



## ارزیابی مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی مناطق اقلیمی زیر کشت پنبه در ایران

حسین کمری<sup>۱</sup>، ابراهیم زینلی<sup>۲\*</sup>، افشین سلطانی<sup>۳</sup>، فرشید قادری<sup>فر</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup>استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم، مورد توجه اقلیم‌شناسان و محققان قرار گرفته است. بر این اساس، مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو GCM توسعه یافته‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را پیش‌بینی نمایند. LARS-WG مدلی است که خروجی مدل‌های GCM را ریزمقیاس می‌کند. در این پژوهش برای پیش‌بینی مقادیر بارش روزانه، تشعشع خورشیدی و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در مناطق اقلیمی (ایستگاه‌های هواشناسی) تحت کشت پنبه در ایران مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این مطالعه برآورد پارامترهای اقلیمی (بارش، تشعشع خورشیدی و دمای حداقل و حداکثر) طی شرایط آینده در مناطق اقلیمی اصلی تحت کشت پنبه در ایران می‌باشد، که می‌تواند جهت حفاظت و مدیریت بهینه منابع آب در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، در این پژوهش برخلاف مطالعات گذشته که اغلب از گزارش چهارم IPCC استفاده شده است از گزارش پنجم IPCC استفاده گردید.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش مناطق مهم تحت کشت پنبه در ایران مورد بررسی قرار گرفته است، که از ۲۳ ایستگاه هواشناسی در مناطق مهم تولید کننده پنبه در کشور استفاده گردید. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر به دست آمد. در این مطالعه، ابتدا عملکرد ۵ مدل مختلف گردش عمومی جو در شبیه‌سازی داده‌های بارش، تشعشع خورشیدی، دمای کمینه و دمای بیشینه ۹ ایستگاه سینوپتیک (سبزوار، قوچان، قم، هاشم‌آباد، لار، بیله‌سوار، اداره گرگان، حسن‌آباد داراب و مشهد) در دوره (۲۰۱۱-۲۰۱۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت براساس آماره‌های  $F$ -test،  $t$ -test و آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف دو مدل MIROC5 و GFDL-CM3 برای این پژوهش انتخاب گردید. سپس پیش‌بینی پارامترهای مذکور بر پایه مدل‌های GCM منتخب برای دوره ۲۰ ساله (۲۰۶۰-۲۰۴۱) تحت سناریوهای انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) انجام شد.

**یافته‌ها:** با فرض بروز سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، پارامتر تشعشع خورشیدی پیش‌بینی شده در تمام مناطق اقلیمی مورد بررسی توسط هر دو مدل GCM طی دوره آینده نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ تغییر محسوسی نداشته است. به‌طوری که بیش‌ترین تغییرات به میزان (۰/۲۴۹) مگاژول بر متر مربع در روز) در منطقه اقلیمی ۶۱۰۲ (ایستگاه هاشم‌آباد) و با مدل MIROC5 و سناریو RCP8.5 می‌باشد. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد پارامتر دمای حداکثر و حداقل برای دوره آینده در تمامی

\*مسئول مکاتبه: [zeinalistudents@gmail.com](mailto:zeinalistudents@gmail.com)

مناطق اقلیمی به صورت افزایشی خواهد بود به طوری که بیشترین تغییرات میانگین بلندمدت سالانه دماهای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه در منطقه اقلیمی ۶۰۰۲ شامل ایستگاه‌های (حسن آباد داراب، خواف، حاجی آباد و گنبد) به میزان ۲/۶۷ و ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد در دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) تحت سناریوی انتشار ۸/۵ رخ خواهد داد. بیشترین میزان افزایش دما در ناحیه اقلیمی منتهی به مناطق جنوبی کوهستان البرز و مناطق شرقی زاگرس و همچنین، فلات خشک مرکزی ایران و کم‌ترین میزان افزایش نیز در مناطق اقلیمی منتهی به حاشیه دریای خزر، خلیج فارس و نواحی جنوبی کشور در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 خواهد بود. در مورد مجموع بارش سالانه در دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۴۱) بیشترین میزان افزایش بارش به مقدار ۹۸/۵ میلی‌متر توسط مدل MIROC5 و سناریو RCP4.5 در اقلیم ۶۲۰۲ (ایستگاه اداره گرگان) پیش‌بینی شد. همچنین، بیشترین میزان کاهش بارش به مقدار ۲۹/۸- میلی‌متر توسط مدل MIROC5 و سناریو RCP8.5 در منطقه اقلیمی ۶۱۰۲ پیش‌بینی گردید.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج پیش‌بینی با افزایش میانگین سالانه دمای حداقل و حداکثر طی دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و همچنین، کاهش بارش برای مناطق اقلیمی منتهی به فلات خشک مرکزی و جنوب ایران می‌توان گفت تغییرات پارامترهای هواشناسی برای مناطق اقلیمی تحت کشت پنبه در ایران تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آتی محسوس خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، شبیه‌سازی، مدل‌های GCM.

## مقدمه

طبق آخرین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش قابل توجه دمای کره زمین از اواسط قرن بیستم شده است (۸). ریدسما و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که متوسط دمای جهانی در پایان قرن حاضر ۱/۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد (۱۷). فرآیندهای تغییر اقلیم شامل افزایش غلظت CO<sub>2</sub> اتمسفر، دما و نیز نوسان بارندگی می‌باشد که باعث تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین می‌شود. بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییر در آستانه‌های دمایی و بارندگی، تغییر الگوی توزیع بارش و تغییر در منابع آب یک منطقه از پیامدهای تغییر اقلیم است (۱۷). پیش‌بینی بلند مدت پارامترهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله متخصصان کشاورزی (آبیاری، زراعت و باغبانی)، اقلیم‌شناسی و حتی متخصصان علوم

اجتماعی و اقتصادی قرار گرفته است (۳). چنانچه غلظت گازهای گلخانه‌ای اتمسفر با سرعت فعلی افزایش پیدا کند، پیش‌بینی بیشتر مدل‌های اقلیمی موجود بیان‌گر آن است که میانگین دمای جهان در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی حداقل دو درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد. با وجود این که دامنه‌ی عدم قطعیت پیش‌بینی دما برای سال ۲۱۰۰ بین ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است ولی باید توجه داشت که حتی یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما در طی ۱۰ سال گذشته نیز اثرات زیادی را در پی داشته است (۲۰).

