نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۶، پاییز ۱۴۰۱

تحلیل و بررسی مخاطرات جوی آتی منطقه سیستان

دریافت مقاله: ۹۸/۴/۳۰ **پذیرش نهایی:** ۹۸/۱۰/۲۷
صفحات: ۴۱۰-۳۹۵

نعمت الله صفرزایی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
Email: nematsafarzaee@yahoo.com
علیرضا انتظاری: دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران[۱].
Email: entezari@hsu.ac.ir
مختار کرمی: استادیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
Email: M.karami08@yahoo.co.uk
غلامعلی خمر: استادیار گروه برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
Email: Ah.khammar@gmail.com

چکیده

امروزه تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش رخدادهای حدی و مخاطرات جوی شده است. هدف از این پژوهش، تحلیل و بررسی آینده اقلیم بر مخاطرات جوی منطقه سیستان است. در این مطالعه جهت شبیه‌سازی داده‌های کمینه و بیشینه دما از داده‌های مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 با ریزگردانی آماری SDSM و جهت شبیه‌سازی داده‌های بارش از مدل Hadcm3 تحت سناریوهای A1B ,A2, B1 با ریزگردانی آماری LARS-WG استفاده شده است. بدین منظور، پس از انجام واسنجی، صحت‌سنجی و مدل‌سازی داده‌ها در ایستگاه منتخب، کارایی مدل از نظر میزان انطباق داده‌های پایه دما (۲۰۰۵-۱۹۸۴) و بارش (۲۰۱۵-۱۹۸۶) با مقادیر شبیه‌سازی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) در سطح اطمینان معنی‌داری مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت انطباق داده‌های پایه با داده‌های شبیه‌سازی شده از سه معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R2)و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است. با توجه به داده‌های شبیه‌سازی شده چهار مخاطره مهم جوی یخبندان، امواج گرمایی، بارش‌های حدی و خشکسالی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که امواج گرمایی و خشکسالی در آینده تهدیدات جدی در منطقه هستند به طوری‌که در سال ۲۰۲۱ و تحت سناریوی انتشار RCP 2.6، ۳۲ موج گرما پیش‌بینی شده و محدوده مورد مطالعه بیشتر از ۵ موج گرما را در سال تجربه خواهد کرد. همچنین بیشترین فراوانی خشکسالی در سال ۲۰۲۰ و تحت سناریوی انتشارA1B پیش بینی گردیده است. بارش‌های حدی در بعضی از سال‌ها و تحت سناریوی B1 می‌توانند تهدید قابل توجهی در منطقه باشند. شدت و فراوانی یخبندان سالانه تحت سناریوی انتشار RCP2.6 نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر و نسبت به تهدیدات جوی بررسی شده کمتر است.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، مخاطرات جوی، مدل CanESM2، مدل Hadcm3، سیستان

---

۱ . **نویسنده مسئول:** سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا ، گروه اقلیم شناسی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

مقدمه

در دهه‌های اخیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی وقایع حدی آب و هوایی را متأثر ساخته و باعث تغییراتی در آب و هوای زمین گردیده است. تغییر اقلیم موجب تغییر دما، تغییر در الگوی زمانی بارش و میزان بارندگی می‌شود. عواقب این تغییرات در دراز مدت موجب تغییر مقدار آب و افزایش رخدادهای حدی می‌گردد. مخاطرات جوّی که خود از زیر مجموعه مخاطرات طبیعی محسوب می-گردند با منشأ جو عمل می‌کنند. هدف از انجام پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مخاطرات جوی منطقه سیستان در محدوده جنوب شرق ایران می‌باشد تا با شناخت آن‌ها و برنامه‌ریزی‌های مناسب از خسارات آن‌ها جلوگیری به عمل آید. رخدادهای حدّی زمانی مخاطره تلقی می‌گردند که سطح حداقلی از ضرر و زیان را بر جوامع انسانی و دارایی‌ها و اموالشان تحمیل نمایند (اسمیت،۱۹۹۷: ۳۰۴). با توجه به تنوع بسیار زیاد مخاطرات جوی و حجم بسیار زیاد تحقیقات انجام شده در این زمینه در ادامه تنها به برخی از پژوهش‌ها اشاره خواهد شد. وستال (۱۹۷۱: ۶۵۰) زمان وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها را برای دوره سرد سال در ایالات متحده آمریکا گزارش نمود. هنریکوزو (۱۹۹۸: ۱۹) در پرتقال به منظور تحلیل خشکسالی‌ها یک مدل توزیع منطقه‌ای به کار گرفت و نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی و منحنی‌های شدت، مساحت و فراوانی خشکسالی را ترسیم کرد. دلازیوس و همکارانش (۲۰۰۰: ۷۵۱) بر اساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی نقشه‌های هم شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم نمودند و به این نتیجه دست یافتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی‌های شدیدتری برخوردار است. مدلین و بلتراندو (۲۰۰۵) پراکندگی مکانی یخبندان‌های دیررس بهاره و عوامل تأثیرگذار بر روی آن را در ناحیه تاکداری شمال فرانسه مورد مطالعه قرار دادند. های هوی (۲۰۱۰ : ۶۲) در پژوهشی، مرگ و میر ناشی از امواج گرمایی را در شیکاگو مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که اگر موج گرمایی مشابه موج گرمایی ۲۰۰۳ اروپا در سال‌های آینده در شیکاگو رخ دهد فقط در چند هفته میزان مرگ و میر ناشی از گرما به بیش از ده برابر می‌رسد. آیم و همکاران (۲۰۱۱ : ۷۲) به بررسی ساختار فضایی و زمانی روندهای حال و آینده شاخص‌های حدی اقلیمی در کشور کره جنوبی طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۱۰۰ پرداختند و نتیجه گرفتند که شاخص‌ها بر اساس دمای حداقل تغییر قابل ملاحظه‌ای به سمت گرم شدن دارند در حالی که شاخص‌ها بر اساس دمای حداکثر روند قابل توجهی را نشان نمی‌دهند. سنگام شرستا و همکارانش (۲۰۱۷: ۲۸۵) در پژوهشی با عنوان تشخیص خطر سیل تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوزه رودخانه یانگ تایلند به این نتیجه دست یافتند که با تدوین برنامه‌های مؤثر برای جلوگیری از اثرات منفی سیل‌ها می‌توان فعالیت‌های گسترده و استفاده بهینه‌ای از زمین‌های متنوع در حوزه رودخانه یانگ در تایلند داشت. پابلو جارامیل و همکارانش (۲۰۱۷: ۹۱۷) طی مطالعاتی در محدوده مقیاس کوچکی از شهرهای کانادا به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم و به تبع آن آلودگی و ریزش‌های نابهنگام جوی باعث کاهش امنیت آب‌های شهری شده است. در ایران نیز مطالعاتی پیرامون مخاطرات جوی صورت گرفته از جمله سلطانی و سعادتی (۱۳۸۶: ۶۴) به پهنه بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از شاخصSPI پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که به طور عمده خشکسالی‌های متوسط و شدید در محدوده ایستگاه داران و فریدون شهر واقع در غرب استان اصفهان به وقوع می‌پیوندد. گل محمدی و مساح

