

مقایسه ریزگردانی تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی فرین‌های دما و بارش (مطالعه

موردی: سواحل جنوبی دریای خزر)

روح اله اوجی*

استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(دریافت: ۹۶/۳/۳۰، پذیرش نهایی: ۹۶/۸/۲)

چکیده

به منظور مقایسه ریزگردانی تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی فرین‌های دما و بارش، عملکرد روش‌های تک‌ایستگاهی نگاشت چندکی (SSQ) و ماژول چندایستگاهی بسط‌یافته (ModExDs)، در شبیه‌سازی اقلیمی ۵ ایستگاه سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر مورد آزمون قرار گرفت. پیش‌بینی‌شونده‌های این پژوهش، سری زمانی فرین‌های دما و بارش روزانه طی دوره آماری (۲۰۱۳-۱۹۶۱) است که ۳۰ سال به‌منظور آموزش و ۲۳ سال جهت اعتبارسنجی مدل، در نظر گرفته شد. از متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی آرشیو داده‌های واکاوی (NCEP) نیز به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده استفاده شد. با به‌کارگیری ۲۷ شاخص فرین اقلیمی، عملکرد این روش‌ها در حساسیت به ناهنجاری‌های بزرگ‌مقیاس جوی و نیز توانمندی آن در بازنمونه‌برداری توزیع داده‌های مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی، به ترتیب با استفاده از آزمون‌های همبستگی پیرسون و کولموگروف-اسمیرنوف، مورد آزمون قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی کلی مدل، از روش ترکیبی استفاده شد. نتایج نشان داد که رویکرد ریزگردانی تک‌ایستگاهی با گذراندن به‌ترتیب ۶۳، ۴۸ و ۲۹/۶ درصد و رویکرد چندایستگاهی نیز با موفقیت در ۶۶/۷، ۴۸/۹ و ۳۳/۳ درصد از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و همبستگی پیرسون و نیز آزمون ترکیبی، در ریزگردانی داده‌های واکاوی، نتایج نسبتاً قابل قبولی را ارائه دادند. روش‌های مورد بررسی، شاخص‌های دما را بهتر از شاخص‌های بارش، ریزگردانی کردند. در مجموع، عملکرد روش ریزگردانی چندایستگاهی، به‌ویژه در ریزگردانی شاخص‌های دما، بهتر از روش تک‌ایستگاهی بود. در حالت کلی، هر دو روش نتایج بهتری در گرگان و عملکرد ضعیف‌تری در رشت نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: ریزگردانی آماری، سواحل جنوبی خزر، فرین‌های دما و بارش، مقایسه عملکرد.

۱. مقدمه

یک نقطه (تک‌ایستگاه) محاسبه می‌گردد، در حالی که در ریزگردانی چندایستگاهی، مدل مورد نظر، قادر به ریزگردانی هم‌زمان برای چند ایستگاه در منطقه یا چند متغیر خواهد بود؛ بنابراین رویکرد مذکور را می‌توان روشی چند متغیره از لحاظ پیش‌بینی‌کننده‌ها دانست که روشی برای به حداقل رساندن خطا در بین ایستگاه‌ها و متغیرهاست. با استفاده از روش‌هایی چون: مسائل بهینه‌سازی و بازنمونه‌برداری مقادیر ایستگاه‌ها از میانگین ریزگردانی‌شده منطقه‌ای و غیره، تبدیل مدل‌های تک‌ایستگاهی به چندایستگاهی امکان‌پذیر است (برگر، ۱۹۹۶). رویکرد ریزگردانی چندایستگاهی بعلاوه به کارگیری هم‌زمان همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه و نیز امکان حفظ روابط بین ایستگاهی از جمله همبستگی بین ایستگاهی و غیره در مطالعات منطقه‌ای مقبولیت

روش‌های آماری ریزگردانی، به دلایل مختلفی (از قبیل: امکان اجرا در کامپیوترهای شخصی، سادگی، قابلیت بسط مدل توسط کاربر متخصص و ...) در مطالعات گوناگون بیشتر از روش‌های دینامیکی استفاده شده‌اند؛ به نحوی که روش‌های متعدد قطعی و تصادفی با رویکردهای متفاوت تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی در تحقیقات مختلف سراسر دنیا توسعه پیدا کرده‌اند. هر یک از این روش‌ها نقاط ضعف و قوت متعددی دارند که به کارگیری آن‌ها را در زمینه خاصی مطلوب می‌کند. در روش‌های ریزگردانی تک‌ایستگاهی، رابطه رفتار متغیر اندازه‌گیری شده در یک ایستگاه با رفتار متغیر یا متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس جوی در یک نقطه یا در یک محدوده مشخص، در نظر گرفته می‌شود. از این رو خروجی مدل‌های ریزگردانی تک‌ایستگاهی، فقط برای

است که به منظور تولید توابع توزیع جمعیتی متغیرهای اقلیمی سطح زمین، با به کارگیری پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس، توسعه داده شد (مایکلانجلی و همکاران، ۲۰۰۹). این روش جهت ریزگردانی سرعت باد در سراسر فرانسه به کار رفت. نتایج نشان‌دهنده کاهش آنومالی‌های آبی باد در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی از ۱ درصد در جنوب تا ۹ درصد در شمال منطقه بود. روش ریزگردانی بسط‌یافته نیز توسط برگر (۱۹۹۶) جهت ریزگردانی متغیرهای اقلیمی روزانه و به‌خصوص برای مواردی که متغیرهای مذکور از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، ابداع شد. این روش توسط محققان مختلف (برگر و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳؛ اوجی، ۱۳۹۲؛ سونیر و همکاران، ۲۰۱۵) در ریزگردانی فرین‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است. برگر و همکاران (۲۰۱۲)، پنج روش ریزگردانی آماری تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی شامل ریزگردانی آماری رگرسیون اتوماتیک، تصحیح بایاس تفکیک مکانی، شبکه‌های عصبی رگرسیون کوانتال، تری جن، و ریزگردانی بسط‌یافته (ایکس‌دی‌اس) را به‌منظور شبیه‌سازی مقادیر حدی غرب کانادا، ارزیابی کردند. در این مطالعه، مدل ریزگردانی ایکس‌دی‌اس، بهترین نتیجه را در بین مدل‌های به کار گرفته شده به خود اختصاص داد و بی‌سی‌اس‌دی و روش شبکه عصبی به ترتیب در جایگاه بعدی قرار گرفتند. آن‌ها در پژوهش دیگری، مدل‌های منتخب یعنی ایکس‌دی‌اس و بی‌سی‌اس‌دی را برای ریزگردانی مقادیر حدی غرب کانادا استفاده کردند که مبنای برنامه‌ریزی تغییرات اقلیمی آبی غرب کانادا گشته است (برگر و همکاران، ۲۰۱۳). سونیر و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی تحت عنوان مقایسه روش‌های ریزگردانی آماری جهت به تصویر کشیدن فرین‌های بارش اروپا، هشت روش مشهور ریزگردانی شامل چهار روش بر مبنای عامل تغییر، سه رویکرد تصحیح اریبی و ایکس‌دی‌اس را بررسی و مقایسه کردند؛ به نحوی که روش‌های مذکور جهت ریزگردانی خروجی ۱۵ مدل منطقه‌ای اقلیمی در ۱۱ حوضه آبریز اروپا به کار گرفته

