ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز لتیان)

بهنوش فرخ زاده*[۱]، سپیده چوبه[۲]، ام البنین بذرافشان[۳]

۱ *. نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست ، دانشگاه ملایر، ایران
۲ . دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان ، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱

چکیده

مطالعه تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر شدت و تواتر خشکسالی‌های دهه‌های آتی می‌تواند به برنامه‌ریزی به‌منظور استفاده صحیح منابع آب و سازگاری با آثار مخرب پدیده خشکسالی کمک شایانی نماید. در چند دهه اخیر افزایش دمای زمین باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب گردیده است که از آن به‌عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود. بدین منظور پس از ارزیابی توانایی مولد آب و هوایی SDSM در شبیه‌سازی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲ براساس سناریوی پایه، اقدام به ریزمقیاس‌نمایی برون‌دادهای مدل HadGEM تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 برای برآورد چشم‌انداز دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش و بررسی شاخص خشکسالی SPEI شده است. نتایج نشان از افزایش ۰/۸۵ تا ۱/۵۴ درجه سانتی‌گرادی میانگین دمای ماهانه تحت سناریوی RCP8.5 و افزایش ۰/۲۵ تا ۱/۴۵ درجه سانتی‌گرادی آن تحت سناریوی RCP4.5 دارد. نتایج نشان از کاهش ۳۱ تا ۱۰۰ میلی‌متری متوسط بارش سالانه دارد. بیش‌ترین کاهش بارندگی مربوط به ماه فوریه بوده، هم‌چنین تحلیل سالانه شاخص SPEI نشان داد که ۶۵ درصد سال‌ها وضعیتی نرمال دارد، بنابراین، حوزه آبخیز سد لتیان در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ با افزایش فراوانی وقوع خشکسالی روبه‌رو نخواهد بود، اما انتظار می‌رود، بارش‌ها به سمت فصل گرم جابه‌جا شوند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، ریزمقیاس نمایی، مدل گردش کلی، مدل رگرسیون چند متغیره، شاخص بارش- تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد

مقدمه

اقلیم از اجزای مهم یک اکوسیستم محسوب می‌شود، بدین علت تغییرات هر چند ناچیز آن اجزای مختلف اکوسیستم را متأثر می‌سازد. تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی و صنعتی شدن کشورهاست که منجر به افزایش دمای کره زمین و افزایش بلایای طبیعی همانند سیل، خشکسالی، طوفان و گرد و غبار می‌شود. به علت وقوع پدیده تغییر اقلیم، بسیاری از سامانه‌های محیط‌زیست مانند منابع آب تحت تأثیر قرارگرفته‌اند، به‌طوری‌که بهره‌برداری از مخازن آب، تولید محصولات کشاورزی، فرایند فرسایش، تولید رواناب و بسیاری دیگر از فرایندهای هیدرولوژیکی دچار دگرگونی شده‌اند (سیدکابلی و همکاران،۱۳۹۱). اما آنچه در مطالعات تغییر اقلیم ضروری به‌نظر می‌رسد افزایش آگاهی کمی و کیفی میزان تغییرات آینده و هم‌چنین ارزیابی پیامدهای آن بر بخش‌های مختلف است، جنبه‌هایی که کمتر مورد توجه قرار گرفته است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). محققین

[1]*Be_farrokhzadeh@yahoo.com نویسنده مسئول: دکتر بهنوش فرخزاده

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

معتقدند، معتبرترین ابزار برای بررسی پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو -اقیانوسی می‌باشد (IPCC,1995). این مدل‌ها که بر پایه قوانین فیزیکی و دینامیکی استوارند، عوامل جوی و اقیانوسی را با استفاده از سناریوهای تایید شده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) مدل‌سازی می‌نمایند. ضعف مدل‌های مذکور، عدم توانایی آن‌ها در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱). به‌منظور رفع این کاستی، خروجی مدل‌ها کوچک مقیاس می‌شوند. مدل‌های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که حدود سی سال از ارائه آن‌ها نمی‌گذرد. در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرآیندهایی که بر اقلیم مؤثرند شبیه‌سازی گردد و براساس آن چشم‌انداز وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده شبیه‌سازی شود. چون پیش‌بینی در شرایط اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین، مشخص کردن امکان رخدادهای گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود. شناخت اثرات تغییراقلیم و توسعه استراتژی‌های سازگار با تغییر اقلیم، نیاز به ابزاری جهت تولید سناریوهای اقلیمی در آینده دارد. ریزمقیاس نمایی به دو روش دینامیکی و آماری صورت می‌گیرد. مولدهای آب و هوایی از مهم‌ترین روش‌های آماری برای ریزمقیاس‌نمایی می‌باشند. این مدل‌ها سری‌های زمانی عوامل اقلیمی نظیر بارندگی، دما و تابش خورشیدی را تولید و شبیه‌سازی می‌کنند. تاکنون مدل‌های مولد وضع هوای متعددی نظیر ClimGen، LARS-WG، MET و Roll برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در دوره‌های آتی توسعه یافته و توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (صالح نیا و همکاران،۱۳۹۳). مقایسه رفتار شاخص‌های خشک‌سالی بارش، تبخیر- تعرق استاندارد شده (SPEI)، و بارش استاندارد (SPI) و به‌کارگیری آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری هم‌بستگی در ایستگاه‌های منتخب ایران توسط بنی مهد و خلیلی (۱۳۹۱)، بررسی شد، ایشان دریافتند که تبخیر و تعرق نقش اساسی در پایش خشک‌سالی دارد و هم‌بستگی معنی‌دار میان شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. نصرتی و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ای دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده را برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در استان تهران مقایسه نمودند. در این پژوهش از آمار ماهانه بارش و میانگین درجه حرارت برای دوره آماری ۳۰ ساله در ۶ ایستگاه آب‌سنجی استان تهران، استفاده نمودند. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای هم‌بستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشک‌سالی داشته است. هم‌چنین با افزایش مقیاس زمانی، تداوم خشک‌سالی افزایش می‌یابد. . نتایج تحقیق تاجبخش و همکاران (۱۳۹۴)، در مورد ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر- تعرق (SPEI) نشان داد که در فصل زمستان در ایران جز در استان هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان، به‌علت کاهش محسوس دما، تأثیرات تبخیر- تعرق چندان مورد توجه نیست و در فصل بهار نقش عامل تبخیر -تعرق مشهود است. به‌گونه‌ای که در برخی استان‌ها مانند فارس با وجودکاهش بارش، به‌علت تبخیر و تعرق کم، خشکسالی چندانی دیده نمی‌شود و در استان‌های خوزستان و مازندران با وجود بارش‌های بیش‌تر از نرمال و تبخیر-تعرق قابل توجه، خشکسالی مشاهده می‌شود. سبقتی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه خود به محاسبه تداوم و شدت خشکسالی به وسیله شاخص SPEI اصلاحی در شهرهای تبریز و ارومیه پرداختند. ایشان در پژوهش خود، تداوم و شدت خشکسالی برای شهرهای تبریز و ارومیه را در دوره آماری ۳۱ ساله با شاخص SPEI اصلاحی به روش پنمن مانتیث فائو مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که بین مقادیر شاخص SPEI در شرایط خشک‌سالی و ترسالی برای هر دو شهر مورد مطالعه هم‌خوانی وجود دارد. هم‌چنین بررسی میانگین متحرک، شاخص خشک‌سالی و توزیع های آماری در اکثر سال‌ها نتایج مشابهی برای شرایط ترسالی و خشکسالی را نشان داد. Hernandez و Uddameri (۲۰۱۴)، در تحقیقی خشکسالی مناطق جنوب تگزاس را با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI بررسی نمودند. ایشان در مطالعه خود از دو مدل گردش عمومی NCAR و HCM و هم‌چنین دو سناریو A1B و B1 استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد که شاخص SPI خشکسالی را در ارتباط با کمبود رطوبت در دسترس در نیمه اول قرن ۲۱ بیان می‌کند درحالی‌که شاخص SPEI روند خشکسالی را ناشی از افزایش تدریجی دما در طول نیمه دوم