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

(۱۳۹۰: ۳۱۵) با شبیه‌سازی بارش با مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی برای حوزه آبریز قرسو، وضعیت خشکسالی این حوضه را در این دوره برای دوره بازگشت‌های مختلف مشخص کردند و نتیجه گرفتند که طی این دوره شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. بابائیان و کوهی (۱۳۹۱: ۹۵۳) با ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی نشان دادند که در دوره های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ طول دوره رشد در دو ایستگاه مشهد و سبزوار افزایش و در تربت حیدریه کاهش می‌یابد. اسماعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۲: ۳۱) با شناسایی امواج گرمایی به این نتیجه رسیدند که موج‌های گرمایی کوتاه مدت رخداد بیشتری داشته‌اند. همچنین امواج گرمایی در دوره آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های اخیر پررخدادتر بوده‌اند. بخش‌های کوهستاهی شمال خراسان از جهت فراوانی وقوع رخدادهای مخاطرات جوی جزء پرمخاطره‌ترین مناطق محسوب می‌گردند درحالی که بخش‌های غربی و جنوبی خراسان از کمترین میزان خطرپذیری برخوردارند (مفیدی،۱۳۹۲: ۱۴). کوزه گران و موسوی بایگی (۱۳۹۴: ۷۵۰) با بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران به این نتیجه دست یافتند که شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی دارند و شاخص‌های حدی سرد روند کاهشی دارند. افزایش دما در چند سده اخیر به گونه‌ای است که به ازای هر صد سال دمای جهان حدود نیم درجه سانتیگراد و دمای ایران دو درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد (مسعودیان،۱۳۹۲: ۹۵). مولودی و همکاران (۱۳۹۵: ۱) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس نشان داد که امواج گرمایی کوتاه مدت رخداد بیشتری دارند و امواج گرمایی در دوره پایه دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده‌اند به طوری که فراوانی آن‌ها در سال‌های اخیر بیشتر شده است. باعقیده و همکاران (۱۳۹۵: ۱۳) در پژوهشی با عنوان ارزیابی مخاطرات دمایی منطقه‌ی جنوب شرق ایران نشان دادند که بالاترین رخداد مخاطره امواج گرمایی شدید در شمال استان سیستان و بلوچستان در منطقه زابل و زهک رخ داده است. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶: ۲۲۶) با بررسی مقادیر آتی بارش‌های نواحی خزری به این نتیجه دست یافتند که بارش ایستگاه‌های انزلی، بابلسر، گرگان و نوشهر کاهش و بارش ایستگاه‌های آستارا، رامسر و رشت افزایش خواهد یافت. با بررسی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر مشخص شد که بیشترین تغییر در حداقل دمای ماهانه و سالانه دیده می‌شود(کریمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۹). بنابراین با توجه به این که منطقه سیستان هر ساله خسارات هنگفت مالی را در نتیجه وقوع انواع مخاطرات جوی متحمل می‌شود لذا شناخت دقیق مخاطرات جوی این منطقه می‌تواند اطلاعات مناسب و با ارزشی را در جهت پیشگیری و یا کنترل این بلایا و برنامه‌ریزی‌های آتی و کاهش خسارات آن‌ها مورد شناسایی قرار دهد. باید با طرح مسئله و مرور پژوهش‌های انجام شده، هدف پژوهش را توجیه کند و به خصوص نوآوری در پژوهش را به طور واضح بیان نماید.

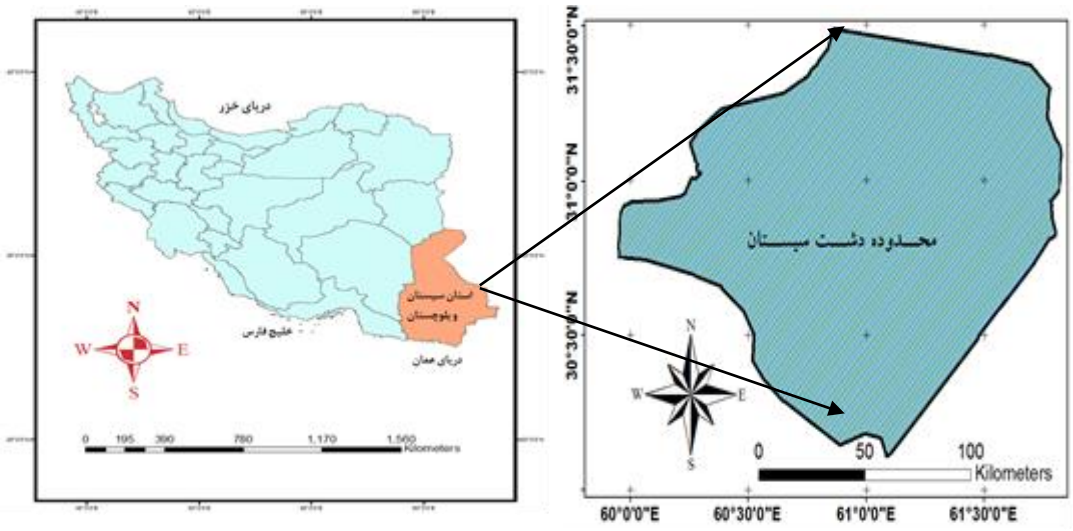
روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه سیستان در جنوب شرقی ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۰ ثانیه تا ۶۱ درجه و ۵۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی۳۰ درجه و ۱۰ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۲۸ ثانیه شمالی واقع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

شده است شکل(۱).



شکل(۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (مآخذ: نگارندگان).

داده و روش کار

در مطالعه حاضر از داده‌های روزانه کمینه و بیشینه دما و بارش ایستگاه هواشناسی زابل استفاده شد. آمار لازم برای دوره آماری (۱۳۹۴-۱۳۶۱) از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان تهیه و تنظیم گردید.

معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه‌های گوناگون، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی است. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلند مدت با استفاده از سناریوهای تایید شده IPCC مدل‌سازی کنند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۷). برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس نمایی مدل‌های مختلف آماری و دینامیکی ابداع شده اند که قادرند خروجی مدل‌های عددی را تا حد مقیاس ایستگاه مدل کنند. مدل SDSM یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس آماری است. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دمای کمینه و بیشینه از نرم افزار SDSM و از آخرین نسخه آن یعنی ۵/۲ استفاده شده است. این نرم افزار روابط آماری را بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) محاسبه می‌کند (ویلبی و همکاران، ۱۹۹۹: ۶۷). برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دمای کمینه و دمای بیشینه از مدل گردش عمومی CanESM2 در فاز CMIP5 ، فراسنج‌های بزرگ مقیاس بازتحلیل از مرکز پیش‌بینی‌های محیطی آمریکا NCEP در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و داده‌های دیدبانی دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان زابل (۲۰۰۵-۱۹۸۴) استفاده شده است. بررسی شرایط اقلیمی آینده تحت سه سناریوی (RCP2.6 RCP8.5 ,RCP4.5) برای دوره ۲۰۳۹ – ۲۰۲۰، شبیه سازی گردید. سناریوهای RCP نشان دهنده محرکه‌های تابشی هستند و در میان آن‌ها سناریوی RCP2.6، سناریوهای انتشار و محرکه‌های تابشی کم تقریباً با سناریوی B1 یا B2 مطابقت دارد، سناریوی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

