

پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی استان سیستان و بلوچستان تحت شرایط

سناریوهای واداشت تابشی RCP

مهسا فرزانه^{۱*}، شراره ملبوسی^۲، محسن حمیدیان پور^۳

۱- دکتری تخصصی آب و هواشناسی

۲- عضو گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۳- استادیار گروه جغرافیایی طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

پایش و شناخت شرایط اقلیمی و متغیرهای هواشناسی تحت شرایط گرمایش جهانی در مناطق مختلف جنوب شرق کشور، امکان مدیریت صحیح و کاهش اثرات آن را فراهم می‌کند. هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی و تحلیل فضایی خشکسالی‌ها و متغیرهای هواشناسی آینده جنوب شرق کشور بر اساس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 که در گزارش پنجم IPCC استفاده شده است، می‌باشد. به منظور ریزگردانی برونداد مدل‌های گردش کلی (GCMs) یعنی HadCM2 از مدل LARS-WG نسخه ششم با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۲۰ استفاده شد. علاوه بر داده‌های مدل از داده‌های مشاهداتی ۶ ایستگاه استان شامل چابهار، ایرانشهر، خاش، سراوان، زابل و زاهدان نیز استفاده گردید. واسنجی مدل توسط شاخص‌های MAE، RMSE، R2، NSE انجام شد. نتایج نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده دوره پایه و دوره مدل سازی شده وجود دارد. نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره مذکور گویای میزان درصد تغییرات دمای حداقل در استان ۱۶/۰۲ درصد افزایشی، میزان درصد تغییرات دمای حداکثر ۸/۴۹ درصد افزایشی و مقدار درصد بارش ۹/۸۵ درصد کاهش در سطح معنی داری ۹۵ درصد می‌باشد. تعداد روزهای خشک در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد. بیشترین فراوانی شدت خشکسالی‌ها مربوط به خشکسالی‌های بسیار شدید و شدید بوده است. نقشه‌های پهنه بندی نشان می‌دهد که قسمت‌های شرقی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بیشتر از قسمت‌های غربی، متاثر خشکسالی است.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، پیش‌نگری، مدل گردش عمومی، ریزگردانی آماری، سناریوی RCP، سیستان و بلوچستان.

مقدمه

کشاورزی دارند منجر به پدیده مهاجر فرستی نیز گردد (جدگال و میری، ۱۳۹۶؛ کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲؛ شمس و همکاران، ۱۳۹۲) و این امر سبب می‌گردد تعادل جمعیتی، اقتصادی، اجتماعی و... نامتوازن شده و به بحران‌های منطقه‌ای و عدم توسعه یافتگی منطقه منجر گردد (جان پرور و همکاران، ۱۳۹۳؛ آبیلی، ۱۳۹۱، بیک محمدی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین ضرورت دارد که چشم‌اندازی از آینده خشکسالی‌های ایران مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو به برنامه‌ریزان و سیاستمداران به منظور برنامه‌ریزی‌های آینده ارائه نماییم. بر همین حسب و ضرورت‌های متعدد دیگر مطالعات گسترده‌ای در خصوص خشکسالی در سطح جهان و ایران انجام شده است. صفریان (۱۳۹۹) در پژوهشی در دهه‌های اخیر مخاطرات طبیعی همچون خشکسالی نقاط مختلف کره زمین را تحت سیطره خود قرار داده است و به این نتیجه رسید که می‌توان گفت هیچ ناحیه‌ای از منطقه مورد مطالعه نمی‌تواند از خشکسالی محفوظ باشد. سجاد نجفی (۱۴۰۰) در مطالعه ای نتایج پیش بینی حاکی از آن است که در سال ۲۰۲۰ خشکسالی متوسط و در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ خشکسالی ضعیف اتفاق می‌افتد و برای سال ۲۰۲۳ ترسالی ضعیف و نهایتاً برای سال ۲۰۲۴ وضعیت نرمال پیش بینی می‌شود. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵) با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو به پیش‌نمایی دما و بارش در جنوب شرق ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دما و بارش به ترتیب در این منطقه افزایش و کاهش می‌یابد. شایان ذکر است آنها دریافتند که بارش بهاره در این مناطق مبتنی بر مدل‌ها افزایش می‌یابد. نتیجه اخیر می‌تواند بر سیلاب‌های بهاره تاثیر بسزایی داشته باشد (آبیلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ نگارش، ۱۳۹۲). اما افزایش دما و کاهش بارش قاعدتاً منجر به شدت بخشیدن به خشکسالی‌ها می‌گردد. به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه (اسدی زارچ، ۱۳۹۶؛ ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۴؛ صلاحی و همکاران، ۱۳۹۳؛ نوده فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷) اشاره نمود. باید یادآور شد که پیش‌بینی شرایط اقلیم آینده بوسیله مدل‌های گردش کلی مورد استفاده تحقیقات متعددی می‌باشد. از جمله می‌توان به (جوان، ۱۳۹۵؛ شهنواز و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمدیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و

خشکسالی یکی از پدیده‌های اقلیمی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود (مجیدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خراشه داری و همکاران، ۱۳۸۸؛ یداللهی، ۱۳۹۳؛ دوستان، ۱۳۹۴) ساده‌ترین نقطه شروع تعریف خشکسالی، به علت عدم تعریف دقیق و جامع از خشکسالی، قلمداد نمودن آن به عنوان یک رخداد نسبی و موقت هواشناسی است (Olapido, ۱۹۸۵، جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹؛ زندگی فر و همکاران، ۱۳۹۹) این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده اقلیم‌های متفاوت به شمار می‌آید و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه خشک محدود نمی‌شود. این پدیده در هر قلمرو جغرافیایی می‌تواند رخ دهد و باعث کمبود منابع آب در بخش‌های مختلف شود (Dracup, ۱۹۸۰). قرن بیست و یک با سه چالش اساسی شامل تغییر اقلیم، کمبود آب و بیابانزایی روبرو است (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). اسمیت (۲۰۰۸)، در طبقه‌بندی مخاطرات محیطی تغییر اقلیم را جز مخاطرات مفهومی طبقه‌بندی می‌نماید. بدین معنی که هنوز اثرات آن در سطح جامعه به اندازه‌ای نیست که به عنوان یک دغدغه اولیه شناخته شود. ولی بر اساس مطالعات بسیاری، تغییر اقلیم می‌تواند منجر به تشدید مخاطرات طبیعی و به ویژه اقلیمی گردد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ذولفقاری و فتاحی، ۱۳۹۰؛ کرمی، ۱۳۹۵). همانطور که بیان شد خشکسالی یکی از مخاطرات تدریجی و خسارت بار بر مناطق خشک و نیمه خشک است (خان محمدی، ۱۳۹۸؛ کیانی، ۱۳۹۱؛ داورپناه، ۱۳۸۳). بی شک تغییر اقلیم دارای اثرات تشدید بر خشکسالی است (گل محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰؛ قدمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ قریشی و همکاران، ۱۳۹۳) بنابراین شناخت پدیده تغییر اقلیم و بررسی پیامدهای این ام‌المخاطره بر وضعیت خشکسالی اهمیت بسیاری دارد (رودری، ۱۳۹۵؛ اکرامی، ۱۳۹۲؛ السادات شکوهی و نامداری قرقانی، ۱۳۹۷) زیرا وقوع خشکسالی‌های شدید در منطقه، اثرات نامطلوب اقتصادی و اجتماعی برجای می‌گذارد (احمدی، ۱۳۸۸؛ زیبایی و محسن پور، ۱۳۸۹؛ گلستانی و مرتضوی زاده، ۱۳۸۸؛ شجاع جمال آباد، ۱۳۹۷). شدت این اثرات می‌تواند بر مناطقی که وابستگی شدید اقتصادی به

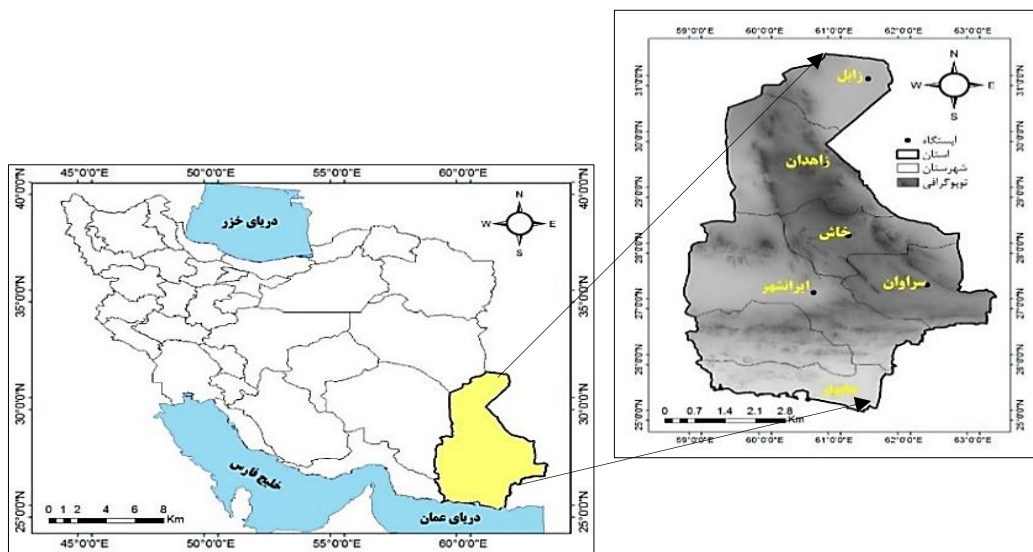
وسعتی حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومترمربع حدود ۴.۱۱ درصد از کل مساحت کشور را تشکیل داده و از پهناورترین استان‌های کشور است. استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. این استان از نظر عرض جغرافیایی بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و به لحاظ طول جغرافیایی بین ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است (ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۹).