بیشتری در مقایسه با سری‌های شاخص تک‌ایستگاهی دارند (هارپمن و ویلی، ۲۰۰۵؛ هیلوک و همکاران، ۲۰۰۶؛ خلیلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ برگر و همکاران، ۲۰۱۲؛ اوجی، ۱۳۹۲؛ فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). به کارگیری و ارزیابی روش‌های ریزگردانی آماری با رویکردهای ریزگردانی تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی در دنیا مرسوم است (برگر و همکاران، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳؛ مارون، ۲۰۱۳؛ سونیر و همکاران، ۲۰۱۵؛ خلیلی و ون‌نگوین، ۲۰۱۶؛ وندال و همکاران، ۲۰۱۷). با وجود این، به دلیل پیچیدگی توصیف دقیق مقادیر مشاهداتی و نیز روابط فضایی بین متغیرها و مکان‌ها، از ریزگردانی چندایستگاهی کمتر استفاده شده است (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۳؛ چن و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعات متعدد داخلی نیز (دهقانی پور و همکاران، ۱۳۹۰؛ کوهی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قرمزچشمه و همکاران، ۱۳۹۳)، رویکرد تک‌ایستگاهی ریزگردانی با استفاده از روش‌های مختلف به کار گرفته شده‌اند و در مطالعاتی (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. اگرچه رویکرد چندایستگاهی ریزگردانی در مطالعات معدودی در کشور (اوجی، ۱۳۹۲؛ فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) استفاده شده است، ولی به‌طور کلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر به ارزیابی عملکرد روش‌های ریزگردانی نگاشت چندکی و ریزگردانی بسط‌یافته به ترتیب با رویکردهای تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی در ریزگردانی مقادیر حدی دما و بارش سواحل خزری می‌پردازد. رویکرد نگاشت چندکی، مدت زمان زیادی است که شناخته شده است (برای مثال مراجعه شود به پانفسکی و بریر، ۱۹۵۸؛ حداد و رستفلد، ۱۹۹۷). در مطالعات مختلف از رویکردهای توسعه‌یافته آن استفاده شده است. یکی از این رویکردها، روش ریزگردانی آماری با نام تبدیل-تابع توزیع جمعیتی (سی دی اف تی)

شد. نتایج با توجه به روش مورد استفاده، فصل مورد بررسی و از حوضه‌ای به حوضه دیگر تاحد زیادی متفاوت بود. آنالیز واریانس میانگین گروهی خروجی مدل‌های منطقه‌ای و روش‌های ریزگردانی، نشان داد که حداقل ۳۰ درصد تا تقریباً نیمی از واریانس به‌واسطه ریزگردانی آماری حاصل می‌شود. اوجی (۱۳۹۲) در پژوهشی به منظور ارزیابی عدم قطعیت روش‌های تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی در غرب میانی ایران، طیف وسیعی از روش‌های تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی را بررسی و آزمون کرد که روش‌های ریزگردانی تک‌ایستگاهی انطباق

چندکی و ایکس‌دی‌اس نیز در بین روش‌های مورد بررسی قرار داشتند. نتایج این بررسی نشان داد که چنانچه ریزگردانی آماری به‌منظور ارائه تصویر آتی منطقه‌ای از قبیل برنامه‌ریزی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبریز و ... مد نظر باشد، استفاده از روش‌های چندایستگاهی بهتر از روش‌های تک‌ایستگاهی است. درحالی که در صورت نیاز به بررسی نقطه‌ای در یک یا چند ایستگاه به‌طور مجزا، نتایج روش‌های تک‌ایستگاهی مناسب‌تر بود؛ بنابراین در تمامی مطالعات مذکور به انتخاب و استفاده درست از روش‌های ریزگردانی آماری تاکید شده است.

جدول ۱. شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش تیم کارشناسی شاخص‌ها و آشکارسازی تغییر اقلیم (زنگ و همکاران، ۲۰۱۱).

واحد	تعاریف	نام شاخص	شناسه
میلی‌متر	مجموع بارش سالانه در روزهای مرطوب (بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر)	مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب	PRCPTOT
روز	تعداد روزهای دارای بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در سال	تعداد روزهای دارای بارش سنگین	R10
روز	تعداد روزهای دارای بارش ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در سال	تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین	R20
میلی‌متر	بیش از ۹۵ درصد از مجموع بارش سالانه	روزهای خیلی مرطوب	R95p
میلی‌متر	بیش از ۹۹ درصد از مجموع بارش سالانه	روزهای بی‌نهایت مرطوب	R99p
روز	روزهای دارای بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر	تعداد روزهای دارای بارش بیش از ۲۵ میلی‌متر	R25
میلی‌متر	حداکثر بارش روزانه در ماه	حداکثر بارش روزانه	RX1day
میلی‌متر	حداکثر بارش ۵ روز متوالی در ماه	مقدار حداکثر بارش ۵ روز متوالی	Rx5day
میلی‌متر/روز	مجموع بارش ماهانه تقسیم بر روزهای مرطوب دارای بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر	شاخص ساده شدت بارش روزانه	SDII
روز	تعداد روزهای متوالی دارای بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر	روزهای مرطوب متوالی	CWD
روز	تعداد روزهای متوالی دارای بارش کمتر از ۱ میلی‌متر	روزهای خشک متوالی	CDD
°C	میانگین ماهانه اختلاف بین دمای حداقل و حداکثر	دامنه دمایی	DTR
روز	روزهای بین اولین و آخرین روز از حداقل ۶ روز گرم	طول فصل رشد	GSL
روز	حداقل ۶ روز متوالی دارای دمای حداقل کمتر از صدک دهم	طول دوره سرد	CSDI
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداقل کمتر از صفر	روزهای یخبندان	FD
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداکثر کمتر از صفر	روز یخی (انجماد)	ID
%	درصد روزهای دارای دمای حداقل کمتر از صدک دهم	شب‌های سرد	TN10p
%	درصد روزهای دارای دمای حداقل بیش از صدک نودم	شب‌های گرم	TN90p
°C	حداقل مقدار ماهیانه دمای حداقل روزانه	حداقل دمای حداقل	TNn
°C	حداکثر مقدار ماهیانه دمای حداقل روزانه	حداکثر دمای حداقل	TNx
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد	روزهای تابستانی	SU
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداقل بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد	شب‌های حاره‌ای	TR
%	درصد روزهای دارای دمای حداکثر کمتر از صدک دهم	روزهای سرد	TX10p
%	درصد روزهای دارای دمای حداکثر بیش از صدک نودم	روزهای گرم	TX90p
°C	حداقل مقدار ماهیانه دمای حداکثر روزانه	حداقل دمای حداکثر	TXn
°C	حداکثر مقدار ماهیانه دمای حداکثر روزانه	حداکثر دمای حداکثر	TXx
روز	حداقل ۶ روز متوالی دارای دمای حداکثر بیش از صدک نودم	طول دوره گرم	WSDI

فضای مدل گردش عمومی اختصاص می‌دهد.

ایده اصلی این روش برای ریزگردانی مقدار بزرگ مقیاس x_G ، انتخاب یک مقدار محلی x_S بر اساس فرض زیر است:

$$F_S(x_S) = F_G(x_G) \quad (1)$$

که برابر است با

$$x_S = F_S^{-1}(F_G(x_G)) \quad (2)$$

به نحوی که F_S^{-1} از $[0,1]$ تعریف شده و تابع عکس F_S است. با به کارگیری رابطه ۳ برای داده‌های شبه‌سازی شده دوره زمانی جدید (مثل دوره اعتبار سنجی و یا آینده)، امکان ایجاد سری زمانی در مقیاس محلی را فراهم می‌آورد. به هر حال این روش، اطلاعات توزیع مجموعه داده‌های مدل‌سازی شده برای آینده را به حساب نمی‌آورد. برای غلبه بر این مشکل بالقوه، یک رویکرد ریزگردانی احتمالاتی جدید با بسط نگاشت چندکی ارائه شده است (مایکلانجلی و همکاران، ۲۰۰۹). همچنان که ذکر شد، روش‌های تک‌ایستگاهی نگاشت چندکی، با به کارگیری معادلی از تابع تبدیل تناسب، به ریزگردانی و یا اصلاح خروجی تابع توزیع تجمعی (سی‌دی‌اف) متغیر بزرگ اقلیمی مقیاس می‌پردازد؛ یعنی بر اساس یک سی‌دی‌اف نماینده متغیر بزرگ مقیاس (دارای وضوح مکانی پایین) و سی‌دی‌اف معادل آن در مقیاس محلی (مثلاً مدل‌سازی شده در ایستگاه هواشناسی)، مدل مذکور با یافتن یک تبدیل ریاضی، امکان تبدیل از سی‌دی‌اف بزرگ مقیاس به مقیاس محلی را فراهم می‌آورد؛ بنابراین با دادن یک سی‌دی‌اف بزرگ مقیاس، سی‌دی‌اف محلی جدیدی بر اساس این تبدیل، ریزگردانی می‌شود (اوجی، ۱۳۹۲).

