

## بررسی آثار تغییر اقلیم بر پارام

### ترهای اقلیمی ایستگاه های تکاب و سقز در حوضه ی زرينه رود با استفاده از شبیه LARS-WG

مینا لطیفی<sup>۱</sup>، محمود ذاکری نیری<sup>۲\*</sup>، صابر معظمی گودرزی<sup>۳</sup>

#### چکیده

استفاده بیش از حد از سوخت های سنگواره ای، افزایش جمعیت جهان و به تبع آن گسترش روزافزون فعالیت های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره ی زمین، موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه ای، به ویژه CO<sub>2</sub> در چند دهه اخیر شده است. این افزایش در گازهای گلخانه ای موجب بروز پدیده ای به نام تغییر اقلیم گردیده است. هدف از این تحقیق بررسی اثر تغییر اقلیم با استفاده از خروجی سه شبیه اقلیمی MPI-ESM-MR، CANESM2 و CCSM4 برگزیده از مجموعه ی مدل های CMIP5 در دو دوره ی آینده ی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۹) و آینده ی دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹) تحت نمایشنامه های واداشت تابشی RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 بر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر است. برای شبیه سازی فراسنج های اقلیمی حوضه ی زرينه رود داده های این سه شبیه با شبیه LARS-WG ریزمقیاس شدند. با توجه به آماره های ارزیابی نشان داده شد که شبیه اقلیمی MPI-ESM-MR نسبت به دو شبیه دیگر از عملکرد بهتری برای شبیه سازی فراسنج های اقلیمی برخوردار است. در ادامه، با بررسی نتایج به دست آمده، روند دما با افزایش و بارش، با افزایش و کاهش در شبیه های مختلف روبرو شد. ایستگاه سقز نسبت به تکاب روند شدیدتری را در شبیه سازی نشان داد، به گونه ای که دما در این ایستگاه به طور متوسط ۰.۵ تا ۱.۵ درجه ی سانتی گراد افزایش بیشتری را نسبت به ایستگاه تکاب نشان داد، و در بارش هم در شبیه های کاهشی ۱۰ تا ۸۰ میلی متر کاهش، و در شبیه های افزایشی ۵ تا ۱۰ میلی متر افزایش را نسبت به تکاب نشان می دهد. همچنین دمای حداقل نسبت به دمای حداکثر افزایش بیشتری را در هر دو ایستگاه نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** تغییر اقلیم، LARS-WG، CMIP5، RCP، زرينه رود

<sup>۱</sup> دانش آموخته ی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

<sup>۲</sup> گروه مهندسی عمران، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

\* نویسنده ی مسئول: zakeriau@gmail.com

## ۱- مقدمه:

ماهانه شبیه های گردش عمومی جو هستند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵).

این شبیه ها با استفاده از خروجی شبیه های GCM<sup>۲</sup> و به کارگیری سناریوهای خاص شبیه تولید کننده داده های آب و هوایی، داده های گردش عمومی در مقیاس بزرگ را به مقیاس های ریزتر تبدیل می کنند (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). امروزه استفاده از انواع شبیه های ریز مقیاس نمایی مانند LARS-WG، CLIMGE، SDSM<sup>۳</sup> و چون آن، برای شبیه سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. LARS-WG یکی از مشهورترین مولدهای داده های تصادفی هواشناسی می باشد که در زیر نمونه هایی از مطالعاتی که در زمینه ی تغییر اقلیم و این شبیه صورت گرفته آورده شده اند. وان و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات اقلیمی را در دو حوضه ی واقع در شمال شرقی آمریکا با استفاده از روش های ریز مقیاس نمایی ۸ شبیه اقلیمی بررسی نمودند. سمنوف (۲۰۰۸)، طی تحقیقی با استفاده از آمار ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا با اقلیم های گوناگون، توانایی مدل LARS-WG را برای شبیه سازی رویدادهای جوی بررسی کرد. نتایج نشان دادند که میانگین حداکثر سالانه و مقادیر دوره ی برگشت بارندگی مصنوعی روزانه در داخل فواصل اطمینان ۹۵٪ داده های مشاهداتی قرار گرفته اند، اما داده های دمای حداکثر روزانه با دقت کمتری تولید شده بودند.

دوستی و همکاران (۱۳۹۲) طی تحقیقی از مدل HADCM3 برای شبیه سازی فراسنج های اقلیمی در حوضه ی تمر در استان گلستان استفاده کرده با استفاده از مدل LARS-WG تحت دو نمایشنامه ی A2 و A1B داده های شبیه را ریز مقیاس نمودند. نتایج نشان دادند که میانگین دما با در نظر گرفتن نمایشنامه ی A2، ۲.۴۸ درجه ی سلسیوس، و با در نظر گرفتن نمایشنامه ی A1B، ۲.۴۳ درجه افزایش خواهد یافت. همچنین، نتایج آنان نشان از افزایش ۱۶٪ بارش در سناریوی A1B در دوره ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ را دارد.

اشرف و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی روند تغییر فراسنج های اقلیمی مشهد را در دوره ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده های شبیه سازی شده ی سه سناریوی

افزایش دمای کره زمین از اواسط نیمه ی دوم قرن بیستم به دنبال افزایش غلظت گازهای گلخانه ای بوده است (IPCC، ۲۰۰۷). اگر افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو ادامه داشته باشد، ۱.۴ تا ۵.۸ درجه سلسیوس افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ رخ خواهد داد (IPCC، ۲۰۰۱).

