



Assessment Climate Impact on Water Resources Availability in Kerman by Implementing Climate Change Scenarios

R. Iranmanesh¹, N. JalalKamali^{2*}, and O. Tayari³

Abstract

Close relationship between water and food, a Comprehensive assessment of water resources is indispensable in large scale for strategic decision-making on food security. The most effective factors on the water resources of a region can be referred to the climate, climate change and hydrological parameters. GCM models are the main instruments for climate change review. In this study, we used the GFDL-ESM2M model, four RCP scenarios and climate change toolkit (CCT) for climate change analysis and used the SWAT model for hydrological simulation of Kerman province. In this research, the base period of climate change and hydrological simulation of Kerman province was considered during 1990 to 2012 and the simulate climate change during 2020 to 2050. The simulation results were evaluated using NS and R². The NS coefficient for precipitation and temperature at all stations obtained 0.8 to 0.95 and 0.88 to 0.99, respectively. The climate change results showed that in all scenarios precipitation probably increase in most regions. By studying the SWAT model results, it was determined that the middle and western regions of the province have green water storage. Also, the effects of climate change on blue water, green water flow and green water storage have reduced their amount.

Keywords: Blue Water, Green Water, Large Scale Modeling.

Received: August 24, 2018

Accepted: February 16, 2020

بررسی منابع آب قابل دسترس در استان کرمان به وسیله پیاده‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم

رضا ایرانمنش^۱، نوید جلال کمالی^{۲*} و امید طیار^۳

چکیده

کامبود منابع آب در ایران و رابطه نزدیک و مستقیم بین آب و غذا این امر را ضروری می‌کند که ارزیابی جامعی در مورد منابع آب موجود در مقیاس بزرگ برای تضمین امنیت غذا انجام شود. از مؤثرترین عوامل بر منابع آب یک منطقه می‌توان به اقلیم، تغییرات آن و پارامترهای هیدرولوژیک اشاره کرد. مدل‌های گردش عمومی جو ابزار اصلی بررسی تغییرات اقلیمی محسوب می‌شوند. در این پژوهش از مدل GFDL-ESM2M، چهار سناریوی RCP و بسته نرم‌افزاری CCT جهت بررسی تغییرات اقلیمی و از مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی استان کرمان استفاده گردید. دوره زمانی پایه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ و دوره آینده از ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ انتخاب شد. برای ارزیابی مدل از (R²) و (NS) استفاده گردید. مقدار ضریب NS برای بارش و دما در تمامی ایستگاه‌ها به ترتیب ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۸۸ تا ۰/۹۹ متغیر بود که نشان از عملکرد مناسب مدل CCT است. نتایج تغییر اقلیم نشان داد در تمام سناریوها احتمال افزایش بارش در اکثر نقاط وجود دارد. با بررسی نتایج مدل SWAT مشخص گردید که قسمت‌های میانی و غربی استان از میزان ذخیره آب سبز بیشتری برخوردارند. همچنین اثرات تغییر اقلیم بر روی آب آبی، ذخیره و جریان آب سبز باعث کاهش مقدار آن‌ها شده است.

کلمات کلیدی: آب آبی، آب سبز، مدل‌سازی بزرگ‌مقیاس.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۶/۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۲۷

1- Ph.D. Student of Civil Engineering Tendency Engineering and Water Resources Management Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran. Email: iranmanesh.kerman@gmail.com

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran. Email: njalalkamali@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran. Email: o.tayari@iau-tnb.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

صرف هزینه و زمان کم مدل سازی در چنین مقیاسی را به خوبی انجام دهد. یکی از مدل های با چنین ویژگی، مدل هیدرولوژیکی و مدیریتی حوضه SWAT^۵ است. SWAT اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط جف آرنولد در سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا طراحی و پایه گذاری شد. SWAT مدلی بزرگ مقیاس می باشد که این مدل برای پیش بینی تأثیر روش های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی - کشاورزی در سطح حوضه های با خاک و کاربری اراضی مختلف در درازمدت طراحی شده است که بر اساس بیان آبی استوار است. در همین راستا، (Rezazadeh et al. (2015, 2017) به بررسی مدل های یکپارچه، نیمه توزیعی، مفهومی و داده محور پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش ها حکایت از برتری مدل SWAT نسبت به مدل های HEC-HMS و شبکه عصبی در پیش بینی رواناب داشت. تحقیقات زیادی در مورد شبیه سازی منابع آب سطحی، تبخیر و تعرق، آب آبی و آب سبز با مدل SWAT در دنیا انجام گرفته است که به چند مورد از آن ها اشاره می شود. (Rafiee et al. (2017) در پژوهشی به برنامه ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه سازی SWAT و الگوریتم بهینه سازی جستجوی هارمونی پرداختند که با استفاده از این الگوریتم در مدل SWAT کاهش مصرف آب تا ۴۸ درصد گزارش گردید.

(Nouri et al. (2019) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل SWAT در تعیین مؤلفه های بیان آب در حوضه سمیرم پرداختند که در نهایت این مدل را مدلی توانمند برای برنامه ریزی در این منطقه معرفی کردند. (Parajuli et al. (2016) اثرات تغییر اقلیم و عملیات شخم زمین را بر روی رواناب، رسوب و عملکرد گیاه در حوضه رودخانه می سی سی پی ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تأثیر توأم تغییر اقلیم و عملیات شخم اثر به سزایی در عملکرد گیاه خواهد داشت ولی با کاهش عملیات شخم زنی، باعث کاهش میزان رسوب در پایین دست می شود. دیگر محققانی مانند (Zou et al., Li et al. (2015) (2015) و (Yuan et al. (2015) و (Li et al. (2016) بر روی تأثیرات تغییر اقلیم و تغییرات کاربری اراضی بر روی رواناب، (Verma et al. (2015) و (Ramos & Martinez (2015) بر روی تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب و همچنین (Palazoli et al. (2015) بر روی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب و عملکرد گیاه پژوهش های را در نقاط مختلف دنیا انجام داده اند. (Rezazadeh et al. (2017) به بررسی رواناب، تبخیر تعرق و رسوب حوضه سلطانی و ارائه راهکارهای برای کاهش بار رسوب در این حوضه پرداختند. همچنین، (Abbaspour et al. (2009) اثرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب کشور ایران و همچنین در پژوهشی دیگر آب آبی و آب سبز را بررسی نمودند. آن ها برای تغییر اقلیم از مدل

کشور ایران از لحاظ دارا بودن منابع آبی جزء کشورهای کم آب دنیا محسوب می شود. تا کنون پژوهش های زیادی در بحث افزایش خطرات کمبود منابع آب در مناطق مختلف جهان انجام گرفته است. همچنین بخش کشاورزی نیز به عنوان مصرف کننده اصلی آب شناخته می شود. از همین رو تمرکز اصلی پژوهش های مربوط به کمبود منابع آب در این بخش صورت می گیرد. رابطه نزدیک و مستقیم بین آب و غذا این امر را ضروری می کند که ارزیابی جامعی در مورد منابع آب در دسترس در مقیاس بزرگ برای تضمین امنیت غذا و همچنین ارائه راهکارهای مدیریتی برای ذخیره منابع آبی انجام شود (Faramarzi et al., 2009). از مؤثرترین عوامل در میزان منابع آب در یک منطقه می توان به اقلیم و پارامترهای هیدرولوژیک آن منطقه اشاره کرد. با توجه به پدیده تغییر اقلیم و تأثیرگذار بودن آن روی میزان منابع آب، برای اقدامات مدیریتی و برنامه ریزی بلندمدت بایستی این پدیده را نیز در کنار مسائل دیگر مدنظر قرارداد. با تغییر اقلیم یک منطقه طبیعتاً در سایر بخش های آن منطقه نیز تغییراتی به وجود می آید. از این تغییرات می توان به تغییر رژیم آبدی رودخانه ها که جز اصلی منابع آب سطحی هستند اشاره نمود. همچنین باعث تغییر در میزان تبخیر از سطح آب و خاک، تبخیر - تعرق، فرسایش و رسوب می شود (IPCC, 2001).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه ای و با توجه به سناریوهای متفاوت شبیه سازی شوند، زیرا هر یک از این سناریوها دربرگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه ای و ذرات معلق می باشد (IPCC, 2014).

معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های جفت شده اتمسفر - اقیانوس گردش عمومی جو^۱ است (Arnell, 1996). یکی از ضعف های مدل های گردش عمومی جو GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده است. ریزمقیاس نمایی آماری داده های مختلف GCM با استفاده از مدل ها و نرم افزارهای مختلف از جمله SDSM^۲ و LARS^۳ و CCT^۴ صورت می گیرد که CCT یکی از جدیدترین این نرم افزارها است. بسته نرم افزاری تغییر اقلیم CCT توسط (Vaghefi et al. (2017) در موسسه EAWAG سوئیس توسعه داده شد.

همچنین، برای مدل سازی منابع آب قابل دسترس در مقیاس بزرگ بایستی از ابزار کارآمد و مناسبی استفاده کرد که علاوه بر جامعیت، با

اثرات تغییر اقلیمی بر روی منابع آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین عملکرد بسته نرم‌افزاری CCT نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران، بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. استان کرمان در جنوب شرقی ایران قرار گرفته و جمعیت آن در سال ۱۳۹۵ و بر اساس آمار مرکز آمار ایران برابر با ۳۱۶۴۷۱۸ تن بوده است. کرمان با در بر گرفتن بیش از ۱۱ درصد از وسعت ایران پهناورترین استان ایران است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و همچنین پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری و سدها نشان داده شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

داده‌های مورد استفاده و محل اخذ آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین، برای تراکم و پراکنش بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی از ترکیب داده‌های مشاهداتی و داده‌های جهانی CRU^{۱۰} در این پژوهش استفاده گردید. (Besaltpour et al. (2013) نشان دادند که استفاده از ترکیب داده‌های اقلیمی موجود (ایستگاه‌های درون حوضه) و داده‌های جهانی CRU باعث افزایش دقت مدل SWAT می‌شود.