این روش با رویکردهای متفاوتی، مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای این پژوهش، روش نگاشت چندکی با برونمایی دلتا استفاده می‌شود. روش ریزگردانی نگاشت چندکی، بر اساس رویکردی از تصحیح اریبی روش نگاشت چندکی استوار است که گامی از روش تفکیک

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی عملکرد روش‌های مذکور، شاخص‌های فرین اقلیمی (زنگ و همکاران، ۲۰۱۱)، مورد استفاده قرار می‌گیرند. توانایی ریزگردانی مدل، در (الف) پاسخ به آنومالی‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و (ب) بازتولید سری زمانی دارای توزیعی مشابه با داده‌های مشاهداتی، به ترتیب با به کارگیری آزمون‌های معناداری همبستگی پیرسون و کولموگروف-اسمیرنوف، مورد سنجش قرار گرفته و در پایان، ترکیبی از دو مورد فوق برای آزمون کلی مدل استفاده می‌شود (برگر و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳؛ فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵ و ۱۳۹۶).

۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر، با به کارگیری دو رویکرد تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی قطعی ریزگردانی آماری به ترتیب تحت عنوان روش نگاشت چندکی و روش ریزگردانی بسط یافته که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود، انجام گرفت.

۲-۱. روش تک‌ایستگاهی نگاشت چندکی

(اس اس کیو) (Single-site Quintile Mapping (SSQ))

رویکرد انطباق چندکها یا نگاشت چندکی، یکی از روش‌های شناخته شده ریزگردانی تک‌ایستگاهی است. در این مدل، نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی یک متغیر تصادفی اقلیم به عنوان پیش‌بینی شونده مشاهداتی در ایستگاه هواشناسی مورد نظر برای دوره کالیبره مدل، و F_G نیز تابع توزیع تجمعی متغیر پیش‌بینی کننده خروجی مدل‌های گردش عمومی یا داده‌های واکاوی در ایستگاه مورد نظر با دوره زمانی مشابه است. به منظور ساده‌سازی در این متن، فرض می‌شود که پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده، متغیر اقلیمی مشابهی (مثل فرین دما یا مقدار بارش) باشد $F_S(x)$ و $F_G(x)$ غیرخطی بوده و به X احتمال کمتر و یا برابر با مقدار داده شده به x یعنی $F(x) = \Pr(X \leq x)$ را به ترتیب در داده‌های واقعی و

است. این روش، به منظور مقایسه و هماهنگی چندک‌ها، فقط مقادیر بزرگ مقیاس شبیه‌سازی شده را در سی‌دی‌اف تاریخی، به تصویر می‌کشد و با استفاده از روندزدایی به حل این مسئله می‌پردازد (فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵).

۲-۲. روش چندایستگاهی ریزگردانی بسط‌یافته (ایکس‌دی‌اس) (Modular Expanded Downscaling (ModExDs))

روش ریزگردانی بسط‌یافته (ایکس‌دی‌اس) یک تکنیک پیش‌بینی است که متغیرهای اقلیم محلی را براساس الگوهای بزرگ مقیاس جوی، به تصویر می‌کشد. ایکس‌دی‌اس ابتدا با هدف پیش‌بینی جوی معرفی شد (برگر، ۱۹۹۶)، اما اخیراً از آن در مطالعات تغییر اقلیم استفاده شده است (برای نمونه برگر و چن، ۲۰۰۵؛ دابلر و همکاران، ۲۰۱۲؛ برگر و همکاران، ۲۰۱۳؛ اوجی، ۱۳۹۲؛ سونیر و همکاران، ۲۰۱۵). این روش، بر مبنای یک رابطه رگرسیون خطی چندمتغیره بین پیش‌بینی‌کننده‌های y (میدان‌های چندمتغیره عناصر جوی) و پیش‌بینی‌شونده‌های X (متغیرهای محلی مثل بارش یک حوضه) استوار بوده و به‌واسطه شرط جانبی که کواریانس بین متغیرهای محلی (ایستگاه‌های هواشناسی) را حفظ می‌کند، بسط داده می‌شود:

$$XDS = \underset{Q}{\operatorname{argmin}} \|xQ - y\|, \quad (3)$$

$$\text{subject to } Q'x'xQ = y'y$$

رابطه فوق‌بدين معناست که ماتریس Q که خطای $xQ - y$ را کمینه می‌کند، از بین آن‌هایی جستجو می‌شود که کواریانس محلی را حفظ می‌کنند ($Q'x'xQ = y'y$). فرض بر این است که با استفاده از این روش، برآورد مقادیر حدی در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی مرسوم، بهبود یابد. برای اطلاعات بیشتر، به برگر و همکاران (۲۰۰۹) مراجعه شود. کد این روش از طریق آدرس (<https://gitlab.com/xds/xds>) در دسترس است که در محیط اکتاو قابل اجراست. پژوهش حاضر با

فضایی تصحیح اریبی (بی‌سی‌اس‌دی) است (وود و همکاران، ۲۰۰۲). این روش مستقیماً بدون تفکیک مکانی و زمانی به ریزگردانی مقادیر روزانه می‌پردازد (برگر و همکاران، ۲۰۱۳). مقادیر نگاشت چندکی در یک جدول جستجو، از طریق درونیابی بین نقاط یک نمودار چندک-چندک حاصل از داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در یک دوره مشابه، استخراج می‌شوند. نگاشت چندکی، روشی مستقیم برای ریزگردانی است؛ به نحوی که پیش‌بینی‌کننده، مقدار شبیه‌سازی شده توسط مدل گردش عمومی در نزدیک‌ترین نقطه شبکه‌بندی شده به ایستگاه مورد نظر به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌شونده است. نگاشت چندکی، بر روی دامنه‌ای از مقادیر تاریخچه‌ای مدل گردش عمومی و مشاهداتی تعریف می‌شود. چنانچه مقدار شبیه‌سازی شده، خارج از محدوده مقادیر مشاهداتی قرار گیرد، برونیابی ضرورت می‌یابد. روشی ساده برای استخراج داده از روش "تغییر دلتا" هم‌لت و همکاران (۲۰۱۰) به عاریه گرفته شده است. برونیابی بارش، با استفاده از ضرب تغییرات نسبت حداکثر و حداقل مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر مشاهداتی، انجام می‌گیرد. برای مثال چنانچه مقدار بارش شبیه‌سازی شده یک مدل گردش عمومی، ۱۰ درصد بزرگ‌تر از مقادیر دوره تاریخچه‌ای باشد، مقدار چندک نگاشت شده، به مقداری که ۱۰ درصد از بیشترین مقادیر مشاهده در مقادیر ثبت‌شده باشد، تنظیم می‌گردد. تغییرات دما، حالت افزایشی داشته و مقدار تغییرات، با داده‌های شبیه‌سازی شده، جمع زده می‌شود. به منظور جلوگیری از برونیابی تکراری، تغییرات زمانمند سناریوهای آتی مدل گردش عمومی، با روند زدایی قبل از نگاشت چندکی و افزایش روند مقادیر اولیه به مقدار شبیه‌سازی شده، حفظ می‌گردد. روش نگاشت چندکی قادر به ایجاد چندک‌های محلی خارج از محدوده مشاهدات تاریخچه‌ای نیست. این می‌تواند یکی از مسائل بحث برانگیز در متون ریزگردانی باشد؛ بنابراین در روش کیوام‌دی به‌عنوان یکی از روش‌های توسعه‌یافته این مدل، به طرق مختلف در پی فائق آمدن بر این مشکل

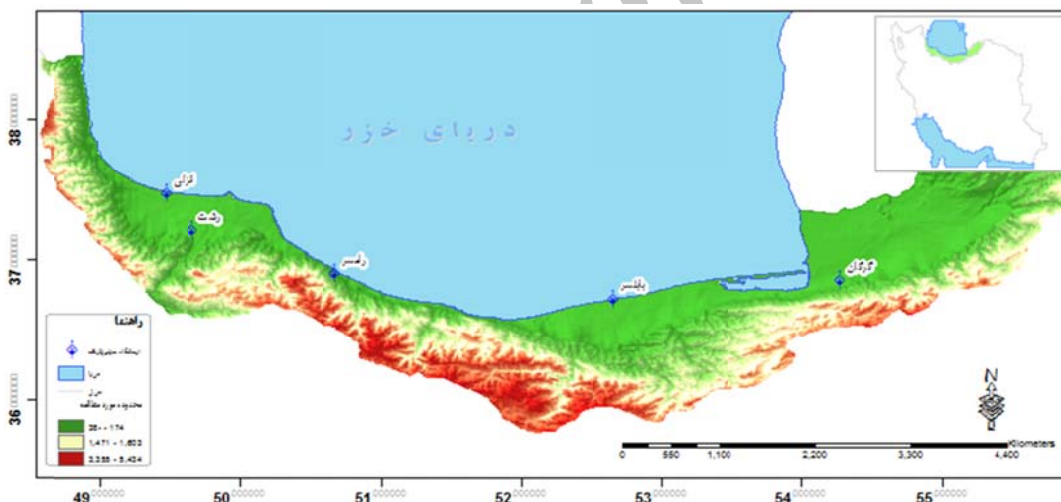
استفاده از مازول ایکس دی اس (کنن، ۲۰۱۳) در محیط نرم افزار آر به اجرا درآمده است.