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

قرن ۲۱ نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که خشکسالی در طول نیمه اول قرن ۲۱ توسط پارامترهای هواشناسی (دما و تبخیر و تعرق) کنترل می‌شود در حالی‌که در نیمه دوم قرن ۲۱ شرایط خشکسالی بیشتر به‌دلیل کاهش بارش و محدودیت رطوبت در منطقه خواهد بود. هم‌چنین سناریوی A1B خشکسالی را مشهودتر از سناریوی B1 نشان داده است. Danandeh Mehr و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی خشکسالی هواشناسی در آنکارا پرداختند. بدین منظور، شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و استاندارد تبخیر و تعرق بارش (SPEI) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 را پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه دو واقعه خشکسالی شدید را در طول دوره مرجع (۱۹۹۱-۲۰۰۰) تجربه نموده است. با این حال، پیش‌بینی‌ها وقایع خشکسالی کمتری را برای دوره آینده نزدیک ۲۰۴۰-۲۰۱۶ نشان می‌دهند. Iqbal و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و فرکانس سیل در حوضه رودخانه کابل برای دو دوره ۲۰۵۰- ۲۰۳۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ با چهار مدل اقلیمی تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. برای شبیه‌سازی رواناب‌های سالانه حداکثر از مدل SWAT استفاده کردند و برای انجام تحلیل فرکانس از مدل HEC-SSP استفاده نمودند. نتایج نشان از افزایش دما و بارش بود. هم‌چنین بررسی فرکانس سیل افزایش شدت و کاهش دوره بازگشت سیل و خشک‌سالی را نشان داد که این مقدار در RCP8.5 مقادیر بیشتر از RCP 4.5 بود. همچنین Gao و همکاران (۲۰۱۷)، تغییرات بارش و تبخیر و تعرق را با استفاده از داده‌های CMIP5 و روش ریزمقیاس‌نمایی RegCM4.0 بررسی نمودند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی افزایش معنی‌داری خواهد داشت اما میزان تبخیر و تعرق روند کاهشی داشته و به‌میزان ۲/۱۶ میلی‌متر کاهش می‌یابد. هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات اقلیمی و به‌دنبال آن بررسی خشکسالی‌های دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ در حوزه سد لتیان می‌باشد که از منابع تامین کننده آب شرب بخشی از شهر تهران و تامین آب زراعی بخشی از دشت ورامین است.

مواد و روش‌ها

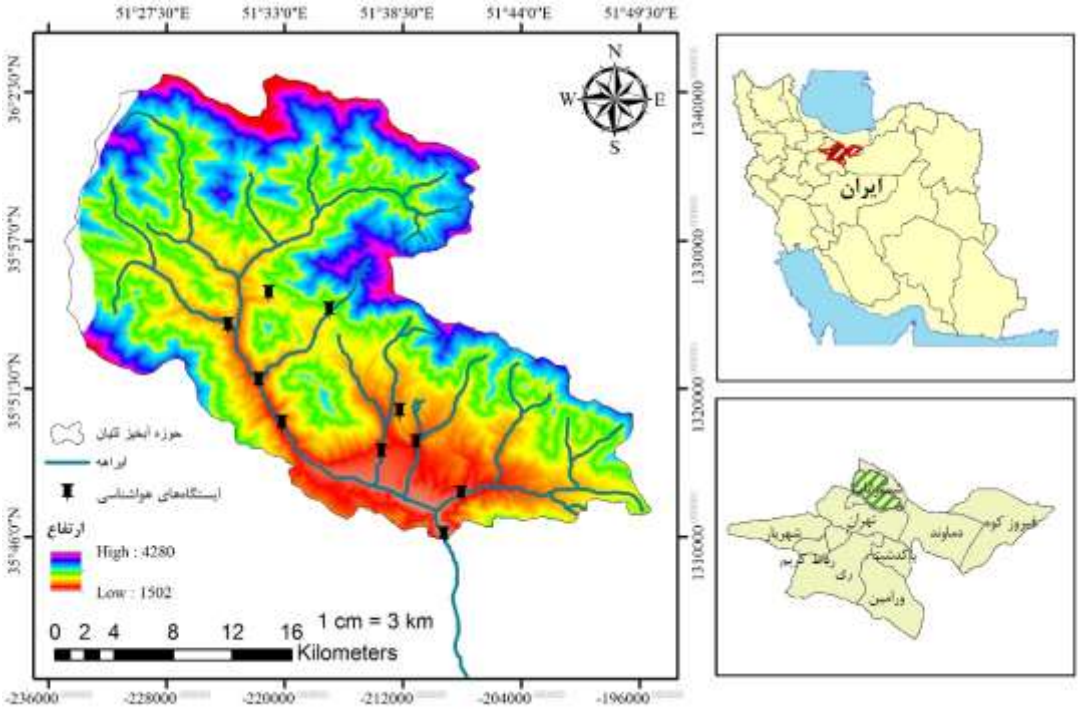
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز سد لتیان، با مساحت ۷۱۰ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ′۲۵ °۵۱ تا ′۵۵ °۵۱ و عرض جغرافیایی ′۴۵ °۳۵ تا °۳۶ واقع شده است. این حوضه در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی در شمال شرقی شهرستان تهران و غرب شهرستان دماوند قرار گرفته که از شمال به حوزه آبریز سد لار منتهی می‌گردد. این حوضه از لحاظ تقسیمات کشوری، در محدوده شهرستان شمیرانات قرار گرفته است. عمر مفید این سد ۱۱۰ سال درنظر گرفته شده است، که وظیفه تامین آب شرب بخشی از شهر تهران و تامین آب زراعی بخشی از دشت ورامین را به عهده دارد. شکل (۱) موقعیت حوضه و همچنین ایستگاه‌های موجود در حوضه را نشان می‌دهد.