RCP8.5 محرکه‌های تابشی با سناریوهای انتشار زیاد (تقریباً با سناریوهای A1 یا A2و سناریوی RCP4.5 حالت متوسط دارند (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴). واسنجی و صحت سنجی مدل به ترتیب طی دوره‌های ۱۹۹۷-۱۹۸۴ و ۲۰۰۵-۱۹۹۷ مبتنی بر داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌های مشاهداتی صورت گرفت. همچنین جهت ریز مقیاس نمایی داده‌های بارش از نرم‌افزار LARS-WG و مدل Hadcm3 تحت سناریوهای A1B ,A2, B1 طی بازه زمانی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ استفاده شده است. تولید داده توسط مدل طی سه مرحله واسنجی، ارزیابی و شبیه‌سازی یا تولید داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده صورت گرفت. LARS-WG یکی از معروفترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (سمونوف و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۷۷). استفاده از مدل لارس در این پژوهش به علت عملکرد مطلوب آن برای شبیه‌سازی داده‌های بارش در مقایسه با مدل‌های دیگر است. در مدل لارس شدت کاهش و افزایش بارش نسبت به دوره پایه، کمتر می‌باشد. برای داده‌های دوره پایه از داده‌های دیدبانی بارش روزانه ایستگاه هواشناسی شهرستان زابل (۲۰۱۵-۱۹۸۶) استفاده شده است. سناریوی A1B دارای ویژگی‌های رشد اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیم قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین، سناریوی A2 دارای رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان و سناریوی B1 دارای مشخصات همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد می‌باشد (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۴۹). با توجه به داده‌های شبیه‌سازی چهار مخاطره مهم جوی در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است جدول(۱).

جدول(۱). روش‌های محاسبه یا حدود تشخیص انواع مخاطرات جوی (مفیدی، ۱۳۹۲: ۹).

مخاطرات جوی	روش کار
خشکسالی	جهت محاسبه خشکسالی از شاخصSPI استفاده شد . با استفاده از داده‌های بارش ماهانه طبق رابطه(۱) میزان آن محاسبه می‌گردد. در این رابطه مقادیر 2 و بالاتر به عنوان ترسالی بسیار شدید و مقادیر ۲- و کمتر به عنوان خشکسالی بسیار شدید در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از SPI سالانه و ۶ ماهه استفاده می شود. رابطه (۱) $SPI = \frac{X_{ik}\ \overline{x}}{q!}$ $q!$ =انحراف از معیار داده های i امین ایستگاه، X_{ik} = مقادیر بارندگی برای iامین ایستگاه و k امین مشاهده، $\overline{x}$ = متوسط بارندگی ایستگاه i ام.
بارش‌های شدید و حدی	بارش شدید و حدی بر اساس روش آستانه درصدی و با استفاده از داده‌های بارش روزانه استخراج می‌شوند. در این روش برای هر یک از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه مقادیر آستانه بارش شدید و حدی بر اساس ۰/۵ و ۱۰ درصد از مقادیر متوسط سالانه آن ایستگاه تعین می‌گردد.
یخبندان	از داده‌های حداقل دمای روزانه ماه‌های اکتبر تا می استفاده می‌شود و دمای صفر درجه و کمتر در نظر گرفته شده است.
امواج گرمایی	از داده‌های حداکثر دمای روزانه برای ایستگاه منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود بر اساس تعریف سازمان هواشناس جهانی، در صورتی که برای ۵ روز متوالی دمای حداکثر در یک ایستگاه، ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از میزان درازمدت دمای حداکثر آن ماه بود به عنوان یک موج گرمایی لحاظ گردید (گلیکمن،۲۰۰۰ ؛ فریچ و همکاران ۲۰۰۲: ۷). برای این بخش از پژوهش، داده‌های دوره گرم سال (آوریل تا اکتبر) مورد استفاده قرار گرفته است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

پیش بینی شاخص‌های عملکردی مختلفی جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل وجود دارد که در این پـژوهش، معیارهای مجذور مربعات میانگین خطا(RMSE)، میانگین مربعات خطا(MAE) و ضریب تعیـین (R2) بـه کـار گرفته شده است.

۱- مجذور مربعات میانگین خطا: نشان دهنده میزان خطای مدل می‌باشد که بهترین مقـدار آن‌هـا برابـر صـفر می‌باشد و از طریق رابطه(۲) محاسبه می‌شوند.

رابطه(۲).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t\ 1}^{n}(At - Ft)2}{n}}$$

در رابطه(۲) At متغیر مشاهداتی، Ft مقادیر شبیه سازی شده و n تعداد داده ها می باشد.

۲- ضریب تعیین: بهترین مقدار آن برابر یک می باشد. رابطه (۳) نحوه محاسبه آن را نشان می دهد.

رابطه (۳).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})^2}$$

در رابطه(۳) O_i داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ متوسط داده‌های شبیه‌سازی شده، S_i داده‌های مشاهداتی، $\bar{S}$ متوسط داده‌های مشاهداتی و n برابر تعداد داده ها می باشد

۳- میانگین مربعات خطا: جهت محاسبه آن از رابطه (۴) استفاده می‌شود که می تواند از صفر در عملکرد عـالی تا بینهایت تغییر کند.

رابطه (۴).

$$MSE=(\sum_(t=1)\wedge n\ [\![(At-Ft)]\!]\ \wedge 2\ )/n$$

در رابطه(۴) At متغیر مشاهداتی،Ft مقادیر شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

جدول (۲). ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از آماره‌های واسنجی(SDSM- LARS-WG)

آماره / متغیر	MSE	RMSE	R^2
دمای کمینه	۱۷/۹۹	۳/۲	۰/۸۸
دمای بیشینه	۱۸/۶	۳/۶	۰/۸۵
بارش	۲۲/۴	۴/۳	۰/۷۳

نتایج

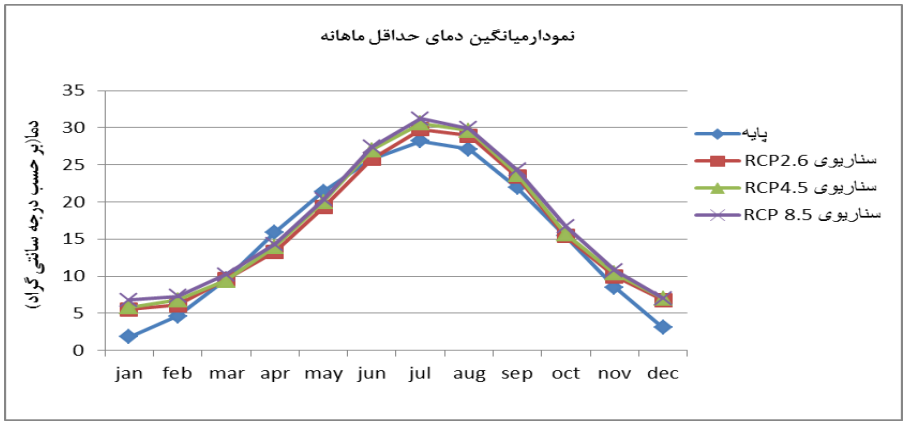
بررسی داده‌های پایه و آینده

در این مطالعه به منظور ارزیابی کارایی و دقت عملکرد مدل‌های CanESM2 و Hadcm3 در شبیه‌سازی داده-های اقلیمی مقادیر حاصل از خروجی مدل‌ها در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴ ، ۲۱۵-۱۹۸۶) با مقادیر مشاهداتی

