

بررسی اثر عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM

باقر قرمزچشمه^{۱*}، علی اکبر رسولی^۲، مجید رضائی بنفشه^۳، علیرضا مساح بوانی^۴ و علی محمد خورشید دوست^۵
^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، ^۲ استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، ^۳ دانشیار،
دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز و ^۴ دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۴

چکیده

در روش‌های آماری که براساس رابطه بین داده‌های گردش عمومی اتمسفری-اقیانوسی و هر یک از عناصر اقلیمی (بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر) ایجاد می‌شود، دوره آتی آن عنصر اقلیمی شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به این‌که ایستگاه یا منطقه مورد نظر در چه قسمتی از سلول قرار گرفته باشد، دقت ریزمقیاس گردانی ممکن است، متفاوت باشد. در منطقه شمال غرب کشور (حوضه دریاچه ارومیه) دقت ریزمقیاس گردانی آماری مدل SDSM در ایستگاه‌های مختلف آزمون شد. بدین منظور، مدل SDSM اجرا و برای هر یک از ماه‌های سال، دمای حداقل، حداکثر و بارش با داده‌های NCEP و اسنجی و ارزیابی شد. سپس، با داده‌های HadCM3 در دوره حاضر مدل ایجاد شده، مقادیر فوق را شبیه‌سازی کرد. با استفاده از معیار MBE میانگین فصلی و سالانه داده‌های HadCM3 و NCEP در دوره حاضر ارزیابی شد. پارامترهای مورفو-اقلیمی هر یک از ایستگاه‌ها استخراج و رابطه بین این پارامترها و میزان خطای مدل بررسی شد. نتایج نشان داد که دقت بارش ایستگاه‌هایی که در گوشه‌های مختلف سلول HadCM3 واقع شده، با دقت کمتری ریزمقیاس شده است. به طوری که ایستگاه ارومیه با خطای ۱۰۴ میلی‌متر بیشترین (حاشیه سلول) و سقز با ۹/۴ میلی-متر (تقریباً در مرکز سلول) خطای کمی را به خود اختصاص دادند. دقت دمای حداکثر نیز در ایستگاه‌هایی که ارتفاع آن‌ها نزدیک به متوسط ارتفاع سلول بود، از دقت بیشتری برخوردار بود. ایستگاه پارس‌آباد با ارتفاع ۳۲ متر و اختلاف ارتفاع زیاد با متوسط ارتفاع سلول HadCM3 ۱/۱۴ و تبریز به دلیل نزدیک بودن به ارتفاع سلول یادشده ۰/۰۸ درجه سانتی‌گراد خطا نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، شبیه‌سازی، شمال غرب، HadCM3 و NCEP

مقدمه

آینده می‌باشند. با استناد بر این مدل‌ها، می‌توان معادلات دینامیکی حرکت توده‌های هوا را حل نمود (Wilby و Harris، ۲۰۰۶). از این‌رو، سناریوهای مختلفی در خصوص افزایش گازهای گلخانه‌ای در قالب مدل‌های گردش عمومی جو تعریف شده است. از آنجایی که دقت مکانی مدل‌های عمومی گردش جو بسیار کم است، نمی‌توان نتایج آن‌ها را به‌طور مستقیم

تاثیر افزایش گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم و تغییر آن از دغدغه‌های پژوهشگران است. چرا که تغییر اقلیم بر تمامی فرآیندهای منابع طبیعی به‌خصوص منابع آب و به تبع آن بر زندگی بشر تاثیرگذار است. مدل‌های جفت شده اتمسفری-اقیانوسی گردش عمومی جو (AOGCM) قادر به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در

شامل بارش روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه استفاده شد. آن‌ها عدم قطعیت سه مدل فوق را برای متوسط ماهانه و واریانس پارامترهای ریزمقیاس شده روزانه و مقادیر مشاهده‌ای در هر ماه در سطح ۹۵ درصد اطمینان بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل SDSM بیشترین و شبکه عصبی کمترین دقت را داشته و مدل LARS-WG دقت متوسطی دارد.

در پژوهش دیگری، تأثیرات پدیده دگرگونی اقلیم بر روی منابع آب حوضه‌ای در کانادا به همراه تخمین عدم قطعیت آن با استفاده از رهیافت بیز و شبکه عصبی بررسی شد (Khan و Coulibaly، ۲۰۰۶). این پژوهش مشتمل بر سه فاز بود که در فاز نخست، مدل لازم برای ریزمقیاس کردن از بین سه مدل مختلف انتخاب و در فاز دوم مقایسه بین ANN، BNN^۵ (شبکه عصبی مصنوعی) و HBV^۶ (که یک مدل مفهومی بارش-رواناب توسعه یافته در کشورهای اسکانندیناوی است) انجام شد. در فاز سوم با استفاده از BNN اقدام به مطالعه اثرات تغییر اقلیم شد. ورودی‌های این مدل، دما و بارش دوره آتی بودند که با استفاده از یک مدل گردش عمومی جو موسوم به CGCM به دست آمدند.

Dibike و همکاران (۲۰۰۶) در کانادا، دقت روش شبکه عصبی مصنوعی به نام TLFN^۷ را بررسی کردند. برای این منظور، از داده‌های CGCM2 استفاده و برای ریزمقیاس کردن دو روش SDSM و TFLN را به کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش TFLN به‌خصوص در ریزمقیاس کردن بارش روزانه از دقت خیلی بیشتری برخوردار است. لازم به توضیح است که TFLN و RNN^۸ دو گروه مهم شبکه اصلی دینامیک محسوب می‌شوند که استفاده فراوانی در آنالیزهای سری زمانی دارند (Coulibaly و همکاران، ۲۰۰۱)

وضعیت اقلیمی کشور ایران تحت دو مدل HadCM2 و ECHAM4 و با استفاده از سه سناریوی انتشار IS92 مورد آزمون قرار گرفته است. این بررسی‌ها

در علوم مختلف به کار برد. لذا، نیازمند تبدیل به مقیاس‌های مکانی کوچک‌تر می‌باشد که به آن ریزمقیاس‌گردانی^۱ می‌گویند.

