

تحلیل مکانی و زمانی تغییر اقلیم در سال‌های آینده و مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

راضیه رحیمی^{۱*}، مهدی رحیمی^۲

۱. استادیار دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۲/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۶/۱۰)

چکیده

خشک‌سالی خطر پیچیده‌ای است که سبب برهم‌خوردن تعادل آبی می‌شود؛ بنابراین بررسی تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی آنها می‌تواند در امر مدیریت و برنامه‌ریزی مربوط به آن تأثیر زیادی داشته باشد. در تحقیق حاضر برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی منطقه خوزستان و نیز بررسی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس در این منطقه، ابتدا داده‌های بارش و دما به صورت روزانه طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ از هشت ایستگاه منتخب در منطقه دریافت شد. سپس، نمایه خشک‌سالی دوره مشاهده‌ای به وسیله دو شاخص SPI و SPEI محاسبه و نقشه پهنه‌بندی آنها ترسیم شد. در پژوهش حاضر برای پیش‌بینی خشک‌سالی از داده‌های GCM و مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 استفاده شد؛ سپس داده‌های بزرگ‌مقیاس GCM با سه مدل SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی ریزمقیاس شدند. نتایج نشان داد توانایی مدل ریزمقیاس شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی بارش نسبتاً قابل قبول‌تر از سایر مدل‌هاست. نتایج آماره من-کندال نشان داد همواره مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG برای نمایه‌های SPI و SPEI شیب بیشتری در جهت منفی شدن دارد. با مشاهده نقشه پهنه‌بندی نمایه‌های خشک‌سالی استان خوزستان می‌توان چنین استنباط کرد که طی دوره‌های آتی همواره میانگین مقادیر دو شاخص کاهش یافته است، ولی از نظر مکانی تغییر درخور توجهی نداشته است.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، شبکه عصبی مصنوعی، SPEI، LARS-WG، SDSM.

مقدمه

امروزه، تغییرات اقلیمی به یکی از چالش‌های مهم کره زمین تبدیل شده است. پدیده‌هایی همچون خشک‌سالی‌های گسترده، سیل‌های مخرب، آتش‌سوزی‌ها و نیز گردوغبارها بخشی از پیامدهای تغییرات اقلیمی‌اند. همچنین، هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، سبب برهم‌خوردن تعادل بین اجزای سیستم اقلیم کره زمین می‌شود؛ اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، بنابراین به‌صورت کاملاً غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است.

امروزه، آنالیز خشک‌سالی بر اساس داده‌های بارندگی به‌عنوان مهم‌ترین عامل، برای بررسی انواع خشک‌سالی به کار می‌رود [۱]. بارندگی در شاخص‌های خشک‌سالی به‌تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات این شاخص‌ها را توصیف می‌کند [۲]. بارش و دما از مهم‌ترین داده‌های ورودی به سامانه‌های آب‌شناسی محسوب می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند کمترین تغییر در میزان بارش و دما، ضربه‌های شدیدی به بخش‌های کشاورزی و اقتصادی وارد می‌کند [۳]. مدل‌های مفهومی و آماری زیادی برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی متغیرهای اقلیمی استفاده شده‌اند. معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های AOGCM است که بر پایه قوانین فیزیکی‌ای استوارند و به‌وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند. این روابط در یک شبکه سه‌بعدی در سطح کره زمین حل می‌شوند. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرایندهای اصلی اقلیم (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ‌پوسته و زیست‌کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی می‌شوند؛ سپس تمامی مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت می‌شوند و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر (AOGCM) را تشکیل می‌دهند [۴]. مدل‌های گردش عمومی جو در مراکز مختلف اجرا شده‌اند که از جمله می‌توان به مدل Hadcm 3، در مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان اشاره کرد [۵].

یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و

آب‌شناسی مطابقت ندارند. دقت مکانی این مدل‌ها حدود ۲۰۰ کیلومتر است که این دقت به خصوص برای مناطق کوهستانی و فراسنج‌های اقلیمی نظیر دما و بارش مناسب نیست [۶]. پس از گزینش مدل گردش عمومی جو برای محدوده مطالعاتی لازم است که خروجی‌های این مدل برای دوره پیش‌بینی، ریزمقیاس شوند و در مقیاس ایستگاهی درآیند [۷].

کوموزپ و اکی چانگ [۸] آثار تغییر اقلیم بر رواناب و شاخص خشک‌سالی حوضه گنومهو در کره جنوبی را بررسی کردند. در این تحقیق از روش لارس دلیسو جی برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شده و عدم قطعیت‌های مدل نیز بررسی شد. دهقان و همکارانش [۹] به ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های SDSM، IDW و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌کردن دما و بارش پرداختند. نتایج دو مدل SDSM و IDW بیان‌کننده افزایش تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌ها حتی به میزان ناچیز و حداکثر در اواخر بهار و تابستان است. در حالی که، تبخیر و تعرق محاسبه‌شده در مدل LARS-WG برآورد بسیار کمتری را نسبت به دوره پایه نشان داده است که نشان‌دهنده توانایی کم مدل در محاسبه این متغیر است. به منظور بررسی آسیب‌پذیری تحت شرایط تغییر اقلیم در بالادست حوضه رودخانه تامس نتایج مدل‌های SDSM و LARS-WG برای حداقل و حداکثر دما و میزان بارش مقایسه شدند. در نتیجه، مدل LARS-WG مقادیر قابل قبولی برای داده‌های دما به دست آورد، اما مدل SDSM روند فصلی را به خوبی شبیه‌سازی کرد [۱۰].

روش کار

در پژوهش حاضر سعی شده است با استفاده از شاخص‌های مختلف، خشک‌سالی منطقه خوزستان از نظر مکانی و زمانی، ارزیابی و پیش‌بینی شود و نیز چند مدل ریزمقیاس مورد مقایسه قرار گیرد. به این منظور، ابتدا داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری و سپس نقص و کمبود داده‌ها در بعضی ماه‌ها به روش‌های آماری در نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس کامل شد. به منظور پیش‌بینی این نمایه‌ها در سال‌های آتی داده پیش‌بینی‌کننده‌های گزارش چهارم IPCC تحت دو سناریو طی دوره آماری (۲۰۱۰-۲۱۰۰) تهیه شده و

سال‌های ابتدایی تأسیس برخی ایستگاه‌های سینوپتیک بسیاری از متغیرهای هواشناسی در دسترس نبودند، در مواردی که تعداد آمار مفقودی برای یک سال زیاد باشد، سال آماری مربوط به آن حذف و در غیر این‌صورت اصلاح آمار مفقودی با توجه به ایستگاه‌های مجاور صورت گرفته است. پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی طی دوره ۱۹۸۵-۲۱۰۰، به منظور ارزیابی خشک‌سالی منطقه، دو نمایه SPI، SPEI بررسی شد و این دو نمایه با توجه به داده‌های دوره ۱۹۸۵-۲۱۰۰ محاسبه و سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها روی این خروجی‌ها انجام شد. روش محاسبه شاخص‌های استفاده‌شده در تحقیق حاضر به‌صورت زیر است. همچنین، نقشه‌های پهنه‌بندی منطقه با استفاده از شاخص‌های استفاده‌شده در نرم‌افزار AGIS ترسیم شده است.