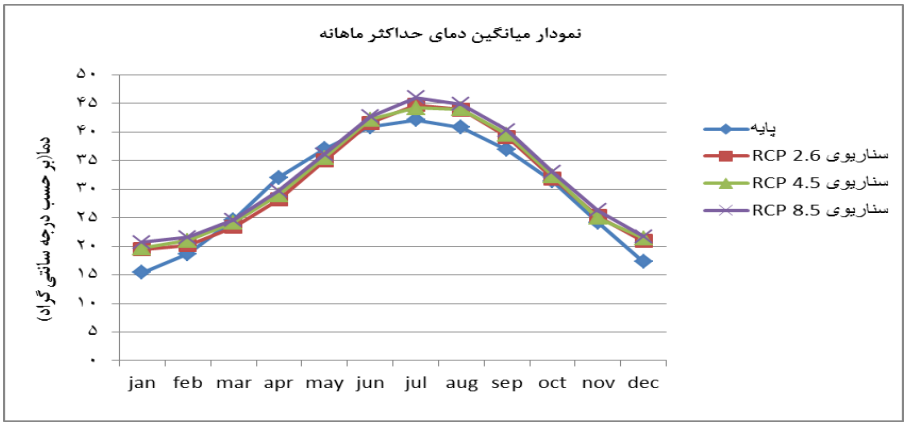
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

متناظر با استفاده از سه شاخص آماری مجذور مربعات میانگین خطا ((RMSE، میانگین مربعات خطا MAE و ضریب تعیین R2 مورد ارزیابی قرار گرفتند جدول(۲). نتایج حاصل از شاخص آماری مجذور مربعات میانگین خطا RMSE نشان دهنده دقت نسبتاً بالای مدل در شبیه‌سازی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش می‌باشد. همچنین شاخص مذکور مبین این واقعیت است که مدل، داده‌های کمینه و بیشینه دما را با دقت بیشتری شبیه‌سازی کرده است. نتایج حاصل از شاخص میانگین مربعات خطا MAE نیز نشان داد که مدل استفاده شده در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی کارایی مناسبی دارد. همچنین مقادیر حاصل از ضریب تعیین R2 نیز بیانگر همبستگی مناسبی بین مقادیر اقلیمی (به ویژه داده‌های دما) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل می-باشند. در ادامه پس از ارزیابی مدل CanESM2، خروجی حاصل در دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۲۰) توسط مدل SDSM برای داده‌های دما و LARS-WG برای داده بارش ریز مقیاس شد. برای ارزیابی دقت مدل در تولید داده در دوره آینده باید داده‌های محاسباتی توسط مدل و داده‌های پایه در ایستگاه مورد مطالعه با هم مقایسه شوند. در شکل(۲) مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل، دمای حداکثر در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) و دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۲۰) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌گردد که روند کلی داده‌های دوره پایه دمای حداقل ماهانه با دوره آینده دارای الگوی نسبتاً یکسانی هستند. در ماه‌های ژانویه، فوریه، جولای، آگوست و دسامبر میانگین دمای حداقل دوره پایه، کمتر از دوره آینده و در ماه‌های آوریل و می بیشتر است به طوری که بیشترین تفاوت در ماه ژانویه با ۳ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. داده‌های دوره پایه و آینده در ماه‌های مارس، ژوئن و اکتبر مشابه و یکسان هستند. در دمای کمینه، فاصله داده‌های پایه با داده‌های تحت سناریوی انتشار RCP2.6 کمتر و داده‌های تحت سناریوی انتشار RCP8.5 بیشتر است. برای دمای حداکثر ماهانه نیز الگوی نسبتاً یکسانی بین داده‌های دوره پایه و دوره آینده مشاهده می‌گردد شکل(۳). بیشترین افزایش دما در جولای (تیر و مرداد) و کمترین آن در ژانویه(دی و بهمن) مشاهده گردید. میانگین دمای حداکثر دوره پایه نسبت به دوره آینده در ماه‌های ژانویه، فوریه، جولای، آگوست، سپتامبر و دسامبر کمتر و در ماه‌های آوریل و می بیشتر است و بیشترین فاصله در ماه ژانویه با ۵ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. همچنین میانگین داده‌های دوره پایه و آینده در ماه‌های مارس، ژوئن و اکتبر مشابه و یکسان هستند. در فصل زمستان پراکندگی و فاصله نسبتاً قابل توجهی در مجموع بارش ماهانه بین داده‌های دوره پایه و دوره آینده در منطقه مورد بررسی مشاهده می‌گردد شکل(۴). این در حالی است که در ۶ ماه متوالی می تا اکتبر داده های دوره پایه و آینده صفر یا نزدیک به صفر پیش بینی شده‌اند. ماه‌های نوامبر و دسامبر نیز دارای الگوی نامنظم و پراکنده‌ای هستند. همچنین مشابه ترین الگو با دوره پایه، سناریوی تحت انتشار B1 می‌باشد درحالی که سناریوی تحت انتشار A1B بیشترین فاصله را با داده‌های دوره پایه دارند.

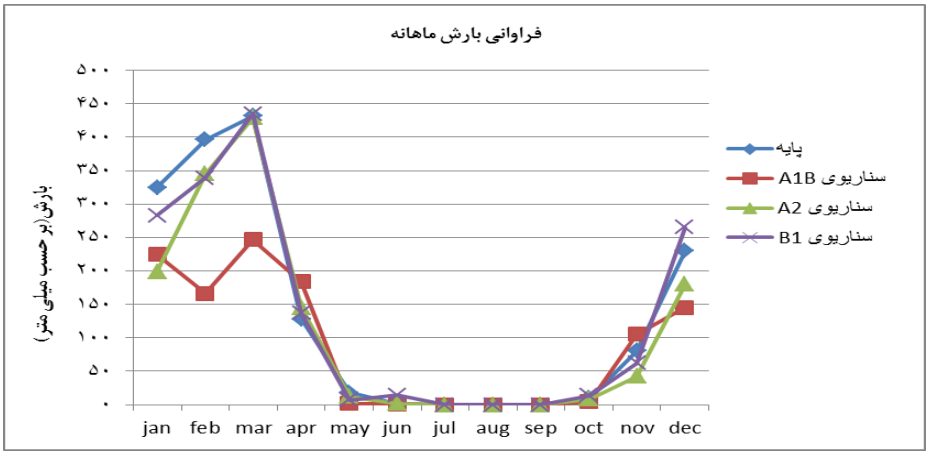
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]



شکل(۲). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) و دوره آینده (۱۰۳۹-۲۰۲۰) تحت سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP8.5.



شکل(۳). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداکثر در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۴) و دوره آینده (۱۰۳۹-۲۰۲۰) تحت سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP8.5.