یکی از معتبرترین روش‌ها برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم، استفاده از پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مختلف گردش عمومی جو (GCM<sup>۲</sup>) می‌باشد. این مدل‌ها تغییرات حاصل از اثر گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی را پیش‌بینی می‌نمایند. از آنجایی که این مدل‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی پایینی می‌باشند، لازم است که

2. General circulation model

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۰۷) تغییرات زیادی را در اقلیم سراسر شرق خاورمیانه پیش‌بینی کرده است (۷). افزایش دما و به دنبال آن تبخیر و تعرق بالا همراه با کاهش قابل توجه بارش به شدت بر روی منابع آب در این مناطق تأثیرگذار خواهد بود (۲۲). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۱۴) عنوان کرده که منابع آب قابل دسترس در منطقه خاورمیانه تحت اثر تغییرات اقلیمی، در وضعیت هشدار دهنده‌ای قرار دارد (۸). ایران در منطقه اقلیمی خشک و نیمه خشک واقع شده و عمدتاً توسط بارندگی کم و درجه حرارت بالا شناخته شده است. ناهنجاری در درجه حرارت و بارش در ایران نقش مهمی در صنعت کشاورزی و توسعه سریع کشور ایفاء خواهد کرد. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه سریع اقتصادی نشان‌دهنده این است که ایران با چالش‌های گسترده‌ای در منابع آب قابل دسترس در حال حاضر و به ویژه در آینده مواجه خواهد بود (۶).

هدف این پژوهش مقایسه بین مدل‌های گردش عمومی براساس سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ می‌باشد که در قالب گزارش پنجم IPCC ارائه شده است و همچنین، تعیین تغییرات در میزان بارش و درجه حرارت در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در مقیاس سالانه در بیست و سه ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف تحت کشت پنبه ایران می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش، اطلاعات بسیار مهم و کاربردی را در اختیار کشاورزان و مدیران منابع آب در این مناطق جهت برنامه‌ریزی‌های آتی قرار می‌دهد که از این حیث دارای اهمیت ویژه می‌باشد و برای اولین بار در کشور در این مناطق صورت پذیرفته است.

### مواد و روش‌ها

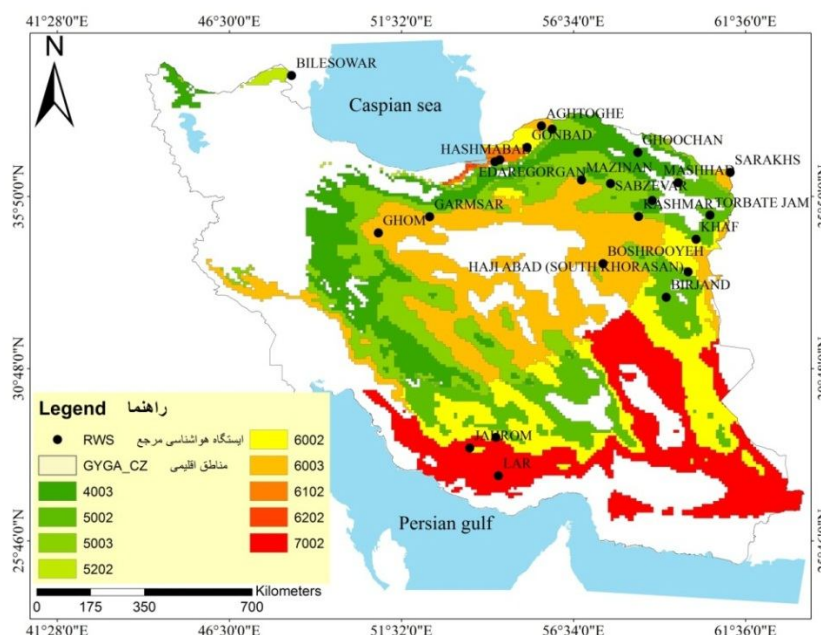
منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مناطق مهم تولید کننده

خروجی این مدل‌ها ریزمقیاس شود. برای این کار از یکی از دو روش دینامیکی یا آماری استفاده می‌گردد (۲). یکی از ابزارهای ریزمقیاس کردن خروجی مدل‌های (GCM) به روش آماری، مدل LARS-WG است. مدل ذکر شده با استفاده از یک سری داده هواشناسی و ریزمقیاس کردن خروجی یکی از مدل‌های GCM متغیرهای هواشناسی را برای یک دوره زمانی در آینده، پیش‌بینی می‌نماید. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های هواشناسی (دما و بارش) ۱۸ ایستگاه هواشناسی در کانادا (۲۴) و ۲۰ ایستگاه هواشناسی واقع در اقلیم‌های مختلف انگلیس (۲۱) گزارش شده است. نتایج دیهیم‌فرد و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین، استفاده از آن برای بررسی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی می‌باشد (۶).

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده گردید، تحت عنوان پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده (CMIP5)<sup>۱</sup> شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها شامل شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP)<sup>۲</sup> مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (۱۵). اکثر تحقیقات گذشته در رابطه با بررسی پدیده تغییر اقلیم، براساس مدل‌های گزارش چهارم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم انجام گرفته است (۹، ۱۱، ۲۶). در حالی‌که به تازگی بیشتر محققان با استفاده از گزارش ارزیابی پنجم به بررسی تغییرات اقلیم تحت سناریوهای جدید انتشار در مناطق مختلف در سرتاسر جهان پرداخته‌اند (۴، ۱۰، ۱۳). هیأت

1. Coupled Model Intercomparison Phase 5
2. Representative Concentration Pathway

پنبه در ایران (براساس آمار سطح زیر کشت پنبه طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ وزارت جهاد کشاورزی) می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS).

Figure 1- Location of study area and reference weather stations.

