

پیش‌یابی رژیم بارش و دمای خوزستان با مدل‌های گردش عمومی جو

وحیده بندری خلف آبادی

کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه آزاد واحد اهواز

علیرضا شکیبا*

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی تهران

فریده عظیمی

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۸/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۵/۳

چکیده

مدل‌های گردش عمومی جو، به دلیل بزرگ مقیاس بودن شبکه‌های محاسباتی آنها قادر به پیش‌بینی پارامترهای آب و هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای نیستند، لذا دانشمندان ابزار واسطی به نام مدل Weather Generator را ابداع کردند که می‌توان بر اساس آن و با استفاده از خروجی مدل‌های عددی، تغییر اقلیم را در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد. در این مقاله هدف تعیین میزان تغییرات در عناصر دما و بارش در منطقه خوزستان بر اساس خروجی‌های مدل GCM می‌باشد. به این منظور ابتدا داده‌های حاصل از مدل‌های GCM از طریق مدل Lars-wg در سطح ناحیه‌ای ریز مقیاس شده و سپس با داده‌های مدل ECHO-G تحت سناریوی A1 میزان تغییرات حاصله در عناصر دما و بارش در هشت ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان شامل آبادان، اهواز، بستان، دزفول، مسجد سلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی آباد بررسی گردید. نتایج حاصل از مقایسه‌ی مقادیر دیده بانی و مدل سازی شده ۲۰۰۵-۱۹۸۶ انطباق معنی داری را نشان داده و حکایت از توانایی بالای مدل در شبیه سازی داده‌های اقلیمی دارد. با بررسی خروجی‌های مدل مشخص گردید که منطقه مطالعاتی از واکنش‌های متفاوتی نسبت به تغییر اقلیم برخوردار می‌باشد. در این راستا نتایج سه پارامتر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ماهانه نشان می‌دهد که بیشترین افزایش دمای حداقل در ایستگاه آبادان ۱۸/۸ درجه سانتی‌گراد، بیشترین کاهش دمای حداکثر در ایستگاه بستان ۱/۸- درجه سانتی‌گراد و بیشترین افزایش بارش در ایستگاه رامهرمز ۱/۰۳ میلی‌متر در دوره آماری ۲۰۲۹-۲۰۱۰ بوده است. نتایج همچنین حکایت از بیشترین تغییر در عنصر بارش در سراسر منطقه مطالعاتی دارد. در مجموع در هشت ایستگاه مورد مطالعه، افزایش دمای حداقل با کاهش بارش سالانه همراه خواهد بود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های GCM، ریز مقیاس نمایی، سناریوی اقلیمی، دما و بارش، منطقه مطالعاتی.

* E-mail: a-shakiba@sbu.ac.ir

مقدمه

تفاوت میان دو تغییر اقلیم به هرعللی که رخ دهد باتوجه به تغییراتی که در روند پدیده‌های طبیعی مانند خشکسالی، سیلاب، توفان، نوسان‌های دما، ذوب یخچال‌ها و رخداد‌های حدی دارد ضرورت شناخت آن را بیش از پیش مطرح می‌سازد. اقلیم و تغییراتش و فرایندهای تأثیر گذار و تأثیر پذیر در این سامانه پیچیده به عنوان موضوعی همگانی و یکی از مباحث مهم علمی و دانشگاهی و حتی سیاسی و اقتصادی مطرح بوده به نحوی که در کشورهای پیشرفته به عنوان یکی از محورهای اساسی توسعه به شمار می‌رود. در این میان جغرافیدانان و سایر کارشناسان مرتبط با موضوع، با بهره‌گیری از فناوری‌های رایانه‌ای و بازسازی رویدادهای گذشته و روابط متقابل پدیده‌ها و توصیف و تشریح وضع موجود جهت نمایش و درک اصولی و سیستماتیک از واقعیت‌ها و فرآیندهای کره زمین و رویدادهای آینده و نیز پیامدهای احتمالی اجتماعی و اقتصادی، این تغییرات را برای مدیریت بهینه کره زمین با تولید انواع مدل‌های اقلیمی شبیه سازی و پیش بینی می‌کنند.

