

مقایسه عملکرد مدل آماری و مدل دینامیکی در شبیه‌سازی بارش حدی

لیلی آرزومندی^۱، زهرا حجازی‌زاده^{۲*}، ابراهیم فتاحی^۳

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا دانشگاه خوارزمی

۲. استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی

۳. دانشیار پژوهشکده هواشناسی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۱۵)

چکیده

در سال‌های اخیر منابع آب بر اثر تغییر اقلیم دست‌خوش تنش‌های جدی شده است. هدف مطالعه حاضر، بررسی دو مدل ریزمقیاس‌ساز آماری و دینامیکی به منظور ریزمقیاس‌سازی بارش حدی حوضه آبریز گرگان‌رود در روزهای ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱ است که به ثبت دبی حدی در منطقه منجر شد. در این پژوهش، از مدل آماری SDSM و مدل دینامیکی Regcm4 استفاده شد. نتایج نشان داد مدل آماری SDSM قابلیت بسیار کمی (ضرایب تبیین ۰/۰۰۲ تا ۰/۱۸ و میانگین خطای مطلق ۲۰ میلی‌متر) در شبیه‌سازی بارش‌های حدی دارد به طوری که ضرایب تبیین و همبستگی‌های کم قابل مشاهده بود؛ در صورتی که مدل Regcm4 ضرایب تبیین بسیار زیاد تا ۱۰۰ درصد و میانگین خطای مطلق تا ۶۷ میلی‌متر را ثبت کرده است به دلیل اینکه این مدل با در نظر گرفتن الگوهای دینامیک کلی به شبیه‌سازی بارش حدی می‌پردازد، علاوه بر اینکه با آزمون خطای طرح‌واره‌های موجود در آن می‌تواند نتایج را تا حد زیادی به داده‌های مشاهداتی منطقه نزدیک کند. تحلیل نقشه‌های هوا نشان دادند طی این دو روز نیمه غربی ایران و بخش‌های جنوبی و مرکزی تحت حاکمیت الگوهای کم‌فشار بوده‌اند که جهت جریان‌ات کم‌فشار، جنوبی و غربی بوده و از سمت دریای عدن و خلیج فارس و دریای سیاه و مدیترانه هستند. نقشه‌های الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل حاکمیت کم ارتفاع‌هایی در تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال را در منطقه مد نظر نمایش می‌دهد.

کلیدواژه‌گان: بارش حدی، ریزمقیاس‌سازی، گرگان‌رود، Regcm4، SDSM.

مقدمه

مدیران منابع آب باید تأثیرات پتانسیلی تغییر اقلیم و گرمایش جهانی را در نظر بگیرند، زیرا این تأثیرات می‌تواند سبب تنش در دسترسی آب برای استفاده بشر و اکوسیستم‌های طبیعی در مقیاس بزرگ شود. علاوه بر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی همچون رشد شهر نیز می‌تواند هشدار برای چرخه هیدرولوژی باشد، زیرا این چرخه روی اکوسیستم تبخیر و تعرق، ظرفیت نفوذ خاک و رژیم جریان‌های سطحی و زیرسطحی اثر می‌گذارد [۱]. شدت، فراوانی و بزرگی رخداد‌های حدی اقلیمی نظیر بارش‌های حدی، خشکسالی‌ها، امواج گرما و سرما با گرمایش جهانی مرتبط است که به تغییرات فضایی زمانی این رخدادها مربوط می‌شود [۲]. افزایش دما با افزایش تبخیر و تعرق همراه است که سبب تغییر در بارش جهانی می‌شود [۳]. تغییرات بارندگی پیچیده‌تر از تغییرات دمایی است و در برخی مناطق بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش و در برخی مناطق دیگر افزایش می‌یابد [۴]. به‌طور کلی، فرایندهای هیدرولوژیکی بر فراوانی رخداد حوادث هیدرولوژیکی نظیر سیل و خشکسالی اثرگذارند. امروزه، به مطالعات تأثیرات تغییر اقلیم روی منابع آب بسیار توجه شده است [۵]. یکی از جنبه‌هایی که در بررسی و پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم روی منابع آب می‌تواند بررسی شود، اثر بارش‌های حدی و یافتن الگوی اقلیمی حاکم بر بارش حدی است. مدل‌های گردش عمومی جو^۱ (GCM) برای پروژه‌های تغییر متغیرهای جوی تحت سناریوهای تغییرات اقلیمی تعریف شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ استفاده می‌شوند. چون این پروژه‌های اقلیمی بسیار بزرگ‌مقیاس (۳۰۰-۱۵۰ km) هستند، اغلب خطا دارند و بنابراین نمی‌توانند به‌طور مستقیم در مدل‌های اقلیمی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیمی استفاده شوند [۶]. بنابراین، باید آنها را در حد ایستگاه یا مساحت منطقه مد نظر ریزمقیاس کرد. مدل‌های ریزمقیاس به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند. در مدل‌های دینامیکی، اقلیم منطقه‌ای^۳ آشیانه‌سازی درون شبکه GCM صورت می‌گیرد.

بدین‌منظور سونیر و همکارانش (۲۰۱۲) مدل‌های آماری و دینامیکی را در تخمین بارش و تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند و عدم قطعیت‌های مرتبط با آنها را نشان دادند [۷]. ویلیام و وراک (۲۰۱۱) به شبیه‌سازی آماری بارش حدی برای ارزیابی تأثیرات خرده‌مقیاس هیدرولوژیکی تحت شرایط اقلیم پرداختند و فواید این مدل را در تخمین خطرات سیل نشان دادند [۸]. چن و همکارانش (۲۰۱۲) با استفاده از چندین GCM و مدل‌های آماری و هیدرولوژیکی به مطالعه تغییر اقلیم روی رواناب پرداختند و نشان دادند مدل SDSM^۴ در ریزمقیاس‌سازی بارش بهتر از دیگر مدل‌های آماری عمل می‌کند [۵]. لی و جیونگ (۲۰۱۴) نیز به ریزمقیاس‌سازی بارش روزانه و ساعتی تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند و تأکید کردند این مدل‌ها می‌توانند برای خروجی‌های RCM و GCM استفاده شوند و عملکرد مناسبی برای بارش دارند [۹]. مندال و همکارانش (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های آماری رگرسیونی و با ریزمقیاس‌سازی بارش در یکی از حوضه‌های رودخانه‌ای در کانادا نشان دادند مدل رگرسیونی بتا بهتر از دیگر مدل‌ها عمل می‌کند [۱۰]. آسونگ و همکارانش (۲۰۱۶) با مدل‌های آماری، بارش و دما در کانادا را با سناریوهای گزارش پنجم IPCC بررسی و پژوهش کردند [۱۱]. پیراس (۲۰۱۶) در حوضه دریای مدیترانه بارش و دبی را با مدل‌های آماری بررسی کردند و گفتند که خروجی این مدل‌ها به‌منظور بررسی تأثیرات هیدرولوژیکی بسیار بهتر از خروجی GCM عمل می‌کند [۱۲]. هوندچا و همکارانش (۲۰۱۶) مدل‌های آماری مختلف در شبیه‌سازی جریان‌های دبی حدی در طول اروپا را بررسی کردند [۱۳]. باتالا و همکارانش (۲۰۱۲) با شبیه‌سازی بارش‌های مونسونی تابستانه با استفاده از طرح‌واره‌های همرفتی مدل Regcm4 این طرح‌واره‌ها را مقایسه کردند [۱۴]. لافامه و همکارانش (۲۰۱۵) مدل‌های آماری ریزمقیاس را برای خروجی بارش‌های حدی مدل Regcm به‌کار گرفتند و نشان دادند نتایج به‌شدت به انتخاب مدل GCM و RCM وابسته است [۱۵]. اونیتا و همکارانش (۲۰۱۶) به مقایسه چند مدل آماری در ریزمقیاس‌سازی بارش و با تأکید بر بارش‌های حدی و

