

ارزیابی دورنمای تغییرات تبخیر-تعرق مرجع حوزه آبخیز رودخانه ارس در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای RCP

برومند صلاحی^{۱*}، مهناز صابر^۲ و عباس مفیدی^۳

^۱استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ^۲دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل و ^۳استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

چکیده

در این پژوهش، دورنمای تبخیر-تعرق مرجع (ETo) بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه ارس تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از ریزگردان SDSM ترسیم شد. برای این منظور، از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب واقع در این حوزه استفاده شد. پس از دریافت خروجی ریزگردانی شده برای پارامترهای مورد نیاز برای برآورد ETo به روش پنمن-مانتیت فائو شماره ۵۶ برای آینده نزدیک (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ میلادی) اقدام به محاسبه آن شد. در این راستا، از داده‌های روزانه بازتحلیل NCEP و داده‌های ایستگاهی کمینه و بیشینه دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در مقیاس روزانه نیز داده‌های خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCPs برای تولید داده‌های ایستگاهی آینده برای تخمین ETo حوزه ارس استفاده شد. ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل اهر، اردبیل، پارس‌آباد، جلفا، خوی و ماکو بود و دوره پایه برای داده‌های مورد نظر ۱۹۸۵-۲۰۰۵ در نظر گرفته شد. ابتدا، کارایی SDSM در شبیه‌سازی پارامترهای مورد نیاز برای تخمین ETo از طریق مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده NCEP با داده‌های ایستگاهی ارزیابی شد. مقایسه آن‌ها نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی داده‌ها بود. لذا، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP برای آینده شبیه‌سازی شده، پس از محاسبه مقادیر ماهانه آن‌ها، برای تخمین ETo حوزه به CROPWAT وارد شده و مقدار و روند متغیر برای سه دهه آتی محاسبه شد. نتایج نشان داد، ETo حوزه در دوره آتی نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط حدود هفت میلی‌متر در سال افزایش خواهد یافت. برحسب ایستگاهی نیز ETo در پارس‌آباد (۱۰۲ میلی‌متر) و جلفا (۶۶ میلی‌متر) افزایشی خواهد بود که این افزایش به معنی افزایش نیاز آبی گیاهان در آینده نیز است. همچنین، روند آتی ETo در خوی، ماکو، اهر و اردبیل کاهشی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: پنمن-مانتیت فائو، تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های اقلیمی، SDSM

مقدمه

به‌ویژه در ارتباط با منابع آب تبدیل شده است. این پدیده، به علت جوانب و اثرات مختلف آن در حال حاضر در مرکز توجه دانشمندان جهان قرار گرفته است، زیرا گزارش‌های

پدیده تغییر اقلیم، اثرات و پیامدهای محتمل ناشی از آن به موضوعی چالش برانگیز برای مدیران و برنامه‌ریزان

(2013)، توانمندی مدل SDSM³ در ریزگردانی دما و بارش در اقلیم گرم خشک یزد و طبس را با مدل Hadcm3 تحت سناریوی A2 بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، مدل Hadcm3 در ریزگردانی دمای خروجی مدل Hadcm3 در اقلیم گرم خشک به درستی عمل می‌کند ولی بارش روزانه حاصل از ریزگردانی اغلب آماره‌ها اختلاف بارزی با مقادیر مشاهداتی دارد. Rezaei و همکاران (2014)، کارایی SDSM را در پیش‌بینی بارش دو ایستگاه منتخب برای اقلیم خشک (کرمان) و فراخشک (بم) ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، مدل در پیش‌بینی میزان بارش منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از توان و دقت بالاتری برخوردار است.

Sobhani و همکاران (2016)، در پژوهش خود، کارایی الگوی ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG⁴ در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که الگوی SDSM برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، ولی برای بارش، عملکرد هر دو مشابه هم است. Goudarzi و همکاران (2016)، نیز پژوهشی در همین زمینه و بر روی ایستگاه‌های سینوپتیک سقز، تبریز، خوی و ارومیه انجام دادند. Javadizadeh و همکاران (2018)، در ارزیابی میانگین دمای حوضه میناب با استفاده از GCM و SDSM به این نتیجه دست یافتند که دمای حوضه تا ۲۱۰۰ روند افزایشی خواهد داشت و دمای فصل زمستان در مقایسه با سایر فصل‌ها، روند افزایشی معنی‌داری را نشان می‌دهد. Zulkarnain و همکاران (2014)، از SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزگردانی باران و دما استفاده و مشخص کردند، هرچند دو مدل نتایج یکسانی را ارائه نمی‌دهند ولی سری زمانی تولید شده با هر دو، در کل روند افزایشی در میانگین دمای روزانه را نشان می‌دهند. روند خروجی مدل‌ها در باران روزانه، مشابه هم نبوده است. درعین حال، SDSM در مقایسه با LARS-WG،

هیات بین‌الدول تغییر اقلیم حاکی از آن است که در اغلب مناطق، وقوع پدیده‌های حادی افزایش و الگوهای بارشی و روند دما تغییر خواهد یافت. با توجه به گستره متاثر از تغییر اقلیم، تلاش‌های زیادی در راستای پیش‌بینی و آگاهی از رفتار و روند آتی متغیرهای اقلیمی صورت گرفته است (Wilby و همکاران، 2002؛ Dibike و Coulibaly، 2005؛ Lio و همکاران، 2011؛ Meenu و همکاران، 2012؛ Chen و همکاران، 2012) و بر این اساس، مدل‌های گردش عمومی جو ارائه و توسعه داده شدند. در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرایندهایی که بر اقلیم موثرند، شبیه‌سازی شوند و بر اساس آن، وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود (Rezaei و همکاران، 2014).

داده‌های GCM¹ شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵×۳/۷۵ درجه دارند که برای استفاده از اطلاعات آن‌ها در سطح منطقه لازم است، ریزمقیاس شوند (Graham و همکاران، 2007). به دلیل قدرت تفکیک پایین مدل‌های گردش عمومی، روش‌های مختلفی به منظور ریزمقیاس‌نمایی این مدل‌ها ابداع شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. دو روش کلی برای ریزمقیاس‌نمایی این مدل‌ها پرکاربرد است، یکی مبتنی بر روش‌های آماری و دیگری روش دینامیکی است. ریزگردانی دینامیکی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و به پردازشگرهای پیشرفته‌ای نیاز دارد. در روش‌های آماری بین پارامترهای خروجی مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی گردش عمومی جو (AOGCM)² و عناصر اقلیمی در مقیاس روزانه رابطه برقرار می‌شود (Germezcheshmeh و همکاران، 2014). دقت مدل‌ها با توجه به این که پارامترهای خروجی آن‌ها به دلیل قاعده میانگین‌گیری، نماینده سلول محسوب می‌شود، لذا دقت مدل‌ها برحسب موقعیت نسبی ایستگاه‌ها نسبت به مرکز سلول با هم متفاوت هستند.

پژوهش‌های زیادی در زمینه ارزیابی اثرات تغییر اقلیم با ریزگردان‌های مدل‌های اقلیمی انجام شده است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. Roohipanah و همکاران

³ Statistical Downscaling Model

⁴ Long Ashton Research Station-Weather Generator

¹ Global Circulation Models

² Atmosphere-Ocean General Circulation Model

مربع است. یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است و تولیدات متنوعی دارد. همچنین، بخش‌های شمالی سه استان اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را شامل می‌شود. رود ارس و انشعابات و سدهای آن به‌عنوان تامین‌کننده اصلی آب این حوضه محسوب می‌شود. در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوضه ارس در ایران، تغییرات ارتفاع و رودخانه‌های اصلی آن نشان داده شده است.