مهمترین اثر تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده های جوی و اقلیمی نظیر توفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نا به هنگام خواهد بود (بابائیان و همکاران ۱۳۸۸). معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه های گوناگون، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده با شبیه های گردش عمومی جفت شده ی جو-اقیانوسی است. این شبیه ها برای بررسی اثرات پدیده ی تغییر اقلیم در سامانه های مختلف محسوب می شوند و قادرند فراسنج های اقلیمی را برای یک دوره ی طولانی مدت با استفاده از نمایشنامه های تأیید شده IPCC شبیه سازی نمایند (دیباک و کولیبالی، ۲۰۰۵). اما ضعف عمده ی این مدلها در قدرت تفکیک مکانی کم آنها است که برای فائق آمدن بر این مشکل، لازم است خروجی این شبیه ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی شوند. ریز مقیاس نمایی با کاربرد دو روش انجام می گیرد که یکی از آنها ریزمقیاس نمایی آماری و دیگری ریزمقیاس نمایی دینامیکی است (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹).

روش آماری در مقایسه با روش های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه ی کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی لازم باشد، از مزیت ها و قابلیت های بیشتری برخوردار است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

از مهمترین روش های آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم، می توان به شبیه های مولد داده های هواشناسی<sup>۱</sup> (WG) اشاره کرد. این شبیه ها ابزاری برای پیش بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه آنها برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه های آتی طراحی شده اند. این شبیه ها قادر به تولید داده های روزانه از خروجی

<sup>۲</sup> Global circulation model  
3 Statistical downscaling model

<sup>۱</sup> Weather generator

کارگیری شبیه LARS-WG است. در شکل ۱ روند نمای مراحل انجام تحقیق ارائه شده است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱ منطقه بررسی شده

حوضه ی زرينه رود بزرگترین زیرحوضه ی درجه ۲ از حوضه ی دریاچه ارومیه است که در موقعیت  $37^{\circ}27'$  تا  $45^{\circ}47'$  طول جغرافیایی و  $35^{\circ}41'$  تا  $37^{\circ}27'$  عرض جغرافیایی قرار دارد. وسعت این حوضه بالغ بر  $12025$  کیلومتر مربع بوده و رود اصلی آن دارای طول  $300$  کیلومتر است (منصوری و همکاران ۱۳۹۳). مساحت این حوضه در شهرستان های میاندوآب، شاهین دژ و تکاب در استان آذربایجان غربی و شهرستان سقز در استان کردستان و بخش کوچکی از آذربایجان شرقی قرار گرفته است. شکل ۲ موقعیت حوضه ی زرينه رود و ایستگاه های هواشناسی مطالعه شده ی ایران و شمال غرب کشور را نشان می دهد.