از آنجا که نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که خروجی مدل HadGEM هم‌بستگی مناسب‌تری با داده‌های مشاهداتی در کشور دارد لذا در این مطالعه از یک مدل گردش کلی موسوم به HadGEM استفاده شد. سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه، سناریوی RCP8.5 به‌عنوان یک سناریوی بدبینانه که در آن هیچ کنترل و مدیریتی وجود ندارد و هم‌چنین، سناریوی RCP2.6 به عنوان سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی RCP4.5 به‌عنوان سناریوی متوسط که نشان‌دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن می‌باشد. سناریوی اخیر همگرایی جمعیت در سطح جهان را در دوره‌های آتی مد نظر قرار داده و تغییر ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک را ارائه می‌دهد (IPCC,2007). در مدل‌سازی، عدم قطعیت‌هایی به علت عدم شناخت کامل فرایندها در سامانه اقلیمی وجود دارد. در این پژوهش، سعی شده است تا عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل اقلیمی با در نظر گرفتن سه سناریو از سری سناریوهای مورد تایید IPCC شامل سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تعدیل شود.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]



شکل (۱): موقعیت حوضه سد لتیان

معرفی مدل SDSM

SDSM یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای است. این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده (دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی کوچک مقیاس کرده و در مرحله بعد بارش در محل ایستگاه مجددا تولید می‌گردد. در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است (Wilby & Dawson, 2007). نتایج مطالعات مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹) در استان گلستان، آبکار و همکاران (۱۳۹۲)، سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۷) و غنچه پور و همکاران (۱۳۹۸) نشان دهنده توانایی مدل مذکور برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط آب و هوایی ایران می‌باشد.

بررسی تغییرات اقلیمی

در این مطالعه ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲ به‌عنوان دوره پایه، عوامل اقلیمی مورد نیاز برای اجرای مدل جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی صورت گرفت. با توجه به این که نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی صرفاً در مناطق آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، مرحله اعتبارسنجی مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت. به‌منظور اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره پایه تدوین و مدل برای این دوره اجرا شد. سپس خروجی‌های مدل شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش با داده‌های ۲۸ ساله مشاهده شده ایستگاه مورد مطالعه مقایسه شدند. در نهایت به‌منظور ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌های کوچک مقیاس استفاده شده از مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE، MAE، BIAS و NSE صورت گرفت. مقدار پارامتر NSE بین منهای بی‌نهایت و یک متغیر می‌باشد و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بیش‌تر بودن دقت مدل است. پارامترهای MAE وRMSE خطای مدل را نشان می‌دهند و پایین‌تر بودن مقادیر مربوط به این دو معیار نشان کارایی بهتر مدل می‌باشد. نزدیک به صفر بودن پارامتر BIAS نیز نشان‌دهنده دقت بیش‌تر مدل در شبیه‌سازی است. آمارهای مذکور با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده اند. هم‌چنین از آزمون‌های آماری K-S

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T.test برای مقایسه مقادیر میانگین‌ها و آزمون F.test جهت مقایسه انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده استفاده گردید.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum(X_o - X_S)^2}{\sum(X_o - \bar{X}_o)^2}\right] \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_o - X_S)^2}{N}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum|X_o - X_S|}{N} \quad (۳)$$

$$\mathrm{BIAS} = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum(\mathrm{X_s} - \mathrm{X_o}) \quad (۴)$$

در روابط بالا Xo: داده‌های مشاهده شده، XS: داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{X}_o$: میاگین داده‌های مشاهده شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد (بحری، ۱۳۹۲).

پس از اطمینان از قابلیت مدل SDSM در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی برونداد مدل HADGEM و تولید داده‌های مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش‌بینی شد. به‌علت این‌که در روزهای گرم، نیاز آبی محصولات کشاورزی افزایش یافته و در حالتی‌که این روزها با خشک‌سالی عجین شوند، تخصیص آب به بخش کشاورزی به میزان زیادی کاهش خواهد یافت، نیاز به بررسی تعداد روزهای داغ، یخبندان، تر و خشک دوره آتی ضروری است. در این مطالعه، پس از محاسبه سری زمانی عوامل اقلیمی دهه آتی، تعداد روزهای داغ که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر بوده و روزهای یخبندان که در آن دمای کمینه صفر یا کم‌تر است (Semenov, 2007)، هم‌چنین روز خشک که مقدار بارش آن کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر و روز تر که مقدار بارش بیش‌تر از ۰/۱ میلی‌متر است، محاسبه و با دوره پایه مقایسه شد (Silberstein et al., 2012).

بررسی خشک‌سالی در منطقه

شاخص بارش- تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد[۲](SPEI)، توسط Vicente-Serrano و همکاران در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان یک شاخص خشک‌سالی اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبهٔ بیلان آب اقلیمی[۳] است و برای محاسبه به داده‌های ماهانهٔ بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله‌ی بیلان آب اقلیمی به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۵)$$

که P و PET به‌ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره‌ی ماه مورد نظر است. پس از محاسبهٔ مقادیر D، از رهیافتی همانند شاخص بارش استاندارد (SPI) برای محاسبه SPEI استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا مجموع مقادیر متوالی سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اگر x سری تجمعی D در پنجره زمانی معین باشد، در مرحلهٔ بعد یک توزیع احتمال مناسب بر سری x برازش می‌یابد. طبق بررسی‌های Vicente-Serrano و همکاران توزیع لوگ- لجستیک [۴] سه پارامتری کارایی مناسبی در مدل‌سازی سری x دارد. فرم تابع چگالی احتمال توزیع مذکور به‌صورت زیر بیان شده است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1 + \left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (۶)$$

[2] Standardized Precipitation minus Evapotranspiration Index
[3] Climatic Water Balance
[4] Log-Logistic

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

که در آن α، β و γ به‌ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ و x سری تجمعی مقادیر D در پنجره زمانی معین است. طبقه‌بندی SPEI همانند SPI است و برای طبقه‌بندی مقادیر آن می‌توان از آستانه‌های مندرج در جدول (۱) استفاده کرد.