داده‌ها: در این پژوهش، به‌منظور برآورد دورنمای ETo بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه ارس به روش پنمن-مانتیت فائو شماره ۵۶ تا دهه ۲۰۵۰ میلادی، ابتدا داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب واقع در این حوضه، داده‌های واکاوی از مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP)^۲ در مقیاس زمانی روزانه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و داده‌های برون‌داد مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای RCP در دوره مشابه دیدبانی و دوره آینده اخذ شد. داده‌های واکاوی و مدل CanESM2 متناسب با مختصات جغرافیایی هر ایستگاه از آدرس www.CCCSN.ec.gc.ca دریافت شد. پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی به‌وسیله SDSM شامل کمینه و بیشینه دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی هستند. این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. میانگین بلند مدت این عناصر در ایستگاه‌های منتخب حوضه به ترتیب ۶/۵ و ۱۷/۹ درجه، ۲/۳ متر در ثانیه، ۶/۹ ساعت و ۶۲/۳ درصد به‌دست آمد. پس از تنظیم داده‌های دیده‌بانی ایستگاه‌ها، در فرمت مناسب ریزگردان SDSM و متعاقب کنترل داده‌ها، این داده‌ها از یکم ژانویه ۱۹۸۵ تا ۳۱ دسامبر ۱۹۹۵ برای واسنجی مدل و از یکم ژانویه ۱۹۹۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۵ برای صحت‌سنجی و تولید تصادفی داده‌های هواشناسی به‌کار گرفته شدند. مبنای انجام ریزگردانی در SDSM که نخستین بار Wilby و همکاران در سال ۲۰۰۲ ارائه دادند، بر ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های مصنوعی هواشناسی متکی است. با غربال‌گری ۲۶ متغیر پیش‌بینی NCEP،

تغییر نسبتا بالای باران سالانه را به‌دست می‌دهد. Gagnon و همکاران (2005)، Allen و Toews (2009)، Timbal و همکاران (2009)، Hashmi و همکاران (2011)، Pervez و همکاران (2014)، Subbarao و همکاران (2017) و Gebremeskel و Kebedeb (2018) نیز در پژوهش‌های خود به‌منظور شبیه‌سازی یا پیش‌بینی متغیرهای مختلف برای دوره آینده از SDSM استفاده کردند.

با وجود این‌که در پژوهش‌های زیادی به ارزیابی دقت و کارایی ریزگردان‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی به‌ویژه دما و بارش مناطق مختلف پرداخته شده و در سطح جهانی نیز پژوهش‌های ارزشمندی در زمینه بررسی تغییرات تبخیر-تعرق تحت شرایط تغییر اقلیم انجام شده است، اما در بین پژوهش‌های داخلی در خصوص پیش‌بینی و تخمین تبخیر-تعرق به روش پنمن-مانتیت بر اساس خروجی مدل SDSM پژوهشی مشاهده نشد. با توجه به این‌که برای دستیابی به هرگونه برنامه‌ریزی صحیح برای منابع آب متناسب با شرایط احتمالی آتی، نیازمند پیش‌بینی بلند مدت متغیرهای اقلیمی است، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات تبخیر-تعرق بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه ارس تحت شرایط تغییر اقلیم است. لذا، در این پژوهش، بر اساس خروجی‌های مدل عمومی CanESM2 تحت سناریوهای RCP، دورنمای تغییرات ETo^۱ حوضه ارس برای آینده نزدیک تا سال ۲۰۵۰ ترسیم شد.

مواد و روش‌ها

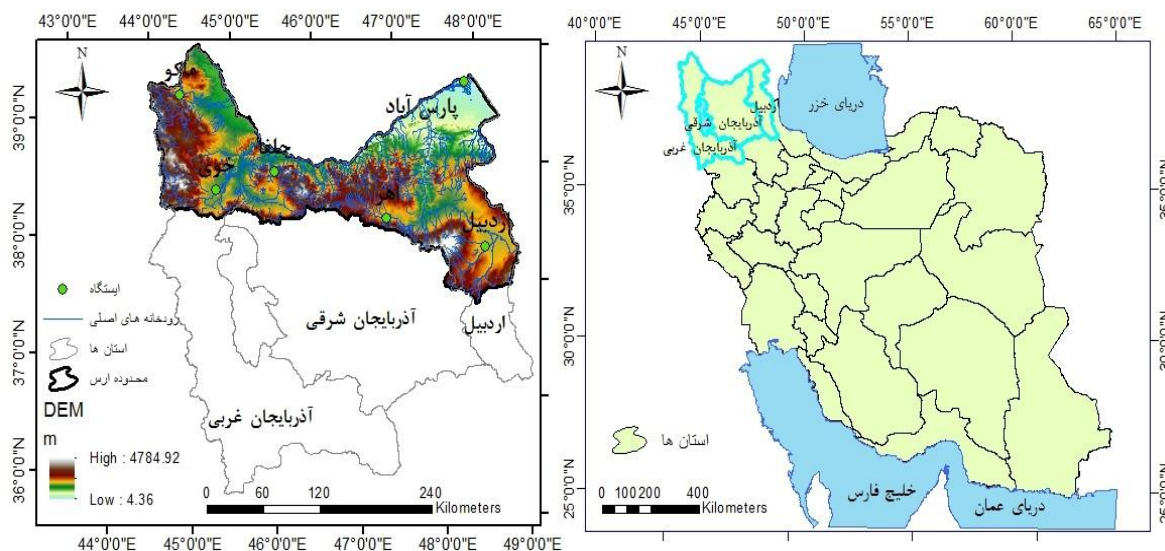
منطقه مورد مطالعه: حوضه ارس، بخشی از زیرحوضه آبخیز غرب دریای خزر تلقی می‌شود که مرز سیاسی بین کشورهای آذربایجان، ایران، ترکیه و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. بخش جنوبی حوزه آبخیز ارس در ایران بین طول جغرافیایی ۰۳' ۴۴° تا ۴۱' ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۷' ۳۷° تا ۴۶' ۳۹° شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه در خاک ایران بالغ بر ۳۹۴۷۸ کیلومتر

² National Centers for Environmental Prediction

¹ Reference Crop Evapotranspiration

روزانه اخذ شد و پس از محاسبه میانگین ماهانه، به عنوان ورودی برای محاسبه ETo به روش پنمن-مانتیث فائو شماره ۵۶ استفاده شد. برای مقایسه این نتایج با دوره پایه، ETo دوره پایه به همین روش با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها محاسبه و سپس روند و توزیع فضایی آن‌ها ترسیم و بررسی شد.

متغیرهای بزرگ‌مقیاس منتخب بر اساس داشتن بالاترین همبستگی به عنوان متغیرهای اقلیمی آینده برای هر یک از متغیرهای پیش‌بینی شونده ایستگاه‌ها گزینش شدند. سپس، داده‌های شبیه‌سازی متغیرهای ایستگاهی مبتنی بر ریزگردانی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده در مقیاس



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه ارس و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

در شرایط متنوع آب و هوایی در مکان‌های مختلف سودمند است (Wilby و Dawson, 2007) و در شش مرحله به ترتیب ۱- کنترل کیفی داده، ۲- تبدیل داده، ۳- غربال‌گری متغیرهای پیش‌بینی کننده، ۴- برازش مدل، ۵- تولید داده‌های آب و هوایی و ۶- تولید سناریو، خروجی مدل را بر اساس داده‌های روزانه ایستگاه مورد مطالعه ریزمقیاس کرده و در مراحل بعد شامل ۷- خلاصه آماری، ۸- مقایسه نتایج، ۹- تحلیل فراوانی و ۱۰- تحلیل سری های زمانی، داده‌ها را به صورت گرافیکی با هم مقایسه می‌کند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مرحله کنترل کیفی داده‌های ورودی به SDSM در جدول ۱، به صورت درصد داده‌های مفقوده پنج پارامتر شش ایستگاه حوضه ارس به همراه مشخصات

مدل SDSM، ریزمقیاس‌سازی مکانی و پیش‌بینی‌ها را به روش رگرسیون خطی چندگانه و تغییرات منطقه‌ای آب و هوایی را در مقیاس‌سازی زمانی روزانه و ماهانه و فصلی مدل‌سازی می‌کند. سناریوهای انتشار قابل استفاده این مدل شامل SRES و RCPS هستند. ورودی مهم مدل شامل داده‌های با کیفیت روزانه دیده‌بانی شده برای دو متغیرهای آب و هوایی با مقیاس محلی و بزرگ‌مقیاس در واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های آماری و همچنین، خروجی‌های روزانه مدل‌های سیاره‌ای با متغیرهای بزرگ مقیاس برای اجرای مدل‌های اقلیمی آینده است. خروجی‌های کلیدی این مدل در بردارنده سناریوهای خاص روزانه برای متغیرهای کمینه و بیشینه دما، بارش و رطوبت است. این مدل ریزگردان، طیف وسیعی از فراسنج‌های آماری همچون واریانس، فراوانی‌های حدی و مسلط را تولید می‌کند (Shamsipour, 2013). این مدل، با ساختار جامع و داده‌های ورودی کامل برای به‌کارگیری

با این ریزگردان به منظور گزینش متغیر(های) پیش‌بینی کننده به عنوان متغیرهای غالب است. پس از آزمون ۲۶ متغیر در این مرحله، NCEP های منتخب برای هر یک از متغیرهای ایستگاه‌ها و فراوانی استفاده از هر یک از NCEP ها برحسب ایستگاه‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است.