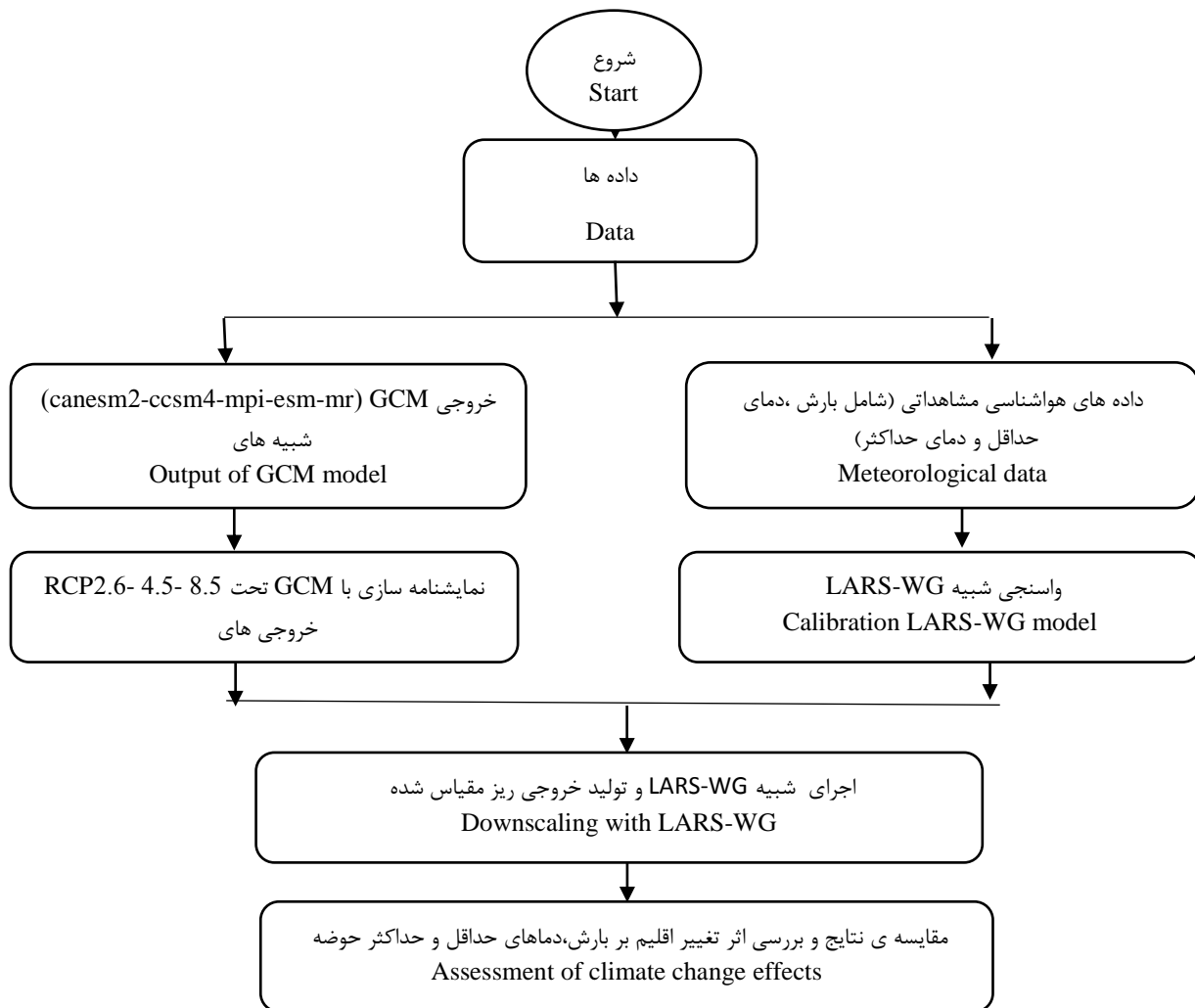
### ۲-۲ روش تحقیق

در این تحقیق از داده های دو ایستگاه تکاب و سقز استفاده شده است. موقعیت ایستگاه های فوق در جدول ۱ نشان داده شده است.

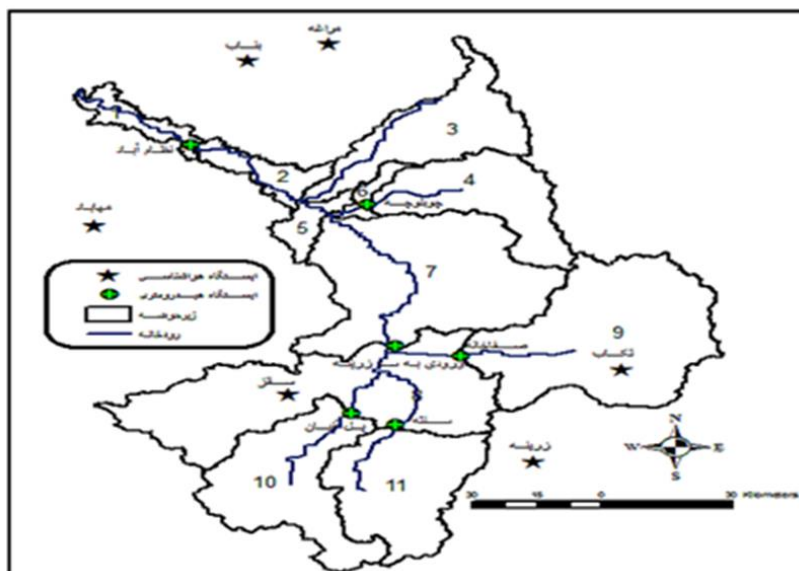
A2، A1B و B1 مدل LARS-WG بررسی نموده و نتیجه گرفتند که میزان دما و بارش هر سه نمایشنامه افزایش می یابد، و بیشترین افزایش بارش مربوط به فصل های زمستان و بهار خواهد بود. غریب دوست و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی داده های شبیه HADCM3 را با شبیه LARS-WG طبق دو نمایشنامه A2 و A1B در حوضه ی آبخیز صوفی چای ریز مقیاس نمودند. نتایج آنان حاکی از افزایش بارش در دوره ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (۲.۶ درصد در نمایشنامه ی A2 و ۳.۴ درصد در نمایشنامه ی A1B) و کاهش آن در آینده های دورتر (۱۷ درصد در سناریوی A2 و ۱۰.۸ درصد در سناریوی A1B)، و همچنین افزایش تدریجی دماهای کمینه و بیشینه در آینده بوده است. بر اساس نتایج پژوهش های بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) برای دوره ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ کاهش ۹ درصدی بارش، افزایش آستانه ی بارش های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد، و افزایش میانگین سالانه ی دما به میزان ۰.۵ درجه سانتیگراد در کل کشور پیش بینی شده است، که استانهای خراسان شمالی، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ی ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. از این رو، در تحقیق حاضر به بررسی اثرات تغییر اقلیم حوضه ی زرينه رود در شمال غرب کشور، که یکی از مهم ترین رود های دریاچه ارومیه است پرداخته شده است. در تحقیق قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) شبیه از گروه شبیه های CMIP5<sup>۱</sup> که در گزارش پنجم IPCC آمده است در پیش بینی بارش و دمای ایران تا پایان قرن ۲۱ ارزیابی شده، و شبیه های MPI-ESM-MR، MPI-ESM-LR و BCC-CSM1.1 به ترتیب بهترین شبیه ها برای پیش یابی بارش و شبیه های MPI-ESM-MR، CESM1(BGC) و CCSM4 شبیه های ارجح برای کمیت دما پیشنهاد شدند.