۲-۳- بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT

بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT ابزاری کارآمد و نوین است که می‌توان برای استخراج، درون‌یابی و تصحیح انحرافات داده‌های به‌دست‌آمده از مدل‌های اقلیمی جهانی استفاده کرد (Vaghefi et al., 2017). همچنین از این بسته نرم‌افزاری برای تحلیل وقایع حدی مانند خشکسالی و سیل هم استفاده می‌شود. این بسته نرم‌افزاری به ۵ پایگاه داده جهانی از ISI-MIP^{۱۱} متصل است. همچنین از چهار سناریو RCP نیز استفاده می‌شود. در تحقیقات اخیر استفاده از چند مدل GCM برای کاهش عدم قطعیت راهی مرسوم بوده است. اما Leiss et al. (2018) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از چند مدل GCM برای کاهش عدم قطعیت راهکار مناسبی نیست. آن‌ها از ۳۸ مدل GCM استفاده کردند و در نهایت گزارش دادند که مقدار میانگین و انحراف معیار این مدل‌ها بعد از حذف مدل‌های نامناسب با روش Ensemble تغییر محسوس در نتایج ایجاد نکرده است.

CGCM و برای مدل‌سازی هیدرولوژیک کشور ایران از مدل SWAT استفاده کردند و به این نتیجه دست‌یافت‌اند که قسمت‌های مرطوب با توجه به روند تغییر اقلیم در آینده بارش بیشتری دریافت می‌کنند در حالی که مناطق خشک بارش کمتری دریافت می‌کنند. در پژوهشی دیگر (Schuol et al. (2008) به بررسی آب آبی و آب سبز در قاره آفریقا پرداختند. همچنین Faramarzi et al. (2013) پژوهشی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در قاره آفریقا با مدل SWAT انجام دادند. (Vorosmarty et al. (2000), Kraysanova et al. (2015), Vaghefi et al. (2014), Bartolomeu et al. (2016) و IPCC (2014) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب، آب آبی و آب سبز و همچنین طول دوره خشکی پرداختند، اشاره کرد. همچنین، Hashemi et al. (2010) به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزیلند پرداختند که در آن نشان دادند هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید می‌باشند. (Sobhani et al. (2015), Goodarzi et al. (2015), Nury et al. (2014) و Chemma et al. (2013) و (2014) پژوهش‌هایی برای بررسی دو مدل LARS-WG و SDSM در نقاط مختلف دنیا انجام دادند که همگی از مناسب بودن دقت این دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آینده خبر دادند. (Ashraf Vaghefi et al. (2017) به توسعه مدلی برای اثرات تغییر اقلیم تحت عنوان Climate Change Toolkit پرداختند. در این تحقیق که بر روی حوضه‌ای در کالیفرنیا انجام گرفت و نتایج گزارش شده در این پژوهش حاکی از رضایت‌بخش بودن نتایج این مدل در بررسی پدیده تغییر اقلیم است.

جمع‌بندی نتایج تحقیقات سایر پژوهشگران نشان از تمرکز این محققین بر روی استفاده از مدل‌های LARS-WG و SDSM برای بررسی تغییرات اقلیمی بوده است و به علت جدید بودن بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT محققین اندکی با استفاده از این بسته نرم‌افزاری به بررسی تغییرات اقلیم مناطق مختلف پرداخته‌اند. لذا در این پژوهش از بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT در پیش‌بینی‌های مرتبط با اثر تغییر اقلیم، مبتنی بر خروجی‌های کوچک‌مقیاس شده مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای RCP استفاده شد.

هدف اصلی از پژوهش حاضر واسنجی مدل هیدرولوژیک SWAT در سطح زیر حوضه برای استان کرمان است. در مرحله دوم محاسبه آب قابل‌دسترس^۶ در مقیاس ماهانه و تفکیک آن به آب آبی^۷ (مجموع رواناب سطحی و تغذیه از آبخوان عمیق)، ذخیره آب سبز^۸ (رطوبت خاک) و جریان آب سبز^۹ (تبخیر و تعرق واقعی) می‌باشد. در گام آخر

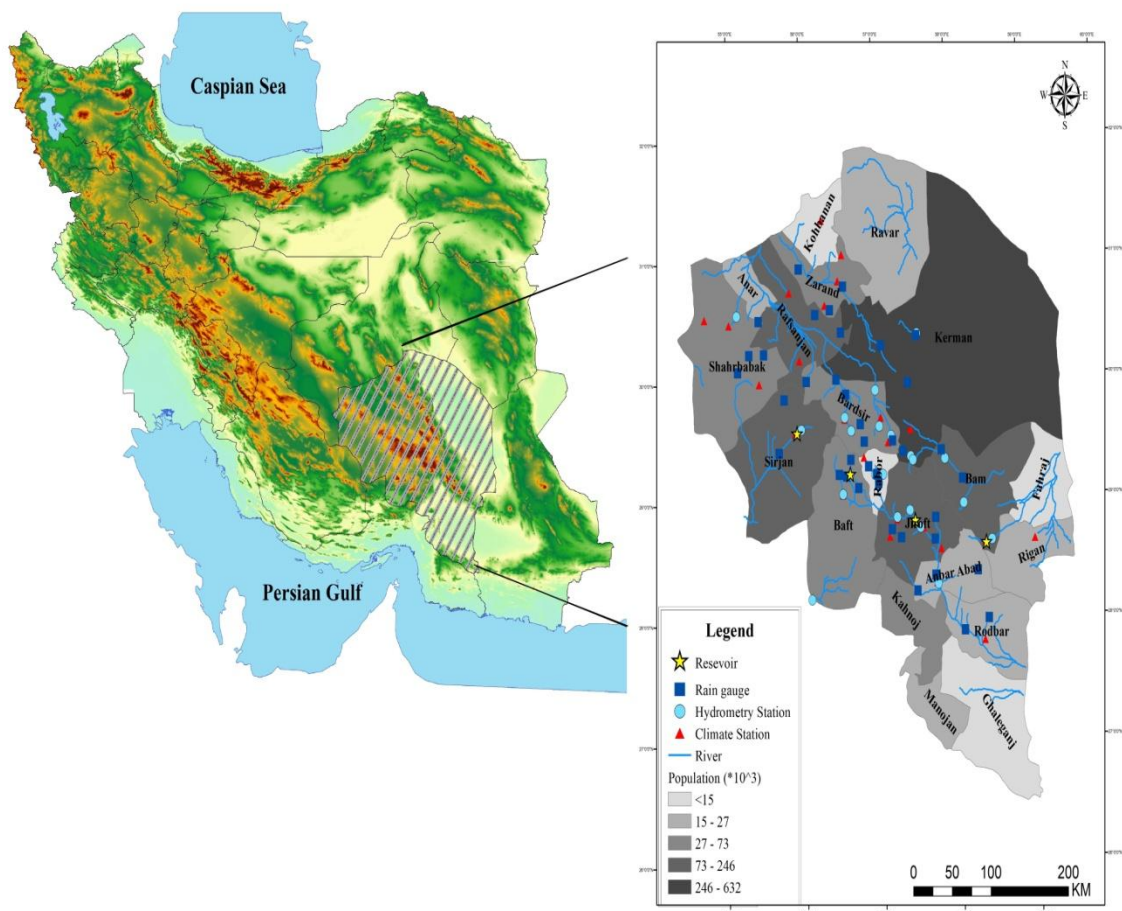


Fig. 1- Location of the study area, climate stations, hydrometry stations and reservoirs used
 شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه، پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری و سد‌ها مورد استفاده

شیمیایی- کشاورزی در سطح حوضه‌های با خاک و کاربری اراضی مختلف در درازمدت طراحی شده است که بر اساس بیلان آبی استوار است. مزایای این مدل این است که حوضه‌هایی که فاقد داده‌های برداشت شده می‌باشند نیز قابل شبیه‌سازی هستند. همچنین تأثیر نسبی داده‌های ورودی (تغییر در روش‌های مدیریتی، آب‌وهوا، کاربری اراضی) بر روی کیفیت آب و دیگر متغیرهای مورد نظر قابل کمی کردن هستند. مدل SWAT از پارامترهای ورودی قابل دسترس استفاده می‌کند و از نظر محاسباتی بسیار کارآمد است و شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده را با راهکارهای مختلف مدیریتی بدون صرف زمان زیادی قابل اجرا می‌سازد. برای شبیه‌سازی، ابتدا یک حوضه باید به تعدادی زیر حوضه تقسیم شود. استفاده از زیر حوضه‌ها در شبیه‌سازی، به خصوص زمانی که مناطق مختلف حوضه دارای خاک یا کاربری‌های گوناگون هستند که ناهمگنی و تفاوت آن‌ها می‌تواند در هیدرولوژی حوضه تأثیر داشته باشد، بسیار مفید است.

در این پژوهش از مدل GFDL-ESM2M و چهار سناریوی RCP جهت پیش‌بینی بارش و دماهای بیشینه و کمینه استفاده گردید. علت انتخاب مدل GFDL-ESM2M این است که این مدل به تازگی برای درک بهتر چرخه بیوشیمیایی زمین شامل اقدامات انسانی و اندرکنش آن با سیستم اقلیمی توسط NOAA (NOAA) و GGDL توسعه یافته است. همچنین در این مدل از مدل زمین (LM 3.0) که شامل هیدرولوژی، فیزیک و اجزای بوم‌شناسی زمین می‌باشد، استفاده شده است. جزء پویایی/ فیزیکی اقیانوس در سری قبلی این مدل، با مدل جدید ESM2m جایگزین شده است (Dun et al., 2012).

۴-۲- مدل SWAT

مدلی بزرگ‌مقیاس می‌باشد. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد

Table 1- Source of the Data used in Research
جدول ۱- محل اخذ داده‌های مورد استفاده در پژوهش

Station/Map	Data	Source
Hydrometric Station & Dam Data	Runoff- Sediment load	Ministry of Energy
CRU Data	Precipitation- MAX, MIN Temperature	www.cru.uea.ac.uk
GFDL-ESM2M Data	Precipitation- MAX, MIN Temperature	www.2W2E.com
Rain Gauge	Precipitation	Ministry of Energy
Climate Station	Precipitation- MAX, MIN Temperature- Pan Evaporation	Ministry of Energy
Synoptic Station	Precipitation- MAX, MIN Temperature- Relative Humidity- Wind- Solar Radiation	WSIMO
Topography	DEM	NCC
Soil Map	Soil Data	FAO
Land Use Map	Land Use	USGS
Crop yield	Crop yield	MOJA

شد. برای تحلیل نتایج واسنجی از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)، ضریب نش- ساتکلیف (NS) و P_factor استفاده شد. تاکنون هیچ معیار خاصی در مورد مقادیر مناسب برای پارامترهای ضریب تعیین و نش- ساتکلیف ارائه نشده است؛ اما موربایسی پیشنهاد می‌کند که مقادیر NS در مطالعات هیدرولوژیک و همچنین فرآیندهای مربوط به انتقال آلاینده‌ها در مقیاس ماهانه باید از ۰/۵ بزرگ‌تر باشد تا بتوان نتایج مدل را قابل قبول قلمداد نمود که معمولاً همین معیار برای مقدار پارامتر R^2 نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Moriasi et al., 2007).