داده‌های این مطالعه شامل دو دسته هستند: دسته اول شامل متغیرهای هواشناسی همچون بارش روزانه، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در منطقه طی دوره آماری ۳۴ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۰) است. داده‌های مذکور از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

همکاران، ۱۳۸۹؛ پیرانی و همکاران، ۱۳۹۷) اشاره داشت. استان سیستان و بلوچستان از جمله استان‌های جنوب شرقی ایران است که به شدت متأثر از خشکسالی و همچنین نوسانات و تغییرات متغیرهای هواشناسی است. با توجه به اهمیت و ضرورتی که درخصوص اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی و به طور جزئی تر بر پارامترهای اقلیمی ارائه شد این مطالعه قصد دارد به شناسایی رفتار تغییر اقلیم بر خشکسالی و بعضاً تغییرات پارامترهای هواشناسی این منطقه بپردازد و به سوال زیر پاسخ دهد. پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد استفاده در آینده مبتنی بر مدل‌های گردش عمومی جو دارای چه تغییراتی هستند و به تبع شرایط خشکسالی‌ها آینده این منطقه دارای چه تغییرات و روندی است؟

داده‌ها و روش‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر جنوب شرق ایران، استان سیستان و بلوچستان می‌باشد (شکل ۱). این استان با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان مأخذ (نگارنده، ۱۴۰۰)

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان (مأخذ: هواشناسی کشور)

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	سال تاسیس (شمسی)
۱	زاهدان	سینوپتیک اصلی	۲۹ ۲۸	۶۰ ۵۳	۱۳۷۰	۱۳۲۷
۲	زابل	سینوپتیک اصلی	۳۱ ۰۲	۶۱ ۲۹	۴۸۹	۱۳۴۲
۳	خاش	سینوپتیک اصلی	۲۸ ۱۳	۶۱ ۱۲	۱۳۹۴	۱۳۶۴
۴	سراوان	سینوپتیک اصلی	۲۷ ۲۰	۶۲ ۲۰	۱۱۹۵	۱۳۶۴
۵	ایرانشهر	سینوپتیک اصلی	۲۷ ۱۲	۶۰ ۴۲	۵۹۱	۱۳۴۳
۶	چابهار	سینوپتیک اصلی	۲۵ ۱۷	۶۰ ۳۷	۸	۱۳۴۴

دوره دوم این داده‌ها مربوط به آینده است. این داده‌ها بر اساس سناریوهای اقلیمی تهیه شده‌اند. در این مطالعه از دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شده است که به ترتیب می‌تواند بیانگر سناریوی خوشبینانه و بدبینانه باشد (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ ذوالفقاری، ۱۳۹۷؛ زین‌العابدینی و همکاران، ۱۳۹۵).

دسته دوم داده‌ها شامل برون‌داد مدل‌های گردش عمومی می‌باشند. در این مطالعه از داده‌های مدل HadCM استفاده شده است. مشخصات این مدل در جدول ۲ آورده شده است. این دسته از داده‌ها شامل دو دوره آماری می‌باشند. دوره اول را دوره تاریخی عنوان می‌گردد (شمسی پور، ۱۳۹۲) این دوره منطبق با دوره داده‌های مشاهداتی است.

جدول ۲- ویژگی مدل گردش کلی HadCM2 (ماخذ: شمسی پور، ۱۳۹۲)

مدل	قدرت تفکیک	گروه تولید کننده	تفکیک فضای سطحی	تعداد تراز
HadCM2	۳.۷۵*۲.۵	مرکز هدلی، بریتانیا	۲۷۸*۴۱۷	در جو ۱۹ تراز و در اقیانوس ۲۰ تراز

$$\text{RMSE (۳) رابطه} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=1}^M e(n)^2}$$

$$\text{MSE (۴) رابطه} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_I - O_I)^2$$

$$\text{R}^2 \text{ (5) رابطه} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{I=1}^N (S_I - S)(O_I - O)}{\sigma_S \times \sigma_O}$$

$$\text{NSE (6) رابطه} = 1 - \frac{\sum_{I=1}^N (S_I - O_I)^2}{\sum_{I=1}^N (O_I - O_I)^2}$$

پس از اطمینان از عملکرد مناسب مدل، با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) اقدام به محاسبه خشکسالی گردید. برای اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع (نادی و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدیان و همکاران، ۱۳۸۹؛ فتاحی و عباسی جندانی، ۱۳۹۳) مراجعه نماید. SPI شاخص خشکسالی بر پایه این حقیقت که کسری بارش تأثیرات متفاوتی بر آب‌های زیرزمینی، ذخیره منابع، رطوبت خاک، پوشش برف و جریان جویبار دارد استوار است. شاخص بارش استاندارد شده کسری بارش را برای مقیاس‌های زمانی چند گانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۹۶ ماهه) محاسبه می‌کند. این مقیاس‌های زمانی تأثیر خشکسالی را بر موجود بودن منابع آبی متفاوت را منعکس می‌کند. شرایط رطوبتی خاک دو برابر ناهنجاری‌های بارش در یک مقیاس به نسبت کوتاه واکنش نشان می‌دهند، در حالی که آب‌های زیر زمینی، جریان رودخانه و منابع ذخیره در یک دوره طولانی تر به ناهنجاری‌های بارش واکنش می‌دهند. یک سیستم طبقه‌بندی برای تعریف شدت‌های خشکسالی منتج از شاخص بارش

به منظور استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش کلی نیازمند استفاده از ابزارهای ریزگردانی می‌باشد (براتی و همکاران، ۱۳۹۰؛ هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از روش‌های ریزگردانی که از آن استفاده می‌شود مدل LARS-WG است (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲) که LARS-WG یک مولد داده‌های هواشناسی است (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱). نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. از آنجا که مهمترین ورودی این مدل‌ها براساس سناریوهای انتشار و اقتصادی اجتماعی در دوره‌های آتی می‌باشد، از این رو سناریوهای مختلف انتشار که در برگزیده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد انتخاب می‌شود (سمنوف و استارتویچ، ۲۰۱۰). برای انتخاب سناریو از خانواده RCP که براساس میزان واداشت تابشی نام گذاری شده اند که شامل چهار سناریوی مختلف می‌شود عبارتند از: RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5. برای انجام کار از دو سناریو خوشبینانه (دربگیرنده کمترین میزان واداشت تابشی) (زو و همکاران، ۲۰۱۲) و بدبینانه (روند به واداشت تابشی به میزان ۵/۸ وات بر متر مربع در سال و عدم پایداری به کاهش گازهای گلخانه‌ای) (فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۸) انتخاب شد و مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین به منظور بررسی عملکرد مدل LARS-WG از معیارهای خطایابی شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، ضریب ناش-سانکلیف (NSE) و همبستگی استفاده شده است. که روابط مربوط آن‌ها در ادامه آورده شده است.

استاندارد شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار شاخص بارش استاندارد شده طبقه بندی رطوبت.

جاری را تعیین کند.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که مدل از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از خروجی مدل میزان بارش در دوره آبی در سطح منطقه مورد مطالعه نزدیک به مقادیر دوره پایه برآورد شده است؛ به طوری که همبستگی بین متغیرهای پایه و شبیه‌سازی شده حدود ۰/۹ می‌باشد. ارزیابی صحت مدل بر ایستگاه‌های مورد مطالعه حاکی از آن بود که مدل در ایستگاه‌ها به خوبی توانسته پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما را شبیه‌سازی نماید و تنها در شبیه‌سازی بارش نارسایی کمی داشته است. در نهایت توانایی این مدل ریز مقیاس نمایی در پیش‌بینی دما بهتر از بارش است که نیز تأییدی بر مطالعات پژوهش‌گران (خسروی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مظفری و همکاران، ۱۳۹۴) است.

جدول ۳- مقادیر SPI (ماخذ: رضی و همکاران، ۱۳۸۲)

شاخص SPI	توصیف وضعیت طبقاتی
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
۱- تا ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۱/۵- تا ۱/۹۹	خشکسالی شدید
کمتر از ۲-	خشکسالی خیلی شدید

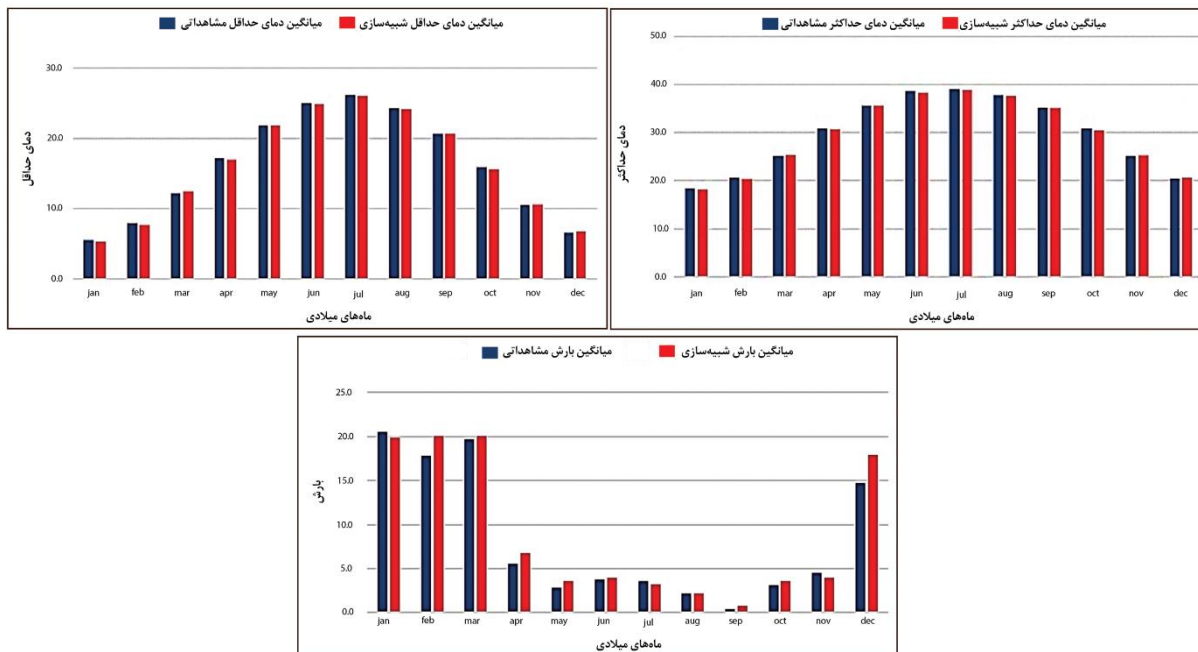
وقوع خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد شده به صورت منفی تداوم یافته و شاخص بارش استاندارد شده ۰/۱- یا کمتر از آن برسد، رخ می‌دهد، حادثه خشکسالی هنگامی که شاخص بارش استاندارد شده مثبت شود خاتمه می‌یابد. بنابراین هر وقوع خشکسالی یک تداوم تعریف شده به وسیله شروع، پایان و شدت آن برای هر ماه که حادثه ادامه داشته، دارد. بزرگی تجمعی خشکسالی هم ممکن است اندازه‌گیری شود، آن بزرگی خشکسالی نامیده می‌شود و آن مجموع مثبت شاخص بارش استاندارد شده برای کل ماه‌ها رخ داد خشکسالی است. این استاندارد شدن به شاخص بارش استاندارد شده اجازه می‌دهد که کم آبی

جدول ۴- نتایج آزمون من-کندال داده‌های مشاهداتی پهنه جنوب شرق ایران (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