جدول (۱): طبقه‌بندی SPEI (McKee et al.,1993)

طبقه	SPEI
ترسالی خیلی شدید	۲<
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۲
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۵
ترسالی خفیف	۰/۵ تا ۱
نرمال	۰/۵- تا ۰/۵
خشکسالی خفیف	۱- تا ۰/۵-
خشکسالی متوسط	۱/۵- تا ۱-
خشکسالی شدید	۲- تا ۱/۵-
خشکسالی خیلی شدید	۲-<

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل SDSM

در بررسی فراوانی بارش روزانه توسط آزمون K-S، اختلاف معنی داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در تمامی ماه‌ها وجود ندارد و مقادیر هم‌بستگی در سطح اعتماد ۰/۰۱ درصد قابل قبول می‌باشند. مقایسه نتایج حاصل از آزمون K-S برای توزیع فراوانی، آزمون T-test برای مقادیر میانگین‌ها و آزمون F-test برای انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل SDSM در بازسازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سطح اعتماد ۰/۰۱ درصد می‌باشد. جدول (۲)، مقدار آماره‌های خطاسنجی حاصل از عوامل اقلیمی مشاهداتی و مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار آماره NSE برای هر سه عامل اقلیمی مطالعه شده نزدیک به عدد یک می‌باشد و هم‌چنین با توجه به کم بودن مقدار آماره BIAS مدل دارای دقت مدل‌سازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای حداقل و حداکثر کمتر از مقدار آن برای بارش است. این مسئله بیان‌گر قدرت بالای SDSM در مدل کردن داده‌های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت عامل دما می‌باشد که عنصری پیوسته است. نتیجه به‌دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) و آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

جدول (۲): مقادیر شاخص‌های خطا سنجی پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲

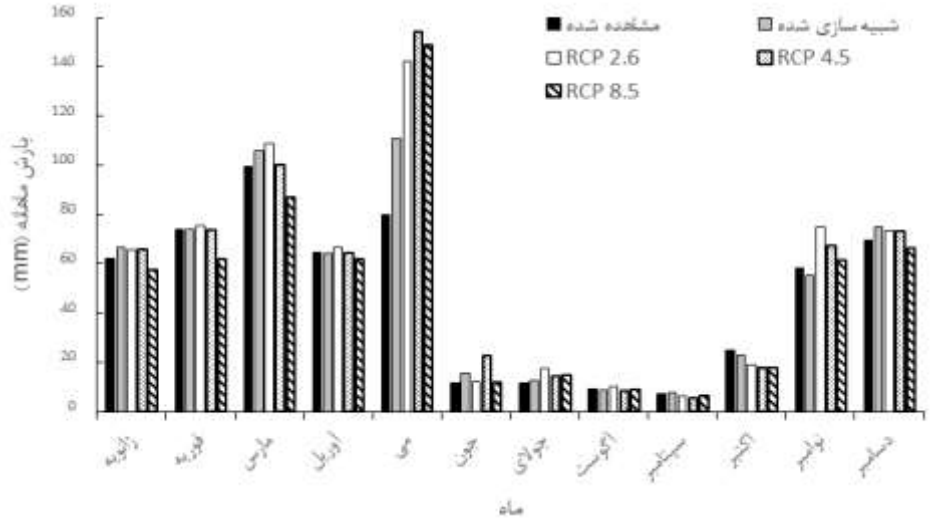
مدل	دمای حداقل				دمای حداکثر				بارش			
	RMSE	MAE	NSE	BIAS	RMSE	MAE	NSE	BIAS	RMSE	MAE	NSE	BIAS
SDSM	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۹۹	-۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۹۹	-۰/۰۴	۷/۷۶	۶/۰۰	۰/۹۹	-۱/۴۴

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

تغییرات اقلیمی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱

تغییرات بارش

شکل (۲) نتایج میزان بارش ماهانه مشاهداتی و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. باتوجه به شکل ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات بارش دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲ روند یکنواختی را نشان نمی‌دهد. مدل HadGEM در برخی از ماه‌ها، میزان بارش دوره آینده را نسبت به دوره پایه کم‌تر و در برخی ماه‌ها بیش‌تر از دوره پایه نشان می‌دهد. هر دو سناریو به‌صورت مشترک افزایش بارندگی را برای ماه‌های می، جولای و نوامبر و کاهش بارندگی را برای ماه‌های سپتامبر و اکتبر پیش‌بینی نموده‌اند. سناریوهای RCP 2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بیش‌ترین افزایش بارندگی را برای ماه می و به میزان ۶۲/۶۵ ، ۷۴/۴۲ و ۶۹/۱۹ میلی‌متر پیش‌بینی نموده‌اند. در مجموع می‌توان بیان داشت که بارش متوسط سالانه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ حوزه آبخیز سد لتیان روند افزایشی خواهد داشت. میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای این دهه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر با ۶۲۷/۷۴، ۶۶۶/۶۵ و ۶۰۳/۹ میلی‌متر خواهد بود، در صورتی که میزان بارندگی سالانه دوره پایه ۵۷۲/۳۶ میلی‌متر بوده است.



شکل (۲): میانگین بارش ماهانه ۲۰۱۹-۱۹۹۲ و ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت تاثیر سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

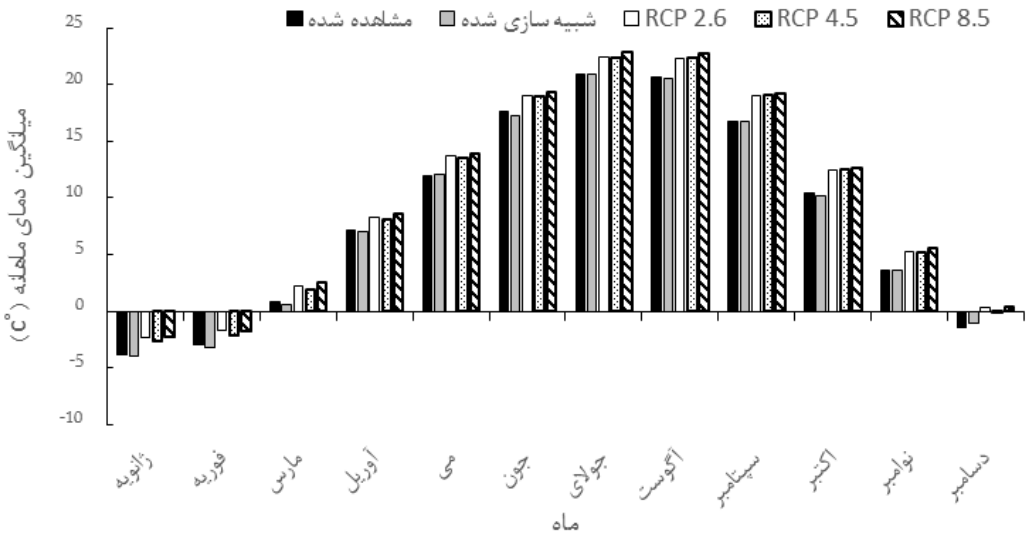
تغییرات دما

به‌صورت کلی با افزایش هم‌زمان دمای حداکثر و حداقل می‌توان انتظار داشت که دمای منطقه مورد نظر در دوره‌های آینده افزایش قابل توجهی داشته باشند. متوسط دمای پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای RCP2.6 ، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر با ۱۰/۰۸، ۹/۸۹ و ۱۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و با توجه به این‌که متوسط دمای دوره پایه در حوضه مورد مطالعه ۸/۴۸ درجه سانتی‌گراد بوده است، سناریوهای مورد نظر افزایش ۱/۴۱ تا ۱/۸۰ درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه را برای آینده حوزه آبخیز لتیان پیش‌بینی می‌کند. هر سه سناریو افزایش دما را در تمامی ماه‌ها پیش‌بینی کرده‌اند. به‌صورتی که بیش‌ترین افزایش دما مربوط به ماه سپتامبر خواهد بود. شکل (۳) نمودار دمای حداقل حوضه مورد مطالعه دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ را نسبت به دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲ نمایش می‌دهد. این نتایج با مطالعه بحری (۱۳۹۲) که افزایش ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی‌گرادی دما را برای حوزه آبخیز اسکندری پیش‌بینی کرده است، مطابقت دارد. با توجه به کاهش بارندگی در بهار و تابستان و افزایش دما از یک سو و نیاز بیشتر به آبیاری اراضی کشاورزی و استفاده از آب شرب از سوی دیگر، ذخیره‌سازی آب در فصول پر باران و برنامه‌ریزی مدیریتی برای استفاده صحیح از منابع آب توصیه می‌شود. با افزایش دما در منطقه مطالعاتی، بارش‌ها به