تولید داده‌های اقلیمی توسط مدل LARS-WG: ۶۱  
مدل اقلیمی به منظور تولید (Generate) داده در دوره‌های زمانی پایه و آینده در گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم به کار رفته است که از بین این مدل‌ها، ۵ مدل برای پژوهش حاضر انتخاب گردید. اطلاعات کلی هر یک از پنج مدل به همراه مؤسسات پژوهشی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. بر خلاف گزارش ویژه سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم (SRES)، گزارش ارزیابی پنجم از نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند که در جدول ۳ اطلاعات آن‌ها ارائه شده است. سناریوهای جدید انتشار براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ بنا نهاده شده‌اند. این سناریوها شامل چهار سناریو با نام‌های

برای این پژوهش از ۲۳ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در مناطق مهم تولید کننده پنبه در کشور استفاده شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز که شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی بود از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر به دست آمد. همچنین، برای این پژوهش از تقسیم‌بندی اقلیمی (GYGA) استفاده گردید که براساس آن ۲۳ ایستگاه انتخابی در ۹ منطقه اقلیمی واقع شده‌اند. براساس دستورالعمل GYGA، مناطق اقلیمی که بیش از ۵ درصد سطح زیرکشت کل گیاه زراعی را به خود اختصاص داده باشند به‌عنوان مناطق اقلیمی اصلی شناخته می‌شوند (۲۳). موقعیت مناطق مورد مطالعه در شکل ۱ و مشخصات ایستگاه‌های انتخابی در جدول ۱ نشان داده شده است.

خوش‌بینانه و RCP8.5 به‌عنوان بدبینانه‌ترین حالت در RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6 می‌باشند. این مطالعه از دو سناریو RCP4.5 به‌عنوان یک سناریو ممکن استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مرجع.

Table 1- Reference weather station specifications.

مناطق اقلیمی Climatic zones (GYGA_CZ)	ایستگاه هواشناسی Weather station (RWS)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی latitude	ارتفاع (متر) Altitude (meter)	بارش سالانه Annual precipitati on (mm)	میانگین دمای سالانه Average annual temperature (°c)	سطح زیر کشت در ایستگاه Crop area in (ha) station
4003	قوچان* GHOCHAN*	58.4	37.1	1287	307	12.7	1061
	تلخ بخش TALKHBAKHS	58.8	35.7	1310	232	14.4	1054
5002	بیرجند BIRJAND	59.2	32.8	1491	161	16.5	797
	مشهد* MASHHAD*	59.6	36.2	999	248	14.7	3437
	تربت جام TORBATE JAM	60.5	35.2	950	163	15.9	1628
5003	مراوه تپه MARAVETAPEH	55.9	37.8	460	368	18.0	4466
	سبزوار* SABZEVAR*	57.6	36.2	962	185	17.7	8638
5202	بيله سوار* BILESOWAR*	48.3	39.3	101	383	15.7	2682
6002	حسن آباد داراب* HASANABADED ARAB*	54.3	28.7	1098	245	22.1	1724
	خواف KHAF	60.1	34.5	998	128	17.5	971
	حاجی آباد HAJI ABAD (SOUTH KHORASAN)	59.9	33.6	1447	158	14.7	1854
	گنبد GONBAD	55.2	37.2	37	481	18.1	1505
6003	بشرویه BOSHROOYEH	57.4	33.8	879	87	19.3	4891
	گرمسار GARMSAR	52.3	35.2	900	114	19.0	2314
	قم* GHOM*	50.8	34.7	879	139	18.4	1446
	کاشمر KASHMAR	58.4	35.2	1109	183	18.0	2468
	سرخس SARAKHS	61.1	36.5	278	183	18.2	2301
	آق تقه AGHTOGHE	55.6	37.9	250	253	17.1	928
	مزینان MAZINAN	56.8	36.3	820	122	16.3	2349
6102	هاشم آباد* HASHMABAD*	54.2	36.8	13	535	18.0	6249
6202	اداره گرگان* EDAREGORGAN *	54.4	36.9	0	573	17.9	1328
7002	چهرم JAHROM	53.5	28.4	1082	198	22.2	8328
	لار* LAR*	54.3	27.6	792	196	23.8	2836

\* ایستگاه‌های انتخابی جهت آزمون مدل LARS-WG

\*Selected stations for testing the LARS-WG model

جدول ۲- مدل‌ها و مؤسسات مسئول آماده‌سازی پروژه گزارش پنجم ارزیابی.

Table 2- Models and institutions responsible preparation of fifth assessment report project.

مدل	مؤسسات پژوهشی تدوین کننده مدل‌ها
Model	Model developing Research institutes
EC-EARTH	The EC-Earth ESM, V3
GFDL-CM3	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center, UK
MIROC5	MIROC, Center for Climate System Research, Japan
MPI-ESM-MR	The Max Planck Institute for Meteorology

جدول ۳- ویژگی‌های سناریوهای RCP (۸).

Table 3- RCP scenario characteristics (8).

سناریو	توضیح
Scenario	Description
RCP2.6	کاهش واداشت تابشی تا ۳ وات بر متر مربع قبل از سال ۲۱۰۰ و روند کاهشی تابش بعد از آن Peak in radiative forcing up to ~ 3 W.m <sup>-2</sup> before 2100 and its decline thereafter
RCP4.5	حالت ثبات بدون افزایش گازهای گلخانه‌ای، واداشت تابشی تا ۴/۵ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W.m <sup>-2</sup> at stabilization after 2100
RCP6.0	حالت ثبات بدون افزایش گازهای گلخانه‌ای، واداشت تابشی تا ۶ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Stabilization without overshoot pathway to 6 W.m <sup>-2</sup> at stabilization after 2100
RCP8.5	افزایش اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی تا ۸/۵ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W.m <sup>-2</sup> in 2100

پنج مدل GCM، اقدام به مقایسه میانگین‌های ماهانه داده‌های خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی برای دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۱ شد تا مشخص گردد کدام مدل توانایی بهتری در شبیه‌سازی هر یک از پارامترهای هواشناسی را دارد. بدین منظور از آماره‌های F-test و t-test برای مقایسه میانگین و آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف برای تست نرمال بودن داده‌های خروجی مدل استفاده گردید.

