



امکان‌سنجی پیش‌بینی شاخص‌های تداوم بارش حدی با استفاده از دورپیوندها (مطالعه موردی): ایستگاه‌های هواشناسی گرگان و رشت

گلنار قنبرزاده^۱، خلیل قربانی^{۲*}، میثم سالاری جزی^۳، چوقی بایرام کمکی^۴، لاله رضائی‌قلعه^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱

چکیده

مطالعه وقایع حدی بارش به دلیل بروز پدیده‌های زبان‌باری نظیر سیل و فرسایش خاک اهمیت زیادی در هواشناسی کشاورزی دارد. پدیده‌های دورپیوند با توجه به اثر آنها بر عوامل اقلیمی، متغیرهای مناسبی جهت پیش‌بینی بارش‌های فرین محسوب می‌شوند. در این مطالعه، دو شاخص حدی بارش بیشترین تعداد روزهای خشک و مرطوب متوالی انتخاب و امکان پیش‌بینی آنها در دو ایستگاه هواشناسی رشت و هاشم‌آباد گرگان طی دوره آماری ۱۴۰۲-۱۳۶۲ با استفاده از مقادیر چند شاخص دورپیوند با دو گروه از معادلات بررسی شد. برای روابط خطی از رگرسیون چند متغیره خطی (MLR) و روابط غیرخطی از رگرسیون درخت تصمیم M5 استفاده شد. این مدل‌ها به منظور غلبه بر مشکل حریصانه بودن الگوریتم داده‌کاوی M5 و شناسایی متغیرهای مؤثر، گام به گام اجرا شدند. اثر تأخیری شاخص‌های دورپیوند از همبستگی بالاتر آن با شاخص‌های حدی بارش تأیید شد. دقت بالاتر مدل M5 نیز وجود رابطه غیرخطی بین شاخص‌های دورپیوند با شاخص‌های حدی مدت بارش را نشان می‌دهد به طوری که با متوسط درصد خطایی کمتر از ۲۱ درصد پیش‌بینی شدند. دقت بیشتر مدل M5 با دخالت دادن تنها ۵ متغیر در مقایسه با کلیه شاخص‌های دورپیوندی، نشانگر اهمیت متغیرها و حریصانه بودن الگوریتم M5 است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌های دورپیوند بر تغییرات عوامل اقلیمی در دو ایستگاه مطالعاتی مؤثر بوده ولی تنها یک شاخص نمی‌تواند تمام تغییرات را توجیه کند بلکه اثر همزمان چند شاخص، با بکار بردن مدلی مناسب جهت یافتن رابطه آنها با شاخص‌های حدی، می‌تواند امکان پیش‌بینی وقایع حدی بارندگی را میسر سازد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، دوره خشک متوالی، دوره تر متوالی، شاخص‌های دورپیوند، درخت تصمیم M5

مقدمه

شرایط مساعد و بهنجار تنظیم شده؛ در زمان وقوع تغییر اقلیم خسارات جبران‌ناپذیری بر آنها وارد می‌شود. یکی از مخرب‌ترین اثرات این پدیده، شکل‌گیری وقایع حدی می‌باشد که تغییر در شدت و تکرار آنها نقش اساسی در تشدید تخریب دارد. وقایع حدی به صورت وقایع نادری تعریف می‌شوند که در بالا و پایین آستانه‌های مقادیر متغیرهای ویژه قرار می‌گیرند. حتی

تغییر اقلیم و گرمایش زمین چالش‌های فراوانی را در قرن اخیر ایجاد کرده است به این صورت که در سراسر کره زمین با تغییر در الگوهای بارشی و دمایی، اثرات آن خسارات بالقوه‌ای بر تمام زمینه‌های حیاتی بشر وارد می‌کند. از آنجاکه برنامه مدیریت جامعه در زمینه‌های شرب، صنعت، کشاورزی طبق

^۱ استادیار گروه مدیریت بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۲ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

*نویسنده مسئول: Ghorbani.khalil@gau.ac.ir

نحوه ارجاع مقاله:

قنبرزاده، گ.، قربانی، خ.، سالاری جزی، م.، کمکی، چ. ب.، رضائی‌قلعه، ل. ۱۴۰۳. امکان‌سنجی پیش‌بینی شاخص‌های تداوم بارش حدی با استفاده از دورپیوندها (مطالعه موردی): ایستگاه‌های هواشناسی گرگان و رشت. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۱۳-۲. DOI: 10.22125/AGMJ.2024.436966.1164
Qanbarzadeh, G., Ghorbani, K., Salarijazi, M., Komaki, Ch., Rezaei Ghaleh L. 2025. Feasibility of forecasting extreme precipitation duration indices using teleconnections (Case study: Gorgan and Rasht weather stations). Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 2-13. DOI: 10.22125/AGMJ.2024.436966.1164

تغییرات زمانی ۱۵ شاخص حدی دما و ۱۱ شاخص حدی بارش را بر اساس مشاهدات روزانه ۱۶۹۰ تا ۲۰۱۶ را برای ۷۹۴ ایستگاه هواشناسی در چین بررسی نموده‌اند. تعداد روزهای مرطوب متوالی ۰/۰۹ روز در دهه کاهش یافت و شاخص شدت بارش روزانه ۰/۰۹ میلی‌متر در دهه افزایش نشان می‌دهد. وقایع بارش حدی به طور معنی‌دار با افزایش عرض جغرافیایی کاهش و با طول جغرافیایی افزایش می‌یابد. مطالعات بی‌شمار دیگری نیز در این زمینه انجام شده است اما مسئله‌ای که در برنامه‌ریزی‌ها اهمیت بالاتری دارد؛ پیش‌گویی این وقایع است. اطلاع از یک یا چند گام جلوتر وقایع حدی، کمک شایانی به آماده‌سازی جامعه در مقابل خساراتی که ممکن است در آینده به وجود آید، می‌کند. در دهه‌های اخیر، پدیده‌های دورپیوند به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های پدیده‌های هیدرولوژیکی بر پایه روش‌های تجربی و آماری در کنار مدل‌های عددی پیشنهاد شده و به عنوان ابزاری مفید در مدیریت بهینه منابع آب به کار گرفته شده‌اند. برخی محققین برای تعیین رابطه بین پدیده‌های دورپیوند، از همبستگی همزمان بارندگی با شاخص‌های اقلیمی که نماد نوسانات اقلیمی است، استفاده نموده‌اند. برخی از همبستگی تأخیری به جای همزمان استفاده نموده‌اند و نشان داده‌اند که اثرات پدیده‌های اقلیمی در بعضی مناطق با تأخیر چند ماه و یا حتی فصلی و سالانه حادث می‌شود. مطالعات متعددی در این زمینه در بخش‌های مختلف ایران و جهان صورت گرفته است، که می‌توان به (Atif et al., 2020) اشاره کرد. در این مطالعه ارتباط شاخص دورپیوند را با واقعه‌های حدی بارش در عربستان سعودی در طول فصل تر بررسی گردید و مشخص شد وقایع حدی بارش با شاخص ENSO مرتبط است بطوری که در فاز مثبت (منفی) ENSO فراوانی وقایع حدی بارش بر روی کشور افزایش (کاهش) می‌یابد. بطور کلی می‌توان گفت؛ ال-نینو (با فاز مثبت) فراوانی وقایع حدی بارش عربستان سعودی را تقویت می‌کند در حالی که در نقطه مقابل برای ال-نینا (با فاز منفی) این موضوع رخ می‌دهد. Olaya-Arenas et al., (2020) به بررسی و ارتباط روند بلندمدت بارش و دما با شاخص‌های اتمسفری جهانی شامل ENSO¹، NAO¹،