۳. منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مورد نیاز

پژوهش حاضر به مطالعه تغییرات مقادیر حدی دما و بارش سواحل جنوبی دریای خزر می پردازد. منطقه مذکور که از طرف شمال و جنوب، به ترتیب توسط دریای خزر و رشته کوه البرز احاطه شده است (شکل ۱)، عمدتاً در طبقه بندی های مختلف اقلیمی کشور، منطقه معتدل خزری نامیده می شود. ایستگاه سینوپتیک رشت، انزلی، رامسر، بابلسر و گرگان (جدول ۲)، با دارا بودن سری زمانی بیش از نیم قرن (۱۹۶۱-۲۰۱۳)، شرایط نسبتاً مطلوبی برای این پژوهش فراهم می آورد.

بازسازی داده های مفقود با استفاده از روش انتساب نزدیک ترین همسایگی متوالی K (کیم و یی، ۲۰۰۸) انجام

شده و آزمون های همگنی مذکور برای هر سری زمانی، قبل و بعد از بازسازی آنها به کار گرفته شد. به منظور ارزیابی صحت و همگنی داده های مشاهداتی، از بسته نرم افزاری آر اچ تست وی ۳ (ونگ و فنگ، ۲۰۱۰) بر اساس روش آزمون های ماکسیمال پنالایز تی و اف (ونگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ونگ، ۲۰۰۸) که در یک الگوریتم آزمون نمایی برگشتی نهادینه شده است (اوجی، ۱۳۹۲) استفاده شد. در این پژوهش، ابتدا روش های انطباق چندکی و ریزگردانی بسط یافته با استفاده از متغیرهای بزرگ مقیاس جوی آرشیو داده های واکاوی مراکز ملی پیش بینی زیست محیطی (ان سب) (کلنی و همکاران، ۱۹۹۶) با وضوح $2/5 \times 2/5$ درجه و نیز سری زمانی مشاهداتی سی ساله آموزش داده شد. اعتبارسنجی مدل نیز بر این اساس برای یک دوره آماری بیست و سه ساله انجام گرفت.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه.

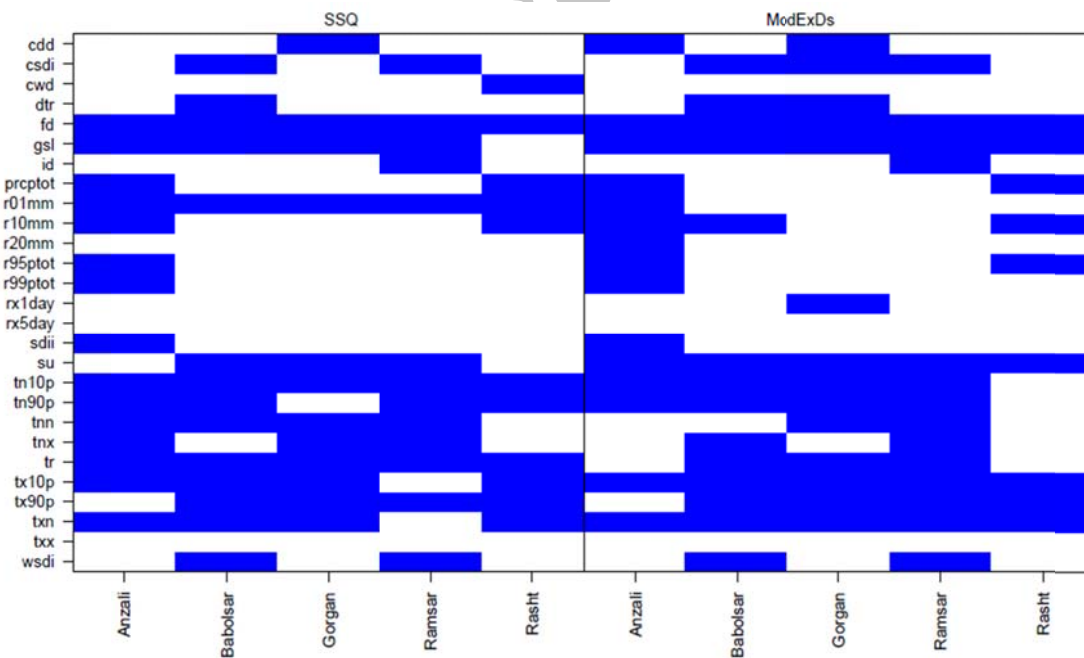
جدول ۲. ایستگاه های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (°)	طول جغرافیایی (°)	ارتفاع (m)	دما (°C)	بارش (mm)
انزلی	۳۷،۴۶	۴۹،۴۶	-۲۶،۲	۱۶،۲	۱۸۴۲،۲
بابلسر	۳۶،۷۲	۵۲،۶۵	-۲۱	۱۶،۸	۸۹۳،۱
گرگان	۳۶،۸۵	۵۴،۲۷	۱۳	۱۷،۸	۵۸۴،۲
رامسر	۳۶،۹	۵۰،۴۶	-۲۰	۱۶،۲	۱۲۲۱،۵
رشت	۳۷،۲	۴۹،۶۵	۳۶،۷	۱۶،۲	۱۳۴۰،۱

۴. نتایج و بحث

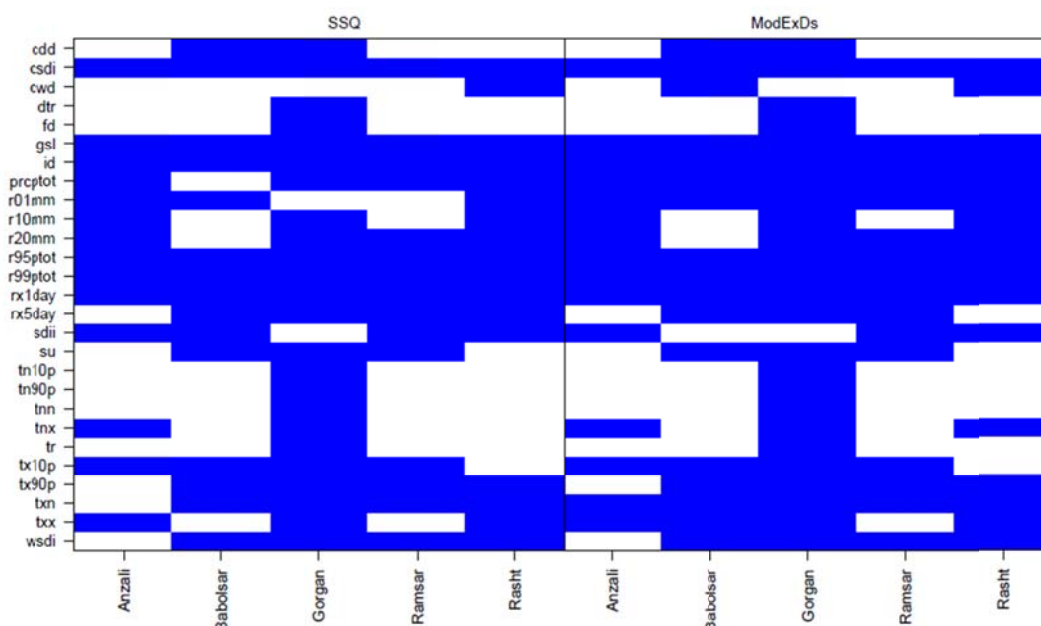
شبه‌سازی شده برای شاخص‌های بارش در این ایستگاه، شباهت بیشتری به شاخص‌های حاصل از داده‌های مشاهداتی دارد. با توجه به شکل ۳ نتایج آزمون توزیع، بهتر از آزمون همبستگی بوده است. به نحوی که تعداد شاخص‌هایی که توزیع آن‌ها با موفقیت شبه‌سازی شده‌اند، بیشتر از آزمون همبستگی است. از بین شاخص‌های مربوط به دما، شاخص‌های دامنه دمایی، روزهای یخبندان، شب‌های سرد، شب‌های گرم و حداقل دمای حداقل، در هر دو روش مورد بررسی در تمام منطقه، غیر از ایستگاه گرگان، عملکرد ضعیفی ارائه کرده‌اند. در حالی که، در شبه‌سازی توزیع شاخص‌های بارش، عملکرد نسبتاً مطلوبی را در منطقه ارائه کرده‌اند. به لحاظ توزیع فضایی، نتایج ایستگاه انزلی، ضعیف‌تر از ایستگاه‌های دیگر بوده است؛ در حالی که این نتایج برای ایستگاه گرگان به طور قابل توجهی بهتر از سایر ایستگاه‌هاست.