بدین ترتیب مدلی که نتایج آن دارای کم‌ترین اختلاف با داده‌های مشاهداتی و همچنین، داده‌های نرمال نسبت به مدل‌های دیگر GCM بود به‌عنوان بهترین مدل برای منطقه اقلیمی مورد نظر انتخاب گردید. پس از انتخاب بهترین مدل GCM برای هر اقلیم اقدام به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی برای دوره ۲۰ ساله آینده، تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 شد. بدین منظور با انتخاب مدل مورد نظر، پارامترهای هواشناسی برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ برای ۲۳ ایستگاه سینوپتیک پیش‌بینی شد. سپس مقادیر

برای اجرای مدل LARS-WG فایل‌های ورودی شامل مشخصات ایستگاه مورد مطالعه (در این پژوهش جهت آزمون مدل در هر منطقه اقلیمی یک ایستگاه هواشناسی انتخاب گردید (جدول ۱)) و فایل متغیرهای بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تشعشع در دوره دیده‌بانی<sup>۱</sup> (در مدل LARS-WG جهت تولید داده به حداقل ۳۰ سال داده هواشناسی احتیاج است که در اختیار مدل قرار گیرد) آماده شد. در این پژوهش برای مدل LARS-WG6.0 دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ میلادی به‌عنوان دوره دیدبانی در نظر گرفته شده و داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مورد نظر در این دوره به مدل داده شد. سپس مدل برای ریز مقیاس نمایی آماری ۵ مدل گردش عمومی جو ذکر شده اجرا گردید. این مدل‌ها از لحاظ قدرت تفکیک مکانی، موسسه طراح، متغیرهای پیش‌بینی جوی و متغیرهای پیش‌بینی اقیانوسی با یکدیگر تفاوت دارند (۸). پس از اجرای نرم افزار برای تمامی

#### 1. Monitoring period

اسمیرنف نیز نشان‌دهنده این است که دامنه داده‌های شبیه‌سازی شده برای ۳ پارامتر دمایی حداقل، دمایی حداکثر و تشعشع خورشیدی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده است که نشان از نرمال بودن داده‌های شبیه‌سازی شده برای ۳ پارامتر مذکور می‌باشد. در حالی که آماره کولموگروف-اسمیرنف برای پارامتر بارش برای ۳ ایستگاه (سبزوار، لار و حسن‌آباد داراب) در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است که دلیل آن می‌تواند کوتاه بودن دوره مقایسه با توجه به تغییر پذیری بالایی پارامتر بارش نسبت به سایر پارامترها باشد (۱۶).

**پیش‌بینی تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5:** تفاوت مقادیر سالانه هر یک از پارامترهای مورد مطالعه طی دوره ۲۰ ساله آینده نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است. هر یک از شکل‌ها بیانگر تفاضل مقادیر سالانه پیش‌بینی شده برای آینده از مقادیر دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰) است. مقادیر پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ حاصل ریز مقیاس نمایی دو مدل گردش عمومی انتخابی با استفاده از مدل LARS-WG می‌باشند.

با فرض حاکم بودن سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، پارامتر تشعشع خورشیدی پیش‌بینی شده در تمام مناطق اقلیمی مورد بررسی توسط هر دو مدل GCM طی دوره آینده نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ تغییر محسوسی نداشته است. به‌طوری‌که بیش‌ترین تغییرات به میزان ۰/۲۴۹ مگاژول بر متر مربع در روز در منطقه اقلیمی با کد ۶۱۰۲ و با مدل MIROC5 و سناریو RCP8.5 می‌باشد.

میانگین بلند مدت سالانه مربوط به دوره ۲۰ ساله آینده با مقادیر میانگین سالانه دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ مقایسه شد. بدین ترتیب مشخص گردید که مقادیر مربوط به هر یک از پارامترها چه میزان تغییر را طی دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه از خود نشان خواهد داد.

### نتایج و بحث

**ارزیابی مدل LARS-WG:** نتایج آماره‌های F-test، t-test و آماره کولموگروف-اسمیرنف نشان داد که از بین ۵ مدل (GCM) (EC-EARTH، GFDL-CM3، HadGEM2-ES، MIROC5 و MPI-ESM-MR) دو مدل MIROC5 برای ایستگاه‌های قوچان، سبزوار، قم، هاشم‌آباد و لار که به‌ترتیب شامل کد اقلیم‌های ۴۰۰۳، ۵۰۰۳، ۶۰۰۳، ۶۱۰۲ و ۷۰۰۲ و مدل GFDL-CM3 برای ایستگاه‌های مشهد، بیله‌سوار، حسن‌آباد داراب و اداره‌گران که به‌ترتیب شامل کد اقلیم‌های ۵۰۰۲، ۵۲۰۲، ۶۰۰۲ و ۶۲۰۲ می‌باشند، بهترین عملکرد را داشته‌اند. نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط ۲ مدل MIROC5 و GFDL-CM3 با داده‌های واقعی دوره (۲۰۱۶-۲۰۱۱) در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده مقادیر F-test و t-test برای پارامترهای هواشناسی دمایی حداقل، دمایی حداکثر، تشعشع خورشیدی و بارش برای اکثر ایستگاه‌ها حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشده است. یعنی بین داده‌های شبیه‌سازی شده مدل‌های انتخابی با داده‌های واقعی سال‌های (۲۰۱۶-۲۰۱۱) اختلاف معنی‌دار وجود ندارد که نشان از دقت بالایی مدل در برآورد پارامترهای ذکر شده می‌باشد. آماره کولموگروف-

جدول ۴- مقادیر TTEST و FTTEST حاصل از مقایسه میانگین مقادیر ماهانه پیش‌بینی شده پارامترهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG با مقادیر مشاهده شده سال‌های (۲۰۱۱-۲۰۱۶) و آماره کولموگروف-اسمیرنوف برای تست نرمال بودن داده‌های شبیه‌سازی.

Table 4- The TTEST and FTTEST values obtained from the comparison of the mean monthly predicted meteorological parameters by the LARS-WG model with the observed values for years (2011-2016) and Kolmogorov-Smirnov statistics for testing the simulation data normality.