قدرت تفکیک مکانی پایین مدل‌های گردش عمومی جو یا GCMs نسبت به دیگر مدل‌های ناحیه‌ای می‌تواند با استفاده از تکنیک‌ها و نرم افزارهای ریز مقیاس نمایی از قبیل مدل Lars-wg برطرف گردد. این گونه مدل‌ها به دلیل لحاظ کردن فرایندهای فیزیکی و دینامیکی جو در ساخت مدل و نیز سهم‌گیری همه فرایندهای آب و هوایی در همانند سازی‌های اقلیمی، مدل‌های کارایی به شمار می‌روند.

با توجه به نگرانی‌ها و کنجکاوی‌های موجود ناشی از تغییرات اقلیمی در چند دهه گذشته، تلاش‌های زیادی در سطح دنیا در مورد تغییرات اقلیمی و مدل سازی آنها انجام شده است که می‌توان به گزارش‌های جامع گروه کاری IPCC از سال ۱۹۹۰ به بعد اشاره کرد. جدا از مقالات متعدد در زمینه مدل‌های GCM اطلاعات جامع موجود در هندرسون -سلرزو مک گوئی (۲۰۰۲) راهنمای مفیدی در زمینه مدل سازی ارائه می‌دهد. در زمینه ریز مقیاس نمایی نیز که پایه و اساس استفاده از خروجی‌های GCM می‌باشد، تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی برای مناطق مختلف جهان انجام گرفته است که از آن جمله کار ریچاردسون و همکاران (۱۹۸۴) برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN را می‌توان نام برد که می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای بیشینه کمینه، بارندگی و تابش روزانه خورشید و نیز مقادیر پارامترهای هواشناسی به صورت سری زمانی روزانه یا ساعتی به کار رود. همچنین جانسون و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل CLIGEN و USCLIMATE را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. ویلی و همکاران (۲۰۰۱) مدل SDSM را برای ریز مقیاس نمایی بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند. زمنف (۲۰۰۲) داده‌های دما و بارش را با استفاده از مدل Lars-wg در انگلستان شبیه سازی کرد. در (۲۰۰۷) مطالعه دیگر سناریوهای تغییر اقلیم را مورد بررسی قرار داده است. او در این پژوهش از مدل Lars-wg برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده کرده و از طریق آن تأثیر تغییر اقلیم بر رشد دو گونه گندم Avalon و Mercia تا سال (۲۰۸۰) را مورد بررسی قرار داد. شکیبا در سال ۲۰۰۶ نیز به بررسی تأثیرهای متفاوت سناریوهای تغییر اقلیم بر الگوهای بارندگی جهانی و ناحیه‌ای پرداخته است. در ایران پژوهش‌های گسترده‌ای که در آن به موضوع تغییر اقلیم با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های GCM پردازد بسیار معدود می‌باشد. از مهمترین آنها می‌توان به کارهای باباییان (۱۳۸۴)، باباییان و نجفی نیک (۱۳۸۵ الف و ب) و غمدیده (۱۳۸۸) اشاره کرد که هیچ یک به استان خوزستان به طور تفصیلی نپرداخته‌اند. لذا در این مقاله هدف تعیین میزان تاثیر سناریوهای اقلیمی در طی یک دوره آماری ۲۰ ساله بر عناصری چون دما و بارش در استان خوزستان می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی مدل

LARS-WG یکی از متداول ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه در ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه LARS-WG در بودا پست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکف بوده که به کرات از آن برای مدل سازی رخداد بارش استفاده شده است. مدل LARS-WG توزیع نیمه تجربی را برای مدل سازی دوره روزهای تر و خشک، بارش روزانه و سری‌های تابش بکار می‌برد. برای تابش فاصله‌ها به طور مساوی بین حداقل و حداکثر ماهانه تقسیم می‌شوند در حالی که فاصله‌ها برای طول روز تر و خشک و بارش افزایشی هستند. در مورد وقوع بارش، طول سری‌های تر و خشک به طور تصادفی از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و به طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. فرآیند تولید داده‌های مصنوعی توسط LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن مدل، ایجاد داده‌های مصنوعی و ارزیابی مدل.

کالیبره کردن مدل

گام نخست در اجرای مدل (به منظور کالیبره کردن)، ورود داده‌ها به صورت روزانه به LARS-WG است. در این راستا ابتدا داده‌های دیدبانی شده دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و ساعات آفتابی روزانه ایستگاه‌های اهواز، دزفول، آبادان، مسجد سلیمان، امیدیه، رامهرمز، بستان وصفی آباد در دوره پایه آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۶ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند شکل (۲ و ۱).