یک تغییر کوچک نسبی در میانگین یک متغیر ممکن است به تغییرات قابل توجه در فراوانی حداکثرها منجر شود (Baldi, 2008). این وقایع خواه طبیعی و یا ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند موجب تغییر محیطی، بدون ذکر اثرات مخرب بر زندگی مردم شود. تغییر اقلیم به طور بالقوه موجب افزایش احتمال خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. هم‌اکنون شواهدی وجود دارد مبنی بر اینکه این مناطق بارش کمتری دریافت می‌کند. در سراسر تاریخ، بخش‌های گوناگون جهان از خشکسالی و قحطی پس از آن رنج برده‌اند که به خسارات جانی و مالی منتهی می‌شود (UNEP, 2006). پژوهش‌های زیادی در ایران و جهان در زمینه تغییرات وقایع حدی بارش و دما در سال‌های اخیر انجام گرفته است که عمدتاً در رابطه با بررسی روند و برآورد آن‌ها تمرکز شده است. به طور مثال (Zand et al., 2023) به بررسی ۲۶ رخداد فرین دما و بارش نه ایستگاه سینوپتیک استان لرستان با استفاده از RclimDex طی دوره ۲۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۰) پرداختند. نتایج بررسی روند نشان داد که روند شاخص‌های گرم با افزایش و روند شاخص‌های سرد، با کاهش همراه‌اند و نتایج بررسی فراوانی نیز نشان داد که مجموع بارش این استان با کاهش روبرو است اما در مقابل وقوع بارش‌های حداکثری طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ روند افزایشی داشته که این می‌تواند بیانگر افزایش بارش‌های شدید و کوتاه مدت و در مقابل کوتاه‌تر شدن فصل بارش منطقه است. مطالعه بررسی تغییرات زمانی- مکانی ۱۴ شاخص حدی بارش، ۸ ایستگاه در ناحیه شمال و غرب ایران توسط Nassaji Zavareh and Ghermezcheshmeh, (2023) انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های بارش در یک ناحیه اقلیمی دارای عدم پیوستگی مکانی بوده و رفتار بارش‌ها به سمت حدی شدن پیش می‌رود. (Alavinia and Zarei, 2022) به آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از ۱۰ شاخص حدی دما و بارش در ۴ ایستگاه جنوب شرقی ایران پرداختند که نتایج نشانگر افزایش شاخص‌های دما و کاهشی بودن بارش می‌باشند و به دلیل نبود روندی معنی‌دار می‌توان گفت تغییرات و نوسانات رخ داده در مناطق مطالعاتی ارتباطی با تغییر اقلیم ندارد. (Wang et al., 2021)

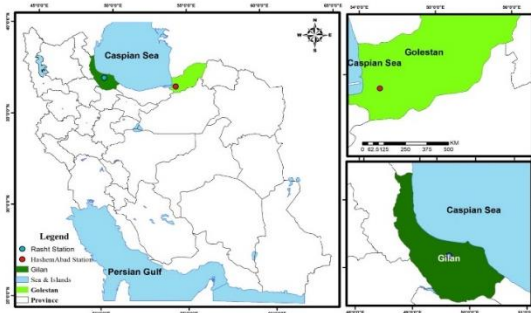
¹ North Atlantic Oscillation

این پژوهش ضمن بررسی این ارتباطات، امکان پیشگویی وقایع حدی مدت بارش با یکی از مدل‌های پیشرفته رگرسیونی که قادر به شناسایی روابط غیرخطی حاکم بر داده‌ها است بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق مطالعاتی پرداخته شده در این پژوهش دو ایستگاه واقع در ناحیه شمالی کشور است. ایستگاه هاشم‌آباد گرگان در طبقه‌بندی دمارتن از لحاظ آب و هوایی دارای اقلیمی نیمه‌خشک و ایستگاه رشت دارای اقلیمی خیلی مرطوب می‌باشند (Khalili et al., 2022). به ترتیب ارتفاع از سطح دریا آن‌ها ۱۶۰ و ۹- متر است. همچنین طی سال آماری که در این پژوهش کار شده (۱۴۰۰-۱۳۷۰)، ایستگاه هاشم‌آباد دارای میانگین بارش ۵۱۱/۷ میلی‌متر در سال و میانگین سالانه دمای آن ۱۸/۰۹ سانتی‌گراد و ایستگاه رشت دارای میانگین بارش ۱۳۱۱/۶ میلی‌متر در سال و میانگین سالانه دمای آن ۱۷/۱۴ سانتی‌گراد می‌باشد. نقشه پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه پراکنش جغرافیایی مناطق مطالعاتی

Figure 1- Geographical distribution map of study areas

داده‌های مورد استفاده

داده‌های به کار گرفته شده در این پژوهش شامل داده‌های بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه در مقیاس زمانی روزانه با دوره مشترک ۳۰ سال (۱۴۰۰-۱۳۷۰) برای ۲ ایستگاه مطالعاتی می‌باشد. اطلاعات ۲۴ سیگنال اقلیمی به طور مرتب

¹TNA و ²AMO در کوه‌های لوکللو پرداختند و نتیجه گرفتند بارش و دما ارتباط قوی‌تری با تغییرات در آتلانتیک گرمسیری نسبت به تغییرات در آتلانتیک شمالی یا آرام شرقی دارد. Fatehi Marj et al., (2018) تأثیر سیگنال‌های اقلیمی NINO3.4، SOI³ و NAO را در حوزه دریاچه ارومیه بررسی و شاهد تأثیر SOI، NAO بر بارش بودند. Moetamedi et al., (2007) ارتباط انسو با نوسانات بارندگی و دما در استان خراسان را بررسی کردند. Hejazizadeh et al., (2013) ارتباط بارش با سیگنال‌های اقلیمی ENSO، NAO، SOI و AO⁴ را در ناحیه ایران مرکزی بررسی و شاهد تأثیر معنی‌دار انسو بر بارش منطقه بودند. مطالعاتی نیز در زمینه پیش‌بینی و مدلسازی وقایع حدی انجام شده است. Mahmoodabadi et al., (2018) به منظور آمادگی برای کاهش خسارات وارده از وقایع حدی و بهره‌وری بیشتر از حجم رواناب تولید شده بر پیش‌بینی وقوع بارش و تحلیل اثرگذاری شاخص‌های دورپیوند و شاخص‌های حدی بر رخداد سیل پرداختند. این پژوهش در منطقه خشک سیستان و بلوچستان که دارای بارش‌های نامنظم و سیل و خشکسالی‌های شدید بوده انجام شده و نتایج نشان داد که ۳۵ درصد تغییرات سیل را می‌توان با شاخص‌های دورپیوند و ۵۰ درصد از تغییرات سیل را می‌توان با شاخص‌های حدی تعیین کرد. در این پژوهش معتقدند صرفاً فقط این موارد بررسی شده کافی نیست. در بررسی سیلاب‌ها شرایط طبیعی منطقه، فصل وقوع رویداد سیل، تغییر کاربری‌های ایجاد شده در مسیر رودخانه نیز باید مورد توجه قرار گیرند. Shirmohammadi et al., (2012) ارتباط شاخص دورپیوند و نمایه‌های حدی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که شاخص انسو ارتباط معنی‌داری با شاخص‌های حدی دارد. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به پژوهش‌های Tramblay et al., (2013) و Valverde and Marengo, (2014) اشاره کرد. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد بیشتر مطالعات به وجود ارتباط بین شاخص‌های دورپیوند و وقایع هواشناسی اشاره کردند و صرفاً مدلی را برای پیشگویی آنها ارائه نکرده‌اند. در

⁴ Antarctic Oscillation

¹ Tropical Northern Atlantic Index

² Atlantic Multi-decadal Oscillation

³ Southern Oscillation Index

در قدم بعدی، داده‌های ۲۴ سیگنال اقلیمی را به مقیاس سالانه تبدیل کرده و با یک سال تأخیر یعنی با دوره (۱۳۹۹-۱۳۶۹) در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفته شد. سپس با استفاده از دو مدل رگرسیونی در داده‌کاوی به مدلسازی و انتخاب بهترین مدل برای پیش‌گویی متغیرهای موردنظر پرداخته شد.