متغیر	حداکثر دما	حداقل دما	متوسط دما	بارندگی
Kendall Tau	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۳۶	-۰/۰۹
P-Value	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۳	۰/۴۴
Alpha	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول ۵- ارزیابی داده‌های مدل با استفاده از داده‌های پهنه جنوب شرق ایران (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

متغیر	حداکثر دما	حداقل دما	بارندگی
R ^۲	۰/۹۴	۰/۹	۰/۸۸
NSE	۰/۹	۰/۹۱	۰/۸۵
MSE	۰/۴۲۷	۰/۲۸	۸/۶۸
RMSE	۰/۶۵۳	۰/۵۲۹	۵/۴۹



نمودار ۱- مقایسه متغیرهای اقلیمی مشاهده شده با داده‌های شبیه‌سازی دوره (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

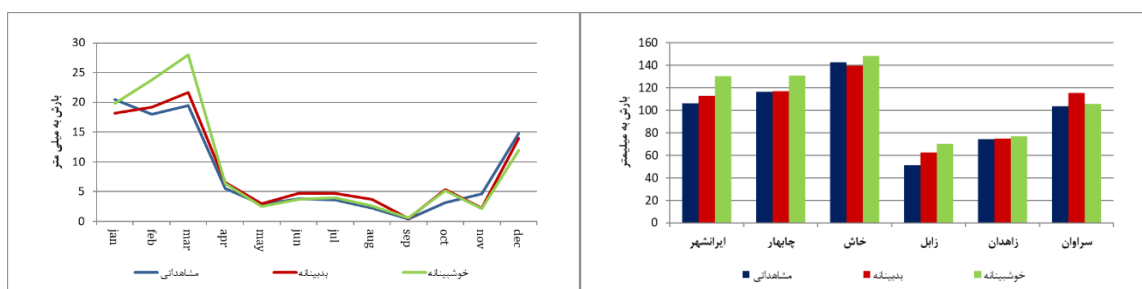
میانگین بارش

پس از اعتبار سنجی مدل مورد استفاده در پژوهش نسبت به اجرای مدل به منظور تولید سری بارش روزانه در پهنه جنوب شرق کشور در طول دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۶۰) اقدام گردید گردید. تغییرات بارش آینده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار هستند. نتایج در شکل (۲) ملاحظه می‌شود. آنچه که از این شکل‌ها متصور است افزایش ناچیز بارش در دوره آتی مبتنی بر سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه است. بیشترین افزایش مربوط به دوره سرد سال به ویژه ماه فوریه و مارس است. با توجه به نزدیکی منطقه مورد مطالعه به آب‌های آزاد و دریای عمان، افزایش بارش در ناحیه جنوب شرقی ایران به سبب افزایش میزان دما و به تبع افزایش میزان تبخیر قابل توجه است. این موضوع قبلاً نیز توسط حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵) نیز بدست آمده است به طوری که آنها اظهار داشته‌اند مقدار بارش طی فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روندی افزایشی دارد. ضمن اینکه بارش بهار ایستگاه‌های مستقر در خشکی نیز روند افزایشی بهار دارند. در حقیقت با گرم شدن هوا، ظرفیت نگهداری آب به ویژه در بخش اقیانوس‌ها و آب‌های آزاد افزایش می‌یابد. با توجه به معادله کلایوس-کلاپرون، هوا به طور کلی می‌تواند حدود ۷ درصد رطوبت بیشتری را برای هر ۱ درجه سلسیوس افزایش دما نگه دارد. به این ترتیب، جهانی

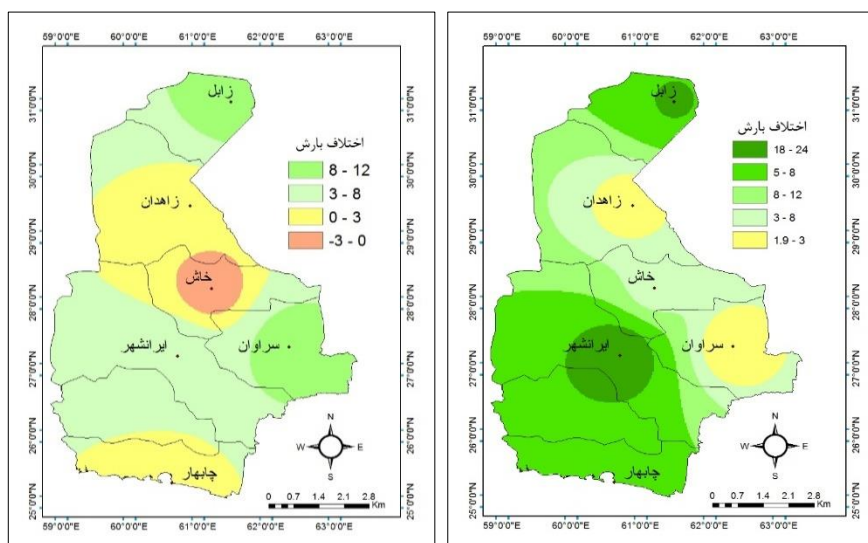
که حدود ۴ درجه سانتیگراد گرمتر از دوران پیش از صنعتی شدن است، حدود ۲۸ درصد بخار آب بیشتری در جو خواهد داشت (IPCC, 2021; Byrne and O’Gorman, 2018). این موضوع برای نواحی جنوب شرقی ایران نیز مستثنی نمی‌باشد چرا که به آب‌های آزاد نزدیک می‌باشند. همانطور که بیان شد افزایش بارش در طول ماه‌های سرد سال مشاهده شده است. با این وجود در طول ماه‌های می تا سپتامبر (معادل ماه‌های خرداد تا اواخر آبان) نیز حاکی از افزایش نه چندان زیاد بارش نسبت به شرایط دوره پایه می‌باشد. این موضوع هشدار است برای مدیریت منابع آب و کاهش خسارات ناشی از افزایش مخاطراتی همچون سیلاب است. در واقع اینگونه از اشکال می‌توان اینگونه نتیجه گرفت اختلاف بارش بین دوره گرم و سرد افزایش می‌یابد به تبع این مورد منجر به افزایش توزیع نایکنواخت بارش می‌شود. ضمناً باید یادآور شد که میزان بارش در قبال افزایش دما چندان جبران کننده کسری میزان بارش نمی‌باشد (Zamani et al, 2018). در برخی از مطالعات نیز به میزان کاهش بارش در طول دوره گرم سال اشاره داشته‌اند (بلوکی و همکاران، ۱۴۰۰؛ حیدری و همکاران، ۱۳۸۸). به منظور نگاه فضایی به میزان تغییرات بارش دوره آتی ناشی از گرمایش جهانی یا به بیانی تغییر اقلیم شکل ۳ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد بیشترین تغییرات در

نیز افزایش خواهد یافت (Christensen et al, 2013). چرا همانطور که بیان شد با گرم شدن آب و هوا، افزایش انتقال بخار آب از اقیانوس به خشکی افزایش می‌یابد زیرا هوای گرم‌تر حاوی بخار آب بیشتری است. تغییرات مربوط به گرمایش در گردش در مقیاس بزرگ بر قدرت و وسعت گردش کلی موسمی تأثیر می‌گذارد (Christensen et al, 2013). در همین راستا سالاری فنودی (۱۴۰۰) با استفاده از داده‌های پایگاه کوردکس نیز به افزایش بارش‌های موسمی اشاره داشته است.

سواحل جنوبی و همچنین جنوب شرقی به مرکزیت شهرهای ایرانشهر، نیک شهر، چابهار و کنارک است. علاوه بر نزدیکی به دریا که معلولی برای افزایش بارش در نظر گرفته شده است. در خطوط بالاتر اشاره به افزایش نسبی بارش تابستانه نیز شد. جنوب شرق ایران یکی از مناطق ویژه در خصوص دریافت بارش‌های تابستانه ناشی از جریان‌های موسمی هندوستان است (افشارمنش و همکاران، ۱۳۹۲؛ صفرزایی و صفرزایی، ۱۳۹۲). باید یادآور شد که مبتنی بر مطالعات مشخص شده است که بارش‌های موسمی



نمودار ۲- مقایسه میانگین بارش ماهانه منطقه دوره پایه و آینده نمودار ۳- مقایسه بارش سالانه ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان دوره پایه و آینده



نقشه ۲- توزیع اختلاف بارش (میلی‌متر) دوره پایه و آتی در پهنه استان سیستان و بلوچستان

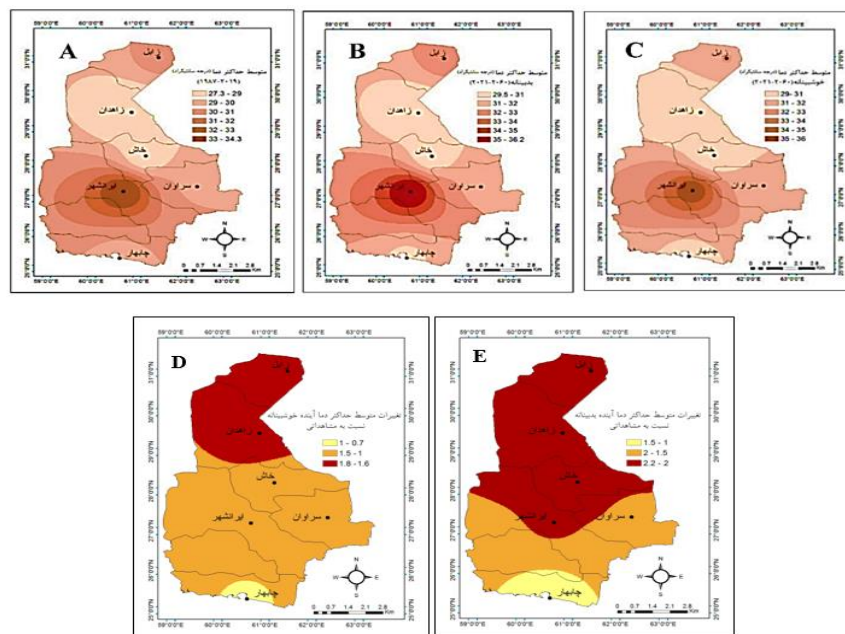
افزایشی است (شکل ۴ و ۵). شکل (۴) دمای متوسط تمام ایستگاه‌های هواشناسی استان را نشان می‌دهد. به وضوح شکل نشان دهنده افزایش دما با هر دو سناریو بدبینانه (RCP8.5) و خوش‌بینانه (RCP4.5) است. علاوه بر این به لحاظ ماهانه این شکل یادآور این موضوع است که بیشترین افزایش دما در طول ماه‌های گرم سال است به ویژه در ماه