ایستگاه هواشناسی مرجع RWS	پارامتر پیش‌بینی شده Predicted parameter													
	دمای حداقل Minimum temperature				دمای حداکثر Maximum temperature				تشمع Radiation				بارش Precipitation	
	TTEST	FTEST	K-S TEST	TTEST	FTEST	K-S TEST	TTEST	FTEST	K-S TEST	TTEST	FTEST	K-S TEST	FTEST	K-S TEST
سبزوار <sup>۱</sup> SABZEVAR <sup>1</sup>	0.75 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.50 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>*</sup>	
قوچان <sup>۱</sup> GHOCHAN <sup>1</sup>	5.77 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	
قم <sup>۱</sup> GHOM <sup>1</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.98 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.98 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	
هانشم آباد <sup>۱</sup> HASHMABAD <sup>1</sup>	0.82 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	
لار <sup>۱</sup> LAR <sup>1</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	0.98 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>	0.92 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>*</sup>	
بيله سوار <sup>۲</sup> BILESOWAR <sup>2</sup>	1.28 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	2.53 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>*</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	
اداره گرگان <sup>۲</sup> EDAREGORGAN <sup>2</sup>	2.45 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.76 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	
حسن آباد داراب <sup>۲</sup> HASANABADEARAB <sup>2</sup>	3.31 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	8.51 <sup>ns</sup>	0.92 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.39 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>*</sup>	
مشهد <sup>۲</sup> MASHHAD <sup>2</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	0.95 <sup>ns</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	0.2 <sup>ns</sup>	

۱ و ۲ به ترتیب عبارتند از شبیه‌سازی با مدل MIROC5 و GFDL-CM3 و ns \* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال حداقل پنج درصد.  
1 and 2, respectively, include simulations with the MIROC5 and GFDL-CM3 models, ns and \* are no-significant and significant at 5% probability levels, respectively.



و GFDL-CM3 و سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در مناطق اقلیمی ۶۱۰۲ و ۶۰۰۲ پیش‌بینی گردید. نتایج گویای این است که در آینده برای دوره (۲۰۶۰-۲۰۴۱) با استفاده از دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در اقلیم‌های منتهی به مناطق گرم و خشک مرکز و مناطق جنوبی کشور از میزان بارش‌ها کاسته شده در عوض در مناطق مرطوب و خیلی مرطوب نظیر مناطق اقلیمی منتهی به رشته کوه‌های البرز و زاگرس و مناطق شمالی کشور میزان بارش‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۴). با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد در آینده به دلیل اقلیم خشک نواحی مرکزی ایران کاهش بارش سبب تشدید خشکی در نواحی مرکزی فلات ایران گردیده که احتمال دارد شرایط به گونه ای پیش رود که در این مناطق سطح زیر کشت محصولات کشاورزی غالب منطقه (اعم از پنبه) به دلیل خشک‌سالی به شدت کاهش یابد.

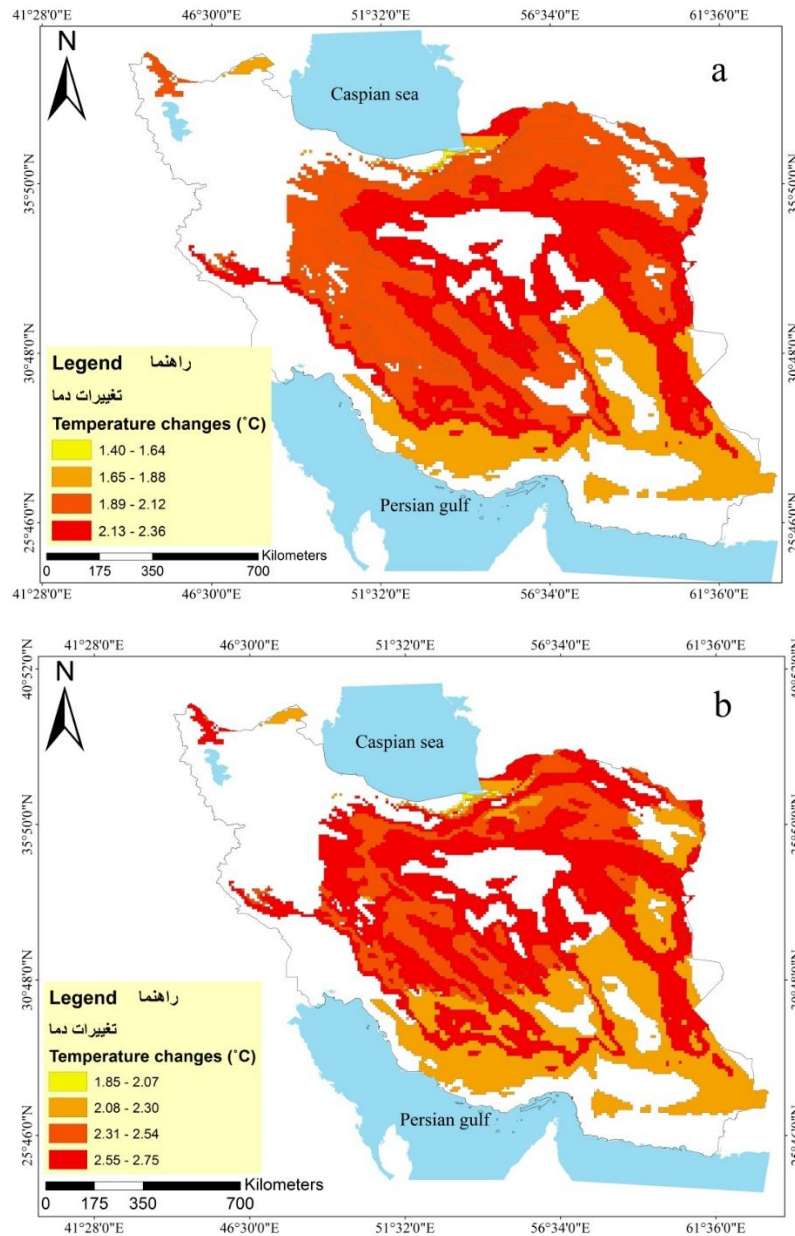
بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) نیز کاهش ۹ درصدی بارش، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ برای کل کشور گزارش کردند (۲). همچنین، آن‌ها عنوان کردند که استان‌های خراسان‌شمالی، آذربایجان‌غربی و شرقی با بیش‌ترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود (۲). ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) با ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG تحت سناریوهای A2، A1B و B1 با استفاده از خروجی مدل HADCM3 افزایش ۲/۳ درجه‌ای دما و کاهش ۳ درصدی بارش در طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۰ را برای استان آذربایجان‌شرقی گزارش کردند (۲۵). عباسی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG تحت سناریوی A1 با استفاده از

