

ارزیابی پیوند فازهای پدیده نوسان جنوبی اقیانوس آرام با رخداد بارش‌های پاییزه ایستگاه کرمانشاه بر مبنای شاخص ONI

برومند صلاحی^{۱*}، علی شاهی^۲

salahi@uma.ac.ir

^{۱*} نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ali.shahi@uma.ac.ir

^۲ دکترای آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

چکیده

این مطالعه با هدف تحلیل رابطه فازهای پدیده نوسان جنوبی اقیانوس آرام (ENSO) با بارش‌های پاییزی ۳۰ ساله ایستگاه کرمانشاه با استفاده از شاخص ONI انجام گرفت. بارش‌های پاییزی نقش مهمی در تأمین منابع آب و مدیریت کشاورزی استان کرمانشاه دارند و تغییرات آن تحت تأثیر نوسانات جوی مانند ENSO می‌تواند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی داشته باشد. از دو دسته داده شامل داده‌های ماهانه ایستگاه همدیدی کرمانشاه و داده‌های فصلی نمایه ONI که از سایت NOAA دریافت شدند برای دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۳ استفاده گردید. برای تعیین ارتباط از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و بر اساس معیار تشخیص فازی، فازهای النینو و لانینو تفکیک و شدت‌های مختلف هر دو فاز النینو و لانینو استخراج شد و مورد بررسی قرار گرفت. ارتباط بارش‌های منطقه مورد مطالعه با شاخص دور پیوندی مذکور در فصل پاییز، مستقیم است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود ($R=0.51$ و $P<0.01$). میانگین بارش در فاز النینو در سطح متوسط بر شدت‌های دیگر این فاز غلبه داشته (۲۴۵/۲ میلی‌متر) و میانگین بارش در فاز لانینو در شدت خفیف بیشتر از سطوح دیگر این فاز بوده است (۱۰۱/۲۹ میلی‌متر). کمترین بارش در ایستگاه مذکور در مدت مورد مطالعه در سطح متوسط فاز لانینو با مقدار ۲۳/۳۳ میلی‌متر و بیش‌ترین مقدار بارش در دوره ۳۰ ساله در سطح متوسط فاز النینو با مقدار ۴۲۷/۸۸ میلی‌متر بوده است.

واژه‌های کلیدی: انسو، بارش، پیوند از دور، استان کرمانشاه، ONI

۱. مقدمه

در ایران، مخصوصاً در مناطق غربی و مرکزی، بارش‌های پاییزی و فصلی نقش اساسی در تأمین منابع آب، کشاورزی، دیم، و ذخیره آب زیرزمینی دارند. با این حال، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که نوسانات اقلیمی بزرگ همچون ENSO به‌طور معنی‌داری با تغییرپذیری فصلی و سالانه بارش مرتبط هستند [۱]. بنابراین ایجاد درک دقیق‌تر از رابطه بین فازهای ENSO و بارش پاییزی در استان‌هایی نظیر کرمانشاه، برای پیش‌بینی بهتر منابع آب و مدیریت کشاورزی/منابع آب ضروری است. بارش از اساسی‌ترین متغیرهای اقلیمی هر منطقه است و زمانی که مقدار آن در یک دوره مشخص نسبت به میانگین بلندمدت همان مکان کاهش یابد، شرایط خشکسالی در آن ناحیه پدید می‌آید [۲]. ENSO (ال‌نینو-نوسان جنوبی) شامل دوره‌هایی است که سطح اقیانوس آرام در نواحی شرقی نسبت به حالت معمول گرم‌تر شده و جریان‌های آب کند می‌شوند. در زمان وقوع ال‌نینو، بادهای تجارتی استوایی تضعیف می‌شوند و گردش اتمسفری-اقیانوسی (گردش واکر) مختل می‌گردد؛ به‌طوری‌که فرورانش آب سرد^۱ در شرق اقیانوس آرام کند شده و جریان آب سطحی شرق-غرب نیز سرعت کمتری پیدا می‌کند، که منجر به تجمع آب گرم سطحی در مرکز و شرق اقیانوس آرام می‌شود. این تغییرات پایه فاز گرم ENSO هستند [۳]. این وضعیت در برخی سال‌ها، معمولاً حوالی اوایل زمستان نیم کره شمالی (دسامبر-ژانویه)، در مجاورت سواحل جنوبی اکوادور و شمال پرو رخ می‌دهد [۴]. فازهای مختلف ENSO از طریق تغییر در شدت بادهای تجارتی، جابه‌جایی ناحیه همرفت گرمسیری و دگرگونی گردش واکر، الگوهای بارش را در مقیاس جهانی تحت تأثیر قرار می‌دهند. در فاز گرم (ال‌نینو)، تضعیف بادهای تجارتی و انتقال شرق‌سوی همرفت موجب افزایش رطوبت‌پذیری و تقویت بارش در برخی نواحی و کاهش آن در برخی دیگر می‌شود. در مقابل، در فاز سرد (لانینو)، تقویت گردش واکر و تمرکز همرفت در غرب اقیانوس آرام معمولاً با کاهش بارش در بخش‌هایی از نیم‌گرمسیری (جنب حاره؛ عرض‌های حدود ۲۳/۵ تا ۳۵ درجه و ناحیه فرود سلول هدلی) و افزایش آن در سایر

نواحی همراه است. به‌طور کلی، ENSO یکی از مهم‌ترین نوسانات دورپیوندی است که تغییرپذیری بارش فصلی را در مقیاس منطقه‌ای و جهانی کنترل می‌کند [۵]. پدیده ENSO یکی از مهم‌ترین نوسانات جوی در مقیاس جهانی است که با تغییرات دمای سطح دریا در نواحی استوایی اقیانوس آرام مشخص می‌شود و اثرات آن بر الگوهای بارش در مناطق دوردست، از جمله ایران، قابل توجه است. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که فازهای ال‌نینو و لانینو می‌توانند موجب افزایش یا کاهش بارش فصلی و سالانه در مناطق مختلف ایران، به ویژه بارش‌های پاییزی، شوند [۶]. این تغییرات بارش پیامدهای اقتصادی و اجتماعی مهمی دارند، از جمله تأثیر بر منابع آب، کشاورزی دیم، مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی منابع آب. بررسی و تحلیل اثرات ENSO^۲ بر بارش پاییزی استان کرمانشاه، علاوه بر کمک به درک بهتر الگوهای اقلیمی، می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر بارش و بهبود تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب و کشاورزی منجر شود. ENSO شامل دو فاز اصلی است: ال‌نینو^۳ که با افزایش دمای سطح دریا و معمولاً بارش بالاتر همراه است و لانینو^۴ که با کاهش دما و بارش کمتر مشخص می‌شود. شاخص ONI^۵ که میانگین متحرک سه‌ماهه دمای سطح دریا در منطقه Niño 3.4 را نسبت به میانگین بلندمدت اندازه‌گیری می‌کند و معیار استاندارد بین‌المللی برای شناسایی فازهای ال‌نینو و لانینو محسوب می‌شود [۷].