مدل‌های داده‌کاوی

در این پژوهش از دو دسته مدل که قابلیت اجرای گام به گام دارند استفاده شد تا نقش متغیرهای پیشگو در مدل به خوبی دیده شود. یکی از آنها مدل رگرسیون چند متغیره خطی و دیگری مدل رگرسیون درخت تصمیم M5 می‌باشد.

مدل رگرسیون چند متغیره خطی^{۱۸} (MLR)

این مدل، یک مدل داده‌محور با تکنیک آماری است که از چندین متغیر مستقل برای پیش‌بینی یک متغیر وابسته استفاده می‌کند. هدف از رگرسیون خطی چندمتغیره، مدل سازی رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته است و تنها زمانی قابل استفاده است که یک یا چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته در دسترس باشد. معادله این مدل مطابق معادله ۱ است (Khodakhah et al., 2022).

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_mx_m \quad (1)$$

مدل درختی M5

برای اولین بار (Quinlan 1992) این مدل را برای پیش‌بینی داده‌های پیوسته ارائه نمود. روند مدلسازی به این صورت است که، یک مدل خطی چندمتغیره را برای داده‌ها در هر گره از مدل درختی می‌سازد. در مرحله ساخت درخت، از یک الگوریتم یا معیار تقسیم برای تولید یک درخت تصمیم استفاده می‌شود. معیار تقسیم برای الگوریتم مدل M5، ارزیابی انحراف معیار مقادیر کلاسی است که به عنوان کمیتی

و به آسانی در دسترس همگان قرار می‌گیرد و به وسیله مراکز معتبر بین‌المللی ثبت می‌شود که منابع اخذ این داده‌ها سایت NOAA^۱ می‌باشد. ۲۴ شاخص دورپیوند معرفی شده، بر اساس اهمیت آن‌ها در تأثیرگذاری اقلیم مناطق موردنظر پژوهش مورد مطالعه، انتخاب شده و با یک سال تأخیر (۱۳۹۹-۱۳۶۹) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سیگنال‌ها عبارتند از شاخص‌های نوسان اطلس شمالی (NAO)، اقیانوس آرام-آمریکای شمالی^۲ (PNA)، اقیانوس اطلس شرقی^۳ (EA)، اقیانوس آرام غربی^۴ (WP)، الگوی اسکاندیناوی^۵ (SCA)، نوسان شرق اطلس/ غرب روسیه^۶ (EA/WR)، الگوی قطبی/ اوراسیا^۷ (POL)، نوسان قطبی (AO)، نوسان جنوبی (SOI)، لکه‌های خورشیدی^۸ (SP)، تابش موج بلند خروجی^۹ (OLR)، چند متغیره انسو^{۱۰} (MEI)، دمای اقیانوس آرام در مناطق نینو^{۱۱} (ONI)، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام^{۱۲} (PDO)، نوسان شبه دوسالانه^{۱۳} (QBO)، نوسان فشار آرام شمالی^{۱۴} (NP)، اطلس شمالی گرمسیری (TNA)، انتقالی نینو^{۱۵} (TNI)، اطلس جنوبی گرمسیری^{۱۶} (TSA)، استخر گرم نیمکره غربی^{۱۷} (WHWP) و شاخص‌های مرتبط با پدیده ال-نینو که به دلیل تغییر دمای آب دسته‌بندی شده‌اند نیز در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند (NINO1.2, NINO3.4, NINO3 و NINO4).

جدول ۱- شاخص‌های حدی مدت بارش

Table 1- Extreme rainfall indicators

Index	Description	Unit
CDD ¹⁸	Consecutive dry days (largest number of consecutive days with daily precipitation amount less than 1 mm)	Day
CWD ¹⁹	Consecutive wet days (largest number of consecutive days with daily precipitation amount more than 1 mm)	Day

¹¹ Oceanic Nino Index

¹² Pacific Decadal Oscillation

¹³ Quasi- Biennial Oscillation

¹⁴ North Pacific Pattern

¹⁵ Trans- Nino Index

¹⁶ Tropical Southern Atlantic Index

¹⁷ Western Hemisphere Warm Pool

¹⁸ Multivariate linear regression model

¹ <https://www.noaa.gov/>

² Pacific North American Index

³ East Atlantic

⁴ Western Pacific Index

⁵ Scandinavia Pattern

⁶ East Atlantic/West Russia Pattern

⁷ Polar/ Eurasia Pattern

⁸ Sun Spot

⁹ Outgoing Longwave Radiation

¹⁰ Multi ENSO index

معیارهای خطای پیش‌بینی

Legates and McCabe, (1999) بیان کردند که شاخص ضریب همبستگی به تنهایی به عنوان معیاری جهت عملکرد مدل مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بنابراین به منظور کارایی مدل‌های مورد بحث در برآورد پارامتر خروجی مدلسازی، از چندین شاخص آماری استفاده شد. از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای نشان دادن بزرگی خطا، و از میانگین درصد مطلق خطا برای قابل مقایسه کردن بزرگی خطا در ایستگاه‌های مختلف استفاده شد. در ضمن برای مقایسه مدل‌های مختلف از نمودار تیلور استفاده شد که این نمودار ۳ کمیت ارزیابی شامل ضریب همبستگی (R)، اختلاف ریشه میانگین مربع (RMSD)^۱ و انحراف معیار^۲ (SD) را به تصویر می‌کشد.

از خطا به یک گره می‌رسد و کاهش مورد انتظار در این خطا را به عنوان نتیجه آزمون هر صفت در آن گره محاسبه می‌نماید. کاهش انحراف معیار از معادله ۲ بدست می‌آید.

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (2)$$

که در آن، T بیانگر یک سری نمونه‌هایی است که به گره می‌رسد، T_i بیانگر نمونه‌هایی است که آمین خروجی سری پتانسیلی را دارند و sd بیانگر انحراف معیار است. یکی از مشکلات مدل‌های درخت تصمیم، حریصانه بودن الگوریتم آنها می‌باشد که ممکن است افزایش تعداد متغیرهای مستقل نه تنها باعث افزایش دقت مدل شود بلکه حتی دقت آن را نیز کاهش دهد. بر این اساس (Ghorbani et al., 2022) مدل درختی M5 گام به گام را پیشنهاد دادند.