1. Global Circulation Models
2. Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC)
3. Regional Climate Model (RCM)

4. Statistical downscaling model

در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی واقع شده است. این حوضه، از شمال و شرق به حوضه رودخانه اترک و از جنوب به حوضه‌های آبریز کویر نمک و از جنوب غربی به حوضه رودخانه نکا محدود است. مساحت این حوضه، ۱۳۰۶۱ کیلومترمربع است و دو دشت به نام‌های گرگان-گنبد و رباط - قره‌بیل دارد که دشت رباط قره‌بیل در بخش جنوب شرقی حوضه قرار دارد و به جز نواحی کوهستانی، باقی حوضه را دشت گرگان - گنبد تشکیل می‌دهد [۱۹]. کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل کاربری اصلی حوضه‌اند. اقلیم حوضه براساس روش دمارتن از نیمه‌خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی حوضه متغیر است. بارش سالانه حوضه از ۲۳۱ میلی‌متر تا ۸۴۸ میلی‌متر تغییر می‌کند. طول رودخانه اصلی حوضه نیز ۳۳۳ کیلومتر است. همچنین میانگین کمینه و بیشینه دمایی حوضه به ترتیب ۱۱ و ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد است [۲۰] وقوع بارش‌های شدید به همراه تشکیلات زمین‌شناسی حساس به فرسایش و تغییر شدید کاربری اراضی از جنگل به اراضی دیم، سبب فراهم آمدن پتانسیل لازم برای تشکیل رواناب و در نتیجه فرسایش خاک و رسوب در حوضه شده است [۲۱]. شکل ۱ و جدول ۱ منطقه و ایستگاه‌های مطالعه‌شده را نمایش می‌دهند.

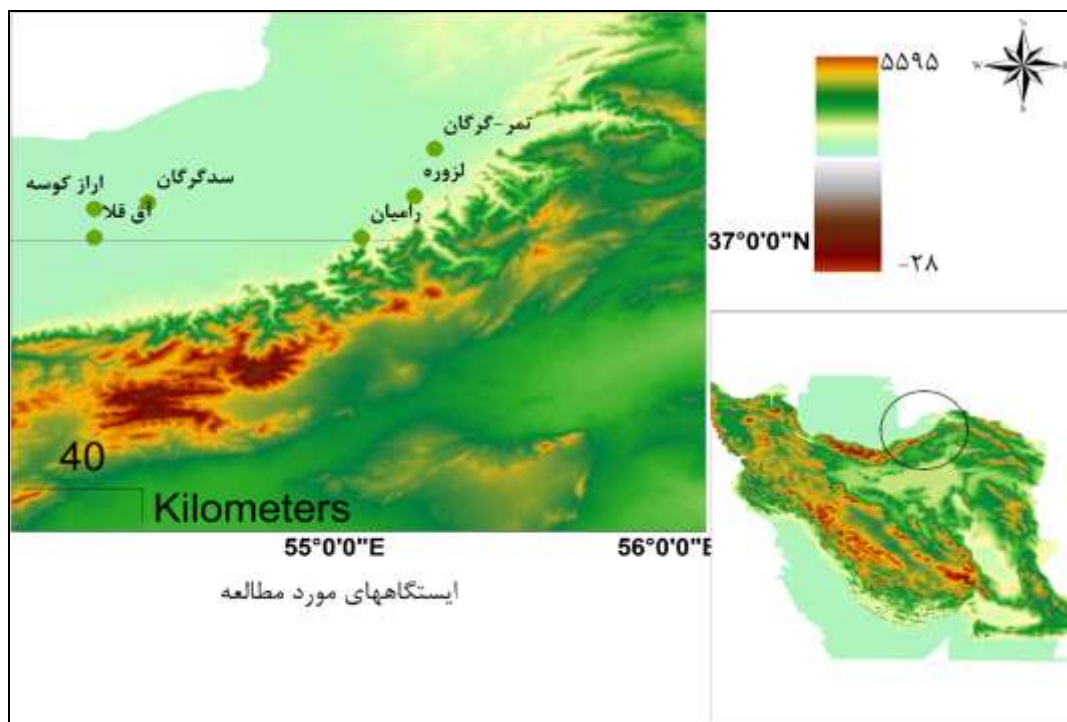
پیش‌بینی آن پرداختند و نشان دادند تفاوت فاحشی بین این مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش وجود ندارد [۱۶]. از مطالعات داخلی انجام‌شده که به شبیه‌سازی بارش‌های حدی و یا بارش پرداخته باشند می‌توان به پژوهش‌های محمدی و همکارانش (۱۳۹۴) - شبیه‌سازی بارش دوره سرد سال با استفاده از مدل Regcm4 - [۱۷] و یا قهرمان و همکارانش (۱۳۹۴) در شمال غرب کشور بعد از پس‌پردازش برون‌داد مدل Regcm4 تا خطای صفر میلی‌متر را، برای بارش شبیه‌سازی‌شده به دست آورده‌اند [۱۸]. این پژوهش‌های صورت‌گرفته فقط با ارزیابی یک مدل دینامیکی بوده و کالیبره کردن آن به بهترین وجه مد نظر بوده است و هدف مقایسه‌ای را دنبال نکرده است در صورتی که در پژوهش حاضر هدف ارزیابی و مقایسه دو مدل آماری و دینامیکی و معرفی بهترین آنها در شبیه‌سازی بارش‌های حدی است. در این پژوهش، ابتدا روزهای حدی در ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز گرگان‌رود شناسایی شد که دبی بالایی را ثبت کرده‌اند. سپس، شبیه‌سازی بارش روزهای مد نظر با استفاده از مدل SDSM و Regcm4 و تحلیل نتایج این داده‌ها به صورت خردمقیاس انجام شد.

منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبریز گرگان‌رود - قره‌سو در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد و در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، جزئی از آبریز دریای خزر به‌شمار می‌رود. این حوضه

جدول ۱. ایستگاه‌های منتخب حوضه گرگان‌رود - قره‌سو

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	X (طول جغرافیایی)	Y (عرض جغرافیایی)	Z (ارتفاع)
تمر	هیدرومتری	۵۵-۰۳-۰۰	۳۷-۲۹-۰۰	۱۳۲
رامیان	هیدرومتری	۵۵-۰۸-۰۰	۳۷-۰۱-۰۰	۲۰۰
آق فلا	هیدرومتری	۵۴-۲۸-۰۰	۳۷-۰۱-۰۰	-۱۲
سد گرگان	هیدرومتری	۵۴-۴۴-۰۰	۳۷-۱۲-۰۰	۱۲
آراز کوسه	هیدرومتری	۵۵-۰۹-۰۰	۳۷-۱۴-۰۰	۳۴
لزوره	هیدرومتری	۵۵-۲۴-۰۰	۳۷-۱۴-۰۰	۱۹۰



شکل ۱. نقشه ارتفاعی محدوده منطقه مطالعه شده

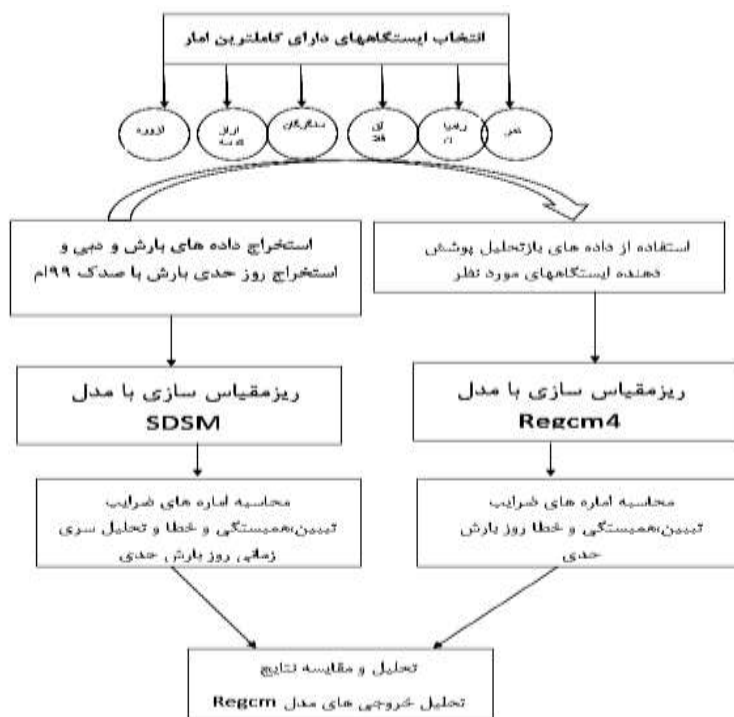
است. مدل های گردش عمومی جو به بیان دیگر GCM ها براساس سناریوهای موجود اقلیم جو و اقیانوس را شبیه سازی می کنند. این شبیه سازی شامل رواناب، بارش، دما و دیگر فاکتورهای محیطی و جوی است. ابعاد شبیه سازی آنها بسیار بزرگ مقیاس است. به طور مثال HADCM3 که یکی از این مدل ها است وضوح فضایی ۲/۵ درجه در عرض و ۳/۷۵ درجه در طول جغرافیایی دارد که برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم در حد یک ایستگاه، بزرگ مقیاس و با وضوح نامناسب است. امروزه استفاده از مدل های ریزمقیاس سازی گامی بسیار مهم در استفاده از خروجی نتایج این مدل های بزرگ مقیاس است که امکان بررسی تغییرات اقلیم را در یک محدوده کوچک فراهم می کند. تکنیک های ریزمقیاس سازی به چهار دسته دینامیکی، تیپ های هوا، مولدهای مصنوعی و رگرسیون پایه تقسیم می شوند، اما این تقسیم بندی خود به تقسیم بندی کوچک تری تبدیل شده و به طور کلی این مدل ها در دو بخش آماری و دینامیک خلاصه می شوند. در این مطالعه از یک مدل ریزمقیاس آماری و یک مدل ریزمقیاس دینامیکی استفاده شده است که به شرح زیر است:

داده ها و روش کار

در این پژوهش ابتدا داده های روزانه دبی و بارش در یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۰ - ۱۳۹۰) برخی ایستگاه های منتخب حوضه آبریز گرگان رود که آمار روزانه کامل تری داشتند، از سازمان تما ب و سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و همچنین داده های روزانه بارش دوره مشاهداتی مورد نیاز نرم افزار SDSM از سایت کانادایی تغییر اقلیم [۲۲]. <http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=pred-canesm2> دانلود شد. پس از شناسایی داده های دبی بالا با صدک ۹۰ ام، روزهای حدی دبی انتخاب شدند و سپس با استفاده از داده های مورد نیاز با استفاده از داده های بزرگ مقیاس NNRP1، متغیرهای توصیف کننده دبی حدی همچون، بارش و فشار و با مدل های SDSM و Regcm4 تجزیه و تحلیل شد. شکل ۲ فلوجارت مراحل انجام این پژوهش را نمایش می دهد.

مدل های GCM^۱

هیئت بین الدول تغییر اقلیم برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم جهانی از سال ۱۹۹۸ به انتشار سناریوهای مختلف براساس ویژگی های جمعیت، اقتصاد و تکنولوژی پرداخته



شکل ۲. فلوجارت مراحل انجام تحقیق

http://www.cccsn.ec.gc.ca/ فقط برای دوره مشاهداتی (NCEP/NCAR1961-2005) استفاده شده است. در این پژوهش هدف شبیه‌سازی داده‌های آینده نیست و فقط داده‌های بزرگ‌مقیاس مرکز بازتحلیل NCEP/NCAR برای شبیه‌سازی بارش حدی روزهای مد نظر و همچنین ارزیابی مدل SDSM استفاده شده است. بنابراین، خاطرنشان می‌شود از سناریوی خاصی استفاده نشده است زیرا این سناریوها فقط برای شبیه‌سازی آینده مد نظرند.

مدل RegCm4

نخستین مدل RegCm4 در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا در اواخر دهه ۱۹۸۰ ایجاد شد [۲۴]. هسته دینامیکی مدل Regcm4 بسیار مشابه ورژن هیدروستاتیکی مدل MM5 است [۲۵]. این مدل شامل ۱۸ سطح سیگمای عمودی در پنج سطح ۴۰، ۱۱۰، ۳۱۰، ۷۳۰ و ۱۴۰۰ متر از سطح در لایه تروپوسفر است [۲۶]. طرح‌واره‌های بارشی گرل^۱، ایمانوئل^۲ و کو^۳ از مهم‌ترین طرح‌واره‌های بارش همرفتی آن محسوب می‌شوند. طرح Subgrid Explicit Moisture

مدل SDSM

این مدل آماری قادر است اطلاعات خروجی GCM را در حد ایستگاه ریزمقیاس کند. در این مدل با ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی داده‌های متغیرهای هواشناسی ساخته می‌شود [۲۳]. این مدل که از داده‌های روزانه استفاده می‌کند هفت گام اصلی است که عبارت‌اند از: کنترل کیفی داده‌ها، نمایش آزمون و خطای متغیرهای مستقل، واسنجی یا کالیبره مدل، مولد مصنوعی جو (داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی می‌کند)، آنالیزهای آماری، خروجی‌های گرافیکی و تولید سناریوهای آینده (داده‌های آینده را در منطقه ریزمقیاس می‌کند). در این مدل داده‌های بارش، شرطی مدل‌سازی می‌شوند و باید برای آنها آستانه تعریف کرد. برای داده‌های بارش که چولگی دارند گزینه‌های وجود دارد که این امکان را مهیا می‌کند این داده‌ها به ریشه چهارم و یا لوگ نرمال تبدیل شوند. انتخاب متغیرهای مستقل بسیار مهم است و در خروجی نتایج تأثیر زیادی دارند. بنابراین، در مرحله آزمون خطای متغیرهای مستقل استفاده از همبستگی جزئی و واریانس تبیین‌شده می‌تواند در انتخاب هر چه بهتر متغیرها پژوهشگر را یاری کند. داده‌های این مدل از پایگاه کانادایی

