



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال سوم / شماره مسلسل یازدهم / پاییز ۱۴۰۱ / صفحات: ۶۵-۷۸

DOI: [10.30488/CCR.2022.356661.1088](https://doi.org/10.30488/CCR.2022.356661.1088)

پیش‌بینی و تحلیل بارش‌های محتمل سنگین در استان خوزستان با استفاده از مدل‌های HADCM3 و SDSM

صادق کریمی^{۱*}، حسین غضنفرپور^۲، رضا پورموسی^۳ و مهرسا جهانی بابادی^۴

^۱دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

^۲دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

^۳استادیار آمار، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

^۴کارشناس ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۵

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی بارش و برآورد نزولات جوی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در حوزه مدیریت منابع آبی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین در این پژوهش، کاربرد مدل SDSM در برآورد بارش مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز، آبادان و دزفول که دارای آمار اقلیمی ۴۱ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۱) و ۴۵ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) میلادی بودند، انتخاب گردید. بازه زمانی پیش‌بینی برای دوره آینده (سناریوهای اقلیمی) نیز ۳۰ ساله و بین سال‌های ۲۰۳۱-۲۰۶۰ می‌باشد. خروجی‌های مدل HadCM3، تحت سناریوهای A2 و B2 و مدل CanECM2، تحت سناریوهای RCP26، RCP45 و RCP85، با به کارگیری مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامتر بارش، ریزمقیاس گردید، همچنین با استفاده از روش‌های آماری و ترسیمی، داده‌های ریزمقیاس‌شده و داده‌های پایه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و سپس واسنجی گردیدند. مدل سازی دوره پایه در داده‌های CanESM2 نسبت به داده‌های HadCM3 با دقت بالاتری انجام شد. نتایج بیانگر آن بود که در سالیان آتی بارش مجموع در هر سه ایستگاه افزایش و میزان بیشینه بارش در هر سه ایستگاه کاهش خواهد یافت. باتوجه به نتایج مدل سازی‌ها به نظر می‌رسد اقلیم زمستانه مرطوب تر و تابستان‌های خشک تر در آینده نزدیک پیکره اقلیم خوزستان را تشکیل خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: بارش سنگین، ریزمقیاس‌نمایی، SDSM، HadCM3، خوزستان.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای طی واکنش‌های متقابل اقلیمی، در نهایت موجب افزایش تبخیر از سطح دریا و به دنبال آن افزایش رطوبت و تغییر بارش در سطح جهان خواهد شد که تحت عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود، بدین ترتیب یکی از اثرات تغییرات اقلیمی تأثیر آن در رژیم بارش می‌باشد. شناخت توزیع زمانی و مکانی بارش و شدت و دوام بارش و عوامل موثر بر آن نه تنها به لحاظ اقلیم‌شناسی حائز اهمیت می‌باشد، بلکه به لحاظ برنامه‌ریزی اقتصادی، زراعی،

هیدرولوژیکی و... از ارزش شایان توجهی برخوردار است. با توجه به آن که بارش یکی از پارامترهای اقلیمی است که در معرض تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی است، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند راهگشای معضلاتی چون سیلاب ناگهانی، خشکسالی‌های زیاد و غیره شود (روشن و همکاران، ۱۳۹۰).

کشور ایران از لحاظ موقعیت جغرافیایی به دلیل تأثیرپذیری از مرکز فشار زیاد جنب حاره‌ای و شرایط آب و هوایی ناشی از این سامانه به خصوص در دوره گرم سال از بارش بسیار ناچیزی برخوردار است. به عبارت دیگر شرایط آب و هوایی ناشی از این سامانه

*نویسنده مسئول: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

موجب کمبود ریزش‌های جوی در کشور می‌شود که اثر این سامانه به سمت جنوب و جنوب‌غرب در صورت حاکمیت شدیدتر و طولانی‌تر آن در منطقه، مسئله خشکی را وخیم‌تر می‌کند (علیچانی، ۱۳۸۱). بارش‌های سالانه اندک، کوتاهی دوره بارش و نزول بارش‌ها به صورت رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت از خصوصیات بارز اقلیم این منطقه است. در این منطقه، ممکن است روزهای متمادی خشکی حاکم شود و اما به یکباره چنان بارشی رخ دهد که مقدار قابل توجهی آب در مدت چند روز یا چند ساعت فرو ریخته و سیلاب‌های مخربی را به وجود می‌آورد. گردیده است. مفاهیمی که در آنها مورد توجه قرار گرفته، رخدادهایی از بارندگی است که باعث تجمع زیاد آب حاصل از باران در یک سطح مشخص می‌گردد. در ایران برای بارش سنگین معیار مشخصی وجود ندارد، از این رو برای تعیین آستانه بارش سنگین، جراید رسمی کشور برای پانزده سال مورد مطالعه قرار گرفت و ارقام روزهای بارش که موجب آب گرفتگی معابر شده و گاهی باعث ایجاد سیلاب‌های عظیم شده و خسارات بسیار شدید به همراه داشته، ثبت گردید و نهایتاً بر اساس جمع بندی نتایج، ارزش ۱۵ میلی‌متر به‌عنوان ارزش آستانه رخداد بارش سنگین در کشور در نظر گرفته شده و کلیه محاسبات بر مبنای روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۱۵ میلی‌متر ملاک عمل قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که رقم فوق الذکر یک رقم کلی بوده و قابلیت استفاده از آن برای مناطق پر باران تا کم باران کشور دارای محدودیت‌ها و ملاحظات خاصی است (فرج‌زاده، ۱۳۹۲). مسأله بارش‌های سنگین، هم اکنون نه تنها یک مشکل جدی و تهدیدکننده در منطقه مورد مطالعه، بلکه برای کل کشور محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از برنامه‌های عمرانی و زیربنایی کشور تحت‌الشعاع آن قرار می‌گیرد. بنابراین بارش‌های شدید، یکی از پدیده‌های خطرناک محیطی برای جنوب‌غرب ایران به ویژه استان خوزستان می‌باشد که موجب رخداد سیلاب می‌شود. این سیلاب‌ها در اثر بارش‌های رگباری شدید ایجاد می‌شود که اگر بتوان زمان رخداد

این بارش‌ها را پیش‌بینی کرد و به موقع اقدامات لازم برای مقابله با سیلاب‌های ناشی از آن را انجام داد، خسارات ناشی از آن را تا اندازه زیادی می‌توان کاهش داد. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، شناسایی فرین‌های گذشته، موجود و پیش‌بینی رخداد احتمالی آنها جهت پیشگیری از اثرات زیان‌بار آنها در آینده است. بنابراین این تحقیق در پی پاسخ به این مسئله اصلی است که وضعیت آینده بارش مجموع و بارش‌های سنگین در نیم قرن آینده در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان چگونه خواهد بود؟