جدول ۲- معیارهای خطای مورد استفاده در پژوهش حاضر

Table 2- Model Error Evaluation Criteria used in the current research

Row	Equation
1	$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (O - \bar{O}) \times (F - \bar{F})]^2}{[\sum_{i=1}^N (O - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^N (F - \bar{F})^2]}$
2	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F - O)^2}{N}}$
3	$MAPE = \frac{100\%}{N} \times \sum_{i=1}^N \left \frac{F - O}{F} \right $
4	$RMSD = \sigma_F^2 + \sigma_O^2 - 2\sigma_F \sigma_O R$ $\sigma_{sim}^2 = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N (Q_{F_n}^{(i)} - \bar{Q}_F^{(I)})^2$ $\sigma_{obs}^2 = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N (Q_{Q_n}^{(i)} - \bar{Q}_O^{(I)})^2$ $R = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N (Q_{F_n}^{(i)} - \bar{Q}_F^{(I)}) \times \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N (Q_{Q_n}^{(i)} - \bar{Q}_O^{(I)})$

شاخص‌های حدی

شاخص‌های تعریف شده توسط تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آن^۳ (ETCCDI) می‌باشد. این گروه ۲۷ شاخص دما و بارش را ارائه نمودند که ۲ شاخص به بررسی مقادیر حدی مدت بارش اختصاص دارد (جدول ۱). نرم افزار RclimDex که توسط بخش تحقیقات

در معادلات فوق F داده‌های شبیه‌سازی شده، O داده‌های مشاهداتی، \bar{F} و \bar{O} به ترتیب میانگین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی و N تعداد مشاهدات است. RMSE مقدار بیانگر متوسط مربع خطا بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است. این معیار بزرگی خطا را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن کم‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر تخمین مدل است.

³ Expert team on climate change detection and indices

¹ Root Mean Square Difference

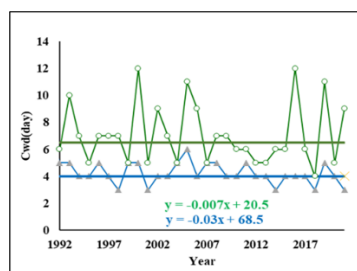
² Standard Deviation

توجه به میانگین بارش ۵۱۱/۷ میلی‌متر در سال و میانگین سالانه دمای ۱۸/۰۹ سانتی‌گراد ایستگاه هاشم‌آباد، تعداد روزهای خشک متوالی آن، میانگین حدوداً ۴ روز در سال و تعداد روزهای مرطوب متوالی آن، میانگین حدوداً ۴۰ روز در سال را نشان می‌دهد و ایستگاه رشت نیز با میانگین بارش ۱۳۱۱/۶ میلی‌متر در سال و میانگین سالانه دمای آن ۱۷/۱۴ سانتی‌گراد، تعداد روزهای خشک متوالی آن، میانگین حدوداً ۷ روز در سال و تعداد روزهای مرطوب متوالی آن، میانگین حدوداً ۳۲ روز در سال را نشان می‌دهد. روند و شیب خط روند (ضریب متغیر X) در نمودارهای خروجی RclimDex (شکل ۲) نشان می‌دهد که تعداد روزهای خشک متوالی در دو ایستگاه رشت و هاشم‌آباد گرگان طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۷۰ با شیب ۰/۷ و ۰/۳ و تعداد روزهای مرطوب متوالی نیز با شیب ۰/۰۷ و ۰/۰۳-، به ترتیب رو به افزایش و کاهش بوده‌اند. به بیانی دیگر، می‌توان گفت، افزایش تعداد روزهای خشک متوالی در ایستگاه رشت و کاهش روزهای مرطوب متوالی در ایستگاه هاشم‌آباد به صورت معنادار در نتایج دیده می‌شود که اهمیت پیش‌بینی این متغیرها را بیش از پیش بالا می‌برد.

جدول ۳- آماره‌های توصیفی شاخص‌های مدت حدی در دو منطقه مورد مطالعه

Table3- Descriptive statistics of extreme rainfall indices in the two study areas

Station	(Day) CDD			(Day) CWD		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
HashemAbad	40.4	76	17	4.3	8	3
Rasht	31.9	72	16	7.1	12	4



اقلیمی هواشناسی کانادا در محیط R تهیه گردیده، برای محاسبه شاخص‌های حدی معرفی شده استفاده می‌شود. در ارزیابی رویدادهای حدی به رکوردهای اقلیمی طولانی‌مدت، با کیفیت بالا و قابل اعتماد با تفکیک زمانی روزانه (یا بالاتر) مورد نیاز است (Muller et al., 2009). لذا در اولین قدم، کنترل داده‌ها انجام می‌شود، به این صورت که ابتدا داده‌ها طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۰ مرتب می‌شوند و در ادامه از نظر کیفیت، بررسی و طبق دستورالعمل نرم‌افزار، به جای داده‌های مفقودی مقدار ۹۹/۹- قرار داده می‌شود. داده‌های هر منطقه در ستون به ترتیب؛ سال، ماه، روز، دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش مرتب‌سازی شده و برای محاسبه شاخص‌ها وارد نرم‌افزار RclimDex می‌شوند.

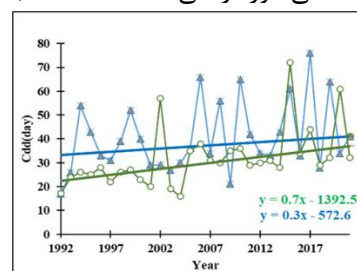
نتایج و بحث

پس از صحت‌سنجی، بررسی کیفی داده‌ها و استخراج شاخص‌های مورد مطالعه، ابتدا به تحلیل آماره‌های توصیفی دو شاخص مد نظر در مناطق پرداخته شده است. در گام بعدی، مدل رگرسیونی خطی چندمتغیره و مدل درختی M5 به صورت گام به گام برای این پنجره زمانی و ایستگاه‌های مورد نظر اجرا شد. برای نشان دادن برتر بودن توانایی و کارایی مدل درختی M5 در مدل‌سازی روابط غیرخطی، نتایج آن را با نتایج مدل رگرسیونی خطی چند متغیره، مورد بحث و مقایسه قرار دادیم.

نتایج RclimDex و تحلیل آماره‌های توصیفی دو

شاخص CDD و CWD در ایستگاه‌های مورد مطالعه

اطلاعات آماره‌های توصیفی جدول ۳ شاخص‌های مدت حدی بارش نشان می‌دهد، طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۰، با



رشت، گرگان، شیب خط روند

شکل ۲- نمودارهای خروجی RclimDex

Figure2- RclimDex output charts

شد که نتایج به دست آمده (جدول ۵) نشان داد مدل M5 نسبت به مدل MLR با خطای کمتر و دقت بیشتری، پیش‌بینی را انجام داده است. بهترین پیش‌بینی با مدل M5، مربوط به ایستگاه رشت با ۹۱ درصد ضریب همبستگی و خطای ۸ روز با ۵ متغیر بوده است. نتایج مدلسازی M5 شاخص Cdd با ۶ متغیر از سیگنال‌های اقلیمی در ایستگاه‌های رشت و هاشم‌آباد به ترتیب؛ ضرایب همبستگی ۹۱ درصد با خطای ۸ روز، ۷۹ درصد با خطای ۹ روز و نتایج با ۷ متغیر به ترتیب در ایستگاه‌های اشاره شده، ضرایب همبستگی ۹۱ درصد با خطای ۸ روز، ۷۸ درصد با خطای ۱۰ روز را نشان دادند که ۶ و ۷ متغیره ایستگاه رشت نسبت به نتایج ۵ متغیره‌ی آن تغییری نداشته است. اما در ایستگاه هاشم‌آباد نتایج نسبت به ۵ متغیره هم از دقت کافی برخوردار نبودند هم با خطای بالایی همراه بودند. به همین علت از لیست بهترین جواب‌ها حذف شدند.