1. Grell
2. MIT-Emanuel
3. Kuo

از: رطوبت مطلق، نم ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و فشار سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال. پس از این انتخاب داده های مشاهداتی با شبیه سازی داده های NCEP/NCAR از خروجی SDSM مقایسه شدند، نمونه دو ایستگاه در شکل ۳ نمایش داده شده است و در جدول ۲ نتایج این مقایسه مشاهده می شود. همان طور که مشاهده می شود مدل قادر به شبیه سازی داده های بارش حدی روزهای ۱۰ تا ۱۵ می ۱۹۹۲ نبوده است. خطای مطلق مدل نشان از کاهش تخمین ۱۱ تا ۲۱ میلی متری در شبیه سازی بارش دارد و ضرایب تبیین کم نیز گویای آن است مدل فقط در ایستگاه رامیان تا حدی نتایج قابل قبولی دارد.

نتایج و تحلیل نقشه های هوای خروجی مدل Regcm4

در روزهای ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱، ایستگاه های هیدرومتری در حوضه گرگان رود دبی بالایی را ثبت کردند. به منظور مقایسه با خروجی مدل SDSM از این روزها و همچنین برای بالابردن وضوح فضایی داده های NCEP/NCAR که در وضوح ۲/۵ در ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی هستند، این دو روز با تنظیمات جدول ۳ با وضوح افقی ۶۰ کیلومتر در مدل ناحیه ای Regcm4 شبیه سازی شد. خروجی بارش مدل Regcm4 به کیلوگرم بر مترمربع در روز است. جدول ۴ نتایج بین سری مشاهداتی و سری شبیه سازی شده توسط این مدل را نشان می دهد. تحلیل های آماری با استفاده از آماره های ضریب همبستگی، تبیین و خطای مطلق میانگین نشان می دهد ایستگاه های رامیان، سد گرگان، آراز کوسه و آق قلا کمترین خطا را در منطقه نمایش می دهند در صورتی که در ایستگاه های دیگر بالا تخمین زدن مدل کاملاً مشهود است که این می تواند به دلیل شرایط پیچیده محیطی حاکم بر ایستگاه ها باشد که تأثیر توپوگرافی محلی و دخالت شرایط بحری و همچنین ویژگی های دینامیکی مدل از جمله تأثیر انتخاب وضوح ریزمقیاس سازی و spin-up همه نتایج را تغییر می دهند. ایستگاه های بدون تأثیر پیچیده توپوگرافی و فقط با تأثیر ساحلی نتایج بسیار دقیق تری را نمایش می دهند. همچنین ضرایب همبستگی صفر در ایستگاه لزوره کاملاً نمایش دهنده ناتوانی مدل در شبیه سازی بارش این ایستگاه است.

Scheme (SUBEX) برای ابرهای غیرهمرفتی و بارشی در مدل استفاده شده است. در این طرحواره تغییرپذیری زیر شبکه ای از ابرها با پیوند میانگین رطوبت نسبی سلول به درصد ابرناکی و آب ابر با پیروی از کار ساندویست و همکارانش (۱۹۹۸) [۲۷] محاسبه می شود. مدل انتقال تابشی از مدل اقلیمی فراگیر ورژن CCM3 NCAR [۲۸]، طرح ابر کومولوس گرل [۲۹]، با طرح فریچ چاپل [۳۰]، در این مدل استفاده شده است. فرایندهای سطحی-زمینی با استفاده از طرح انتقالی جو-بیوسفر^۱ و CLM^۲ در آن گنجانده شده است [۳۱]. طرح پارامتریزه کردن انتقالی جو-بیوسفر برای توصیف تأثیر رطوبت خاک و پوشش گیاهی استفاده می شود که معادلات مومنتوم، انرژی و بخار آب مرتبط با جو-سطح را محاسبه می کند و شامل لایه پوشش گیاهی و لایه خاک سطح و برف و ۲۰ نوع پوشش گیاهی است. مدل CLM شامل یک لایه پوشش گیاهی، ۱۰ لایه خاک، پنج لایه برف و ۲۴ نوع پوشش گیاهی است. در این طرح برای هر لایه دمایی، آب مایع و یخی به طور واضح حل و فصل شده است. معادلات مومنتوم، ترمودینامیک و هیدروستاتیک از اصلی ترین معادلات مطرح در این مدل است.

در انتها، برای مقایسه دو مدل از آماره های زیر استفاده شده است:

- ضرایب همبستگی بین داده های مشاهداتی و ریزمقیاس شده.

- ضرایب تبیین.

- خطای مطلق میانگین که عبارت است از مجموع تفاوت داده های مشاهداتی و ریزمقیاس تقسیم بر تعداد ماهها.

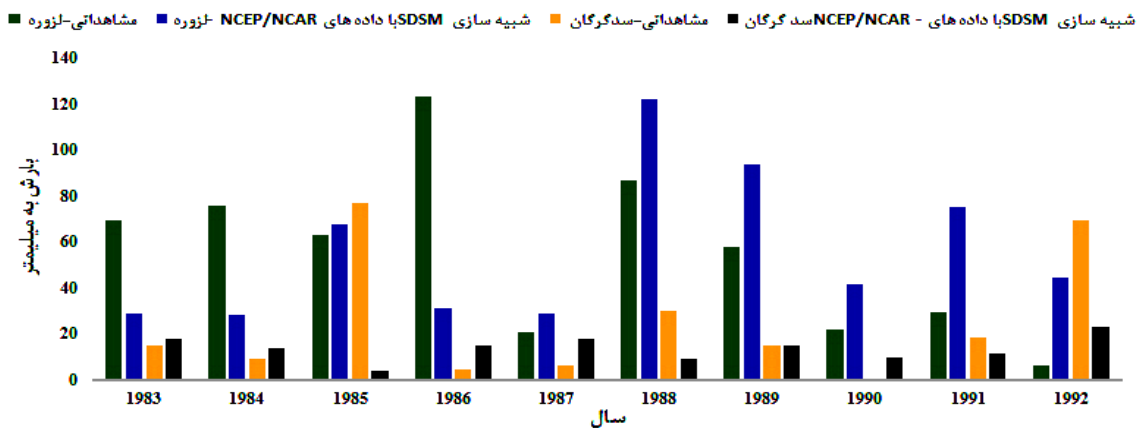
یافته ها

ابتدا با استفاده از صدک ۹۰ ام در بین شش ایستگاه منتخب حوضه گرگان رود، طی دوره مشترک ۱۹۸۳-۲۰۱۳، روزهای ۱۰ تا ۱۵ می سال ۱۹۹۲ انتخاب شد که بیشترین بارش و دبی را داشته اند. متغیرهای بزرگ مقیاس مرکز NCEP/NCAR که در مرحله آزمون خطا برای شبیه سازی بارش توسط SDSM استفاده شده اند عبارت اند