جغرافیایی آن‌ها آمده است. ایستگاه ماکو و اهر دارای کمینه و بیشینه تعداد و درصد داده مفقوده هستند. با توجه به این که ریزگردان SDSM، ارتباط آماری بین پارامترهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی کننده) و پیش‌بینی شونده را بر اساس همبستگی بین آن‌ها، تعیین و ارزیابی می‌کند، لذا مرحله غربال‌گری یکی از مهمترین مراحل کار

جدول ۱- درصد داده‌های مفقوده پارامترهای ایستگاهی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۵

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	درصد داده مفقوده		
				سرعت باد	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی
اردبیل	۴۸° ۱۷'	۳۸° ۱۵'	۱۳۳۲	۰/۸۹	۰/۰۱	۳/۲
اهر	۴۷° ۴'	۳۸° ۲۶'	۱۳۹۰	۴/۷	۴/۷	۱۰/۳۶
پارس‌آباد	۴۷° ۵۵'	۳۹° ۳۹'	۳۱/۹	۲/۷۹	۰/۰۱	۴
جلفا	۴۵° ۴۰'	۳۸° ۴۵'	۷۳۶/۲	۰/۴	۰/۴	۴/۷
خوی	۴۴° ۵۸'	۳۸° ۳۳'	۱۱۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۲/۸
ماکو	۴۴° ۲۶'	۳۹° ۲۰'	۱۴۱۱/۳	۰	۰	۷/۴۷

جدول ۲- متغیرهای مستقل منتخب در مرحله غربال‌گری مدل به تفکیک متغیرهای هر ایستگاه

ایستگاه	سرعت باد	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی	دمای کمینه	دمای بیشینه
اردبیل	p5_u	p1_f p1_u temp	p1_z p5_z p500 p5th p850	p500 shum temp	p850 shum temp
اهر	p5th p8_v p850 shum	p1_u p1_v p850 temp	p500 p8th shum	p500 shum temp	p500 p8th shum temp
پارس‌آباد	p1_f p1_u	slp p1_u p850 s500 temp	p1_f p8_z s500 shum temp	slp p5_z precip shum temp	p1_u p5_z shum temp
جلفا	p5_f p8_z shum temp	p5_u p5_z p500 p8_v temp	p1_z p5_z p500 shum temp	p1_u p850 p8th shum temp	p500 p850 s850 shum temp
خوی	slp p1_zh p5_v p850 p8_v	p1_u p1_z precip s850 temp	p1_f p1_u p500 p8_z p850	p1_v p1_z s850 temp	p1_v p1_z p500 temp
ماکو	p5zh p8_z temp	p8_z s500 temp	p5_z p500 p8_z p850 temp	p1_v p500 shum temp	p500 p5zh precip shum temp

مورد نیاز برای برآورد ETo و به تفکیک هر ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۳، آورده شده‌اند. از بین متغیرهای NCEP در پیش‌بینی سرعت باد ایستگاه‌ها، مولفه مداری یا نصف‌النهاری در پیش‌بینی کمینه و بیشینه دما، متوسط دما در ارتفاع دو متری، رطوبت نسبی سطحی و ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، در پیش‌بینی رطوبت نسبی، متوسط دما در ارتفاع دو متری و در پیش‌بینی ساعات آفتابی، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی بیشترین فراوانی را در بین ایستگاه‌های حوضه داشتند.

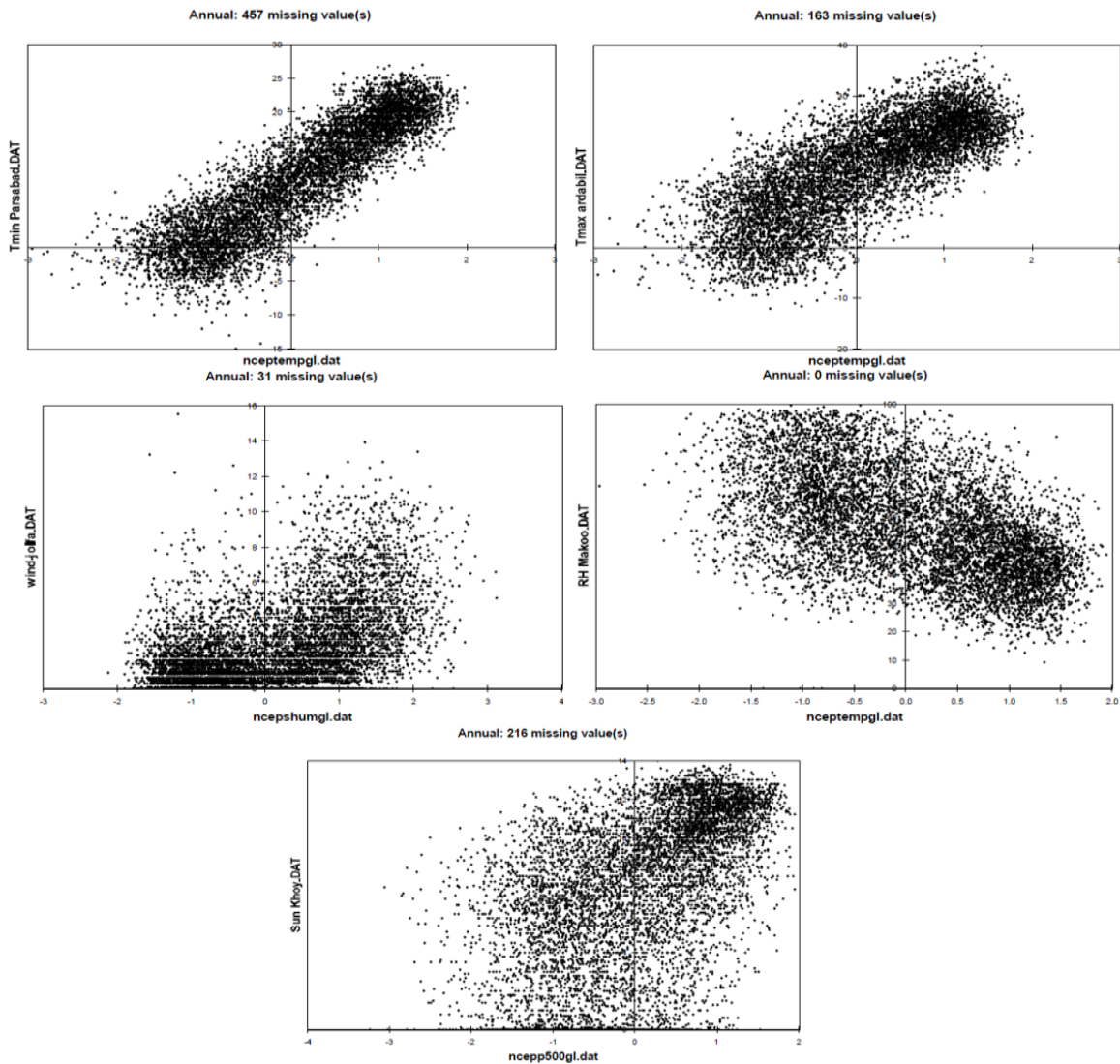
بر این اساس، متوسط دما در ارتفاع دو متری و در مرتبه دوم، رطوبت نسبی سطحی، بالاترین فراوانی را دارند و سپس ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، سرعت مداری سطحی و تاوایی از لحاظ فراوانی بالا، به ترتیب در مرتبه‌های بعدی قرار دارند. سرعت مداری، واگرایی و سرعت باد ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال و جهت باد سطحی نیز با هیچ‌کدام از متغیرهای شش ایستگاه همبستگی معنی‌داری را نشان ندادند. متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب با دارا بودن بیشترین همبستگی معنی‌دار با داده‌های ایستگاهی، به تفکیک پارامترهای

جدول ۳- فهرست متغیرهای پیش‌بینی کننده (NCEP) و فراوانی منتخب‌ها بر اساس داشتن همبستگی بالای معنی‌دار با متغیر پیش‌بینی شونده ایستگاهی