بررسی نتایج حاصل از همبستگی شاخص‌های فرین دما و بارش مشاهداتی دوره اعتبارسنجی با شاخص‌های حاصل از ریزگردانی داده‌های واکاوی (شکل ۲) نشان می‌دهد که هر دو روش مورد بررسی در شبه‌سازی شاخص‌های مربوط به دما، موفق‌تر عمل کرده‌اند. به طوری که مقادیر شاخص‌های روزهای یخبندان، طول فصل رشد، شب‌های سرد، شب‌های گرم، روزهای گرم، شب‌های حاره‌ای و حداقل دمای حداکثر، تقریباً در تمام منطقه به خوبی شبه‌سازی شده‌اند. در بین شاخص‌های مربوط به بارش، مقادیر ریزگردانی شده مقدار حداکثر بارش ۵ روز متوالی و تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین، به وسیله هر دو روش، تقریباً در کل منطقه فاقد همبستگی معنادار با مقادیر مشاهداتی بودند. به لحاظ توزیع فضایی شاخص‌های شبه‌سازی شده نیز ایستگاه انزلی، نسبتاً متفاوت‌تر از ایستگاه‌های دیگر بوده است؛ چراکه مقادیر

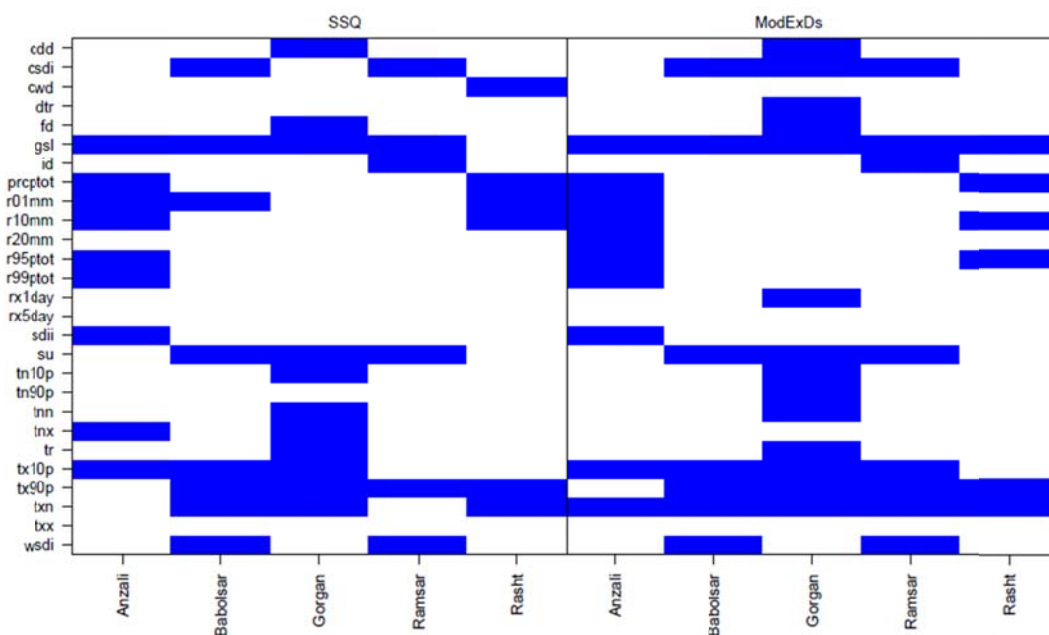


شکل ۲. آزمون مقایسه همبستگی شاخص‌های فرین دما و بارش مشاهداتی و شبه‌سازی شده با استفاده از دو روش SSQ و ModExDs طی دوره اعتبارسنجی

(۱۹۹۱-۲۰۱۳).



شکل ۳. آزمون مقایسه توزیع شاخص‌های فرین دما و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از دو روش SSQ و ModExDs طی دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۱-۲۰۱۳).



شکل ۴. آزمون ترکیبی ارزیابی روش‌های SSQ و ModExDs بر اساس شاخص‌های فرین دما و بارش طی دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۱-۲۰۱۳).

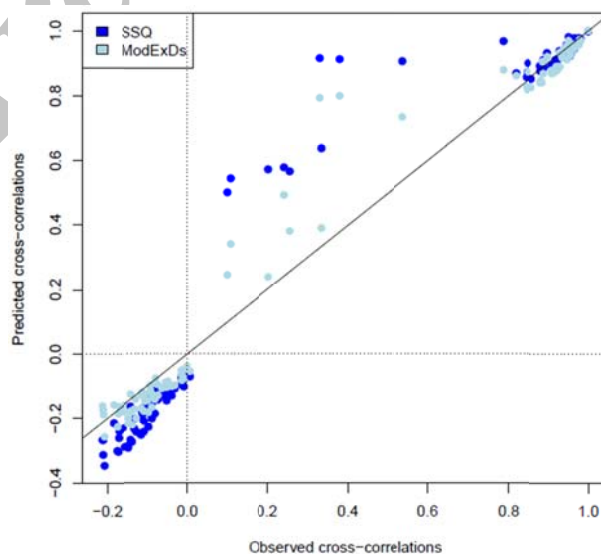
چند ایستگاهی بسط یافته، عملکرد مطلوب‌تری ارائه کرده است. به لحاظ توزیع فضایی نیز نتایج به دست آمده برای ایستگاه گرگان، بهتر از ایستگاه‌های دیگر است. همچنان که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نمودار

نتایج آزمون ترکیبی (شکل ۴) حاکی از آن است که تعداد اندکی از شاخص‌ها (شاخص فصل رشد و روزهای گرم) توسط هر دو روش در سراسر منطقه به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند. در مجموع، روش ریزگردانی

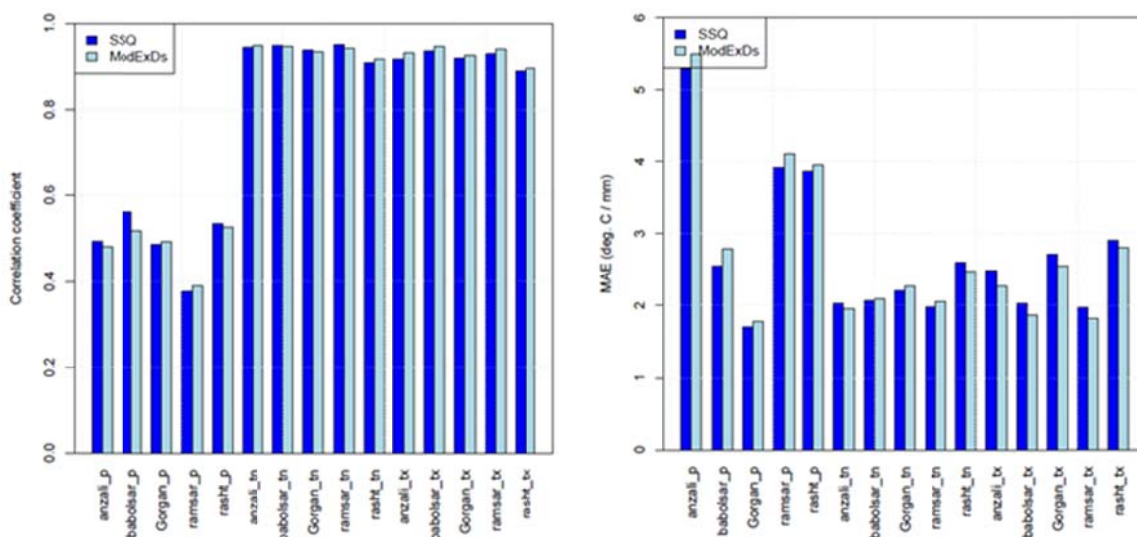
نمی‌شود. نتایج حاصل از محاسبه میانگین خطای مطلق مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده (شکل ۶)، نشان می‌دهد که خروجی روش‌های مختلف در ایستگاه‌های منطقه تا حد زیادی متغیر است. این شاخص در آمار به منظور اندازه‌گیری تفاوت بین دو متغیر پیوسته استفاده می‌شود. در ارزیابی روش‌های ریزگردانی، هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل مورد بررسی است. به دلیل نوسان بیشتر بارش از دما، نتایج معیار مذکور برای بارش غالباً بیشتر از دما است. همچنان که در شکل ۶ نیز نمایان است، بیشترین مقدار آن برای بارش ایستگاه انزلی و سپس رامسر و رشت است. نکته جالب توجه در این زمینه، پایین بودن میانگین خطای مطلق بارش ایستگاه گرگان است که نتایج آن در شاخص‌های فرین بارش این ایستگاه به خوبی مشخص است. در بین فرین‌های دما، مقادیر معیار مذکور برای حداکثر دما، بیش از حداقل آن است که این مسئله به احتمال زیاد حاکی از تغییرات بیشتر دمای حداکثر طی سال‌های اخیر است؛ چراکه امکان تأثیرپذیری نسبتاً زیاد این عنصر از جزیره حرارتی شهرها دور از انتظار نیست. به طور کلی، نتایج این دو معیار نشان می‌دهد که عملکرد روش چندایستگاهی به ویژه در ریزگردانی دما، بهتر از روش تک‌ایستگاهی بوده است.