به‌طور کلی، دو روش دینامیکی و آماری برای ریزمقیاس کردن وجود دارد (IPCC، ۲۰۰۷) که مدل‌های مختلفی مبتنی بر آن‌ها به‌وجود آمده است. در روش‌های آماری بین پارامترهای خروجی مدل‌های AOGCM و عناصر اقلیمی مانند بارش و دما در مقیاس روزانه رابطه برقرار می‌شود. با توجه به این‌که پارامترهای خروجی مدل‌ها نماینده میانگین کل یک سلول (در مدل HadCM3 ابعاد ۳/۷۵ در ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی) است، لذا دقت تعمیم مکانی مدل‌ها برای ایستگاه‌هایی که در نقاط مختلف یک سلول واقع شده است، می‌تواند متفاوت باشد. تاکنون پژوهش‌های زیادی در خصوص دقت مدل‌های آماری ریزمقیاس‌گردانی در دنیا و ایران انجام شده است.

به‌طور کلی، مدل‌های تجربی ریزمقیاس‌گردانی آماری شامل رگرسیون خطی چندمتغیره، آنالیز ارتباط کانونی، نزدیک‌ترین همسایه و روش شبکه عصبی است. این مدل‌ها توانایی محاسبه متغیرها در سطح قابل قبول برای ایستگاه‌ها را دارند، ولی در شرایط تاریخی مقادیر محاسباتی غیر واقعی به دست می‌آید. طی پژوهشی، XU (۱۹۹۹) به روش‌های ریزمقیاس کردن داده‌های AOGCM پرداخته و بر روی مشکلات استفاده از این مدل‌ها برای فرآیند مدل‌های هیدرولوژی تأکید داشته است. بررسی‌های وی نشان داد، هر یک از روش‌های ریزمقیاس‌گردانی دارای معایب و مزایای خود بوده و هر روش در یک منطقه یا ایستگاه ممکن است، مناسب باشد و روشی که بتوان برای مناطق مختلف توصیه کرد، وجود ندارد.

سه مدل آماری^۲ SDSM-LARS-WG^۳ و ANN^۴ توسط Khan و همکاران (۲۰۰۵) برای ریزمقیاس کردن پارامترهای هواشناسی مدل‌های AOGCM

^۵ Bayesian Neural Network

^۶ یک مدل مفهومی بارش-رواناب توسعه یافته در کشورهای اسکانندیناوی

^۷ Time Lagged Feed-Forward Networks

^۸ Recurrent Neural Network

^۱ Downscaling

^۲ Statistical Downscaling Model

^۳ Long Ashton Research Station Weather Generator

^۴ Artificial Neural Network

ریسک سیل حوضه‌ها و سناریوی افزایش دما به‌عنوان معیاری برای آنالیز خشک‌سالی منطقه بالادست حوضه تامیز^۴ ایالت انتاریوی کانادا انتخاب شد. Hadizadeh و همکاران (۲۰۱۱)، عدم قطعیت تغییر اقلیم را در برآورد بارش، تحلیل و ارزیابی نمودند. بدین منظور، ایستگاه بیرجند، انتخاب و از مدل ECHO-G تحت سناریوی A1 استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که داده‌های خروجی مدل فوق تا حد زیادی عدم قطعیت را در برآورد پارامترهای هواشناسی به‌خصوص بارش در برگرفته است. تغییر اقلیم برای دوره ۲۰۲۴-۲۰۱۱، میزان افزایش ۳/۷ میلی‌متر بارش را نشان داد ولی تغییرات آن در سال‌های فوق نوسانات زیادی داشت. در خصوص تغییرات فصلی نیز مدل، کاهش بارش زمستانه و افزایش بارش بهار را نشان داد.

Zarghami و همکاران (۲۰۱۱)، برای آذربایجان شرقی سه سناریوی تغییر اقلیم B1، A2 و A/B را با کمک مدل HadCM3 و با استفاده از دو روش ریزمقیاس LARS-WG و ANN محاسبه کردند. آن‌ها شش ایستگاه هواشناسی موجود را که دارای اطلاعات مناسب برای این منظور بودند را انتخاب کردند. بر این اساس، در افق ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، به‌طور متوسط ۲/۳ درجه سانتی‌گراد به دما افزوده شده و بارش حدود سه درصد تغییر خواهد یافت. آن‌ها برای بررسی تغییرات اقلیمی، از شاخص دو مارتن استفاده کرده و این مدل برای افق ۲۰۵۰ کاهش شاخص را نشان داد. Goodarzi و همکاران (۲۰۱۱)، دقت روش SDSM را در ریزمقیاس کردن متغیرهای دمای حداکثر، حداقل و بارش روزانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل به‌خوبی قادر به برآورد میانگین دمای حداقل و حداکثر بوده و بارش را کمی کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد نموده است.

دقت ریزمقیاس گردانی آماری داده‌های گردش عمومی جو GCM در پژوهش‌های زیادی مورد بررسی قرار گرفته و در برخی از آن‌ها عدم قطعیت و دقت روش‌ها محاسبه و مقایسه شده، ولی تاثیر عوامل مورفومتریک و اقلیمی بر دقت مدل‌ها بررسی نشده است. در این پژوهش، دقت مدل SDSM در

نشان داد که در صورت ثابت باقی ماندن میزان انتشار گازها در مقدار فعلی، باعث افزایش ۴/۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد در دما و تغییرات ۳۰/۹- تا ۵۰+ درصد در بارندگی می‌شود (Soltanieh, ۲۰۰۳).

Massah و Ashoft (۲۰۰۹)، تاثیر اقلیم بر شدت و فراوانی سیلاب دوره‌های آبی حوضه آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، از مدل جفت شده گردش مصنوعی اقیانوسی اتمسفری Hadcm3 و دو سناریو A2 و B2 استفاده شد. برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل فوق از روش تناسبی استفاده و در تبدیل بارش روزانه به رواناب مدل IHACRES^۱ به‌کار گرفته شد. برای ارزیابی دقت ریزمقیاس کردن دما و بارش از روش‌های ضریب همبستگی،^۲ RMSE و^۳ MAE استفاده شد. نتایج نشان داد که خطای مدل کم بوده، به‌طوری‌که MAE را برای دما در حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد و برای بارندگی چهار میلی‌متر به‌دست آوردند.