کاهیا و کاربرگ [۸] تأثیر رویدادهای ال‌نینو و لانینو بر میزان بارش در ترکیه برای بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۵ را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از همبستگی و تحلیل سری‌های زمانی پارامترهای بارش و جریان آب، نقش انسو بر الگوهای بارشی این کشور مورد مطالعه قرار گرفت؛ که نتایج نشان داد ال‌نینو کاهش بارش در برخی مناطق را موجب شده است. غیبی و نورافشان [۹] در تحقیق تغییرپذیری بارش فصلی ایران و ارتباط آن با انسو، سری‌های زمانی فصلی بارش پاییز و زمستان با توجه به سال‌های فاز مثبت، منفی و خنثی SOI^۶ و میانگین بارش هر فاز با میانگین بلندمدت را در دوره زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ را مورد تحلیل قرار دادند. با بهره‌گیری از آزمون همبستگی پیرسون و تحلیل روند میانگین بارش

فصلی، به دست آمد که فازهای انسو باعث تغییر بارش سالانه می‌شوند؛ به طوری که در فصل پاییز، فاز مثبت SOI منجر به کاهش میزان بارندگی در اکثر نقاط کشور شده و فاز منفی SOI با افزایش قابل توجهی در میزان بارندگی همراه است. هانسن و همکاران [۱۰] با تحلیل هم‌زمان شاخص‌های QBO و ENSO و ارزیابی مدل‌هایی مانند CESM-WACCM نشان دادند که در سال‌هایی که لانیو بر زمستان نیمکره شمالی غالب است، تأثیرات QBO به سمت تروپوسفر در بخش شمالی اقیانوس آرام گسترش پیدا می‌کند. همچنین مشخص شد که در فاز شرقی QBO و در صورت وقوع لانیو، جت جنب‌حاره‌ای نسبت به فاز غربی، جابجایی بیشتری به سمت عرض‌های بالاتر دارد. دینگ و همکاران [۱۱] نیز با بررسی نقش برهم‌کنش PDO با دو نوع لانیوی مرکزی و شرقی و تحلیل الگوهای سینوپتیکی و روابط فیزیکی مرتبط، دریافتند که الگوی انتشار امواج جوی در هر نوع لانیو وابسته به شدت و محل مناطق همگرایی در جو است؛ مناطقی که خود تحت تأثیر آنومالی‌های دمایی سطح دریا و بادهای شرقی در لایه زیرین تروپوسفر کنترل می‌شوند.

نگوین تان و همکاران [۱۲] در دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹، رخداد‌های مختلف النیو، لانیو، النیو مودوکی و لانیو مودوکی شناسایی و تغییرات بارش در تابستان شمالی (JJA) و زمستان شمالی (DJF) بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که در جنوب شرقی آسیا، نوسان جنوبی النیو (ENSO) و النیو مودوکی (ENSO Modoki) تغییرات قابل توجهی در بارش ایجاد می‌کنند؛ به طوری که النیو معمولاً با کاهش و لانیو با افزایش بارش همراه است. وارگاس-لئون و گیرالدو-اوسوریو [۱۳] تأثیر نوسان جنوبی النیو (ENSO) بر شاخص‌های بارش سنگین (EPIS)^۷ را در جنوب شرقی آسیا بررسی کردند و این ناهنجاری‌ها را با تغییرات بلندمدت EPIS مقایسه نمودند. سری‌های زمانی سالانه EPIS از ۸۸۰ ایستگاه بارش بین ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۲ ساخته شد و فازهای ENSO (النیو، لانیو و سال‌های خنثی) برای تحلیل ناهنجاری‌ها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های EPIS در سال‌های لانیو معمولاً مرطوب‌تر و در سال‌های النیو

خشک‌تر هستند و ناهنجاری‌های ناشی از ENSO اهمیت بیشتری نسبت به تغییرات بلندمدت دارند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در فصل پاییز و در منطقه مورد بررسی، الگوهای بارش با آنچه در مطالعات نگوین تان و همکاران (۲۰۲۳)؛ وارگاس-لئون و گیرالدو-اوسوریو (۲۰۲۴) گزارش شده متفاوت است، به گونه‌ای که النیو با افزایش و لانیو با کاهش بارش همراه بوده است. این تفاوت عمدتاً به ویژگی‌های اقلیمی محلی، شرایط جغرافیایی و فصل مطالعه نسبت داده می‌شود.

لودشر و همکاران [۱۴] نشان دادند که نوسان جنوبی النیو (ENSO) عامل اصلی تغییرات اقلیمی بین‌سالی است و می‌تواند باعث خشکسالی، سیلاب و تغییرات دمای جهانی شود. برای بررسی این تأثیر، دو روش پیش‌بینی زود هنگام توسعه یافت که آغاز و شدت رخداد‌های ENSO را پیش‌بینی می‌کنند و موفق به پیش‌بینی النیوی سال‌های ۲۰۲۴/۲۰۲۳ شدند. نتایج پیش‌بینی‌های ۲۰۲۵ نشان داد که احتمال وقوع النیو پایین و احتمال رخداد خنثی ENSO حدود ۶۹/۶ درصد و لانیو ۲۱/۸ درصد است، و میانگین دمای جهانی در ۲۰۲۵ نسبت به ۲۰۲۴ کمی کاهش خواهد داشت.

ژانگ و همکاران [۱۵] نقش ناهنجاری‌های گردش در تروپوسفر میانی و بالایی را در تأثیر نوسان جنوبی النیو (ENSO) بر بارش زمستانی جنوب چین (SCWP)^۸ بررسی کردند. برای این منظور، از داده‌های مشاهداتی و بازتحلیل طی ۱۹۷۹-۲۰۲۳ استفاده شد. نتایج نشان داد که رخداد‌های النیو یک ناهنجاری سیکلونی شبه‌باروتروپیک ایجاد می‌کنند که با صعود عمودی تقویت‌شده، یک مسیر صعودی جریان هوا از جنوب چین تا جنوب ژاپن شکل می‌دهد و منجر به افزایش بارش در منطقه می‌شود.

سریخ [۱۶] توانایی مدل‌های CMIP6 را در پیش‌بینی ENSO بررسی کرد. با استفاده از روش مؤلفه اصلی (PCA) نشان داده شد که نوسان جوی جهانی (GAO) اصلی‌ترین حالت تغییرات بین‌سالی دما و فشار سطح دریا است و شاخص پیش‌بینی PGAO می‌تواند رخداد‌های قوی النیو و لانیو را با تقریباً یک سال پیش‌بینی کند. نتایج نشان داد که مدل‌ها ساختار و انتشار GAO را به خوبی بازتولید می‌کنند و

ناهنجاری‌های جهانی دما و فشار می‌توانند قابلیت اطمینان پیش‌بینی زودهنگام ENSO را افزایش دهند.

مطالعه محمدی ثابت و همکاران [۱۷] نشان داد که پدیده ENSO می‌تواند بارش و دمای مشهد را تحت تأثیر قرار دهد؛ به‌طوری‌که در سال‌هایی با ال‌نینو شدید، افزایش بارش ماهانه با تأخیری بین ۳ تا ۵ ماه رخ می‌دهد و در سال‌هایی با لانینو شدید، کاهش بارش با تأخیر ۰ تا ۴ ماه مشاهده می‌شود. قاسمی [۱۸] با بررسی الگوهای همدید جریان جو در نیمه جنوبی ایران طی دو فاز ENSO نتیجه گرفت که فرابار سیری به‌عنوان اصلی‌ترین الگوی مؤثر در این منطقه عمل می‌کند و میزان اثرگذاری آن در فاز ال‌نینو بیشتر از فاز لانینو است. گودرزی و همکاران [۱۹] در ارزیابی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با دما و بارش در ایستگاه کرج دریافتند که SOI بیشترین وابستگی را با بارش و MEI بیشترین وابستگی را با دما دارد و این روابط در فصل‌های پاییز و زمستان پررنگ‌تر ظاهر می‌شوند.

اسمعیل‌زاده و همکاران [۲۰] تأثیر الگوهای دورپیوند اقیانوس آرام بر رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران را ارزیابی کردند. با استفاده از روش‌های آماری شامل تحلیل همبستگی پیرسون، تحلیل واریانس رگرسیون و رگرسیون پسرونده، داده‌های رطوبت نسبی 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 TROPICAL SST، PDO، 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. باباعلی و همکاران [۲۱] برای پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون از مدل‌های هیبریدی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان که ارزیابی عملکرد مدل از طریق معیارهای ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش ساتکلیف انجام شده است. نتایج نشان داد سناریوهای ترکیبی در مدل‌های مورد بررسی باعث بهبود عملکرد مدل شده‌اند.