۳- نتایج

نتایج این قسمت به سه بخش تقسیم‌بندی می‌شود. در بخش اول به بررسی روند تغییرات اقلیمی در دوره آماری پایه (۲۰۱۲-۱۹۹۰) تا (۲۰۵۰-۲۰۲۰) پرداخته می‌شود. در بخش دوم به نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیک مدل SWAT و در بخش سوم به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب قابل دسترس استان کرمان پرداخته می‌شود.

۳-۱- تغییر اقلیم

شکل ۲-۲ میانگین بارش سالانه در دوره پایه استان کرمان را نمایش می‌دهد. تغییرات بارش در دوره پایه بین ۴۹ تا ۲۵۷ میلی‌متر است. شکل ۲-۲ ضریب تغییرات بارش در دوره پایه را نشان می‌دهد، ضریب تغییرات بالا نشان‌دهنده تغییرات زیاد بارش در سال‌های مختلف است. این تغییرات زیاد باعث افزایش احتمال خشک‌سالی و همچنین کاهش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی می‌شود. شکل ۲-۲ نشان‌دهنده میانگین دمای حداکثر سالانه استان کرمان می‌باشد. به طور کلی تغییرات دمای بیشینه در دوره پایه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس است.

تفکیک حوضه به زیر حوضه‌ها، مدل را قادر می‌سازد تا تفاوت در مقدار و شدت تبخیر - تعرق را برای گیاهان و خاک‌های مختلف منعکس کند. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) به‌طور مستقل محاسبه و روندیابی می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه گردد. این روش، دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه را ارائه می‌کند.

۲-۵- آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی

عمل واسنجی شامل تصحیح پارامترهای حساس در مدل است به‌طوری‌که نتایج خروجی را به داده‌های مشاهداتی نزدیک کند، این موهوم فقط از طریق تغییر مکرر پارامترها به دست می‌آید. از آن‌جا که این عمل بسیار زمان‌بر است برای انجام این کار استفاده از یک برنامه واسط ضروری است که بدین منظور برنامه SWAT_CUP تدارک دیده شده است. در این پژوهش از روش SUFI_2 در برنامه SWAT_CUP استفاده شد. روش SUFI_2^۴، تمام عدم قطعیت‌ها شامل عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. بعد از مرحله واسنجی نوبت به اعتبارسنجی مدل می‌رسد. در اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی شده بعد از واسنجی، در بازه زمانی متفاوتی با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شوند. اعتبارسنجی در واقع قابلیت اطمینان و اعتمادپذیری به مدل را مشخص می‌کند.

شبیه‌سازی برای دوره آماری ۲۳ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۲) انجام شد که دو سال ابتدا آن برای متعادل‌سازی مدل استفاده شد. همچنین برای واسنجی مدل، از ۷۰ درصد داده‌های هر ایستگاه در بخش رواناب و تبخیر- تعرق و رسوب و ۳۰ درصد در بخش صحت‌سنجی استفاده

داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره گذشته (۱۹۹۰-۲۰۱۲) استفاده شد. مقدار ضریب NS برای بارش، دمای کمینه و بیشینه در تمامی ایستگاه‌ها به ترتیب ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۸ تا ۰/۹۹ متغیر بود.

شکل ۲- تفاوت میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه استان کرمان را مشخص میکند.

برای بررسی صحت داده‌های ریزمقیاس نمایی شده توسط CCT، از شاخص ضریب تعیین R^2 و نش- ساتکلیف (NS) در مقایسه بین

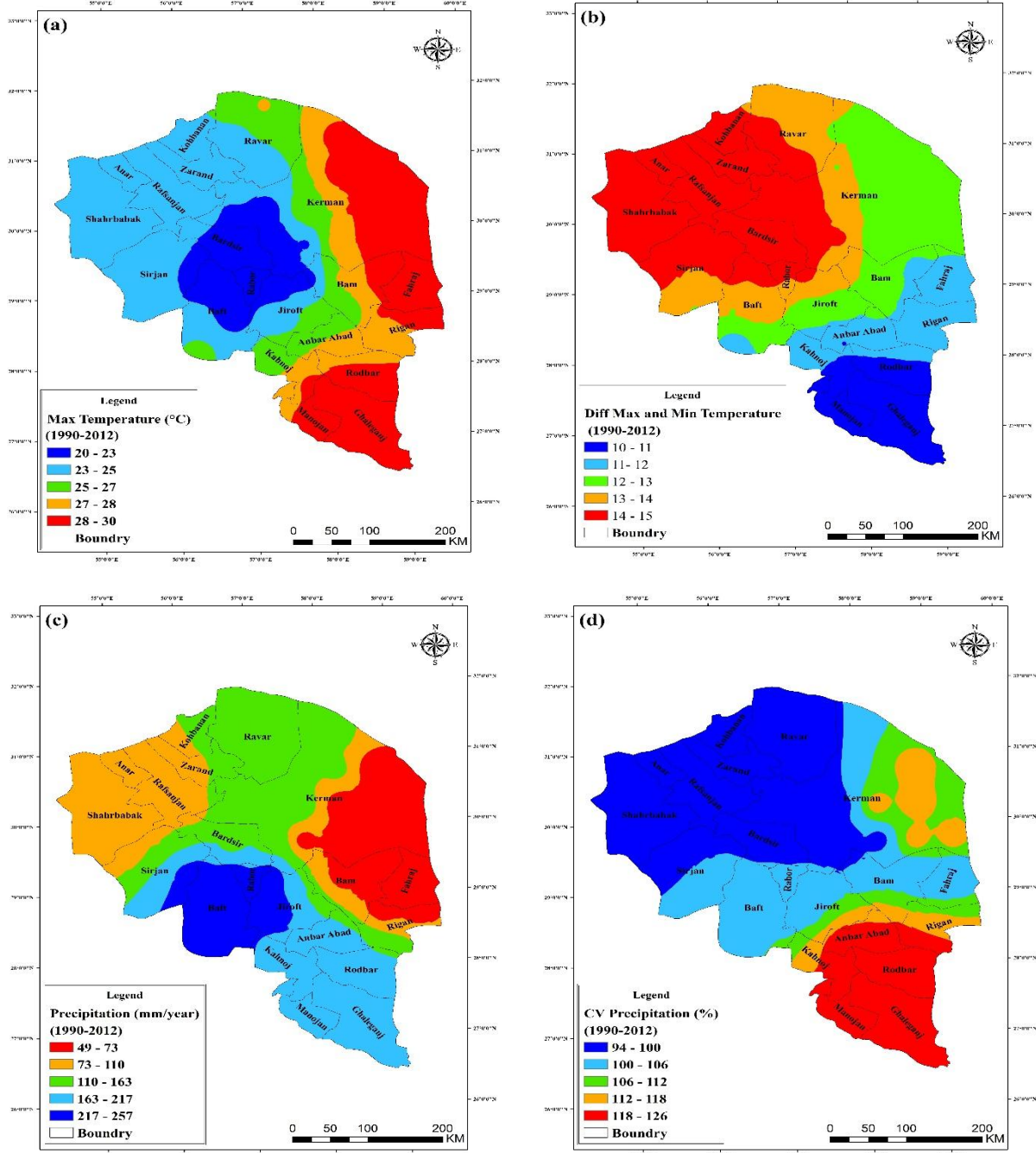


Fig. 2- Spatial pattern of average annual maximum temperature (a) and temperature range, which is calculated based on the difference of maximum and minimum temperature (b) for the historic period. Spatial pattern of average annual precipitation (c) and precipitation CV (d)

شکل ۲- میانگین دمای بیشینه (a) تفاوت دمای بیشینه و کمینه (b) در دوره پایه. ضریب تغییرات (d) به همراه میانگین بارش سالانه (c) در دوره پایه

۳-۲- بررسی روند تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای تغییر اقلیم

پس از اطمینان از صحت داده‌های پیش‌بینی‌شده به بررسی داده‌ها و روند تغییرات آن‌ها پرداخته شد. با توجه به شکل ۶ که درصد تغییرات بارش دوره پایه نسبت به دوره آینده نزدیک تحت سناریوهای RCP را نشان می‌دهد، به‌طور کلی در تمام سناریوها احتمال افزایش بارش در اکثر نقاط استان به‌جز مناطق جنوبی وجود دارد. در برخی نقاط این افزایش به ۶۰ درصد هم می‌رسد. اما در قسمت‌های جنوبی و میانی استان بارش تا بین ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش پیدا می‌کند.

علت این افزایش در قسمت‌های شمالی و روند کاهشی در قسمت‌های جنوبی را میتوان به عرض‌های جغرافیای مناطق نسبت داد. Ahmadi et al. (2015) پژوهشی برای آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در استان خراسان انجام دادند.

شکل ۳ مقادیر ضریب نش- ساتکلیف (NS) برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از دقت قابل قبول برای مدل در شبیه‌سازی بارش و دما است.

برای بررسی دقیق‌تر صحت داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط بسته نرم‌افزاری CCT دو ایستگاه برای نشان دادن مقادیر شبیه‌سازی‌شده بارش و دو ایستگاه برای نشان دادن مقادیر شبیه‌سازی‌شده دمای بیشینه در شکل ۴ و ۵ آورده شده است. در شکل ۴ دو ایستگاه‌های دارزین و حسین‌آباد برای بارش و در شکل ۵ دو ایستگاه رابر و زهک‌لوت برای صحت‌سنجی دما از اقلیم‌های مختلف انتخاب شدند. ایستگاه‌های دارزین و حسین‌آباد از لحاظ اقلیمی به ترتیب در رده خشک و نیمه‌خشک و همچنین ایستگاه‌های رابر و زهک‌لوت از لحاظ اقلیمی به ترتیب در نیمه‌خشک و فراخشک قرار دارند.