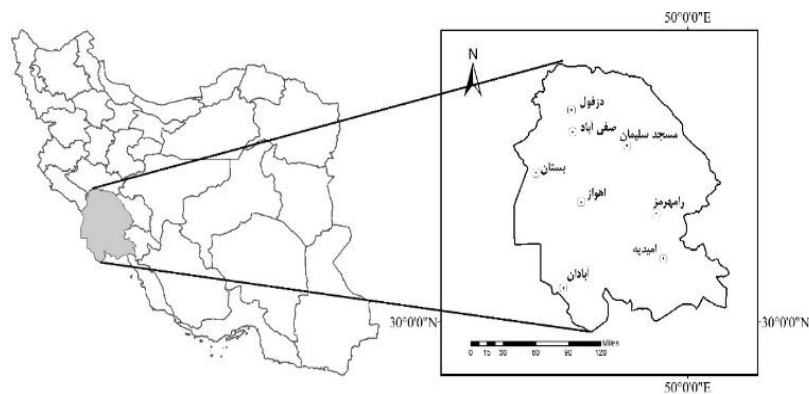
این داده‌ها با توجه به داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه، ریزمقیاس شدند. در تحقیق حاضر برای تعیین بهترین روش ریزمقیاس از دو مدل ریزمقیاس SDSM و LARS-WG و همچنین روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد.

منطقه مطالعاتی

دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۰) برای هشت ایستگاه مطالعه‌شده در استان خوزستان جمع‌آوری شد که مشخصات آنها در جدول ۱ ارائه شده و موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است. داده‌های استفاده‌شده در تحقیق حاضر به‌صورت روزانه و شامل کمینه و بیشینه دما (ساتی‌گراد) و بارش روزانه (میلی‌متر) است. شایان یادآوری است که این داده‌ها از سازمان هواشناسی دریافت شده است. با توجه به اینکه در

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی (سازمان هواشناسی کشور)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
اهواز	۳۱° ۲۰'	۴۸° ۴۰'	۲۲/۵
آبادان	۳۰° ۲۲'	۴۸° ۱۵'	۶/۶
بستان	۳۱° ۴۳'	۴۸°	۳۱/۴۳
دزفول	۳۲° ۲۴'	۴۸° ۲۳'	۱۴۳
مسجدسلیمان	۳۱° ۵۶'	۴۹° ۱۷'	۳۲۰/۵
امیدیه	۳۰° ۴۶'	۴۹° ۳۹'	۳۴/۹
رامهرمز	۳۰° ۱۶'	۴۹° ۳۶'	۱۵۰/۵
صفی‌آباد	۳۲° ۱۶'	۴۸° ۲۵'	۸۲/۹



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مطالعه‌شده در تحقیق

شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مک-کی و همکارانش ارائه شد [۱۱]. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه آن عنصر بارندگی است.

شاخص بارش تبخیر-تغرق استاندارد شده (SPEI)

این شاخص خشک‌سالی هواشناسی نخستین بار توسط ویسنت-سرانو و همکارانش بر پایه اختلاف بارش و تبخیر-تغرق برای دوره ماهانه (هفته) ارائه شد [۱۲]. برای محاسبه PET روش ترنت وایت به دلیل نیاز به داده‌های محدود دمای ماهانه هوا پیشنهاد شد. در محاسبات شاخص SPEI پس از محاسبه اختلاف مقادیر ماهانه (هفتگی) بارندگی و PET برای ماه نام، این مقادیر طی دوره زمانی بررسی شده با هم جمع می‌شود (رابطه ۱).

$$D = P_i - PET_i \quad (1)$$

تولید داده‌های تغییر اقلیم

به رغم افزایش قدرت تفکیک افقی مدل‌های GCM تا کنون هیچ‌یک از این مدل‌ها قادر به مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس منطقه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی نبوده‌اند. به همین دلیل، از روش‌های مختلف دینامیکی و آماری برای ریزگردانی داده‌های مدل‌های گردش عمومی برای شناخت رفتار جو در مقیاس ریزتر استفاده می‌شود. روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به خصوص در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییر آب‌وهوایی مورد نیاز باشد، مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری دارد [۱۳]. در تحقیق حاضر از نرم‌افزارهای LARS-WG، SDSM و روش ANN با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو استفاده شد.

۱. مدل LARS-WG

LARS-WG مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار رود. خواص آماری داده‌های تولیدشده مشابه دوره آماری است، اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره آینده و گذشته تغییر می‌کند.

۲. مدل SDSM

مدل SDSM از روش‌های آماری رگرسیونی به منظور عملیات ریزمقیاس کردن استفاده می‌کند. در این مدل ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) بررسی و تحلیل می‌شود و روابط تجربی بین آنها تعیین شده و به کاربر اعلام می‌شود.

۳. ریزمقیاس‌سازی با استفاده از ANN

این مدل نوعی رگرسیون غیرخطی است که در آن ارتباط بین تعدادی از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس جوی منتخب و پیش‌بینی‌شونده‌های اقلیمی با مقیاس محلی ارائه می‌شود. در این روش یک شبکه پسخور عقب‌گرد زمانی (TLRN) یا به بیان بهتر، یک مدل سری زمانی غیر خطی استفاده می‌شود که در آن همه ورودی‌ها به وسیله خط تأخیر جریان پشتیبانی می‌شود و شبکه با استفاده از الگوریتم پس‌انتشار [۱۴] آموزش داده می‌شود.

در تحقیق حاضر، داده‌های مشاهداتی به‌عنوان ورودی سیستم در نظر گرفته شد و داده‌های بزرگ‌مقیاس GCM در سناریوی مد نظر به‌عنوان داده‌های مورد نیاز برای آموزش شبکه معرفی شدند. به دلیل وجود ۲۵ سال داده مشاهداتی، داده‌های بزرگ‌مقیاس سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۹۹ به چهار دسته تقسیم شدند و سپس به‌صورت جداگانه شبکه برای پنج دوره تحت دو سناریو و برای هشت ایستگاه به منظور ریزمقیاس‌سازی دو پارامتر دما و بارش در نرم‌افزار MATLAB اجرا شد. به خلاف مدل SDSM، ریزمقیاس‌نمایی بارش در ANN فرایندی غیر شرطی است. به بیان بهتر، می‌توان گفت که ساختار مدل ANN به شبیه‌سازی بر سری زمانی بارش و دمای ریزمقیاس‌شده محدود می‌شود.

یافته‌ها

آزمون روند داده‌ها

آزمون من-کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود. با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌شود. برای تعیین نقاط جهش و بررسی روند یک سری زمانی، برنامه آن در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شد. معنادار بودن روند، در سری‌های زمانی نمایه‌ها توسط آزمون من-کندال بررسی شد و نتایج آن در

جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. شایان یادآوری است که در این آزمون مقادیر کمتر از ۱- نشان‌دهنده روند کاهشی و مقادیر بیشتر از ۱ نشان‌دهنده روند افزایش است و مقادیر بین ۱ و ۱- روند بدون تغییر محسوب می‌شود.

در ادامه، سری زمانی دو نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI در پنجره زمانی شش‌ماهه طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۹۹ تحت دو سناریوی اقلیمی و برای سه مدل ریزمقیاس در ایستگاه صفی‌آباد به عنوان نمونه بررسی خواهد شد.