چمن‌پیرا و همکاران [۲۲] به تحلیل اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک سلسله) پرداختند. به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی از داده دما و بارش ثبت شده طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۲ استفاده شده است. سپس بر اساس سناریوهای انتشار طراحی شده شامل سه سناریو خوش‌بینانه SSP1-2-6، حد متوسط SSP2-4-5 و بدبینانه SSP5-8-5 وضعیت جوی آتی در دوره بیست ساله طی سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ مورد پیش‌بینی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که مدل Can ESM5.0 در شبیه‌سازی پارامتر دما عملکرد مطلوبی داشته اما در پارامتر بارش توانایی کم‌تری دارد.

شناخت نحوه واکنش بارش‌های پاییزی در مناطق نیمه‌خشک ایران نسبت به تغییرات شاخص‌های دورپیوندی، به‌ویژه ENSO، برای مدیریت منابع آب، پیش‌آگاهی‌های اقلیمی و برنامه‌ریزی کشاورزی اهمیت زیادی دارد. استان کرمانشاه به دلیل وابستگی بالای نظام کشاورزی و منابع آب سطحی به بارش‌های فصلی، نسبت به تغییرات اقلیمی و نوسانات اقیانوسی-جوی حساس است و بررسی الگوهای اثرگذاری ENSO بر بارش این منطقه می‌تواند ارزش کاربردی قابل توجهی داشته باشد.

در این پژوهش، با تمرکز بر یک دوره زمانی به‌روز و نسبتاً بلندمدت و با بهره‌گیری از داده‌های شاخص ONI، تلاش شده است تصویری دقیق‌تر از نقش فازها و شدت‌های مختلف ENSO بر بارش پاییزی کرمانشاه ارائه شود. تحلیل تفکیکی شدت‌ها و بررسی ساختار بارش در هر فاز، امکان ارزیابی جزئی‌تر و تبیین بهتر رفتار بارش در شرایط مختلف اقیانوسی را فراهم می‌سازد. این رویکرد می‌تواند به ارتقای فهم علمی از سازوکارهای دورپیوندی مؤثر بر غرب ایران کمک کرده و زمینه بهبود پیش‌بینی‌های فصلی در سطح منطقه‌ای را فراهم کند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. داده‌ها

در این پژوهش داده‌های ماهانه‌ی بارش در ایستگاه هواشناسی همدیدی کرمانشاه برای دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۲۳ از سازمان هواشناسی ایران^{۱۱} اخذ گردید.

۲-۲. شاخص ONI

داده‌های فصلی مربوط به شاخص دور پیوندی ONI در منطقه نینو از پایگاه اینترنتی سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا^{۱۲} (NOAA) دریافت شد که مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است. شاخص دورپیوندی ENSO (مانند شاخص ONI) ماهیتی پیوسته دارد که از مقادیر منفی تا مثبت تغییر می‌کند.

جدول ۱. ویژگی‌های شاخص (ONI (ENSO) مورد استفاده در این مطالعه

توضیحات	
تعریف	میانگین متحرک سه‌ماهه انحراف دمای سطح دریا (SST anomaly) در ناحیه نینو ۳/۴ است؛ این ناحیه بین عرض‌های ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی و طول‌های ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه غربی قرار دارد و مقادیر آن نسبت به میانگین اقلیمی بلندمدت محاسبه می‌شود.
واحد اندازه‌گیری	درجه سلسیوس (°C)
معیار آستانه النینو	$ONI \geq +0.5^{\circ}C$
معیار آستانه لانینو	$ONI \leq -0.5^{\circ}C$
فاز خنثی	ONI بین ۰/۵- تا ۰/۵+ درجه سلسیوس
دوره مبنا (Climatology)	میانگین ۳۰ ساله که هر ۵ سال به‌روز می‌شود تا تغییرات اقلیمی بلندمدت را منعکس کند.
مرجع تولید شاخص	مرکز پیش‌بینی اقلیمی NOAA (Climate Prediction Center – CPC)

منبع^{۱۳}

۲-۳. محاسبات

داده‌های بارش ماهانه سه ماه پاییز ایستگاه کرمانشاه در بازه ۳۰ ساله (۱۹۹۴-۲۰۲۳) طبق رابطه (۱) استاندارد شدند تا امکان مقایسه تغییرات بارش میان سال‌ها و بین فازها و شدت‌های مختلف ENSO فراهم شود.

$$z = \frac{(p - \mu)}{\sigma} \quad (1)$$

P مقدار بارش هر ماه، μ میانگین بارش بلندمدت و σ انحراف معیار مقدار بارش است [۲۳].

سپس مقادیر ماهانه اکتبر، نوامبر و دسامبر برای هر سال با یکدیگر جمع شدند و بارش فصلی پاییز به‌دست آمد. در ادامه، ضریب همبستگی پیرسون بین بارش‌های فصلی و مقادیر فصلی شاخص ONI طی دوره ۳۰ ساله محاسبه شد. قابل ذکر است که در این زمینه از محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. نهایتاً، داده‌های فصلی شاخص ONI در فصل پاییز برای ۳ دهه بر اساس معیارهای ارایه شده در جدول (۱) طبقه‌بندی و فازهای مثبت (النینو) و منفی (لانینو) آن تعیین گردیدند.

۲-۳-۱. ضریب همبستگی پیرسون

ضریب همبستگی پیرسون^{۱۴} یک شاخص آماری برای اندازه‌گیری قدرت و جهت رابطه خطی بین دو متغیر کمی است. مقدار این ضریب بین ۱+ تا ۱- تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که مقادیر نزدیک به ۱+ نشان‌دهنده رابطه مستقیم قوی، مقادیر نزدیک به ۱- بیانگر رابطه معکوس قوی، و مقادیر نزدیک صفر نشان‌دهنده نبود رابطه خطی هستند (رابطه ۲) [۲۴].

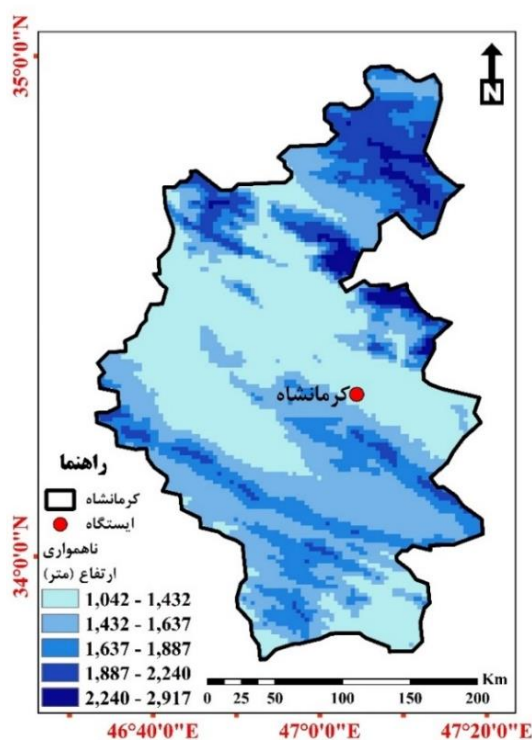
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

X و Y مقادیر هر متغیر، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین متغیرها، R ضریب همبستگی است.