میانگین دما

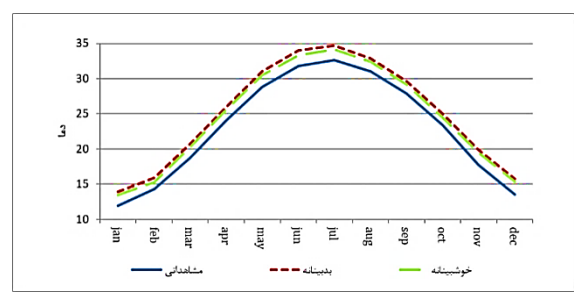
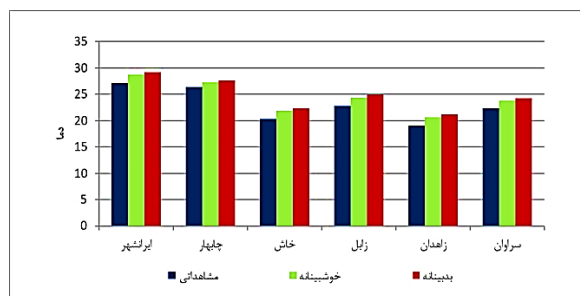
دما یکی از متاثرترین عناصر هواشناسی تحت تأثیر گرمایش جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای است. نتایج برونداد ریزگردانی مدل مورد استفاده نشان می‌دهد که متوسط دمای تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان در دوره مورد مطالعه در مقایسه با دوره آماری پایه دارای روند به

بیشتره نیز نشان داده شده است. در دوره مورد مطالعه تمامی پهنه استان سیستان و بلوچستان افزایش دما بیشینه مشاهده می‌گردد. نتایج این مطالعات با پژوهش فیضی و همکاران، ۱۳۸۹ همراستا می‌باشد. علاوه بر آن در دوره‌های آتی روند دمای کمینه نیز دارای سیر افزایشی می‌باشد. افزایش دمای کمینه از طرفی ممکن استاز فراوانی و شدت یخبندان‌های بکاهد ولی باید به این نکته توجه داشت که ممکن است باعث تغییر خط برف در مناطق مرتفع گردد. این امر در نهایت کاهش ذخایر آبی در استان را همراه داشته باشد. هر چند که شاید مقدارش به فقط کوه‌های تفتان خلاصه شود. باید یادآور شد که کم‌ترین میزان تغییرات مربوط به ایستگاه ساحلی و بیش‌ترین تغییرات مربوط به ایستگاه‌های مستقر بر روی خشکی‌های باشد. این امر اشاره به شدت رژیم قاره‌ای مناطق خشک خواهد شد.

جولای. باید اشاره داشت به این موضوع که ایران و همچنین جنوب شرق ایران در طول فصل تابستان و دوره گرم سال متأثر از سامانه پرفشار جنب حاره است (حجازی زاده، ۱۳۷۴؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۱). بر اساس مطالعات اسمعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) مشخص شده است در این دوره از سال به سبب حاکمیت پرفشار جنب حاره رخداد امواج گرمایی در بیشینه خود است. این در حال است که همچنین و نمرودی و همکاران (۲۰۲۱) مشخص کردند که روند امواج گرمایی در طول دوره ۶۵ ساله کشور در حال افزایش است. افزایش دما و به تبع افزایش امواج گرمایی می‌تواند به سبب افزایش شدت پرفشار جنب حاره نیز قابل توجیح باشد (موحدی و همکاران، ۱۳۹۴). به هر روی به منظور تبیین فضایی موضوع در خصوص تغییرات دما در شکل ۳ نیز تغییرات فضایی دما را در دو متغیر کمینه و



شکل ۳ دمای حداکثر (A): داده‌های مشاهده‌ای؛ B سناریوی RCP8.5 و C: سناریوی RCP2.6؛ D: تغییرات نسبت به دمای پایه و E: تغییرات دمای پایه

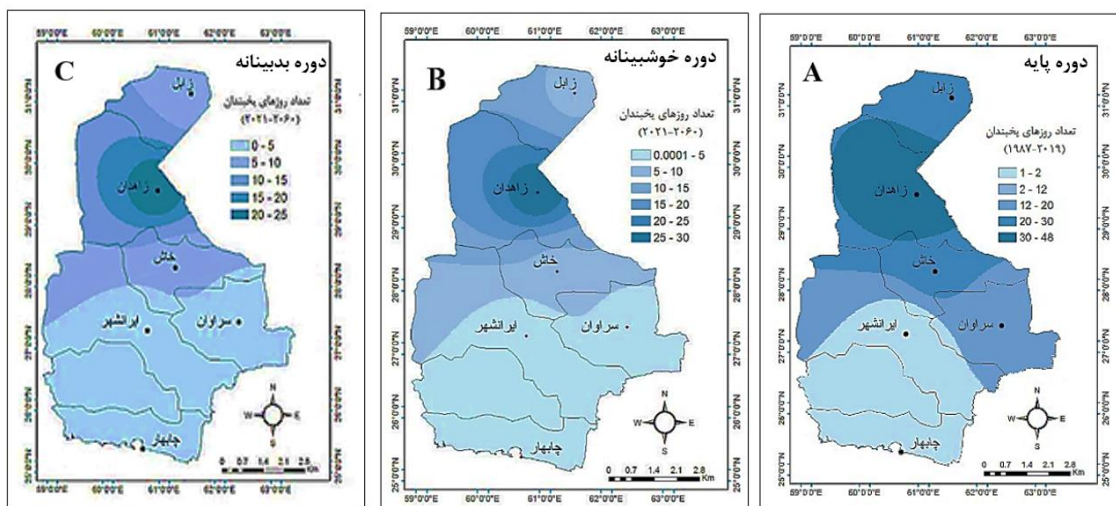


شکل ۴- مقایسه دما ماهانه منطقه مورد مطالعه دوره پایه و آینده شکل ۵- مقایسه دما سالانه ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان دوره پایه و آینده

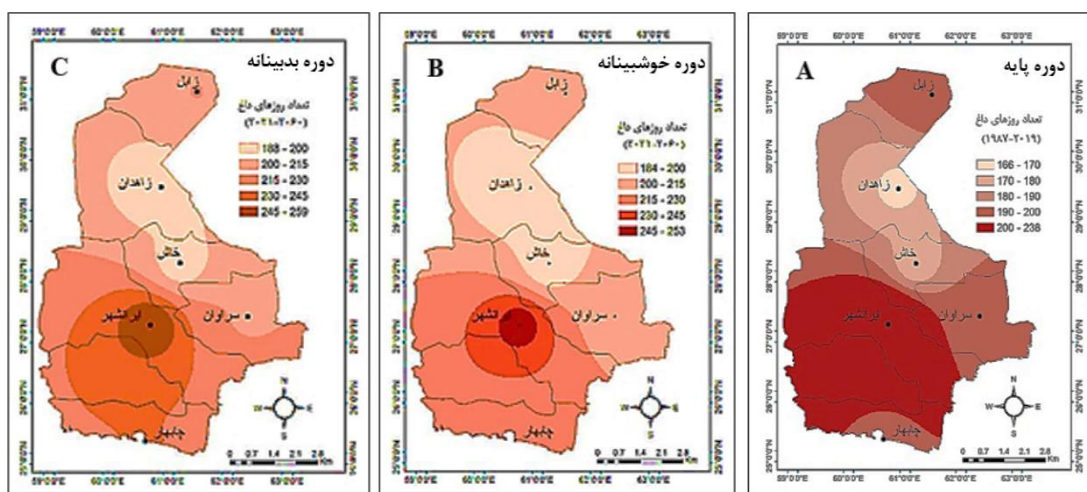
روزهای داغ و یخبندان

یکی از پیامدهای عمده گرمایش جهانی افزایش فرین‌های دمایی است. این فرین‌ها شامل پدیده‌های همچون روزهای داغ و یخبندان می‌باشد. برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو توسط ریزگردانی آنها توسط مدل لارس نشان می‌دهند که بیش‌ترین افزایش دما مربوط به ماه ژوئیه می‌باشد. این موضوع در بالاتر نیز بحث شد. به لحاظ فضایی بیش‌ترین افزایش دما به ایستگاه ایرانشهر تعلق دارد. با توجه به ویژگی‌های مکان این شهرستان تقریباً یکی از نقاط داغ و گرم استان است. این به معنی تشدید پیدا کردن شرایط هوایی و به طرز کل اقلیم است. با توجه به افزایش دماهای کمینه کاهش روزهای یخبندان نیز متصور بود. روند روزهای یخبندان در دوره گذشته (۱۹۸۶-۲۰۲۰) توسط

(محمودی و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد و نتایج اشاره به روند کاهشی معناداری بوده است. به بیانی فراوانی روزهای یخبندان کاسته می‌شود. مطالعه پیش رو نیز مبتنی بر برون‌داد مدل مورد استفاده اشاره به کاهش روزهای یخبندان در آینده دارد. کمترین کاهش روزهای یخبندان متعلق به ایستگاه چابهار و نواحی نزدیک به ساحلاست (مناطق ساحلی هیچ گونه رخداد یخبندانی مشاهده نگردید). این موضوع را می‌توان به سبب ساحلی بودن و رطوبت فراوان آن مرتبط ساخت. نتایج این پژوهش هم راستای نتایج کاظمی‌راد و محمدی، ۱۳۹۴؛ حمیدیان پور و نبی‌زاده، ۱۳۹۵ است که آنها نیز افزایش دما و کاهش روزهای یخبندان را نشان داده‌اند.