ایجاد داده‌های مصنوعی

گام دوم در اجراء LARS - WG ایجاد داده‌های مصنوعی است. در این مرحله داده‌های شبیه سازی شده برای گذشته ایجاد می‌شود. فایل متنی با پسوند Base.sce همان سناریوی پایه است که برای تولید داده‌های شبیه سازی شده دوره گذشته لازم است. این سناریو که برای تمامی ایستگاه‌ها ثابت بوده تعریف می‌کند که هیچ‌گونه تغییر اقلیمی رخ نداده است تا مدل بر اساس آن شبیه ترین داده‌ها را از روی رفتار آنها ایجاد کند. چون در مطالعه حاضر هدف ارزیابی قدرت مدل LARS- WG در شبیه سازی داده‌های دوره آماری است، لذا سناریوی حالت پایه، یعنی بدون وجود تغییرات اقلیمی، در نظر گرفته شد (شکل ۳). همچنین در شکل ۴ نمونه‌ای از خروجی مدل LARS - WG دیده می‌شود.

```

[SITE]
ahwaz
[LAT, LONG and ALT]
YY,5  FA,F  Y\,Y
[WEATHER FILES]
C:\Program Files\LARS-WG 3.0\debr\ahwaz.sr
[FORMAT]
YEAR JDAY MIN MAX RAIN RAD
[END]

```

شکل ۱: نمونه‌ای از فایل Station-Name.st برای ایستگاه سینوپتیک آبادان

Year	JDay	MIN	MAX	RAIN	RAD
1986	308	18.2	27.6	23.6	7.5
1986	309	15.4	26.2	0	9.8
1986	310	14	26.6	0	9.8
1986	311	12.4	27.4	0	7.8
1986	312	21.6	31	0	5
1986	313	19	30	0	8
1986	314	16	26	0	9
1986	315	11	22	0	9
1986	316	7	21	0	9.7
1986	317	8.5	19.6	0	3.2
1986	318	9	22.6	0	9.3
1986	319	7.5	23	0	9.2
1986	320	5	22.8	0	8.3
1986	321	11	22.4	7	4
1986	322	12	22.8	0	8.6
1986	323	12.2	22	0	8.6
1986	324	12.8	22.8	0	8.8
1986	325	11	22.4	0.8	2.1
1986	326	10.6	16.6	14	0
1986	327	14	19.4	0.4	8.3
1986	328	9.8	19.4	0	8.7
1986	329	8.8	20	0	8.6
1986	330	6.6	19	0	8.7
1986	331	4.4	20	0	8.8
1986	332	8	26.6	1	6.5
1986	333	15.4	23	28.7	0
1986	334	16.8	23	2	3.9
1986	335	10.4	19	0	5.3
1986	336	11.4	16.8	0	7.2
1986	337	6.4	15.4	0	8.7
1986	338	5.4	12.2	0	1.9
1986	339	5	12	0	8.6
1986	340	2	15.4	0	8.6
1986	341	5	18	0	7.3
1986	342	5	19	0	-99
1986	343	4	20.6	0	-99

شکل ۲: نمونه‌ای از فایل Station-Name.st برای ایستگاه سینوپتیک اهواز

```

bostan.wg - Notepad
File Edit Format View Help
[NAME]
bostan
[LAT, LON and ALT]
31.43 48.00 7.80
[SERIES]
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
36.0 30.0 7.0 2.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 6.0 15.0 28.0 46.0 69.0 97.0 130.0 168.0 211.0
11.0 45.0 28.0 7.0 1.0 0.0 1.0 1.0 0.0 2.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
23.0 22.0 2.0 2.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 2.0 3.0 5.0 8.0 12.0 17.0 23.0 30.0 38.0
7.0 6.0 2.0 9.0 6.0 5.0 7.0 1.0 3.0 2.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
29.0 16.0 4.0 2.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 2.0 3.0 5.0 8.0 12.0 17.0 23.0 30.0 38.0
7.0 3.0 10.0 11.0 7.0 7.0 6.0 2.0 0.0 1.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
27.0 12.0 4.0 2.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 6.0 15.0 28.0 45.0 66.0 91.0 121.0 156.0 196.0
5.0 13.0 16.0 4.0 3.0 0.0 1.0 0.0 0.0 3.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
14.0 3.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 6.0 15.0 28.0 45.0 66.0 91.0 120.0 153.0 190.0
1.0 2.0 3.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 3.0 9.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
1.0 1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 5.0 12.0 22.0 35.0 51.0 70.0 92.0 117.0 145.0
0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
3.0 3.0 2.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 2.0 3.0 5.0 8.0 12.0 17.0 23.0 30.0 38.0
2.0 0.0 2.0 1.0 2.0 0.0 1.0 0.0 0.0 1.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
7.0 4.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 8.0 11.0 15.0 20.0
2.0 1.0 1.0 1.0 0.0 3.0 0.0 0.0 1.0 1.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
3.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 6.0 9.0 13.0 18.0 24.0 31.0