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

سمت فصول گرم شیفت پیدا کرده و در نتیجه نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته و بدین ترتیب ذخایر آبی (برف) برای بهار و تابستان که با کاهش بارندگی نیز روبه‌رو خواهند بود، کاهش می‌یابد. غم‌دیده (۱۳۸۸)، با بررسی تغییرات اقلیمی در استان کردستان نیز به این نکته اشاره نموده است.



شکل (۳): میانگین دمای ماهانه ۲۰۱۹-۱۹۹۲ و ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای RCP2.6 ، RCP4.5 و RCP8.5

تحلیل وقوع خشک‌سالی

نتایج ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق در دورهٔ پایه در جدول (۳) آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، روش FPMRSRHest با ضریب تبیین ۰/۹۱ و RMSE برابر با ۰/۷۲ به‌عنوان بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق در ایستگاه لتیان انتخاب و مقادیر PET برای استفاده در شاخص SPEI در دوره پایه و دوره‌های آتی از این روش محاسبه گردید. برای محاسبهٔ شاخص SPEI، مقادیر Di مطابق رابطه (۵) تعیین و با برازش تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری بر مقادیر Di مقادیر احتمال تجمعی آن‌ها محاسبه شد. سپس به شیوه معکوس مقدار متناظر با احتمال تجمعی مذکور در توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف از معیار یک تعیین گردید که بیانگر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند.

جدول(۳): نتایج ارزیابی معادلات مختلف برآورد تبخیر و تعرق در دوره‌ی پایه با مرجع قرار دادن روش استاندارد فائو پنمن- مانتیث

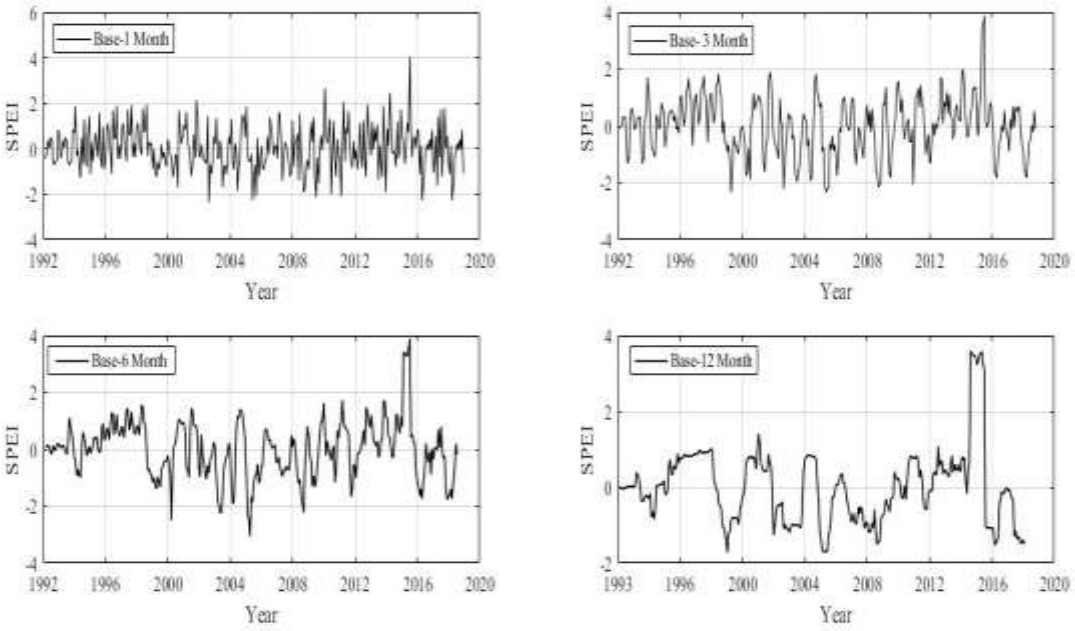
معادلات	شاخص های ارزیابی عملکرد			
	R2	RMSE	MBE	MAE
HS	۰/۸۷	۱/۲۶	-۰/۶۷	۰/۷۱
FPMRSRHEST	۰/۹۱	۰/۷۲	-۰/۴۷	۰/۳۹

بررسی وضعیت بارش ماهیانه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ با استفاده از شاخص SPEI با مقیاس زمانی یک ماهه تحت سناریوی RCP2.6 نشان‌دهنده آن است که حدود ۷۶/۱۱ درصد ماه‌ها در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ وضعیت نرمال و ۱۴/۴۴ درصد وضعیت تر و ۹/۴۴ درصد ماه‌ها وضعیت خشکی خواهند داشت، هم‌چنین شاخص SPEI با مقیاس زمانی یک ماهه تحت سناریوی RCP4.5 نشان می‌دهد که حدود ۷۵/۸۳ درصد ماه‌ها در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ وضعیت نرمال و ۱۳/۸۸ درصد وضعیت تر و ۱۰/۲۷ درصد ماه‌ها وضعیت خشکی خواهند داشت. نتایج بررسی شاخص SPEI نشان