پارامتر دمای حداکثر طی دوره آینده برای تمامی مناطق اقلیمی به صورت افزایشی خواهد بود این افزایش از ۱/۴ درجه سانتی‌گراد در منطقه اقلیمی ۶۲۰۲ با پیش‌بینی مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP4.5 تا ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد در منطقه اقلیمی ۶۰۰۲ با پیش‌بینی مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 متغیر خواهد بود. بیش‌ترین میزان افزایش دما در ناحیه اقلیمی منتهی به مناطق جنوبی کوهستان البرز و مناطق شرقی زاگرس و همچنین، فلات خشک مرکزی ایران و کم‌ترین میزان افزایش نیز در مناطق اقلیمی منتهی به حاشیه دریای خزر، خلیج فارس و نواحی جنوبی کشور در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 خواهد بود (شکل ۲). پارامتر دمای حداقل نیز همانند دمای حداکثر طی دوره آینده برای تمامی مناطق اقلیمی به صورت افزایشی خواهد بود این افزایش از ۱/۵۴ درجه سانتی‌گراد در منطقه اقلیمی ۶۲۰۲ با پیش‌بینی مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP4.5 تا ۲/۶۷ درجه سانتی‌گراد در منطقه اقلیمی ۶۰۰۲ با پیش‌بینی مدل GFDL-CM3 تحت سناریو RCP8.5 متغیر خواهد بود. بیش‌ترین میزان افزایش دما نیز به مانند دمای حداکثر در ناحیه اقلیمی منتهی به مناطق جنوبی کوهستان البرز و مناطق شرقی زاگرس و همچنین، فلات خشک مرکزی ایران و کم‌ترین میزان افزایش نیز در مناطق اقلیمی منتهی به حاشیه دریای خزر، خلیج فارس و نواحی جنوبی کشور در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 خواهد بود (شکل ۳).

در مورد مجموع بارش سالانه در دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۴۱) بیش‌ترین میزان افزایش بارش به مقدار ۹۸/۵ میلی‌متر توسط مدل MIROC5 و سناریو RCP4.5 در اقلیم ۶۲۰۲ پیش‌بینی شد. همچنین، بیش‌ترین میزان کاهش بارش به مقدار ۲۹/۸- و ۲۷/۸- میلی‌متر به ترتیب توسط مدل‌های MIROC5

یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه را گزارش نمودند (۱).

خروجی مدل گردش عمومی جو ECHO-G به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشک‌سالی و یخبندان استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای

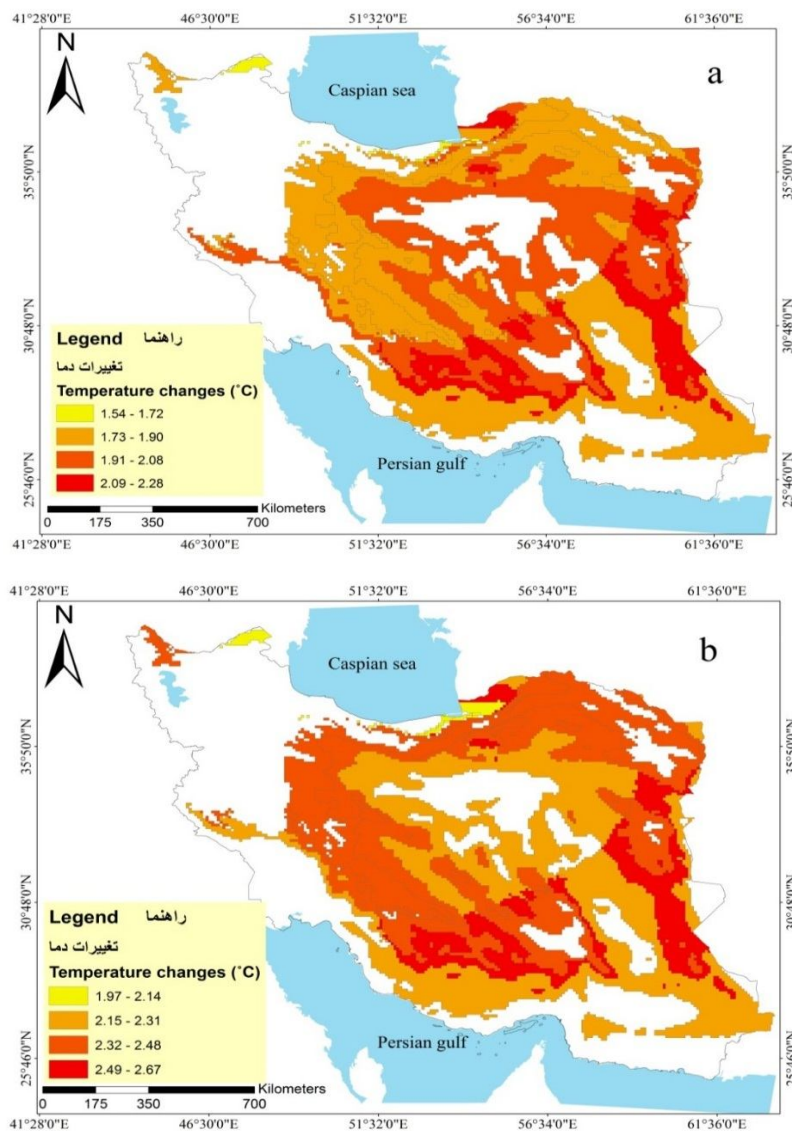


شکل ۲- تفاوت مقادیر دمای حداکثر در دوره زمانی آینده (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰) با استفاده از دو مدل گزارش پنجم و تحت سناریو تغییر اقلیم a: (RCP4.5) و b: (RCP8.5) در مناطق اقلیمی تحت کشت پنبه در ایران.

Figure 2- Difference of maximum temperature values in future period (2041-2060) with the base period (1981-2010), using two models of the fifth report under the climate change scenario: a (RCP4.5) and: b (RCP8.5) in the climate zones under cotton cultivation in Iran.