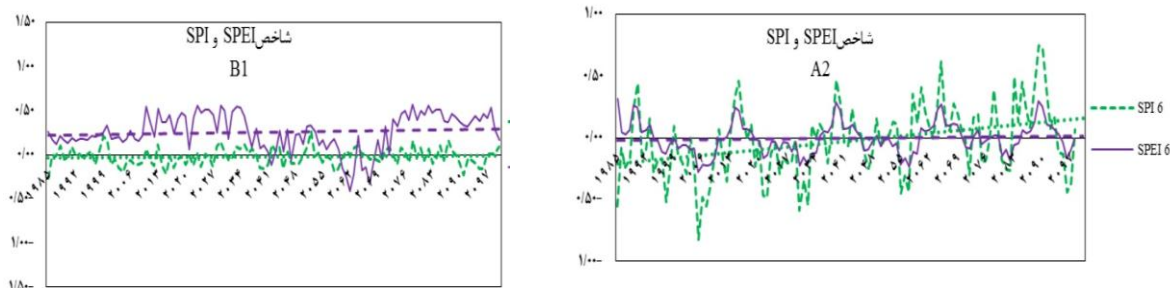
جدول ۲. نتایج آزمون من-کندال برای شاخص SPI

ایستگاه	دوره مشاهداتی	LARS-WG-دوره پیش‌بینی		SDSM-دوره پیش‌بینی		ANN-دوره پیش‌بینی	
		A2	B1	A2	B1	A2	B1
آبادان	-۰/۶۷۷۲۹	۰/۴۹۱۰۷	-۰/۸۱۹	۲/۶۰۷۳	۱/۴۲۴۶۵	-۲/۷۷۹۲	-۰/۰۲۳۳
اهواز	-۰/۸۹۰۷۴	-۱/۱۴۴۳۹	-۲/۵۶۹	-۱/۶۱۱۴۹	-۰/۹۵۷۵	-۱/۰۰۴۲۶	۱/۶۱۱۴۹
بستان	-۲/۹۱۹۳۷۱	۰/۶۵۸۲۰۲	-۱/۶۰۱	۱/۷۵۱۶۲	-۲/۴۹۸۹	-۱/۹۸۵۱	-۲/۴۰۵۶
دزفول	۰/۵۹۸۷۴	۱/۴۹۹۸۶۲	-۰/۵۹۷۴۴۹	۰/۲۴۷۹۲۲	۰/۳۵۲۱۱۴	۰/۰۷۶۵۴۱۸	۰/۰۷۹۶۱
مسجدسلیمان	-۰/۱۴۷۱۱	۰/۰۱۲۴۴	-۱/۳۶۴۴۱	-۰/۰۹۷۴۶	-۰/۰۲۱۱۴	۰/۳۵۴۱۲	-۰/۰۱۳۳۶۴
امیدیه	-۱/۲۵۴۱۱	۰/۰۱۴۵۸۹۶	-۲/۱۴۵۶۶	۰/۰۰۵۴۶۹	۰/۰۸۱۵۴۶	۰/۰۰۴۵۹۷۷	۰/۱۴۳۳۲۵
رامهرمز	-۱/۴۴۹۷۸۱	۰/۴۶۹۸۷۵	-۴/۲۵۴۴۹۴	۰/۱۵۴۹۹۶	۰/۱۵۴۶۹۶	۰/۰۰۹۸۵۸۷	۰/۰۷۴۵۱۲۵
صفی‌آباد	-۲/۶۵۵۵۴۱	۱/۰۱۲۶۵۴	-۳/۶۶۵۴۲۱	۰/۰۱۲۰۳۱	-۰/۰۱۵۴۹۸۷	۰/۰۶۶۹۸۷۴	۲/۳۳۵۴۷

جدول ۳. نتایج آزمون من-کندال برای شاخص SPEI

ایستگاه	دوره مشاهداتی	LARS-WG-دوره پیش‌بینی		SDSM-دوره پیش‌بینی		ANN-دوره پیش‌بینی	
		A2	B1	A2	B1	A2	B1
آبادان	-۳/۰۵۹۵۰	-۰/۶۳۰۵۸	-۱/۸۴۵۰	-۳/۰۹۵۰	-۲/۶۸۵۸	-۱/۵۱۸۰۷	-۳/۶۶۶۷۳
اهواز	-۳/۸۰۶۸۵۹	-۰/۳۰۳۶۱	-۱/۸۴۵۰	-۰/۷۷۰۷۱	۰/۱۱۶۷۷۴	۰/۸۱۷۴۲۳۸	-۱/۱۹۱۱۰۳
بستان	-۴/۵۰۷۵۰	۰/۰۷۰	-۶/۴۳۰۴	۲/۴۵۲۲۷۱	-۲/۱۷۲۰۱	-۳/۳۳۹۷	۰/۵۳۷۱۶۴۲
دزفول	-۱/۱۴۸۹	۰/۷۹۵۵۴۱	-۳/۵۷۸۸۹۶۱	۰/۰۶۹۷۷	۰/۵۸۱۷۴۴	-۰/۱۷۹۵۴۸	-۱/۳۴۷۸
مسجدسلیمان	-۰/۲۴۱۹۳	-۳/۶۶۵۸۷	-۲/۲۱۱۱۴۶	-۰/۱۲۴۳۳	-۰/۲۱۵۴	۰/۶۷۴۱۱	-۰/۴۴۵۴۱
امیدیه	-۱/۸۷۶۲۴۴	۰/۰۴۶۹۳۱	۰/۰۰۱۵۴۹	-۰/۴۴۱۲۲۶	-۰/۲۴۳۳۲۱	۰/۱۵۴۷۹۶	۰/۰۰۱۴۶۵۶
رامهرمز	-۰/۹۸۶۶۱۴۵	۰/۳۲۵۴۱۱	-۳/۶۵۹۷۴۴۱۵	-۲/۶۹۸۷۴۴۵	-۱/۹۶۶۵۵۴۱	-۰/۰۴۹۸۷۶	-۰/۴۵۹۸۷۶۶۱
صفی‌آباد	-۳/۹۹۷۴۵	-۱/۶۰۵۴۰	-۴/۷۴۵۸۹۰	۰/۰۶۵۸۷	-۲/۱۱۴۵۶۰۱	-۱/۳۶۵۴۴	-۰/۰۲۴۴۵۶۱

نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از ANN



شکل ۲. سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت سناریوی A2 و B1 و مدل ریزمقیاس ANN ایستگاه صفی‌آباد

جدول ۴. میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس ANN برای ایستگاه صفی‌آباد

A2		B1		سناریوی انتشار
SPI	SPEI	SPI	SPEI	نمایه خشک‌سالی
-۰/۱۹۰۶۹	-۰/۰۲۵۸۸	۰/۲۴۲۴۹۶	۰/۳۱۹۱۵۷	دوره مشاهداتی
-۰/۰۸۷۷۲	-۰/۰۱۰۵۳	-۰/۲۴۶۹۵	۰/۱۷۴۱۸	۲۰۳۹-۲۰۱۰
۰/۰۶۰۱۸۱	۰/۰۱۵۹۳۶	-۰/۲۳۱۸۴	۰/۲۱۱۲۰۴	۲۰۶۹-۲۰۴۰
۰/۰۸۲۶۲۶	۰/۰۰۵۲۹	۰/۱۸۴۲۱۱	۰/۲۰۹۶۹۵	۲۰۹۹-۲۰۷۰

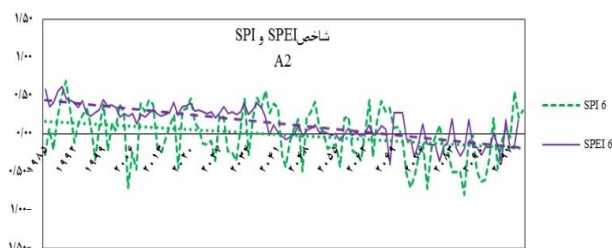
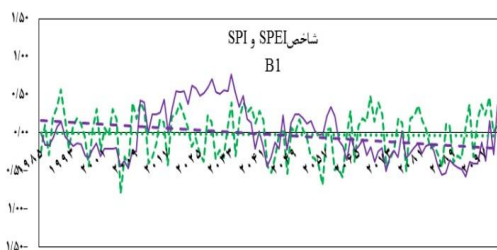
شکل ۳ سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت دو سناریوی B1 و A2 و مدل ریزمقیاس LARS-WG در ایستگاه صفی‌آباد طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۹۹ را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این دو شکل و آماره آزمون من-کندال در جدول ۲ و جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد که در دوره پیش‌بینی برای مدل ریزمقیاس LARS-WG به‌جز شاخص SPI سناریوی B1 بقیه موارد دارای روند منفی معنادارند.

