research Letters*, 49(1), p.e2021GL094295.
- Luo, J.J., Zhang, R., Behera, S.K., Masumoto, Y., Jin, F.F., Lukas, R. and Yamagata, T., 2010, Interaction between El Nino and extreme Indian ocean dipole, *Journal of Climate*, 23(3), 726-742.
- Nazemosadat, M.J. and Cordery, I., 2000, On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran, *International Journal of Climatology*, A Journal of the Royal Meteorological Society, 20(1), 47-61.
- Nazemosadat, M.J. and Ghasemi, A.R., 2004, Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran, *Journal of Climate*, 17(20), 4005-4018.
- Nazemosadat, M.J., Shahgholian, K., Ghaedamini, H. and Nazemosadat, E., 2021, Introducing new climate indices for identifying wet/dry spells within an Madden-Julian Oscillation phase, *International Journal of Climatology*, 41, E1686-E1699.
- Nur'utami, M.N. and Hidayat, R., 2016, Influences of IOD and ENSO to Indonesian rainfall variability: role of atmosphere-ocean interaction in the Indo-Pacific sector, *Procedia Environmental Sciences*, 33, 196-203.
- Pourasghar, F., Oliver, E.C. and Holbrook, N.J., 2019, Modulation of wet-season rainfall over Iran by the Madden-Julian Oscillation, Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 39(10), pp.4029-4040.
- Pourasghar, F., Tozuka, T., Jahanbakhsh, S., Sari Sarraf, B., Ghaemi, H. and Yamagata, T., 2012, The interannual precipitation variability in the southern part of Iran as linked to large-scale climate modes, *Climate dynamics*, 39(9), 2329-2341.
- Saha, K., Guha, A. and Banik, T., 2021, Indian summer monsoon variability over North-East India: Impact of ENSO and IOD, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 221, p.105705.
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N. and Yamagata, T., 1999, A dipole mode in the tropical Indian Ocean, *Nature*, 401(6751), 360-363.
- Sang, Y.F., Singh, V.P. and Xu, K., 2019, Evolution of IOD-ENSO relationship at multiple time scales, *Theoretical and Applied Climatology*, 136(3), 1303-1309.
- Sein, Z.M.M., Ogwang, B., Ongoma, V., Ogou, F.K. and Batebana, K., 2015, Inter-annual variability of May-October rainfall over Myanmar in relation پوراصغر، ف.، قائمی، ه.، جهانبخش، س. و ساری صراف، ب.، ۱۳۹۶، تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند بر تغییرات بارش نیمه جنوبی ایران، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۸، پیاپی ۶۶، شماره ۲، ۱۴۴-۱۴۶.
- دوستان، ر.، ۱۳۹۷، دورپیوند جهانی و دورپیوندهای منطقه‌ای ایران، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۴۴، شماره ۳، ۶۴۰-۶۲۵.
- روغنی، ر.، سعید سلطانی، س. و بشری، ح.، ۱۳۹۱، بررسی روابط شاخص نوسان جنوبی و دمای سطح آب اقیانوس‌های آرام و هند با بارش فصلی و ماهانه ایران، *علوم آب و خاک*، دوره ۶، شماره ۱، ۲۷۳-۲۹۲.
- طلوعی، ی.، گندمکار، ا. و باقری بداغ آبادی، م.، ۱۴۰۰، بررسی رابطه بین الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی با خشک‌سالی‌های شمال غرب ایران، *جغرافیای طبیعی*، دوره ۱۴، شماره ۵۱، ۷۴-۵۵.
- فلاح‌زاده، م.، رضایی، پ.، اسلامیان، س. و عباسی، ع.ر.، ۱۳۹۷، تحلیل ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشک‌سالی حوضه قره قوم با استفاده از مدل شبکه عصبی، *جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۲، شماره ۱۱، ۸۰-۶۷.
- قائد امینی، ح.ا.، ناظم السادات، س.م.ج.، کوهی زاده، م. و سبزی پرور، ع.ا.، ۱۳۹۳، نشان جداگانه و هم‌زمان پدیده‌های PDO و ENSO بر رخداد خشک‌سالی و ترسالی پاییزه جنوب ایران، *مجله ژئوفیزیک ایران*، دوره ۸، شماره ۲، ۱۰۹-۹۲.
- محمدی، م.، وقار فرد، ح.، مهدوی نجف‌آبادی، ر.، دانش کار آراسته، ب. و ناظم السادات، س.م.ج.، ۱۴۰۰، نشان نوسان‌های جداگانه و هم‌زمان دمای سطح آب خلیج‌فارس و پدیده ENSO بر نوسان‌های بارش ماه‌های سرد سال در پهنه‌های جنوب مرکزی ایران، *اکوهیدرولوژی*، دوره ۸، شماره ۲، ۴۸۵-۴۹۷.
- میرزایی حسنیلو، ا.، عبقری، ه. و عرفانیان، م.، ۱۳۹۹، تأثیر الگوهای دورپیوند بر بارش و خشک‌سالی حوضه دریاچه ارومیه، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۴۶، شماره ۳، ۵۵۹-۵۳۷.
- Ashok, K., Guan, Z., Saji, N.H. and Yamagata, T., 2004, Individual and combined influences of ENSO and the Indian Ocean dipole on the Indian summer monsoon, *Journal of Climate*, 17(16), 3141-3155.
- Barlow, M., Cullen, H. and Lyon, B., 2002, Drought in central and southwest Asia: La Niña, the warm pool, and Indian Ocean precipitation, *Journal of climate*, 15(7), 697-700.
- Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J. and Hoell, A., 2016, A review of drought in the Middle East and southwest Asia, *Journal of climate*, 29(23), 8547-8574.
- Cai, W., Van Rensch, P., Cowan, T. and Hendon, H.H., 2011, Teleconnection pathways of ENSO and the IOD and the mechanisms for impacts on Australian rainfall, *Journal of Climate*, 24(15), 3910-3923.
- Chakraborty, A., Behera, S.K., Mujumdar, M., Ohba, R. and Yamagata, T., 2006, Diagnosis of tropospheric moisture over Saudi Arabia and influences of IOD and ENSO, *Monthly Weather Review*, 134(2), 598-617.
- Curtis, S. and Adler, R., 2000, ENSO indices based on patterns of satellite-derived precipitation, *Journal of Climate*, 13(15), 2786-2793.
- Katz, R.W., 2002, Sir Gilbert Walker and a connection between El Niño and statistics, *Statistical Science*, 17(1), 97-112.
- Li, C. and Zhao, T., 2019, Seasonal responses of