مقادیر شاخص ONI ابتدا برای تعیین فازهای ENSO (النینو و لانینو) طبق جدول ۱ استفاده شدند. سپس، بر اساس معیار شدت فازها ارائه‌شده در جدول ۲، هر فاز به سه طبقه خفیف، متوسط و قوی تقسیم شد. در ادامه، میانگین بارش پاییزه برای

۳. موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، غرب ایران، ایستگاه هواشناسی همدیدی کرمانشاه واقع در استان کرمانشاه است که در محدوده عرض جغرافیایی ۳۴/۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷/۱۵ درجه شرقی قرار گرفته است. استان کرمانشاه به دلیل قرارگیری در غرب ایران، مجاورت با سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای و سهم بالای بارش‌های پاییزی در رژیم بارش سالانه، از مناطق حساس کشور نسبت به نوسانات اقلیمی بزرگ مقیاس به‌ویژه ENSO محسوب می‌شود. بخش مهمی از کشاورزی دیم، منابع آب سطحی و زیرزمینی استان وابسته به بارش‌های فصل پاییز است و هرگونه تغییر در این بارش‌ها می‌تواند پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی در منطقه ایجاد کند. همچنین برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مناطق غربی ایران بیشترین پاسخ را به نوسانات ENSO دارند و تغییرات فازهای النینو و لانینو می‌تواند موجب افزایش یا کاهش بارش پاییزی در این ناحیه شود. بنابراین انتخاب ایستگاه کرمانشاه به‌عنوان منطقه مورد مطالعه، به دلیل حساسیت اقلیمی بالا، اهمیت مدیریتی بارش‌های پاییزه، و تأثیر بالقوه قابل توجه ENSO بر بارش‌های این استان صورت گرفته است. (شکل ۱).



هر طبقه شدت فاز در محیط نرم افزار Excel محاسبه و تغییرات آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد.

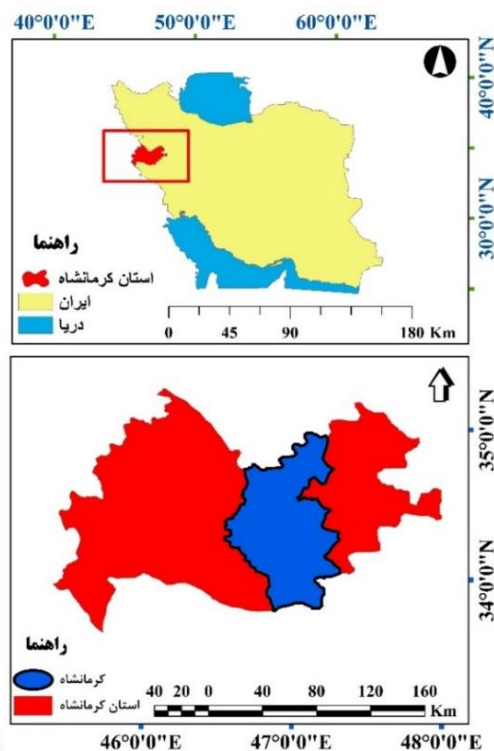
جدول ۲. معیارهای طبقه‌بندی فازهای ENSO بر اساس شدت رخداد

شاخص ONI

شدت پدیده	مقدار ONI	توضیح
خفیف (ضعیف)	± 0.5 تا ± 0.9	تغییر دمای سطح دریا اندک اما معنی دار است
متوسط	± 1.0 تا ± 1.4	تأثیر متوسط بر الگوهای آب و هوایی
شدید	$ONI \leq -1.5$ و $ONI \geq +1.5$	اثرات قوی و گسترده بر اقلیم نواحی مختلف

منبع ۱۵

در گام بعد، برای بررسی بصری توزیع بارش پاییزه، تغییرات سالانه و الگوهای پراکندگی مرتبط با فازها و شدت‌های مختلف ENSO در منطقه کرمانشاه، از نمودارهای جعبه‌ای، سری زمانی و پراکنش که در محیط نرم‌افزاری R ترسیم شدند، استفاده گردید.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۴. یافته‌ها

بر اساس خروجی نرم‌افزار SPSS، ضریب همبستگی پیرسون بین بارش پاییزه ایستگاه کرمانشاه و شاخص ONI در دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ برابر ۰/۵۱ و مثبت بود، که نشان‌دهنده ارتباط مستقیم و معنی‌دار این بارش‌ها با شاخص ONI در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. بر اساس معیار تعیین فازهای مثبت و منفی شاخص دورپیوندی مورد مطالعه (جدول ۱)، فازهای ENSO در فصل

جدول ۳. بارش، شاخص و فاز مربوط به فصل پاییز در دوره ۳۰ ساله مورد بررسی

سال	شاخص ONI	بارش (میلی‌متر)	فاز
۲۰۰۹	۱/۳۶	۱۹۸/۴۵	النینو
۲۰۱۰	-۱/۶۴	۵۸/۵۳	لانینو
۲۰۱۱	-۱/۰۹	۱۳۲/۳۳	لانینو
۲۰۱۲	۰/۰۵	۲۱۴/۲۷	خنثی
۲۰۱۳	-۰/۱۷	۱۶۹/۵۶	خنثی
۲۰۱۴	۰/۶۴	۱۴۳/۵۵	النینو
۲۰۱۵	۲/۵۷	۲۴۶/۴۴	النینو
۲۰۱۶	-۰/۶۷	۸۳/۷۲	لانینو
۲۰۱۷	-۰/۸۴	۵۰/۵۷	لانینو
۲۰۱۸	۰/۹	۲۴۴/۴۱	النینو
۲۰۱۹	۰/۵۱	۱۹۱/۰۹	النینو
۲۰۲۰	-۱/۲۷	۱۷۸/۱۸	لانینو
۲۰۲۱	-۰/۹۸	۶۹/۰۹	لانینو
۲۰۲۲	-۰/۹۲	۵۶/۹۸	لانینو
۲۰۲۳	۱/۹۲	۵۳/۲۲	النینو

بر اساس جدول (۲) فازهای النینو و لانینو با توجه به شدت استقرار طبقه‌بندی شدند. تعداد هر فاز و میانگین بارش در حالت‌های ۳ گانه ضعیف، متوسط و قوی تفکیک شد. تعداد فاز النینو شاخص ONI با شدت ضعیف (۵) بیشتر از شرایط متوسط و قوی بوده است. تعداد فاز لانینو شاخص مذکور در این تحقیق در دوره ۳۰ ساله برای فصل پاییز در شرایط ضعیف (۷) بر ۲ شدت دیگر این فاز غلبه داشته است. در فاز مثبت میانگین بارش در شرایط متوسط دارای مقدار بیشینه بوده است. در فاز منفی میانگین بارش در شرایط ضعیف بر ۲ سطح دیگر این فاز غلبه داشته است. در هر ۲ فاز (لانینو و النینو) شاخص دورپیوندی در فصل پاییز حداقل رخداد

سال	شاخص ONI	بارش (میلی‌متر)	فاز
۱۹۹۴	۱/۰۱	۴۲۷/۸۸	النینو
۱۹۹۵	-۱	۲۳/۳۳	لانینو
۱۹۹۶	-۰/۴۵	۸۰/۹۲	خنثی
۱۹۹۷	۲/۴	۱۴۶/۷۸	النینو
۱۹۹۸	-۱/۴۸	۳۴/۰۳	لانینو
۱۹۹۹	-۱/۴۶	۹۳/۵۳	لانینو
۲۰۰۰	-۰/۷۵	۱۹۵/۴۷	لانینو
۲۰۰۱	-۰/۳۵	۹۱/۱۳	خنثی
۲۰۰۲	۱/۳۱	۱۰۹/۲۸	النینو
۲۰۰۳	۰/۳۵	۲۰۴/۳۲	خنثی
۲۰۰۴	۰/۶۶	۱۱۴/۹۵	النینو
۲۰۰۵	-۰/۵۷	۸۰/۱۳	لانینو
۲۰۰۶	۰/۹۴	۱۷۱/۶۳	النینو
۲۰۰۷	-۱/۵	۳۸/۴۴	لانینو
۲۰۰۸	-۰/۵۵	۱۷۳/۰۷	لانینو

در جدول (۴) تعداد فازهای لانینو، النینو و خنثی و همچنین میانگین بارش هر فاز در ایستگاه مورد مطالعه در دوره ۳۰ ساله درج گردیده است. طبق جدول مذکور بیشینه تعداد فازی مربوط به فاز منفی (۱۴) بوده و بیش‌ترین بارش (۱۸۷/۷۹) در فاز مثبت رخ داده است.