شکل(۴). مقایسه فراوانی بارش ماهانه در دوره پایه (۲۰۱۵- ۱۹۸۶) و دوره آینده (۱۰۳۹-۲۰۲۰) تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

مخاطرات جوی

یخبندان

روزی که دمای هوا در یک شبانه روز به صفر یا زیر صفر درجه برسد یخبندان گفته می‌شود جدول(۱). شکل(۵) فراوانی روزهای یخبندان سالانه را تحت سه سناریوی انتشار مطرح شده طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نشان می‌دهد. بیشترین یخبندان سالانه تحت سناریوی انتشارRCP2.6 مشاهده می‌گردد به طوری که سال ۲۰۲۳ بیشترین یخبندان را در بر خواهد داشت. همچنین در این سناریو سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ دارای یخبندان های قابل توجه و سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۷ بدون یخبندان هستند. کمترین یخبندان تحت سناریوی RCP8.5 مشاهده می‌گردد به طوری که ۱۲ سال از سال‌های مورد بررسی بدون یخبندان هستند و سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۹ دارای یخبندان های با فراوانی بسیار کمی در سال هستند. بنا بر سناریوی RCP 4.5 سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۹، ۲۰۳۳ و ۲۰۳۸ بدون یخبندان و سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۲۵، ۲۰۳۲ و ۲۰۳۹ دارای یخبندان معدودی هستند شکل(۵).

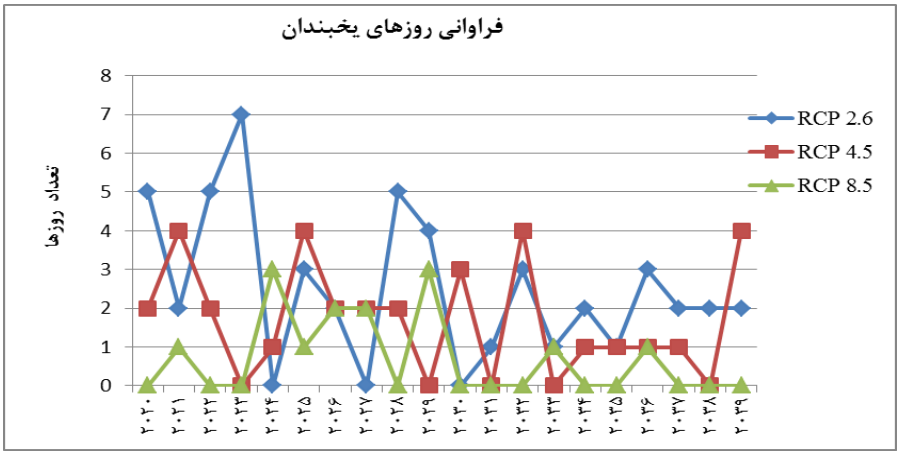
امواج گرمایی

بر اساس تعریف سازمان هواشناس جهانی، در صورتی که برای ۵ روز متوالی دمای حداکثر در یک ایستگاه، ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از میزان درازمدت دمای حداکثر آن ماه بود به عنوان یک موج گرمایی لحاظ گردید جدول(۱). بیشترین امواج گرمایی سالانه تحت سناریوی انتشارRCP2.6 مشاهده می‌گردد به طوری که در سال ۲۰۲۱ بیشترین امواج گرمایی سالانه (۳۲ موج گرما) و کمترین آن در سال ۲۰۲۹ (۹ موج گرما) گزارش شده است. مجموعاً نوسانات سالانه قابل توجهی در این سناریو مشاهده می‌شود. این در حالی است که در سال ۲۰۲۱ تعداد امواج گرمایی سالانه تحت سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۲ و ۱۱ موج گرمایی قابل مشاهده است شکل(۶). کمترین امواج سالانه تحت سناریوی RCP4.5 مشاهده می‌گردند به طوری که در طی سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۲، ۲۰۳۴ و ۲۰۳۵ با ۱۵ موج گرمایی بیشترین و سال‌های ۲۰۲۶، ۲۰۲۹ و ۲۰۳۳ با ۶ موج گرمایی کمترین تعداد را در برگرفته است. بیشترین تعداد امواج گرمایی تحت سناریوی انتشار RCP8.5 سال ۲۰۳۱ با ۲۰ موج گرمایی سالانه و سال ۲۰۲۴ با ۹ موج گرمای سالانه پیش بینی شده است شکل(۶).

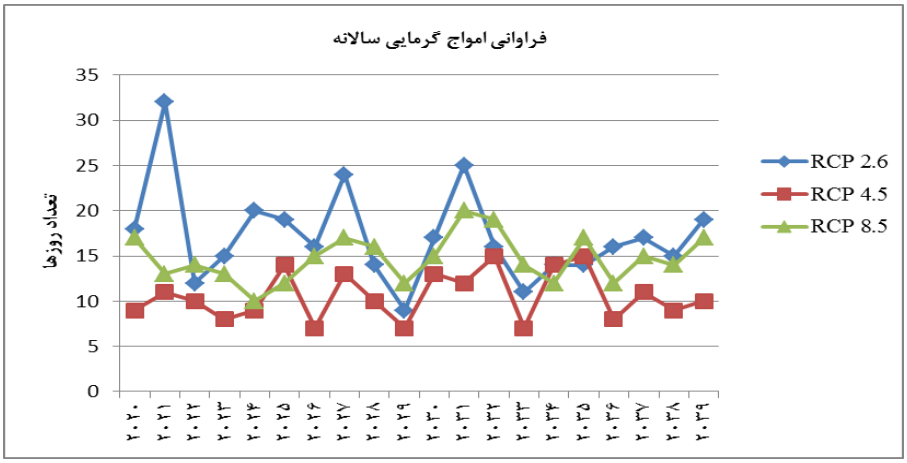
بارش‌های شدید و حدی

بارش شدید و حدی بر اساس روش آستانه درصدی و با استفاده از داده‌های بارش روزانه به دست می‌آیند. در این روش برای هر یک از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه مقادیر آستانه بارش شدید و حدی بر اساس ۱۰ درصد از مقادیر متوسط سالانه ایستگاه تعین می‌گردد جدول(۱). شکل(۷) فراوانی مجموع بارش‌های شدید و حدی سالانه تحت سه سناریوی A1B ,A2, B1 طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی بارش ایستگاه مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۲۳ تحت سناریوی B1 مشاهده می‌گردد. روند سالانه سناریوی B1 نسبت به سناریوهای دیگر دارای الگوی نامنظم و پراکنده می‌باشد به طوری که دارای نوسان قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. کمترین نوسان سالانه، مربوط به سناریوی A1B با ۵ رویداد حدی مشاهده می‌شود. در سناریوی تحت انتشار A2 سال‌های ۲۰۲۷، ۲۰۳۱ و ۲۰۳۳ بدون بارش‌های حدی و سال ۲۰۲۳ بیشترین بارش‌های حدی را دارد شکل(۷).