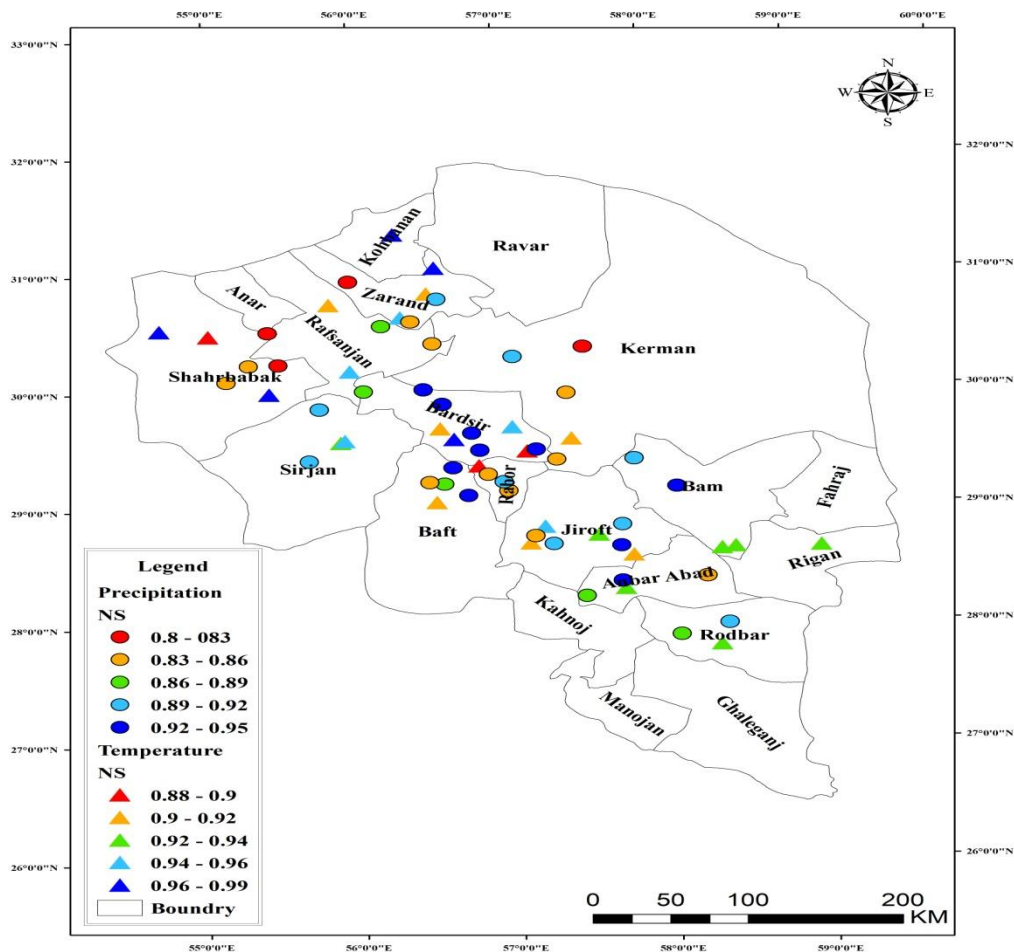


Fig. 3- NS values which calculated based on compare predicted and measured data
شکل ۳- مقادیر ضریب نش- ساتکلیف (NS) برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه

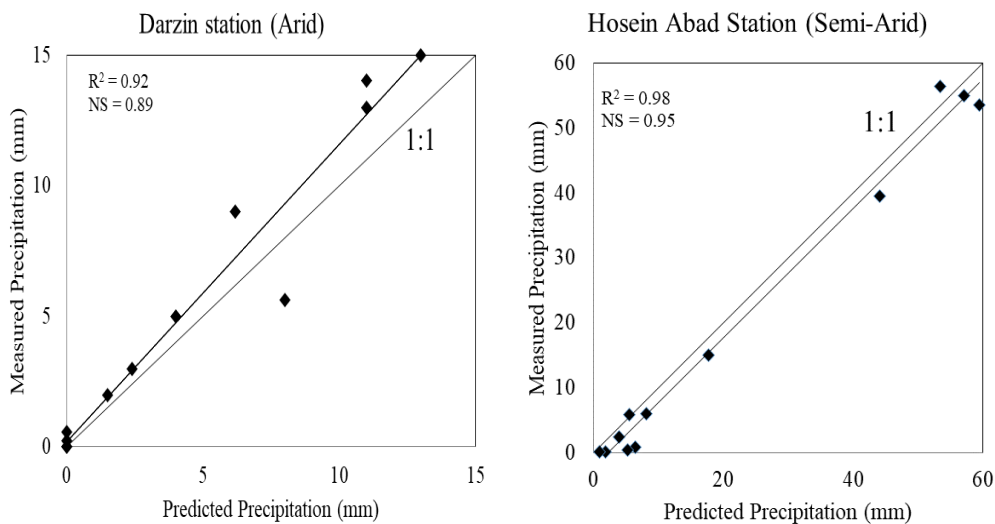


Fig. 4- Compare measured and predicted precipitation data
 شکل ۴- مقایسه بین داده‌های بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده گذشته

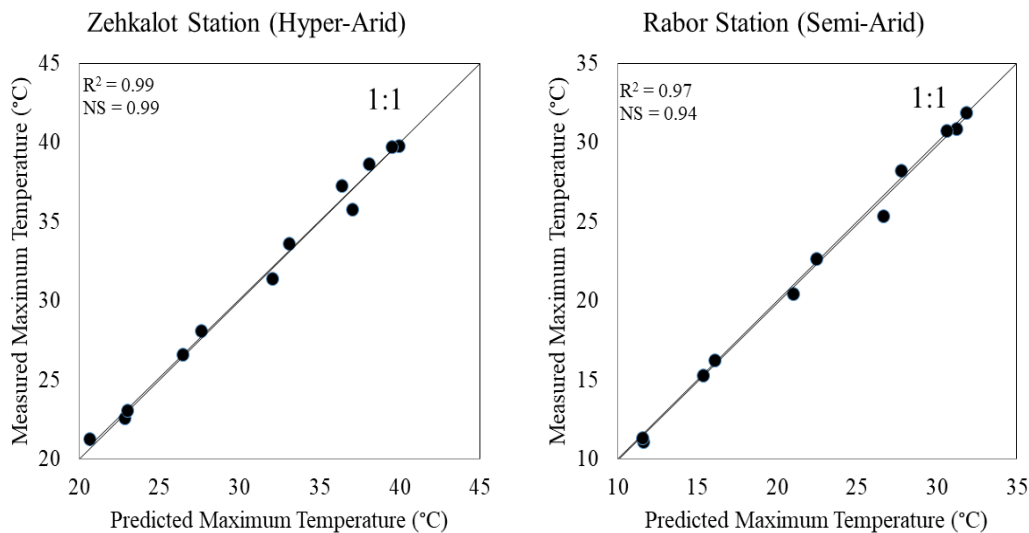


Fig. 5- Compare measured and predicted maximum temperature data
 شکل ۵- مقایسه بین داده‌های دمای بیشینه مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده گذشته

ایستگاه‌ها دارد. طبق سناریوی RCP 8.5 درصد تغییرات دمای بیشینه دوره پایه نسبت بدین صورت است، افزایش دما در مناطق میانی، غربی و شمالی (افزایش ۲۰ درصدی) نسبت به مناطق جنوبی و شرقی (افزایش ۱۲ درصدی) بیشتر بوده است.

۳-۳- شبیه‌سازی هیدرولوژیک استان کرمان

- واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

به دلیل گستردگی زیاد و همچنین متغیر بودن اقلیم، کاربری اراضی، خاک و توپوگرافی در استان کرمان، برای واسنجی مدل این استان را

نتایج حاکی از روند افزایش بارش در عرض‌های شمالی و روند کاهشی بارش در عرض‌های جنوبی استان خراسان بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که نقش عامل عرض جغرافیایی نسبت به عامل ارتفاع در تغییر اقلیم منطقه بارزتر است. در استان کرمان نیز همین روند افزایش و کاهش در عرض‌های شمالی و جنوبی حاکم است. لذا می‌تواند بر این دلیل که عامل عرض جغرافیایی نسبت به سایر عوامل مانند ارتفاع نقش پررنگ‌تری دارد، صحه گذاشت.

اما، مقایسه داده‌های میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوهای مختلف و داده‌های مشاهده‌ای نشان از احتمال افزایش دما در تمامی

۲ قابل مشاهده هستند. برای انجام آنالیز حساسیت از دو معیار P-Value و T-Stat استفاده شد. معیار P-Value نشان‌دهنده اهمیت حساسیت پارامتر است که هرچه معیار به صفر نزدیک‌تر باشد، پارامتر برای مدل مهم‌تر است و معیار T-Stat اندازه حساسیت را نشان می‌دهد که هرچه قدر مطلق آن بزرگ‌تر باشد، حساسیت پارامتر بیشتر می‌باشد. در شکل ۹ مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب در برخی از ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

با توجه به بودن اقلیم، کاربری اراضی، خاک و توپوگرافی به چهار بخش تقسیم کردیم. این گونه تقسیم‌بندی در شبیه‌سازی‌های بزرگ مقیاس به دلیل گستردگی منطقه مورد مطالعه مرسوم است (Abbaspou et al., 2009; Faramarzi et al., 2009;) (Schuol et al., 2008; Faramarzi et al., 2013). این تقسیمات در شکل ۷ قابل مشاهده است. پس از انجام آنالیز حساسیت و مشخص شدن پارامترهای حساس، این پارامترها پس از واسنجی مدل در جدول