پراکندگی همبستگی متقاطع مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده طی دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد که نتایج حاصل از ریزگردانی در منطقه، تا حد زیادی بر هم منطبق بوده و دامنه متغیری از همبستگی بین ۰/۴- تا ۱ ارائه می‌کنند. همچنان که مشاهده می‌شود، پراکندگی نقاط عمدتاً در دو ربع اول و سوم نمودار است که حاکی از غلبه همبستگی زیاد (در ربع اول و سوم نمودار) است که به نوعی نشان‌دهنده خوشه‌بندی این توزیع فضایی است. به طوری که با افزایش همبستگی متقاطع پیش‌بینی‌شونده‌ها، مقادیر همبستگی متقاطع پیش‌بینی‌کننده‌ها نیز افزایش می‌یابد و برعکس. همچنین می‌توان گفت که اگرچه هر دو روش مورد بررسی نتایج تقریباً مشابهی از همبستگی متقاطع را به نمایش گذاشته‌اند، روش ریزگردانی بسط‌یافته توزیع مناسب‌تری را در مقایسه با خط برازش به نمایش گذاشته است.

بررسی ضریب همبستگی (شکل ۶) بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد که این ضریب برای فرین‌های دما در تمام ایستگاه‌ها در حد بسیار مطلوب (نزدیک به ۱) است. در حالی که همبستگی مجموع بارش ایستگاه‌ها در حدود ۰/۵ است. در مجموع، تفاوت فاحشی بین روش‌های مورد استفاده مشاهده



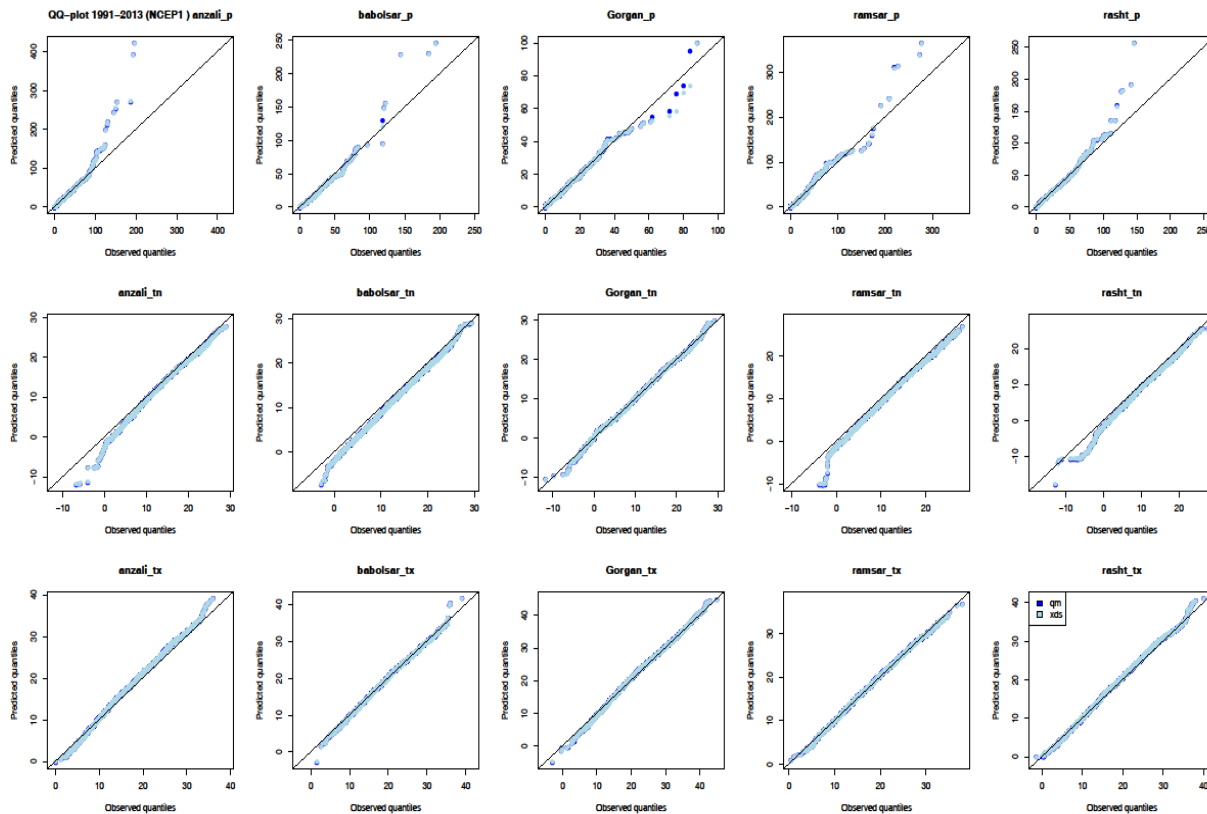
شکل ۵. نمودار همبستگی متقاطع مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از SSQ و ModExDs طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۱۹۹۱).



شکل ۶. نمودار همبستگی پیرسون (چپ) و میانگین خطای مطلق (راست) مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۳-۱۹۹۱).

داده‌هایی فراتر از دامنه تغییرات داده‌های مشاهداتی نیستند. اگرچه در به‌کارگیری روش‌های مورد استفاده در این پژوهش (برون‌یابی دلتا، روندزایی و افزودن روند و ...) تلاش شده تا حد ممکن، این نقیصه پوشش داده شود. با بررسی نمودارهای مربوط به بارش، مشخص می‌شود که این مسئله در شبیه‌سازی مقادیر بارش، نمود بیشتری به خود می‌گیرد؛ به نحوی که ریزگردانی مقادیر حداکثر بارش‌ها کاملاً از محور ترسیم‌شده فاصله می‌گیرند. از این رو مقایسه نمودارهای چندک-چندک ایستگاه‌های مختلف، آشکار می‌سازد که ضعیف‌ترین نتیجه ریزگردانی بارش، مربوط به ایستگاه انزلی و بهترین نتیجه از آن گرگان است؛ بنابراین می‌توان ادعا نمود که روش‌های مذکور در منطقه مرطوب‌تر، عملکرد ضعیف‌تری را در مقایسه با منطقه خشک‌تر ارائه نموده‌اند.

نمودار Q-Q (شکل ۷) به مقایسه چندک‌های مشاهداتی (در محور افقی) و چندک‌های پیش‌بینی‌شده (در محور عمودی) در دوره اعتبارسنجی می‌پردازد. خطی بودن نقاط نشان می‌دهند که داده به‌صورت معمولی توزیع یافته است. فاصله گرفتن داده‌ها در دو انتهای نمودار، حاکی از وجود مقادیر پرت عدم انطباق داده‌ها با توزیع مورد نظر است. همچنان که در شکل ۷ نیز به تصویر کشیده شده است، هر دو روش در ریزگردانی فرین‌های دما، عملکرد بهتری به نمایش گذاشته‌اند. با وجود این، دامنه انتهای پایینی دمای حداقل و بالای دمای حداکثر، به‌خوبی بر محور ترسیم‌شده منطبق نیستند. این مسئله حاکی از ارائه عدم قطعیت در شبیه‌سازی حداقل دمای حداقل و نیز حداکثر دمای حداکثر است. با توجه به ویژگی روش‌های قطعی روش‌های ریزگردانی آماری، این مسئله تا حدودی عادی به نظر می‌رسد؛ چرا که این روش‌ها قادر به برون‌یابی



شکل ۷. نمودار چندک-چندک روش‌های تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی در بازنمونه‌برداری فرین‌های دما و بارش دوره اعتبارسنجی منطقه مورد مطالعه.