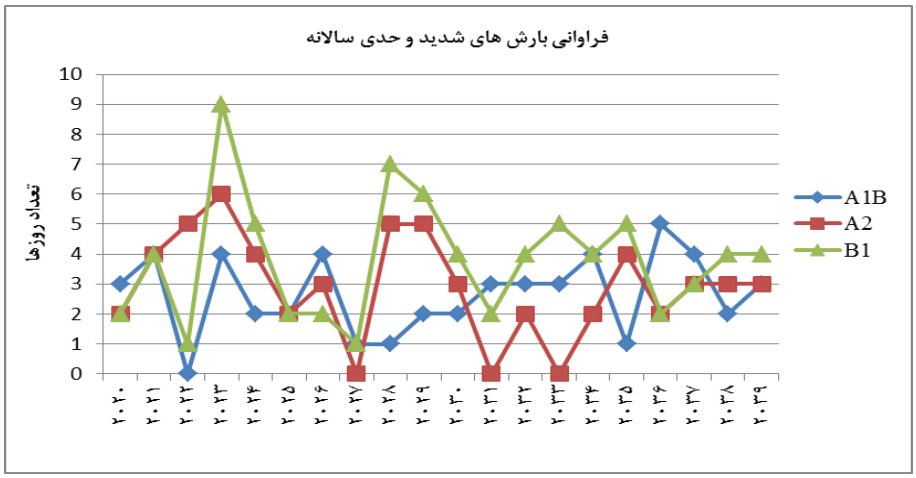
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]



شکل(۵). فراوانی روزهای یخبندان سالانه تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5،(۲۰۲۰-۲۰۳۹)



شکل(۶). فراوانی امواج گرمایی سالانه تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5،(۲۰۲۰-۲۰۳۹)



شکل(۷). فراوانی بارش های شدید و حدی سالانه تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1، (۲۰۲۰-۱۰۳۹)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

خشکسالی

جهت محاسبه خشکسالی از شاخص SPI استفاده شده است که با استفاده از داده‌های بارش ماهانه طبق رابطه(۱) میزان آن محاسبه گردیده است. در رابطه(۱) مقادیر ۲ و بالاتر به عنوان ترسالی بسیار شدید و مقادیر ۲- و کمتر به عنوان خشکسالی بسیار شدید در نظر گرفته شده است جدول(۳).

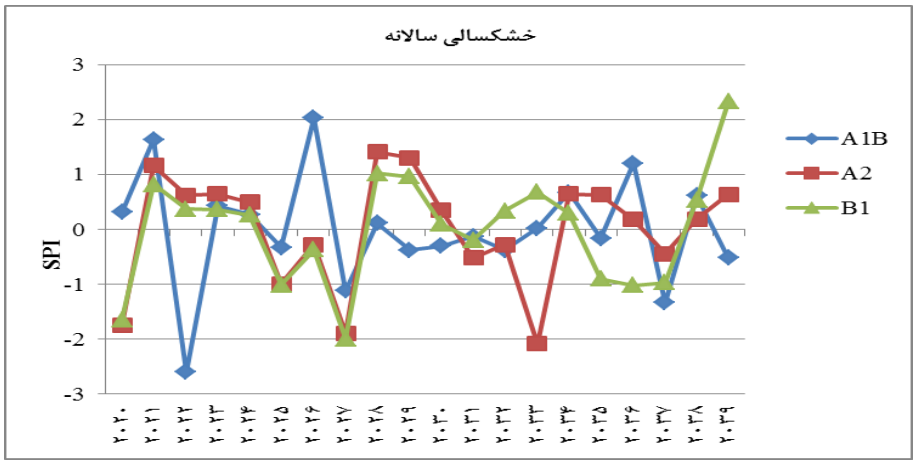
جدول(۳). طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI ورگنی و تودیسکو، ۲۰۱۱: ۳۰۵).

طبقه خشکسالی	SPI
ترسالی بسیار شدید	≥ 2
ترسالی شدید	۱/۵ -۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱-۱/۴۹
وضعیت نرمال	+/۹۹ تا -/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	≤ -2

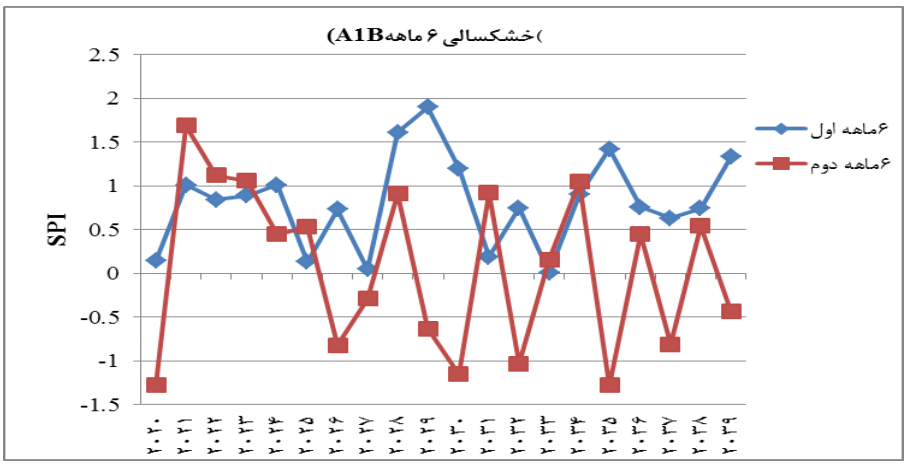
در پژوهش حاضر از SPI سالانه و ۶ ماهه تحت سه سناریوی انتشار A1B ,A2, B1 طی بازه زمانی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ استفاده شده است. با توجه به شکل(۸) که فراوانی خشکسالی سالانه را بر اساس شاخص SPI نشان می‌دهد بیشترین رخداد خشکسالی در سال ۲۰۲۰ و تحت سناریوی A1B رخ خواهد داد. در این سناریو سال-های ۲۰۲۷ و ۲۰۳۷ دارای خشکسالی ضعیف و سال‌های دیگر مورد بررسی در ترسالی به سر می‌برند. همچنین بر اساس خروجی این سناریو ترسالی بسیار شدیدی در سال ۲۰۲۶ مشاهده می‌گردد. با توجه به ۶ ماهه اول سال‌های شبیه‌سازی شده (ژانویه- ژوئن) تحت سناریوی انتشار A1B سال‌های ۲۰۲۸ و ۲۰۲۹ ترسالی بسیار شدید و سال ۲۰۳۳ خشکسالی بسیار ضعیفی مشاهده می‌گردد شکل(۹). مجموعاً در این دوره و تحت این سناریو در باز زمانی مورد مطالعه، منطقه مورد بررسی ترسالی را تجربه خواهد کرد. در ۶ ماهه دوم سال‌های مورد بررسی(جولای- دسامبر) الگوی روند سالانه، نوسانات نسبتاً بالایی دارد به طوری که در سال ۲۰۲۰ خشکسالی شدید و بلافاصله در سال ۲۰۲۱ ترسالی شدید مشاهده می‌گردد. بر اساس خروجی این سناریو در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۳۲ و ۲۰۳۵ خشکسالی‌های شدید، سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۳، ۲۰۲۸، ۲۰۳۰ و ۲۰۳۴ دارای ترسالی متوسط و سال‌های ۲۰۲۶ و ۲۰۳۷ دارای خشکسالی ضعیفی هستند. بر اساس خروجی سناریوی B1 شکل(۱۰) طی شش ماهه اول سال (ژانویه- ژوئن) ترسالی بسیار بالایی در سال ۲۰۳۹ مشاهده می‌گردد به طوری که در ۶ ماهه دوم این سال شاهد خشکسالی متوسط هستیم. در تمام سال‌ها طی دوره ۶ ماهه اول ترسالی کم، متوسط و بالایی مشاهده می‌شود و در بازه زمانی مورد بررسی هیچ گونه خشکسالی مشاهده نمی-گردد. بر اساس خروجی شکل(۱۱) در ۶ ماهه اول سال‌های موررد بررسی سال ۲۰۲۹ بالاترین ترسالی را نسبت به سال‌های دیگر بازه زمانی مورد مطالعه دارد. این درحالی است که بر اساس این سناریو A2 فقط در سال ۲۰۳۳ خشکسالی نسبتاً ضعیفی در شش ماهه اول سال (ژانویه- ژوئن) مشاهده می‌گردد و سال‌های دیگر مورد بررسی در ترسالی به سر می‌برند. همچنین بر اساس خروجی این سناریو ترسالی بسیار بالایی در سال ۲۰۲۶ مشاهده می‌گردد. در ۶ ماهه دوم سال‌های مورد بررسی (جولای- دسامبر) نوسانات بالایی طی سال‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

مورد بررسی مشاهده می‌شود به طوری که در سال ۲۰۲۰ خشکسالی شدید و در سال ۲۰۲۱ ترسالی شدید رخ خواهد داد.