مبانی نظری

مدل SDSM یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری در زمینه تغییر اقلیم است، که توسط دکتر رابرت ویلبی و همچنین کریستین داوسون در انگلستان طراحی شد (ویلبی و داوسون^۱، ۲۰۰۲). اساس این مدل برای ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوای محلی با استفاده از یک تکنیک آماری قوی به منظور ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. مدل SDSM به منظور کمک به کاربران متغیرهای بزرگ مقیاس آب و هوایی در زمینه پیش‌بینی آینده مناطق طراحی شد. بررسی تغییرات آب و هوا در یک نقطه خاص و بر اساس مدل‌های آماری با استفاده از داده‌های آن نقطه، از مهم‌ترین اهداف طراحی این مدل می‌باشد (دهقانی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). این روش آماری ترکیبی از یک تولیدکننده داده‌های تصادفی یک و بر اساس ریزمقیاس‌نمایی آماری مبتنی بر رگرسیون خطی می‌باشد که بر اساس برقراری ارتباط آماری مناسب بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ مقیاس منطقه^۲ متغیرهای پیش‌بینی شونده (داده‌های مشاهداتی)، می‌توان به روابط مناسبی برای پیش‌بینی متغیرهای آب و هوایی روزانه در ادوار آتی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم دست یافت. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده اطلاعات مربوط به حالت بزرگ مقیاس جو را فراهم می‌کنند در حالی

1. Wilby and Dawson

2. NCEP

که متغیرهای پیش‌بینی شونده حالت جو را در مقیاس نقطه‌ای / محلی فراهم می‌کنند. در این مدل قبل از انجام ریزمقیاس‌نمایی، داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل‌های گردش عمومی با توجه به مقدار میانگین و انحراف معیار آن‌ها در دوره مورد نظر نرمالیزه می‌شوند. دلیل انجام این کار این است که مدل‌های گردش عمومی نمی‌توانند به خوبی اقلیم محلی را مانند دیدبانی شبیه‌سازی کنند؛ لذا مقایسه این دو با هم قبل از نرمالیزه کردن می‌تواند موجب هم بستگی‌های غیر معمول شود.

برای متغیر بارش، این مدل از فرایند شرطی برای ریز مقیاس‌نمایی استفاده می‌کند. میزان بارش به رخداد روزهای تر و خشک بستگی دارد که آن هم به نوبه خود به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مقیاس ناحیه‌ای مانند میانگین فشار سطح دریا، رطوبت ویژه و ارتفاع ژئوپتانسیل و غیره وابسته است. از آنجایی که توزیع روزانه بارش بسیار چولگی دارد، معمولاً از تبدیل ریشه چهارم برای داده‌های بارش استفاده می‌شود (ویلی و داوسون، ۲۰۰۲).

جدول ۱- ساختار کلی مدل AOGCM

سناریوها	طول دوره شبیه‌سازی	دوره شبیه‌سازی	دقت مکانی AGCM (طول×عرض)	دقت مکانی AGCM (طول×عرض)
B2, B1, A2, A1	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: 1950-2099	CO2:1861-1989 SO2: 1860-1989	۲/۵×۳/۷۵	۲/۵×۳/۷۵

پیشینه عملی

تاکنون، مطالعات زیادی با روش‌ها و اهداف مختلف در رابطه با بارش انجام شده که اهمیت اینگونه پژوهش‌ها و کاربردهای آن را نشان می‌دهد. افروزی و رضایی (۱۳۹۴) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت حوضه سیمینه‌رود پرداختند. آن‌ها با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3 تحت دو سناریو انتشار B2, A2 و نرم‌افزار SDSM، داده‌های پیشینه و کمینه دما و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۳ را تولید نمودند و به عنوان ورودی مدل SWAT به کار برده شدند. نتایج حاکی از افزایش متوسط تنش آبی و دمایی و کاهش عملکرد محصولات بود. همچنین تغییر الگوی کشت گندم و جو به عنوان راهبردی تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان‌دهنده کاهش ۳۲ و ۲۴ درصدی تنش آبی تحت هر دو سناریو انتشار B2 و A2 نسبت به شرایط مدیریت فعلی بود.

رضایی و همکاران (۱۳۹۵) اثر تغییر اقلیم بر میزان بارش ایستگاه‌های چترود و سعادت آباد سیرجان، با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3

مرکز تحقیقات و پیش‌بینی‌هادلی در اداره هواشناسی انگلستان یکی از مراکز جهانی است که هدایت مطالعات اقلیمی و مدل‌سازی را عهده دار است. یکی از جدیدترین مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی - اقیانوسی^۱ مدل HadCm3 است. توصیف این مدل توسط گوردون و همکاران^۲ (۲۰۰۰) انجام شد. این مدل از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های مدل جوی HadAM3 و مدل اقیانوسی HadOM3 که دارای یک مدل یخ - دریاست، تشکیل شده است. مؤلفه جوی دارای ۱۹ لایه با قدرت تفکیک افقی ۲٫۵ درجه عرض جغرافیایی تا ۳٫۷۵ درجه طول جغرافیایی است که یک شبکه جهانی با ۷۰۰۸ سلول شبکه‌ای ایجاد می‌کند. مؤلفه اقیانوسی دارای ۲۰ لایه با قدرت تفکیک افقی ۱٫۲۵ در ۱٫۲۵ درجه است. با این قدرت تفکیک، ارائه جزئیات مهم ساختار جریان‌های اقیانوسی امکان‌پذیر است (مسعودیان و غیور، ۱۳۸۰). جدول (۱) ساختار کلی مدل را نشان می‌دهد.

1. AOGCM
2. Gordon et al

تحت سناریوهای B2 و A2 و از طریق مدل SDSM برای سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی را پیش بینی کردند. نتایج بیانگر عملکرد بالای مدل SDSM در هر دو ایستگاه بود. زارعی و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان را با مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و با استفاده از خروجی مدل تغییر اقلیم CanESM2 پیش بینی نمودند و روند سالانه این تغییرات را با آزمون من-کندال بررسی نمودند. نتایج نشان داد که داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی داشته اند، این بدان علت است که دما تغییر پذیری کمتری نسبت به بارش دارد. همچنین مشخص شد که در طول قرن ۲۱ دما رو به افزایش و بارش رو به کاهش است.

فلاح قاهره و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در ایستگاه بجنورد از مدل‌های LARSWG و SDSM به منظور ریزمقیاس نمایی استفاده نمودند. نتایج بررسی وضعیت ایستگاه از نظر دما این نکته را روشن می‌کند که متوسط دمای ایستگاه طی دوره مطالعه حدود ۱۳٫۵۲ درجه سانتی‌گراد است، اما بعد از سال ۲۰۰۰ دمای ایستگاه بیشتر از میانگین دراز مدت آن قرار گرفته است. نتایج مدل LARS WG نشان می‌دهد بارش در ایستگاه تا سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. در مدل SDSM نیز بارش افزایش می‌یابد و این افزایش بارش در سناریوهای A2 و B1 بیشتر از سناریوهای RCP می‌باشد.