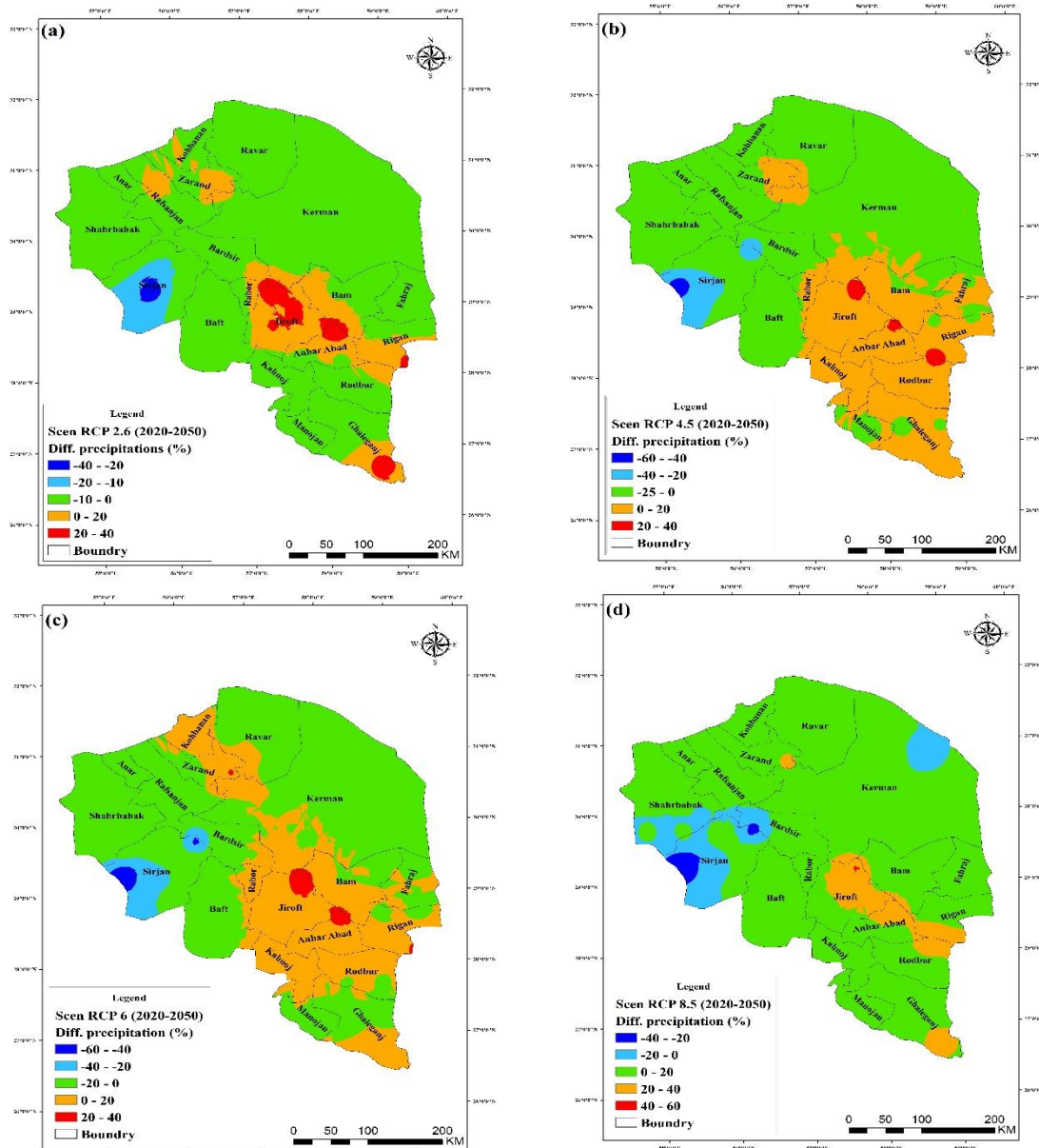


Fig. 6- The % differences are calculated based on the averages of precipitation between 2020–2050 and 1990–2012 periods

شکل ۶- درصد تغییرات بارش دوره پایه نسبت به دوره آینده نزدیک تحت سناریوهای RCP

میشود، ۲. ذخیره آب سبز که آب خاک یا همان رطوبت خاک اطلاق می‌شود. آب خاک یا همان رطب خاک منبع قابل برگشتی می‌باشد که می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای کشت‌های دیم از آن بهره برد. با بررسی‌های آب آبی می‌توان برنامه‌ریزی‌های برای تغذیه مصنوعی، ایجاد سدهای کوچک و همچنین کنترل آلودگی‌ها انجام داد. در شکل ۱۰ مقدار و ضریب تغییرات آب آبی و آب سبز در دوره پایه نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۱ درصد تغییرات آب آبی در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف مشاهده می‌شود. بطور کلی در تحلیل و مقایسه اجزاء بیلان آب تحت شرایط تغییر اقلیم و مقایسه آن با دوره پایه می‌توان نتایج زیر را اتخاذ کرد:

۱. در استان کرمان میانگین بارش در مناطق میانی و جنوبی بیشتر از مناطق شمالی می‌باشد. اما در دوره آینده نزدیک محتمل است که میانگین بارش در مناطق شمالی افزایش و در مناطق جنوبی و میانی کاهش یابد.
۲. در استان کرمان شاهد افزایش دما در کلیه مناطق استان هستیم ولی این افزایش در مناطق شمالی از سایر مناطق بیشتر است.

این ایستگاه‌ها از ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیک به سدها و همچنین بر اساس اقلیم انتخاب شده‌اند. همچنین در شکل‌های ۸ نتایج مقادیر ضریب NS برای تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری در مرحله صحت‌سنجی نمایش داده شده است.

در شکل ۹، نتایج مدل SWAT بعد از واسنجی در ایستگاه‌های منتخب نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، مشخص است که مدل SWAT در شبیه‌سازی هیدرولوژیک استان کرمان موفق بوده است.

- آب قابل دسترس

آب قابل دسترس به دو جز آب سبز و آب آبی تقسیم می‌شود. بعد از واسنجی مدل، مقدار آب آبی و آب سبز در مقیاس زیر حوضه‌ای برای استان کرمان محاسبه شد. آب آبی به مجموعه آب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی عمیق اطلاق می‌شود. آب سبز خود نیز دارای دو بخش می‌باشد: ۱. جریان آب سبز که به مقدار تبخیر و تعرق واقعی گفته

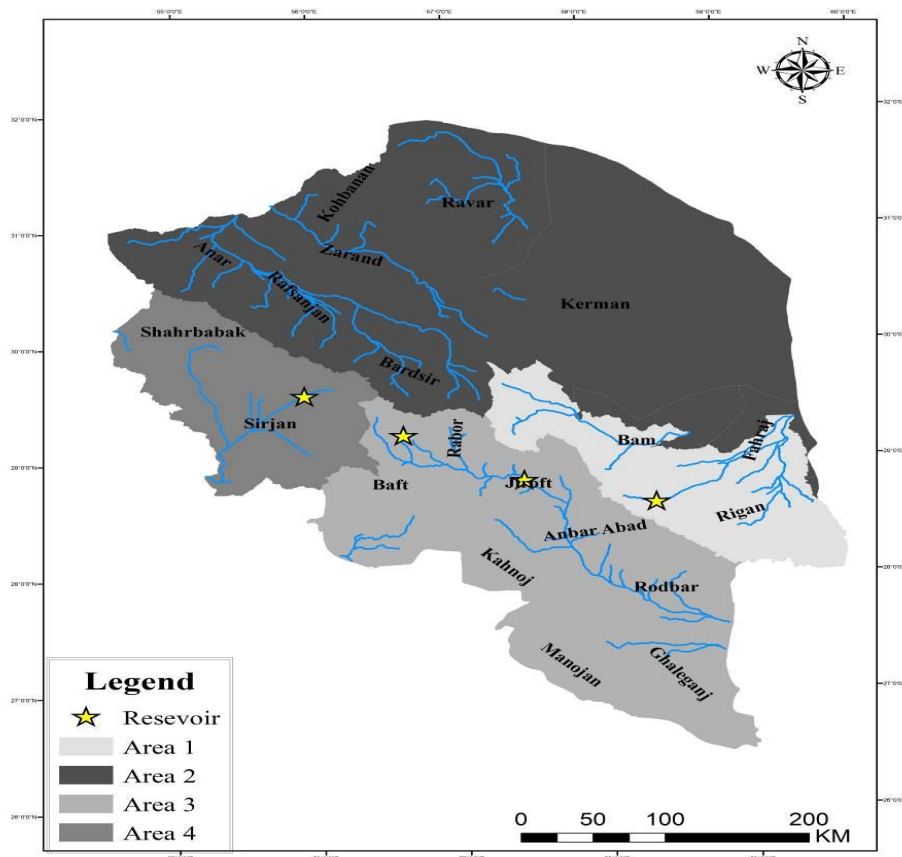


Fig. 7- The divided study area zone

شکل ۷- ناحیه‌بندی استان کرمان

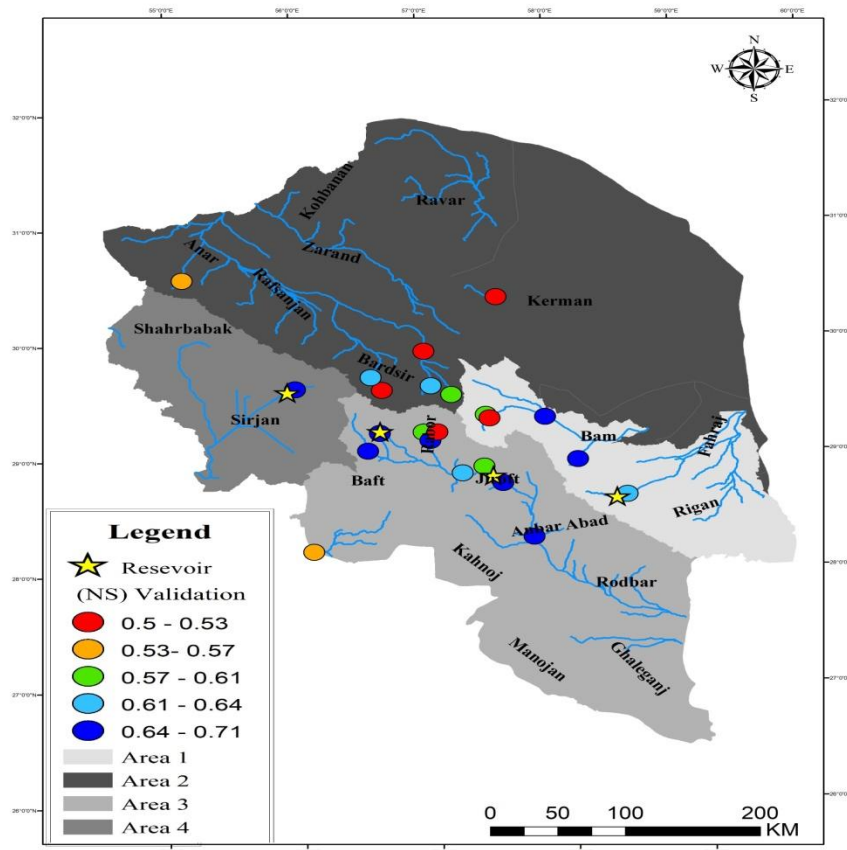


Fig. 8- NS Runoff Validation

شکل ۸- مقدار ضریب نشی - ساتکلیف (NS) در مرحله صحت‌سنجی

۳. مقدار آب آبی تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه در مناطق شمالی استان روند افزایشی و در سایر مناطق روند کاهشی دارد. این کاهش و افزایش منطبق بر کاهش و افزایش مقدار بارش در مناطق شمالی و جنوبی استان کرمان تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که آب آبی حساسیت بالایی نسبت به تغییرات بارش دارد. نکته قابل تأمل در مبحث آب آبی در استان کرمان روند افزایشی مقدار آب آبی شهرستان یافت و شهرستان‌های جنوبی در سناریوی RCP 8.5 نسبت به سناریوی RCP 6 می‌باشد. در سناریو RCP 8.5 شاهد بیشترین افزایش دما و کاهش بارش هستیم، لذا انتظار می‌رود که مقدار آب آبی نسبت به همین افزایش و کاهش دما و بارش، روند کاهشی داشته باشد ولی این اتفاق رخ نداده است. دلیل این افزایش غیر متعارف مقدار آب آبی در این مناطق افزایش کم مقدار جریان آب سبز (تبخیر تعرق) به میزان ۴ درصد نسبت سناریوی RCP 6 و کاهش ۱۱ درصدی مقدار ذخیره آب سبز است.