با توجه به جدول ۵ که میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس LARS-WG برای ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهد؛ مقادیر نمایه‌های خشک‌سالی در دوره مشاهداتی مثبت است و طی دوره پیش‌بینی نوسانات زیادی مشاهده می‌شود.

شکل ۲ سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت دو سناریوی B1 و A2 و مدل ریزمقیاس ANN در ایستگاه صفی‌آباد طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۹۹ را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این دو شکل و آماره آزمون من-کندال در جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان مشاهده کرد که در دوره مشاهداتی دو شاخص SPI و SPEI دارای روند منفی معنادار هستند و برای دوره پیش‌بینی نمایه خشک‌سالی SPI سناریوی A2، روند مثبت معنادار و نمایه خشک‌سالی SPEI سناریوی B1 روند منفی معنادار را دارند.

با توجه به جدول ۴ که میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس ANN برای ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهد؛ مقادیر نمایه‌های خشک‌سالی در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی تحت سناریوی A2 دارای مقدار منفی و در سناریوی B1 دارای مقدار مثبت است.

نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG

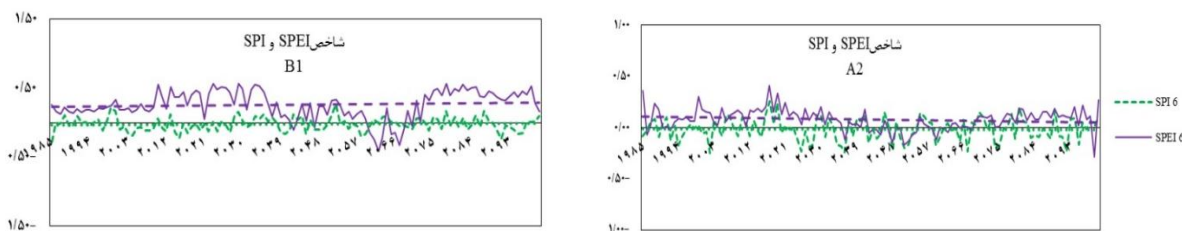


شکل ۳. سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت سناریوی A2 و B1 و مدل ریزمقیاس LARS-WG ایستگاه صفی‌آباد

جدول ۵. میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس LARS-WG برای ایستگاه صفی‌آباد

A2		B1		سناریوی انتشار
SPI	SPEI	SPI	SPEI	نمایه خشک‌سالی
۰/۰۹۳۳۵۸	۰/۳۴۷۳۹۸	۰/۰۲۷۳۲۵	-۰/۱۶۲۹۹	دوره مشاهداتی
۰/۰۷۰۰۲۳	۰/۲۸۹۲۵۵	۰/۰۲۰۱۲۴	۰/۴۰۹۵۳۲	۲۰۳۹-۲۰۱۰
۰/۰۲۵۷۴۳	۰/۰۱۳۴۰۵	-۰/۱۱۰۸	-۰/۰۴۶۰۶	۲۰۶۹-۲۰۴۰
-۰/۱۶۸۷۲	-۰/۱۳۲۷۹	۰/۰۶۵۴۸۳	-۰/۲۰۱۸۳	۲۰۹۹-۲۰۷۰

نتایج مدل ریزمقیاس SDSM



شکل ۴. سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت سناریوی A2 و مدل ریزمقیاس ANN ایستگاه صفی آباد

جدول ۶. میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس ANN برای ایستگاه صفی آباد

A2		B1		سناریوی انتشار
SPI	SPEI	SPI	SPEI	نمایه خشک‌سالی
-۰/۰۱۳۴۷	۰/۱۰۹۱۶۶	-۰/۰۳۵۹۵	۰/۲۴۸۴۱۸	دوره مشاهداتی
-۰/۰۱۴۹	۰/۱۲۶۹۱۸	-۰/۰۲۷۱۲	۰/۴۲۰۸۸۴	۲۰۳۹-۲۰۱۰
-۰/۰۳۳۳۸	-۰/۰۱۳۱۹	-۰/۰۱۷۸۴	۰/۰۳۴۵۸۹	۲۰۶۹-۲۰۴۰
-۰/۰۰۹۵۱	۰/۱۱۱۷۸	-۰/۰۱۸۲۵	۰/۴۰۰۵۳۹	۲۰۹۹-۲۰۷۰

ضریب RSME

معیار مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$RSME = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_k - Y_k)^2}}{n} \quad (2)$$

اندازه اختلاف هرچقدر کمتر باشد، نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب و مقادیر اختلاف زیاد بیان‌کننده عدم کارایی آن است. بهترین مقدار آن نیز برابر صفر است [۱۵].

ضریب تبیین

معیار دیگری که برای ارزیابی کارایی شبیه در پژوهش حاضر به کار رفت، ضریب تبیین است که مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند و به صورت رابطه ۳ ارائه می‌شود.

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (X_k Y_k)}{\sum_{k=1}^n ((X_k)^2 \sum (Y_k)^2)} \quad (3)$$

در تمامی روابط یادشده، X_k مقادیر مشاهده‌شده، Y_k مقادیر پیش‌بینی‌شده و k تعداد داده‌هاست.

شکل ۴ سری زمانی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI تحت دو سناریوی B1 و A2 و مدل ریزمقیاس SDSM در ایستگاه صفی‌آباد طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۹۹ را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این دو شکل و آماره آزمون من-کندال در جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان مشاهده کرد که در دوره پیش‌بینی برای مدل ریزمقیاس LARS-WG به جز شاخص SPEI سناریوی A2 که روند منفی معنادار دارد، بقیه موارد روند بدون تغییر دارند.

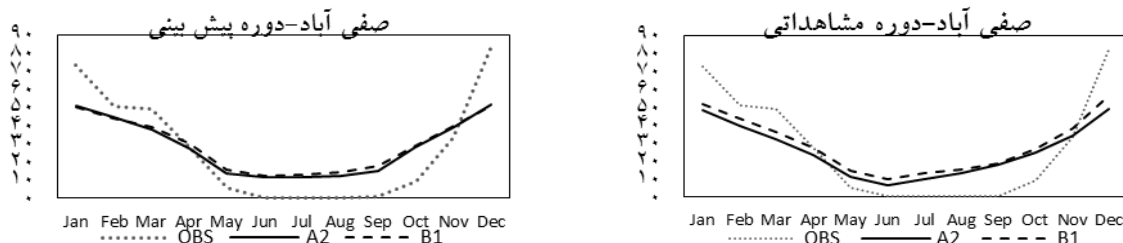
با توجه به جدول ۶ که میانگین نمایه‌های خشک‌سالی مدل ریزمقیاس SDSM برای ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهد؛ مقادیر نمایه‌های خشک‌سالی در دوره مشاهداتی و دوره پیش‌بینی در بیشتر موارد برای نمایه SPI منفی و برای نمایه SPEI مثبت است.