نتایج پیش‌بینی شاخص حدی CDD با دو مدل رگرسیون چند متغیره خطی و درختی M5

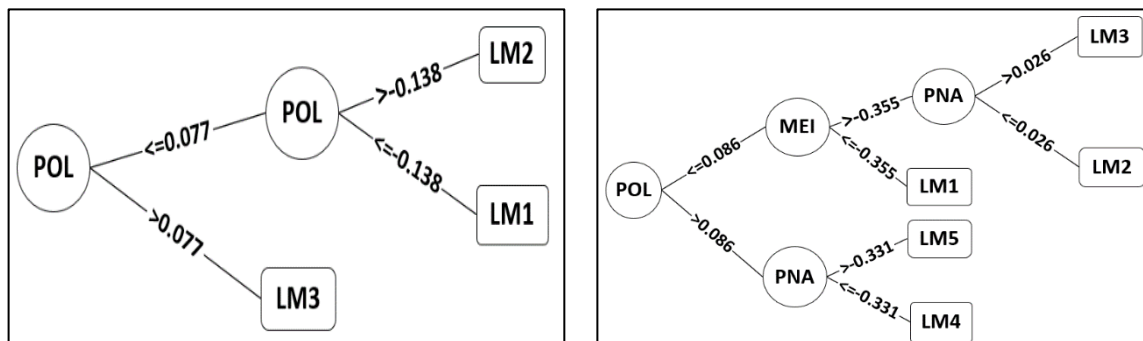
در ابتدا مدل رگرسیون چندمتغیره خطی (MLR) با روش گام به گام بین دو شاخص CDD و CWD با سیگنال‌های اقلیمی در مقیاس زمانی سالانه در محیط Minitab اجرا شد، دقت پیش‌بینی این مدل در بهترین حالت و سیگنال‌های استفاده شده در آن گام (جدول ۴) نشان داد، بیشترین ضریب همبستگی ۶۰ درصد با خطای ۱۱ روز مربوط به ایستگاه هاشم‌آباد بوده است. در ایستگاه رشت نیز ضریب همبستگی ۵۴ درصد با خطای ۱۰ روز با این مدل حاصل شد. مدل M5 نیز در محیط RapidMiner با روش گام به گام پس از تشکیل زیرمجموعه‌های ۱ تا ۷ عضوی از متغیرهای مستقل (۲۴ سیگنال اقلیمی مورد مطالعه)، به طور میانگین در ۲ منطقه و برای شاخص CDD، ۱،۴۵۲،۴۱۲ درخت برای آن‌ها ساخته

جدول ۴- نتایج معیارهای خطا پیش‌بینی شاخص حدی CDD با دو مدل مورد مطالعه

Results of error criteria for predicting the extreme rainfall index of CDD using the two studied models						
Model	Station	Steps	Rules	Evaluation Indices		
				RMSE (Day)	MAPE (%)	R
MLR	HashemAbad	5	-	11.1	25.9	0.60
	Rasht	2	-	10.4	20.2	0.54
M5	HashemAbad	5	5	8.8	20.9	0.80
	Rasht	5	3	7.7	18.7	0.91

می‌دهند و باعث می‌شوند که مجموعه داده‌ها به بخش‌های همگن‌تری تقسیم شوند. اگر به شکل ۳ دقت کنید، سیگنال POL در ریشه درخت ایستگاه هاشم‌آباد رشت قرار دارد.

نمودارهای مدل درختی و روابط رگرسیونی حاصل شده از مدل مورد نظر، در شکل ۳ و جدول ۵ ارائه شده است. معمولا سیگنال‌هایی که در ریشه درخت‌های ارائه شده قرار دارند، SDR بیشتری نسبت به دیگر سیگنال‌ها از خود نشان



شکل ۳- نمودارهای مدل درختی M5 شاخص CDD در دو منطقه مطالعاتی (به ترتیب تصویر اول: هاشم‌آباد و تصویر دوم: رشت)

Figure3- Graphs of M5 tree model of CDD index in two study areas (first image: Hashemabad and second image: Rasht, respectively)

تمامی معادلات رگرسیونی مشاهده شده که باعث اثر مثبت بوده که سیگنال NINO3.4 وابسته به شاخص ال نینو می‌باشد. در نتیجه نمی‌توان برای مناطق مورد مطالعه در این پژوهش، جوابی قطعی برای موضوع تأثیرگذاری بر شاخص تعداد روزهای خشک متوالی، سیگنالی مشخص را بیان کرد.

نتایج حاصل از روابط رگرسیونی (جدول ۵) در مدلسازی تعداد روزهای خشک متوالی ایستگاه هاشم آباد، سیگنال‌های POL تاثیر منفی و NAO تاثیر مثبت بر این متغیر داشته‌اند، یعنی به ترتیب با افزایش سیگنال اول، تعداد روزهای خشک متوالی کاهش اما با افزایش سیگنال دوم، این متغیر افزایش یافته است، در ایستگاه رشت سیگنال NINO3.4 و POL در

جدول ۵- روابط رگرسیونی مدل درختی M5 شاخص CDD در دو منطقه مطالعاتی

Table 5- The M5 model tree regression relationships of the CWD index in the study areas

Station	Independent variables	LM	Regression formulas
Rasht	NINO1.2, NINO3.4, SCA, POL, SP	1	$Cdd = 11.9 \times NINO3.4 + 6.4 \times POL + 0.04 \times SP - 291.2$
		2	$Cdd = 7.4 \times NINO1.2 + 11.3 \times NINO3.4 + 7.9 \times POL + 0.05 \times SP - 442.5$
		3	$Cdd = 3.5 \times SCA + 0.02 \times SP + 31.1$
Hashem Abad	PNA, POL, OLR, MEI, NAO	1	$Cdd = 11.2 \times PNA - 5.7 \times POL - 0.01 \times OLR + 2.3 \times MEI + 8.09 \times NAO + 40.4$
		2	$Cdd = 17.6 \times PNA - 5.8 \times POL - 0.01 \times OLR - 0.6 \times MEI + 13.04 \times NAO + 43.7$
		3	$Cdd = 17.6 \times PNA - 5.8 \times POL - 0.01 \times OLR - 2.3 \times MEI + 11.1 \times NAO + 46.1$
		4	$Cdd = -0.1 \times PNA - 8.6 \times POL + 3.2 \times OLR + 4.1 \times MEI + 5.9 \times NAO + 34.8$
		5	$Cdd = 1.8 \times PNA - 8.6 \times POL + 2.4 \times OLR + 3.1 \times MEI + 5.9 \times NAO + 33.7$