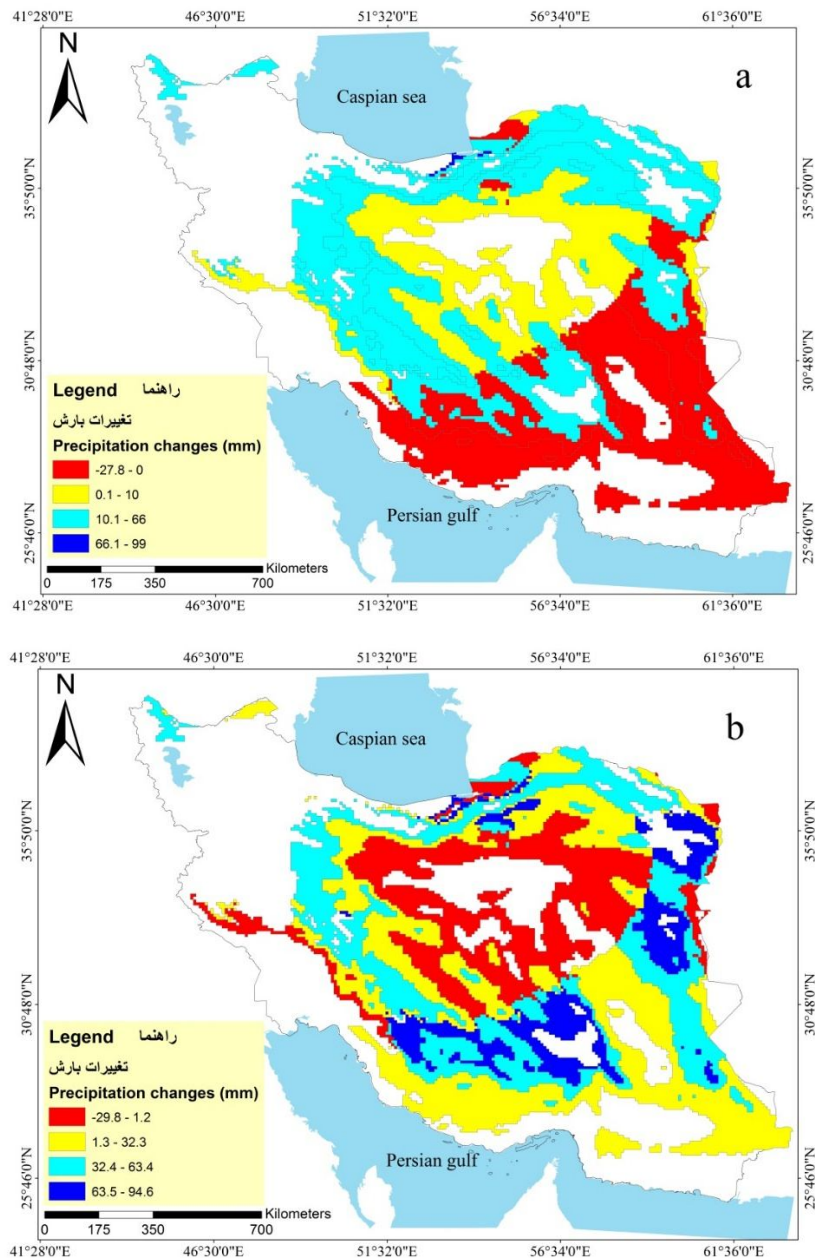
دیگری از ریزمقیاس نمایی متغیرهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG برای اطلاع از نحوه تغییرات اقلیمی در دهه‌های آتی و تأثیرات آن بر منابع مختلف محیطی توسط لیوکانون و همکاران (۲۰۰۳)، ریچتر و سمونف (۲۰۰۴)، سجادخان و همکاران (۲۰۰۶) و کاودن و همکاران (۲۰۰۸) وجود دارد که به نتایج متفاوتی از نظر نحوه تغییرات مقادیر بارندگی و دما در مناطق مختلف رسیده‌اند (۱۲، ۱۸، ۱۹، ۵).

در پژوهشی با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زاینده‌رود با استفاده از ریزمقیاس نمایی متغیرهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 و خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 در دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نشان داده شد که در هر دو دوره میانگین سالانه بارش در این منطقه کاهش و میانگین سالانه دما افزایش پیدا می‌کند (۱۴). گزارش‌های



شکل ۳- تفاوت مقادیر دمای حداقل در دوره زمانی آینده (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰) با استفاده از دو مدل گزارش پنجم و تحت سناریو تغییر اقلیم a: (RCP4.5) و b: (RCP8.5) در مناطق اقلیمی تحت کشت پنبه در ایران.

Figure 3- Difference of minimum temperature values in future period (2041-2060) with the base period (1981-2010), using two models of the fifth report under the climate change scenario: a (RCP4.5) and b (RCP8.5) in the climate zones under cotton cultivation in Iran.



شکل ۴- تفاوت مقادیر بارش در دوره زمانی آینده (۲۰۴۱-۲۰۶۰) با دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰) با استفاده از دو مدل گزارش پنجم و تحت سناریو تغییر اقلیم a: (RCP4.5) و b: (RCP8.5) در مناطق اقلیمی تحت کشت پنبه در ایران.

Figure 4- Difference of precipitation values in future period (2041-2060) with the base period (1981-2010), using two models of the fifth report under the climate change scenario: a (RCP4.5) and: b (RCP8.5) in the climate zones under cotton cultivation in Iran.

مقادیر F-test, t-test و کولموگروف-اسمیرنوف  
 حداقل در سطح احتمال ۵ درصد، توانایی خوب این  
 مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی مشخص  
 گردید. به طوری که پارامترهای درجه حرارت حداکثر  
 و حداقل روزانه و تشعشع خورشیدی تحت شرایط

### نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج به دست آمده از به کارگیری  
 مدل‌های (GCM) و ریزمقیاس نمایی توسط مدل  
 LARS-WG6.0 و با توجه به دقت خوب مدل‌ها در  
 شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده (عدم معنی‌داری

MIROC5 مدل گردش عمومی (۷۰۰۲، ۶۱۰۲، ۶۰۰۳) و مناطق اقلیمی (۵۰۰۲، ۵۲۰۲، ۶۰۰۲، ۶۲۰۲) مدل GFDL-CM3 انتخاب شده و توصیه می‌شود برای مطالعات بعدی در مقوله پیش‌بینی این پارامترها از مدل‌های مذکور استفاده شود. با توجه به نتایج پیش‌بینی با افزایش میانگین سالانه دما طی دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و همچنین، کاهش بارش برای مناطق اقلیمی منتهی به فلات خشک مرکزی و جنوب ایران می‌توان گفت تغییرات پارامترهای هواشناسی برای مناطق اقلیمی تحت کشت پنبه در ایران تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آتی محسوس خواهد بود. همچنین، از نتایج این مطالعه می‌توان در برنامه‌ریزی بلندمدت در زمینه مدیریت و مقابله با اثرات پدیده تغییر اقلیم استفاده نمود.