ارزیابی کارایی شبیه‌ها

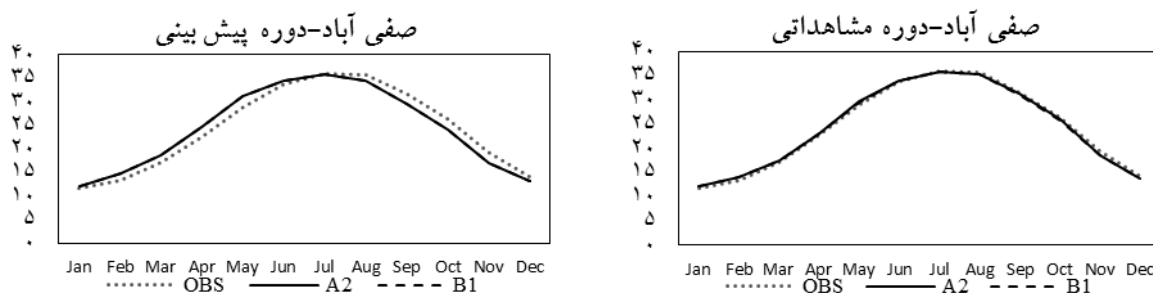
برای ارزیابی کارایی شبیه‌ها، از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا^۱ و ضریب تبیین استفاده شد. همچنین، نمودار مقایسه دو پارامتر بارش و دما تحت دو سناریو با داده مشاهداتی مقایسه می‌شود.

1. Root Mean Square Error

نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از ANN



شکل ۵. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس ANN برای داده بارش در ایستگاه صفی آباد



شکل ۶. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس ANN برای داده دما در ایستگاه صفی آباد

جدول ۷. محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل ریزمقیاس ANN در ایستگاه صفی آباد

بارش-B1	بارش-A2	دما-B1	دما-A2	
۲۶/۴۸۷۵	۲۸/۸۷۹۷۸	۰/۵۳۴۳۹	۰/۴۹۸۷۳	RSME
۰/۷۴۰۷	۰/۶۵۵۸	۰/۹۹۶۵	۰/۹۹۶۹	R ²

است. همان‌گونه که در جدول مشخص است؛ مدل ANN برای پارامتر دما در دو سناریو خوب عمل کرده است و مقادیر آنها نزدیک به هم است و برای داده بارش سناریوی B1 مقدار بهتری را نشان می‌دهد.

شکل‌های ۷ و ۸ مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس LARS-WG برای داده بارش و دما در ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است، مدل ریزمقیاس LARS-WG برای داده بارش در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی توانسته است روند تغییرات ماهانه را به‌خوبی و نزدیک به داده مشاهداتی شبیه‌سازی کند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید این مدل ریزمقیاس برای پارامتر دما بهتر عمل کرده است و مقادیر شبیه‌سازی‌شده و پایه در دو سناریو و دوره پیش‌بینی بسیار نزدیک به هم هستند و در دوره مشاهداتی هر مقادیر هر دو سناریو تقریباً ۴/۴ درجه به‌طور میانگین بیشتر شبیه‌سازی شده است.

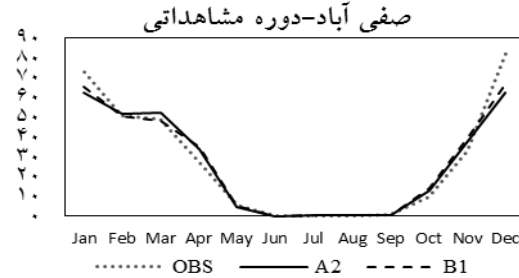
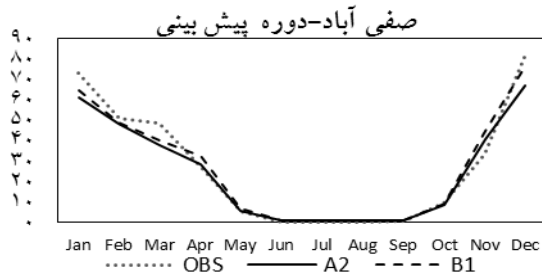
شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس ANN برای داده‌های بارش و دما در ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است، مدل ریزمقیاس ANN برای داده بارش در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی توانسته است روند تغییرات ماهانه را شبیه‌سازی کند که در این زمینه سناریوی A2 عملکرد بهتری داشته است، ولی همواره حداقل دما از دوره مشاهداتی بیشتر و حداکثر دما از دوره مشاهداتی کمتر است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید این مدل ریزمقیاس برای پارامتر دما بهتر عمل کرده است و مقادیر شبیه‌سازی‌شده و پایه در دو سناریو و هر دو دوره مشاهداتی و پیش‌بینی بسیار نزدیک به هم‌اند.

به منظور ارزیابی کارایی و دقت شبیه‌سازی مدل ANN از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شده و نتایج در جدول ۷ ارائه شده

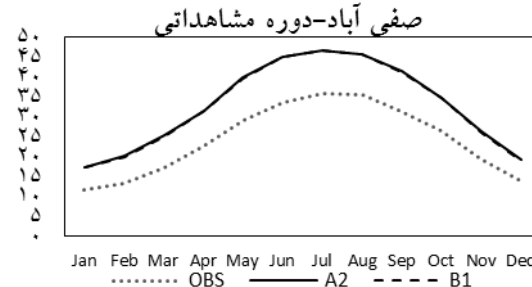
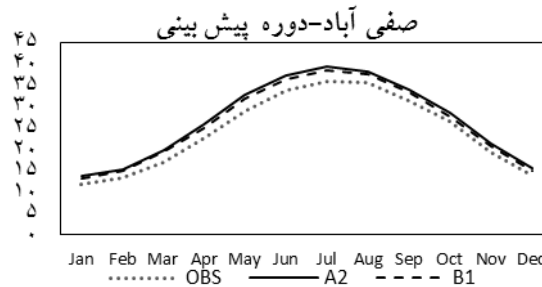
است. همان‌گونه که در جدول مشخص است؛ مدل LARS-WG برای پارامتر دما خوب عمل کرده است و برای داده بارش هر دو سناریو مقادیر نزدیک به هم را نشان می‌دهند.

به منظور ارزیابی کارایی و دقت شبیه‌سازی مدل LARS-WG از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شده و نتایج در جدول ۸ ارائه شده

نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG



شکل ۷. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس LARS-WG برای داده بارش در ایستگاه صفی آباد

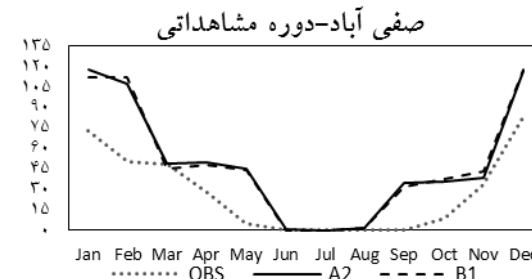
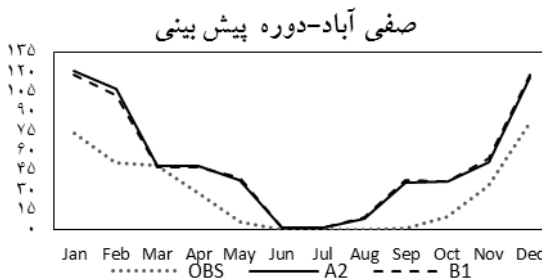


شکل ۸. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس LARS-WG برای داده دما در ایستگاه صفی آباد