شکل ۴- تعداد روزهای یخبندان (A: دوره پایه، B: دوره خوشبینانه و C: دوره بدبینانه)

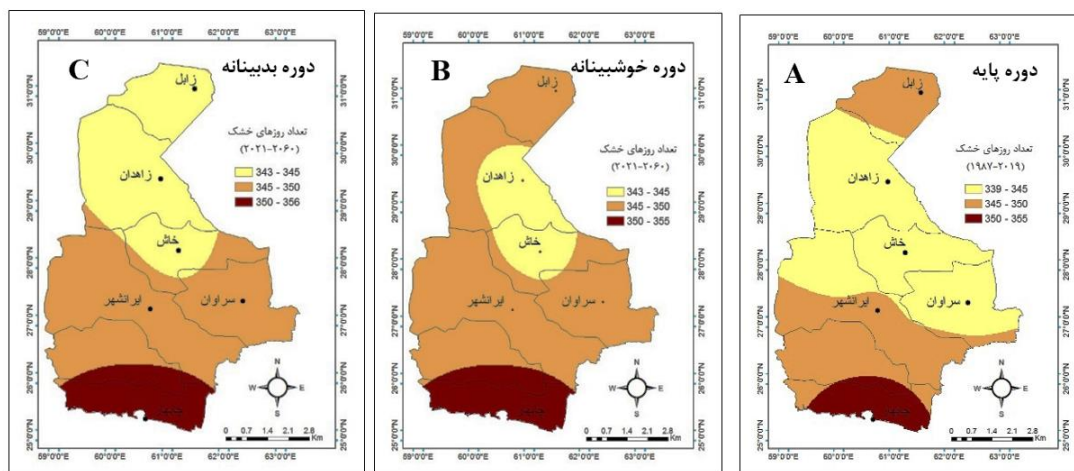


شکل ۵- تعداد روزهای داغ (A: دوره پایه، B: دوره خوشبینانه و C: دوره بدبینانه)

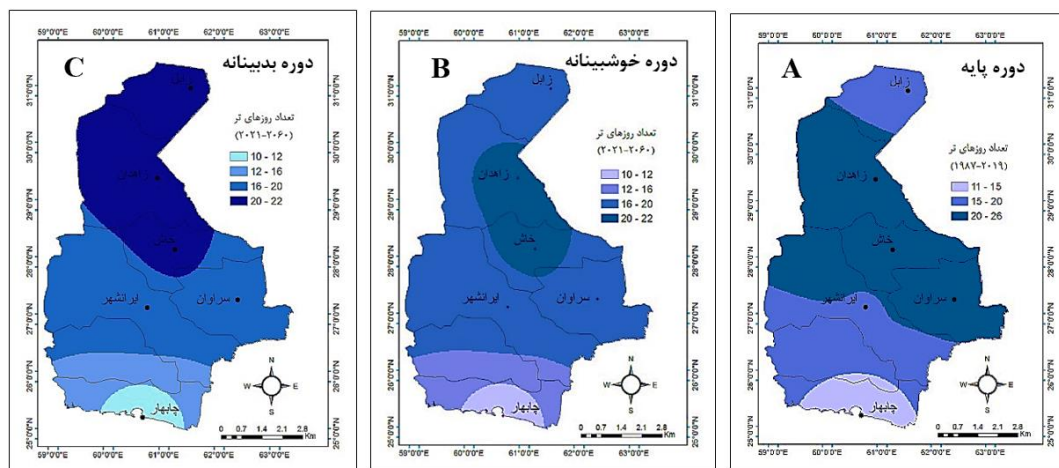
روزهای تر و خشک

روز خشک به روزی گفته می‌شود که مقدار بارش آن کمتر از ۰/۱ میلی‌متر است و همچنین وقتی مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر باشد به آن روز تر اطلاق می‌گردد. شکل (۶) و (۷) به ترتیب تعداد روزهای خشک و تر را نشان می‌دهد. بر این اساس در سال‌های پایه و در دوره‌های آتی با دو سناریوی متفاوت تعداد روزهای خشک در ایستگاه جنوبی به خصوص چابهار بیشتر از سایر ایستگاه‌های دیگر

می‌باشد. مبتنی بر این اشکال احتمال اقلیمی همراه با روزهای خشک بیشتر از روزهای تر است. این موضوع با نتایج صادقی نیا (۱۳۹۱) که در تحقیقی ویژگی‌های مهم مرتبط با دوره‌های تر و خشک کوتاه مدت بخش‌های مختلف ایران را مشخص کرد همراستا است. میزان این کاهش در ایستگاه‌های واقع در جنوب، جنوب شرق و مرکز ایران شدیدتر است.



شکل ۶- تعداد روزهای خشک (A: دوره پایه، B: دوره خوشبینانه و C: دوره بدبینانه)



شکل ۷- تعداد روزهای تر (A: دوره پایه، B: دوره خوشبینانه و C: دوره بدبینانه)

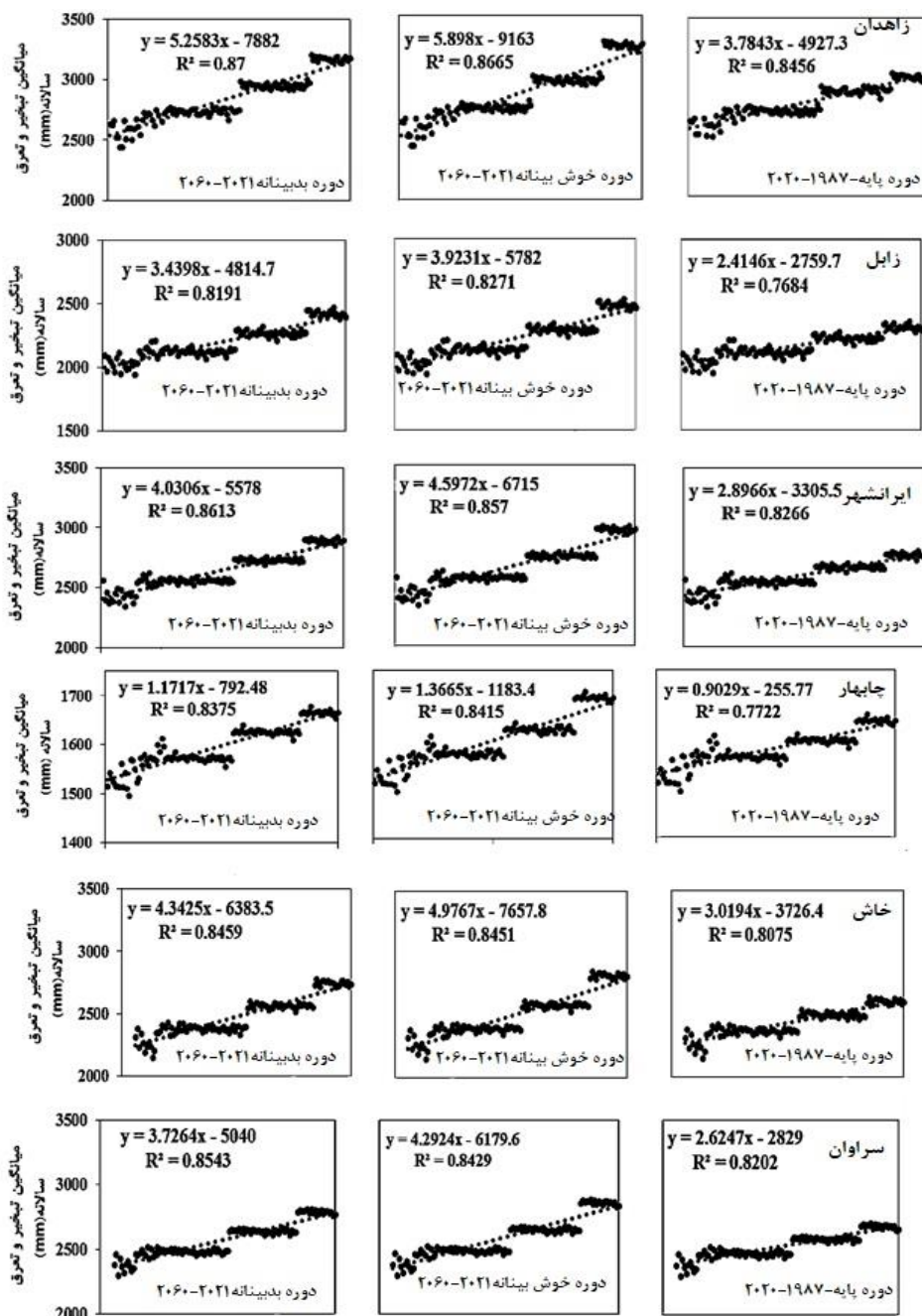
تبخیر و تعرق

همانطور که مشاهده گردید مشخص گردید که تغییرات دما در تمامی ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان در اثر تغییرات اقلیم قابل مشاهده است. دمای شاید یکی از موثرترین مولفه در تغییر دیگر مولفه محسوب می‌شود. به عنوان نمونه

افزایش دما منجر به افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد. در همین راستا در این بخش به تغییرات میزان تبخیر و تعرق پرداخته خواهد شد. با توجه به نمودار ۶ می‌توان دریافت که تبخیر-تعرق روندی افزایشی داشته؛ البته میزان افزایش در سناریو RCP2.6 با کم‌ترین مقدار روبرو است. با

افزایش دما و کاهش مقدار آب قابل دسترس احتمال کشمکش‌های محلی در خصوص آب شود. این امر باعث افزایش استفاده از آب‌های زیرزمینی خواهد شد و در نهایت افت هر چه بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی به همراه خواهد داشت. در نهایت می‌توان گفت به لحاظ فضایی بیش‌ترین تبخیر و تعرق در زابل و کم‌ترین تبخیر و تعرق در ایستگاه زاهدان رخ خواهد داد.

بررسی‌های انجام شده آشکار شد که تغییر اقلیم سبب افزایش تبخیر-تعرق می‌شود. قاعدتاً افزایش تبخیر و تعرق ناشی از افزایش دما پیامدهای خود را نیز به همراه دارد. به طور که این افزایش باعث بالا رفتن تقاضا برای مصرف آب به ویژه در بخش کشاورزی خواهد شد که ممکن است منجر به استرس و تنش‌های گیاهی گردد (ایوبی و رحمانی، ۱۳۹۱) ضمن اینکه با افزایش تقاضای آب و از طرفی