اقلیمی حاضر به خوبی شبیه‌سازی و برای آینده به خوبی پیش‌بینی شدند. البته در خصوص پارامتر بارش، دلیل معنادار شدن مقادیر کولموگروف-اسمیرنوف در برخی از مناطق اقلیمی می‌تواند تغییرپذیری و پراکندگی زیاد این پارامتر و تفاوت مقادیر روزانه در سال‌های مختلف باشد که با توجه به دوره کوتاه ارزیابی (۲۰۱۶-۲۰۱۱)، مقادیر شبیه‌سازی شده مربوط به این پارامتر تفاوت نسبتاً زیادی با مقادیر واقعی داشته است. با توجه به توانایی این مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای آب و هوایی با همبستگی بالای ۰/۹۴ بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، از این مدل‌ها می‌توان برای ارزیابی تغییر اقلیم در این ناحیه و نواحی با اقلیم مشابه استفاده کرد. با توجه به نتایج در منطقه تحت کشت پنبه در ایران برای مناطق اقلیمی (۴۰۰۳، ۵۰۰۳،

## References

1. Abasi, F., Malbosi, Sh., Babaian, E., Asmari, M., and Borhani, R. 2010. Climate change prediction of south Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G Data. *J. Water Soil.* 24: 2. 218-233. (In Persian)
2. Babaian, A., Najafi Nik, Z., Zabol Abbasi, F., Nowkhandan, M., and Malbosi, Sh. 2009. Assessment of climate changing in 2010-2039 using downscaling data GCM (ECHO-G). *Geograph. and Dev. J.* 16: 34-41. (In Persian)
3. Bannayan, M., Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohammadian, A., and Agaalkhani, M. 2011. Effects of precipitation and temperature on cereal yield variability in northeast of Iran. *Int. J. Biometeorol.* 55: 387-401.
4. Chadwick, R., Boutle, I., and Martin, G. 2013. Spatial patterns of precipitation change in CMIP5: Why the rich do not get richer in the tropics. *J. Clim.* 26: 11. 3803-3822.
5. Cowden, J.R., Watkins, Jr.D.W., and Mihelcic, J.R. 2008. Stochastic rainfall modeling in west africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *J. Hydrol.* 361: 1-2. 64-77.
6. Deihimfard, R., Eyni Nargeseh, H., and Farshadi, Sh. 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency of wheat fields of Khuzestan province. *J. Water Soil.* 31: 4. 1015-1030. (In Persian)
7. IPCC, 2007. International panel on climate change (IPCC). Exit EPA disclaimer contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. AR4.
8. IPCC, 2014. International panel on climate change (IPCC). Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. AR5.
9. Jiang, Z.H., Chen, W.L., Song, J., and Wang, J. 2009. Projection and evaluation of the precipitation extremes indices over China based on seven IPCC

- AR4 coupled climate models. *Chine. J. Atm. Sci.* 33: 1. 109-120.
10. Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X., and Wehner, M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *J. Clim. Change.* 119: 345-357.
  11. Kumar bal, P., Ramachandran, A., Geetha, R., Bhaskaran, B., Thirumurugan, P., Indumathi, J., and Jayanthi, N. 2015. Climate change projections for Tamil Nadu, India: deriving high-resolution climate data by a downscaling approach using PRECIS. *J. Theor Appl. Climatol.* 123: 3-4. 523-535.
  12. Luo Qanyan, M.A., Williams, J., Belloti, W., and Bryan, B. 2003. Quantative and visual assessments of climate change impacts on south Australian wheat production. *Agric. Syst.* 77: 3. 173-186.
  13. Ma, C., Pan, S., Wang, G., Liao, Y., and Xu, Y.P. 2016. Changes in precipitation and temperature in Xiangjiang River Basin. *China. J. Theor. Appl. Climatol.* 123: 3-4. 859-871.
  14. Massah Bavani, A.R., and Morid, S. 2006. Impact of climate change on the water resources of zayandeh rud basin. *J. Sci. and Technol. Agric. and Natur. Resour.* 9: 4. 28-34. (In Persian)
  15. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F., Nalichenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., and Wilbanks, T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* 463: 7282. 747-756.
  16. Pirmoradian, N., Hadinia, H., and Ashrafzadeh, A. 2016. Prediction of minimum and maximum temperature, radiation and precipitation in Rasht synoptic station under different climate change scenarios. *J. Geogr. Plann.* 20: 55. 29-44. (In Persian)
  17. Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, AO., and Leemans, R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *Eur. J. Agron.* 32: 91-102.
  18. Richter, G.M., and Semenov, M.A. 2004. Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and wales: assessing drought risks. *Agric. Syst.* 84: 1. 77-97.
  19. Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of stochastically downscaling methods. *J. Hydrol.* 319: 1-4. 357-382.
  20. Saunders, M.A. 1999. Earth's future climate. *Philos. T. Roy. Soc.* 357: 3459-3480.
  21. Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Clim. Res.* 35: 203-212.
  22. Terink, W., Immerzeel, W.W., and Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *Int. J. Climatol.* 33: 14. 3055-3072.
  23. van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and van Ittersum, M.K. 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Res.* 177: 98-108.
  24. Williams, A.G. 1991. Modeling future climates: From GCMs to statistical downscaling approaches, University of Toronto at Scarborough, 56p.
  25. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *J. Global Planet Change.* 78: 3-4. 137-146.
  26. Zhao, Z.C., Luo, Y., Jiang, Y., and Xu, Y. 2008. Projections of surface air temperature change in China for the next two decades. *J. Meteorol. Environ.* 24: 5. 1-5.