حیدری‌زاده (۱۳۹۸) به پیش‌بینی ناپایداری خطوط راه آهن بر اساس شرایط اقلیمی با تأکید بر دما در مسیر کرمان- زاهدان پرداختند. در این پژوهش، از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در پیش بینی پارامترهای دمایی مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های میانگین ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان، بم و زاهدان با دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی) و داده‌های مدل Hadcm3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریو A2 و B2) می‌باشد. دما برای سه دوره

(۲۰۴۰-۲۰۱۱)، (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و (۲۰۹۹-۲۰۷۱) پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه شده است. نتایج حاصل از تحلیل آماری برای هر دو مجموعه داده مشاهداتی و پیش بینی شده نشان می‌دهد که، مدل SDSM در ریزمقیاس گردانی دمای خروجی مدل HadCM3 در هر سه ایستگاه با اختلاف کم به درستی عمل می‌کند و از دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد به جز در ایستگاه زاهدان در برخی ماههای سرد سال، شاهد افزایش دما در تمامی ماه‌های سال در ایستگاه‌ها هستیم و این افزایش دما در سال ۲۰۹۹ به اوج خود می‌رسد.

خورشید دوست و جعفرزاده (۲۰۲۰) با استفاده از مدل SDSM اثر تغییرات اقلیمی بر روی بارش سواحل جنوبی دریای خزر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج یافته‌ها نشان داد که مدل NCEP در برآورد مقدار بارش انطباق بهتری با داده‌های بارش مشاهده ای دارد. بارش سناریوهای A2 و B2 به غیر از ماه‌های پربارش، نزدیک به بارش مشاهده ای است. در مجموع درصد بارش دریافتی دوره آتی در فصول مختلف تغییر خواهد یافت.

کانگ و همکاران (۲۰۱۵) تأثیرات تغییر اقلیم را بر شاخص‌های بهره وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی در حوضه موری دارلینگ (جنوب شرق استرالیا) بررسی نمودند. پیش بینی‌های آن‌ها برای سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۸۰ بیانگر افزایش دمای هوا در همه ی سال‌ها و افزایش بارندگی تا سال ۲۰۲۰ و سپس کاهش آن تا سال ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بود. از نظر آنان نتیجه تغییرات فوق باعث افزایش مقدار تبخیر- تعرق و در نهایت افزایش عملکرد گیاه ذرت می‌شود. آنان با توجه به افزایش بارندگی‌ها و صعود سطح آب زیرزمینی، توسعه اراضی تحت کشت آبی را توصیه کردند.

بهره و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی عملکرد مدل SDSM را برای پیش بینی بارش آینده بودابالانگا ارزیابی نمودند، آن‌ها برای ریزمقیاس کردن داده‌های بارش روزانه و تولید خروجی آب و هوا در آینده از

روزانه بارش می‌باشد. تغییرات میانگین بارندگی آینده در مقایسه با میانگین مقادیر دوره پایه روند افزایشی بارندگی را در دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۸۰ نشان می‌دهد اما در دهه ۲۰۵۰ تفاوت چندانی ندارد. میانگین بارندگی سالانه در سناریوی A2 حدود ۳۳٫۷ درصد و در سناریوی B2 در دهه ۲۰۸۰، ۲۷٫۹ درصد افزایش می‌یابد. بیشتر مناطق حوضه رودخانه کورائو تحت تأثیر روند افزایشی بارندگی قرار دارند و در آینده مرطوب تر خواهند شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه با استفاده از داده‌های HadCM₃ و مدل SDSM به بررسی تغییرات متغیر بارش در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان (ایستگاه اهواز، آبادان و دزفول) پرداخته شد. برای بررسی تغییرات بارش آینده از دو سری داده استفاده شد. داده‌های مدل SDSM از سری داده‌های CanESM₂ تهیه شد؛ همچنین سری دیگر شامل داده‌های HadCM₃ است. طول دوره پایه که برای مدل سازی استفاده می‌شود در داده‌های واکاوی CanESM₂ ۴۵ سال (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و برای داده‌های واکاوی HadCM₃ ۴۱ سال (۱۹۶۱-۲۰۰۱) می‌باشد. همچنین داده‌های پیش‌بینی شونده شامل داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های اهواز، آبادان و دزفول است (داده‌های دیدبانی) که طول دوره آماری آنها نیز از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ برای مدل SDSM و برای HadCM₃ تا سال ۲۰۰۱ است.

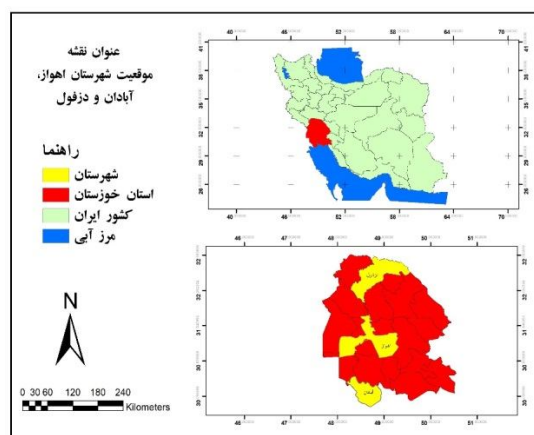
بازه زمانی پیش‌بینی برای دوره آینده (سناریوهای اقلیمی) نیز ۳۰ ساله و بین سال‌های ۲۰۳۱-۲۰۶۰ است. داده‌های سالانه مدل SDSM روی ۳۶۶ داده تنظیم شد و برای HadCM₃ ۳۶۰ می‌باشد. این مدل یکی از کارآمدترین مدل‌ها جهت انجام مطالعات آب و هوایی در سطح دنیا محسوب می‌گردد که در سال ۲۰۰۱ توسط ویلی و همکاران به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس‌نمایی آماری در انگلستان تهیه شده است. مراحل کار با مدل SDSM را می‌توان در شش مرحله زیر خلاصه کرد: کنترل کیفیت؛ تبدیل داده‌ها؛ تعیین روابط بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی

روش رگرسیون خطی چندگانه در SDSM استفاده کردند. پیش‌بینی بارش روزانه آینده برای دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ انجام گرفت و در طول کالیبراسیون و اعتبار سنجی، قابلیت قبول مدل SDSM از نظر عملکرد کوچک سازی آن برای بارندگی‌های روزانه و سالانه تأیید شد. نتایج نزولات آسمانی روزانه برای دوره آینده، روند افزایشی را برای دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ نشان می‌دهد و کاهش روند برای دوره ۲۰۸۰ برای میانگین بارش روزانه می‌باشد. مبشر و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات دما و بارش در ایالت ساراواک را بر اساس سناریوهای مدل CanESM2 پیش‌بینی نمودند. در این پژوهش برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های CanESM2 از مدل SDSM استفاده شد. نتایج نشان داد که حداکثر دما در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه، افزایش می‌یابد. همچنین انتظار می‌رود میزان بارش در همه ی فصول افزایش یابد.