- Ocean dipole on evolution of the subsequent ENSO: Relative roles of dynamic and thermodynamic processes, *Journal of Climate*, 34(9), 3591-3607.
- Zhang, Y., Zhou, W., Wang, X., Wang, X., Zhang, R., Li, Y. and Gan, J., 2022, IOD, ENSO, and seasonal precipitation variation over Eastern China, *Atmospheric Research*, p.106042.
- <http://www.bom.gov.au/climate/enso/indices/about.shtml>. accessed 14 June 2022
- <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. accessed 14 June 2022
- https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/DMI/. accessed 14 June 2022
- <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>. accessed 15 June 2022
- to IOD and ENSO. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 4, pp.28-36.
- Walker, G.T., 1924, Correlations in seasonal variations of weather. I. A further study of world weather. *Mem, Indian Meteorol. Dep.*, 24, 275-332.
- Wang, C., Deser, C., Yu, J.Y., DiNezio, P. and Clement, A., 2017, El Niño and southern oscillation (ENSO): a review, *Coral reefs of the eastern tropical Pacific*, 85-106.
- Xu, K., Zhu, C. and Wang, W., 2016, The cooperative impacts of the El Niño–Southern Oscillation and the Indian Ocean dipole on the interannual variability of autumn rainfall in China, *International Journal of Climatology*, 36(4), 1987-1999.
- Yue, Z., Zhou, W. and Li, T., 2021, Impact of the Indian

Effects of Pure and Combined Events of ENSO and IOD Phenomena on Autumn Precipitation Variations in the Northwest Iran

Mohammadreza Nazari Radsani^{1*}, Fatemeh Vatanparast Ghaleh Jouq², Mohammadjafar Nazemosadat³, Broman Salah⁴

¹ Master student of Water Science and Engineering Majoring in Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Shiraz University

² PhD student of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili

³ Professor of Water Engineering and Head of Atmospheric and Oceanic Research Center, Faculty of Agriculture, Shiraz University

⁴ Professor of climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili

*Corresponding Author Email: reza.radsani@yahoo.com

Received: 18 April 2021 , accepted: 18 July 2022

ABSTRACT

The El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Ocean Dipole (IOD) are coupled oceanic-atmospheric phenomena that appear over the tropical Pacific and Indian Oceans. In this research, the pure impact and interaction of these two phenomena on the autumn precipitation in the Northwest Iran were analyzed for the period 1989-2018. The findings of 850 hPa vector winds anomaly for pure and combined events illustrate many differences with reciprocal phases. Examining the teleconnection effects on 23 synoptic stations in northwest Iran, displayed that ENSO has a greater influence than IOD at autumn precipitation variations. The conquest of pure ENSO events at autumn precipitation in northwest Iran compared with the long-term average in warm and cold phases has increased by 96% and decreased by 37%, respectively. This amount of autumn precipitation fluctuations under the positive and negative phases of IOD have increase by 61% and decrease by 31%. Shifting of pure IOD events from positive to negative phase, 18 stations in this area appeared an increase and five stations showed a decrease for autumn precipitation. When the El Nino phenomenon is accompanied with the positive IOD phase, the rainfall in the whole area has increased up to 60%. Whereas, autumn drought occurred more, when the La Nina periods was simultaneous with negative IOD phases. Also, evaluating autumn precipitation average of the opposite phases in combined events, findings of the Mann-Whitney test significantly display the occurrence of wet and dry durations in autumn.

Keywords: autumn precipitation, ENSO, IOD, pure events, combined events, northwest Iran.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Nazari Radsani, M.; Vatanparast Ghaleh Jouq, F.; Nazemosadat, M.; Salah, B. (2021). Effects of Pure and Combined Events of ENSO and IOD Phenomena on Autumn Precipitation Variations in the Northwest Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(3): 193-209

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