به طور کلی، هدف این تحقیق ریز مقیاس نمایی داده های دماهای حداقل، حداکثر، و بارش از خروجی های سه شبیه CANESM2، MPI-ESM-MR و CCSM4 از مجموعه شبیه های CMIP5 در ۲ ایستگاه سینوپتیک تکاب و سقز در حوضه ی زرينه رود در دو دوره ی ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با به

<sup>۱</sup> coupled model integration phase five



شکل ۱- روند مراحل انجام تحقیق



شکل ۲- موقعیت حوضه ی زربنه رود و ایستگاه های هواشناسی استفاده شده در تحقیق

## جدول ۱- نام و مشخصات ایستگاه های هواشناسی استفاده شده ی در تحقیق.

ارتفاع از سطح دریا(متر)	عرض جغرافیایی(درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۱۷۶۵	۳۶.۲۳	۴۷.۰۶	سینوپتیک	تکاب
۲۱۴۲.۶	۳۶.۰۴	۴۶.۵۵	سینوپتیک	سقر

است که این کار با داشتن داده های شبیه های (CANESM۲، MPI-ESM-MR و CCSM۴) صورت گرفته است. در جدول های ۲ و ۳ مشخصات شبیه ها و نمایشنامه های به کار رفته در این تحقیق آورده شده اند.

تاکنون شبیه LARS-WG برای نمایشنامه های جدید RCP به روزرسانی نشده است، لذا، در تحقیق حاضر، تدوین این نمایشنامه ها در این شبیه اعمال شده

## جدول ۲- مشخصات مدل های استفاده شده در تحقیق از سری CMIP5 (کری و همکاران ۲۰۱۳)

	Model	Institution	(Lon*Lat, Degree)
1	CCSM4	National center for atmospheric research U.S.A	1.25*0.9
2	CANESM2	Canadian center for climate modeling and analysis Canada	2.81*2.79
3	MPI-ESM-MR	Max Planck institute for meteorology Germany	1.875*1.85

## جدول ۳- نمایشنامه های RCP استفاده شده در این تحقیق (IPCC 2013).

سناریو	موسسه	فرضیات
RCP2.6	گروه شبیه سازی IMAGE از موسسه ارزیابی محیطی هلند	این نمایشنامه دربرگیرنده ی کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن، است. مطابق این نمایشنامه واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳.۱ رسیده، سپس کاهش یافته و به ۲.۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند.
RCP4.5	گروه شبیه سازی MINICAM طراحی شده	در این نمایشنامه واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴.۵ وات بر متر مربع ثابت می ماند.
RCP8.5	تیم مدل سازی MESSAG و موسسه ی II ASA اتریش	بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم آب و هوای کره زمین در خط سیر نمایشنامه ی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸.۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان این روند افزایش خواهد داشت.

۲-۲- شبیه LARS-WG<sup>۱</sup>

به روش آماری در مجارستان ابداع شد. شبیه LARS-WG برای شبیه سازی متغیرهای هواشناسی توزیع های آماری پیچیده ای را به کار می برد. مبنای این شبیه برای شبیه سازی طول دوره های خشک و تر، بارش روزانه و گروه های تابش توزیع نیمه تجربی است (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴).

یکی از شبیه های مولد داده های تصادفی وضع هوا LARS-WG است که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه دماهای روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می رود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). اولین نسخه ی LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی

<sup>۱</sup> Long Ashton Research Station Weather Generator

یک از دوره های تاریخی و آینده (نمایشنامه های RCP) محاسبه می کنیم و اختلاف بین مقادیر داده های آینده و تاریخی را که برای فراسنج بارش، میانگین ماهانه ی مقادیر در دوره ی آینده بر دوره ی تاریخی تقسیم می شود و برای دما، میانگین ماهانه ی مقادیر تاریخی از مقادیر آینده کسر می گردد (زارعیان و همکاران، ۲۰۱۴). پس از دادن نمایشنامه های داده شده شبیه اجرا شده و مقدارهای روزانه فراسنج های گفته شده تولید می شود:

$$\Delta P = \frac{\overline{P_F}}{\overline{P_H}} \quad (5)$$

$$\Delta T = \overline{T_F} - \overline{T_H} \quad (6)$$

در رابطه ها ی (۵) و (۶)،  $P_F$ ، میانگین بارش در آینده و  $P_H$  میانگین بارش دوره ی تاریخی مربوط به هر شبیه،  $T_F$  میانگین دما در آینده و  $T_H$  میانگین دما در دوره ی تاریخی هر شبیه می باشد.

## نتایج

براساس عملکرد شبیه در مرحله ی ارزیابی (که در جدول ۴ آورده شده است)، مقدارهای  $R^2$  (ضریب تبیین) که برای نشان دادن دقت شبیه استفاده شده قرار می گیرد، ارائه شده است.

نتایج بیانگر این مطلب است که داده های مشاهداتی و تولید شده به وسیله ی شبیه LARS-WG مربوط به دوره ی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) از همبستگی معنی داری برخوردار است. به علاوه برای اطمینان از درستی واسنجی شبیه از شاخص های RMSE، NSE و MAE استفاده گردید، و با توجه به مقادیر مذکور، گرچه در ایستگاه سقز برای دما ضعف هایی وجود دارند، اما در مجموع شبیه برای هر دو ایستگاه مناسب ارزیابی شده است.

در جدول ۵- شاخص آماری RMSE در دو ایستگاه برای هر یک از سه شبیه CANESM2، MPI-ESM-MR و CCSM4 برای سه فراسنج بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر نشان داده شده است.