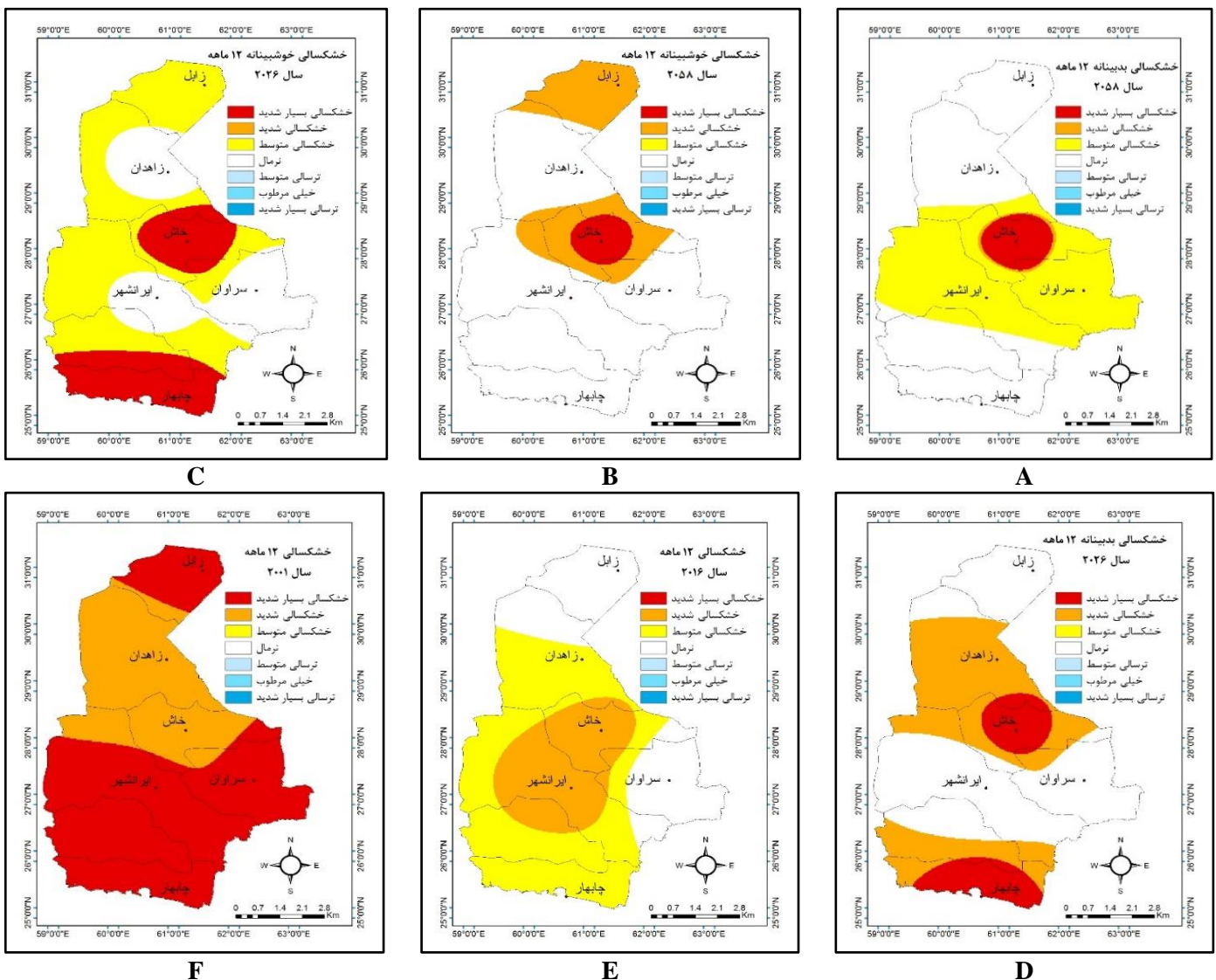


نمودار ۶- روند تبخیر و تعرق براساس سناریو مختلف در پهنه جنوب شرق ایران (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۰)

پدیده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان از فراوانی وقوع زیادی برخوردار است. در دوره‌های آماری با توجه به محاسبه و تعیین شاخص SPI در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌تواند نقشی در سیستم مدیریت ریسک بلایای اقلیمی مفید می‌باشد. محاسبه شاخص SPI از روی خروجی‌های مدل وقوع خشکسالی‌های بسیار شدید، شدید و متوسط را در سال‌های پایه و آینده در بیشتر مناطق استان نشان می‌دهد.

پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

استان سیستان و بلوچستان به عنوان نمادی از مناطق خشک کشور با نوسانات شدید اقلیمی شناخته می‌شود. با استفاده از داده‌های خروجی مدل LARS-WG در دوره پایه و آینده، وضعیت خشکسالی ۶ ایستگاه سینوپتیک زابل، زاهدان، خاش، سراوان، ایرانشهر و چابهار مطالعه گردید. همانطور که در روش مطالعه بیان شد بدین منظور از شاخص SPI استفاده شد. تحلیل خشکسالی‌های استان نشان می‌دهد که



نقشه ۸ پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان سیستان و بلوچستان (A: خشکسالی بدینانه ۱۲ ماهه سال ۲۰۰۸، B:

خشکسالی خوشبینانه ۱۲ ماهه سال ۲۰۲۶، C: خشکسالی بدینانه ۱۲ ماهه سال ۲۰۲۶، D: خشکسالی بدینانه ۱۲ ماهه سال ۲۰۲۶،

E: خشکسالی ۱۲ ماهه سال ۲۰۱۶، F: خشکسالی ۱۲ ماهه سال ۲۰۰۱ ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۰)

نتیجه‌گیری

خشکسالی فرآیندی است که در آن تبخیر آب از سطوح خاکی و آبی افزایش می‌یابد. در این پژوهش خروجی‌های مدل گردش عمومی کلی با دو سناریو به منظور ارزیابی و پیش‌نمایی تغییر اقلیم و خشکسالی در دوره آماری بر روی ۶ ایستگاه استان سیستان و بلوچستان ریزمقیاس‌نمایی شدند. در مجموع می‌توان گفت که رخداد خشکسالی و ویژگی‌های آن از نظر زمانی و مکانی در مناطق مختلف آن با تفاوت‌های همراه می‌باشد. این اختلاف از یک طرف به ماهیت پیچیده بارش و ورود توده‌های مختلف از جهات گوناگون و از طرف دیگر به تنوع محیطی و گستردگی عرض جغرافیایی ایران مرتبط می‌باشد. منطقه شرق ایران نیز به واسطه دوری از منابع رطوبتی و قرار گرفتن در قسمت سایه بارانی ناهمواری‌ها، دوره خشک بیشتری نسبت به دوره مرطوب دارند. مهم‌ترین نتایج اجرای آن به شرح زیر می‌باشند:

- در این تحقیق روند و نوع تغییرات، سالانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد در کلیه ایستگاه‌ها، به طور کلی پهنه جنوب شرق کشور روند افزایشی پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر، کاهش بارش را نشان می‌دهند.
- ارزیابی اثرات پدیده گرمایش جهانی بر رخداد حدی‌های اقلیمی امری کاملاً بایسته است. افزایش دما در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آبی رخ داده است. در دو سناریو RCP2.6 (تعهد کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (در صورت عدم پایبندی به کاهش گازهای گلخانه‌ای) در دوره‌های مورد مطالعه ریزمقیاس گردید. این در حالی است در دوره مطالعاتی سالانه، نواحی هم‌جوار با سواحل جنوبی ایران، کم‌ترین افزایش دما را خواهند داشت، به طوری که میزان این افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیشتر است.
- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد این مدل در پهنه جنوب شرق کشور مورد بررسی و از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی

متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از خروجی مدل میزان بارش در دوره آبی در سطح منطقه مورد مطالعه نزدیک به مقدار دوره پایه برآورد شده است؛ به طوری که همبستگی بین متغیرهای پایه و شبیه‌سازی شده حدود ۰/۹ می‌باشد. توانایی این مدل ریزمقیاس‌نمایی در پیش‌بینی دما بهتر از بارش است

- تحقیقات نشان داده است روند دما حداکثر در دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۲۰ روند افزایشی می‌باشد و در دوره‌های آبی این روند همچنان ادامه پیدا می‌کند. تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار هستند.
- در دوره‌های آینده روند دمای حداقل افزایشی می‌باشد و در نتیجه باعث کاهش برودت هوا و تعدیل آن می‌گردد و از یخبندان‌های شدید کاسته می‌شود.
- در دوره مورد مطالعه، رژیم بارشی به سمت انتهای فصل یعنی زمستان و بهار جابجا خواهد شد. در این زمینه مسئولان به تأثیر بیشتر بارش‌های بهاره روی ایستگاه‌های واقع در خشکی در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در مقیاس محلی بیشتر توجه کنند. با توجه به پراکندگی بارش در استان مشخص می‌گردد الگوهای بارشی در مناطق مختلف پهنه جنوب شرق کشور متفاوت می‌باشد. برخی مناطق مانند سیستان کم‌ترین بارش استان محسوب می‌گردند و برخی دیگر از نقاط از پراکندگی خوبی برخوردار هستند. بنابراین توزیع بارش در استان به ویژه بارش سنگین متأثر از عوامل محلی و هم‌شرایط سینوپتیک می‌باشد. سنگین‌ترین بارش‌ها در استان در ناحیه جنوب استان رخ می‌دهد و متأثر از رطوبت دریا می‌باشند. این نقاط با توجه به این که از نقاط خشک محسوب می‌گردند؛ ولی در صورت فراهم شدن شرایط ریزش بارش، تحت تأثیر رطوبت دریا می‌توانند سنگین‌ترین بارش‌های استان را دریافت کنند. در ارتفاعات مرکزی استان نیز بارش‌های سنگین ثبت شده است.
- بررسی پهنه‌بندی روزهای داغ و فراوانی وقوع پدیده یخبندان نشان از افزایش در تعداد روزهای داغ و کاهش در تعداد روزهای یخبندان در دوره اقلیمی آینده از نتایج

2. Ayoubi, Akhtar and Rahmani, Fatemeh, 2012, Study of the effect of non-living stress on ZmPIP 1.1 gene expression in 704 zea mays cv corn plant, 3rd Iranian National Conference on Agricultural Biotechnology (Plant, Livestock and Industrial), Mashhad.
3. Afsharmanesh, Hamideh and Khosh Akhlagh, Faramarz and Taghilou, Mehdi, 2013, Synoptic analysis of summer rainfall in southeastern Iran in the lower and middle levels of the atmosphere, the first national conference on meteorology, Kerman.
4. Asakreh, Hussein, Hassan Ali Ghayyur. 2003. Statistical study of the long-term trend of annual rainfall in Isfahan, the third regional conference and the first national conference on climate change. October 29 to November 1. University of Esfahan.
5. Abil, Abolfazl, Tavousi, Taghi, Khosravi, Mahmoud. Analysis of Potential Areas at Risk of Urban Flood Case Study: Zahedan. Geography and Spring Development, No. 54.
6. Asadi Zarch, Mohammad Amin. 1396. Investigating the effect of climate change on the occurrence of drought in Yazd province. Journal of Desert Management. Spring and Summer, Volume 5, Number 9; From page 74 to page 90.
7. Ahmadi, Beheshteh, 2009, Study of the consequences of drought in agriculture, Regional Conference on Water Crisis and Drought, Rasht
8. Arfa Atefeh, Khashei Siouki Abbas, Hamidianpour Mohsen. The effect of climate change on evapotranspiration in hot and humid conditions (Case study: south and southeast of Iran). Rainwater catchment systems. 1399; 8 (4): 37-50.
9. Byrne, M. P., and O'Gorman, P. A. (2018). Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean47 warming. Proc. Natl. Acad. Sci. 115, 4863–4868.

دیگر تحلیل داده‌ها در دوره آینده بوده. در نوار ساحلی در جنوب استان سیستان و بلوچستان مناطق عاری از یخبندان وجود دارند و بررسی توزیع مکانی یخبندان در استان نشان می‌دهد مناطق شمالی در زاهدان، خاش تعداد روزهای یخبندان بیشتر از جنوب استان می‌باشد.