کد پیش‌بینی کننده	توصیف	فراوانی					
		اردبیل	اهر	پارس‌آباد	جلفا	خوی	ماکو
temp	متوسط دما در ارتفاع دو متری	۳	۳	۴	۵	۳	۵
shum	رطوبت نسبی سطحی	۲	۴	۳	۴	۰	۲
p500	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲	۲	۰	۳	۲	۲
p850	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲	۲	۱	۲	۲	۱
p1_u	سرعت مداری سطحی	۱	۱	۳	۱	۲	۰
p8_z	تاوایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۱	۱	۱	۱	۳
p5_z	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱	۰	۲	۲	۰	۱
p1_z	تاوایی سطحی	۱	۰	۰	۱	۳	۰
p1_f	سرعت باد سطحی	۱	۰	۲	۰	۱	۰
p1_v	سرعت نصف‌النهاری سطحی	۰	۱	۰	۰	۲	۱
mslp	متوسط فشار در سطح دریا	۰	۰	۳	۰	۱	۰
p8_v	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۱	۰	۱	۱	۰
p8th	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۲	۰	۰	۰	۰
s850	رطوبت ویژه در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۱	۲	۰
s500	رطوبت ویژه در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۲	۱
precip	بارش	۰	۰	۰	۱	۱	۱
p5_u	سرعت مداری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱	۰	۰	۱	۰	۰
p5th	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱	۱	۰	۰	۰	۰
p5zh	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۰	۲
p1zh	واگرایی سطحی	۰	۰	۰	۰	۱	۰
p5_f	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۱	۰	۱
p5_v	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۱	۰
p1th	جهت باد سطحی	۰	۰	۰	۰	۰	۰
p8_f	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۰	۰
p8_u	سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۰	۰
p8zh	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰	۰	۰	۰	۰	۰

ترسیم شد. در شکل ۲، چند مورد از آن‌ها به‌عنوان نمونه آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بین متغیر NCEP و دما رابطه مستقیم ناقص قوی وجود دارد و پراکنش داده‌ها منسجم‌تر از بقیه متغیرها است.

همچنین، در این غربال‌گری به‌منظور اطمینان از دقت ریزمقیاس‌نمایی SDSM در شبیه‌سازی پارامترها و نمایش شماتیک، همبستگی و ارتباط بین متغیرهای NCEP منتخب و داده‌های ایستگاهی، نمودار پراکنش آن‌ها نیز



شکل ۲- نمودار پراکنش بین داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه و متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP در دوره پایه

(نمودارهای سمت چپ)، توانایی و دقت مناسب SDSM در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های حوزه ارس و میانگین آن‌ها را نشان می‌دهند. همچنین، مقایسه داده‌های خروجی حاصل از ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP برای دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) این پارامترها، با داده‌های NCEP تاریخی

پس از تولید داده‌های خروجی برای پارامترهای ایستگاه‌ها، دقت SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای ایستگاهی حوزه ارس در قالب نمودارهای مقایسه‌ای نیز ارزیابی شد (شکل ۳). این نمودارها که بر اساس داده‌های مشاهداتی NCEP تاریخی مدل CanESM2 پارامترهای مورد مطالعه برای دوره ۱۹۸۵-۱۹۹۵ تهیه شده‌اند

رطوبت نسبی در اردبیل و ماکو، در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

ETO سالانه حوضه در دوره پایه به روش پنمن-مانتیت (شکل ۴) نشان می‌دهد در مجموع روند گذشته این متغیر در ایستگاه‌های حوضه تقریباً تا پیش از سال ۱۹۹۵ نزولی و بعد از ۱۹۹۵ صعودی است. متوسط ETO سالانه در جلفا، اهر، ماکو، پارس‌آباد، خوی و اردبیل به ترتیب ۱۵۱۱، ۱۱۷۹، ۱۰۹۰، ۱۱۱۰، ۱۰۲۷ و ۱۰۲۴ میلی‌متر محاسبه شد. بنابراین، جلفا، بیشترین و اردبیل، کمترین مقدار ETO را به خود اختصاص دادند.

در شکل ۵، روند ETO تخمینی حوضه برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) به روش پنمن-مانتیت با استفاده ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP آورده شده است. مقادیر برآوردی سه سناریو اختلاف کمی با هم دارند ولی روند ETO آبی ایستگاه‌های پارس‌آباد و جلفا تقریباً صعودی و بقیه ایستگاه‌ها نزولی است. در بین ایستگاه‌ها جلفا همچنان بیشترین مقدار ETO را دارد و نسبت به گذشته ۶۶ میلی‌متر افزایش یافته است. پارس‌آباد نیز نسبت به دوره پایه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. ماکو و خوی، بیش از ۵۰ میلی‌متر کاهش یافته اما اهر و اردبیل تغییر چندانی را نشان نمی‌دهند و حدود ۱۸ و ۱۷ میلی‌متر کاهش را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهند.

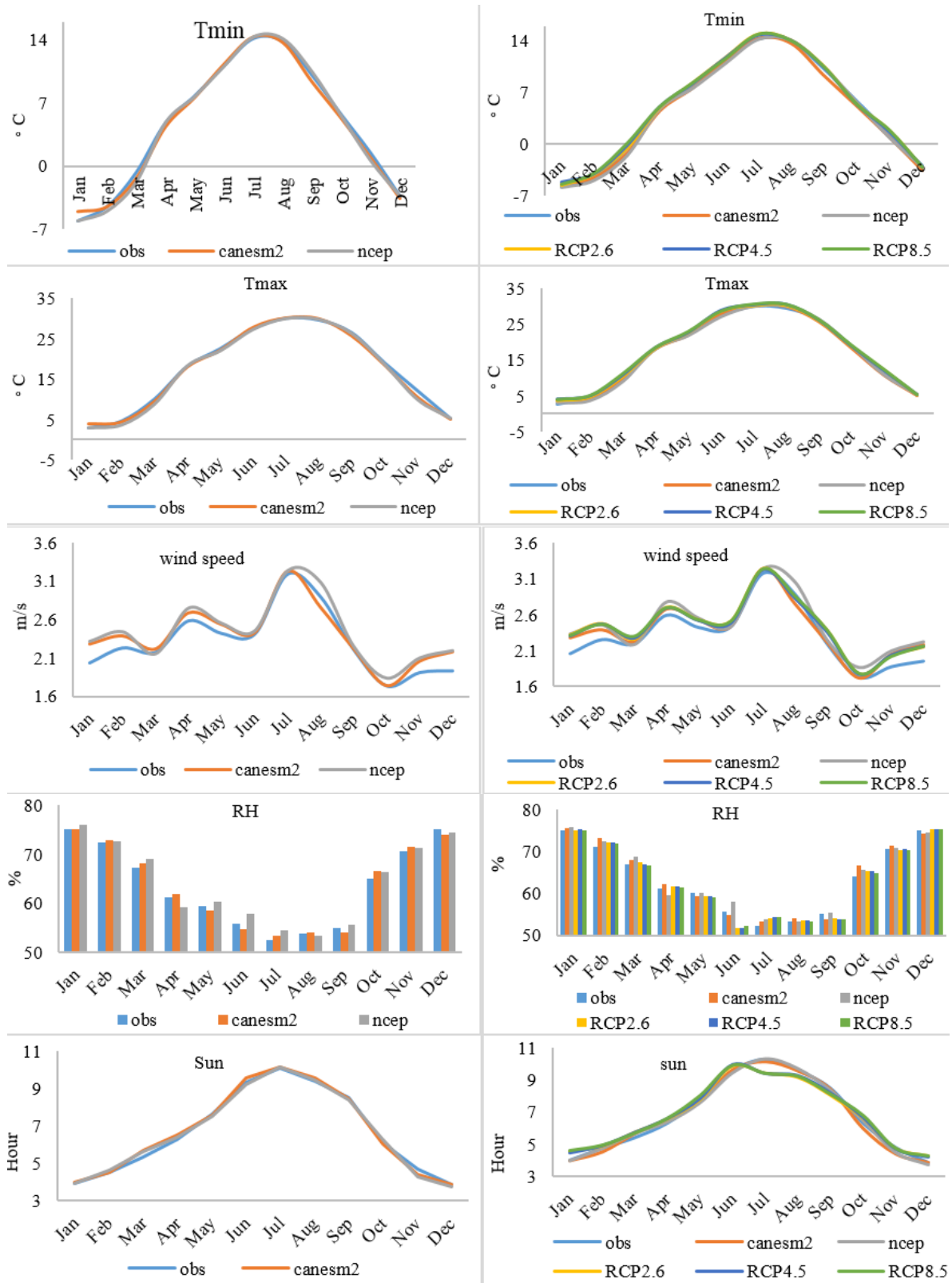
متوسط ETO سالانه تحت سناریوی RCP8.5 در جلفا، پارس‌آباد، اهر، ماکو، اردبیل و خوی به ترتیب ۱۵۸۶، ۱۱۶۹، ۱۱۶۴، ۱۰۶۷، ۱۰۰۷ و ۹۷۶ میلی‌متر برآورد شده است که در دو سناریوی دیگر اندکی از این مقادیر کمتر است اما ترتیب ایستگاه‌ها همانند RCP8.5 است. مقدار این متغیر در سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۵/۲، ۶/۵ و ۱۰/۱ و به‌طور متوسط در سطح حوضه ۷/۳ میلی‌متر در مقیاس سالانه افزایش خواهد یافت.