Vaseghi و همکاران (۲۰۱۱)، رواناب حوضه قره‌سو را تحت تاثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن دسته جمعی مدل‌های AOGCM بررسی کردند. آن‌ها دما و بارش را با استفاده از مدل WG-LARS ریزمقیاس نموده و سپس با معرفی سری زمانی داده‌های فوق به مدل بارش-رواناب IHACRES، سری زمانی بلندمدت رواناب روزانه را برای دوره‌های آبی تولید نمودند. نتایج نشان داد که رواناب در طول زمستان و تابستان افزایش و در پاییز کاهش یافته و در بهار تقریباً بدون تغییر خواهد بود. مقایسه دو سناریوی A2 و B1 در شبیه‌سازی نشان داد که مدل‌های سری A2 همواره دمای بیشتری را نسبت به مدل‌های سری B1 برآورد می‌نمایند، ولی در خصوص بارش و رواناب نتایج دو سناریو مشابه به‌دست آمد.

Sharif و Burn (۲۰۰۶)، سناریوی تغییر اقلیم را با استفاده از روش بهبود یافته K-nearest در هیدرولوژی شبیه‌سازی کردند. بر اساس نتایج آن‌ها، سناریوی افزایش بارش، به‌عنوان معیاری برای آنالیز

^۱ یک مدل بارش-رواناب می‌باشد

^۲ Root Mean Square Error

^۳ Mean Absolute Error

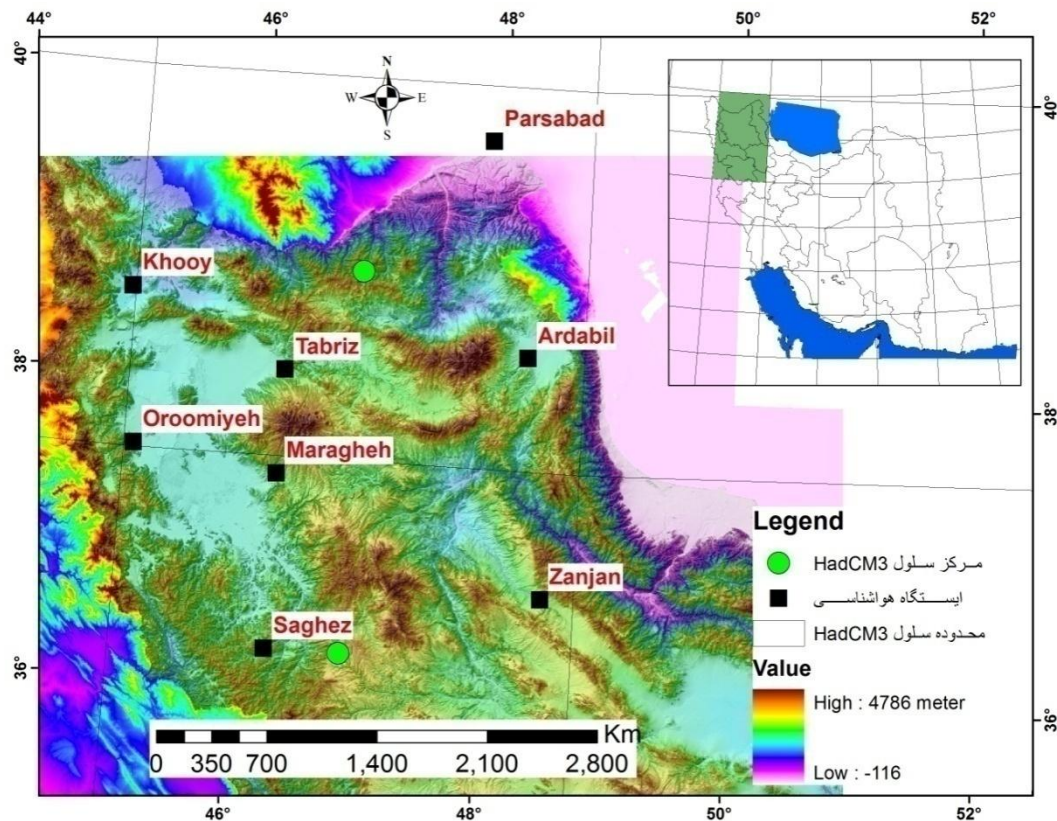
^۴ Thames

رودخانه‌های عمده این حوضه شامل نازلوچای، باران‌دوزچای، مهابادچای، آجی‌چای، زرینه‌رود، سیمینه‌رود و مجموعه‌ای دیگر از رودخانه‌های بخش غربی دریاچه ارومیه است. در غرب و جنوب‌غربی حوضه ارتفاعاتی در امتداد شمال به جنوب کشیده شده‌اند و می‌توان آن‌ها را جزئی از سلسله جبال زاگرس محسوب نمود که حوضه را از کشور ترکیه جدا می‌کنند. ارتفاع متوسط قله این کوه‌ها برابر ۳۰۰۰ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه دریاچه ارومیه در ایران را نشان می‌دهد.