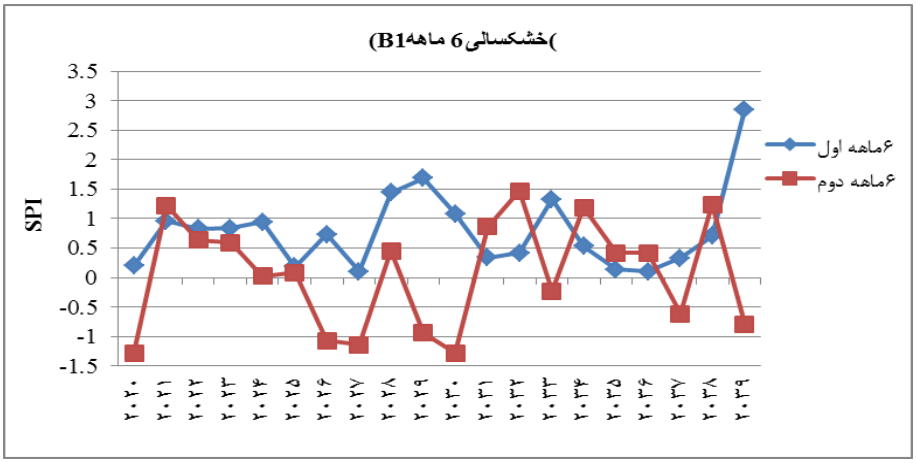


شکل(۸). خشکسالی سالانه تحت سه سناریوی A1B ، B1 و A2 (۲۰۲۰-۲۰۳۹).

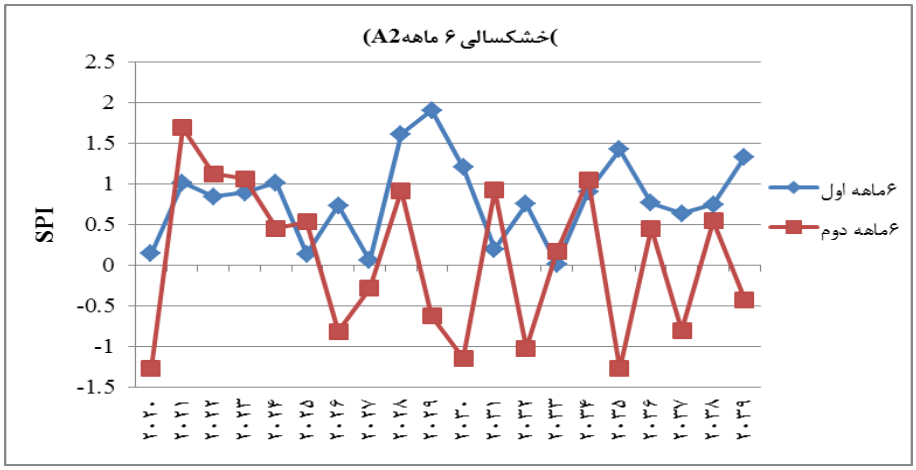


شکل(۹). خشکسالی ۶ ماهه اول(ژوئن- جولای) و دوم(آگوست- دسامبر) تحت سناریوی A1B (۲۰۲۰-۲۰۳۹).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]



شکل(۱۰). خشکسالی ۶ ماهه اول(ژوئن- جولای) و دوم(آگوست- دسامبر) تحت سناریوی B1 (۲۰۲۰-۲۰۳۹).



شکل(۱۱). خشکسالی ۶ ماهه اول(ژوئن- جولای) و دوم(آگوست- دسامبر) تحت سناریوی A2 (۲۰۲۰-۲۰۳۹).

نتیجه گیری

امروزه تغییر اقلیم و پیامدهای آن به خاطر افزایش گازهای گلخانه‌ای امری اثبات شده اند. یکی از پیامدهای اقلیم و تغییرات آن مخاطرات جوی هستند. هدف از این مطالعه بررسی تغییر اقلیم بر مخاطرات جوی در منطقه سیستان است. برای انجام این مطالعه از داده‌های روزانه کمینه و بیشینه و بارش ایستگاه هواشناسی زابل (۲۰۱۵-۱۹۸۴)، داده‌های شبیه سازی شده کمینه و بیشینه دما از نرم افزار SDSM و مدل CanESM2 تحت انتشار سه سناریوی RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 و داده‌های شبیه سازی شده بارش از نرم افزار LARS-WG و مدل Hadcm3 تحت سناریوهای انتشارA2, B1, A1B طی بازه زمانی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ استفاده شده است. نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی در شبیه سازی داده‌ها نشان دهنده عملکرد قابل قبول مدل‌ها در برآورد داده‌ها برای منطقه مورد پژوهش است. چهار مخاطره مهم جوی ناشی از داده‌های شبیه‌سازی شده شامل یخبندان، امواج گرمایی، بارش‌های شدید و حدی و خشکسالی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