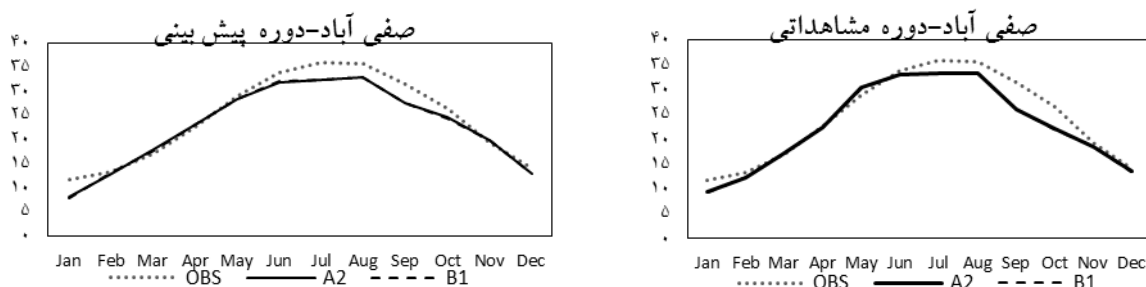
جدول ۸. محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل ریزمقیاس LARS-WG در ایستگاه صفی آباد

بارش-B1	بارش-A2	دما-B1	دما-A2	
۱/۳۵۶۵	۰/۹۷۹۵	۸/۸۷۵۱	۸/۹۷۷۸۱	RSME
۰/۸۳۶۸	۰/۸۳۶۷	۰/۹۷۱۶	۰/۹۷۱۳	R ²

نتایج مدل ریزمقیاس SDSM



شکل ۹. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس SDSM برای داده بارش در ایستگاه صفی آباد



شکل ۱۰. مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس SDSM برای داده دما در ایستگاه صفی آباد

جدول ۹. محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل ریزمقیاس SDSM در ایستگاه صفی آباد

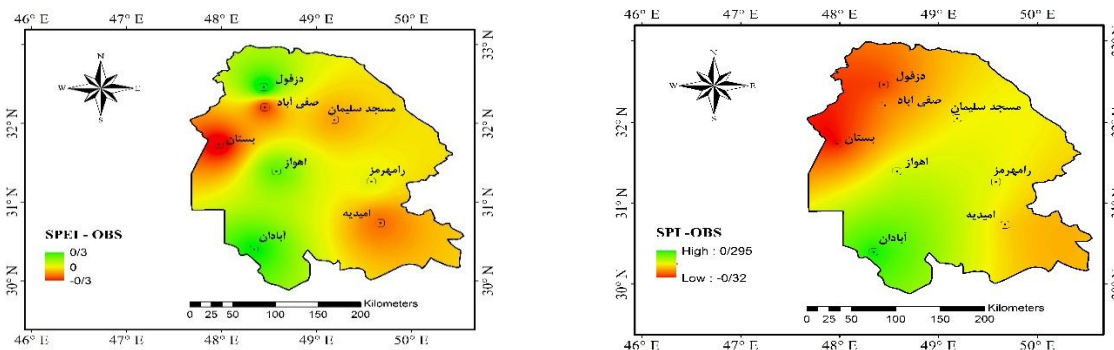
بارش-B1	بارش-A2	دما-B1	دما-A2	
۴۴/۹۹۰۶	۴۶/۲۶۲	۲/۹۸۷۸	۲/۹۷۹	RSME
۰/۳۲۶	۰/۳۰۹۷	۰/۹۱۳۹	۰/۹۱۴۱	R ²

همان‌گونه که در جدول مشخص است؛ مدل SDSM برای پارامتر دما در دو سناریو خوب عمل کرده است و برای داده بارش در سناریوی B1 عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، با توجه به نمودارها و جدول‌های ارائه‌شده می‌توان گفت که مدل ریزمقیاس ANN در ایستگاه صفی‌آباد شبیه‌های بهتری را برای پارامتر دما و مدل LARS-WG شبیه‌های بهتری برای پارامتر بارش ارائه داده‌اند.

نقشه‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی

در تحقیق حاضر برای مشخص شدن وضعیت مکانی نمایه‌های خشک‌سالی، نقشه‌های پهنه‌بندی برای دوره مشاهداتی و پیش‌بینی برای مدل‌های ریزمقیاس و سناریوهای مختلف در نرم‌افزار GIS رسم شد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ مقایسه عملکرد سناریوهای A2 و B1 با دوره پایه در مدل ریزمقیاس SDSM برای داده بارش و دما در ایستگاه صفی‌آباد را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است، مدل ریزمقیاس SDSM برای داده بارش در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی توانسته است روند تغییرات ماهانه را شبیه‌سازی کند، اما همواره این مقادیر بیشتر از مقادیر مشاهداتی است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، این مدل ریزمقیاس برای پارامتر دما بهتر عمل کرده است و مقادیر شبیه‌سازی‌شده و پایه در دو سناریو و هر دو دوره مشاهداتی و پیش‌بینی بسیار نزدیک به هم‌اند. به منظور ارزیابی کارایی و دقت شبیه‌سازی مدل SDSM از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شده و نتایج در جدول ۹ ارائه شده است.



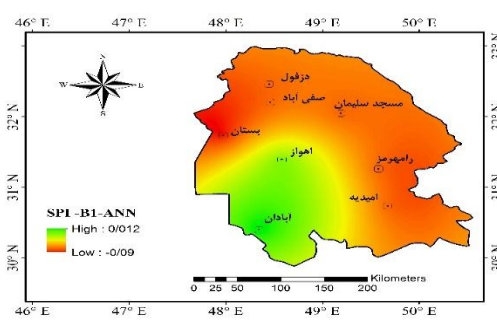
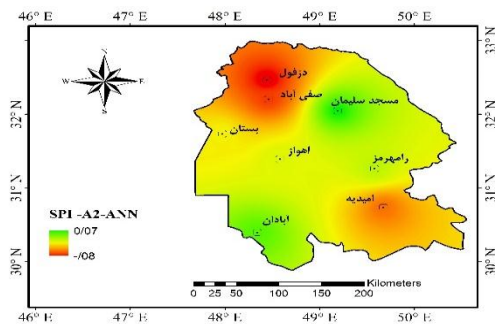
شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPI و SPEI برای دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۰) استان خوزستان

در مناطق شرقی و شمالی استان خوزستان نشان می‌دهد و همچنین در هر دو سناریو مناطق جنوبی مقادیر نمایه خشک‌سالی بیشتری دارد.

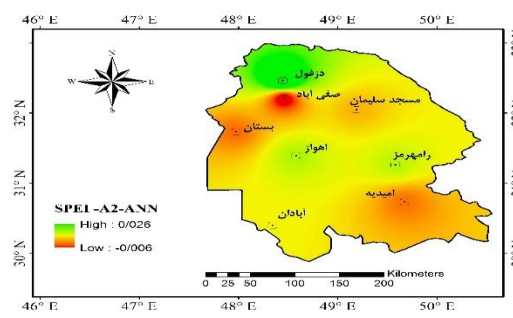
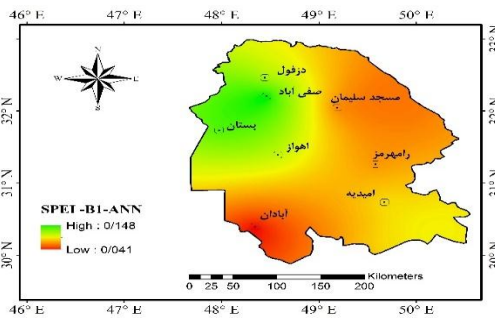
شکل ۱۳ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس ANN تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سناریوی B1 خشک‌سالی بیشتری را در مناطق جنوب غربی استان خوزستان نشان می‌دهد و نیز در هر دو سناریو مناطق شمالی مقادیر نمایه خشک‌سالی کمتری دارد.