در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی آماری داده های شبیه گردش عمومی MPI-ESM-MR، CCSM4 و CANESM2 از شبیه LARS-WG استفاده شده است. تولید داده های LARS-WG در سه مرحله صورت می گیرد که عبارتند از واسنجی کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی. برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، پس از پردازش و مرتب سازی داده ها و تهیه پرونده های ورودی، شبیه برای دوره ی پایه ۱۹۷۶-۲۰۰۵ اجرا شد و بدین ترتیب مرحله ی واسنجی به پایان رسید.

با استفاده از معیارهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و نش - ساتکلایف (NSE)، که روابط آنها در ادامه آمده اند، اقدام به ارزیابی داده های تولید شده توسط شبیه و داده های مشاهداتی در دوره ی پایه شد:

$$^1 RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_O - X_S)^2}{N}} \quad (1)$$

$$^2 MAE = \frac{\sum |X_O - X_S|}{N} \quad (2)$$

$$^3 R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_O - \overline{X_O})(X_S - \overline{X_S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_O - \overline{X_O})^2 \sum_{i=1}^N (X_S - \overline{X_S})^2}} \quad (3)$$

$$^4 NSE = \left[ 1 - \frac{\sum (X_O - X_S)^2}{\sum (X_O - \overline{X_O})^2} \right] \quad (4)$$

در روابط بالا  $X_O$ : داده های مشاهداتی،  $X_S$ : داده های شبیه سازی شده،  $\overline{X_O}$ : میانگین داده های مشاهداتی و  $N$  تعداد داده ها هستند.

در ادامه برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه ی زربینه رود، شبیه LARS-WG برای ریزمقیاس نمایی داده های شبیه گردش عمومی ذکر شده و تولید داده های مصنوعی با استفاده از سه نمایشنامه ی ۲.۶-۴.۵-۸.۵ اجرا شد. برای اجرای نمایشنامه های RCP از فایل نمایشنامه در شبیه LARS-WG اقدام به شبیه سازی کرده ایم، به این صورت، که میانگین ماهانه را برای هر

<sup>1</sup> root mean square error

<sup>2</sup> mean absolute error

<sup>3</sup> root mean of square error

<sup>4</sup> Nash-Sutcliffe efficiency

جدول ۴ - نتایج عملکرد مرحله واسنجی و ارزیابی شبیه LARS-WG

سقز		تکاب				
دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش	دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش	آماره های ارزیابی
0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	R2
1.55	1.33	0.13	0.05	0.38	0.09	RMSE
0.98	0.82	0.96	0.98	0.98	0.97	NSE
1.46	1.22	0.10	0.38	0.31	0.08	MAE

جدول ۵ - مقادیر معیارهای ارزیابی.

			R2	MAE	RMSE
Takab	Pr	CCSM4	0.97	0.29	0.36
		CANESM2	0.97	0.28	0.35
		MPI-ESM-MR	0.98	0.31	0.35
	Tmin	CCSM4	0.99	0.69	0.78
		CANESM2	0.99	0.67	0.77
		MPI-ESM-MR	0.99	0.49	0.63
	Tmax	CCSM4	0.99	1.47	1.58
		CANESM2	0.99	1.43	1.55
		MPI-ESM-MR	0.99	1.2	1.31
saghez	Pr	CCSM4	0.81	0.43	0.56
		CANESM2	0.80	0.45	0.59
		MPI-ESM-MR	0.83	0.38	0.53
	Tman	CCSM4	0.84	5.11	6.30
		CANESM2	0.84	4.98	6.2
		MPI-ESM-MR	0.85	4.98	6.17
	Tmax	CCSM4	0.85	5.66	6.33
		CANESM2	0.85	5.69	6.38
		MPI-ESM-MR	0.85	5.57	6.20

۰.۴۹ و ۱.۲ برای دماهای حداقل و حداکثر بیشترین کارایی را داشته اند. در سقز شبیه MPI-ESM-MR با ضریب ۰.۳۸ بیشترین توانمندی را در شبیه سازی بارش داشته است، و شبیه CANESM2 بیشترین خطا را با ۵.۶۹ برای دمای حداکثر داشته، ازین رو برای این منطقه مناسب نیست. اما در مجموع شبیه برای هر دو ایستگاه مناسب ارزیابی شده است. مطابق با نتایج جدول ۶- شبیه سازی دمای حداقل برای دوره های آتی در هر سه شبیه و برای هر سه نمایشنامه حاکی از افزایش این فراسنج است.

بیشترین خطا در شبیه سازی بارش و دما در ایستگاه سقز و در شبیه CANESM2 بوده است، که برای بارش این خطا ۰.۵۹ و برای دمای حداکثر ۶.۳ با مقیاس روزانه بوده است. در ایستگاه تکاب، شبیه CCSM4 بیشترین خطا را برای هر سه فراسنج بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر نشان داده، و شبیه MPI-ESM-MR بیشترین کارایی را داشته است. در ایستگاه سقز شبیه CANESM2 کمترین مقدار R را برای شبیه سازی بارش دارد. بر اساس نتایج در ایستگاه تکاب، شبیه CANESM2 با ضریب میانگین خطای مطلق ۰.۲۸ در شبیه سازی بارش و شبیه MPI-ESM-MR با ضرایب

جدول ۶- نتایج شبیه سازی فراسنج های اقلیمی دمای حداقل برای دوره های آتی (میانگین دما در یک دوره ی ۳۰ ساله).