گو و ژانگ (۲۰۱۸) در پژوهشی به مقایسه مدل‌های SDSM و ASD که برای پیش‌بینی‌های مدل آب و هوای جهانی GCM اعمال می‌شود، برای منطقه پکن پرداختند. از طریق تجزیه و تحلیل شاخص‌های ارزیابی در دوره‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی، نتایج نشان می‌دهد که هر دو مدل کوچک سازی دما و تبخیر و تعرق را به خوبی شبیه سازی می‌کنند اما شبیه سازی بارش به اندازه سایر عوامل آب و هوایی مناسب نیست. تغییرات آب و هوایی آینده که توسط این دو مدل پیش‌بینی شده نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد. دما و تبخیر و تعرق روند کلی افزایش را نشان می‌دهد. میزان بارندگی روند متفاوتی با روند افزایشی در جنوب و روند کاهشی در شمال نشان می‌دهد.

هامیدون و همکاران (۲۰۱۹) میزان بارندگی در حوضه رودخانه کورائو را پیش‌بینی نمودند. در این پژوهش از خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 استفاده شد که توسط مدل SDSM ریزمقیاس شدند. نتایج حاکی از عملکرد خوب مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های

شونده (غربالگری)؛ واسنجی مدل؛ تولید داده‌های تاریخی و صحت سنجی مدل؛ آنالیز داده‌ها؛ تولید سناریوهای اقلیمی آینده.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱)

جدول ۱: لیست متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس برای مدل SDSM

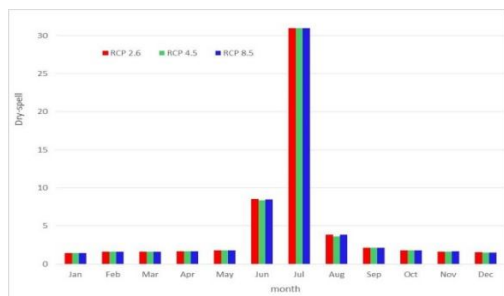
نام متغیر	علامت	نام متغیر	علامت
واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5zhgl	فشار متوسط سطح دریا	Mslpgl
شدت جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8_fgl	شدت جریان سطحی	p1_fgl
سرعت مداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8_ugl	سرعت مداری سطحی	p1_ugl
سرعت نصف النهاری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8_vgl	سرعت نصف النهاری سطحی	p1_vgl
چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8_zgl	چرخندگی سطحی	p1_zgl
ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال	p850gl	جهت باد سطحی	p1thgl
جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8thgl	واگرایی سطحی	p1zhgl
واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	p8zhgl	شدت جریان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5_fgl
بارش	Prcpgl	سرعت مداری تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5_ugl
نم نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	s500gl	سرعت نصف النهاری تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5_vgl
نم نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	s850gl	چرخندگی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5_zgl
نم ویژه سطحی	Shumgl	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	p500gl
متوسط دما در ارتفاع ۲ متری	Tempgl	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	p5thgl

بحث

مقایسه سناریوهای مختلف برای بررسی آماره‌های بارش آبادان (۲۰۶۰-۲۰۳۱): تغییرات واریانس در سناریوهای مختلف ناچیز است لیکن در زمستان واریانس سناریو RCP 4.5 اندکی بیشتر از دو سناریو دیگر است (شکل ۲). مجموع بارش ماهانه در هر سه سناریو تقریباً مقادیر برابری را نشان می‌دهد که طبق انتظار پیشینه آن در دوره سرد سال است (شکل ۳).

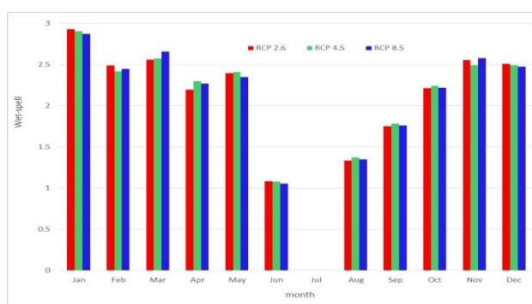
داده‌های ورودی مدل SDSM شامل ۲۶ متغیر از داده‌های CanESM₂ است (جدول ۱) که برای مدل‌سازی بارش ایستگاه‌های منتخب از آنها استفاده شد. داده‌های پیش‌بینی‌کننده برای ایستگاه آبادان در شبکه 14X-23Y و برای ایستگاه‌های اهواز و دزفول در شبکه 13X-22Y واقع شده‌اند. در ادامه، مدل‌سازی ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان انجام شده و نتایج خروجی‌ها نمایش داده خواهد شد.

طول دوره خشک در جولای اتفاق می‌افتاد (شکل ۵).

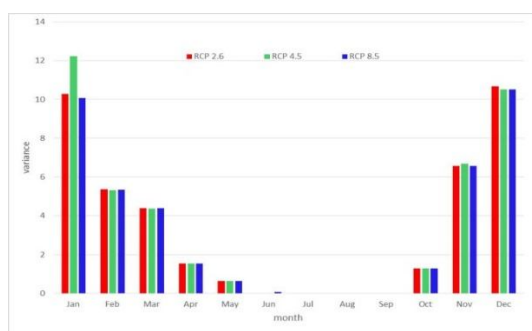


شکل ۵: مقایسه دوره خشک ماهانه آبادان در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

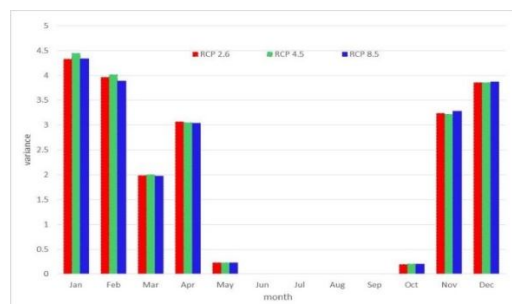
تفاوت طول دوره تر نیز در سناریوهای مختلف ناچیز اما نامنظم است. در ژانویه، فوریه و دسامبر سناریو RCP 2.6، در مارس و نوامبر سناریو RCP 8.5 و در سایر ماه‌ها سناریو RCP 4.5 طول دوره بیشتری را نشان می‌دهد (شکل ۶).