شکل ۱۱ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI برای دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۰) استان خوزستان را نشان می‌دهد. طبق دو نقشه شکل ۱۱ می‌توان به این نتیجه رسید که استان خوزستان در مناطق شمال غربی و ایستگاه بستان خشک‌سالی بیشتری را در گذشته تا حال داشته و مناطق جنوبی این استان همواره با خشک‌سالی کمتری روبه‌رو بوده است.

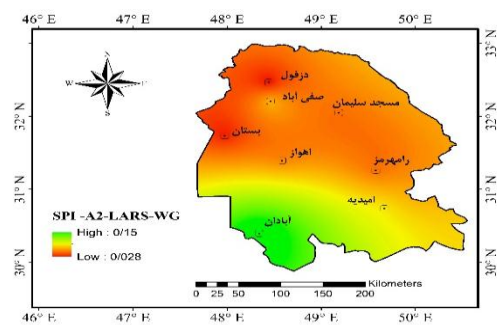
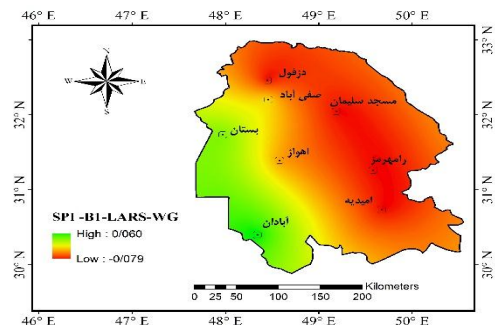
شکل ۱۲ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس ANN تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سناریوی B1 خشک‌سالی بیشتری را



شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس ANN تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان



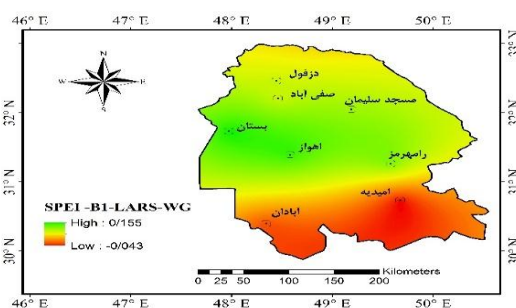
شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس ANN تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان



شکل ۱۴. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان

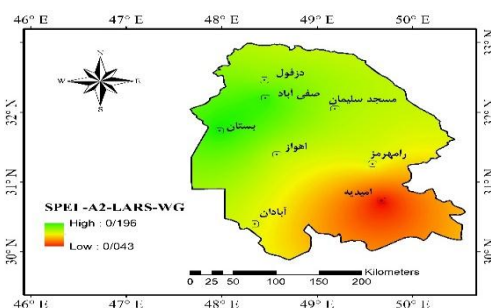
بر اساس این دو نقشه پهنه‌بندی، هر دو سناریو مناطق جنوبی را خشک‌تر معرفی کرده‌اند و مناطق جنوبی مقدار نمایه خشک‌سالی بیشتری دارند.

شکل ۱۶ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPI، مدل ریزمقیاس SDSM تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سناریوی B1 خشک‌سالی بیشتری را در مناطق شرقی و شمالی استان خوزستان نشان می‌دهد و سناریوی A2 مناطق شمالی را خشک‌تر معرفی کرده است. همچنین، در هر دو سناریو مناطق جنوب غربی مقادیر نمایه خشک‌سالی بیشتری دارد.

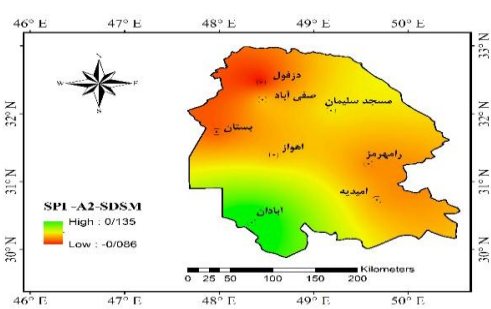
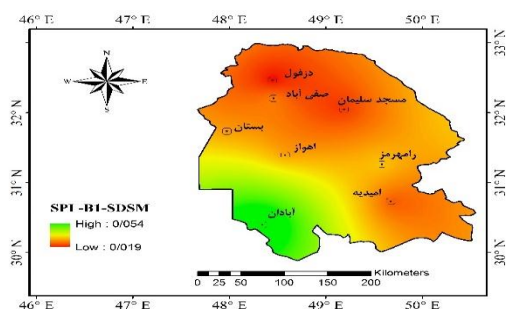


شکل ۱۴ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPI، مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سناریوی B1 خشک‌سالی بیشتری را در مناطق شرقی استان خوزستان نشان می‌دهد و سناریوی A2 مناطق شمالی را خشک‌تر معرفی کرده است. همچنین، در هر دو سناریو مناطق جنوب غربی مقادیر نمایه خشک‌سالی بیشتری دارد.

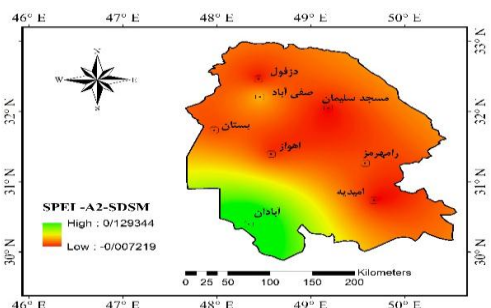
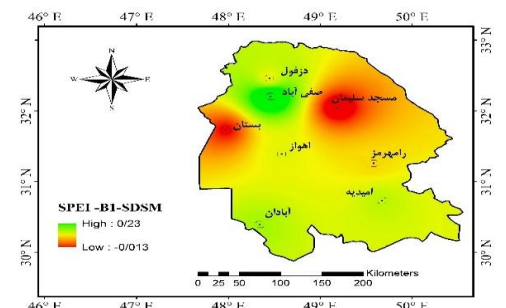
شکل ۱۵ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان



شکل ۱۶. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPI، مدل ریزمقیاس SDSM تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان



شکل ۱۷. نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس SDSM تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان

نتایج شبیه‌سازی پژوهش حاضر بیان‌کننده کاهش میزان بارندگی سالیانه و همچنین افزایش میانگین دما در ایستگاه‌های مطالعه‌شده است که این نتایج نشان می‌دهد میزان بارندگی دوره‌های آبی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت که با تحقیقات صورت‌گرفته توسط سرافروزه و همکارانش [۱۶]، مقدم و همکارانش [۱۷]، مساح بوانی و مرید [۱۸]، ژانگ و همکارانش [۱۹] و الیسون و همکارانش [۲۰] مطابقت دارد.

با توجه به نتایج آماره من-کندال برای نمایه‌های خشک‌سالی SPI و SPEI مشاهده می‌شود که هر دو شاخص در دوره مشاهداتی روند کاهشی دارند و روند تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش را توصیف می‌کنند. با توجه به جدول‌های ۲ و ۳ که نتایج آماره من-کندال برای نمایه‌های خشک‌سالی را نشان می‌دهند؛ می‌توان نتیجه گرفت که شاخص SPEI مقادیر منفی تری را به نمایش گذاشته و به این معناست که روند و شیب تغییرات بیشتر بوده و شاخص سخت‌گیرانه‌تر عمل کرده است. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی در منطقه گرم و خشک واقع شده است و شاخص SPEI علاوه بر بارش پارامتر دما را نیز لحاظ می‌کند، این مسئله می‌تواند دلیل اختلاف این نمایه با نمایه خشک‌سالی SPI باشد. علاوه بر این، نتایج آماره من-کندال برای نمایه‌های خشک‌سالی نشان می‌دهد همواره مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل ریزمقیاس LARS-WG برای نمایه‌های SPI و SPEI شیب بیشتری در جهت منفی شدن دارد. همچنین، در موارد قبل به این نتیجه رسیدیم که این مدل در شبیه‌سازی پارامتر بارش عملکرد مناسبی داشته است؛ بنابراین می‌توان به نتایج این مدل برای نمایه SPI اعتماد کرد. همچنین، از نتایج آماره من-کندال برای نمایه‌های خشک‌سالی تحت دو سناریوی A2 و B1 می‌توان نتیجه گرفت که سناریوی B1 سخت‌گیرانه‌تر عمل کرده است و در دوره‌های آبی شیب منفی تری را نسبت به سناریوی A1 ارائه داده است.