مدل M5، ضریب همبستگی یکسان (۸۴ درصد) در دو منطقه با ۵ متغیر را حاصل کرد. مقدار خطاهای ایستگاه هاشم آباد و رشت حدوداً ۱ روز می‌باشند. نتایج مدلسازی M5 شاخص Cwd با ۶ متغیر از سیگنال‌های اقلیمی در ایستگاه‌های رشت و هاشم آباد به ترتیب؛ ضرایب همبستگی ۸۳ درصد با خطای ۱ روز، ۸۴ درصد با خطای ۱ روز و نتایج ۷ متغیر به ترتیب در ایستگاه‌های اشاره شده، ضریب همبستگی ۸۲ درصد با خطای ۲ روز، ۸۴ درصد با خطای ۱ روز را نشان دادند که در ایستگاه رشت نسبت به نتایج ۵ متغیره دقت رو به کاهش بوده است. در ایستگاه هاشم‌آباد مقادیر یکسان بوده است. نمودارهای مدل درختی و روابط رگرسیونی حاصل شده از مدل مورد نظر، در شکل ۴ و جدول ۷ ارائه شده است. در شکل ۴، سیگنال SOI در ریشه درخت ایستگاه هاشم آباد و سیگنال NAO در ریشه درخت ایستگاه رشت، باعث همگنی مجموعه داده‌ها شده‌اند. نمودارهای مدل درختی و روابط رگرسیونی حاصل شده از مدل مورد نظر، در شکل ۴ و جدول ۷ ارائه شده است. در شکل ۴، سیگنال SOI در ریشه درخت ایستگاه هاشم آباد و سیگنال NAO در ریشه درخت ایستگاه رشت، باعث همگنی مجموعه داده‌ها شده‌اند.

سیگنال قطبی / اوراسیا (POL) در دو منطقه برای شاخص CDD تأثیرگذار بوده است و با حضور خود در ترکیب دو منطقه باعث افزایش دقت مدل و عدم حضور آن نیز باعث بیشترین خطای پیش‌بینی شده است که نشان دهنده اهمیت این سیگنال در پیش‌بینی شاخص تعداد روزهای خشک متوالی در مناطق مطالعاتی این پژوهش است. لکه‌های خورشیدی (SP) و ال نینو (NINO1.2 و NINO3.4) فقط در ایستگاه رشت تأثیرگذار بوده‌اند و سیگنال چند متغیره انسو (MEI) نیز در ایستگاه هاشم آباد تأثیر داشته است که می‌توان گفت پدیده‌های نامبرده، به تنهایی قادر به پیش‌بینی شاخص CDD نیستند. همچنین تعداد ۱۶ سیگنال هیچ تأثیری بر پیش‌بینی در این مناطق نداشتند.

نتایج پیش‌بینی شاخص حدی CWD با دو مدل

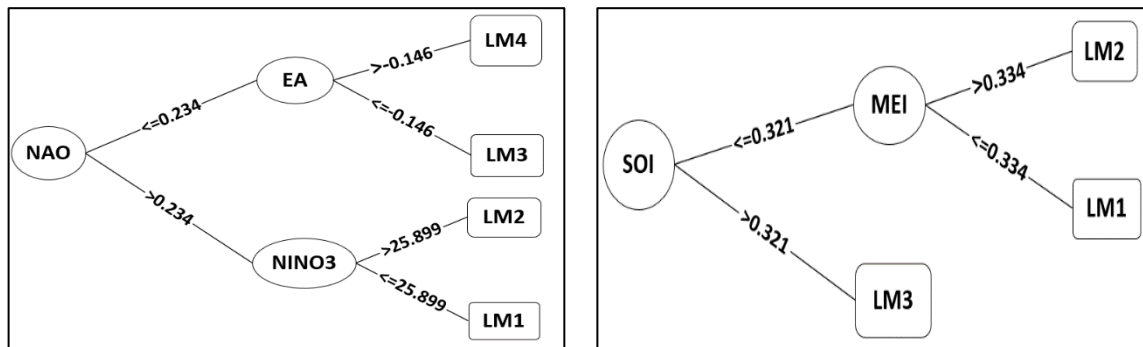
رگرسیون چند متغیره خطی و درختی M5

مراحل مدلسازی مانند شاخص CDD اجرا شد. جدول ۶، نتایج معیارهای خطا و تعداد قوانین و پارامترهای تأثیرگذار را برای شاخص تعداد روزهای مرطوب متوالی (CWD) با دو مدل را نشان می‌دهد. نتایج، تفاوت بالا در دقت مدل M5 نسبت به MLR را نشان می‌دهد. پیش‌بینی شاخص CWD با

جدول ۶- نتایج معیارهای خطا پیش بینی شاخص حدی CWD با مدل رگرسیون چند متغیره خطی

Table6- Results of error criteria for predicting the extreme index (CDD) using a Multivariate linear regression model

Model	Station	Steps	Rules	Evaluation Indices		
				RMSE (Day)	MAPE (%)	R
MLR	HashemAbad	2	-	0.9	17.2	0.35
	Rasht	2	-	1.8	23.3	0.56
M5	HashemAbad	5	3	0.6	11.8	0.84
	Rasht	5	4	1.3	15.8	0.84



شکل ۴- نمودارهای مدل درختی M5 شاخص CWD در دو منطقه مطالعاتی (به ترتیب تصویر اول: هاشم آباد و تصویر دوم: رشت)

Figure4- Diagrams of the M5 tree model of the CWD index in two study areas (first image: Hashem-Abad and second image: Rasht, respectively)

نتایج حاصل از روابط رگرسیونی در مدل سازی تعداد روزهای مرطوب متوالی ایستگاه هاشم آباد، سیگنال های NINO3.4 تاثیر منفی و ONI تاثیر مثبت بر این متغیر داشته اند، یعنی به ترتیب با افزایش سیگنال اول، تعداد روزهای مرطوب متوالی کاهش اما با افزایش سیگنال دوم، این متغیر افزایش یافته است، در ایستگاه رشت سیگنال EA،

نتایج حاصل از روابط رگرسیونی در مدل سازی تعداد روزهای مرطوب متوالی ایستگاه هاشم آباد، سیگنال های NINO3.4 تاثیر منفی و ONI تاثیر مثبت بر این متغیر داشته اند، یعنی به ترتیب با افزایش سیگنال اول، تعداد روزهای مرطوب متوالی کاهش اما با افزایش سیگنال دوم، این متغیر افزایش یافته است، در ایستگاه رشت سیگنال EA،

جدول ۷- روابط رگرسیونی مدل درختی M5 شاخص CWD در دو منطقه مطالعاتی

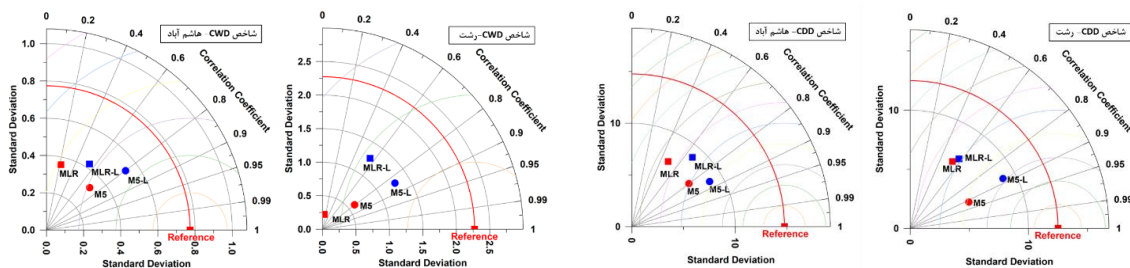
Table7- The M5 model tree regression relationships of the CWD index in the study areas