مدل CanESM2 دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) نیز نشان می‌دهد (نمودارهای سمت راست شکل ۳) مدل به خوبی توانسته روند کلی پارامترها را شبیه‌سازی کند.

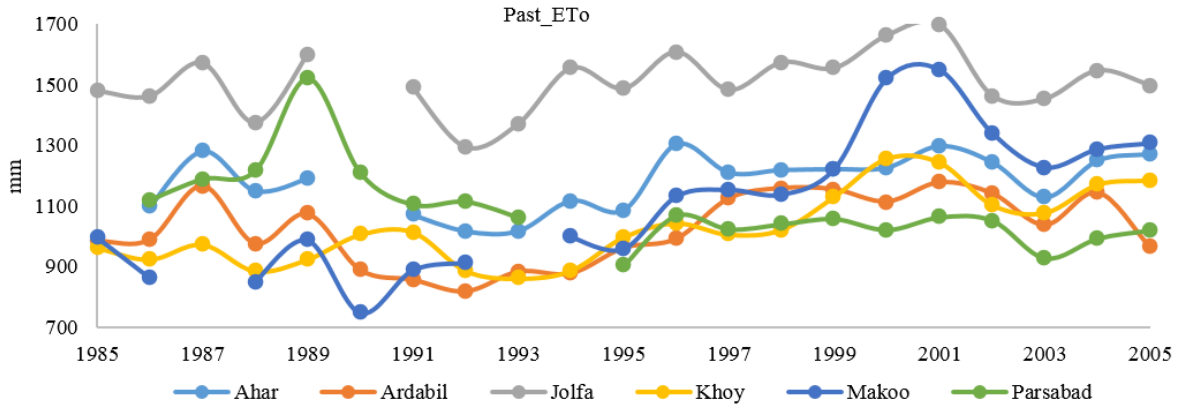
برحسب متغیر می‌توان گفت، دقت و توان مدل در شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای ایستگاه‌ها بیشتر از سایر متغیرها است که این به تبع وجود همبستگی تا ۰/۸۸ بین آن‌ها و متغیرهای NCEP است. دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت نسبی و ساعات آفتابی نیز مناسب ارزیابی شد و تا ۰/۶۳ و ۰/۵۹ همبستگی را نشان می‌دهد اما دقت کمتری در شبیه‌سازی سرعت باد نسبت به چهار متغیر دیگر دارد. بیشترین اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و SDSM در شبیه‌سازی ساعات آفتابی، مربوط به مارس و در رطوبت نسبی مربوط به مارس تا سپتامبر و نوامبر است.

در شبیه‌سازی سرعت باد به‌جز ماه جولای در بقیه ماه‌ها، داده‌های مذکور بر روی هم منطبق نبوده و اختلاف اندکی را نشان می‌دهد، هر چند در این متغیر نیز مدل به خوبی روند ماهانه داده مشاهداتی را شبیه‌سازی کرده است. می‌توان گفت، دقت مدل تا حدودی متأثر از فاصله ایستگاه از مرکز سلول است زیرا دقت شبیه‌سازی مدل و ضرایب همبستگی به‌دست آمده در ایستگاهی مانند جلفا که به مرکز سلول نزدیک‌تر است، بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. از طرفی، همان‌طور که اشاره شد، هرچند SDSM در شبیه‌سازی سرعت باد ایستگاه‌ها عملکرد مطلوبی را نشان نمی‌دهد، با این حال، بیشترین ضریب همبستگی بین این متغیر و داده‌های NCEP تا ۰/۴۸ ملاحظه شد که آن هم به ایستگاه جلفا تعلق دارد.

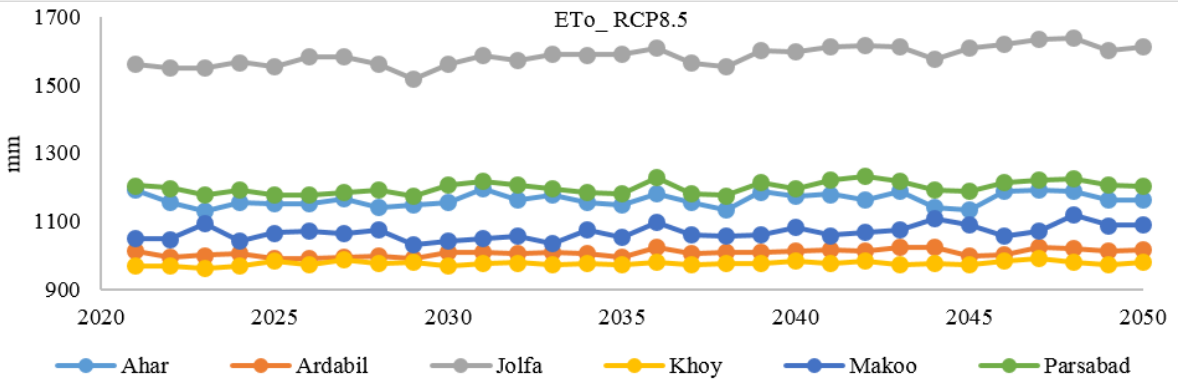
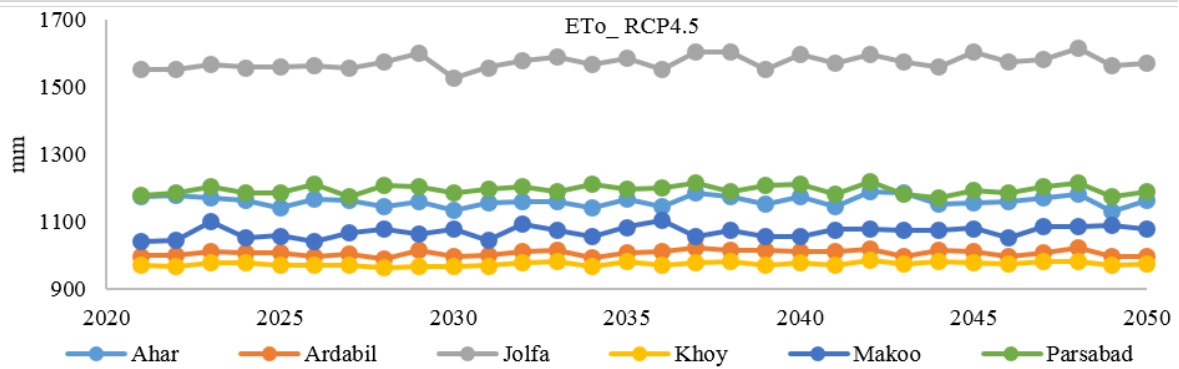
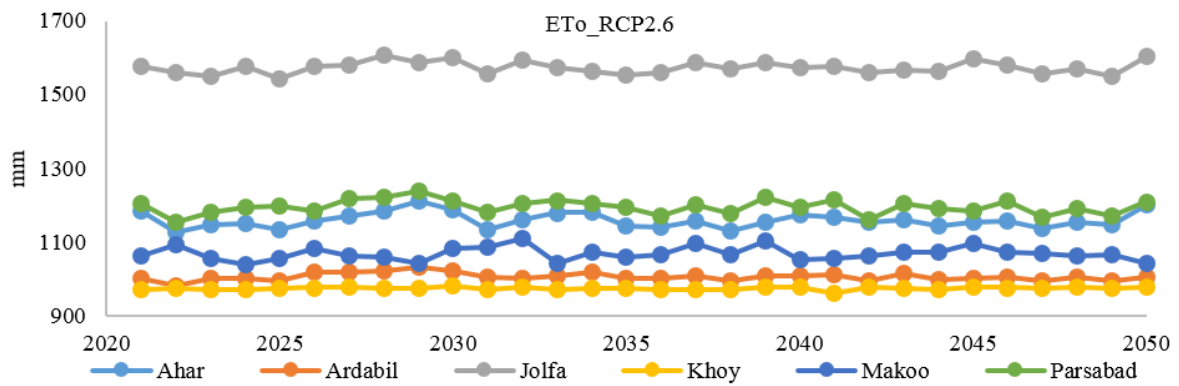
روند داده‌های خروجی به لحاظ ایستگاهی و در مقیاس سالانه نشان داد، کمینه دما در اهر، جلفا، خوی و ماکو، بیشینه دما و سرعت باد در همه ایستگاه‌ها به‌جز پارس‌آباد، ساعات آفتابی در اردبیل، جلفا، خوی و ماکو و