با مشاهده شکل‌های ۱۱ تا ۱۷ که نقشه پهنه‌بندی نمایه‌های خشک‌سالی برای مدل‌های ریزمقیاس SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی تحت سناریوهای A2 و B1 برای دوره مشاهداتی پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد می‌توان چنین استنباط کرد که همواره مناطق شمالی دارای بیشترین خشک‌سالی و سپس مناطق غربی و شرقی دارای خشک‌سالی بوده‌اند و مناطق

شکل ۱۷ نقشه پهنه‌بندی نمایه خشک‌سالی SPEI، مدل ریزمقیاس SDSM تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره پیش‌بینی در استان خوزستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سناریوی B1 خشک‌سالی بیشتری را در مناطق شرقی و غربی استان خوزستان و سناریوی A2 در مناطق شمالی نشان می‌دهد. همچنین، در هر دو سناریو مناطق جنوبی مقادیر نمایه خشک‌سالی بیشتری دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌کردن خروجی شبیه‌های گردش عمومی جو وجود دارند که هر یک از منطق خاصی پیروی می‌کنند. از این‌رو، می‌توان انتظار داشت که استفاده از روش‌های مختلف نتایج متفاوتی را به دنبال داشته باشد که یکی از دلایل مهم آن عدم قطعیت روش‌های مد نظر است، زیرا در مطالعات تغییر اقلیم، منابع عدم قطعیت مختلفی بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند؛ این منابع عدم قطعیت عبارت‌اند از: عدم قطعیت مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم، عدم قطعیت مربوط به شبیه‌های GCM، عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس‌کردن و عدم قطعیت شبیه‌های شبیه‌سازی.

نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی شبیه‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبیه SDSM و شبیه LARS-WG نشان داد توانایی این شبیه‌ها در شبیه‌سازی دما ایستگاه‌های مطالعه‌شده نسبتاً قابل قبول‌اند و با داده‌های مشاهداتی تقریباً مطابقت دارند. با توجه به اینکه روند دما غیر خطی است، شبکه عصبی مصنوعی با قابلیت اعتماد بیشتر زمانی و توانایی پیش‌بینی روندهای غیرخطی و همچنین فرایندهایی که شناخت کاملی از چگونگی رخداد آن‌ها وجود ندارد، جایگاه ویژه‌ای دارد. نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی شبیه‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبیه SDSM و شبیه LARS-WG نشان داد توانایی مدل ریزمقیاس شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، مسجدسلیمان بهتر و توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های بستان، دزفول، امیدیه، رامهرمز و صفی‌آباد نسبتاً قابل قبول‌تر از سایر مدل‌ها هستند و با داده‌های مشاهداتی تقریباً مطابقت دارند. تخمین‌های روش شبکه عصبی مصنوعی در استان خوزستان که اقلیم گرم و خشک دارند، در مقایسه با تخمین‌های مدل SDSM دقت بیشتری دارند.

- Journal of Ecology, Environment and Conservation. 2010; 16(4): 465-474.
- [11]. McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple time scales. In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. 1995; 233-236.
- [12]. Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JJ. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of climate. 2010; 23(7):1696-718.
- [13]. Babaeian I, Kouhi M. Agroclimatic Indices Assessment over Some Selected Weather Stations of Khorasan Razavi Province Under Climate Change Scenarios. Journal of Water and Soil. 2012; 26(4):953-967. [Persian].
- [14]. Principe JC, Euliano NR, Lefebvre WC. Neural and adaptive systems: fundamentals through simulations. New York. Wiley. 2000; 679(29).
- [15]. Mahsafar H, Maknoon R, Saghafian B. The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level. Iran-Water Resources Research. 2011; 7(1):5-37. [Persian].
- [16]. Sarafroozeh F M, Jalali T, Jalali A. Evaluation of the effects of future climate change on water consumption of wheat in Tabriz. Quarterly Journal of Geographical Space Islamic Azad University. Ahar Branch. 2012; 12(37):81. [Persian].
- [17]. Moghadam, Jamali J, Javanmard S, Mehdiyan A, and Treasury L. Drought monitoring on the basis of SPI, decile and normal profile in Sistan and Baluchistan province. Proceedings of the First Conference on Measuring Water-Crisis Solutions. Zabol University, Iran. 2001; 69-80. [Persian].
- [18]. Massah Boani AS, Morid S. The effects of climate change on the flow of the Zayandehrud River. Journal of Agricultural Science and Technology. 2005; 9 (4): 17-27. [Persian].
- [19]. Zhang XC, Liu WZ, Li Z, Chen J. Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios. Agricultural and Forest Meteorology. 2011; 151(10):1297-304.
- [20]. Alison L K, Richard GJ, Nicholas S R. RCM rainfall for UK flood frequency estimation Climate change results. J Hydrol. 2004; 318: 163-172.
- جنوبی استان خوزستان وضعیت بهتری از نظر پارامترهای اقلیمی داشته است. همچنین، در دوره‌های آبی همواره میانگین مقادیر دو شاخص کاهش یافته است، ولی از نظر مکانی تغییر درخور توجهی نداشته است.
- ### منابع
- [1]. Mosaedi A, Mahdi Zade S, Maftah M, Seyyed Ghasemi S. The Effect of Climate Change on Precipitation in Golestan Dam Basin. Water and soil conservation Research. 2011; 18(3). [Persian].
- [2]. Keyantash J, Dracup JA. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bulletin of the American Meteorological Society. 2002; 83(8):1167-80.
- [3]. Abbasi F, Babaeian I, Goli Mokhtari L, Melbosi Sh. Assessment of Climate Change Effects on Iran's Temperature and Precipitation in Decades with the MAGICC-SCENGEN Model. Natural Geography Research. 2010; 42-72. [Persian].
- [4]. IPCC. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment. 1999.
- [5]. Salah al-Din M, Khani T, Mortazavi M. Precipitation and temperature prediction in the Uromieh basin using HadCM3. 12th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction in Kerman. Shahid Bahonar University of Kerman. 2013; [Persian].
- [6]. Wilby RL, Harris I. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research. 2006; 1: 42(2).
- [7]. Modaresi F, Araghinejad Sh, Ebrahimi K, Kholghi M. Assessment of Climate Change Effects on the Annual Water Yield of Rivers: A Case Study of Gorganroud River, IRAN. Journal of Water and Soil. 2011; 25(6): 1365-1377. [Persian].
- [8]. Komozepe T and Chung Ok. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin. Republic of Korea. Journal of Hydro-environment Research. 2014; 8(4): 358-366.
- [9]. Dehghan Z, Fathian F, Eslamian S. Comparative Assessment of SDSM, IDW and LARS-WG Models for Simulation and Downscaling of Temperature and Precipitation. Majallah-i āb va Khāk. 2017; 29(5):1376-90.
- [10]. Rajabi A, Sedghi H, Eslamian S, Musavi H. Comparison of LARS-WG and SDSM downscaling models in Kermanshah (Iran).