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

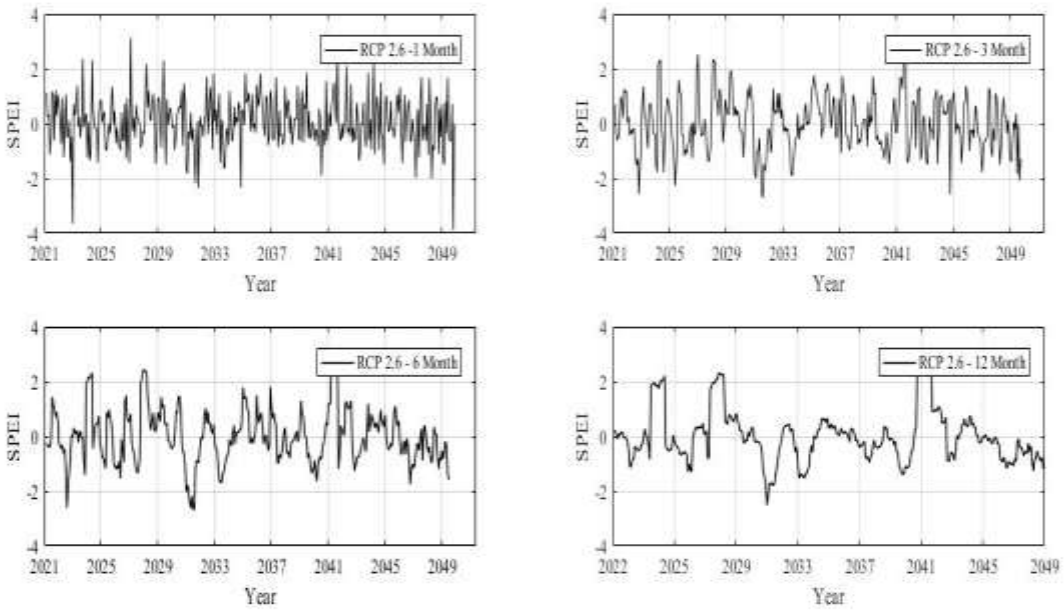
می‌دهد تحت سناریوی RCP8.5، ۷۵/۲۷ درصد ماه‌ها وضعیت نرمال و ۱۴/۴۴ درصد وضعیت تر و ۱۰/۲۷ درصد ماه‌ها وضعیت خشکی خواهند داشت. در میان ماه‌های خشک بیش‌ترین فراوانی مربوط با وضعیت خشکسالی با شدت متوسط می‌باشد. این سناریو بیش‌ترین تداوم خشکسالی را دو ماه و برای ماه‌های اکتبر و نوامبر ۲۰۴۶ و بیش‌ترین شدت خشکسالی را برای ماه نوامبر ۲۰۴۶ پیش‌بینی نموده است.

می‌توان بیان نمود، SPEI با تاخیر زمانی شش ماه، هشداری برای بیان اتمام ذخایر رطوبتی خاک می‌باشد. محاسبه SPEI شش ماهه با استفاده از عامل بارش پیش‌بینی شده به وسیله مدل SDSM سناریوی RCP8.5 درصد فراوانی ماه‌های نرمال، تر و خشک را نسبت به کل دوره مورد مطالعه به‌ترتیب ۷۲/۹۵، ۱۴/۰۸ و ۱۲/۹۵ درصد بیان نموده است. هم چنین سناریو RCP4.5 درصد فراوانی ماه‌های نرمال، تر و خشک را نسبت به کل دوره مورد مطالعه به‌ترتیب ۷۲/۶۷، ۱۳/۸۰ و ۱۳/۵۲ درصد بیان نموده است با استفاده از این شاخص خشکسالی متوسط از فراوانی بیشتری برخوردار بوده است. طولانی‌ترین دوره خشکسالی با توجه به شاخص SPEI با تاخیر شش ماه پیش‌بینی شده است که تداومی هفت ماهه دارد. شدیدترین خشکسالی با توجه به سناریوی RCP8.5 در ماه نوامبر به وقوع خواهد پیوست. سناریوی RCP4.5 شدیدترین خشکسالی را برای ماه آگوست سال ۲۰۴۸ پیش‌بینی نموده است. طولانی‌ترین دوره خشکسالی با توجه به شاخص SPEI با تاخیر هفت ماه پیش‌بینی شده است که تداومی ۶ ماهه دارد. شاخص SPEI با تاخیر ۱۲ ماهه می‌تواند شروع خشکسالی‌های منابع سطحی آب را نشان دهد. سناریوی RCP8.5، ۷۶/۵۰ درصد و سناریوی RCP4.5، ۷۴/۴۹ درصد و سناریوی RCP2.6، ۷۶/۵۰ درصد ماه‌ها را دارای شرایط نرمال پیش‌بینی نموده‌اند. در بخش مقابله با خشکسالی چنان‌چه بپذیریم که این موضوع یک پدیده ذاتی ناشی از اقلیم است، لازم است تا برای رویارویی با آن برنامه‌ریزی نموده و بر اساس آن به اقدامات مناسب و آگاهانه متوسل شد. در این دوره‌ها می‌توان با کاشت گیاهانی با مصرف آب کمتر و بازدهی بیش‌تر کمبود رطوبت را تا حدی کنترل نمود. شکل‌های ۴ تا ۷ وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۲ و ۲۰۵۰-۲۰۲۱ را در مقیاس‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های تر، خشک و نرمال در دوره ۲۰۵۰- ۲۰۲۱ در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل (۴): تغییرات شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۲

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]



شکل (۵): تغییرات اساس شاخص SPEI تحت سناریوی RCP 2.6 در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱

جدول (۴): فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های تر، خشک و نرمال دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱

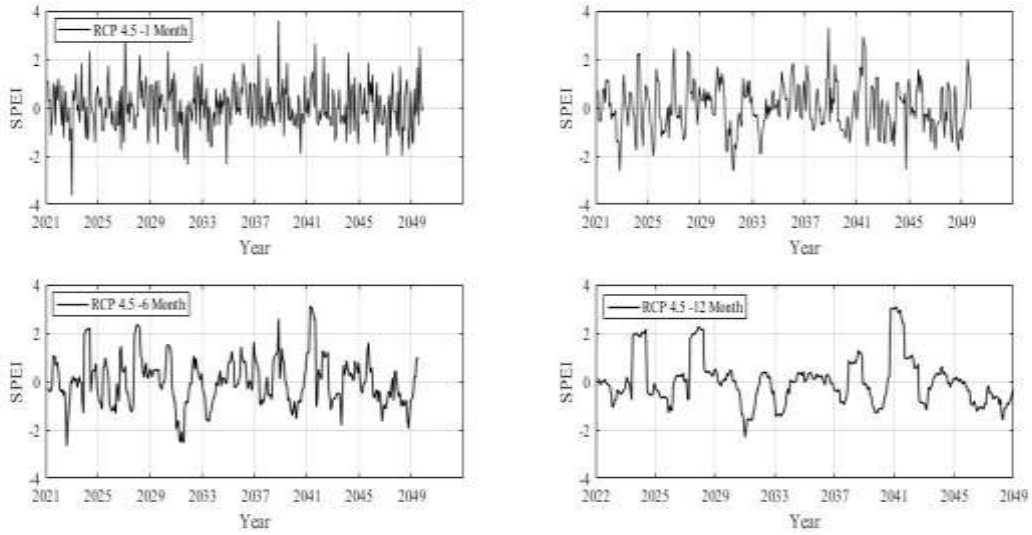
مقیاس زمانی	سناریو	ماه‌های نرمال		ماه‌های تر		ماه‌های خشک	
		فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی
یک ماهه	RCP 2.6	۲۷۴	۷۶/۱۱	۵۲	۱۴/۴۴	۳۴	۹/۴۴
	RCP 4.5	۲۷۳	۷۵/۸۳	۵۰	۱۳/۸۸	۳۷	۱۰/۲۷
	RCP 8.5	۲۷۱	۷۵/۲۷	۵۲	۱۴/۴۴	۳۷	۱۰/۲۷
شش ماهه	RCP 2.6	۲۵۸	۷۲/۶۷	۵۰	۱۴/۰۸	۴۷	۱۳/۲۳
	RCP 4.5	۲۵۸	۷۲/۶۷	۴۹	۱۳/۸۰	۴۸	۱۳/۵۲
	RCP 8.5	۲۵۹	۷۲/۹۵	۵۰	۱۴/۰۸	۴۶	۱۲/۹۵
۱۲ ماهه	RCP 2.6	۲۶۷	۷۶/۵۰	۳۸	۱۰/۸۸	۴۴	۱۲/۶۰
	RCP 4.5	۲۶۰	۷۴/۴۹	۴۲	۱۲/۰۳	۴۷	۱۳/۴۶
	RCP 8.5	۲۶۷	۷۶/۵۰	۴۱	۱۱/۷۴	۴۱	۱۱/۷۴