۴. مقدار جریان آب سبز تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه در مناطق جنوبی به دلیل کاهش بارش روند نزولی دارد و در مناطق شمالی و میانی استان به دلیل افزایش بارش و دما روند صعودی دارد بطوریکه بیشینه مقدار جریان آب سبز در تمام سناریوها با توجه به روند افزایش دما در هر سناریو افزایش یافته است. دلیل افزایش مقدار جریان آب سبز علاوه بر افزایش دما و کاهش بارش، رشد گیاهان به دلیل روند افزایش مقدار CO2 تحت سناریوهای تغییر اقلیم می‌باشد.

۵. تغییرات مقدار ذخیره آب سبز تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه منطبق بر روند تغییرات بارش و دما در استان کرمان است.

۶. در نتیجه‌گیری کلی می‌توان این‌گونه عنوان کرد میانگین آب آبی و ذخیره آب سبز در استان کرمان کاهش و میانگین مقدار جریان آب سبز افزایش پیدا می‌کند.

۳. مقدار آب آبی تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه در مناطق شمالی استان روند افزایشی و در سایر مناطق روند کاهشی دارد. این کاهش و افزایش منطبق بر کاهش و افزایش مقدار بارش در مناطق شمالی و جنوبی استان کرمان تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که آب آبی حساسیت بالایی نسبت به تغییرات بارش دارد. نکته قابل تأمل در مبحث آب آبی در استان کرمان روند افزایشی مقدار آب آبی شهرستان یافت و شهرستان‌های جنوبی در سناریوی RCP 8.5 نسبت به سناریوی RCP 6 می‌باشد. در سناریو RCP 8.5 شاهد بیشترین افزایش دما و کاهش بارش هستیم، لذا انتظار می‌رود که مقدار آب آبی نسبت به همین افزایش و کاهش دما و بارش، روند کاهشی داشته باشد ولی این اتفاق رخ نداده است. دلیل این افزایش غیر متعارف مقدار آب آبی در این مناطق افزایش کم مقدار جریان آب سبز (تبخیر تعرق) به میزان ۴ درصد نسبت سناریوی RCP 6 و کاهش ۱۱ درصدی مقدار ذخیره آب سبز است.

Table 2- SWAT Model Parameter after final Calibration

جدول ۲- پارامترهای مدل SWAT بعد از واسنجی نهایی

Parameter	Description	Range			
		Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
r_ESCO.hru	The correction factor evaporation from soil	(0.35-0.64)	(0.25-0.55)	(0.15-.4)	(0.4-0.7)
r_EPCO.hru	Plant uptake compensation factor	(0.38-0.45)	0.35-0.55	(0.3-0.45)	(0.35-0.55)
v_SURLAG.bsn	Delay surface runoff coefficient	(2.5-8)	(3.5-5)	(3.5-6.5)	(4.2-7)
r_SLSOIL.hru	Longitudinal slope for drainage sub(m)	(-0.35- 0.35)	(-0.35- 0.35)	(-0.35- 0.35)	(-0.35- 0.35)
r_CN2.mgt	Curve number	(-0.18 -0.18)	(-0.18 -0.18)	(-0.18 -0.18)	(-0.18 -0.18)
v_GWQMN.gw	Threshold depth of water in shallow aquifer (mm)	(74.5-84.5)	(50-80)	(60-75)	(87-95)
r_REVAPMN.gw	Threshold depth of water in shallow aquifer for Revap (mm)	(0.88-0.92)	(0.45-0.65)	(0.4-06)	(0.52-0.65)
v_GW_REVAP.gw	Groundwater "Revap" Factor	(0.1-0.2)	(0.1-0.2)	(0.1-0.2)	(0.1-0.2)
r_ALPHA_BF.gw	Ks groundwater flow	(-0.8,0.8)	(-0.8,0.8)	(-0.8,0.8)	(-0.8,0.8)
r_SOL_BD(..).sol	Bulk Density(g/Cm ³)	(-0.2,0.2)	(-0.2,0.2)	(-0.2,0.2)	(-0.2,0.2)
r_SOL_K(..).sol	Saturated hydraulic conductivity(mm/hr)	(-0.5,0.5)	(-0.4,0.4)	(-0.45,0.55)	(-0.5,0.5)
v_CH_K2.rte	Hydraulic conductivity of the main stream(mm/hr)	(40-80)	(40-80)	(40-80)	(40-80)
v_CH_N2.rte	The main channel Manning coefficient	(0-0.3)	(0-0.3)	(0-0.3)	(0-0.3)
r_OV_N.hru	Manning roughness coefficient for surface flow	(-0.8-0.8)	(-0.8-0.8)	(-0.8-0.8)	(-0.8-0.8)
r_SLSUBBSN.hru	Average slope length (m)	(-0.5-0.5)	(-0.5-0.5)	(-0.5-0.5)	(-0.5-0.5)
r_HRU_SLP.hru	Average slope steepness (m/m)	(-0.3-0.3)	(-0.3-0.3)	(-0.3-0.3)	(-0.3-0.3)
r_SOL_AWC(..).sol	Available water capacity(mm H ₂ O/mm soil)	(-0.2-0.2)	(-0.2-0.2)	(-0.2-0.2)	(-0.2-0.2)
v_USLE_P.mgt	USLE equation support pra	(0.1-0.9)	(0.1-0.9)	(0.1-0.9)	(0.1-0.9)
r_USLE_K().sol	USLE equation soil erodibility (K) factor	(-0.4-0.4)	(-0.4-0.4)	(-0.4-0.4)	(-0.4-0.4)
r_SPCON.bsn	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment	(0.001-0.01)	(0.001-0.01)	(0.001-0.01)	(0.001-0.01)

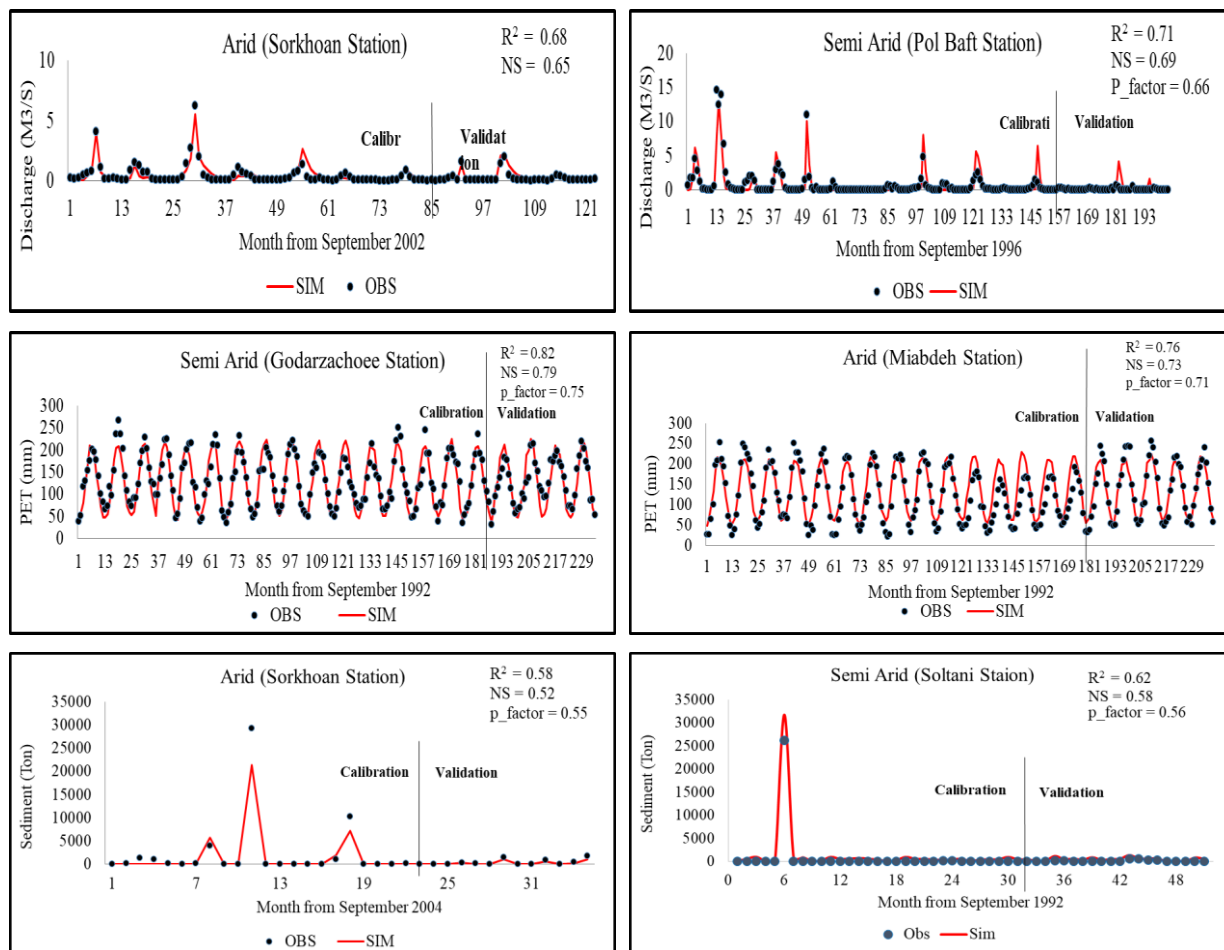


Fig. 9- Results of SWAT after calibration for different selected stations (Discharge: a& b, PET: c& d, Sediment: e& f) with different climate

شکل ۹- نتایج مدل SWAT بعد از واسنجی در ایستگاه‌های منتخب (رواناب a&b، تبخیر-تعرق پتانسیل c&d، رسوب e&f)

۴- نتیجه گیری

داده‌های میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوهای مختلف و داده‌های مشاهداتی نشان از افزایش دما در تمامی ایستگاه‌ها دارد.

هدف این پژوهش در خصوص استفاده از بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم (CCT) برای اولین بار در داخل ایران، ارزیابی این بسته نرم‌افزاری بود. این بسته نرم‌افزاری با توجه به امکانات و ابزارهایی که در اختیار محققان قرار می‌دهد، و همچنین با ارزیابی‌ها صورت گرفته در مورد دقت و صحت شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این پژوهش، ابزاری بسیار کارآمد همراه با دقت مناسب برای انجام پژوهش‌های تغییر اقلیم و تحلیل‌های مربوط به طول دوره‌های تر و خشک ارزیابی شد. از دیگر امکانات این بسته نرم‌افزاری امکان تحلیل وقوع سیل هست که در آینده می‌توان با استفاده از این بسته نرم‌افزاری اقدام به تحلیل وقوع سیل در مناطق مختلف کرد.