```

شکل ۳: سناریوی پایه نوشته شده برای استفاده در مدل LARS-WG

```

BS - Notepad
File Edit Format View Help
// This is an example of scenario file for the baseline climate
// m. rain - relative change in monthly mean rainfall
// wet/dry - relative change in duration of wet and dry spell
// tem and sd - relative changes in daily temperature and absolute changes in its sd
// rad - absolute changes in radiation, Mj/m2*day"
[NAME]
base
[DATA]
Jan 1 1 1 0 1 0
Feb 1 1 1 0 1 0
Mar 1 1 1 0 1 0
Apr 1 1 1 0 1 0
May 1 1 1 0 1 0
Jun 1 1 1 0 1 0
Jul 1 1 1 0 1 0
Aug 1 1 1 0 1 0
Sep 1 1 1 0 1 0
Oct 1 1 1 0 1 0
Nov 1 1 1 0 1 0
Dec 1 1 1 0 1 0
[END]

```

شکل ۴: نمونه‌ای از خروجی‌های مدل LARS-WG برای طول دوره روزهای تر و خشک در ماه‌های مختلف

ارزیابی مدل

در مرحله سوم مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر باید تعیین کرد که آیا مدل LARS-WG برای تولید داده‌های تصادفی در مکان مورد مطالعه مناسب است یا خیر. به طور کلی توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی، اثرات مستقیمی بر روی ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه دارد. بنابراین در ابتدا توانمندی این مدل با استفاده

از ۲۰ سال داده‌های دیدبانی شده ۸ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. این کار از طریق مقایسه‌ی داده‌های دوره‌ی آماری و داده‌های تولید شده توسط مدل و با استفاده از روش آماری، نقشه و نمودار انجام شد. برای این مدل یک سناریوی حالت پایه برای دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۶ تهیه و مدل LARS - WG برای دوره‌ی پایه‌ی مذکور اجرا گردید. برای ارزیابی خروجی‌های مدل، داده‌های دیدبانی و مدل سازی شده پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و بارش با استفاده از آزمون T با یکدیگر مقایسه شدند.