1. Biosphere-Atmosphere transfer scheme (BATS)
2. Community land model

جدول ۲. نتایج ضرایب همبستگی و ضریب تبیین بین دو سری

ایستگاه	ضرایب همبستگی	ضرایب تبیین	خطای مطلق
رامیان	۰/۴۲	۰/۱۸	-۱۱/۷۵
آق قلا	-۰/۲۴	۰/۰۶	-۱۷/۲۶
تمر	-۰/۰۴	۰/۰۰۲	-۲۰/۶۴
سد گرگان	-۰/۰۱۱	۰/۰۱	-۴/۳۲
آراز کوسه	-۰/۰۲	۰/۰۰۰۵	-۹/۰۷
لرزه	۰/۱۰	۰/۰۱	-۱۶/۳۹



شکل ۳. نمودار خروجی SDSM در مقایسه با داده‌های مشاهداتی (ایستگاه لرزه و سد گرگان)

جدول ۳. تنظیمات مدل Regm4

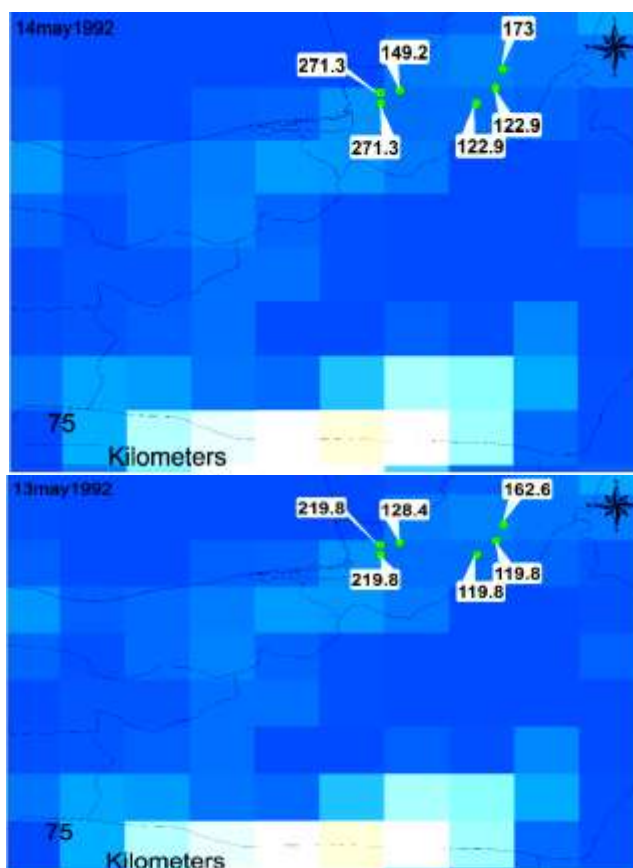
Jy (تعداد گرید در امتداد عرض جغرافیایی)	۸۸
Jx (تعداد گرید در امتداد طول جغرافیایی)	۶۴
Ds (وضوح افقی)	۶۰ km
Clat (عرض مرکزی)	۳۸
Clon (طول مرکزی)	۵۰
Dt (گام زمانی برای مدل اتمسفری به ثانیه)	۱۲۰
Icup (طرح‌واره همرفت کومولوس)	۲ (گرل)
Idate 1 (تاریخ آغاز)	1992.05.08
Idtae 2 (تاریخ پایان)	1992.05.16

جدول ۴. نتایج ضرایب همبستگی و ضریب تبیین بین دو سری شبیه‌سازی مدل Regm4 و داده مشاهداتی

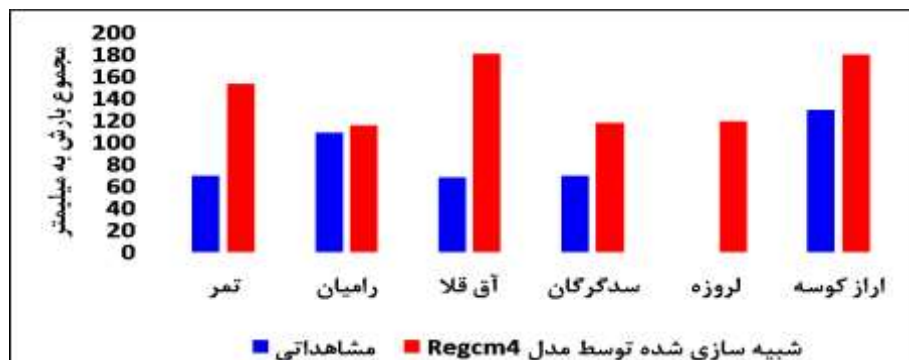
ایستگاه	ضرایب همبستگی	ضرایب تبیین	خطای مطلق
رامیان	۱	۱۰۰	۶/۹
آق قلا	۰/۹۰	۰/۸۱	۸۳/۷
تمر	۰/۸۵	۰/۷۲	۱۱۲/۱۸
سد گرگان	۰/۹۶	۰/۹۲	۴۷/۵
لرزه	۰	۰	۱۱۹/۸
آراز کوسه	۰/۹۵	۰/۹۰	۵۰

استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری بارش زیادی را نشان می‌دهند. در روز ۲۲ اردیبهشت بارش کمتر بوده، اما در روزهای ۲۳ و ۲۴ رفته‌رفته بر میزان بارش‌ها افزوده شده است و مناطق وسیع‌تری را در مرکز ایران نیز شامل می‌شود با اینکه بیشترین بارش‌ها در جنوب است، اما مشخص است شرق و به‌ویژه غرب سواحل خزر نیز بارش داشته است.

شکل‌های ۴ و ۵ نتایج خروجی بارش این مدل را برای منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل طی دو روز منتخب که دارای بیشترین بارش بوده، بارش منطقه مطالعه شده را به‌درستی شبیه‌سازی کرده است. در این دو روز قسمت‌های زیادی از کشور بارش زیادی داشته‌اند در مناطقی از رشته‌کوه‌های زاگرس و به‌ویژه نواحی جنوب غرب، غرب کرمان، شیراز



شکل ۴. مجموع بارش محاسبه شده (در فواصل شش‌ساعته) توسط مدل Regcm4-۲۳ اردیبهشت ۱۳۷۱ (راست) و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱ (چپ)