در این پژوهش، به منظور بررسی عملکرد بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم (CCT) از داده‌های بارش، دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه (۲۰۱۲-۱۹۹۰) استفاده گردید. همچنین از مدل گردش عمومی جو GFDL-ESM2M و چهار سناریوی RCP برای شبیه‌سازی دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۰) استفاده شد. سپس، با استفاده از بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم (CCT) اقدام به ریزمقیاس‌نمایی و درونیابی مدل گردش عمومی جو GFDL-ESM2M گردید. پس از ارزیابی مدل و اطمینان از صحت داده‌های شبیه‌سازی‌شده به بررسی تغییر روند بارش و دمای بیشینه و کمینه برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۰) پرداخته شد. به‌طورکلی در تمام سناریوها، بارش در اکثر نقاط استان به جز مناطق جنوبی افزایش می‌یابد. این افزایش در برخی نقاط به ۶۰ درصد هم می‌رسد. اما در قسمت‌های جنوبی و میانی استان بارش تا بین ۱۰ تا ۴۰ درصد هم کاهش پیدا می‌کند. اما مقایسه

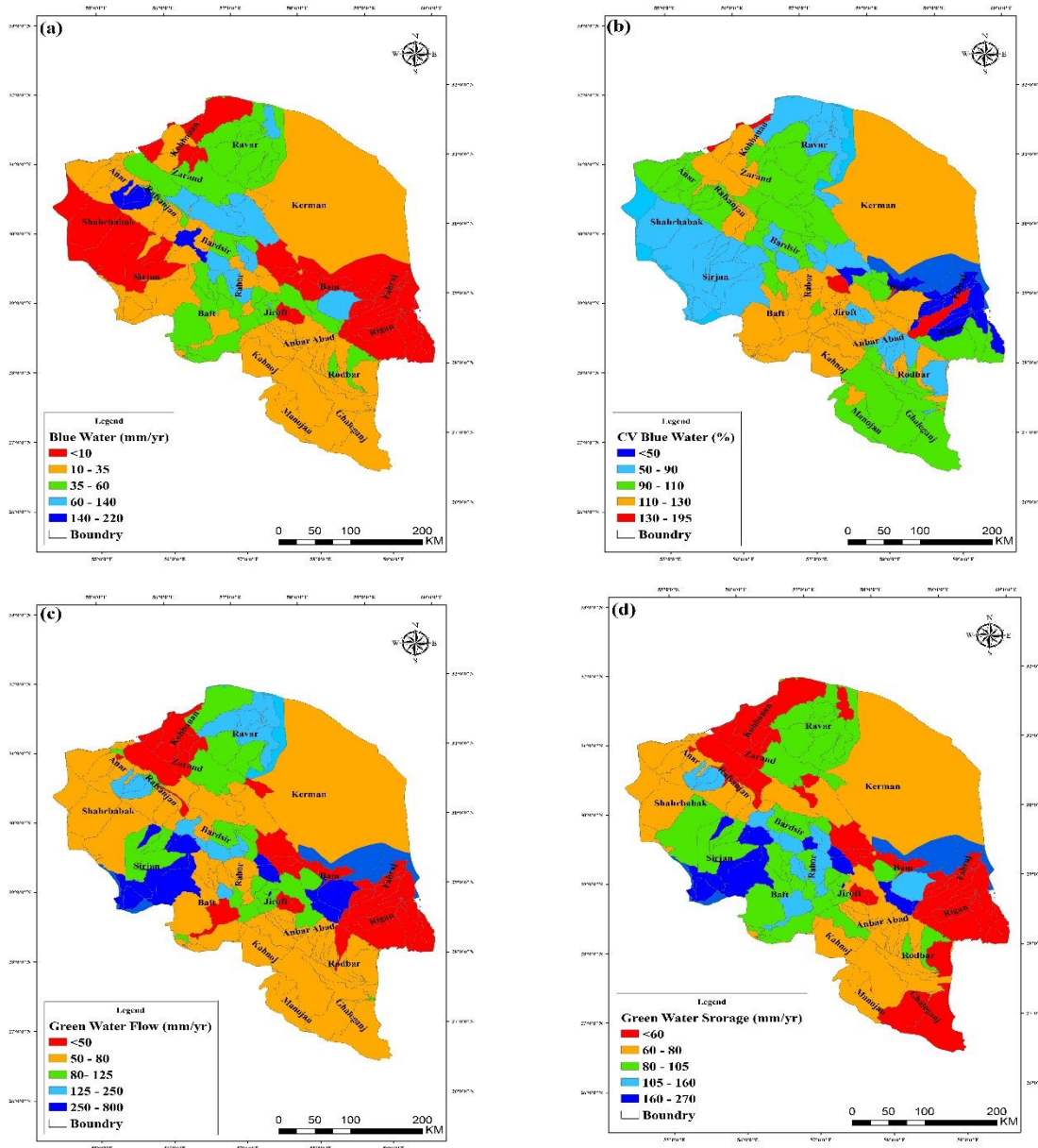


Fig. 10- Average (1990–2012) simulated annual internal renewable blue water resources (a), blue water CV (b), actual evapotranspiration (ET) (c) and soil water (d) at sub-basin level

شکل ۱۰- الف. مقدار آب آبی، ب. ضریب تغییرات آب آبی، ج. مقدار جریان آب سبز، د. مقدار ذخیره آب سبز در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۲)

مدل‌سازی با هدف ساخت و واسنجی مدل هیدرولوژیک در سطح زیر حوضه برای استان کرمان با نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها انجام گرفت. همچنین در مرحله دوم به محاسبه آب قابل دسترس در مقیاس ماهانه و در مرحله آخر تفکیک آب قابل دسترس به آب آبی (مجموع رواناب سطحی و تغذیه از آبخوان عمیق)، ذخیره آب سبز (رطوبت خاک) و جریان آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) انجام گرفت.

همچنین با توجه به ارتباط این مدل با چهار مدل گردش عمومی جو دیگر (MIROC, HadGEM2-ES, JPSL-CM5A-LR, NoerESM1-M) می‌توان در مطالعات آتی از مدل‌ها گردش عمومی دیگر برای تحلیل روند تغییرات دمای بیشینه، کمینه، بارش و طول دوره‌های خشک استفاده کرد.

در تحقیق حاضر با استفاده از قابلیت‌های شبیه‌سازی یکپارچه مدل هیدرولوژیک SWAT، به مدل‌سازی استان کرمان پرداخته شد. این

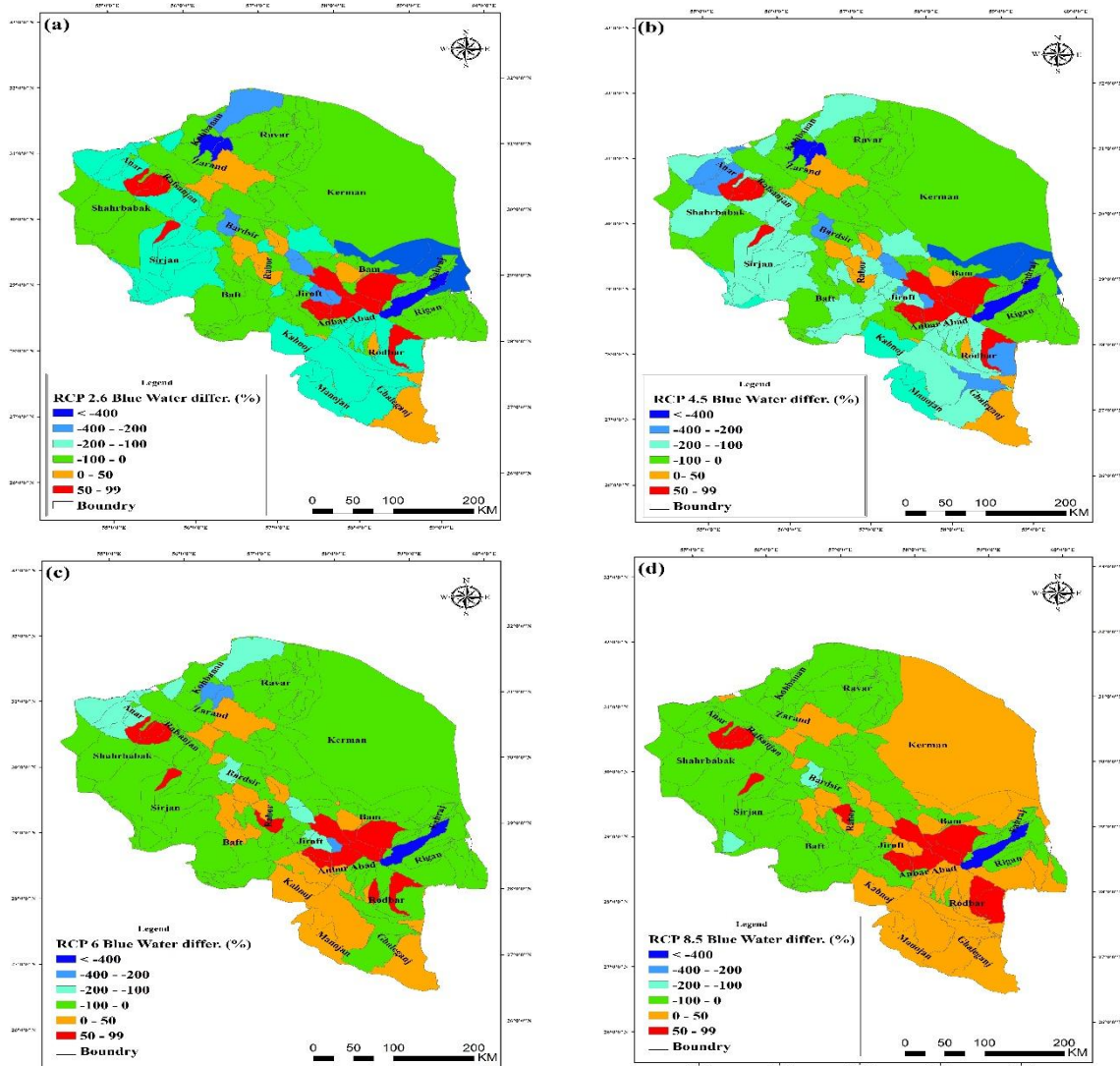


Fig. 11- Showing the effect of climate change on the blue water resources under RCP's scenarios condition

شکل ۱۱- نمایش تأثیرات تغییر اقلیم بر روی آب آبی تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه

پژوهش‌های دیگر (Hashemi et al. (2010)، Abbaspour et al. (2009) و طرح نیاز آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران که توسط سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است، به درستی و صحت مطالعات انجام گرفته پی می‌بریم.