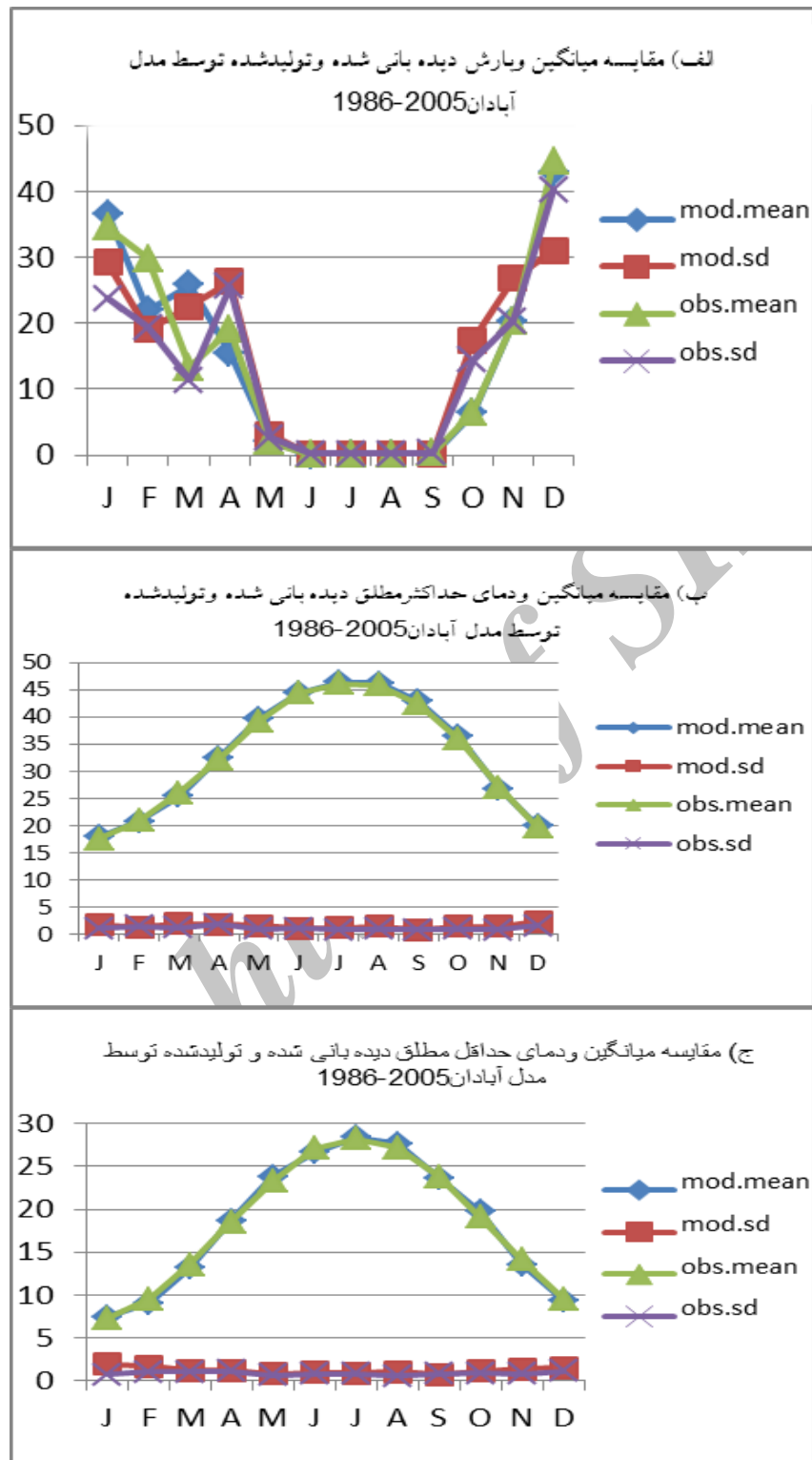
منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

مطالعه حاضر بر روی ۸ ایستگاه سینوپتیک در استان خوزستان که دارای آماری بدون نقص در دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ بودند، انجام شده است. نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور در جدول (۱) آورده شده است. در این مطالعه ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های ناقص قابل توجهی بودند، حذف شدند. با توجه به یکسان نبودن طول دوره‌ی آماری ایستگاه‌های مذکور، دوره‌ی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ به عنوان دوره‌ی پایه در نظر گرفته شد.

جدول ۱: نام و مشخصه‌های جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی

ردیف	ایستگاه	استان	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
۱	آبادان	خوزستان	۲۲٫۳۰	۴۸٫۱۵	۶۶
۲	اهواز	خوزستان	۳۱٫۲۰	۴۸٫۴۰	۲۲٫۵
۳	بستان	خوزستان	۳۱٫۴۳	۴۸٫۰۰	۷٫۸
۴	دزفول	خوزستان	۳۲٫۲۴	۴۸٫۲۳	۱۴۳
۵	مسجدسلیمان	خوزستان	۳۱٫۵۶	۴۹٫۱۷	۳۲۰٫۵
۶	امیدیه	خوزستان	۳۰٫۴۶	۴۹٫۳۹	۳۴٫۹
۷	رامهرمز	خوزستان	۳۱٫۱۶	۴۹٫۳۶	۱۵۰٫۵
۸	صفی آباد	خوزستان	۳۰٫۱۷	۴۹٫۴۴	۸۲٫۹

با تحلیل آماری نتایج مدل سازی‌های ۸ ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه، ملاحظه گردید که بین دماهای بیشینه و کمینه‌ی مدل و دیدبانی تطابق بسیار خوبی وجود دارد. مدل سازی بارش روزانه به طور کلی در تمامی ایستگاه‌ها قابل قبول بودند. به طور کلی نتایج حاکی از توانمندی LARS - WG در مدل سازی اقلیم دوره‌ی پایه ایستگاه‌های تحت مطالعه بر اساس سناریوی حالت پایه می‌باشد. در شکل ۵ به عنوان نمونه مقادیر دمای کمینه، بیشینه و بارش حاصل از مدل LARS - WG با مقادیر دیدبانی شده آورده شده است.