Station	Independent variables	LM	Regression formulas
Rasht	NINO3,	1	$Cwd = -0.4 \times NINO3 + 1.2 \times EA + 1.04 \times MEI + 0.5 \times NAO - 0.1 \times WHWP + 18.6$
	EA, MEI,	2	$Cwd = -0.3 \times NINO3 + 1.2 \times EA + 0.8 \times MEI + 0.6 \times NAO - 0.1 \times WHWP + 16.6$
	NAO,	3	$Cwd = 4.2 \times EA + 1.7 \times NAO + 7.6$
	WHWP	4	$Cwd = 3.9 \times EA + 1.7 \times NAO + 8.04$
HashemAbad	NINO3.4,	1	$Cwd = -2.1 \times NINO3.4 + 1.03 \times AO + 1.9 \times ONI + 63.3$
	AO, SOI,	2	$Cwd = -1.04 \times NINO3.4 + .5 \times AO + 0.6 \times ONI + 32.7$
	MEI, ONI	3	$Cwd = -1.03 \times NINO3.4 - 0.2 \times AO - 0.7 \times MEI + 1.02 \times ONI + 31.3$

مقایسه نتایج بر اساس سیگنال‌های با تأخیر و بدون تأخیر

در پژوهش حاضر، سیگنال‌های اقلیمی به عنوان عاملی برای پیش‌بینی وقایع حدی انتخاب شده‌اند بر این اساس به صورت تأخیری مورد استفاده قرار گرفتند. برای دید بصری بهتر و نشان دادن برتر بودن مدل‌های خروجی با سیگنال‌های با تأخیر (M5-L, MLR-L) نسبت به سیگنال‌های بدون تأخیر (M5- MLR) و همچنین بهتر بودن جواب مدل M5 نسبت به مدل MLR، در شکل ۵ نمودارهای تیلور آورده شده است.

در مدل M5، علاوه بر پدیده ال‌نینو (سیگنال‌های NINO3.4 و NINO3)، سیگنال چندمتغیره انسو (MEI) نیز در دو ایستگاه برای این شاخص تأثیرگذار بوده است. که حضور این سه سیگنال در ترکیب دو منطقه باعث افزایش دقت مدل و عدم حضور آن نیز باعث بیشترین خطای پیش‌بینی شده است که نشان دهنده اهمیت این سیگنال در پیش‌بینی شاخص تعداد روزهای مرطوب متوالی در مناطق مطالعاتی این پژوهش است. تعداد ۱۶ سیگنال نیز در پیش‌بینی شاخص CWD در مناطق مورد مطالعه تأثیری از خود نشان ندادند.



شکل ۵- نمودارهای تیلور شاخص‌ها در دو منطقه و با دو مدل مورد مطالعه

Figure5- Taylor diagrams comparing indices from two regions using two different models

۲) شاخص‌های دورپیوند در یک مقیاس سیاره‌ای و بزرگ رخ می‌دهد و کل سیستم گردش جوی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این وقایع از یک چرخه چند ساله پیروی می‌کنند و از فازی به فازی دیگر تغییر می‌کنند. اثرات آنها آنی نیست بلکه اثرات تأخیری داشته و در این پژوهش نیز این موضوع به اثبات رسیده است. این ویژگی می‌تواند این شاخص‌ها را ابزاری مناسب جهت پیشگویی در نظر بگیرد. بطوری که پژوهشگرانی مانند Choubin et al., (2016) و Hejazizadeh et al., (2013) نیز از ماهیت تأخیری این شاخص‌های برای پیش‌گویی وقایع هواشناسی استفاده کردند.

۳) روابط بین شاخص‌های دور پیوند و وقایع هواشناسی پیچیده و غیرخطی می‌باشد. مدل رگرسیون درختی M5 که قادر به مدل کردن روابط غیر خطی می‌باشد نتایج به مراتب بهتری را نسبت به MLR در پیشگویی وقایع حدی مدت بارش ارائه کرد. مدل M5 از قابلیت بالایی در مدلسازی برخوردار است بطوری که قابلیت آن در پژوهش Ghorbani et al., (2022) نیز به اثبات رسیده است و با توجه به اینکه جزو مدل‌های جعبه سفید است و روابط بکار رفته در آن واضح و

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که در امکان‌سنجی پیشگویی شاخص‌های حدی مدت بارش در دو ایستگاه هواشناسی سینوپتیک هاشم آباد گرگان و رشت بر اساس شاخص‌های دورپیوند بدست آمد عبارتند از:

۱) عدم همبستگی بالا و معنی‌دار شاخص‌های دورپیوند با وقایع حدی مدت بارش بیانگر آن است که یک شاخص به تنهایی نتوانسته بر این وقایع تأثیرگذار باشد و این می‌تواند پژوهش‌هایی که وقوع هم‌زمانی چندین واقعه حدی هواشناسی را با فازهای مثبت یا منفی شاخص‌های دورپیوند عامل اصلی این رخدادها بدانند نقض کند چرا که پژوهش‌های زیادی نیز وجود دارد که از روش‌های مختلف مدلسازی جهت یافتن روابط پیچیده بین شاخص‌های دورپیوند و وقایع مختلف هواشناسی استفاده کردند که می‌توان به پژوهش‌های (Rafati and Rezazadeh, 2020; Mehravar et al., 2018; Gerkaninezhad and Bazrafshan, 2018; Shirmohammadi et al., 2012) اشاره کرد.

- Oman Sea watersheds). *Journal of The Earth and Space Physics*, 44(2), 333-349. (In Farsi)
- Ghorbani, K., Salarijazi, M., Ghahreman, N. 2022. Developing stepwise M5 tree model to determine the influential factors on rainfall prediction and to overcome the greedy problem of its algorithm. *Water Resources Management*, 36(9), 3327-3348.
- Hejazizadeh, Z., Fatahi, E., Saligheh, M., Arsalani, F. 2013. Study on the impact of climate signals on the precipitation of the central of Iran using artificial neural network. *Journal of geographical sciences*, 13(29), 75-89. (in Farsi)
- Khalili, A., Bazrafshan, J., Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1), 3-16. (In Farsi)
- Khodakhah, H., Ghorbani, K., Salarijazi, M., Abdolhosseini, M. 2022. Monthly and seasonal runoff estimation using time series, decision tree, and multivariable linear regression. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28(4), 27-52. (In Farsi)
- Legates, D.R., McCabe Jr, G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241.
- Mahmoodabadi, M., Omidvar, K., Mozafari, Gh., Mazidi, A. 2018. Assessment of teleconnection patterns affecting rainfall extreme indices (case study: Sistan-Baluchestan province). *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 280-294. (In Farsi)
- Mehravar, S., Ghaedamini, H. A., Nazemosadat, M. J. 2018. On the Madden-Julian Oscillations and El Niño-Southern Oscillation connection and their feedback on autumnal precipitation in Fars province, Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 12(2), 109-126. (In Farsi)
- Moetamedi, M., Ehteramian, K., Shahabfar, A. 2007. The Study of Teleconnection Between ENSO as a Weather Signals and Rain Fall and Temperature Fluctuation's of the Khorasan Province. *Environmental Sciences*, 4(4). (In Farsi)
- Muller, M., Kaspar, M., Rezacova, D., Sokol, Z. 2009. Extremeness of Meteorological Variables as An Indicator of Extreme Precipitation Events, *Atmospheric Research*, 92, 308-317.
- Nassaji Zavareh, M., Ghermezcheshmeh, B. 2022. Assessment of Spatial and Temporal Variability of Extreme Precipitation Indices (North and West of Iran). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 10 (1), 3. (In Farsi)
- ساده می باشد و از قابلیت تفسیر بالایی برخوردار است مورد استقبال زیادی قرار گرفته است.
- ۴) الگوریتم به کار رفته در مدل رگرسیونی درخت تصمیم حریصانه می‌باشد، اجرای گام به گام این مدل که توسط Ghorbani et al., (2022) توسعه یافته بود در این پژوهش نیز این الگوریتم حریصانه را تایید می‌کند بطوری که شرکت دادن ۵ شاخص از ۲۴ شاخص دورپیوندی نتیجه بهتری را بدست آورد و از طرفی استفاده از متغیر کمتر، باعث ساده‌تر شدن روابط و پایین آمدن عدم قطعیت می‌شود.
- در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از شاخص‌های دورپیوند، امکان پیشگویی وقایع حدی مدت بارش را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه وقایع هواشناسی در هر منطقه از عوامل متفاوتی منشأ می‌گیرند و با توجه به خسارات‌زا بودن این وقایع، لزوم مدلسازی وقایع متعدد حدی در مناطق مختلف ضروری است.