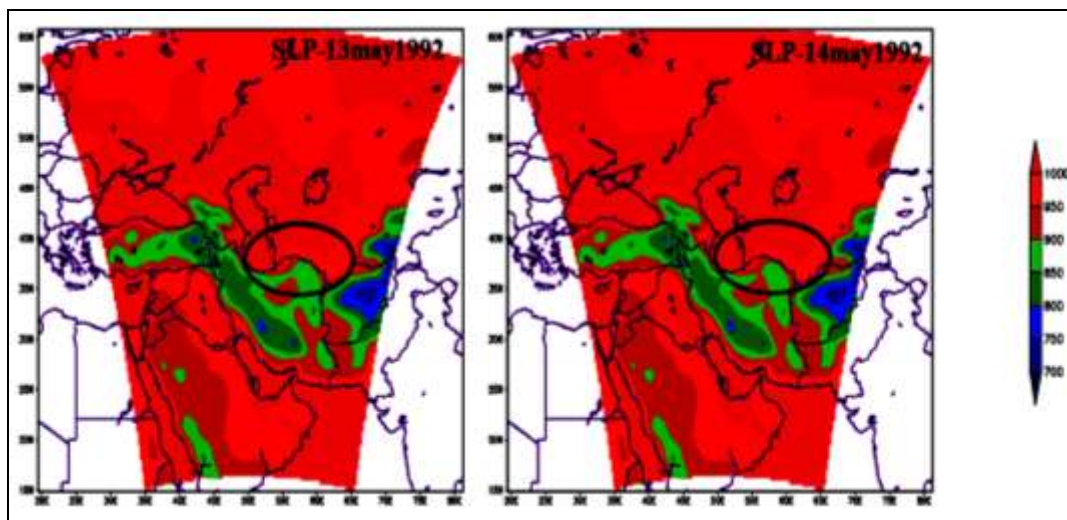


شکل ۵. شبیه‌سازی مدل Regcm4 تاریخ ۲۳ اردیبهشت ۱۳۷۱

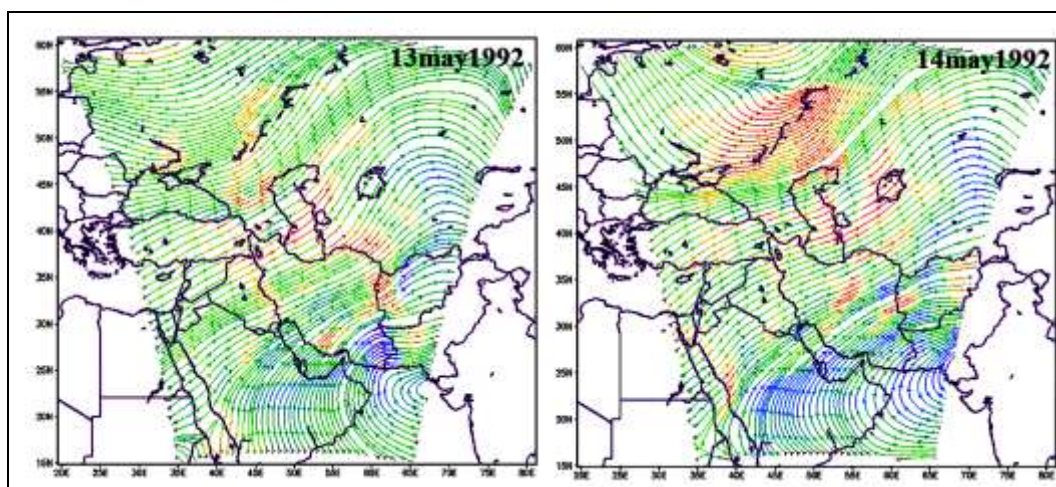
سیستم‌های یکسانی دارند. استقرار این الگوهای فشاری سبب ریزش بارش‌ها و متعاقب آن رقم‌زدن دبی حداکثر برای منطقه شده است (شکل ۶).

شکل ۷ نشان‌دهنده خطوط جریان طی این دو روز است. این شکل نشان می‌دهد جریانات وارد شده به منطقه از نوع جنوبی و غربی است که رطوبت از طریق خلیج عدن و دریای سرخ و همچنین دریای سیاه و مدیترانه به صورت جریانات جنوبی و غربی وارد منطقه شده‌اند. تأمین رطوبت سیستم‌های کم‌فشار عامل اصلی بقا طی دو روز متوالی است، در غیر این صورت این سیستم‌ها که مکش قوی دارند قادر نیستند تولید بارش کنند و بدون رطوبت فقط گرد و خاک در مناطق گوناگون را دامن می‌زنند.

شکل ۶ نقشه‌های فشار سطح دریای به دست آمده از مدل Regcm4 را در روزهای ۱۳ و ۱۴ می که منطقه نیز بیشترین بارش طی دوره مطالعاتی داشته است را نشان می‌دهد. در این نقشه (شکل ۶) حاکمیت دو الگوی مشابه کم‌فشار در سطح دریا با فشار مرکزی ۹۰۰ تا ۹۵۰ هکتوپاسکال روی منطقه مطالعه شده دیده می‌شود. سیستم‌های بسیار قوی کم‌فشار دیگری در رشته‌کوه‌های زاگرس و مناطق داخلی ایران از جمله کرمان و دشت لوت مشاهده می‌شوند، کم‌فشار منطقه با حرکت پادساعت‌گرد شرایط مناسبی را برای صعود هوایی فراهم می‌کند که هم در این منطقه حضور دارد و هم از مناطق دیگر وارد می‌شود شرایط مناسب رطوبتی نیز علت اصلی بارش زیاد این روز است. این سامانه‌ها در دو روز متوالی



شکل ۶. فشار سطحی محاسبه شده (در فواصل شش ساعته) توسط مدل Regcm4-۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱

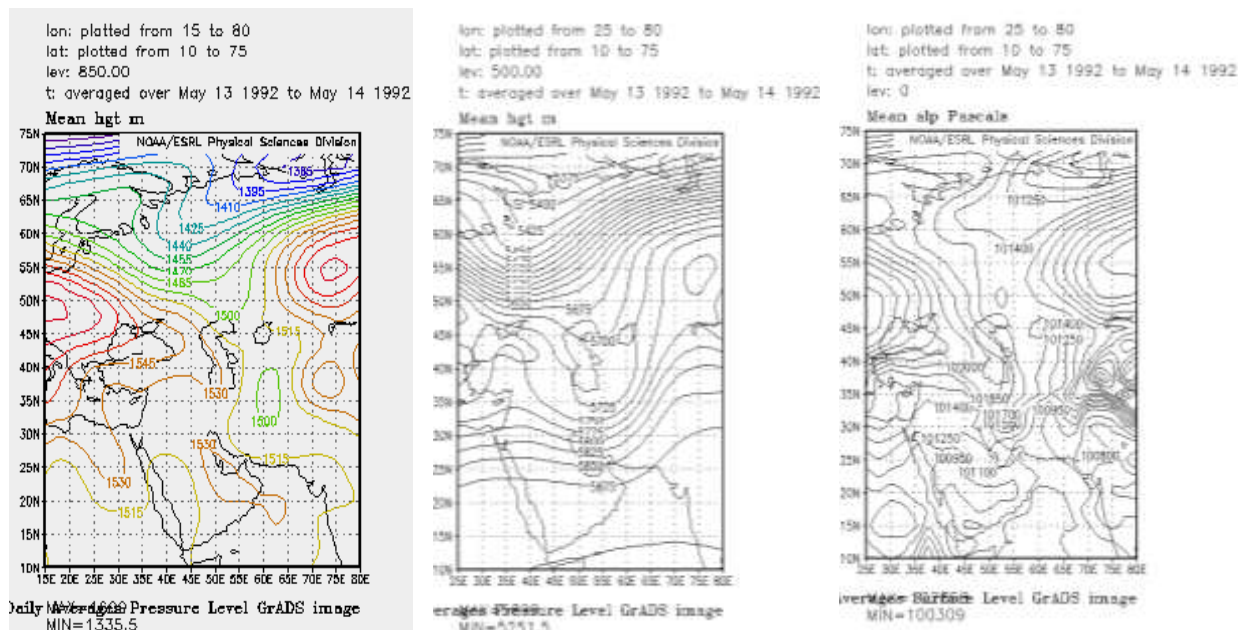


شکل ۷. نقشه خطوط جریان (در فواصل شش ساعته) خروجی مدل Regcm4-۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱

SDSM در شبیه‌سازی بارش بهتر از مدل LARS-WG عمل می‌کند [۳۳] که نتایج محققان یادشده را تأیید می‌کند. همچنین قاسمی‌فر (۱۳۹۱) نشان داد مدل SDSM فقط در شبیه‌سازی دما می‌تواند قابل استفاده باشد و به‌خوبی تحلیل‌کننده بارش نیست [۳۴]. قهرمان و همکارانش (۱۳۹۴) نیز عملکرد زیاد مدل را در شبیه‌سازی بارش در شمال غرب نشان دادند [۱۸]. همچنین در بررسی بارش هیمالیا نیز عملکرد زیاد مدل Regcm4 نشان داده شده است [۳۵]. این نتایج درباره بارش‌های ایالات متحده نیز اثبات شده است [۳۷]. همان‌طور که نتایج یادشده مقایسه مدل‌ها در مطالعات متعددی را نشان می‌دهد، یادآوری می‌شود امروزه مطالعات تغییرات اقلیمی جنبه مقایسه‌ای دارد تا با وجود عدم قطعیت‌های متعدد موجود در مدل‌های طراحی‌شده برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیم بتوان بهترین نتیجه را به‌دست آورد. همان‌طور که مشخص است در مدل‌های آماری جزء ناخواسته هر شبیه‌سازی خطای زیاد است در صورتی که این خطا در مدل‌های دینامیکی به‌دلیل دخالت تأثیر کاربری اراضی، توپوگرافی و سایر عوامل محیطی کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد مدل دینامیکی برای منطقه مطالعه‌شده نتایج دقیق‌تری را به‌منظور ریزمقیاس‌سازی بارش ارائه می‌دهد.

در شکل ۸ که سامانه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل را نشان می‌دهند نکات شایان توجهی آشکار می‌شود. در نقشه فشار سطح دریا کم‌فشارهای گسترده‌ای بر منطقه حاکمیت داشتند. در نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل این کم‌فشار با کم‌ارتفاع‌های سطوح فوقانی جو در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ همراهی را نشان می‌دهد. در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکالی یک ناوه عمیق دیده می‌شود که منطقه مد نظر در سمت راست این ناوه قرار گرفته که محل صعود و اگرایی هواست و در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی کم‌ارتفاع بسته‌ای (cut off) با ارتفاع ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر مشاهده می‌شود. همه منطقه مطالعه‌شده در هر دو تراز زیر سیطره این کم‌ارتفاع‌ها هستند که سبب صعود هوا و در نتیجه بارش شدید در این روزها شده است.

به‌طور کلی، نتایج شبیه‌سازی‌های مدل‌ها قدرت عملکرد بسیار کم مدل آماری را نشان می‌دهند. در صورتی که احمدی و همکارانش (۲۰۱۶) با بررسی مدل آماری LARS-WG و دینامیکی Regcm4 نشان دادند بارش‌ها تحت شبیه‌سازی مدل آماری بهتر قابل تبیین است [۳۲]. در صورتی که مدل دینامیکی در این مورد ضعیف عمل کرده است البته از بررسی‌های قبلی مدل‌های آماری توسط ناصرزاده و همکارانش (۱۳۹۵) مشخص شده بود که مدل



شکل ۸. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز سطح دریا ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۷۱ (مأخذ سایت ncep/ncar)

بحث و نتیجه‌گیری

تا کنون به مطالعاتی که در زمینه ارزیابی بین مدل‌های آماری تغییرات اقلیم و مدل‌های دینامیکی باشد توجه چندانی نشده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی عملکرد مدل آماری SDSM و مدل دینامیکی Regcm4 در شبیه‌سازی بارش حدی که به ثبت رخداد دبی منجر شده است به همراه تحلیل سینوپتیک این رویداد بوده است. این ارزیابی با استفاده از آماره‌های ضرایب همبستگی، ضرایب تبیین و خطای مطلق میانگین صورت گرفت. ابتدا براساس صدک ۹۰ ام در بررسی داده‌های دبی مشخص شد روزهای ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت دبی بالایی را به ثبت رسانده‌اند که در هر شش ایستگاه منتخب (جز لروزه) این نتایج نشان‌دهنده حدی و فراگیربودن این دبی بوده است. نتایج بررسی مدل آماری رگرسیونی و مولد مصنوعی SDSM نشان داد این مدل در تخمین بارش بسیار پایین‌تر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی می‌کند و ضرایب تبیین کم دارد. نمودار سری زمانی این مدل طی ده سال مشاهداتی بیان‌کننده عملکرد بسیار ضعیف مدل در شبیه‌سازی بارش حدی است. طبق پژوهش‌های گذشته نیز مشخص شده است این مدل در تخمین بارش عملکرد ضعیفی دارد و فقط برای دما قابلیت زیادی دارد [۳۴].

مدل Regcm در شبیه‌سازی بارش عکس مدل آماری عمل کرده است و بارش بیشتر از داده مشاهداتی را شبیه‌سازی کرده است، اما ضرایب تبیین آن بالا و به‌خصوص در ایستگاه رامیان مشابه داده مشاهداتی است. قابلیت زیاد این مدل در طرح‌واره‌ها و دخالت‌دادن عوامل محلی است که قابلیت حل و فصل بارش‌های اروگرافیکی را نیز داراست، اما طبق بررسی‌های پیشین نیز بیش‌برآوردی این مدل جای بحث دارد [۱۸].

الگوهای سینوپتیکی منجرشده به بارش حدی نمایش‌دهنده حاکم‌بودن سیستم کم‌فشاری قوی روی منطقه مطالعه‌شده و در ارتفاعات بیشتر حاکم‌بودن کم‌ارتفاع است. همچنین خطوط جریان الگوی جنوبی و غربی را برای منطقه نمایش می‌دهد که با کم‌ارتفاع حاکم روی دریای سیاه و مدیترانه تبیین‌کننده انتقال رطوبت به این منطقه است. این مطالعه فقط از یک تنظیمات خاص برای ارزیابی مدل Regcm استفاده کرده است. استفاده از دیگر طرح‌واره‌های بارش همرفت، شرایط مرزی و... در بهبود عملکرد نتایج غیرقابل انکار است.

به‌طور کلی، بیش‌برآوردی (over estimate) در مدل دینامیکی و کم‌برآوردی (under estimate) در مدل آماری قابل مشاهده است.