ایستگاه‌های مختلف یک سلول HadCM3 محاسبه و تاثیر عوامل فوق بر دقت مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش: دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران بین استان‌های آذربایجان شرقی و غربی واقع شده است. این دریاچه بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب می‌شود. حوزه آبخیز دریاچه با مختصات جغرافیایی $33^{\circ} 44'$ تا $47^{\circ} 53'$ طول شرقی و $35^{\circ} 40'$ تا $37^{\circ} 29'$ عرض شمالی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه و حوضه دریاچه ارومیه در کشور

طول دوره آماری کمتری را داشتند که با توجه به ضرورت موضوع به ناچار مورد بررسی قرار گرفتند. ایستگاه‌های مورد پژوهش در دو سلول مدل HadCM3 واقع شدند. پس از تهیه سری زمانی داده‌های اقلیمی بارش، حداقل و حداکثر روزانه برای ریزمقیاس‌گردانی از مدل SDSM استفاده شد. در این مدل که از روابط رگرسیونی چندمتغیره خطی استفاده

روش پژوهش: در این پژوهش، داده‌های بارش روزانه، حداقل و حداکثر دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تحلیل شد. از آنجایی که دوره مورد بررسی داده‌های AOGCM ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ است، بازه زمانی فوق ملاک عمل قرار گرفت. از بین ایستگاه‌های سینوپتیک، پنج ایستگاه دارای طول کامل دوره آماری بوده و فقط ایستگاه‌های پارس‌آباد، اردبیل و مراغه

جزئی، معنی‌داری متغیرها با هر یک از عوامل وابسته مهمترین عوامل انتخاب شد.

در پنج ایستگاه تبریز، ارومیه، خوی، زنجان و سقز سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۶ برای تعیین رابطه رگرسیونی و واسنجی مدل در نظر گرفته شد. در ایستگاه‌های اردبیل، مراغه و پارس‌آباد سال‌های واسنجی مدل متفاوت بود که در جدول ۱ ارائه شده است. برای واسنجی از داده‌های NCEP استفاده شد. پس از استخراج رابطه رگرسیونی، دقت آن با ۲۵ درصد داده‌های باقی مانده و همچنین، داده‌های کلی دوره مشاهداتی ایستگاه‌ها با داده‌های HadCM3 تحلیل شد. در نهایت، برای کل دوره، اختلاف میانگین (MBE) دمای حداقل و حداکثر مدل نسبت به مقادیر مشاهده‌ای محاسبه شد. در خصوص بارش، اختلاف مقدار بارش سالانه مورد تحلیل قرار گرفت.

می‌شود، ۷۵ درصد داده‌ها برای واسنجی و تعیین روابط رگرسیونی و ۲۵ درصد دیگر برای اعتبار سنجی به کار گرفته شد. از آنجایی که مدل HadCM3 برای دوره حاضر و آتسی ۲۶ پارامتر سینوپتیکی را (پیش‌بینی‌کننده‌ها) محاسبه می‌کند، ایجاد یک رابطه با ۲۶ متغیر همراه با خطای تجمعی متغیرها همراه است و باید به متغیرهای مرتبط کاهش یابد. برای این منظور، میزان همبستگی هر یک از پیش‌بینی‌کننده‌ها با عوامل وابسته بارش، دمای حداقل و حداکثر محاسبه و متغیرهایی که از همبستگی بالایی برخوردار بودند، انتخاب شدند.

علاوه بر همبستگی متغیرها با عوامل اقلیمی مورد بحث، وجود همبستگی داخلی بین متغیرها نیز مورد تحلیل قرار گرفت و در نهایت با توجه به همبستگی

جدول ۱- دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل

نام ایستگاه	دوره واسنجی	دوره اعتبارسنجی	دمای حداقل (°C)	دمای حداکثر (°C)	بارش (mm)
مراغه	۱۹۸۴-۱۹۹۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۷/۷	۱۸/۳	۳۳۲
اردبیل	۱۹۷۶-۱۹۹۲	۱۹۹۳-۲۰۰۱	۲/۸	۱۸/۳	۳۱۰
پارس‌آباد	۱۹۸۴-۱۹۹۶	۱۹۹۷-۲۰۰۱	۹/۸	۲۰/۶	۲۸۲
سقز	۱۹۶۱-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۳/۴	۱۹/۲	۵۰۲
زنجان	۱۹۶۱-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۴/۰	۱۸/۰	۳۰۸
ارومیه	۱۹۶۱-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۵/۳	۱۸/۵	۳۳۰
خوی	۱۹۶۱-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۵/۳	۱۸/۵	۲۹۵
تبریز	۱۹۶۱-۱۹۸۶	۱۹۸۷-۲۰۰۱	۷/۱	۱۸/۰	۲۹۳

دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های منتخب با هر یک از عوامل اقلیمی مورد بررسی و در هر یک از عناصر فوق میزان همبستگی‌ها بررسی شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش، هشت ایستگاه سینوپتیک در دو سلول مدل گردش عمومی HadCM3 با استفاده از مدل ریزمقیاس SDSM موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در هر یک از سلول‌ها در شکل ۱ آمده است. نتایج حاصل از مدل برای سه متغیر اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر در مقیاس‌های سالانه و فصلی با مقادیر مشاهده شده مقایسه و اختلاف آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

به‌منظور بررسی تأثیر عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی پارامترهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، فاصله از مرکز توده‌های باران‌زا، فاصله از بلندترین دامنه رو به توده باران‌زا و فاصله از مرکز سلول مدل HadCM3 محاسبه شد. علاوه بر آن، ارتفاع متوسط سلول (یک سلول HadCM3، ۳/۷۵ در ۲/۵ درجه جغرافیایی است که با استفاده از DEM راداری برای آن متوسط ارتفاع استخراج شد) محاسبه و اختلاف ارتفاع هر ایستگاه نسبت به آن استخراج شد. جدول ۲، هر یک از عوامل فوق در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب را نشان می‌دهد. در گام بعدی، رابطه بین میزان اختلاف میانگین مقادیر مشاهده‌ای با خروجی داده‌های HadCM3 ریزمقیاس شده بارش،