شکل ۵: مقایسه میانگین مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیدبانی شده در ایستگاه سینوپتیک آبادان برای دوره ۱۹۸۶-۲۰۰۵
 الف. بارش، ب. دمای بیشینه، ج. دمای کمینه

در ادامه تمامی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در یک شبکه از داده‌های GCM یعنی ۱۴-۳۳ Grid قرار دارد که از آن جهت استخراج سناریوی اقلیمی استفاده شد. عموماً "سناریو تغییر اقلیم مورد نیاز برای انجام پیش‌بینی‌ها در برگیرنده فایل رفتار اقلیمی دوره پایه تمامی ایستگاه‌ها توسط سناریوی مذکور و مدل LARS - WG محاسبه شدند و داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، بیشینه و تابش تولید شدند.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج بدست آمده افزایش دمای حداقل مطلق برای ایستگاه آبادان در تمام ماه‌ها اتفاق افتاده جدول (۲) که بیشترین افزایش برای ماه سپتامبر می‌باشد که مقدار آن $18/8^{\circ}C$ در طی ۲۰ سال و $0/94^{\circ}C$ میانگین سالانه افزایش را نشان می‌دهد و پس از آن ماه‌های اوت، ژوئن و اکتبر بیشترین افزایش دمای کمینه را دارند. به این ترتیب انتظار می‌رود دمای تابستانی افزایش یافته و به دنبال آن فصل طبیعی گرم افزایش خواهند یافت.

جدول ۲: تفاضل دمای حداقل مطلق (سلسیوس) سالانه دوره پیش‌بینی (۲۰۱۰-۲۰۲۵) از دوره مشاهداتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) در ایستگاه‌های منتخب

ماه	آبادان	اهواز	بستان	دزفول	مسجد سلیمان	امیدیه	رامهرمز	صفی آباد
ژانویه	۰.۵۸	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۳	-۰.۰۱
فوریه	۰.۶۲	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۶
مارس	۰.۶۵	۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۵
آوریل	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۲	-۰.۰۱	۰	۰.۰۰	۰.۰۲
مه	۰.۷۹	-۰.۰۲	۰.۰۲	۰	-۰.۰۱	-۰.۰۳	-۰.۰۳	-۰.۰۲
ژوئن	۰.۸۸	۰.۰۳	-۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۰	۰.۰۱
جولای	۰.۹	-۰.۰۱	-۰.۱۱	-۰.۰۳	-۰.۰۳	-۰.۰۲	-۰.۰۲	-۰.۰۱
اوت	۰.۹۲	-۰.۰۱	-۰.۱	-۰.۰۳	-۰.۰۲	-۰.۰۲	-۰.۰۸	-۰.۱۱
سپتامبر	۰.۹۴	۰.۰۰	-۰.۷۸	۰	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰
اکتبر	۰.۸۱	۰.۰۲	-۰.۰۶	-۰.۰۲	-۰.۰۲	-۰.۰۴	-۰.۰۴	-۰.۰۵
نوامبر	۰.۶۸	۰.۰۲	-۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۳
دسامبر	۰.۵۴	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۰	۰.۰۲	۰	۰.۰۲	-۰.۰۴

ماه‌های می، نوامبر، مارس، فوریه، ژانویه و دسامبر با افزایش دمای کمینه در مرحله بعد قرار دارند که بیانگر به تأخیر افتادن شروع فصل سرما می‌باشند. علیرغم افزایش دمای حداقل مطلق، دمای حداکثر مطلق نه تنها از روند صعودی برخوردار نیست بلکه در ماه‌های مذکور کاهش داشته است به گونه‌ای که بیشترین کاهش دمای حداکثر مربوط به ماه اوت و مقدار آن در ایستگاه بستان $1/8^{\circ}C$ در طی ۲۰ سال و $0/09^{\circ}C$ میانگین سالانه نسبت به دوره دیده بانی شده کاهش را نشان می‌دهد (جدول ۳)، از سوی دیگر بیشترین کاهش دمای حداقل نیز مربوط به ماه سپتامبر است که ایستگاه بستان با $15/6^{\circ}C$ در مدت ۲۰ سال $0/78^{\circ}C$ میانگین سالانه بیشترین کاهش دمای حداقل را دارد و به دنبال آن ماه جولای قرار دارد که پیامد این تغییرات گرم تر شدن هوای تابستان است.