که منطقه مورد مطالعه طی بازه زمانی مورد بررسی کمتر تحت تأثیر مخاطره جوی یخبندان قرار می‌گیرد به طوری که بیشترین مجموع یخبندان سالانه با فراوانی ۷ روز در سال رخ خواهد داد و سال‌های قابل توجهی در سناریوهای مورد بررسی بدون یخبندان هستند. ضمناً بیشترین یخبندان سالانه تحت سناریوی انتشارRCP2.6 و کمترین یخبندان تحت سناریوی انتشار RCP8.5 مشاهده گردید. خطر امواج گرمایی در آینده تهدید جدی در منطقه است به طوری که در سال‌های آینده در تمام سناریوهای مورد بررسی تعداد امواج گرمایی مورد بررسی، با فراوانی بیشتر از ۵ موج گرما می‌باشد و این در حالی است که در سال ۲۰۲۱ تحت سناریوی انتشار RCP2.6، ۳۲ موج گرما پیش بینی شده است. همچنین کمترین امواج سالانه تحت سناریوی RCP4.5 مشاهده می‌گردد. یکی از خطرهای جوی در منطقه مورد مطالعه، بارش‌های شدید و حدی می‌باشد که بیشترین فراوانی آن در سال ۲۰۲۴ و تحت سناریوی B1 مشاهده گردید. اگرچه چند سالی از سال‌های مورد بررسی تحت سناریوی A2 ، شاهد عدم رخداد بارش‌های حدی در منطقه هستیم اما در سناریوهای دیگر و خصوصاً B1 بارش‌های حدی می‌تواند تهدید قابل توجهی در منطقه باشند. جهت بررسی وضعیت خشکسالی از SPI سالانه و ۶ ماهه تحت سه سناریوی انتشار استفاده شده است. بیشترین رخداد خشکسالی در سال ۲۰۲۰ و تحت سناریوی انتشارA1B مشاهده گردیده است. با توجه به ۶ ماهه اول سال‌های شبیه سازی شده (ژانویه- ژوئن) تحت سناریوی انتشار A1B در منطقه مورد بررسی شاهد ترسالی هستیم. در ۶ ماهه دوم سال (جولای- دسامبر) الگوی روند سالانه نوسانات نسبتاً بالایی دارد به طوری که در سال ۲۰۲۰ خشکسالی شدید و بلافاصله در سال ۲۰۲۱ ترسالی شدید مشاهده می‌گردد. بر اساس خروجی سناریوی تحت انتشارB1 طی شش ماهه اول سال (ژانویه- ژوئن) ترسالی بسیار بالایی در سال ۲۰۳۹ مشاهده می‌گردد و هیچ گونه خشکسالی پیش بینی نمی‌شود. بر اساس سناریو A2 سال ۲۰۲۹ بالاترین ترسالی را نسبت به سال‌های دیگر بازه زمانی مورد مطالعه در ۶ ماهه اول دارد. این درحالی است که فقط در سال ۲۰۳۳ خشکسالی نسبتاً ضعیفی مشاهده می‌گردد و سال‌های دیگر مورد بررسی در ترسالی به سر می‌برند. در ۶ ماهه دوم سال (جولای- دسامبر)، الگوی روند سالانه نوسانات نسبتاً بالایی دارد به طوری که در باز زمانی محدوده مورد بررسی خشکسالی و ترسالی شدید مشاهده می‌گردد.

منابع

اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد؛ داوری، کامران. (۱۳۹۰). **پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3**، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، **۲۵(۴)**: ۹۵۷-۹۴۷.

اسماعیل‌نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۲). **شناسایی امواج گرمایی ایران**، فصلنامه جغرافیا و توسعه، **۱۱(۳۳)**: ۵۳-۳۹.

بابائیان ایمان؛ کوهی، منصوره .(۱۳۹۱). **ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی**، نشریه آب و خاک، **۲۶(۴)**: ۹۶۷-۹۵۳.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره .(۱۳۸۸). **ارزیابی تغییراقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۱۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جوECHO-G**، مجله جغرافیا و توسعه، **۷(۱۶)**: ۱۵۲-۱۳۵.

باعقیده، محمد؛ احمدی، حمزه ؛ صفرزایی، نعمت اله. (۱۳۹۵). **ارزیابی مخاطرات دمایی منطقه جنوب شرق ایران**، نشریه امداد و نجات، **۸(۴)**: ۱۵ -۱.

خورشید دوست، علی محمد؛ صراف، بهروز؛ قرمز چشمه، باقر؛ جعفرزاده، فاطمه.(۱۳۹۶). **برآورد و تحلیل مقادیر آتی بارش‌های نواحی خزری با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **(۷۴)**: ۲۱۳-۲۲۶.

سلطانی، سعید؛ سعادتی، سیده سارا. (۱۳۸۶). **پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)** ، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، **۱(۲)**: ۶۷-۶۴.

کوزه گران، سعیده؛ موسوی بایگی، محمد. (۱۳۹۴). **بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال شرق ایران**، نشریه آب و خاک، **۲۹ (۳)**: ۷۶۴-۷۵۰.

کریمی، مصطفی؛ ستوده، فاطمه؛ رفعتی، سمیه. (۱۳۹۷). **تحلیل روند تغییرات و پیش بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **(۸۴)**: ۷۹-۹۳.

گل محمدی، مریم؛ مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۹۰). **بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم**، نشریه آب و خاک، **۲۵(۲)**: ۳۲۶-۳۱۵.

مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۲). **آب و هوای ایران**. مشهد: شریعه توس. اول.

مفیدی، عباس؛ حسین زاده، سیدرضا؛ محمدیاریان، محمد. (۱۳۹۲). **پهنه‌بندی مخاطرات جوی منطقه شمال شرق ایران**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، **۲(۶)**: ۱۶-۱.

مولودی، گلاله؛ خورانی، اسداله؛ مرادی، عباس. (۱۳۹۵). **اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس**، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، **۳(۱)**: ۱۴-۱.

Dalezios, N.R., Loukas, A., Vasiliades, L, Liakopoulos, E, (2000), **Severity-Duration-Frequency analysis of drought and wet periods in Greece**. Hydrological Sciences Journal **45(5)**, 751-769.

Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein-Tank, A.M.G., and Peterson, T.,(2002), **Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century**. Climate Research **19:** 193–212.

Glickman, Todd S., (2000), **Glossary of Meteorology. Boston, American Meteorological Society**, ISBN 1-878220-7-49.

Henriques, A.G., and Santas, M.J., (1998), **Regional drought distribution model**. Physics and Chemistry of the Earth, **24(1)**:19-22.

Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L., and Greene, S, (2010), **Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago**. Journal of Great Lakes Research, **69:** 62-73.

Im E. S., Jung I. W., Bae D. H, (2011), **the temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indiced over Korea from a regional climate projection**, International of Climatology, **31(1)**: 72-86

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]

Madelin, M., and Beltrando, G., (2005), **Spatial Interpolation–Based Mapping of the Spring Frost Hazard in the Champagne Vineyards**. Meteorological applications, **12(1):** 51-56.

Marengo JA, Chou SC, Torres RR, Giarolla A, Alves LM, Lyra A, (2014), **Climate change in centraland South America: Recent trends, futureprojections, and impacts on regional agriculture**.2014.Working Paper No 73.

Sangam. Shrestha; Worapong Lohpaisankrit, (2017), **Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand**, International Journal of Sustainable Built Environment, **6(2):** 285–298.

Smith, K., (1997), **Climatic Extremes as a Hazard to Humans. In: Applied climatology, principals and practice, Russell D. Thompson and Allen Perry**, Rutledge (London), pp. 304-316.

Semenov, M.A., and Barrow, E.M, (2002), **A stochastic weather generator foruse in climate impact studies. UserManual: Hertfordshire, UK. Taulis, M.E., & Milke, M.W. 2005, Estimationof WSIM weathersimulation parametersin arid climates**, Ecological Modeling, **184:** 177-191.

Pablo. Jaramill; Ali. Nazemi, (2018), **Assessing urban water security under changing climate: Challenges and ways forward**, Sustainable Cities and Society, **41:** 907-918.

Vestal, C.K., (19971), **First and last occurrences of Low temperatures during the cold season**, Monthly Weather Review, **99(8)**: 650-652.

Vergni, L. and F. Todisco, (2011), **Spatio- temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy**, Agricultural and Forest Meteorology, **151(3)**:301-311.

Wilby, L.R., Hay, L.E. and G.H. Leavesley, (1999), **A comparison of downscaled and raw GCM output: Implications for climate change scenarios in the San Juan River Basin, Colorado,** Journal of Hydrology, **225(2)**: 67-91.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.66.17.2]
[DOI: 10.52547/jgs.22.66.395]