جدول ۴. تعداد فازها، میانگین بارش هر فاز مربوط به فصل پاییز در ایستگاه کرمانشاه در (۱۹۹۴-۲۰۲۳)

فاز	تعداد فازها	میانگین بارش فاز (میلی‌متر)
النینو (مثبت)	۱۱	۱۸۷/۷۹
لانینو (منفی)	۱۴	۹۰/۵۲
خنثی	۵	۱۵۲/۰۴

مربوط به فاز قوی بوده است. بیشینه میانگین بارش در فاز مثبت در شدت متوسط و کمینه میانگین بارش در فاز منفی در شدت قوی رخ داده است (جدول ۵).

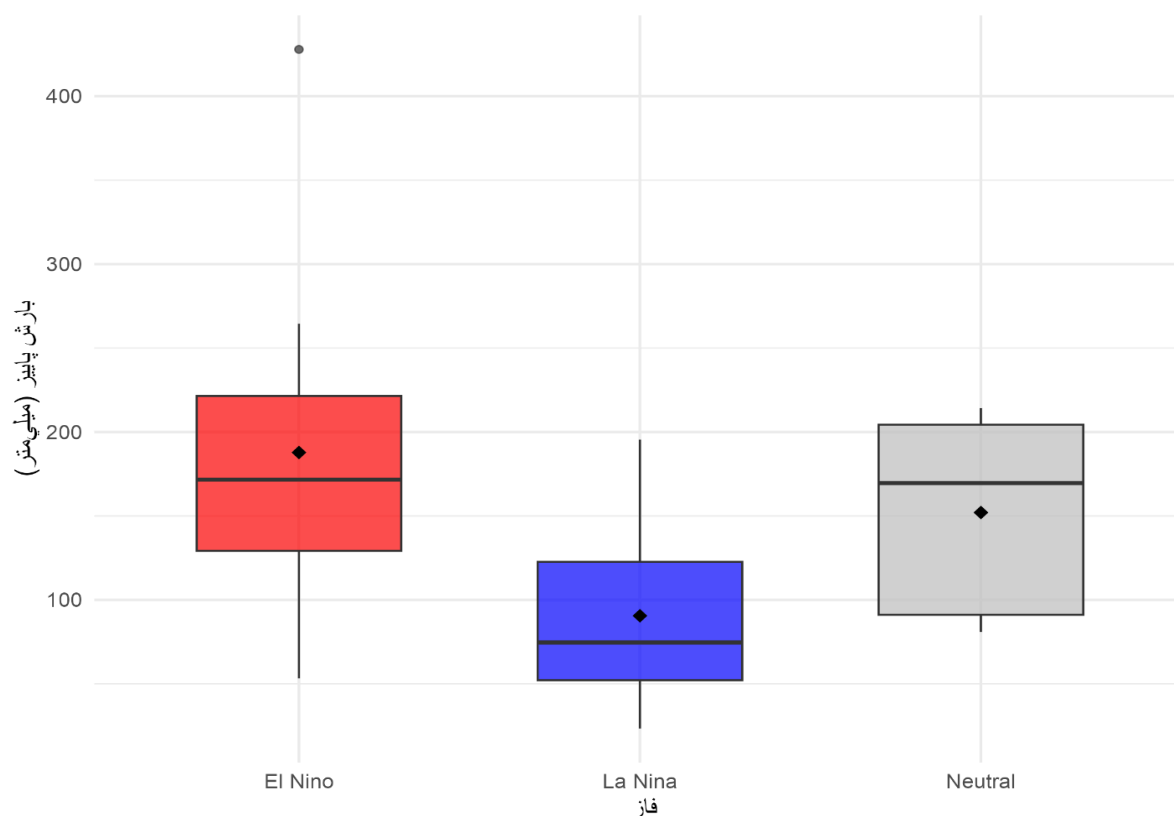
جدول ۵. تعداد فازها، میانگین بارش هر فاز در شدت‌های مختلف ONI مربوط به فصل پاییز دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه

شدت پدیده	تعداد فازهای الینو (مثبت)	تعداد فازهای لانیو (منفی)	میانگین بارش فاز مثبت (میلی متر)	میانگین بارش فاز منفی (میلی متر)
ضعیف	۵	۷	۱۷۳/۱۲	۱۰۱/۲۹
متوسط	۳	۵	۲۴۵/۲	۹۲/۲۸
قوی	۳	۲	۱۵۴/۸۱	۴۸/۴۸

پراکندگی^{۱۹} (شکل ۳) نیز رابطه خطی بین بارش پاییز و شاخص ONI را نشان می‌دهد. در این نمودار، نقاط دورافتاده از خوشه اصلی داده‌ها معرف سال‌هایی‌اند که مقدار بارش یا مقدار شاخص به‌طور قابل‌توجهی با الگوی غالب سال‌ها تفاوت داشته است. خط رگرسیون نیز جهت و شدت ارتباط بین متغیرها را مشخص می‌کند.

مطابق شکل (۲)، بررسی نمودار جعبه‌ای مقایسه‌ای میان سه فاز الینو، لانیو و شرایط خنثی نشان داد که الگوهای بارش تفاوت‌های آماری معناداری را تجربه می‌کنند. فاز الینو در ایستگاه کرمانشاه بالاترین میانه و میانگین را دارد و با وجود یک مقدار دورافتاده، احتمال وقوع رویدادهای شدید بارش بیشتر است. در فاز لانیو، میانه و میانگین بارش پایین‌ترین مقادیر را دارند و دامنه تغییرات کوچک است، که بیانگر بارش کمتر و پایداری بیشتر است. در شرایط خنثی، میانه بالاتر از میانگین قرار دارد و دامنه تغییرات میان‌چارک‌ها (محدوده بین چارک اول و چارک سوم) (IQR)^{۲۰} بیشترین مقدار را دارد، که نشان‌دهنده نوسانات بالاتر بارش در این فاز است. این نتایج نشان می‌دهد که بارش پاییز در ایستگاه‌های مطالعه تحت تأثیر فازهای مختلف ENSO تفاوت‌های قابل‌توجهی دارد؛ به طوری که الینو با بارش شدیدتر، لانیو با بارش کمتر و پایداری، و شرایط خنثی با نوسانات بیشتر ولی رویدادهای شدید کمتر همراه است. دامنه تغییرات میان‌چارک‌ها (IQR) در فاز خنثی بیشترین مقدار را دارد و نشان‌دهنده نوسانات بالاتر بارش است، در حالی که الینو دامنه‌ای متوسط و لانیو کوچک‌ترین دامنه تغییرات را دارد.