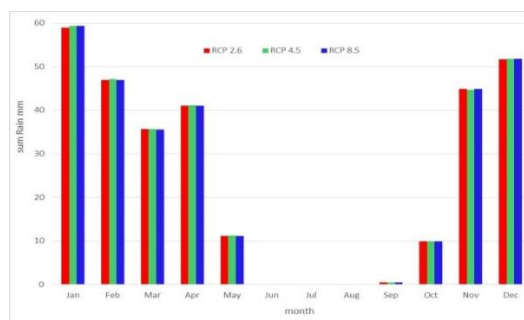
شکل ۶: مقایسه دوره تر ماهانه آبادان در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰



شکل ۷: مقایسه واریانس بارش ماهانه اهواز در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

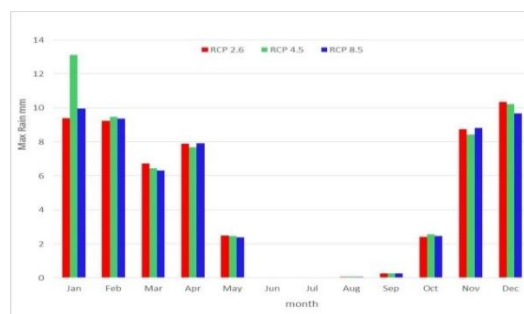


شکل ۲: مقایسه واریانس بارش ماهانه آبادان در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰



شکل ۳: مقایسه مجموع بارش ماهانه آبادان در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰.

بیشینه بارش ماهانه در هر سه سناریو نامنظم است در سناریو RCP 4.5 در ژانویه، فوریه و اکتبر بیشینه بارش بیشتر از دو سناریو دیگر است. در سناریو RCP 2.6 در دسامبر، مارس و می بیشینه بارش بیشتر از ۲ سناریو دیگر است و در ماه‌های دیگر بیشینه بارش در سناریو RCP 8.5 غلبه دارد (شکل ۴).

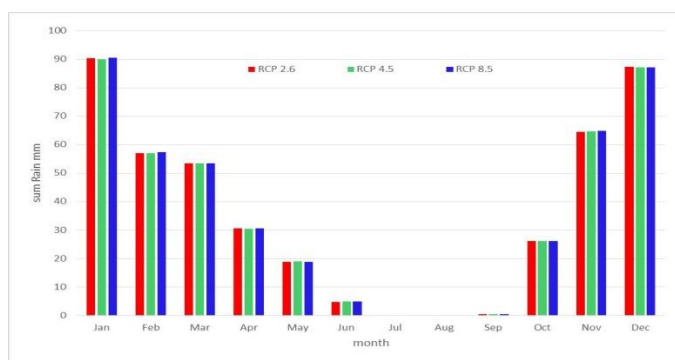


شکل ۴: مقایسه بیشینه بارش ماهانه آبادان در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

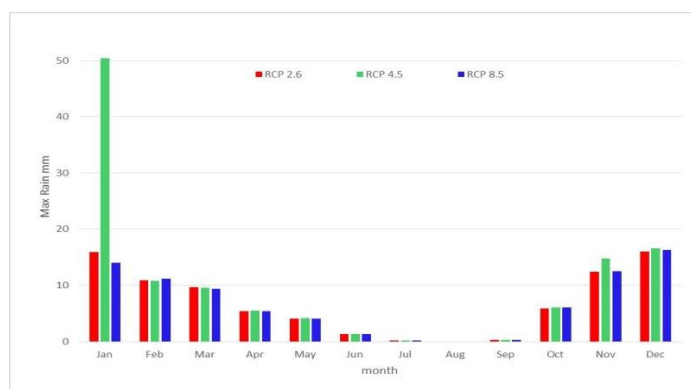
طول دوره خشک در سه سناریو مختلف در ماه‌های مختلف تفاوت ناچیزی را نشان داد و بیشترین

مقایسه سناریوهای مختلف برای بررسی آماره‌های بارش اهواز (۲۰۳۱-۲۰۶۰): بررسی تغییرات واریانس بارش ماهانه در سه سناریو مختلف نشان می‌دهد که بیشترین افزایش واریانس بارش در ماه‌های سرد سال خواهد بود. در ماه‌های نوامبر و ژانویه واریانس بارش تحت سناریو RCP 4.5 بیشتر از سایر سناریوها خواهد بود همچنین در دسامبر مقادیر واریانس بارش در سناریو RCP 2.6 اندکی بیشتر از سایر سناریوها است

و در سایر ماه‌های سال تفاوت چندانی در مقادیر واریانس بارش مشاهده نمی‌شود (۷). بررسی تغییرات مجموع بارش نیز نشان می‌دهد که در ماه‌های ژانویه، دسامبر و نوامبر مقادیر مجموع بارش بیشتر از سایر ماه‌های سال است و تفاوت بسیار ناچیزی بین سه سناریو در برآورد مجموع بارش دوره ۳۰ ساله آینده وجود دارد. در همه سناریوها خشک‌ترین ماه سال آگوست خواهد بود (شکل ۸).



شکل ۸: مقایسه مجموع بارش ماهانه اهواز در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

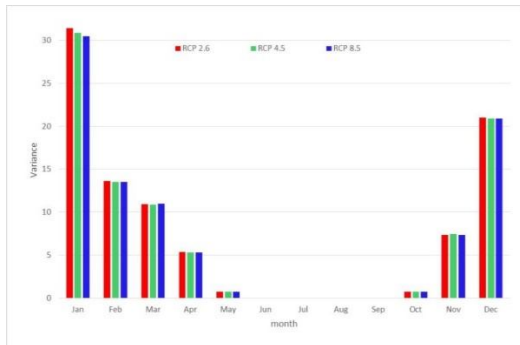


شکل ۹: مقایسه بیشینه بارش ماهانه اهواز در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

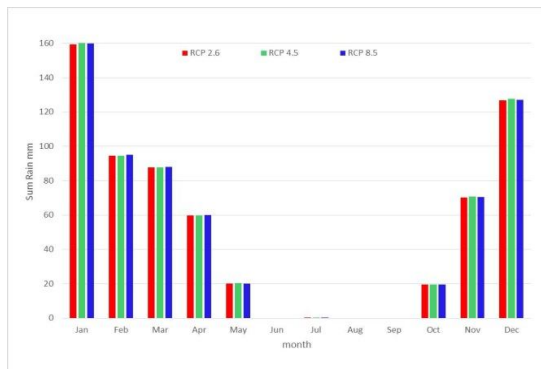
بیشینه بارش برآورد شده در هر سه سناریو نشان می‌دهد که بطور مشخص در ماه‌های سرد سال بیشترین فراوانی بارش شدید را خواهند داشت. در مدل RCP 4.5 و به ویژه در ماه‌های ژانویه و نوامبر مقادیر بیشینه بارش بیشتر از سناریوهای دیگر برآورد شد (شکل ۹). بررسی تغییرات طول دوره خشک نیز

نشان داد که آگوست خشک‌ترین ماه سال خواهد بود و در سایر ماه‌ها شرایط طول دوره خشکی متعادل‌تر است. همچنین از نظر طول دوره خشکی بین سناریوهای مختلف تفاوت آشکاری مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۰).

می‌شود و ماه‌های سرد سال مرطوب تر از ماه‌های گرم خواهند بود (شکل ۱۳).