جدول ۲- عوامل اقلیمی ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	فاصله از دریای سیاه (km)	فاصله از دریای مدیترانه (km)	فاصله از ارتفاع دامنه رو به توده هوا (km)	فاصله از مرکز گرید (km)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (m)	ارتفاع نسبت به متوسط گرید (m)
مراغه	۶۶۰	۹۵۰	۳۷	۱۳۹	۴۶° ۱۶'	۳۷° ۲۴'	۱۴۷۸	-۲۰۰
اردبیل	۷۲۶	۱۱۳۵	۳۲	۱۳۵	۴۸° ۱۷'	۳۸° ۱۵'	۱۳۳۲	۳۸۸
پارس‌آباد	۶۱۰	۱۱۳۰	۵۶	۱۳۴	۴۷° ۵۴'	۳۹° ۳۹'	۳۲	-۹۱۲
زنجان	۸۴۰	۱۱۶۰	۲۰	۱۵۲	۴۸° ۲۹'	۳۶° ۴۱'	۱۶۶۳	-۱۵
ارومیه	۵۶۰	۸۵۰	۱۰۷	۲۰۸	۴۵° ۰۵'	۳۷° ۳۲'	۱۳۱۶	۳۷۲
خوی	۴۶۵	۸۷۰	۸۵	۱۶۸	۴۴° ۵۸'	۳۸° ۳۳'	۱۱۰۳	۱۵۹
تبریز	۶۰۰	۹۵۰	۸۳	۹۱	۴۶° ۱۷'	۳۸° ۰۵'	۱۳۶۱	۴۱۷
سقز	۷۳۰	۹۶۰	۸۴	۵۴	۴۶° ۱۶'	۳۶° ۱۵'	۱۵۲۳	-۱۵۵

در خصوص دمای حداکثر، ایستگاه پارس‌آباد بیشترین خطا و ایستگاه تبریز کمترین خطا را داشتند. در ایستگاه پارس‌آباد به دلیل قرار گرفتن در شرایط اقلیمی و مورفومتریک متفاوت با سلول HadCM3 خطای ۱/۱۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در ایستگاه تبریز با توجه به قرار گرفتن در نزدیک مرکز سلول و شرایط اقلیمی و مورفومتریک مشابه متوسط سلول، خطای بسیار پایینی برآورد شد. تغییرات فصلی خطای مدل بیانگر خطای بالا در فصل بهار نسبت به فصول دیگر بوده که دلیل آن می‌تواند ناپایداری جو در این فصل و وجود جریانات محلی باشد. البته این موضوع عمومیت نداشته و در همه ایستگاه‌ها صادق نیست.

تغییرات دمای حداقل معمولاً تحت تأثیر عوامل مورفومتریک و اقلیمی مانند، ارتفاع، جهت جغرافیایی و رطوبت نسبی است. نتایج مدل نشان داد که ایستگاه اردبیل بیشترین خطا و تبریز کمترین خطا را داشته است. خطای فصلی در ایستگاه‌ها بسیار متفاوت بوده، به طوری که در ایستگاه اردبیل خطای مدل ۲/۶۵ درجه سانتی‌گراد در فصل زمستان و ۰/۰۸ درجه سانتی‌گراد در فصل بهار است. در صورتی که در ایستگاه پارس‌آباد خطای مدل در زمستان ۰/۰۷ و در تابستان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در جدول ۳، خطای مدل در فصول مختلف ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است.

بر این اساس، در شبیه‌سازی بارش، دقت مدل بر اساس معیار MBE متفاوت به دست آمد. به طوری که ایستگاه ارومیه با ۱۰۴ میلی‌متر و ایستگاه سقز با ۹/۴ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین خطا را به خود اختصاص دادند. خطای فصلی در هر ایستگاه، متفاوت بوده و در تابستان معمولاً اختلاف نسبت به فصول دیگر کمتر مشاهده شد که این امر ناشی از بارش اندک در فصل مزبور می‌باشد.

در فصول بهار و پاییز مقادیر خطا نسبتاً بالا بوده ولی در زمستان، مدل به خوبی توانسته بارش را شبیه‌سازی کند. علت این امر را می‌توان برون منطقه‌ای بودن منشا بارش توده‌های فراگیر دانست. از آنجایی که مدل‌های گردش عمومی پدیده‌های فراگیر را مورد توجه قرار داده و توانایی مدل نمودن پدیده‌های محلی را ندارند و با توجه به این‌که پدیده‌های محلی در زمستان کمتر رخ می‌دهند، نتیجه به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. در بهار و به خصوص پاییز مقدار خطا نسبت به فصول دیگر بیشتر به دست آمد که ناشی از دو عامل مقدار بارش بالای این دو فصل و زیاد بودن درصد بارش‌های محلی به خصوص در بهار می‌باشد. در ایستگاه‌های مختلف نسبت خطای فصلی متفاوت بوده، به طوری که در ایستگاه زنجان بیش از ۵۰ درصد خطای سالانه در زمستان رخ داده است. در حالی که در ایستگاه تبریز کمترین خطا در زمستان صورت گرفته است.

جدول ۳- میزان اختلاف میانگین نتایج مدل با مشاهده‌ای در طول دوره حاضر

عنصر اقلیمی	دوره زمانی	اردبیل	خوی	مراغه	پارس‌آباد	سقز	تبریز	ارومیه	زنجان
بارش (mm)	سالانه	۵۳/۸	۸۰/۵	۵۰/۹	۵۰/۷	۹/۴	۱۲/۱	۱۰۴/۴	۸۱/۸
	پائیز	۲۰/۴	۳۷/۵	۶/۷	۱۳/۰	۱۲/۴	۱۸/۶	۳۹/۳	۱۴/۲
	بهار	۲۹/۰	۲۷/۱	۲۵/۰	۳۴/۹	۵۳/۰	۱۸/۹	۳۷/۱	۵/۱
	تابستان	۲۳/۴	۳/۱	۰/۸	۹/۶	۳/۸	۵/۷	۲/۹	۱۷/۲
	زمستان	۲۰/۹	۱۲/۴	۱۷/۴	۹/۳	۳۴/۱	۵/۹	۲۴/۵	۴۴/۲
دمای حداکثر (°C)	سالانه	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۶۳	۱/۱۴	۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۱۷
	پائیز	۰/۷۹	۰/۲۷	۱/۰۰	۰/۲۸	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۴۱
	بهار	۱/۷۸	۰/۷۱	۰/۸۵	۲/۲۱	۰/۲۴	۰/۶۳	۰/۹۳	۰/۰۶
	تابستان	۰/۸۳	۰/۴۳	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۵۷	۱/۱۱	۱/۳۲	۰/۰۹
	زمستان	۰/۷۲	۲/۳۸	۰/۳۷	۱/۰۲	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۳۷
دمای حداقل (°C)	سالانه	۰/۸۸	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۵۳	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۳۷
	پائیز	۰/۶۶	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۴۴
	بهار	۰/۰۸	۰/۵۲	۰/۶۷	۰/۱۹	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۵۸
	تابستان	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۷۴	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۹	۱/۴۲
	زمستان	۲/۶۵	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۷۷

را نشان داد. به دلیل ماهیت پیچیده و تغییرپذیری بالای بارش، مدل‌ها در شبیه‌سازی آن از دقت کمتری برخوردار هستند که اغلب پژوهش‌ها (Khan و همکاران، ۲۰۰۵ و Samadi و همکاران، ۲۰۱۳) نیز بر آن اذعان دارند (جدول ۵).