پس از واسنجی مدل SWAT، با استفاده از نتایج بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT به تحلیل شرایط هیدرولوژیک استان کرمان در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) پرداخته شد. در این دوره به‌طور میانگین مقدار آب آبی نسبت به دوره پایه کاهش داشته است. همچنین مقدار جریان آب سبز تحت تمام سناریوهای تغییر اقلیم افزایش پیدا کرده است. مقدار ذخیره آب سبز یا همان رطوبت خاک نیز تحت سناریوهای

تفکیک آب قابل دسترس به اجزا کوچک‌تر امکان برنامه‌ریزی و مدیریت هرچه بهتر منابع آب موجود را به متولیان بخش آب می‌دهد که تا به امروز تحقیقات گسترده‌ای در این رابطه برای حوضه‌های کشور انجام نگرفته است. لذا از مهمترین اهداف این پژوهش می‌توان به استفاده از ابزارها و مدل‌های نوین و کاربردی در بررسی منابع آب قابل دسترس و مجزا کردن این منابع به بخش‌های کوچک‌تر برای مدیریت هرچه بهتر این منابع اشاره کرد.

با توجه به تحلیل نتایج شبیه‌سازی رواناب و تبخیر- ترق، مشاهده می‌شود که مدل SWAT عملکرد مطلوبی در مدل‌سازی هیدرولوژیک استان کرمان داشته است. با بررسی نتایج این پژوهش و مقایسه آن با

- results. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 94, 10e21
- Besalatpour A, Ayobi Sh, Hajabasi M, Jalalian A (2013) Calibration and validation of SWAT model using PSO algorithm for the simulation of runoff and sedimentation a mountainous watershed with limited climate data. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 4(4), 2015
- Bouman BAM (2007) A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural Systems* 9:43–60
- Cheema S B, Rasul G, Ali G, Kazmi D H (2013) A comparison of minimum temperature trends with model projections. *Pakistan Journal of Meteorology* 8(15)
- Falkenmark M, Lundquist J, Widstrand C (1989) Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum* 13(4):258–267
- Falkenmark M, Rockstrom J (2006) The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management ASCE* 132:129–132
- Faramarzi M, Abbaspour K C, Ashraf Vaghefi S, Farzaneh M R, Zehnder A j B, Srinivasan R, Yang H (2013) Modeling Impact of Climate Change on Freshwater Availability in Africa. *Journal of Hydrology* 85-101
- Faramarzi M, Abbaspour K C, Schulin R, and Yang H (2009) Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Journal of Hydrological Process* 23:486–501
- Goodarzi E, Dastorani M T, Massah Bavani A, Talebi A (2015) Evaluation of the change-factor and LARSWG methods of downscaling for simulation of climatic variables in the future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd-Iran), *ECOPERSIA*, 3(1)
- Hashmi M Z, Shamseldin A Y, elville B W M (2010) Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, DOI 10.1007.s00477-010-0416-x
- IPCC (2014) Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), pp. 3-87 by Leo Meyer, Sander Brinkman, Line van Kesteren, Noëmie Leprince-Ringuet, Fijke van Boxmeer edited by R. K. Pachauri, L. A. Meyer
- IPCC, Technical Summary In Climate Change (2001) Impacts, adaptations and mitigation of climate
- تغییر اقلیم کاهش پیدا کرده است. با تحلیل شاخص کمبود منابع آب درمی‌یابیم که با افزایش دما و کاهش بارش در سناریو بدبینانه شهرستان‌های بیشتری تحت استرس کمبود آب قرار می‌گیرند. اما به طور کلی با مقایسه دوره پایه با نتایج سناریوهای خوشبینانه RCP 2.6 و حد واسط RCP 4.5 متوجه افزایش منابع آب با توجه به افزایش بارش تحت این سناریوها می‌شویم.
- پی‌نوشت‌ها**
- 1- Global Coupled Model
 - 2- Statistical Downscaling model
 - 3- Long Ashton Research Station-Weather Generator
 - 4- Climate Change Toolkit
 - 5- Soil and Water Assessment Tool
 - 6- Water Resource Availability
 - 7- Blue Water
 - 8- Green Water Storage
 - 9- Green Water Flow
 - 10- Climate Research Unit
 - 11- Inter-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project
 - 12- National Oceanic and Atmospheric Administration
 - 13- Land Model
 - 14- Sequential Uncertainty Fitting
- ۵- مراجع**
- Abbaspour K C, Faramarzi M, Ghasemi S S, Yang H (2009) Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research* 45(10)
- Ahmadi M, Lashkari H, Keykhosravi Gh, Azadi M (2015) Analysis of temperature limit indicators in detecting climate change in Khorasan. *Iranian Geographical association*, 45 (In Persian)
- Allan JA (1997) 'Virtual water': A long term solution for water short middle-eastern economies? Occasional Paper, SOAS Water Issues Group, King's College, UK
- Arnell N (1996) Assessment of the vulnerability of coastal areas to sea level rise-a common methodology 1991 (also in Arabic and French). The Institute of Hydrology. UK
- Ashraf Vaghefi S, Abbaspour N, Kamali B, Abbaspour KC (2017) A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions. *Environmental Modeling and Software* 96:181-198
- Bartolomeu S, Carvalho M J, Marta-Almeida M, Melo-Gonçalves P, Rocha A (2016) Recent trends of extreme precipitation indices in the Iberian Peninsula using observations and WRF model

- search optimization algorithm. *Journal of Iran-Water Resources Research* 13(3) (In Persian)
- Rahimi J, Ebrahimpour M, Khalili A (2013) Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 112(3-4):409-418
- Ramos M, Martínez-Casasnovas J (2015) Climate change influence on runoff and soil losses in a rainfed basin with Mediterranean climate. *Natural Hazards* 78(2):1065-1089
- Rezazadeh M S, Bakhtiari B, Abbaspour K, Ahmadi M (2017) Evaluation of conceptual and data driven models in runoff simulation (Case Study: Soltani Basin). *Proceeding of the Second National Conference of Hydrology*. Shahrekord University, Iran
- Rezazadeh M S, Bakhriari B, Abbaspour K, Ahmadi M (2018) Simulation of Runoff, sediment and evapotranspiration through management scenarios to reduce sediment load using SWAT model. *Iranian Journal of Watershed Management Science* 12 (40): 41-50 (In Persian)
- Rezazadeh M S, Ganjalikhani M, Zounemat Kermani M (2016) Comparing the performance of semi-distributed SWAT and lumped HEC-HMS hydrological models in simulating river discharge (Case Study: Ab-Bakhsha watershed). *Iranian Journal of ECO HYDROLOGY* 2(4): 467-479 (In Persian)
- Schuol J, Abbaspour K C, Yang H, Srinivasan R, Zehnder A J B (2008) Modeling blue and green water availability in Africa. *Water Resources Research*, 44, W07406, doi:10.1029/2007WR006609
- Nouri Z, Talebi A, Asadi M A (2019) Investigating SWAT model efficiency to determine water balance components (Case study: Semirom Mehrgerd Watershed). *Journal of Iran-Water Resources Research* 15(3) (In Persian)
- Sobhani B, Eslahi M, and Babaeian I (2015) Performance of statistical downscaling models of SDSM and LARSWG in the simulation of meteorological parameters in the basin of lake Urmia. *Physical Geography Research Quarterly* 47(4):499-516
- Vaghefi S A, Mousavi S J, Abbaspour K C, Srinivasan R, Yang H (2014) Analyses I impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *Hydrological Process* 28(4):2018e2032
- change: scientific-technical analyses, eds. Watson, RT, Zinyowera MC, Moss RH, contribution of working group to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge 1-53
- Kazmi D H, Rasul G, Li J, Cheema S B (2014) Comparative study for ECHAM5 and SDSM in downscaling temperature for a geo-climatically diversified region, Pakistan. *Applied Mathematics* 5:137-143
- Krysanova V, Wortmann M, Bolch T, Merz B, Duethmann D, Walter J, Huang S, Tong J, Buda S, Kundzewicz Z W (2015) Analysis of current trends in climate parameters, river discharge and glaciers in the Aksu River basin (Central Asia). *Hydrological Science Journal* 60(4), 566e590
- Li L, Zhang L, Xia J, Gippel C J, Wang R, Zeng S (2015) Implications of modelled climate and land cover changes on runoff in the middle route of the south to north water transfer project in China. *Water Resources Management* 29(8):2563-2579
- Li Y, Chang J, Wang Y, Jin W, Guo A (2016) Spatiotemporal impacts of climate, land cover change and direct human activities on runoff variations in the Wei River Basin, China. *Water* 8(6):220
- Liess S, Snyder P K, Kumar A, Kumar V (2018) A cautionary note on decadal sea level pressure predictions from GCMs. *Advances in Climate Change Research* 9(1):43-56
- Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, Binger R, Harmel L R D, Veith T (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 50(3):885-900
- Nury A H, Alam M J B (2014) Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for temperature and rainfall in north-eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research* 6(1):87-96
- Palazzoli I, Maskey S, Uhlenbrook S, Nana E, Bocchiola D (2015) Impact of prospective climate change on water resources and crop yields in the Indrawati basin, Nepal. *Agricultural Systems* 133:143-157
- Parajuli P, Jayakody P, Sassenrath G, Ouyang Y (2016) Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. *Agricultural Water Management* 168:112-124
- Rafiee V, Shourian M, Attari J (2017) Optimum crop patterning by integrating SWAT and the Harmony

- Yuan Y, Zhang Z, Meng J (2015) Impact of changes in land use and climate on the runoff in Liuxihe Watershed based on SWAT model. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology/Zhongguo sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban*, 26(4):989-998
- Zuo D, Xu Z, Zhao J, Abbaspour K C, Yang H (2015) Response of runoff to climate change in the Wei River basin, China. *Hydrological Sciences Journal* 60(3):1-15
- Verma S, Bhattarai R, Bosch N, Cooke S R C, Kalita P K, Markus M (2015) Climate change impacts on flow, sediment and nutrient export in a Great Lakes Watershed using SWAT. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 43(11):1464-1474
- Vorosmarty C J, Green P, Salisbury J, Lammers R B (2000) Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289 (5477), (284e288)