ایستگاه های هواشناسی	Takab	Saghez		
فراسنج های اقلیمی	Tmin	Tmin		
Observation	2.41	3.01	اختلاف مقادیر شبیه سازی شده نسبت به مشاهداتی (°C)	
MPI- RCP 2.6 -2020-2049	3.68	4.35	1.27	1.34
MPI- RCP 4.5 -2020-2049	3.82	4.51	1.41	1.5
MPI- RCP 8.5 -2020-2049	4.02	4.61	1.61	1.6
MPI- RCP 2.6 -2070-2099	3.61	4.10	1.2	1.09
MPI- RCP 4.5 -2070-2099	5.01	5.51	2.6	2.5
MPI- RCP 8.5 -2070-2099	6.41	6.97	4	3.96
CCSM4- RCP 2.6 -2020-2049	3.82	4.58	1.41	1.57
CCSM4- RCP 4.5 -2020-2049	4.02	4.67	1.61	1.66
CCSM4- RCP 8.5 -2020-2049	4.22	4.88	1.81	1.87
CCSM4- RCP 2.6 -2070-2099	3.91	4.32	1.5	1.31
CCSM4- RCP 4.5 -2070-2099	4.91	5.49	2.5	2.48
CCSM4- RCP 8.5 -2070-2099	6.11	6.57	3.7	3.56
CANESM- RCP 2.6 -2020-2049	3.52	4.38	1.11	1.37
CANESM- RCP 4.5 -2020-2049	3.72	4.34	1.31	1.33
CANESM- RCP 8.5 -2020-2049	4.82	4.50	2.41	1.49
CANESM- RCP 2.6 -2070-2099	4.01	4.58	1.6	1.57
CANESM- RCP 4.5 -2070-2099	5.11	5.44	2.7	2.43
CANESM- RCP 8.5 -2070-2099	6.79	7.32	2.41	4.31

سایر شبیه ها، شبیه سازی کرده است. هرچند اختلاف دمای حداقل در بین شبیه ها زیاد نیست، و همه ی شبیه ها تقریباً روند تغییرات را برای دمای حداقل به یک شکل نشان داده اند، اما شبیه ذکر شده افزایش بیشتری را در دمای حداقل نسبت به سایر شبیه ها نشان می دهد. روند تغییرات دمای حداکثر نیز مانند دمای حداقل می باشد، که در ایستگاه سقز نسبت به ایستگاه تکاب دمای حداکثر افزایش بیشتری را داشته است. (جدول ۷-). در صورتی که روند تغییرات دمای حداقل و حداکثر از هم پیروی نمی کند. با مقایسه ی نتایج دو جدول می توان دریافت که تغییرات دمای حداکثر نسبت به دمای حداقل کمتر است، یعنی همان طور که مشاهده می شود، دمای حداکثر در همه ی شبیه ها و نمایشنامه ها، حتی در هر دو ایستگاه، افزایش کمتری را نسبت به دمای حداقل داشته است.

در هر دو ایستگاه این روند قابل ذکر است به طوری که همان گونه که انتظار می رود، دمای حداقل در دوره ی آینده ی دور نسبت به آینده ی نزدیک افزایش بیشتری را داشته است. در بین نمایشنامه ها، طبق تعریف صورت گرفته از آنها نمایشنامه RCP8.5 نسبت به RCP2.6 و RCP4.5 افزایش دمای بیشتری را نشان می دهند.

این اختلاف در دامنه ای بین ۱.۱ تا ۲.۶۱ در دوره ی آینده ی نزدیک و ۱.۳ تا ۴.۳ در دوره ی آینده ی دور برای ایستگاه تکاب، ۱.۲ تا ۱.۸ در دوره ی آینده ی نزدیک و ۱.۳ تا ۴.۵ در دوره ی آینده ی دور برای ایستگاه سقز است. همان گونه که مشاهده می شود، در ایستگاه سقز روند تغییرات دما شدید تر بوده و میزان دمای حداقل، افزایش بیشتری را داشته است. همچنین، با توجه به میزان اختلافات در جدول ۶- شبیه CANESM2 دمای حداقل را به میزان بیشتری نسبت به



جدول ۷- نتایج شبیه سازی فراسنج های اقلیمی دمای حداکثر برای دوره های آتی (میانگین دما در یک دوره ی ۳۰ ساله).

ایستگاه های هواشناسی	Takab	Saghez		
فراسنج های اقلیمی	Tmax	Tmax		
Observation	16.26	18.79	اختلاف مقادیر شبیه سازی شده نسبت به مشاهداتی (°C)	
MPI- RCP 2.6 -2020-2049	17.38	20.00	1.12	1.21
MPI- RCP 4.5 -2020-2049	17.58	20.18	1.32	1.39
MPI- RCP 8.5 -2020-2049	17.88	20.39	1.62	1.6
MPI- RCP 2.6 -2070-2099	16.97	19.73	0.71	0.94
MPI- RCP 4.5 -2070-2099	18.57	21.36	2.29	2.57
MPI- RCP 8.5 -2070-2099	19.97	22.90	3.71	4.11
CCSM4- RCP 2.6 -2020-2049	17.48	20.08	1.22	1.29
CCSM4- RCP 4.5 -2020-2049	17.58	20.24	1.32	1.45
CCSM4- RCP 8.5 -2020-2049	17.88	20.48	1.62	1.69
CCSM4- RCP 2.6 -2070-2099	17.27	20.17	1.01	1.38
CCSM4- RCP 4.5 -2070-2099	18.37	21.18	2.11	2.39
CCSM4- RCP 8.5 -2070-2099	19.97	22.80	3.71	4.01
CANESM- RCP 2.6 -2020-2049	17.58	20.09	1.32	1.3
CANESM- RCP 4.5 -2020-2049	17.38	20.14	1.12	1.35
CANESM- RCP 8.5 -2020-2049	18.88	20.52	2.62	1.73
CANESM- RCP 2.6 -2070-2099	17.57	20.36	1.31	1.57
CANESM- RCP 4.5 -2070-2099	18.67	21.49	2.41	2.7
CANESM- RCP 8.5 -2070-2099	20.47	23.27	4.21	4.48