جدول ۴- میزان اختلاف واریانس مدل SDSM با مشاهده‌ای در طول دوره حاضر

ایستگاه	بارش (mm)	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)
اردبیل	۱۲/۲	-۵/۸۱	۱۱/۹۳
خوی	۶/۹	۱۱/۶۴	۳/۸۳
مراغه	۷/۴	۵/۷۳	۴/۹۲
پارس‌آباد	۶/۴	-۵/۸۵	۰/۷۹
سقز	۲۵/۹	-۴/۵۴	۴/۶۳
تبریز	۲/۶	-۱۳/۲۰	۰/۴۹
ارومیه	۱۴/۴	-۱۱/۴۹	۵/۹۸
زنجان	۴/۶	۰/۶۰	-۱۲/۸۰

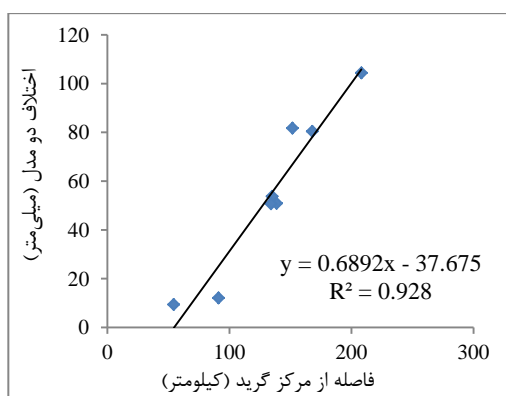
اختلاف واریانس داده‌های بارش در کلیه ایستگاه‌ها نشان داد که تغییرات بارش مشاهده‌ای نسبت به برآوردی بیشتر بوده و در واقع مدل، مقادیر را نزدیک به میانگین محاسبه نموده و به همین دلیل واریانس برآوردی مدل کمتر از مشاهده‌ای به دست آمد. اختلاف واریانس دمای حداکثر در ایستگاه‌ها متفاوت و بین ۱۱/۶ تا ۱۳/۲ به ترتیب در ایستگاه‌های خوی و تبریز مشاهده شد. ولی، در خصوص دمای حداقل ایستگاه اردبیل و زنجان بیشترین اختلاف را به خود اختصاص دادند. در جدول ۴، اختلاف میانگین واریانس بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی مدل SDSM آورده شده است.

آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین دمای حداکثر در مقیاس سالانه در سطح پنج درصد، برابری میانگین‌ها در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه مراغه را نشان داد. این موضوع بیانگر توانایی مدل SDSM در شبیه‌سازی دمای حداکثر است. مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل ضعیف‌تر عمل نموده و در دو ایستگاه اردبیل و زنجان اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد

جدول ۵- سطح معنی‌داری اختلاف میانگین مدل با مقادیر مشاهده‌ای با روش من-ویتنی

متغیر اقلیمی	اردبیل	خوی	مراغه	پارس‌آباد	سقز	تبریز	ارومیه	زنجان
دمای حداکثر	۰/۵۹	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۹۵
دمای حداقل	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۰۰
بارش	۰/۰۱	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۰

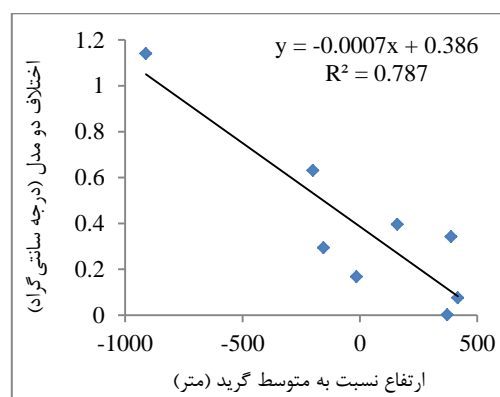
مرکز سلول فاصله بیشتری داشتند، میزان خطای ریزمقیاس‌گردانی افزایش یافت. همان‌گونه که در شکل ۳ آمده است، رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۳ بیانگر این موضوع است که دقت ریزمقیاس‌گردانی در ایستگاه‌های نزدیک به مرکز سلول از دقت بالایی برخوردار بوده و الگوی بارش آن نزدیک به الگوهای پارامترهای سینوپتیکی محاسبه شده با استفاده از مدل HadCM3 است.



شکل ۳- رابطه اختلاف بارش مشاهده‌ای و محاسبه شده به وسیله مدل با فاصله از مرکز سلول HadCM3

تغییرات دمای حداقل معمولاً از عوامل مورفومتریکی و اقلیمی منطقه تاثیر می‌پذیرد. به‌طوری‌که در مناطق با پوشش خوب، مرطوب و کم ارتفاع تغییرات زمانی آن نسبت به نواحی دیگر کمتر می‌باشد. در صورتی‌که در مناطق با پوشش کم و خشک و در ارتفاعات به دلیل از دست رفتن سریع انرژی، سطح زمین به شدت سرد می‌شود. از بین عوامل مورد بررسی فاصله از دریای مدیترانه رابطه نسبتاً خوبی را نشان داد، ولی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نشان نداد (شکل ۴). علاوه بر آن رابطه آن با فاصله از مرکز سلول دارای رابطه ضعیف بود که دو ایستگاه اردبیل و پارس باعث کاهش معنی‌داری شده بودند. به‌طوری‌که ایستگاه اردبیل با وجود فاصله کم با مرکز