- نتایج نشان‌گر این است با تغییر اقلیم تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد.
 - روند میانگین بارش و دمای منطقه در قالب نمودار آمبروترمیک حاکی از فزونی دما نسبت به بارش در ۱۱ ماه از سال است. در چنین شرایطی خشکی و خشکسالی در کاهش پوشش گیاهی و افزایش تبعات خشکسالی مانند تبخیر نقش دارد.
 - خشکسالی یکی از فاجعه‌های اقلیمی است که به دنبال کمبود بارندگی، رطوبت و افزایش دما اتفاق می‌افتد و از مخاطراتی است که در دهه‌های گذشته ایران را با مشکلات جدی زیادی مواجه کرده است. نقشه‌هایی که ترسیم شده است سال‌هایی را نشان می‌دهد که حکمرانی پدیده خشکسالی بیشتر بوده و مطالعات نشان داده در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ خشکسالی بسیار شدید و شدید در جنوب استان و سپس در مرکز استان دیده می‌شود و در سال‌های آتی در هر دو سناریو خوشبینانه و بدبینانه خشکسالی بسیار شدید که می‌تواند ناشی از افزایش گرما باشد، رخ دهد.
- از طرف دیگر با عنایت به روند کاهشی بارش منطقه می‌توان انتظار رخداد خشکسالی‌های با شدت و مدت بیشتری را داشت. از این رو با توجه روند مثبت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف پهنه جنوب شرق کشور برای کاهش اثرات این مخاطره اقلیمی نیازمند اقدامات مدیریتی فوری در پهنه جنوب شرق کشور هستیم.

منابع

1. Abili, Maryam, 2012, The role of migration phenomenon in the security of Sistan and Baluchestan province, National Conference of Border Cities and Security; Challenges and approaches, Zahedan.

- Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
16. Meshkavati, Kurd Jazi, Babaian; Amir Hussein, Mohammad, Iman; 2010, Investigation and evaluation of Lars model in simulation of meteorological data of Golestan province in the period (1993-2007) AD, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Volume 16, Number 19, Tehran, pp. 81-96.
 17. Mohammadian, Prima, Khanjani, Sona, Zare, Mohammad Reza, 2013. Analysis of short-term showers of the previous station in Sistan and Baluchestan province using Bell model. *Seventh National Congress of Civil Engineering*.
 18. Mahmoudi, Peyman, Khosravi, Mahmoud, Masoudian, Seyed Abolfazl, Alijani, Behlool. (1394). Investigating the trend of frequency changes on days associated with pervasive and semi-pervasive glaciers in Iran. *Scientific Journal of Geography and Planning*, 19 (54), 303-327.
 19. Dracup, J.A., Lee, K.S. and Paulson, E.G. 1980. On the Definition of drought. *Water Resources*, 16(2), 297-302 pp. 17 Davarpanah, Gholamreza. 1383. Effects of floods and droughts and providing solutions to deal with them. *Journal of Water and Wastewater*. Spring, Volume 15, Number 1 (Serial 49); From page 73 to page 76.
 20. Ekrami, Mohammad, Ihtasasi, Mohammad Reza, Malekinejad, Hussein. Effects and consequences of climatic drought on time delay and change of irrigation regime of canals and springs (Case study: Yazd-Ardakan plain). *Iranian Journal of Water Resources Research*. Autumn, Volume 9, Number 2.
 21. Friends, Reza. 1394. An Analysis of Droughts in Iran in the Last Half Century. *Climatological Research*, 2015 (23), 1-18.
 22. Fatemi Nia, Fakhri Sadat, Hosseini, Seyed Mohammad, Kashki, Abdolreza. (2014).
 10. Bardi, Sheikh Vahed, Mohammadi, Mojtaba, Moradipour Shahin, 2010. Drought zoning in Sistan and Baluchestan province using standard rainfall index. *Sixth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran*.
 11. Bahak, Batool. 2013. Investigation of the possibility of climate change in Kerman province by Man-Kendal method (Case study of Kerman station). *Geographical Quarterly of the Land*, Year 10, Number 39: 83_65
 12. Blokhi, Heda and Fazeli, Mehdi, Sharifzadeh, Mehdi, 1400, Predicting the effects of climate change on Sistan and Baluchestan province with emphasis on precipitation and temperature variables, the *Second International Conference and the Fifth National Conference on Natural Resources and Environment Protection*, Ardabil.
 13. Barati, Gholamreza and Massah Boani, Alireza and Heratian Arab, Ahmad, 2011, Statistical microdistraction of climate change assessment tools at regional and local scale, *4th Iranian Water Resources Management Conference*, Tehran.
 14. Beyk Mohammadi, Hassan Nouri, Seyed Hedayatullah and Bazrafshan, Javad. 1384. The effects of the droughts of 1998-83 on the rural economy of Sistan and the strategies to deal with it. *Journal of Geography and Development*. Page 71_53.
 15. Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie and T. Zhou, 2013: Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K.

- Change in Mashhad during the Last 65 Years with Emphasis on Health, Agriculture, Food Security and Water Resources, First International Conference on Climate Change, Tehran
30. Hoshyar, Mahmoud, Sobhani, Behrooz, Hosseini, Seyed Saad. 2017. Perspective of changes in maximum temperatures in Urmia using statistical microdistribution of the output of Model 2 CanESM Journal of Geography and Planning. Volume 22, Number 63; From page 305 to page 325.
 31. Ibrahimzadeh, Isa. 1998. Land use planning and environmental planning in southeastern Iran. Tehran: Information Institute.
 32. IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis, the Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report.
 33. Ismail Nejad, Morteza, Khosravi, Mahmoud, Alijani, Behloul, Masoudian, Seyed Abolfazl. (1392). Identification of Iranian heat waves. Journal of Geography and Development, 11 (33), 39-54.
 34. Jamei, c. And Sari Sarraf, b. 2003. Drought Analysis and Estimation in Western Iran. Journal of Geographical Research, Volume 18, Number 4, Serial Number 71, Pages 173-151.
 35. Jadgal, Anvar, Miri, Gholamreza, 2016, The study of the impact of drought on the migration process of villagers (Case study: Chabahar city), 11th National Congress of Pioneers of Progress, Tehran.
 36. Jahanbakhsh Asl, Saeed, Sari Sarraf, Behrooz, Khorshidoost, Ali Mohammad, Rostamzadeh, Hashem. Spatial analysis of drought and wetland in order to identify the sensitivity of Sarab plain moisture fluctuation using MFI index and GIS models. Journal of Geography and Planning. Fall, Volume 15, Number 33; From page 105 to page 130.
 37. Janparvar, Mohsen, Salehabadi, Reyhaneh, Zargari, Motahara. Consequences of the migration crisis due to short-term droughts Investigation of the spatio-temporal range of subtropical hypertension in the Northern Hemisphere. Geography and Environmental Planning, 26 (3), 206-224.
 23. Faizi, Vahid, Farajzadeh, Manouchehr, Nowruzi, Rabab, 2010, Climate change study in Sistan and Baluchestan province by Man-Kendall method, 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan.
 24. Fattahi, Soghari and Abbasi Jundani, Shahrbanoo, 2014, Drought study with SPI index and its comparison on annual and monthly scale in Mashhad synoptic station, the second national desert conference with the approach of dry and desert management, Semnan.
 25. Gol Mohammadi, Maryam, Massah Bawani, Alireza. 1390. Investigation of changes in the severity and return period of drought in Qarasu Basin in future periods under the influence of climate change. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). June and July, Volume 25, Number 2, from page 315 to page 326.
 26. Golestani, Massoud and Mortazavizadeh, Fatemeh Sadat, 2009, Study of the effects of drought on agriculture, rangelands and livestock affairs, Regional Conference on Water Crisis and Drought, Rasht.
 27. Keshavarz, Marzieh, Karami, Ezatullah, Lahsaeizadeh, Abdul Ali. Factors Affecting Rural Migration Due to Drought: A Case Study in Fars Province. Village and Development in the Sixteenth Year of Spring, No. 1.
 28. Heidari, Majid, Ghiami Shamami, Fereshteh, Mir Masoudi, Seyedeh Shaghayegh, 2009, Meteorological (Climatic) Drought Monitoring in Sistan and Baluchestan Province According to Rainfall Data Analysis, Second National Conference on Drought Impacts and Management Strategies, Isfahan.
 29. Hamidianpour, Mohsen and Nabizadeh, Seyed Ali Akbar, 2016, Detecting Climate

- National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Gorgan.
45. Moradi, Parisa, Pahlavan Roy, Ahmad, Tahmasebi, Abolfazl, 2013. Drought analysis in Sistan and Baluchestan province. National Conference on Natural Resources Management.
46. Mohammadian, Azadeh, Koochi, Mansoureh, Adineh Beigi Arman, Rasouli, Javad, Bazrafshan, Bahareh. Comparison of drought monitoring using SPI, DI and PNI indices and their zoning (Case study: North Khorasan province). Soil and water conservation research (agricultural sciences and natural resources). Volume 17, Number 1; From page 177 to page 184.
47. Mohsen Hamidianpour, Mohammad Baqideh, Mohsen Abbasnia
48. Evaluation of temperature and precipitation changes in southeastern Iran using microscale output of different models of general atmospheric circulation in the period (2016) Natural Geography Research. 48 107-123.
49. Masoom Poursamakoush, Jafar, Miri, Morteza, Pourkamar, Fatemeh. Evaluation of CMIP5 climate model data against Iranian observational data. Iranian Journal of Geophysics, Eleventh Year No. 4 (36, 40-53).
50. Nadi Mehdi, Sheikh Soghanlu Saeed. Comparison of SPI and SPI_{mod} indices in drought monitoring of some climatic samples of Iran. Watershed Management Research Journal. 2019; 11 (21): 108-118.
51. Nodeh Farahani, Mohammad Ali, Rasekhi, Anna, Permas, Behnam, Keshvari, Abdul Rahman (2017). Investigation of the effects of climate change on temperature, precipitation and droughts of the future period of Shadegan basin. Iranian Water Resources Research, 14 (3), 125-139.
52. Namroodi. Maryam, Hamidianpour .Mohsen. Poodineh. Mohammadreza (2021). Spatio-temporal analysis of changes in heat and cold waves across Iran over the in Sistan and Baluchestan province. Journal of Geography, Volume 15 (New Volume), No. 52; From page 183 to page 199.
38. Karimi, Mustafa, Kaki Saifullah, Rafati Somayeh. Climatic conditions and hazards of Iran's future in climate research. Spatial analysis of environmental hazards. ۲۰۱۸; 5 (3): 1-22. Karami, Ezzatullah. 1395. Climate Change, Drought and Poverty in Iran: A Look to the Future. Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources.
39. Kiani, Akbar, Fazelnia, Gharib, Rezaei, Baitullah. (2011). Investigation and prioritization of natural environment hazards in Zabol. Geography and Environmental Studies, 1 (1), 98-111.
40. Kazemi Rad, Laden and Mohammadi, Hossein, 2015, Evaluation of the appropriate model of general atmospheric circulation for predicting climate change in Guilan province.
41. Khosh Akhlagh, Faramarz .1998. The study of the comprehensive droughts of Iran using the synoptic analysis, the Ethological Department of the Economic Sciences, the Faculty of Humanities, Tabriz University, Iran.
42. Khan Mohammadi, Majid and Hosseini Amini, Hassan, 2018, Study of drought and wet season hazards in Rudak catchment to improve agricultural productivity in the region, International Conference on Climate Change, Consequences, Adaptation and Adjustment, Tehran.
43. Mohsenpour, Rabab, Zibaei, Mansour. Investigation of the consequences of drought at the farm level: A case study of Marvdasht region. Journal of Water and Soil Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources). Summer, Volume 14, Number 52; From page 49 to page 62.
44. Malekinejad, Hossein and Karimi, Maryam, 2009, Study of drought severity and frequency and its temporal adaptation in the northern and southern half of Iran, Fifth