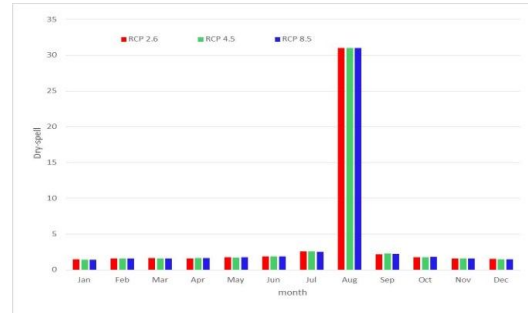


شکل ۱۲: مقایسه واریانس بارش ماهانه دزفول در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰



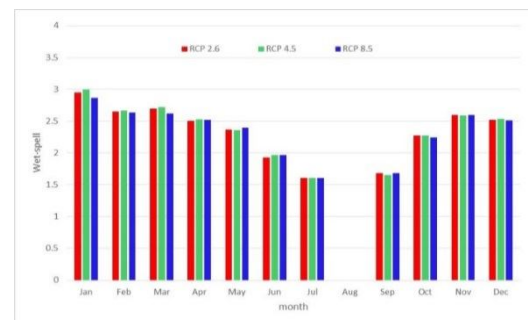
شکل ۱۳: مقایسه مجموع بارش ماهانه دزفول در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

مقایسه بیشینه بارش ماهانه دزفول نشان می‌دهد که در سناریو RCP 4.5 و سناریو RCP 8.5 مقادیر بیشینه بارش مقادیر نسبتاً مشابهی را نشان می‌دهد. لیکن مقادیر بیشینه بارش در سناریو RCP 2.6 افزایش چشمگیری را نسبت به دو سناریو دیگر را نشان می‌دهد. بیشترین بارش بیشینه نیز در ماه‌های ژانویه، دسامبر و نوامبر مشاهده می‌شود (شکل ۱۴). همچنین طول دوره خشک در تمام ماه‌های سال بجز ژوئن، آگوست و سپتامبر مقادیر مشابهی را نشان می‌دهد. در ژوئن و آگوست سناریو RCP 4.5 و سناریو RCP 8.5 دوره خشک طولانی را نشان می‌دهند ولی در سناریو RCP 2.6 افزایشی در طول دوره خشک مشاهده نشد. همچنین در سپتامبر در هر سه سناریو طول دوره خشک طولانی مشاهده می‌شود (شکل ۱۵).



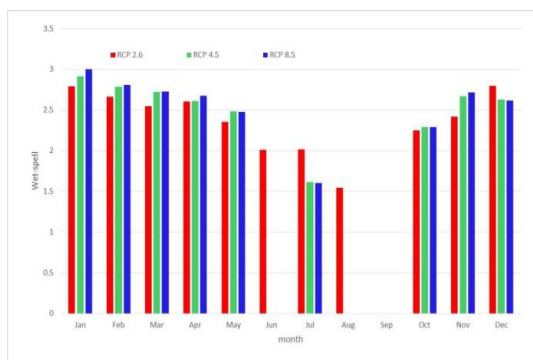
شکل ۱۰: مقایسه دوره خشک ماهانه اهواز در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

طول دوره تر در ماه‌های سرد سال در همه سناریوها بیشتر از دوره گرم است و سه ماه زمستانی مرطوب ترین ماه‌های سال هستند و تفاوت ناچیزی بین سناریوهای مختلف در برآورد طول دوره تر در ماه‌های مختلف مشاهده می‌شود. لیکن در سناریو RCP 4.5 و برای ماه‌های سرد شرایط اندکی مرطوب تر از سایر سناریوها پیش بینی شد (شکل ۱۱).

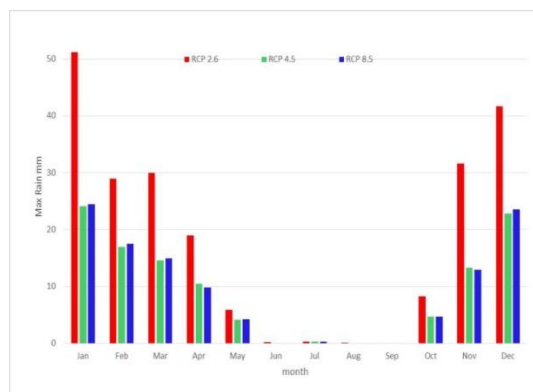


شکل ۱۱- مقایسه دوره تر ماهانه اهواز در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

مقایسه سناریوهای مختلف برای بررسی آماره‌های بارش دزفول (۲۰۳۱-۲۰۶۰): واریانس بارش ایستگاه دزفول برای هر سه سناریو مقادیر بسیار نزدیک به هم نشان می‌دهد و تنها در ژانویه اندکی سناریو RCP 2.6 مقادیر واریانس بیشتری را نشان می‌دهد ولی در مجموع مقادیر واریانس تحت هر سه سناریو شرایط نسبتاً یکسانی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). در کل در دوره سرد سال واریانس بارش بیشتر از دوره گرم سال می‌باشد. از نظر مجموع بارش ماهانه تقریباً در همه سناریوها شرایط مشابهی مشاهده

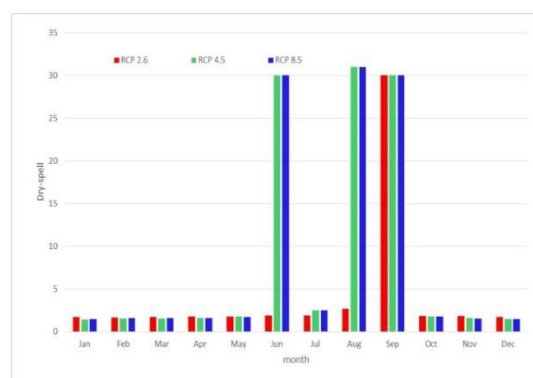


شکل ۱۶: مقایسه دوره تر ماهانه دزفول در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰



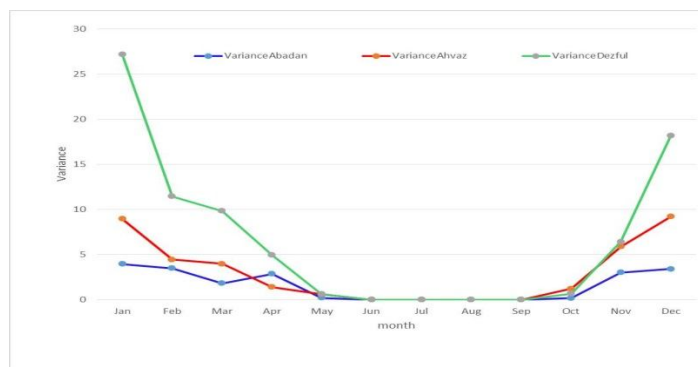
شکل ۱۴: مقایسه بیشینه بارش ماهانه دزفول در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

مقایسه پارامترهای آماری ایستگاه‌های منتخب خوزستان در مدل HadCM3: به سبب نزدیکی نتایج دو سناریو HadCM3 برای ایستگاه‌های مختلف و تقریباً برای همه متغیرهای آماری مورد بررسی و همچنین همپوشانی نمودارهای آنها، لذا فقط از نتایج یک سناریو برای ترسیم مقایسه ای آمارها بین سه ایستگاه منتخب استفاده گردید. از نظر تغییرات واریانس بارش ایستگاه دزفول بیشترین تغییرات واریانس را در دوره آینده تجربه خواهد نمود. همچنین بیشترین تغییرات واریانس بارش در همه ایستگاه متعلق به ماه‌های سرد سال می‌باشد (شکل ۱۷). مقادیر مجموع بارش سه ایستگاه نشان می‌دهد که ایستگاه دزفول مرطوب‌ترین ایستگاه منطقه برای دوره آینده خواهد بود و پس از آن ایستگاه اهواز بارش بیشتری دریافت خواهد نمود (شکل ۱۸).