گونه که قبلاً ذکر شد، دما در ایستگاه سقز نسبت به تکاب افزایش محسوس تری راداشته است این نتیجه در بارش نیز تکرار شده و ایستگاه سقز نسبت به تکاب کاهش بیشتری را در بارش داشته و در شبیه های افزایشی در تکاب ۳۰ میلی متر و در سقز ۴۱ میلی متر افزایش بارش مشاهده شده است، که نتیجه ی تأثیر متعامل دما و بارش نسبت به هم است (جدول ۸-).

(علامت منفی نشان دهنده ی کاهش بارش است)

روند تغییرات بارش در هر دو ایستگاه سقز و تکاب برای دو شبیه CCSM4 و MPI-ESM-MR افزایش سالانه، و در شبیه CANESM2 کاهش بارش سالانه را در پی داشته است، به گونه ای که در هر دو ایستگاه سقز و تکاب در بهترین حالت ممکن به ترتیب با کاهش ۱۰ و ۱۵ میلی متر سالانه، و در بدترین حالت ممکن با کاهش ۱۶۹ و ۲۵۵ میلیمتر بارش روبرو خواهیم بود. در ایستگاه سقز این کاهش محسوس تر بوده و از ۱۰ میلی متر تا ۸۰ میلی متر سالانه بیشتر از ایستگاه تکاب است. همان

جدول ۸- نتایج شبیه سازی پارامترهای اقلیمی بارش برای دوره های آتی (میانگین بارش در یک دوره ۳۰ ساله).

ایستگاه های هواشناسی	TAKAB	SAGHEZ		
پارامترهای اقلیمی	PR	PR		
Observation	338.6	487.2	اختلاف مقادیر شبیه سازی شده نسبت به مشاهداتی (%)	
MPI- RCP 2.6 -2020-2049	366.52	494.99	8.2	1.6
MPI- RCP 4.5 -2020-2049	362.99	483.60	7.2	-0.74
MPI- RCP 8.5 -2020-2049	367.36	497.01	8.5	2.01
MPI- RCP 2.6 -2070-2099	377.23	521.57	11.4	7.05
MPI- RCP 4.5 -2070-2099	357.18	499.06	5.5	2.43
MPI- RCP 8.5 -2070-2099	360.74	483.08	6.5	-0.84
CCSM4- RCP 2.6 -2020-2049	343.19	490.37	1.4	0.65
CCSM4- RCP 4.5 -2020-2049	369.39	516.14	9.1	5.94
CCSM4- RCP 8.5 -2020-2049	346.26	500.46	2.3	2.72
CCSM4- RCP 2.6 -2070-2099	336.79	481.45	-0.53	-1.18
CCSM4- RCP 4.5 -2070-2099	352.71	528.72	4.16	8.52
CCSM4- RCP 8.5 -2070-2099	360.97	496.91	6.60	1.1
CANESM- RCP 2.6 -2020-2049	169.38	231.82	-49	-52.41
CANESM- RCP 4.5 -2020-2049	266.23	355.66	-21.4	-26.1
CANESM- RCP 8.5 -2020-2049	314.97	451.55	-7	-7.3
CANESM- RCP 2.6 -2070-2099	203.43	282.34	-40	-42.04
CANESM- RCP 4.5 -2070-2099	279.24	372.54	-17.5	-23.53
CANESM- RCP 8.5 -2070-2099	327.61	453.09	-3.3	-7.00

### بحث و نتیجه گیری

پیشنهاد می شود که در مطالعات تغییر اقلیم از چندین شبیه استفاده شود تا عدم قطعیت ها به میزان قابل قبولی کاهش یابد. از طرفی، طبق نتایج تحقیقات منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، استفاده تنها از یک شبیه AOGCM برای تجزیه و تحلیل های تغییر اقلیم، نمی تواند تمامی محدوده ی عدم قطعیت های مربوط را پوشش دهد و نتایج غیر کاربردی را به دنبال خواهد داشت. این نتایج با یافته های حسینی خواه و همکاران (۱۳۹۳)، کمال و مساح بوانی، آشفته و مساح بوانی همخوانی دارد.