- Mohammad Mehdi. Evaluating the Impact of Climate Change Phenomenon on Dry Period Analysis. Rainwater catchment systems. ۱۳۹۷; 6 (1): 21-36.
60. Salari Fanoodi, Mohammad Reza (1400). Foresight of changes in Indian summer monsoon rainfall in southeastern Iran. Doctoral dissertation of Sistan and Baluchestan University, Faculty of Geography and Environmental Planning, under the guidance of Dr. Khosravi and Dr. Taghi Tavousi and the advice of Dr. Mohsen Hamidianpour.
 61. Safarzaei, Nematollah and Safarzaei, Abdullah, 2013, Synoptic analysis of summer rainfall in southeastern Iran Case study: Iranshahr city, First National Meteorological Conference, Kerman
 62. Qalahari, Fallah, Yousefi, Gholamabbas, Hosseinzadeh, Hossein, Ahmad, Ali Moradi, Mohammad Reza, Reyhani, Elias. 1398. Climate change assessment of Bojnourd station during the period 2016 to 2050 using LARS-WG and SDSM microscale models. *Echo Hydrology*.
 63. Qureshi, Seyed Kazem and Rahimi Pardanjani, Iraj and Taheri, Mohammad, 2014, Environmental Impacts of Climate Change, The First National Conference on Environmental Pollution with a focus on clean land, Ardabil.
 64. Racsco, P. Szeidl, L. Semenov, M, 1991, A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models. *Ecol Model*, 57:27-41
 65. Sajjad Najafi, Mohammad. 2020. Drought monitoring and forecasting using drought indicators. Master Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, Faculty of Engineering.
 66. Sobhani, Behrooz, Salahi, Mehdi, Pourasghar, Farnaz. (2014). Investigation and application of standardized precipitation drought evapotranspiration index (SPETI) Case study: Tabriz Meteorological Station). *Climatological Research*, (۱۹), ۳۸-۲۳
 - statistical period 1966-2018. *Arabian Journal of Geosciences* volume 14, Article number: 857
 53. Pirani, Mohammad, Danesh, Mahsa, Golkar, Saeedeh, Sandgol, Mohsen, 1397. Drought and its consequences in Sistan region. National Conference on Sustainable Development; Approach to the history, culture and civilization of Sistan Dar al-Walaya
 54. Pouraghabali, Milad, Shams, Ali, Qidi, Ahmad. Assessing the consequences of drought and their impact on the migration intention of rural youth in Hamadan. *Journal of Village and Development*. Autumn, Volume 23, Number 3 (91); From page 51 to page 77
 55. Pour Mahmoud, Javad. 1400. Provide a framework for drought risk analysis and management in the system of agricultural water delivery and distribution. Master Thesis. University of Tehran, Abu Reihan Campus - Department of Irrigation and Drainage Engineering.
 56. Ranjbar Shahraki, Nasrin, 2016. Predicting meteorological drought using normal percentage, standardized rainfall, effective drought and artificial intelligence; (Case study: Sistan and Baluchestan province). Master Thesis. Zabol University, Faculty of Water and Soil.
 57. Rudari, Artemis, 2016. Investigating the effect of climate change on drought indicators in Helmand basin of Afghanistan and its relationship with Sistan plain. Master Thesis. Zabol University, Faculty of Water Science Engineering.
 58. Razi'i, Tayyib. Adorned work knowledge, covenant. Akhtar, Roh Angiz, Saghafian, Bahram. 1386. Investigation of meteorological (climatic) droughts in Sistan and Baluchestan province using SPI index and Markov chain model. *Iranian Journal of Water Resources Research*. third year. No. 1. Page 25_5
 59. Rezazadeh Mohammad Soheil, Bakhtiari Bahram, Abbaspour Karim, Ahmadi

75. Smith, K. (2009). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203884805>
76. Sadeghi Nia, Alireza .1391. Study and comparison of wet and dry periods in different climatic parts of Iran. *Journal of Natural Geography*. Winter, Volume 5, Number 18; From page 81 to page 91.
77. Semenov, M.A. & Barrow, E.M .2002, "LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies", User Manual, Version, 3.0: 28.
78. Treasury, Lily, Zabol Abbasi, Fatemeh, Kandahari, Shahrzad, Koohi, Mansoura, Malbousi Olapido, E.O., 1985. A Comparative Performance Analysis of Three Meteorological Drought, *Journal of Climatology*, Vol 5, PP: 655-664
79. Writing, Hossein, Ajdari Moghadam, Mehdi, Armesh, Mohsen. Application of artificial neural network in simulation and flood prediction in Sarbaz catchment. *Journal of Geography and Development*. Summer, Volume 11; Serial number 31; From page 15 to page 28.
80. Young, Khadijeh, 2016. Spatial analysis of short-term and long-term droughts in Sistan and Baluchestan region. Ninth Congress of the Geopolitical Association of Iran and the first conference of the Association of Geography and Border Planning of Iran.
81. Yadollahi, Abbas Ali, 2014, Causes of Drought in recent years in Iran, the first National Conference on Environment, Isfahan.
82. Yasin Zamani, Seyed Arman Hashemi Monfared, Mohsen Hamidianpour, Mehdi Ajdari Moghadam
83. The Changes in Sectors Demanding Water Resources on the Basis of Climate Change and Uncertainty(2019) *International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*. 11 15-31
84. 69) Yazdanpanah, Hojjatollah and Hassanzadeh, Roghayeh, 2009, Statistical analysis of wet and dry periods in ten
67. Swan, j.B. Eash.N, S and Jordaha.J.L.1994.Long-term tillage effects soil quality. *Soil and Tillage Res*32:313-324.
68. Sharareh. Prospects for the drought situation in Iran over the next thirty years. *Journal of Geography and Regional Development*. Spring and Summer, Volume 7, Number 12; From page 83 to page 98.
69. Sari Sarraf, Behrooz, Mahmoudi, Saeed, Zanganeh, Saeed, Pashaei, Zahra. (2014). Wetland and Drought Monitoring and Prediction of Tabriz Using CLIMGEN Model and SPI Hydrogeomorphology Index, ۲(۲), ۷۸-۶۱
70. Shamsipoor, Ali Akbar, ۲۰۱۳. *Climatic Modeling Theory and Method*. Tehran, Institute of Printing and Publishing, University of Tehran.
71. Salari Fenoodi, Mohammad Reza and Khosravi, Mahmoud and Tavousi, Taghi and Hamidianpour, Mohsen, 1398, Comparison and evaluation of accuracy of CMIP5 model data with observational data and NCEP case study: Southeastern Iran, Sixth Regional Conference on Climate Change ,Tehran.
72. Shokouhi, Elham Sadat and Namdari Gharghani, Elnaz, ۱۳۹۷, Study of the consequences of drought and ways to reduce its effects, Sixth Scientific Research Congress on Development and Promotion of Agricultural Sciences and Natural Resources in Iran, Tehran.
73. Shahnavaaz, Yaser, Hassani, Mehdi, Malekian, Arash. ۱۹۹۱. Meteorological drought monitoring using some drought indicators in Sistan and Baluchestan province. ۷th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran.
74. Sadeghi Nia, Alireza. ۱۳۹۱. Study and comparison of wet and dry periods in different climatic parts of Iran. *Journal of Natural Geography*. Winter, Volume ۵, Number ۱۸; From page ۸۱ to page ۹۱

90. Zein Al-Abedini, Maryam and Hesami Kermani, Masoud Reza, 2016, Investigating the effect of climate change under RCP scenarios of the study area: Mazandaran province, the first national conference on key topics in civil engineering, architecture and urban planning in Iran, Gorgan.
91. Mofidi, Abbas; Zarrin, Azar; 2012 Investigation of the nature, structure and temporal variables of the large-scale summer atmosphere on Genoa-West Asia. *Journal of Climatological Research* No. 11, pp. 15-40
- synoptic stations from Isfahan province with the help of Markov chain, 10th seminar on irrigation and evaporation reduction, Kerman
85. 70) Yousefi, Nusratullah, Hojam, Sohrab and Irannejad, Parviz. 2010. Estimation of Homogeneity and Heterogeneity of Data Using Markov Chain and Sequence Test (Case Study - Mehrabad Station). *Journal of Agriculture and Natural Resources*. No. 13: 89-98.
86. Zolfaghari Hassan, Masoompour Samakoush Jafar, Chahvari Shabnam. Estimation of Growth Degrees-Days in Northwest Iran Based on Climate Change Models. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. 1397; 18 (49): 221-240.
87. Zolfaghari, Morteza and Fattahi, Mohammad, 2011, The effect of climate change and recent droughts on the reduction of groundwater resources in the central plain of Arak, the first national conference on meteorology and agricultural water management, Karaj.
88. Zare Abyaneh, Hamid, Sabzi Parvar, Ali Akbar, Maroufi, Safar, Qayami, Fereshteh, Mir Masoudi, Seyedeh Shaghayegh, Kazemi, Azadeh. (2014). Analysis and monitoring of meteorological drought in Sistan and Baluchestan region. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17 (1), 49-61.
89. Zandifar, Samira, Ebrahimi Khosfi, Zohreh, Khosroshahi, Mohammad, Naimi, Maryam. Analysis of the effect of climatic parameters and meteorological droughts on internal dust events (Case study: Qazvin city). *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*. Autumn, Volume 24, Number 3; From page 239 to page 256.