شکل ۳- نمودارهای مقایسه‌ای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پارامترها به‌وسیله SDSM برای دوره ۱۹۸۵-۱۹۹۵ (سمت چپ) و همان داده‌ها برای دوره پایه و داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP برای ۲۰۲۱-۲۰۵۰ (سمت راست)



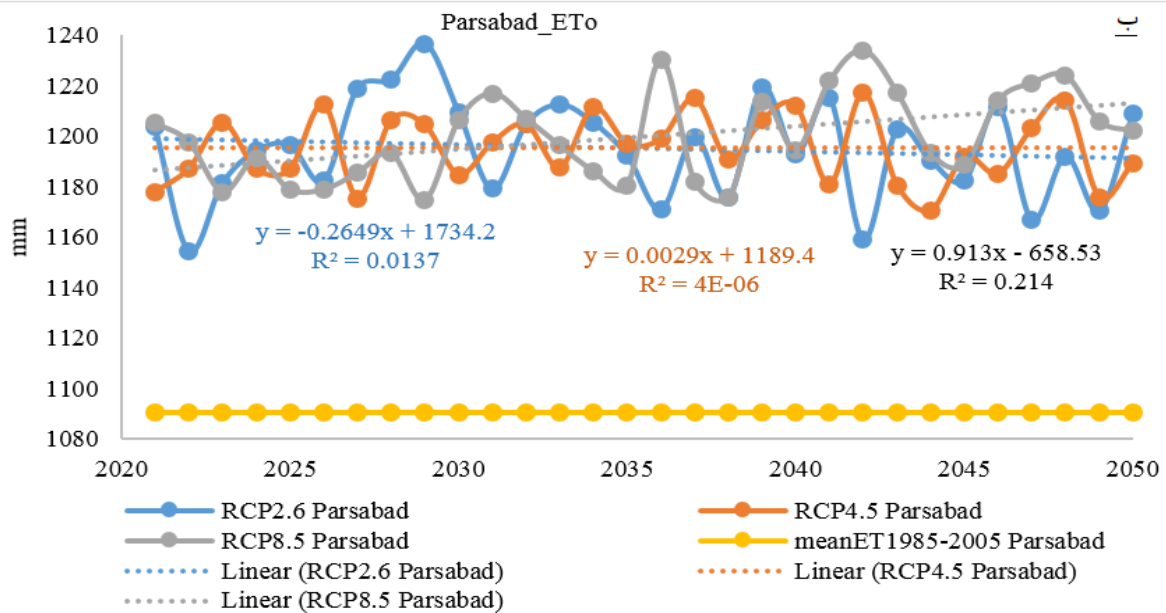
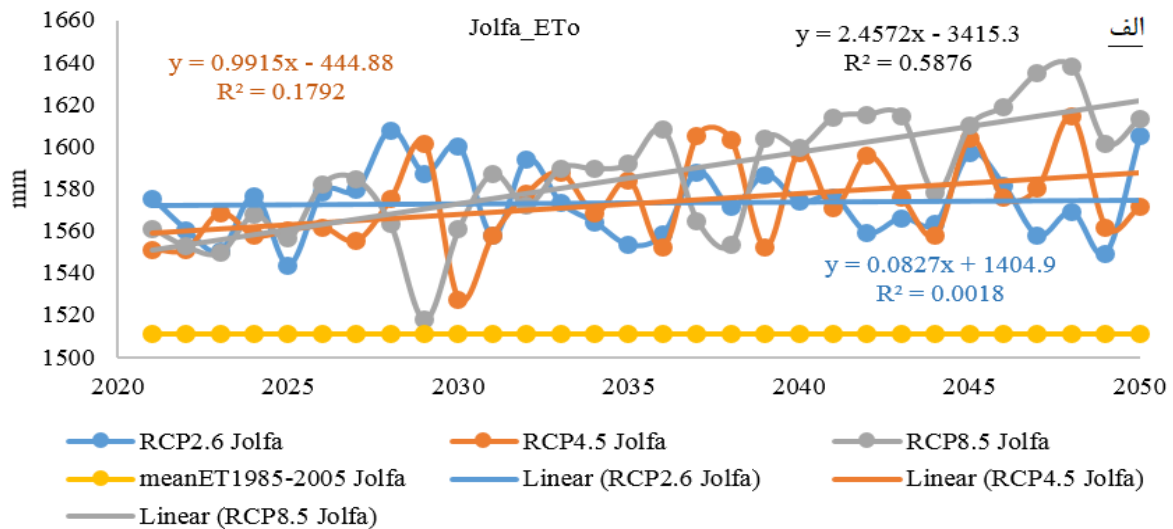
شکل ۴- ETo حوضه ارس در دوره پایه به روش پنمن-مانتیت



شکل ۵- ETo برآوردی حوضه ارس برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش پنمن-مانتیت تحت سناریوهای RCP

مقدار افزایش ETo جلغا کمتر از پارس آباد است اما شیب خط آن تندتر از شیب خط پارس آباد است. در خصوص هر دو ایستگاه، شیب خط روند ETo سناریوی RCP8.5 تندتر از سناریوی RCP4.5 و شیب خط روند ETo سناریوی RCP4.5 بیش تر از سناریوی RCP2.6 است.

برای آشکار شدن بهتر روند ETo برآوردی پارس آباد و جلغا برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش پنمن-مانتیت تحت سناریوهای RCP، در نمودارهای مجزایی مقادیر تخمینی آنها در مقایسه با میانگین دوره پایه ترسیم شد (شکل ۶). همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، روند خطی هر دو ایستگاه صعودی است. هر چند،



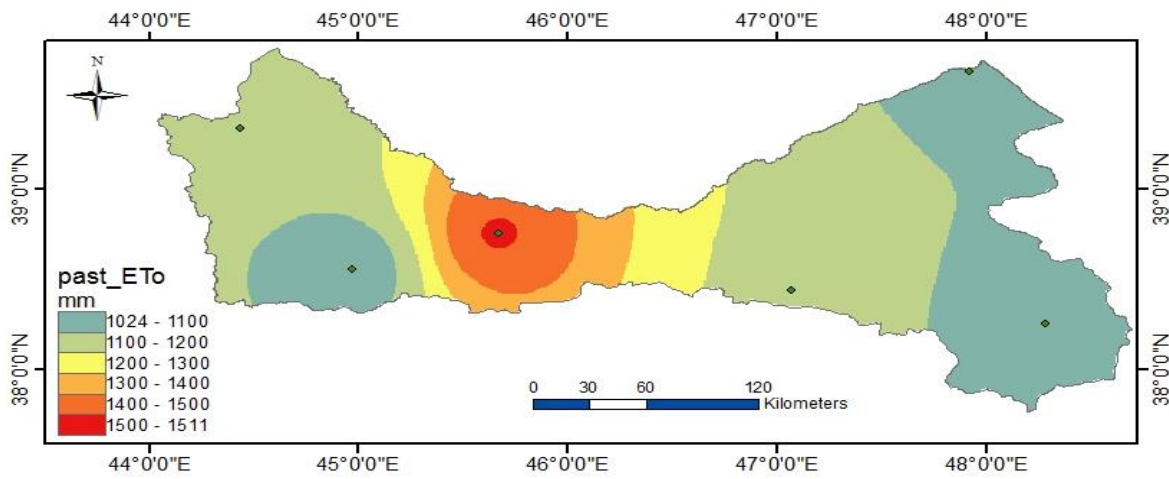
شکل ۶- ETo برآوردی جلغا و پارس آباد برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) به روش پنمن-مانتیت تحت سناریوهای RCP و روند آن

جنوب غربی آن به طور متوسط کمتر از ۱۱۰۰ میلی متر در سال و ETo ماکو در شمال غرب و اهر در میانه حوضه، بین ۱۲۰۰-۱۱۰۰ میلی متر در سال است. هسته کوچکی

پراکنش فضایی ETo حوضه ارس در دوره پایه (شکل ۷) نشان می دهد، مقدار ETo در پارس آباد و اردبیل به ترتیب در شمال شرق و جنوب شرقی حوضه و خوی در