به‌منظور بررسی نقش عوامل مورفومتریکی در دقت ریزمقیاس‌گردانی، تعدادی از پارامترهای مورفو-اقلیمی مد نظر قرار گرفتند. سپس، رابطه میانگین اختلاف دمای حداکثر روزانه با عوامل مختلف برقرار شد. نتایج نشان دادند که از بین عوامل فوق، عامل ارتفاع ایستگاه، نسبت به متوسط سلول (گرید) با خطای مدل در برآورد دمای حداکثر رابطه منفی دارد (شکل ۲). به عبارت دیگر، با افزایش اختلاف ارتفاع ایستگاه نسبت به متوسط سلول، میزان خطای افزایش یافت. ایستگاه‌هایی که در مناطق مرتفع واقع شده‌اند، دارای دقت بیشتری نسبت به ایستگاه‌هایی که در مناطق پست واقع شده‌اند، می‌باشند. از آنجایی‌که دمای حداکثر تحت تاثیر میزان انرژی ورودی به سطح می‌باشد و مدل گردش عمومی برای این منظور در هر سلول ارتفاع متوسط را مدنظر قرار می‌دهد، رابطه به‌وجود آمده منطقی است.



شکل ۲- رابطه اختلاف دمای حداکثر مشاهده‌ای و محاسبه شده از مدل با اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها نسبت به ارتفاع متوسط سلول HadCM

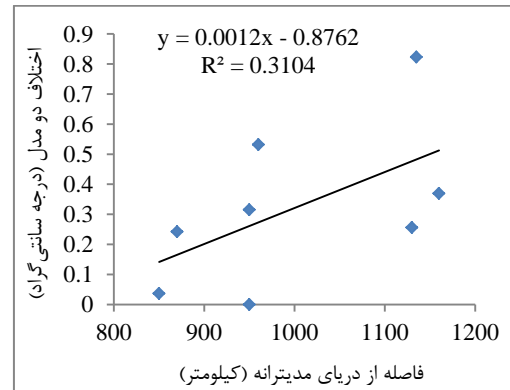
در خصوص تاثیر عوامل مورفومتریکی بر دقت مدل در برآورد بارش، از میان عوامل یاد شده عامل فاصله از مرکز سلول با دقت ریزمقیاس‌گردانی رابطه معنی‌داری ایجاد کرد. به‌طوری‌که هر چه ایستگاه‌ها از

ایستگاه سقز با ۹/۴ و ارومیه با ۱۰۴ میلی متر خطای بارش سالانه به ترتیب بالاترین و کمترین دقت را به خود اختصاص دادند. دقت فصلی بارش نیز در ایستگاه‌ها متفاوت به دست آمد، ولی دقت شبیه‌سازی در بهار و پاییز نسبت به زمستان کمتر بود که می‌تواند ناشی از تاثیر توده‌های محلی باشد. از میان عوامل اقلیمی موثر در دقت مدل، هرچه ایستگاه‌ها از مرکز سلول دورتر بودند، دقت مدل کاهش می‌یافت.

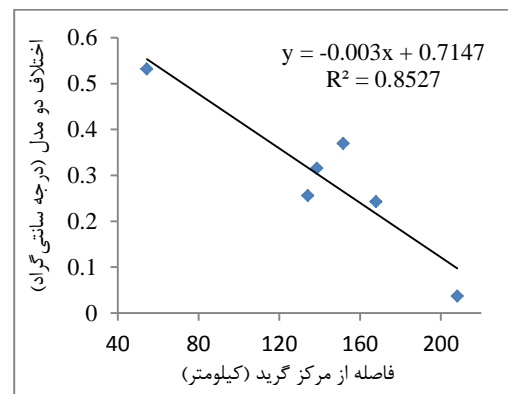
دمای حداکثر بر اساس معیار مقایسه میانگین من-ویتنی به جز ایستگاه مراغه در بقیه ایستگاه‌ها برابری میانگین‌ها را نشان داد. به علاوه، بر اساس معیار MBE، خطای مدل در ایستگاه ارومیه در دوره ۴۱ ساله کمتر از یک صدم سانتی‌گراد به دست آمد. ولی، در ایستگاه پارس‌آباد به دلیل قرار گرفتن در شرایط متفاوت اقلیمی با تیپ غالب سلول HadCM3، خطای بیش از یک درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص داد. رابطه بین خطای مدل در ایستگاه‌ها با عوامل اقلیمی-مورفومتریکی مورد بررسی قرار گرفت و با اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها نسبت به متوسط ارتفاع سلول رابطه معنی‌دار به دست آمد. این امر بیانگر آن است که مدل HadCM3 برای مناطقی که ارتفاع نزدیک به ارتفاع متوسط سلول دارند، بهتر عمل می‌کند.

دمای حداقل نیز با خطای حداکثر ۰/۸ درجه سانتی‌گراد که در ایستگاه اردبیل مشاهده می‌شود، دارای دقت مناسبی است. هر چند که بر مبنای آماره من-ویتنی دارای اختلاف در سطح پنج درصد را نشان داد. رابطه بین خطای مدل و عوامل مورفوکلیماتیک بیانگر رابطه نسبی با فاصله از مرکز گرید بود که دو ایستگاه اردبیل و تبریز باعث به وجود آمدن آنومالی در مدل شده است. به طوری که ایستگاه تبریز با وجود فاصله متوسط از مرکز گرید، خطای بسیار کمی را داشت و ایستگاه اردبیل با وجود فاصله متوسط از مرکز گرید، خطای بالا محاسبه شد، با حذف دو ایستگاه رابطه معنی‌دار به دست آمد.

سلول دارای خطا بالا و ایستگاه پارس‌آباد نیز به دلیل شرایط اقلیمی خطای اندکی را داشتند. با حذف دو ایستگاه رابطه فوق معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد به دست آمد (شکل ۵).