منابع

- Alavinia, S. H., Zarei, M. 2022. climate change trends analysis using by extreme indices of long-term rainfall and temperature in South East of Iran. *Regional Planning*, 11(44), 119-134. doi: 10.30495/jzpm.2022.4059. (In Farsi)
- Atif, R. M., Almazroui, M., Saeed, S., Abid, M. A., Islam, M. N., Ismail, M. 2020. Extreme precipitation events over Saudi Arabia during the wet season and their associated teleconnections. *Atmospheric Research*, 231, 104655.
- Baldi, Marina 2008. Climate extreme in the Asia-Pacific Region: a tale of 15 years of international collaborative research. NIWA, Auckland, Rome.
- choubin, B., KHalighi Sigaroodi, S., Malekian, A. 2016. Impacts of Large-Scale Climate Signals on Seasonal Rainfall in the Maharlu - Bakhtegan Watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1), 51-63. (In Farsi)
- Fatehi Marj, A. Borhani Darian, M. H. Mahdian. 2006. Forecasting Seasonal Rainfall Using Teleconnection Pattern Case Study: Orumiyeh Lake Basin. *Journal of Crop Production and Processing*, 10 (3), 45-58
- Bazrafshan, O. 2018. Impact of climatic signals on the wet and dry season precipitation (case study: Persian Gulf and Oman Sea watersheds). (In Farsi)
- Gerkaninezhad Moshhozi, z., Bazrafshan, O. 2018. Impact of climatic signals on the wet and dry season precipitation (case study: Persian Gulf and

- Over Maghreb Countries. *Hazards Earth Systems*, 13, 3235-3248.
- UNEP. 2006. *Extreme Events. One Planet Many People: Atlas of Our Changing Environment*. UN/ISDR2006.
- Valverde, M., Marengo, J. 2014. *Extreme Rainfall Indices in The Hydrographic Basins of Brazil*, *Modern Hydrology*, 4, 10-26.
- Wang, X., Li, Y., Wang, M., Li, Y., Gong, X., Chen, Y., Chen, Y., Cao, W. 2021. *Changes in daily extreme temperature and precipitation events in mainland China from 1960 to 2016 under global warming*. *International Journal of Climatology*, 41(2), 1465-1483.
- Zand, M., Miri, M., Kousari, M. 2023. *Detection of climate change in Lorestan Province using climate extreme indices*. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 27-41. (In Farsi)
- Olaya-Arenas, P., Meléndez-Ackerman, E. J., Pérez, M. E. 2020. *Long-term temperature and precipitation trends in the Luquillo Mountains, and their relationships to global atmospheric indices used in climate change predictions*. *Caribbean Journal of Science*, 50(1), 107-131.
- Quinlan, J.R. 1992. *November. Learning with continuous classes*. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence, 92, 343-348.
- Rafati, P., Rezazadeh, M. 2020. *Correlation of NAO, IOD and ENSO with the sea surface temperature changes in the Persian Gulf*. *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(2), 395-408. (In Farsi)
- Shirmohammadi, Z., Ansari, H., Alizadeh, A., Mohammadian, A. 2012. *The relationship between ENSO index and seasonal extreme rainfalls in Khorasan provinces*. *Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 19(1), 61-79. (In Farsi)
- Tramblay, Y. S., El Adlouni, Servat, E. 2013. *Trends and Variability in Extreme Precipitation Indices*



Feasibility of forecasting extreme precipitation duration indices using teleconnections (Case study: Gorgan and Rasht weather stations)

G. Qanbarzadeh¹, K. Ghorbani^{2*}, M. Salarijazi², Ch. komaki³, L. Rezaei Ghaleh⁴

Received: 04/04/2023

Accepted: 20/02/2024

Abstract

Precipitation is the most important source of water supply for the agricultural sector, which is unevenly distributed across the country based on the long-term average. In this research, the MPI-ESM1.2-HR Earth System Model boundary condition data has been used for dynamically downscaling by RegCM4.7 regional climate model to project the country's average precipitation in the future period of 2026-2075 based on the SSP scenarios. Dynamical downscaling was performed according to SSP2-4.5 and SSP5-8.5 Shared Socio-economic Pathway scenarios from the primary horizontal resolution of 100×100 to 30×30 km. Precipitation projected by the regional climate model was bias corrected using the Linear Scaling (LS) method. In bias correction process, CRU gridded observation data and dynamically downscaled precipitation values in the historical period of 2000-2014 were used. The results showed that the annual precipitation in the southern third of the country will be increased by 7 to 15% in all future periods and SSP scenarios, when comparing to the mean observation period. However, in the northern and central third of the country, both increasing and decreasing changes in precipitation (between -2% and +7%) were projected. In the spring and summer seasons, the precipitation is mainly increasing, with the largest increase in the spring in the southern regions and in the summer in the south and east of the country. On the other hand, in the western regions of the country, the precipitation is projected to decrease. In the autumn season, the country's precipitation is decreasing (increasing) based on SSP2-4.5 (SSP5-8.5). In the winter season, in all model-scenarios, the direction of precipitation change is increasing in the southwest of the country, decreasing in the west, and in other areas within the range of normal fluctuations.

Keywords: Precipitation, Downscaling, CMIP6, RegCM4.7, MPI-ESM1.2-HR



¹ M. Sc. Candidate of Water Resources, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

² Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

(*Corresponding Author Email Address: Ghorbani.khalil@gau.ac.ir)

³ Assistant Professor, Department of Desert Management, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran

⁴ Ph.D. Candidate of Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

قنبرزاده، گ.، قربانی، خ.، سالاری جزی، م.، کمکی، چ. ب.، رضائی قلعه، ل. ۱۴۰۳. امکان سنجی پیش بینی شاخص های تداوم بارش حدی با استفاده از

دورپیوندها (مطالعه موردی: ایستگاه های هواشناسی گرگان و رشت). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲-۱۳. DOI:

10.22125/AGMJ.2024.436966.1164

Qanbarzadeh, G., Ghorbani, K., Salarijazi, M., Komaki, Ch., Rezaei Ghaleh L. 2025. Feasibility of forecasting extreme precipitation duration indices using teleconnections (Case study: Gorgan and Rasht weather stations). Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 2-13. DOI: 10.22125/AGMJ.2024.436966.1164