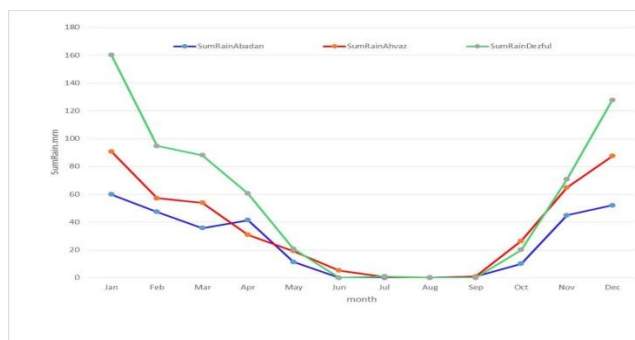


شکل ۱۵: مقایسه دوره خشک ماهانه دزفول در سناریوهای مختلف برای دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۶۰

به جزء دسامبر و ژوئن تا سپتامبر طول دوره تر در سناریو RCP 8.5 و سناریو RCP 4.5 و بیشتر از سناریو RCP 2.6 است. از ژوئن تا آگوست دوره تر در سناریو RCP 2.6 طولانی‌تر از دو سناریو دیگر خواهد بود و در ماه سپتامبر دوره تر مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۶).



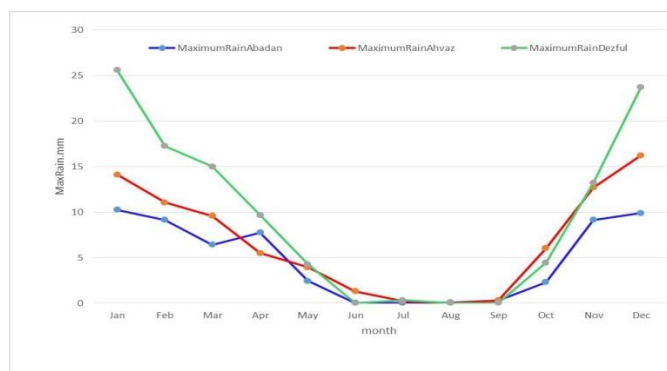
شکل ۱۷: مقایسه واریانس شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۲۰۳۱-۶۰ ایستگاه‌های منتخب خوزستان



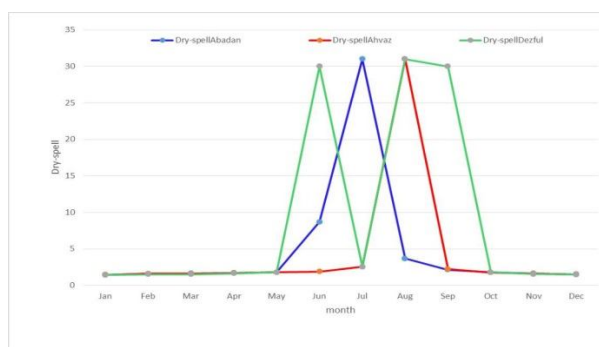
شکل ۱۸: مقایسهٔ مجموع بارش شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۶۰-۲۰۳۱ ایستگاه‌های منتخب خوزستان

خشک‌ترین دوره سال در ایستگاه آبادان، ماه جولای در اهواز، ماه آگوست و در دزفول، ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر است (شکل ۲۰).

بیشینه بارش آینده نیز در هر سه ایستگاه در ماه‌های سرد سال و به‌ویژه در ماه ژانویه رخ خواهد داد. پس از این ماه در فوریه و دسامبر بارش‌های شدیدتری مشاهده می‌شود (شکل ۱۹). همچنین



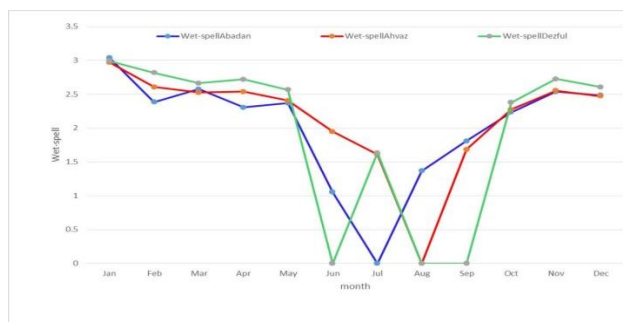
شکل ۱۹: مقایسهٔ بیشینه بارش شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۶۰-۲۰۳۱ ایستگاه‌های منتخب خوزستان



شکل ۲۰: مقایسهٔ دورهٔ خشک شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۶۰-۲۰۳۱ ایستگاه‌های منتخب خوزستان

دوره‌های تر طولانی‌تر خواهد بود. از طرفی طول دوره‌تری در دزفول علی‌رغم داشتن سه ماه خشک، بیشتر از دو ایستگاه دیگر منطقه خواهد بود (شکل ۲۱).

مقایسهٔ دورهٔ تری آینده سه ایستگاه نشان می‌دهد که در ایستگاه آبادان ماه جولای، در ایستگاه اهواز، ماه آگوست و در ایستگاه دزفول ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر ماه‌های غیر تر سال هستند و در ماه‌های دیگر



شکل ۲۱: مقایسه دوره تر شبیه‌سازی شده برای دوره آماری ۶۰-۲۰۳۱ ایستگاه‌های منتخب خوزستان