نمودار سری زمانی^{۱۶} (شکل ۴)، تغییرات بارش پاییز (منحنی آبی) و شاخص ENSO یا همان ONI (منحنی قرمز) را طی دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهد. این نمودار امکان مشاهده روند کلی، نوسانات سالانه و سال‌هایی را که مقدار بارش یا شاخص به‌طور غیرمعمول زیاد یا کم بوده‌اند فراهم می‌سازد. در این نمودار تفکیک فازهای الینو، خنثی و لانیو به‌صورت رنگ‌گذاری جداگانه انجام نشده است؛ اما سال‌های استثنایی (مانند سال‌هایی با قله‌های بسیار بلند یا افت شدید) از طریق انحراف واضح مقدار بارش یا شاخص نسبت به سال‌های مجاور قابل تشخیص است. نمودار جعبه‌ای^{۱۷} (شکل ۲) نیز توزیع بارش پاییز را در سه فاز پدیده ENSO نمایش می‌دهد. خط میانی هر جعبه بیانگر میانه بارش و نقطه میانی نشان‌دهنده میانگین بارش هر فاز است. دامنه جعبه‌ها بیانگر نوسانات بارش در هر فاز است. مطابق شکل، نمودار جعبه‌ای مقایسه‌ای میان سه فاز الینو، لانیو و شرایط خنثی نشان می‌دهد که الگوهای بارش تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند. میانه و میانگین بارش در فاز الینو بالاتر از فاز خنثی و لانیو است، و فاز خنثی بالاتر از لانیو قرار دارد. در فازهای الینو و لانیو، نقطه میانگین بالاتر از خط میانه است، که نشان‌دهنده چولگی^{۱۸} به سمت مقادیر بالاتر و احتمال وقوع رویدادهای بارش شدید است. در مقابل، در فاز خنثی، خط میانه بالاتر از نقطه میانگین قرار دارد، که بیانگر کشیدگی به سمت مقادیر پایین‌تر و تمرکز بیشتر داده‌ها حول مقادیر متوسط است. همچنین، دامنه تغییرات میان‌چارک‌ها (IQR) کوچک در لانیو و بزرگ در خنثی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تفاوت در پراکندگی بارش بین فازهاست. نمودار

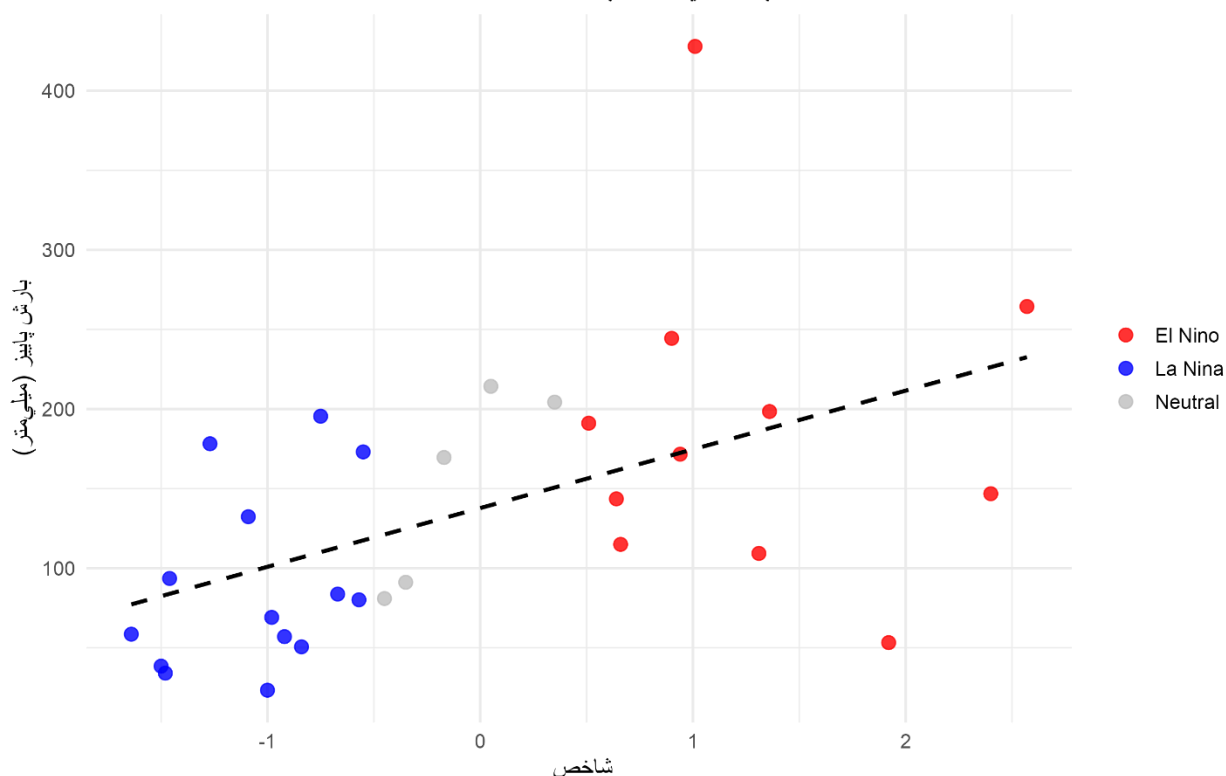


شکل ۲. نمودار جعبه‌ای تغییرات بارش ایستگاه کرمانشاه در فازهای مختلف شاخص ONI (مثبت، منفی و خنثی) طی ۳۰ سال

با افزایش مقادیر شاخص ENSO می‌باشد. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که سال‌های النینو در نمودار پراکندگی مقادیر بارش بالاتری نشان می‌دهند، در حالی که سال‌های لانینو اغلب با مقادیر پایین‌تر همراه هستند. در مجموع، ENSO نقش معناداری در تغییرپذیری بارش پاییز ایستگاه ایفا می‌کند و اثر آن در فاز النینو به صورت بارش‌های نوسانی و بیشتر نمایان می‌شود. شاخص دورپیوندی ENSO (مانند شاخص ONI) ماهیتی پیوسته دارد که از مقادیر منفی تا مثبت تغییر می‌کند. بر اساس تعریف، مقادیر کمتر از -0.5 به عنوان فاز لانینو، بازه -0.5 تا $+0.5$ به عنوان فاز خنثی و مقادیر بزرگ‌تر یا مساوی $+0.5$ به عنوان فاز النینو در نظر گرفته می‌شوند.

بر اساس شکل (۳)، نمودار پراکندگی بارش پاییز ایستگاه کرمانشاه در مقابل شاخص ENSO (ONI) نشان می‌دهد که فازهای مختلف ENSO به وضوح تفکیک‌پذیر هستند؛ بخش نخست شامل سال‌های لانینو، بخش میانی فاز خنثی و بخش سوم سال‌های النینو است. پراکندگی داده‌ها در فاز النینو بیشتر از سایر فازها بوده و بیانگر نوسانات بالاتر بارش در این دوره است، درحالی‌که در فاز لانینو پراکندگی کمتر و تمرکز داده‌ها بیشتر است. از نظر فراوانی، بیشترین تعداد سال‌ها در فاز لانینو، سپس النینو و کمترین تعداد در فاز خنثی قرار دارد. در شکل (۳)، خط رگرسیون (با رنگ سیاه و خط چین) رسم شده که شیب آن مثبت است و نشان‌دهنده افزایش بارش پاییز