به مرکزیت جلفا، ETo اندکی بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد و با پهنه‌هایی احاطه شده که ETo

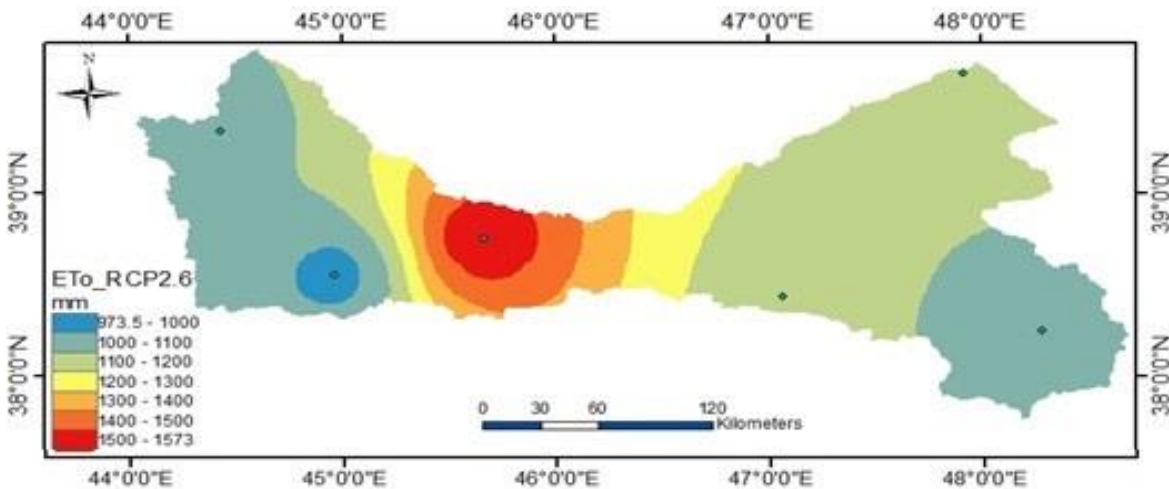
بین ۱۵۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر دارند.



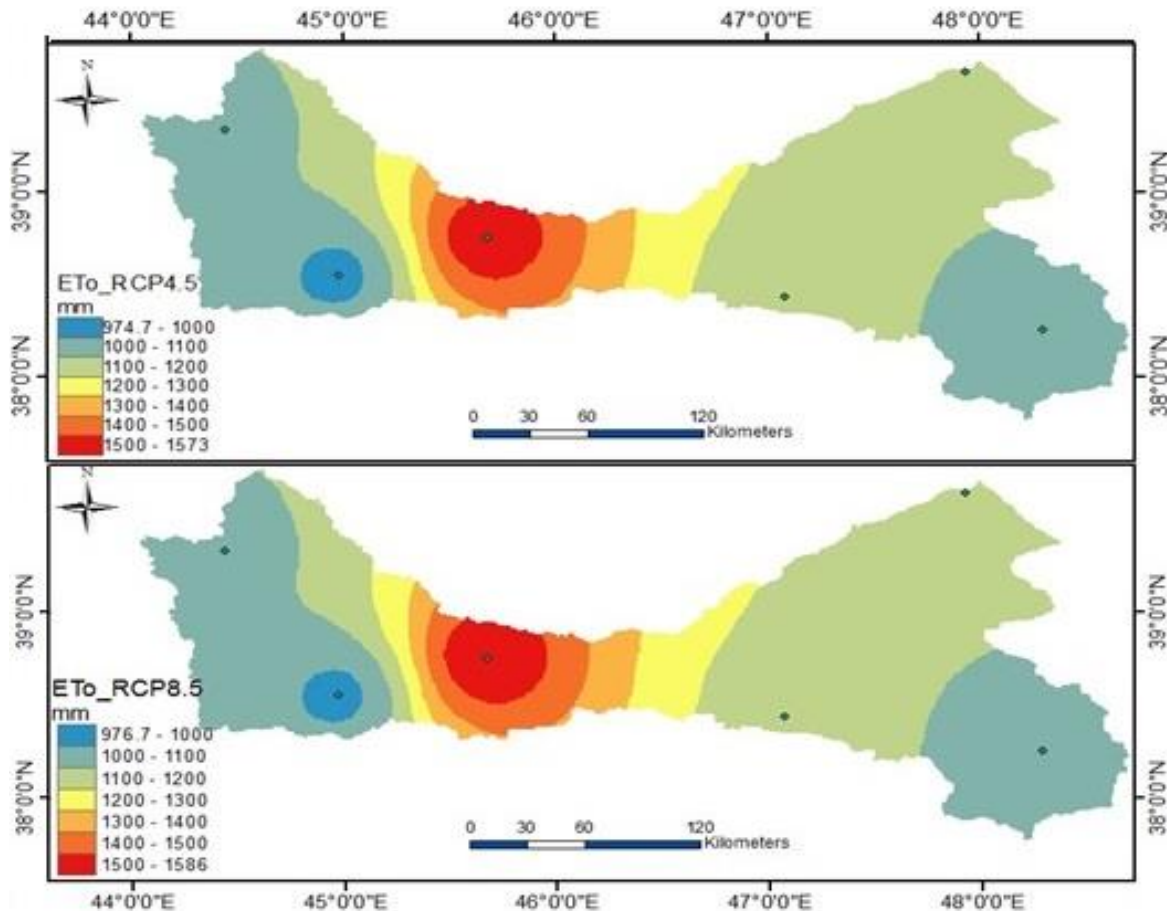
شکل ۷- پراکنش فضایی ETo سالانه حوضه ارس در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵)

مقیاس سالانه کاهش داشته اما ETo جلفا نسبت به دوره پایه، بین ۶۷ تا ۶۲ میلی‌متر افزایش داشته، از ۱۵۱۱ میلی‌متر دوره پایه به ۱۵۷۳ و ۱۵۸۶ میلی‌متر در سال رسیده که رقم بالا مربوط به سناریوی RCP8.5 است. متوسط تغییر سالانه ETo پارس‌آباد در کل دوره آینده نیز حدود ۱۰۰ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. ETo اردبیل تحت سناریوهای RCP کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر برآورد شده است و تحت هر سه سناریو تغییر کاهشی کمتر از ۲۰ میلی‌متر در سال را نسبت به گذشته نشان می‌دهند.

نقشه‌های میانگین ETo سالانه حوضه ارس برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) بر اساس ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP (شکل ۸) توزیع فضایی مشابهی دارد و تا حدی شبیه به نقشه ETo گذشته است. هر چند نقشه‌های میانگین ETo سالانه تفاوت‌هایی هم با نقشه ETo گذشته دارد، از جمله این‌که ETo جنوب‌غربی حوضه و خوی نسبت به دوره پایه کاهش یافته است و در هر سه سناریو کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر است. ETo ماکو و اهر نیز به‌طور متوسط ۴۲ و ۱۸ میلی‌متر در



شکل ۸- پراکنش فضایی ETo سالانه حوضه ارس در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوهای RCP



ادامه شکل ۸- پراکنش فضایی ET₀ سالانه حوضه ارس در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سناریوهای RCP

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، داده‌های روزانه متوسط، کمینه و بیشینه دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی برای شش ایستگاه سینوپتیک بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه ارس بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP با استفاده از SDSM به‌منظور برآورد دورنمای ET₀ به روش پنمن-مانتیت فائو شماره ۵۶ تا دهه ۲۰۵۰ میلادی ریزمقیاس شد. سه دسته داده به‌کار رفته شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و داده‌های بازتحلیل (NCEP) در بازه زمانی روزانه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و نیز داده‌های تاریخی مدل CanESM2 (historical-2005) تحت سناریوهای RCP (برای بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۱۰۰) است. بر اساس خروجی مدل، میزان دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌ها (به‌عنوان پیش‌نیازهای محاسبه ET₀)، در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه، سیر افزایشی خواهد داشت

که این یافته با نتایج پژوهش‌های Ahmadi و همکاران (2015)، Zorrati-Poor و همکاران (2017)، Goudarzi و همکاران (2016)، Javadizadeh و همکاران (2018)، Farrokhzadeh و همکاران (2020)، Zoheyrri و همکاران (2020)، Heshmati و Sayari (2021) در محدوده‌های مطالعاتی آنان همسویی دارد.