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

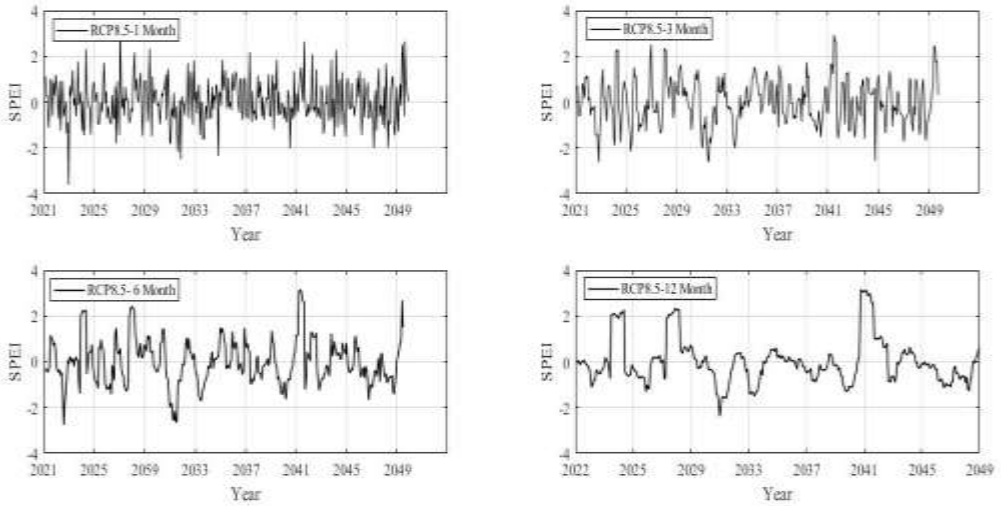
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

جدول (۵): فراوانی انواع خشکسالی، طولانی‌ترین دوره و تعداد دوره‌های خشکسالی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱

مقیاس زمانی	سناریو	فراوانی خشک‌سالی(ماه)			درصد خشک‌سالی از کل دوره		
		متوسط	شدید	بسیارشدید	متوسط	شدید	بسیارشدید
یک ماهه	RCP 2.6	۱۹	۱۰	۵	۵/۲۷	۲/۷۷	۱/۳۸
	RCP 4.5	۲۲	۱۱	۴	۶/۱۱	۳/۰۵	۱/۱۱
	RCP 8.5	۲۲	۹	۶	۶/۱۱	۲/۵	۱/۶۶
شش ماهه	RCP 2.6	۳۰	۱۰	۷	۸/۴۵	۲/۸۱	۱/۹۷
	RCP 4.5	۳۰	۱۲	۶	۸/۴۵	۳/۳۸	۱/۶۹
	RCP 8.5	۳۱	۸	۷	۸/۷۳	۲/۲۵	۱/۹۷
۱۲ ماهه	RCP 2.6	۳۴	۸	۲	۹/۷۴	۲/۲۹	۰/۸۷
	RCP 4.5	۳۸	۸	۱	۱۰/۸۸	۰/۲۹	۰/۲۸
	RCP 8.5	۳۳	۶	۲	۹/۴۵	۱/۷۱	۰/۵۷



شکل (۶): تغییرات شاخص SPEI تحت سناریوی RCP4.5 در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱



شکل (۷): تغییرات شاخص SPEI تحت سناریوی RCP8.5 در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

نتیجه‌گیری

پدیدهٔ تغییر اقلیم و اثرات آن، یکی از چالش‌های مهم مدیریت منابع آب در قرن حاضر می‌باشد. بررسی نحوه تغییر شرایط خشکسالی بر اساس تغییرات اقلیمی از جنبه های گوناگون حائز اهمیت می‌باشد زیرا در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت، لازم است که چشم‌اندازی از وضعیت آینده‌ی بارندگی و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی برای منطقه ترسیم گردد. با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از SPEI با مقیاس زمانی شش و ۱۲ ماهه می‌توان بیان داشت که هرچه سری زمانی شاخص SPEI افزایش یابد، تداوم خشک‌سالی بیشتر و تکرار آن کم‌تر می‌شود، سری‌های شش و ۱۲ ماهه تعداد دوره خشک‌سالی را کم‌تر ولی تداوم بیشتری را نشان می‌دهند. این نکته شایان ذکر است که نتایج این مطالعه به ماهیت و نوع طبقه‌بندی شاخص SPEI که شاخصی مبتنی بر روش پارامتریکی است، وابسته است. لذا، چنان‌چه شاخص دیگری به‌ویژه شاخص‌های مبتنی بر روش ناپامتریکی برای پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است نتایج متفاوتی به‌دست آید. بنابراین، مدنظر قرار دادن عدم قطعیت و توجه به نقاط قوت و ضعف نتایج مربوط به شاخص‌های خشک‌سالی علاوه بر عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی، ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به این نکته که حوزه سد لتیان از منابع مهم تامین کننده بخش مهمی از آب کشاورزی حوضه‌های پایین‌دست و آب شرب شهر تهران می‌باشد، ذخیره آب در سال‌های قبل از وقوع خشکسالی از توصیه‌های مدیریتی برای منطقه مطالعاتی می‌باشد.

منابع

۱. آبابایی، ب.، ف. میرزایی و ت. سهرابی (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. مجله پژوهش آب ایران، (۹): ۲۲۲-۲۱۷.

۲. آبکار، ع. ج.، م. حبیب نژاد روشن، ک. سلیمانی و ه. دنقوی (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. نشریه آبیاری و آب ایران، ۴(۱۴): ۱-۱۷.

۳. اسماعیلی، ر.، ه. عطایی و غ. ع. فلاح قالهری (۱۳۹۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته دار بادام و زرد آلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۱(۱): ۱۴۵-۱۶۲.

۴. بابائیان، ا.، و م. کوهی (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. مجله آب و خاک، (۴): ۹۶۷-۹۵۳.