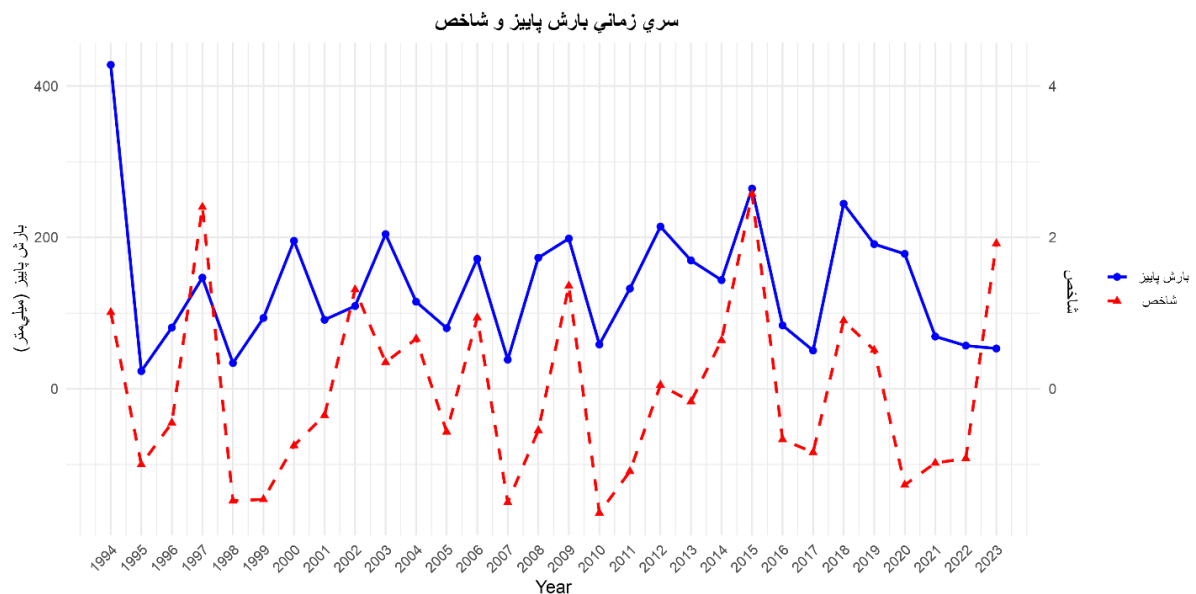
پراکندگی بارش پاییز در مقابل شاخص



شکل ۳. پراکنش بارش کرمانشاه بر اساس فازهای مثبت، منفی و خنثی شاخص ONI در دوره ۳۰ ساله

۲۰۱۵ تطابق کامل میان دو منحنی دیده می‌شود. در دوره‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ فاصله عمودی بین دو منحنی قابل توجه بود که بیانگر اختلاف رفتار بارش و شاخص است. در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ روند بارش کاهشی در حالی رخ داده که شاخص روندی افزایشی داشته است. برعکس، در فاصله ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ افزایش بارش ایستگاه همراه با کاهش شاخص مشاهده شد. به‌طور کلی، این نوسانات نشان‌دهنده عدم هم‌زمانی کامل بین تغییرات بارش پاییز و شاخص دورپیوندی است؛ با این حال در برخی سال‌ها (مانند ۱۹۹۷ و ۲۰۱۵) هم‌سویی یا هم‌زمانی نسبی میان آن‌ها وجود دارد.

با توجه به شکل (۴)، بررسی روند ۳۰ ساله بارش ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد که هر دو منحنی بارش و شاخص دورپیوندی در فصل پاییز رفتاری نوسانی و زیگزاگی دارند. اختلاف بین منحنی‌های بارش و شاخص در سال ۱۹۹۴ به بیشینه و در سال ۲۰۱۵ به کمینه رسید؛ این الگوها صرفاً مشاهدات بصری هستند و نشان‌دهنده روابط آماری قطعی نمی‌باشند. در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ هر دو متغیر دارای قله هم‌زمان بودند. در سال ۱۹۹۷، قله شاخص ENSO نسبت به بارش برجسته‌تر به نظر می‌رسد، در حالی که در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ قله بارش نسبت به شاخص برجسته‌تر مشاهده شد. همچنین در سال



شکل ۴. بررسی نوسانات بارش کرمانشاه هم‌زمان با فازهای مختلف شاخص ONI (۳۰ ساله)

پاییز در سال ۱۹۹۴ و در فاز النینو رخ داده، در حالی که کمینه بارش مربوط به سال ۱۹۹۵ و در فاز لانینو بوده است؛ هر دو رخداد در سطح شدت متوسط این فازها مشاهده شده‌اند. همچنین در هر دو فاز النینو و لانینو، بیشترین فراوانی وقوع مربوط به حالت خفیف بوده و بر دو شدت متوسط و قوی غلبه داشته است. به‌طور کلی، نتایج مطالعه نشان می‌دهد که ENSO نقش قابل توجهی در تغییرپذیری بارش پاییز کرمانشاه دارد و اثر آن در فاز النینو به شکل بارش‌های بالاتر و پراکندگی گسترده‌تر نمایان می‌شود. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه بیات‌ورکشی و همکاران [۲۷] از لحاظ اینکه در فاز لانینو تعداد رخداد های سال‌های کم بارش بیشتر بوده و فاز النینو معمولاً با افزایش بارش همراه است همسو می‌باشد. همچنین، نتایج این مطالعه با نتایج تحقیق احمدی گیوی و همکاران [۲۸] که بیان کرده‌اند بارش فصلی کشور در فازهای مختلف فعالیت ENSO از الگوی مشخص و یکسانی پیروی نمی‌کند، همسو نیست.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم بابت ارزیابی دقیق و پیشنهاد های ارزشمند که به بهبود و ارتقای کیفیت مقاله انجامید، قدردانی می‌نمایند.

۵. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مطالعه در منطقه غرب ایران و ایستگاه کرمانشاه در دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۳، تحلیل رابطه فازهای ENSO (النینو و لانینو) با بارش‌های پاییز نشان داد که بارش پاییز با شاخص اقیانوسی ONI همبستگی مثبت و معناداری دارد ($r = 0.51$ ، سطح معنی‌داری ۰/۰۱). تعداد سال‌های فاز منفی (لانینو) بیشتر از فاز مثبت (النینو) و فاز خنثی بود، اما میانگین بارش در فاز النینو بالاتر از دو فاز دیگر مشاهده شد. بر اساس نمودار جعبه‌ای، در سال‌های وقوع النینو میانه بارش در سطح بالاتری قرار گرفته و مقدار IQR نیز بزرگ‌تر است؛ موضوعی که نشان‌دهنده افزایش دامنه تغییرات و پراکندگی بیشتر بارش در این فاز است. در مقابل، در سال‌های لانینو مقدار IQR کوچک‌تر و میانه در سطح پایین‌تری قرار دارد؛ بنابراین نوسانات بارش محدودتر بوده و الگوی بارش رفتاری پایدارتر و کم‌نوسان‌تر از خود نشان می‌دهد. نمودار سری زمانی رفتار زیگزاگی بارش و شاخص ENSO را نشان داد که تغییرپذیری بارش را برجسته می‌کند. در نمودار پراکندگی، خط روند مثبت بارش نسبت به شاخص ENSO به‌طور بصری نشان می‌دهد که بارش پاییز با افزایش شاخص، تمایل به افزایش دارد؛ به عبارت دیگر، النینو معمولاً با افزایش و لانینو با کاهش بارش همراه است. بیشینه بارش