به این ترتیب، دمای حداقل در فصول سرد کاهش و در فصول گرم افزایش خواهد داشت و دمای حداکثر نیز در طول سال عمدتاً با کاهش همراه است که با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود نسبت به این افزایش‌ها و کاهش‌ها برابر نیست و تأخیر در شروع فصل سرد رخ می‌دهد.

جدول ۳: تفاضل دمای حداکثر مطلق (سلسیوس) سالانه دوره پیش بینی (۲۰۱۰-۲۰۲۹) از دوره مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۸۶) در ایستگاه‌های منتخب

ماه	آبادان	اهواز	بستان	دزفول	مسجد سلیمان	امیدیه	رامهرمز	صفی آباد
ژانویه	۰.۱	۰.۰۴	۰.۰۹	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۹
فوریه	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۸
مارس	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۱۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۶
آوریل	۰.۰۳	۰.۰۱	-۰.۰۲	۰.۰۲	-۰.۰۱	۰	۰.۰۳	۰.۰۰
مه	-۰.۰۱	۰	۰.۰۳	۰.۰۱	-۰.۰۱	-۰.۰۲	-۰.۰۴	-۰.۰۳
ژوئن	-۰.۰۱	۰.۰۰	-۰.۰۶	-۰.۰۱	-۰.۰۱	۰.۰۰	-۰.۰۱	۰
جولای	۰	-۰.۰۱	-۰.۰۵	-۰.۰۱	-۰.۰۱	۰.۰۰	-۰.۰۳	۰
اوت	۰.۰۰	-۰.۰۱	-۰.۰۹	-۰.۰۱	-۰.۰۲	-۰.۰۲	-۰.۰۶	-۰.۰۱
سپتامبر	-۰.۰۲	-۰.۰۱	۰.۰۴	-۰.۰۱	۰	۰.۰۰	-۰.۰۴	-۰.۰۳
اکتبر	-۰.۰۲	۰.۰۰	-۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۰	-۰.۰۲	-۰.۰۳	۰.۰۲
نوامبر	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۶
دسامبر	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	-۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۰۲

مطابق با جدول ۴ بیشترین افزایش بارش در ماه مارس بوده که در ایستگاه رامهرمز به $۱/۰۳$ میلی متر می‌رسد و پس از آن ماه‌های مه و سپتامبر قرار دارد. بیشترین کاهش بارندگی به ترتیب در ماه‌های دسامبر و ژانویه است که بیشترین مقدار آن در ایستگاه صفی آباد به میزان $-۴/۰۹$ میلی متر می‌باشد. به این ترتیب بارش‌های زمستانی یک ماه به طرف فصل گرم جابجایی خواهد داشت که این جابجایی در دمای کمینه نیز دیده می‌شود. پس از بارش زمستانی، تغییرات بارش ماه مارس قابل توجه است که به غیر از ایستگاه‌های دزفول، مسجد سلیمان، بستان و رامهرمز که روند صعودی دارند، بیشترین این افزایش مربوط به ایستگاه رامهرمز به میزان $۱/۰۳$ میلی متر است که در فصل بهار این افزایش صورت گرفته است.

جدول ۴: تفاضل بارش (میلی متر) سالانه دوره پیش بینی (۲۰۱۰-۲۰۲۹) از دوره مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۸۶) در ایستگاه‌های منتخب