۵. بابائیان، ا. و ز. نجفی نیک (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدلسازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱. مجله نیوار، (۶۲): ۶۵-۴۹.

۶. بنی مهد، س. ا.، و د. خلیلی (۱۳۹۱). بررسی رفتار و تعیین مرتبه وابستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی RDI، SPI و SPEI در ایستگاه‌های منتخب کشور ایران با به‌کارگیری زنجیره مارکف. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

۷. بحری، م. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی برعکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ایران.

۸. تاجبخش، س.، ن. عیسی خانی و ا. فضل کاظمی (۱۳۹۴) ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص استانداردشدهٔ بارش و تبخیر-تعرق(SPEI). مجله فیزیک زمین و فضا (۲): ۳۲۱-۳۱۳.

۹. سبقتی، م.، ح. احمدی بیرگانی و ع. ر. مقدم (۱۳۹۵). محاسبه تداوم و شدت خشکسالی به وسیله شاخص SPEI اصلاحی (مطالعه موردی: شهرهای تبریز و ارومیه). فصلنامه محیط زیست و مهندسی آب، (۲): ۱۸۸-۱۹۵.

۱۰. سلاجقه، ع.، ا. رفیعی ساردویی، ع. ر. مقدم نیا، آ. ملکیان، ش. عراقی نژاد، ش. خلیقی سیگارودی و ا. صالح پورجم (۱۳۹۶). بررسی کارایی مدل های ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و SDSM در شبیه سازی دما و بارش. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، (۲): ۲۶۲- ۲۵۳.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

۱۱. سید کابلی، ح.، ع. م. آخوند علی، ع. ر. مساح بوانی و ف. رادمنش (۱۳۹۱). ارائه مدل ریزمقیاس نمایی داده های اقلیمی براساس روش ناپارامتریک نزدیکترین همسایگی (K-NN). نشریه علمی آب و خاک، ۲۶(۴): ۸۰۸- ۷۹۹.

۱۲. صالح‌نیا، ن.، ا. علیزاده و ن. سیاری (۱۳۹۳). مقایسه دو مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و ASD در پیش‌بینی بارش و دما تحت شرایط تغییراقلیم و در وضعیت‌های آب و هوائی متفاوت. مجله آبیاری و زهکشی ایران، (۲): ۲۴۵-۲۳۳.

۱۳. غم‌دیده، ا. (۱۳۸۸). اثرات تغییرات اقلیمی بر دما و بارش بر اساس خروجی‌های مدل GCM مطالعه موردی: استان کردستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۱۴. غنچه‌پور، د.، ا. سعدالدین، ع. ر. بهره مند، ع. ر. سلمان ماهینی و آ. جیکمن (۱۳۹۸). به‌کارگیری روش غربال‌گری کمّی در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ رودخانهٔ گرگان‌رود). اکوهیدرولوژی، (۲) ۴۱۴-۳۹۷.

۱۵. مشکواتی، ا. ح.، م. کرد جزی و ا. بابائیان (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره (۲۰۰۷-۱۹۹۳) میلادی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیای، (۱۹): ۸۱-۹۶.

۱۶. نصرتی، ک.، م. محسنی ساروی و ر. شهبازی (۱۳۹۳). مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی در استان تهران. مجله مدیریت بیابان، (۳):۹۰-۷۷.

۱۷. یوسفی، ح.، ل. امینی، ل. قاسمی و ن. امرایی (۱۳۹۷). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی (مطالعهٔ موردی: ایستگاه سینوپتیک کرج). اکوهیدرولوژی، (۳): ۹۶۸-۹۵۷.

18. Danandeh Mehr A., Sorman A. U., Kahya E. and Hesami Afshar, M. *(2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey.* Hydrological Sciences Journal, *65(2): 254-268.*

19. Gao X., Zhao Q., Zhao X., Wu P., Pan W., Gao X. and Sun M. *(2017). Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050.* Science of the Total Environment, *(595): 191-200.*

20. Hernandez E. A. and Uddameri V. *(2014). Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas.* Environmental Earth Sciences, *71(6):2491-501.*

21. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *(1995). Impacts adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses.* Cambridge University Press, *878 pages*.

22. IPCC. *(2007) .Summary for Policymakers in: Climate Change 2007* .The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth.

23. Iqbal M. S., Islam M. M., and Hofstra N. *(2019). The impact of socio-economic development and climate change on E. coli loads and concentrations in Kabul River, Pakistan.* Science of the Total Environment, *(650): 1935-1943.*

24. McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. *(1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales*, In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology 1993 Jan 17 ,17(22): 179-183.

25. Semenov M. A. *(2007). Development of high resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK.* Agricultural and Forest Meteorology, *(1): 127-138.*

26. Silberstein R., Aryal S., Pearcey M., Braccia M., Charles, S. and Viney N. *(2012). Climate change and runoff in South Western Australia*. Journal of hydrology *475, 441-55.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]

27. Vicente-Serrano S. M., Beguería S. and López-Moreno J. I. *(2010). A Multi–scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI.* Journal of Climate *23(7): 1696– 1718.*

28. Wilby R.L., and Dawson C.W. *(2007). SDSM 4.2: A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts,* User Manual Department of Geography, Lancaster University.

Assessing the climate change effects on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), case study: Latian dam

Behnoush farrokhzadeh[1]*, Sepideh Choobeh [2], Ommol banin bazrafshan[3]
1.*Corresponding Author: Asst. Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran
2. Ph.D. candidate in Watershed Management, Urmia University, Iran
3. Assoc. Prof., Department of Range and watershed management, Faculty of agriculture engineering and natural resource, University of Hormozgan, Iran
Received: 2020/12
Accepted: 2021/01

Abstract

Studying climate change and its effect on the intensity and frequency of drought can help the proper use of water resources and adaptation to the destructive effects of the drought phenomenon in the future decades. In recent decades, rising global temperatures have disturbed the planet's climate balance and caused widespread climate change in most parts of the world. This research tries to assess climate change in 2021-2050 and its impact on drought in the Latian dam. For this purpose, after assessing the efficiency of the SDSM model in simulation of the base period (1992-2019), the downscaling output of the HadGEM model under RCP4.5, and RCP8.5 scenarios was performed to estimate maximum and minimum temperature and precipitation based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. The outcomes show an increase of 0.85 to 1.54°C in the average monthly temperature under the RCP8.5 scenario and an increase of 0.25 to 1.45°C under the RCP4.5 scenario. Furthermore, the results show a decrease of 31 to 100 mm in average annual precipitation. The highest decrease in precipitation is in February. Also, the annual analysis of the SPEI showed that 65% of the years are normal, therefore, the Latian dam will not face an increase in the frequency of drought in the period 2021-2050, but it is expected that precipitation events mostly will occur in the warm season.

Keywords: Drought, Downscaling, General circulation model (GCM), Multiple regression model, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

[1] *Be_farrokhzadeh@yahoo.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.3.4.3]