- climate anomalies in Europe. *Journal of Climate*. 2017; 30(9): 3253–3278.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0376.1>
- [12] Nguyen-Thanh H, Ngo-Duc T, Herrmann M. The distinct impacts of the two types of ENSO on rainfall variability over Southeast Asia. *Clim Dyn*. 2023;61:2155–2172.
[doi:10.1007/s00382-023-06673-2](https://doi.org/10.1007/s00382-023-06673-2)
- [13] Vargas-León LA, Giraldo-Osorio JD. Analysis of anomalies due to the ENSO and long-term changes in extreme precipitation indices using data from ground stations. *Hydrology*. 2024; 11(1):7. [doi:10.3390/hydrology11010007](https://doi.org/10.3390/hydrology11010007)
- [14] Ludescher J, Meng J, Fan J, Bunde A, Schellnhuber HJ. Climate network and complexity approach predict neutral ENSO event for 2025. *arXiv preprint*. 2025; arXiv:2502.00643.
[doi:10.48550/arXiv.2502.00643](https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.00643)
- [15] Zhang J, Hu K, Huang G, et al. The upper-level atmospheric pathway of ENSO's impact on winter rainfall in southern China. *Geosci Lett*. 2025; 12:26. [doi:10.1186/s40562-025-00398-2](https://doi.org/10.1186/s40562-025-00398-2)
- [16] Serykh IV. El Niño–Southern Oscillation prediction based on the global atmospheric oscillation in CMIP6 models. *Climate*. 2025; 13(2):25. [doi:10.3390/cli13020025](https://doi.org/10.3390/cli13020025)
- [۱۷] محمدی ثابت وجهه، موسوی بایگی محمد، رضائی پژند حجت. مطالعه تطبیقی تبعات پدیده انسو (النینو، لانینا) بر دما و بارش مشهد. آب و خاک. ۱۳۹۵؛ ۳۰(۶): ۲۱۰۱–۲۱۱۴.
[doi: 10.22067/jsw.v30i6.56536](https://doi.org/10.22067/jsw.v30i6.56536)
- [۱۸] قاسمی سمیه. بررسی تغییرات گردش عمومی جو طی دو فاز پدیده انسو (النینو و لانینا) در نیمه جنوبی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. زاهدان: دانشگاه سیستان بلوچستان؛ ۱۳۹۶.
- [۱۹] گودرزی مسعود، احمدی حمزه، حسینی سید اسعد. بررسی ارتباط شاخص های پیوند از دور با مؤلفه های بارشی و دمای (مطالعه موردی: ایستگاه همدید کرج). مجله اکوهیدرولوژی. ۱۳۹۶؛ ۴(۳): ۶۴۱–۶۵۱.
[doi: 10.22059/ije.2017.62414](https://doi.org/10.22059/ije.2017.62414)
- [۲۰] اسمعیل زاده زینب، صلاحی برومند، صابر مهناز. تأثیر الگوهای دورپیوند اقیانوس آرام بر رطوبت نسبی سواحل جنوبی ایران. هیدروفیزیک. ۱۴۰۳؛ ۱۰(۱): ۳۵–۵۲.
- مراجع**
- [1] Dehghani M, Salehi S, Mosavi A, Nabipour N, Shamshirband S, Ghamisi P. Spatial analysis of seasonal precipitation over Iran: Co-variation with climate indices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020; 9(2): 73.
<https://doi.org/10.3390/ijgi9020073>
- [۲] خورشید دوست محمدعلی، قویدل رحیمی یوسف. آشکارسازی تغییرات بارش ماهانه ایستگاه اهر در ارتباط با الگوهای پیوند از دور. جغرافیای سرزمین. ۱۳۸۷؛ ۲۰(۵): ۶۵–۸۲.
<https://www.magiran.com/paper/2264539>
- [3] Peng Q, Xie SP, Deser C. Collapsed upwelling projected to weaken ENSO under sustained warming beyond the twenty-first century. *Nature Climate Change*. 2024; 14: 815–822.
<https://doi.org/10.1038/s41558-024-02061-8>
- [۴] علیجانی بهلول. اقلیم شناسی سینوپتیک. تهران: انتشارات سمت؛ ۱۳۹۲. ص. ۱۴۱.
- [5] Holton JR, Hakim GJ. An introduction to dynamic meteorology. 5th ed. Academic Press. 2012.
- [6] Bahrami F, Saadatabadi AR, Krakauer NY, Mesbahzadeh T, Sardoo FS. Synoptic–dynamic patterns affecting Iran's autumn precipitation during ENSO phase transitions. *Climate*. 2021; 9(7): 106. <https://doi.org/10.3390/cli9070106>
- [7] Torres RR, Giraldo E, Muñoz C, Caicedo A, Hernández-Carrasco I, Orfila A. Seasonal and El Niño–Southern Oscillation-related ocean variability in the Panama Bight. *Ocean Science*. 2023; 19: 685–701. <https://doi.org/10.5194/os-19-685-2023>
- [8] Kahya E, Çağatay Karabörk M. The analysis of El Nino and La Nina signals in streamflows of Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 2001; 21(10): 1231–1250.
<https://doi.org/10.1002/joc.663>
- [9] Gheiby A, Noorafshan M. Case study: ENSO events, rainfall variability and the potential of SOI for the seasonal precipitation predictions in Iran. *American Journal of Climate Change*. 2013; 2(1): 34–45.
<http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2013.21004>
- [10] Hansen F, Matthes K, Wahl S. Tropospheric QBO–ENSO interactions and differences between the Atlantic and Pacific. *Journal of Climate*. 2016; 29(4): 1353–1368.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0164.1>
- [11] Ding S, Chen W, Feng J, Graf H. F. Combined impacts of PDO and two types of La Niña on

پی‌نوشت‌ها

- 1 . upwelling
- 2 . El Niño–Southern Oscillation
- 3 . El Niño
- 4 . La Niña
- 5 . Oceanic Niño Index
- 6 . Southern Oscillation Index
- 7 . Extreme Precipitation Indices
- 8 . South China Winter Precipitation
- 9 . Backward Stepwise Regression
- 10 . Oceanic Niño Index
- 11 . www.irimo.ir
- 12 https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
13. [https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate-variability-oceanic-nino-index](https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index)
- 14 . Pearson correlation coefficient
- 15 . Weak/Moderate/Strong: Petereit (2018) [25] ; Null (2017) [26]
- 16 . Time series diagram
- 17 . Box Plot
- 18 . Skewness
- 19 . Scatter Plot
- 20 . Interquartile Range

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24767131.1403.10.1.4.6>

[۲۱] باباعلی حمیدرضا، نوحانی ابراهیم، دهقانی رضا. بررسی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون با مدل‌های هیبریدی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان. هیدروفیزیک. ۱۴۰۳؛ ۱۰(۱): ۲۵-۳۴.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24767131.1403.10.1.3.5>

[۲۲] چمن‌پیرا رضا، دهقانی رضا، ویسکرمی ایرج. تحلیل اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک سلسله). (e727893). هیدروفیزیک. ۱۴۰۴؛ ۱۴۰۴. e727893.

https://www.hydrophysics.ir/article_727893.html

[۲۳] آرخی صالح، برزگر سواسری مرضیه، عمادالدین سمیه. بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VHI و TCI، VCI در ارزیابی خشکسالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۴۰۱؛ ۱۱(۳): ۱۸۹-۲۲۴.

[doi: 10.22067/geoe.2021.72253.1102](https://doi.org/10.22067/geoe.2021.72253.1102)

[24] Wilks DS. Statistical methods in the atmospheric sciences. 3rd ed. Academic Press. 2011. p. 50.

[25] Petereit J, Saynisch J, Irrgang C, Weber T, Thomas M. Electromagnetic characteristics of ENSO. Ocean Science. 2018; 14: 515–524. <https://doi.org/10.5194/os-14-515-2018>

[26] Null J. El Niño and La Niña years and intensities. Available at: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. . 2017 [last accessed 18 June 2018].

[۲۷] بیات‌ورکشی مریم، ایلدرومی علیرضا، نوری حمید. بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران. دانش آب و خاک. ۱۳۹۶؛ ۲۷(۲): ۱۴۳-۱۵۶

https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_6429.html

[۲۸] احمدی گیوی فرهنگ، پرهیزکار داود، حجام سهراب. بررسی اثر انسو (ENSO) بر توزیع بارش فصلی ایران در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰. فیزیک زمین و فضا. ۱۳۸۸؛ ۳۵(۴): ۹۵-۱۱۳.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2538371.1388.35.4.7.0>