۵. نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به آنچه که در بخش پیشین بررسی شد، نتایج این پژوهش با تأیید تحقیقات پیشین (برگر و همکاران، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳؛ خلیلی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اوجی، ۱۳۹۲؛ سونیر و همکاران، ۲۰۱۵) نشان داد که عملکرد روش ریزگردانی چندایستگاهی، به دلیل افزایش همگنی تغییرات متغیر مورد بررسی بین ایستگاه‌ها، بهتر از روش تک‌ایستگاهی است. همچنان که انتظار می‌رفت، ریزگردانی شاخص‌های حدی دما (شاخص‌های روزهای یخبندان، طول

فصل رشد، شب‌های سرد، شب‌های گرم، روزهای گرم، شب‌های حاره‌ای و حداقل دمای حداکثر) در مقایسه با شاخص‌های بارش نتایج بهتری در منطقه ارائه نمودند و برخی از شاخص‌ها به خوبی شبیه‌سازی نشدند (مقدار حداکثر بارش ۵ روز متوالی و تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین). سطح موفقیت روش‌های مورد بررسی در ریزگردانی فرین‌های دما و بارش براساس شاخص‌های استاندارد در دوره اعتبارسنجی منطقه، به‌طور خلاصه در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۸. درصد موفقیت روش‌ها در ریزگردانی شاخص‌های فرین بر مبنای آزمون‌های توزیع، همبستگی و ترکیبی، به تفکیک ایستگاه‌های مورد بررسی.

زمینه عدم قطعیت ریزگردانی اشاره شد، با توجه به نیاز به پیش‌بینی تغییرات آتی اقلیم مناطق مختلف کره زمین، روش‌های متعدد آماری در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته و دارای مقبولیت جهانی‌اند. نکته‌ای که در این زمینه حائز اهمیت است، آگاهی از مسئله عدم قطعیت موجود در خروجی این روش‌ها، تلاش در مدیریت عدم قطعیت مذکور و ارائه هرگونه پیش‌بینی و برنامه‌ریزی بر این اساس است.

مراجع

اوجی، ر.، ۱۳۹۲، تحلیل عدم قطعیت روش‌های تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی در ریزگردانی مقادیر حدی دما و بارش غرب میانی ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

جعفرزاده، ا.، خاشعی، ع. و شهیدی، ع.، ۱۳۹۵، ارزیابی دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و SDSM در برآورد تغییرات پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۴، صفحه ۳۰۹-۳۲۲.

دهقانی پور، ا. ح.، حسن‌زاده، م. ج.، عطاری، ج. و عراقی‌نژاد، ش.، ۱۳۹۰، ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز (یازدهمین

همچنان که مشاهده می‌شود در مجموع، روش ریزگردانی تک‌ایستگاهی نگاهت چندکی، موفق به گذراندن حدود ۲۹ درصد و روش چندایستگاهی بسط‌یافته موفق به گذراندن ۳۳/۳ درصد از آزمون ترکیبی در منطقه شده‌اند که نتایج مورد قبولی در این زمینه است. این در حالی است که نتایج به‌دست‌آمده برای ایستگاه‌های منطقه تا حد زیادی متغیر است؛ به نحوی که این موفقیت بر اساس روش چندایستگاهی برای ایستگاه گرگان به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد، درحالی‌که بر اساس هر دو روش در ایستگاه رشت به حدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. این بدین معنی است که عدم قطعیت ناشی از ریزگردانی، به حدود ۵۰ درصد می‌رسد؛ بنابراین بایستی در ارائه تصویر آتی از اقلیم منطقه بر اساس سناریوهای مختلف که خود منشأ عدم قطعیت دیگری است که در تحقیقی مجزا به آن پرداخته خواهد شد، مد نظر قرار گیرد؛ چرا که در غیر این صورت، پیش‌بینی‌ها تا حد زیادی غیرواقعی جلوه خواهد نمود و از اعتبار مطالعات خواهد کاست. اگرچه ارزیابی یک روش ریزگردانی آماری بر اساس شاخص‌های فرین دما و بارش، تا حدودی سخت‌گیرانه به نظر می‌رسد، ولی با توجه به اینکه بر اساس استانداردهای جهانی، بایستی تأثیرات تغییر اقلیم آتی هر منطقه را در شدت و مدت فرین‌ها در منطقه جستجو کرد، ناگزیر به چنین ارزیابی‌هایی هستیم. در پایان، باوجود تمام مواردی که در

- چندایستگاهی مدل آماری اس‌دی‌اس‌ام با استفاده از شاخص‌های حدی دما و بارش (مطالعه موردی: غرب میانی ایران)، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۱، ۱۹۳-۲۰۸.
- قرمزچشمه، ب.، رسولی، ع. ا.، رضائی بنفشه، م.، مساح‌بوانی، ع. ر. و خورشیددوست، ع. م.، ۱۳۹۳، بررسی اثر عوامل مورفو-اقليمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ششم، شماره ۲، ۱۵۵-۱۶۴.
- کوهی، م.، موسوی بایگی، م.، فرید حسینی، ع. ر.، ثنایی‌نژاد، ح. و جباری نوقابی، ه.، ۱۳۹۱، ریزمقیاس نمایی آماری و ارایه سناریوهای آتی رویدادهای حدی بارش در حوضه کشف رود، نشریه پژوهشهای اقلیم‌شناسی، سال سوم، شماره ۱۲، ۳۵-۵۳.
- Bürger, G., 1996, Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Clim. Res.*, 7, 111-128.
- Bürger, G. and Chen, Y., 2005, Regression-based downscaling of spatial variability for hydrologic applications, *J. Hydrol.*, 311, 299-317, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.01.025.
- Bürger, G., Murdock, T. Q., Werner, A. T., Sobie, S. R. and Cannon, A. J., 2012, Downscaling Extremes—An Intercomparison of Multiple Statistical Methods for Present Climate, *J. Clim.*, 25, 4366-4388, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00408.1.
- Bürger, G., Reusser, D. and Kneis, D., 2009, Early flood warnings from empirical (expanded) downscaling of the full ECMWF Ensemble Prediction System, *Water Resour. Res.*, 45, W10443, DOI: 10.1029/2009WR007779.
- Bürger, G., Sobie, S. R., Cannon, A. J., Werner, A. T. and Murdock, T. Q., 2013, Downscaling Extremes: An Intercomparison of Multiple Methods for Future Climate, *J. Clim.*, 26, 3429-3449, DOI:10.1175/JCLI-D-12-00249.1.
- Cannon, A. J., 2013, ModExDs, Pacific Climate Impact Consortium.
- Chen, J., Chen, H. and Guo, S., 2017, Multi-site precipitation downscaling using a stochastic weather generator, *Clim Dyn*, DOI: 10.1007/s00382-017-3731-9.
- Dobler, C., Bürger, G. and Stötter, J., 2012, Assessment of climate change impacts on flood hazard potential in the Alpine Lech watershed, *J. Hydrol.*, 460-461, 29-39, DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.06.027.
- Farajzadeh, M., Oji, R., Cannon, A. J., Ghavidel Y. and Massah Bavani, A., 2015, An evaluation of single-site statistical downscaling techniques in terms of indices of climate extremes for the Midwest of Iran, *Theoretical and Applied Climatology* 120, 377-390, DOI: 10.1007/s00704-014-1157-4. <https://rcmes.jpl.nasa.gov/content/statistical-downscaling#quantile>.
- Haddad, Z. S. and Rosenfeld, D., 1997, Optimality of Z-R Relationships, *Q. J. R. Meteorol Soc.*, 123, 1283-1293.
- Hamlet, A. F., Salathe, E. P. and Carrasco, P., 2010, Statistical downscaling techniques for global climate model simulations of temperature and precipitation with application to water resources planning studies. <http://www.hydro.washington.edu/2860/report>.
- Harpham, C. and Wilby, R. L., 2005, Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amounts. *J. Hydrol* 312:235-255.
- Haylock, M. R., Cawley, G. C., Harpham, C., Wilby, R. L. and Goodess, C. M., 2006, Downscaling heavy precipitation over the UK: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology*, 26, 1397-1415.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins,
- سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر).
- رضائی، م.، نهمتانی، م.، مقدم‌نیا، ع.، جان‌آبکار، ع. و رضائی، م.، ۱۳۹۴، مقایسه روشهای شبکه‌ی عصبی مصنوعی و ریزمقیاس کردن اندازه‌ی بارش سالانه‌ی شبیه‌سازی شده با HadCM3 (مطالعه‌ی موردی: کرمان، راور و رابر)، مجله مهندسی منابع آب، دوره ۸، شماره ۲۴، صفحه ۲۵-۴۰.
- سبحانی، ب.، اصلاحی، م. و بابائیان، ا.، ۱۳۹۴، کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، صفحه ۴۹۹-۵۱۶.
- فرج‌زاده، م.، اوجی، ر.، قویدل‌رحیمی، ی. و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۹۶، ارزیابی ریزگردانی تک‌ایستگاهی و