منابع

- [1]. Qi S, Sun G, Wang Y, McNulty S.G, Moore Myers J.A. Streamflow response to climate and landuse changes in a coastal watershed in North Carolina. *Trans ASABE*. 2009;52:739-49.
- [2]. Fischer E.M, Knutti R. Detection of spatially aggregated changes in temperature and precipitation extremes. *Geophys. Res. Lett*. 2014; 41. <http://dx.doi.org/10.1002/2013GL058499>.
- [3]. Paparrizos S, Maris F, Matzarakis A. Integrated analysis of present and future responses of precipitation over selected Greek areas with different climate conditions. *Atmos. Res*. 2016; 169 (Part A): 199-208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.10.004>.
- [4]. Ahmadvand Kahrizi M, Rouhani H. Assessing the conservation impacts of climate change based on temperature projected on 21 century (Case study: Arazkoseh and Nodeh stations). *Eco Hydrology*, 2017; 3(4): 597-609. [Persian].
- [5]. Chen H, Xu C.Y, Guo S. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*. 2012; 434-435 : 36-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.040>.
- [6]. Fowler H.J, Blenkinsop S, Tebaldi C. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int. J. Climatol*. 2007; 27 (12): 1547-1578. DOI: 10.1002/joc.1556.
- [7]. Sunyer M.A, Madsen H, Ang P.H. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. *Atmospheric Research*. 2012; 103 : 119-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.06.011>.
- [8]. Willems P, Vrac M. Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. *Journal of Hydrology*. 2011; 402:193-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.030>.

- [9]. Lee T, Jeong C. Nonparametric statistical temporal downscaling of daily precipitation to hourly precipitation and implications for climate change scenarios. *Journal of Hydrology*.2014; 510 :182–196.. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.027>.
- [10]. Mandal S, Srivastav R.K, Simonovic S.P. Use of beta regression for statistical downscaling of precipitation in the Campbell River basin, British Columbia, Canada. *Journal of Hydrology*.2016; 538:49–62.
- [11]. Asong Z.E, Khaliq M.N, Wheeler H.S. Projected changes in precipitation and temperature over the Canadian Prairie Provinces using the Generalized Linear Model statistical downscaling approach. *Journal of Hydrology*.2016; 539:429–446. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.044>.
- [12]. Piras M, Mascaro,G, Deidda R, Vivoni E.R. Impacts of climate change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin. *Science of the Total Environment*.2016; 543, :952–964. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.088>.
- [13]. Hundecha Y, Sunyer M.A, Lawrence D, Madsen H, Willems P, Bürger G, et al. Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme flow indices across Europe. *Journal of Hydrology xxx* , xxx–xxx.2016.<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.033>.
- [14]. Bhatla R, Ghosh S, Mandal B, Mall R.K, Sharma K. Simulation of Indian summer monsoon onset with different parameterization convection schemes of RegCM-4.3. *Atmospheric Research*.2016; 176–177:10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.010>
- [15]. Laflamme E.M, Linder E, PanY. Statistical downscaling of regional climate model output to achieve projections of precipitation extremes. *Weather and Climate Extremes*.2016; 12: 15–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.12.001>
- [16]. Onyutha O, Tabari H, Rutkowska A, Nyeko-Ogiramo,P, Willems P. Comparison of different statistical downscaling methods for climate change rainfall projections over the Lake Victoria basin considering CMIP3 and CMIP5. *Journal of Hydro-environment Research*.2016; 12: 31–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2016.03.001>
- [17]. Mohammadi, F, Zarrin,A and Babaian,I.The performance of climate models to simulate rainfall Recm4 cold period in Fars Province: A Case Study period from 1990 to 2010. *Earth and Space Physics*.1394; 41(3Fall): 511-524. [Persian]
- [18]. Ghahraman N, Babaian I,Azadi M. Post statistical processing output Regcm4 pattern of rainfall on the North West of Iran. the study of physical geography.1394 ; 47(3):385-398. [Persian]
- [19]. Jamab,Gorgan Basin.1387. [Persian].
- [20]. Azari M, Moradi H, Saghafian B, Faramarzi M. Effects of climate change on watershed hydrology Gorgan.soil and water J (AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY).1392; 27(3 July – September): 547-537.[Persian].
- [21]. Zarghami M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*.2011; 78(3–4): 137-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.06.003>
- [22]. <http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=pred-canesm2>.
- [23]. Delghandi M , Moazenzadeh R. Investigating spatiotemporal variations of precipitation and temperature over Iran under climate change condition considering AOGCM models and emission scenarios uncertainty. *Eco Hydrology*,2017; 3(3): 321-331. [Persian].
- [24]. Giorgi F. Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires. *J. Geophys. Res.* 1989;94:1127–1144. DOI: 10.1029/JD094iD01p01145.
- [25]. Grell G.A. prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev*1993;121: 764-787. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2).
- [26]. Giorgi, F., and G. T. Bates, The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Rev.*1989; 117:2325–2347. DOI:[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<2325:TCSOAR>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<2325:TCSOAR>2.0.CO;2).
- [27]. Sundqvist H, E Berge, and J. E Kristjansson. The effects of domain choice on summer precipitation simulation and sensitivity in a regional climate model, *J. Climate*.1989; 11: 2698–2712. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2698:TEODCO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2698:TEODCO>2.0.CO;2).
- [28]. Kiehl J. T, J. J Hack, G. B Bonan, B. A Boville, B. P Breigleb, D Williamson, and P

- Rasch. Description of the near community climate model (ccm3). Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR. National Center for Atmospheric Research, 1996. <http://dx.doi.org/10.5065/D6FF3Q99>.
- [29]. Grell G.A. prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev*1993;.121: 764-787. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1993\)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1993)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2).
- [30]. Fritsch J.M,Chappell C.F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. part 1: Convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*1980;37: 1722-1733. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<1722:NPOCDM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<1722:NPOCDM>2.0.CO;2).
- [31]. Dickinson R. E, A Henderson-Sellers and P. J Kennedy. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community climate model,NCAR technical note NCAR/TN-387+STR.1993; 72pp. doi:105065/D67W6959.
- [32]. Ahmadi M,Lashkari H, Keikhosrav Gh,Azadi M. Comparison of LARS_WG and RegCM4 models in simulation and post-processing of annual temperature and rain fall data in Great Khorasan,journal of Sepehr.2016;25:157-170. [*Persian*].
- [33]. Naserzadeh M,Ghasemifar E, Motamedi M, Analysis Drought for Observed and Future period using downscaling models (LARSWG and SDSM) in southern coastal of Caspian Sea, Geography and planning of urban and regional.2016;20:203-222. [*Persian*].
- [34]. Ghasemifar E. Investigation of regionalization of climate change over coast of caspian sea.MA thesis, supervisor:Bohloul Alijani,2012.Kharazmi University. [*Persian*].
- [35]. Tiwari PR,Chandrakar S,Mohanty UC,Dey S,Sinha P,Raju PVS,Shekhar MS, The role of land surface schemes in the regional climate model (RegCM) for seasonal scale simulations over Western Himalaya, *Atmósfera*.2016: 28(2), 129-142.
- [36]. Daniel A, Changes in extreme precipitation events over the central United States in AOGCM-driven regional climate model simulations, Graduate Theses and Dissertations in Agricultural Meteorology,2015.