نتیجه‌گیری

مطالعه تغییرات آب و هوایی با وجود پایگاه داده وسیع و درازمدت، امکان شناسایی تغییرات متغیرهای اقلیمی در سال‌های آینده را می‌دهد. از طرفی هر چه از زمان حال فاصله گرفته شود و هدف بررسی تحولات در سالیان دورتر باشد به همان اندازه دقت بررسی تغییرات عناصر اقلیمی کاهش می‌یابد. لیکن طی دهه‌های اخیر استفاده گسترده از داده‌های شبکه ای ترازهای مختلف جو و اندازه گیری پارامترهای مختلف عملاً شرایط به گونه ای رقم خورده است که از عوامل موثر بیشتری در مطالعات تغییر اقلیم بهره برده شده است. از بین عناصر اقلیمی بارش به سبب پراش بالا به ویژه در مناطق کم بارش و خشک از متغیرهایی است که شبیه سازی تغییرات آن در آینده بسیار دشوار است. از طرفی بارش متغیری وابسته به عناصر و عوامل اقلیمی دیگر است که این امر شبیه سازی و پیش بینی آن را سخت تر نیز می‌کند. مدل‌های اقلیمی طی سالیان اخیر تحت سناریوهای مختلف شکل گرفته و اثر تفاوت‌های رفتار اقلیم آینده بر روی متغیرهای اقلیمی را مدل سازی کرده اند. بررسی نتایج این مطالعه بر روی متغیرهای واریانس، مجموع بارش، بیشینه بارش، طول دوره خشک و طول دوره تر انجام شد. مدل سازی اولیه این متغیرها در هر سه ایستگاه نشان داد که مدل SDSM خطای کمتری با داده‌های CanESM2 نسبت به داده‌های HadCM3 دارد (نتایج جداول متغیرهای منتخب تأثیرگذار بر روی بارش تمام ایستگاه‌ها). نتایج مدل سازی برای بازه زمانی ۲۰۶۰-۲۰۳۱ انجام شد. نتایج تغییرات واریانس در هر دو

مدل و تحت همه سناریوها برای هر سه ایستگاه نشان دهنده کاهش واریانس بارش در آینده خواهد بود. یعنی بارش آینده منظم تر از بارش دوره پایه در منطقه مورد مطالعه نزول خواهد نمود (نمودارهای تغییرات واریانس هر دو مدل برای هر سه ایستگاه). مجموعه بارش ماهانه در هر سه ایستگاه و تحت هر دو سناریو، افزایش بارش را در آینده نشان می‌دهد. میزان افزایش بارش سالانه در این ایستگاه‌ها حدود ۱۵۰ میلیمتر خواهد بود (نمودارهای مجموع بارش هر دو مدل و هر سه ایستگاه). با این وجود بیشینه بارش ماهانه کاهش خواهد یافت. یعنی بر حجم بارش‌ها افزوده و از شدت بارش‌ها در آینده کاسته خواهد شد (نمودارهای بیشینه بارش هر دو مدل و هر سه ایستگاه). بررسی طول دوره‌های تر و خشک در هر دو مدل و برای هر سه ایستگاه نشان می‌دهد که دوره‌های خشک منطقه در حال محدود شدن به دو تا سه ماه تابستان هستند و در عوض دوره‌های تر گسترش یافته و طول هر دوره بارش از ۲ به ۳ روز و از ۳ به ۴ روز افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش طول دوره بارش نیز در ماه‌های سرد سال رخ خواهد داد (نمودارهای طول دوره تر و خشک برای هر دو مدل و هر سه ایستگاه و برای همه سناریوها).

شرایط آماری فوق در رابطه با رژیم بارشی ایستگاه‌های منتخب خوزستان نشان می‌دهد که در آینده از شدت بارش‌های سیل زا کاسته شد و پراکندگی بارش در اغلب ماه‌های سال بیشتر خواهد بود. این شرایط سبب تقویت منابع آب و خاک شده و از هز این منابع جلوگیری می‌نماید.

10. Falahghalhari, Gh., Yusofi, H., Hoseinzadeh, A., Alimoradi, M., and Reyhani, E. (2019). Bojnourd station climate change assessment during 2016 to 2050 using LARS WG and SDSM microscale exponential models. *Echo Hydrology*. 6(1): 99-109. [Persian]
11. Guo, B., Zhang, J., and Xu, T. (2018). Comparison of two statistical climate downscaling models: a case study in the Beijing region, China. *International Journal of Water*. 12(1): 22-38.
12. Hamidon, N., Harun, S., Sunar, N.M., Hamid, NA., Muhamad, M.S., Harun, H., Ali, R., Awang, M., Rahman, M.A., Ahmad, F., and Musa, K. (2019). Prediction of Future Climate Change for Rainfall in the Upper Kurau River Basin, Perak Using Statistical Downscaling Model (SDSM). *Civil Engineering and Architecture*. 7(6): 33-42
13. Kang, Y., Khan, S., and Ma, X. (2015). Analysing climate change impacts on water productivity of cropping systems in the Murray Darling Basin, Australia. *Irrigation and Drainage*. 2015 Oct;64(4): 443-453.
14. Khorshiddoust, A., and Gafarzadeh, F. (2020). Prediction and analysis of precipitation changes on the southern shores of the Caspian Sea for environmental planning using the SDSM model. *Geographical space*. 20(70): 37-59. [Persian]
15. Mobasher, H., Yusof, K.W., Mostafa, M.R., Mahmood, R., and Shaofeng, J. (2017). Projected changes in temperature and precipitation in Sarawak state of Malaysia for selected CMIP5 climate scenarios. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 12 (8): 1299-1311.
16. Wilby, R. L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. (2007). SDSM user manual-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.
17. Wilby, R.L., and Dawson, C.W. (2007). Using SDSM Version 4.1 SDSM 4.2. 2—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *User Manual*, Leicestershire, UK.
18. Zarei, K., Mohammadi, H., and Bazgir, S. (2019). Prediction of climatic elements of temperature and precipitation of Gorgan synoptic station based on RCP scenarios. *Natural Geography Research*. 51(4): 563-579. [Persian]

منابع

۱. افروزی، علی، رضایی، زمان (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات و ارائه راهبرد تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی حوضه سیمینه رود)، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۴، شماره ۴، صص ۵۱-۶۴.
۲. حیدری‌زاده، عابد (۱۳۹۸). پیش‌بینی ناپایداری خطوط راه آهن بر اساس شرایط اقلیمی با تأکید بر دما (مطالعه موردی: مسیر کرمان-زاهدان). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مخاطرات محیطی به راهنمایی دکتر صادق کریمی و مشاوره علی مهرابی‌نژاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳. دهقانی‌پور، امیرحسین، حسن‌زاده، محمدجواد، عطاری، جلال؛ عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۰). ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریز مقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۴. رضایی، مریم؛ نهتانی، محمد؛ مقدم‌نیا آبکار، علیجان، رضایی، معصومه (۱۳۹۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۱، صص ۱۲۷-۱۱۵.
۵. روشن، غلامرضا؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم (۱۳۹۱). آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی مقادیر بارش و دما در ایران تحت شرایط گرمایش جهانی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص ۱۹-۳۶.
۶. علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، تهران: انتشارات سمت.
۷. فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه ششپیر)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، پیاپی ۴۹، شماره ۱، صص ۱۷-۳۲.
۸. مسعودیان، ابوالفضل، غیور، حسنعلی (۱۳۸۰). نخستین گام در مدل سازی اقلیمی، انتشارات دانشگاه اصفهان.
9. Behera, S., Khare, D., Mishra, P.K., and Sahoo, S. (2016). Application of Statistical Downscaling Model for Prediction of Future Rainfall in Bhudhabalanga River Basin, Odisha (India).