شکل ۴- رابطه اختلاف مشاهده‌ای و مدل دمای حداقل با فاصله از دریای مدیترانه



شکل ۵- رابطه اختلاف مشاهده‌ای و مدل دمای حداقل با ارتفاع ایستگاه‌ها نسبت به متوسط گرید با حذف دو ایستگاه اردبیل و پارس‌آباد

در پژوهش حاضر، داده‌های AOGCM مدل HadCM3 در هشت ایستگاه سینوپتیک شمال غرب کشور با روش SDSM ریزمقیاس شد. به طور کلی، مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و به خصوص دمای حداکثر بر اساس معیار MBE و مقایسه میانگین‌ها از دقت بالایی برخوردار بود. دقت مدل در شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های مختلف متفاوت به دست آمد.

منابع مورد استفاده

1. Ashoft, P. and A.R. Massah. 2009. Impact of climate change uncertainty on temperature and precipitation in Idoghmesh Watershed (2040-2069). Journal of Water and Soil Science (Agriculture Science), 19/1(2): 85-98 (in Persian).

2. Coulibaly, P., F. Anctil, R. Aravena and B. Bobée. 2001. ANN modeling of water table depth fluctuations. *Water Resources Research*, 37: 885-896.
3. Dibike, B.Y. and P. Coulibaly. 2006. Temporal neural networks for downscaling variability and extremes. *Journal of Neural Networks*, 19: 135-144.
4. Goodarzi, M., S. Jahanbakhsh, M. Rezaee, A. Ghafouri and M.H. Mahdian. 2011. Assessment of climate change statistical downscaling methods in a single site in Kermanshah, Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 6(5): 564-572.
5. Hadizadeh, M., A. Shahidi and M.R. Farzaneh. 2011. Uncertainty analysis of precipitation under climate change, study area: Birjand synoptic station. 4th Conference of Water Resources Management of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
6. IPCC. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Cambridge University Press, 989 pages, UK.
7. Khan, M.S and P. Coulibaly. 2006. Climate change impact study on water resources with uncertainty estimates using Bayesian neural network. McMaster University, PhD Thesis, Canada, 71 pages.
8. Khan, M.S., P. Coulibaly and Y. Dibike. 2005. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.
9. Samadi, S., A.M.E. Wilson and H. Moradkhani. 2013. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using Hadly Center Coupled Model. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 113(3-4): 673-690.
10. Sharif, M., D.H. Burn. 2006. Simulating climate change scenarios using an improved K-nearest neighbor model. *Journal of Hydrology*, 325: 179-196.
11. Soltanieh, M. 2003. Vulnerability of Iran to adverse impact of climate change. National Workshop on Kyoto Protocol: Challenges and Opportunity for Sustainable Development of I.R. Iran, Tehran, Iran October 25-26 (in Persian).
12. Vaseghi, R., A.R. Massah, A.H. Meshkati and F. Rahimzadeh. 2011. Investigation of runoff impact of ensembles scenarios AOGCM models. 4th Conference of Water Resources Management of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
13. Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2): 1-10.
14. Xu, C.Y. 1999. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Journal of Progress in physical geography*. 23(2): 229-249.
15. Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan Iran. *Journal of Global and Planetary Change*, 78: 137-146.

Impact assessment of morpho-climatic parameters in accuracy of SDSM

Bagher Ghermezcheshmeh^{*1}, Aliakbar Rasuli², Majid Rezaei Banafsheh³, Alireza Massah Bovani⁴ and Alimohammad Khorshiddust⁵

¹ PhD Student, Faculty of Geography and Planning, Tabriz University, Iran, ² Professor, Faculty of Geography and Planning, Tabriz University, Iran, ^{3,5} Assistant Professor, Faculty of Geography and Planning, Tabriz University, Iran and ⁴ Assistant Professor, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran

Received: 05 November 2013

Accepted: 05 February 2014

Abstract

Increasing Green House Gases (GHG) may change the climate in different areas. Investigation of parameters are difficult due to induced changes in climate parameters, such as precipitation and temperature. For predicting global climate change, different climate scenarios are defined, using AOGCM models. AOGCMs are able to simulate global atmospheric circulation patterns. However, the spatial resolutions of such models are coarse; for example HadCM3 has spatial resolutions of 3.75 and 2.5 in longitude and latitude, respectively. Therefore, to study climate change in a given area, the outputs of the used AOGCMs must be downscaled properly. For this reason, statistical and dynamical methods have been developed. Statistical methods establish a relationship between AOGCM outputs and climate parameters such as precipitation and temperature. For example, many statistical methods use multiple regressions to predict future climate parameters. However, the accuracy of downscaling procedure varies depending on the geographical position of the studied station in relative to the nearby AOGCM grids. In this research, the accuracy of SDSM was tested in different synoptic stations of northwest Iran. This area has a complex topography and climate due to intrusion of different rain bearing weather systems to the region. First of all, daily climate data (precipitation, maximum and minimum temperature) were collected and their time series created. HadCM3 data for the grids over the studied area was obtained and SDSM model was applied for each climate parameters of all synoptic stations in the region. Then, the difference between the SDSM outputs and observed parameters were evaluated for all the stations and the performance of the downscaled outputs were evaluated by comparing the mean and variance of the model outputs and those of the NCEP/NCAR for the present climate. The morpho-climatic parameters were derived for each station and their relations with the magnitude of the model error were evaluated. Results showed that the error in precipitation has significant relation with the distance to the grid center, whereas the error in maximum temperature is related to the difference between the elevation of a given station and the mean elevation of the HadCM3 grids. For example, in Urmia station, the error is the highest of 104 mm while in Saqez the error is the lowest of 9.4 mm. Also, the maximum temperature accuracy in stations with elevation near to mean elevation of the grid is higher. Pars Abad station with 32 m elevation and with high elevation difference with the grid mean elevation, showed 1.14 °C of error and Tabriz station with less elevation difference to grid mean elevation, showed 0.08 °C of error.

Key words: Climate change, HadCM3, NCEP, Northwest, Simulation

* Corresponding author: baghergh@gmail.com