نتایج محاسبه ET₀ به روش پنمن-مانتیت در دوره آبی بر اساس ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP نشان داد که مقدار این متغیر بر اساس میانگین تغییرات ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوضه در مقیاس سالانه به‌طور متوسط ۷/۳ میلی‌متر نسبت به ET₀ دوره پایه به روش پنمن-مانتیت افزایش خواهد یافت. این یافته با نتایج پژوهش Zorrati-Poor و همکاران (2017) در شهرستان اهواز و Heshmati و Sayari (2021) در بندر انزلی تطابق دارد. همچنین، نتایج

از منابع آب و در صورت نیاز اصلاح شیوه آبیاری و طراحی یا بهبود سامانه آبیاری برای کاهش میزان تبخیر اتخاذ شود. همچنین، لازم است برای استفاده از آب‌های ارزان برای تقویت کشت‌های دیم و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی، برنامه‌ریزی جامع و مدونی انجام گیرد. علاوه بر این، در برنامه‌ریزی‌های آینده‌نگر، بایستی بدبینانه‌ترین احتمالات در نظر گرفته شود تا بیلان منفی آب در آینده، اثرات زیان‌بار چندانی بر بهره‌وری محصولات به‌ویژه در دو ایستگاه مذکور نداشته باشد.

نشان داد که مقدار ETo در ایستگاه‌های اردبیل، اهر، خوی و ماکو، روند کاهشی و در ایستگاه‌های پارس‌آباد و جلفا روند افزایشی خواهند داشت. مقدار این افزایش در پارس‌آباد و جلفا به ترتیب، ۱۰۲ و ۶۶ میلی‌متر خواهد بود که به معنی افزایش نیاز آبی گیاهان در آینده نیز است. در صورتی که این افزایش در مقدار ETo رخ دهد، حتی با افزایش بارش، تغییرات تبخیر اثر این افزایش را خنثی خواهد کرد. با توجه به افزایش بودن مقدار ETo برآوردی در پارس‌آباد و جلفا در دوره آتی و موثر بودن تبخیر بر بیلان آب، لازم است تدابیری در زمینه بهره‌برداری بهینه

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A., A. Khoramian and H.R. Safavi. 2015. Assessment of climate change impacts on snow-runoff processes a case study: Zayandehroud River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 2(33): 70-82 (in Persian).
- Chen, H., C.Y. Xu and S. Guo. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, 434-435: 36-45.
- Dibike, Y.B. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307: 145-163.
- Farrokhzadeh, B., S. Choobeh and O.B. Bazrafshan. 2021. Assessing the climate change effects on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), case study: Latian Dam. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(26): 56-72.
- Gagnon, S., B. Singh, J. Rousselle and L. Roy. 2005. An application of the Statistical Down Scaling Model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modelling in Quebec. *Canadian Water Resources Journal*, 30(4): 297-314.
- Gebremeskel, G. and A. Kebedeb. 2018. Estimating the effect of climate change on water resources: integrated use of climate and hydrological models in the Werii Watershed of the Tekeze River Basin, Northern Ethiopia. *Agriculture and Natural Resources*, 52(2): 195-207.
- Germezcheshmeh, B., A. Rasuli, M. Rezaei Banafsheh, A. Massah Bavani and A. Khorshiddust. 2014. Impact assessment of morpho-climatic parameters in accuracy of SDSM. *Watershed Engineering and Management*, 6(2): 155-164 (in Persian).
- Goudarzi, M., B. Salahi and A. Hosseini. 2016. Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of climate changes in Urmia Lake Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9(31): 11-22 (in Persian).
- Graham, P., S. Hagemann, S. Juan and M. Beniston. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Journal of Climate Change*, 81: 97-122.
- Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25: 475-484.
- Heshmati, F. and N. Sayari. 2021. Projected changes of potential evapotranspiration under RCP climate change scenarios, case study: Bandar Anzali. *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1): 63-76 (in Persian).
- Javadizadeh, F., P. Kardavani, B. Alijani and F. Asadian. 2018. Efficiency of SDSM statistical downscaling models in predicting temperature parameters. *Physical Geography*, 11(42): 47-66 (in Persian).
- Lio, L., Z.H. Lio, X. Ren, T. Fischer and Y. Xu. 2011. Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. *Quaternary International*, 244: 211-220.

14. Meenu, R., S. Rehana and P.P. Mujumdar. 2012. Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra River Basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrological Processes*, 27(11): 1572-1589.
15. Pervez, M., H. Shahriar and M. Geoffrey. 2014. Projections of the Ganges-Brahmaputra precipitation-downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*, 517: 120-134.
16. Rezaei, M., M. Nohtani, A. Moghaddamnia, A. Abkar and M. Rezaei. 2014. Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in forecasting precipitation in two arid and hyper arid regions. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 28(4): 836-845 (in Persian).
17. Roohipanah, F. 2013. Capability assessment of SDSM Model in downscaling of temperature and precipitation in hot and dry climate, case study: synoptic stations of Yazd and Tabass. MSc Thesis. (in Persian).
18. Shamsipour, A. 2013. Climatic modeling (theory and method). University of Tehran Press (in Persian).
19. Sobhani, B., M. Eslahi and I. Babaeian. 2016. Efficiency of statistical downscaling models of SDSM and LARS-WG in the simulation of meteorological parameters in Urmia Lake Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(4): 499-516 (in Persian).
20. Subbarao, P., R. Rajendra Prasad, M. Rajib and K. Harald. 2017. Development of a method to identify change in the pattern of extreme streamflow events in future climate: application on the Bhadra Reservoir inflow in India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9: 236-246.
21. Timbal, B., E. Fernandez and Z. Li. 2009. Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. *Environmental Modelling and Software*, 24: 341-358.
22. Toews, M.W. and D.M. Allen. 2009. Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region. *Journal of Hydrology*, 374(3-4): 265-281.
23. Weilby, L.R. and C.W. Dawson. 2007. User manual SDSM: version 2.2-A decision support tool for the assessment of climate impacts, 1-94.
24. Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17: 147-159.
25. Zoheyri, Z., R. Ghazavi, E. Omidvar and A. Davudirad. 2020. Comparison of LARS-WG and SDSM downscaling models for prediction temperature and precipitation changes under RCP scenarios. *Arid Region Geographic Studies*, 10(40): 39-52 (in Persian).
26. Zorrati-Poor, E., A. Soltani Mahammadi and F. Baradaran. 2017. The effect of climate change on the trend of increasing temperature and evapotranspiration potential using SDSM Model in Ahvaz City. *Journal of Water Science and Engineering*, 7(18): 47-56 (in Persian).
27. Zulkarnain, H., S. Supiah and H. Sabri. 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116: 243-257.

Evaluation perspective of the Aras Basin reference crop evapotranspiration in future climatic condition under RCPs scenarios

Bromand Salahi^{1*}, Mahnaz Saber², Abbas Mofidi³

¹ Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, ² PhD. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, ³ Assistant professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

Received: 03 January 2022

Accepted: 22 May 2022

Abstract

In this study, the perspective of reference crop evapotranspiration (ET_o) in the southern part of the Aras River Basin under climate change condition was drawn using SDSM downscaling. For this purpose, meteorological data of selected synoptic stations located in this basin were used and after receiving the downscaling outputs for the parameters required for estimating ET_o by Penman-Monteith FAO-56, basin ET_o was calculated for the near future (2021-2050). In this regard, daily reanalysis NCEP data and station daily data include: maximum and minimum temperature, wind speed, relative humidity and sunshine hours as well as output data on CanESM2 model under RCPs scenarios were used to generate future station data for estimate Aras Basin ET_o. The studied stations included: Ahar, Ardabil, Parsabad, Jolfa, Khoy and Makoo and the base period for the data was considered 1985-2005. First, the efficiency of SDSM in simulating the parameters required for ET_o estimation was evaluated by comparing NCEP simulated data with station data. Their comparison indicated the appropriate performance of the model in simulating data. Therefore, climatic parameters were simulated using the CanESM2 model under RCPs scenarios for the future. After calculating their monthly values, in CROPWAT was entered to estimate the basin ET_o and trend of the variable for the next three decades were calculated. The results showed that the basin ET_o in the future period compared to the base period will increase by an average of about 7 mm per year. In terms of stations, there will be an increase in Parsabad (102 mm) and Jolfa (66 mm). This increase also means an increase in the water needs of plants. Also, the future trends of ET_o in Khoy, Makoo, Ahar and Ardabil will be decreasing.

Keywords: Climate change, Climatic models, Downscaling, Penman-Monteith FAO, SDSM

* Corresponding author: bromand416@yahoo.com