با توجه به روند مطلوب در نمایشنامه های RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب دما رو به افزایش و بارش رو به کاهش بیشتر دارد. به طور کلی، دما در هر دو ایستگاه روند افزایشی را دارد البته در ایستگاه سقز نسبت به تکاب این افزایش محسوس تر بود. این نتیجه می تواند نشانگر افزایش روند توسعه ی شهری باشد. کاهش بارش نیز برای هر دو ایستگاه محسوس بود، که با نتایج منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، در همین حوضه و تحقیقات دوستی و همکاران (۱۳۹۲) اشرف و

در این تحقیق از شبیه LARS-WG برای ریزمقیاس نمایی خروجی های سه شبیه CANESM2، MPI-ESM-MR و CCSM4، با نمایشنامه های واداشت تابشی (۲.۶-۴.۵-۸.۵) در حوضه ی زربنه رود استفاده شد. دوره های استفاده شده ی در این پژوهش (۲۰۲۰-۲۰۴۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) بود، که تغییرات بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر پیش بینی شده در این دوره ها با دوره ی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) مقایسه شدند. در ایستگاه تکاب هر سه شبیه ذکر شده خطاهای کمتری را نسبت به ایستگاه سقز داشته اند، که این شبیه ها در شبیه سازی دمای حداکثر خطای بیشتری را نسبت به بارش و دمای حداقل داشته اند. در ایستگاه سقز، شبیه های ذکر شده برای شبیه سازی دما مناسب نمی باشند. شبیه MPI در هر دو ایستگاه از توانمندی بیشتری برخوردار بوده است. همچنین، بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، یک شبیه نمی تواند دقیق ترین پیش بینی را برای همه ی فراسنج های اقلیمی ارائه دهد، پس

سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (ASD) خروجی مدل HADCM3. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، صفحه ۱۹.

۷) عباسی ف، ملبوسی ش، بابائیان ا، اثمیری م و برهانی ر، ۱۳۸۹ پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲، شماره ۲۴، صفحه ۲۳۳-۲۱۸.

۸) منصوری ب، احمدزاده ح، مساح بوانی ع، مریدس، دلاورم و لطفی س، ۱۳۹۳ نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره ۶، صفحه ۱۲۰۳-۱۱۹۱.

۹) غریب دوست م، قربانی م و فروزنده شهرکی ا، ۱۳۹۵. برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش-رواناب حوضه آبخیز صوفی چای. مجله مهندسی منابع آب، سال نهم، صفحه ۲۹-۱۷.

۱۰) کمال ع و مساح بوانی ع، ۱۳۸۹. تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، نشریه آب و خاک، ۲۴، ۹۳۱، ۹۲۰.

11) IPCC, 2001, Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., and Dokken, D.J., (Eds.), Special report on the regional impacts of climate change, an Assessment of vulnerability, Cambridge University Press, UK, 68 pp

12) IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Stocker.

13) Babaeian, I., Kwon, W.T. & Im, E.S. (2004). "Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute", Climate Research Lab, pp. 98.

14) Kerrie, Y., Geil, L., Zeng, X. (2013) Assessment of CMIP5 Model Simulations of the North American Monsoon System. North America in

همکاران (۱۳۹۰) کمال و مساح بوانی (۱۳۸۹) در سایر مناطق کشور همخوانی دارد. باید خاطر نشان کرد که با توجه به روند تغییرات شدید فراسنج های اقلیمی در آینده باید مناطق تحت ریسک را شناسایی نمود و برنامه مدیریتی مناسبی را برای مناطق مزبور پیاده سازی کرد. با توجه به نتایج حاصل و تغییراتی که در فراسنج های اقلیمی روی خواهد داد، پیشنهاد می شود که راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آن لحاظ گردد.

## منابع

۱) اسماعیلی ر، نوخندان م و فلاح قاله‌ری غ، ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی مطالعه موردی: خراسان رضوی. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صفحه ۸۹-۶۲.

۲) اشرف ب، موسوی بایگی م، کمالی غ و داوری ک، ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده های مدل (HADCM مطالعه موردی: استان خراسان رضوی) نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه ۹۵۲-۹۴۰.

۳) بابائیان ا و نجفی نیک ز، ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۳). فصلنامه نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳، صفحه ۶۵-۴۹.

۴) بابائیان ا، نجفی نیک ز، زابل عباسی ف، حبیبی نوخندان م، ادب ح و ملبوسی ش، ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده های مدل گردش عمومی ECHO-G. مجله علمی-پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ۱۵۲-۱۳۵.

۵) دوستی م، حبیب نژاد روشن م، شاهدی ک و یعقوب زاده م، ۱۳۹۲. بررسی شاخص های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، صفحه ۱۸۹-۱۷۷.

۶) سیاری ن، علیزاده ا، بنایان اول م، حسامی کرمانی م و فرید حسینی ع، ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه کشف رود استان خراسان طی

CMIP5 Models .8787-8801 November 2013.

15) Semenov, M.A. and Barrow, E. M., 2002, A stochastic weather generator for use in climate impact studies, User's manual, Version 3.0.

16) Semenov, M. A., 2008, Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, 35, 203-212.

17) Dibike, Y.B., and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *J. Hydrol.* 307: 145-163.

18) Ghahreman, N., Babaeian, I., Tabatabaei, M. (2015) Investigation of Uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. *Our Future under Climate Change*. 7-10 July 2015, Paris.

19) Won, J., H. Moradkhani and H. Chang. 2012. Uncertainty assessment of climate change impacts for hydrological distinct river basins. *Journal of Hydrology*, 466(2012): 73-87.

20) Zareian, M., Eslamian, S., Safavi, H., 2014. a modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale ,article in theoretical and applied climatology ,November 2014.