- W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, D., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437–471.
- Khalili, M., Brissette, F. and Leconte, R., 2011, Effectiveness of Multi-site Weather Generator for Hydrological Modeling, *American Water Resources Association, Journal of the American Water Resources Association*, 47(2), 303-314.
- Khalili, M. and Nguyen, V. T. V., 2016, An efficient statistical approach to multi-site downscaling of daily precipitation series in the context of climate change, *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-016-3443-6.
- Khalili, M., Nguyen, V. T. V. and Gachon, P., 2013, A statistical approach to multi-site multivariate downscaling of daily extreme temperature series, *International Journal of Climatology* 33(1): 15-32, DOI: 10.1002/joc.3402.
- Kim, K. Y. and Yi, G. S., 2008, Sequential KNN imputation method. R package version 1.0.1. CSBio lab., Information and Communications University, <http://csbio.icu.ac.kr>.
- Maraun, D., 2013, Bias Correction, Quantile Mapping, and Downscaling: Revisiting the Inflation Issue, *Journal of Climate*, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00821.1.
- Michelangeli, P. A., Vrac, M. and Loukos, H., 2009, Probabilistic downscaling approaches: application to wind cumulative distribution functions. *Geophys Res Lett* 36:L11708. doi: 10.1029/2009GL038401.
- Panofsky, H. A. and Brier, G. W., 1958, Some Applications of statistics to meteorology, Philadelphia: the Pennsylvania State University.
- Sunyer, M. A., Hundefcha, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M., Vormoor, K., Bürger, G., Hanel, M., Kriaučiūnienė, J., Loukas, A., Osuch, M. and Yücel, I., 2015, Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 1827-1847, DOI: 10.5194/hess-19-1827-2015.
- Vandal, T., Kodra, E. and Ganguly, A. R., 2017, Intercomparison of Machine Learning Methods for Statistical Downscaling: The Case of Daily and Extreme Precipitation, arXiv:1702.04018.
- Wang, X. L., 2008, Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. *J Atmos Oceanic Tech* 25:368–384. DOI: 10.1175/2007/JTECHA982.1.
- Wang, X. L., Chen, H., Wu, Y., Feng, Y. and Pu, Q., 2010, New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *J App Meteorol Climatol* 49:2416–2436. DOI: [http:// dx.doi. org/ 10.1175 /2010JAMC2376.1](http://dx.doi.org/10.1175/2010JAMC2376.1)
- Wang, X. L. and Feng, Y., 2010, RHtestsV3 user manual. Climate Research Division, Science and Technology Branch, Environment Canada, Toronto, ON, Canada. http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RHtest/RHtestsV3_UserManual.doc.
- Wang, X. L., Wen, Q. H. and Wu, Y., 2007, Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *J App Meteorol Climatol* 46:916–931. DOI: 10.1175/JAM2504.1.
- Wood, A., Maurer, E., Kumar, A. and Lettenmaier, D. P., 2002, Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *J Geophys Res* 107:4429, doi:10.1029/2001JD000659.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T. C., Trewin, B., Zwiers, F. W., 2011, Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change* 2:851–870. doi:10.1002/wcc.147.

Comparison of Multi-site and Single-site Daily Precipitation and Temperature Extremes Downscaling (Case Study: Southern Coast of the Caspian Sea)

Oji, R.*

Assistant Professor, Department of Geography, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received: 20 Jun 2017, Accepted: 24 Oct 2017)

Summary

To characterize the linkage between large-scale climate conditions and local climate variability, statistical downscaling techniques have been frequently used in climate-related studies. Different single-site and multi-site approaches to downscaling methods are applied in this regard. Most of the studies, however, have been mainly dealing with downscaling of climatic processes for a specific site or watershed average, but few studies are concerned with the multi-sites downscaling techniques because of the complexity in accurately describing both observed at-site temporal persistence and spatial dependence between different variables and locations (Khalili et al. 2013; Chen et al., 2017).

In this study, in order to comparison of multi-site and single-site daily precipitation and temperature extremes downscaling, two methods of Single-site Quintile Mapping (SSQ) and multi-site Modular Expanded Downscaling (ModExDs) (Cannon, 2013) were applied to a set of 5 synoptic stations located within Southern Coast of the Caspian Sea, Iran. The SSQ downscaling technique is based on application of the quantile mapping bias correction step from the Bias Correction Spatial Disaggregation (BCSD; Wood et al. 2002) downscaling algorithm directly to daily GCM data, i.e., without spatial and temporal disaggregation (Bürger et al. 2013). In this study, quantile mapping algorithm with delta method extrapolation for nonlinear bias correction is applied. Expanded Downscaling (XDS) is a perfect prognosis technique which maps large-scale atmospheric fields to local station data. The XDS method is based on defining a multivariate linear regression between predictors and predictands, extended by the side condition that the local co-variability between the variables and stations is preserved (Sunyer et al.). The ModExDs, as a modular of XDS which is implemented in R by Cannon (2013), is performed here.

The predictands include daily time series of precipitation and temperature extremes for the 1961-2013 period that leads to create a training set consisting of the first 30 years data, and a test set consisting of the remaining observations. Same variables of the NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centre for Atmospheric Research) reanalysis dataset were considered as climate predictors. Missing values of observed data are filled in by using the sequential k-nearest neighbor imputation method (Kim and Yi 2008) and homogeneity tests, of the R packages RHtestsV3 (Wang and Feng 2010) and RHtests_dlyPrep (Wang et al. 2010), based on penalized maximal t and F tests (Wang et al. 2007; Wang 2008b), are applied both before and after infilling to assess infilling performance.

The methods sensitivity to large-scale anomalies and their skill in replication of the observation data distribution during the validation period (1991-2013) are tested, according to the 27 Climate Extremes Indices (CLIMDEX), using Pearson correlation and Kolmogorov–Smirnov (KS) tests, respectively. Combined tests are used to assess overall model performances.

The results showed that the multi-site method of ModExDs was able to pass 66.7, 48.9 and 33.3 percent and the single-site method of SSQ, passed 63, 48 and 29.6 percent of the Kolmogorov–Smirnov (KS), the Pearson correlation and the combined tests respectively. Therefore, both methods performed well in terms of temperature and precipitation downscaling. However, multi-site method performed better than single-site overlay.

Correlation tests were passed less frequently than KS tests. Both methods downscaled temperature indices better than precipitation indices. According to the Tables 3, 4 and 5, some indices, notably FD, GSL, TN10p, TN90p, TR and DTR, were passed correlation test successfully. Most of the indices related to the precipitation, especially, Rx5day and R10 were not successfully simulated by any of the methods in the region. Model performance varied widely across the study region. Methods performance, however, were better in the Anzali station regarding to the test 1 (corr). More indices were able to pass the test 2 (KS) throughout the region. However, indices such as DTR, FD, TN10p, TN90p, TNN, were not successfully downscaled or appeared to be fairly weak in all stations except for Gorgan in this regard. The indices of GSL and TX90p could pass the combined test throughout the study area. As mentioned before, methods performance varied across the region. So that the methods performed well in Gorgan station, while both performed worse in Rasht station.

Keywords: Statistical Downscaling, comparison, extreme temperature and precipitation, the south coast of the Caspian.

* Corresponding author:

oji_r@yahoo.com