ماه	آبادان	اهواز	بستان	دزفول	مسجد سلیمان	امیدیه	رامهرمز	صفی آباد
ژانویه	۰.۲۸	-۰.۸۷	-۱.۲۲	-۱.۵۲	-۲.۰۲	-۰.۵۴	-۲.۳۹	-۲.۲۶
فوریه	۰.۰۸	-۰.۲۵	-۲۷.	۰.۱۶	-۰.۱۳	-۰.۴۱	-۰.۰۵	-۰.۵۵
مارس	-۰.۱۲	۰	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۵۶	-۰.۴۵	۱.۰۳	-۰.۷۷
آوریل	-۰.۵۱	-۰.۴۵	-۰.۳۵	-۰.۴۹	-۰.۲۱	-۰.۴۳	-۰.۳۸	-۰.۲
مه	-۰.۰۷	-۰.۰۱	-۰.۰۱	-۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۰	۰.۰۳	-۰.۰۴
ژوئن	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰	۰.۰۰
جولای	۰.۰۰	۰	-۰.۱۸	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۱	-۰.۰۲	۰
اوت	۰.۰۰	۰	-۰.۴۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	-۰.۰۸	۰.۰۲
سپتامبر	۰.۰۰	۰.۰۰	-۰.۰۶	۰.۰۱	۰	۰	۰.۴	-۰.۰۱
اکتبر	-۰.۰۸	-۰.۳۱	-۰.۱۸	-۰.۶۷	-۰.۳۰	-۰.۳۷	-۰.۳۲	-۰.۴۹
نوامبر	-۰.۳۶	-۰.۶۷	-۰.۹۱	-۱.۷	-۱.۴۴	-۱.۵۲	-۰.۷	-۱.۱۴
دسامبر	-۰.۶۹	-۰.۸۸	-۱.۷۸	-۲.۰۴	-۱.۶۳	-۱.۷۳	-۲.۹۳	-۴.۰۹

همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود در همه ایستگاه‌ها مجموع بارش‌های دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۰ روند نزولی دارد. در ایستگاه رامهرمز طی دوره دیدبانی شده حداکثر بارش رخ داده در طی یک سال ۳۹۳ میلی‌متر بوده است که در دوره پیش بینی شده ۲۰۲۹-۲۰۱۰ این میزان به ۳۹۲/۴ میلی‌متر می‌رسد، که به نظر تغییری نخواهد داشت. اما در ایستگاه‌های آبادان، اهواز و بستان طی دوره دیدبانی شده حداکثر بارش رخ داده در طی یک سال به ترتیب ۳۹۹/۹، ۳۹۶/۲ و ۳۹۸/۹ میلی‌متر بوده که در دوره پیش بینی شده ۲۰۲۹-۲۰۱۰ این میزان به ترتیب به ۴۰۲/۷، ۳۹۵/۵ و ۳۹۳/۸ میلی‌متر می‌رسد. در دزفول و مسجد سلیمان حداکثر بارش دیدبانی شده به ترتیب برابر با ۳۸۸/۶ و ۳۷۶ میلی‌متر بوده که در دوره پیش بینی شده این میزان به ترتیب ۴۱۲/۷ و ۳۷۹/۷ میلی‌متر می‌رسد. در ایستگاه امیدیه و ایستگاه صفی آباد در دوره دیدبانی شده به ترتیب ۴۰۴/۱ میلی‌متر و ۳۸۴ میلی‌متر و دوره پیش بینی شده این میزان به ترتیب به ۴۰۶/۴ میلی‌متر و ۳۸۶/۹ میلی‌متر می‌رسد.

جدول ۵: مقایسه سالانه بارش‌ها (میلی‌متر) در ایستگاه‌های مطالعاتی دوره‌های (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و (۲۰۱۰-۲۰۰۹)

ایستگاه	دوره	مجموع بارش
۱- آبادان	حال آینده	۱۷۱.۹ ۱۴۲.۵
۲- اهواز	حال آینده	۲۴۱.۲ ۱۷۲.۵
۳- بستان	حال آینده	۲۰۱.۴ ۱۰۴.۹
۳- دزفول	حال آینده	۴۲۹.۵ ۲۹۵.۳
۵- مسجد سلیمان	حال آینده	۴۶۴ ۳۶۱.۷
۶- امیدیه	حال آینده	۲۷۴.۴ ۱۶۵.۴
۷- رامهرمز	حال آینده	۳۳۰.۶ ۲۲۴.۸
۸- صفی آباد	حال آینده	۳۴۰ ۱۵۲.۵

به طور کلی در بررسی پارامترهای دما و بارش مشخص شد که استان خوزستان در طی سال‌های آینده تغییرات نسبتاً محسوسی را تجربه خواهد نمود. بخشی از این تغییرات تحت تأثیر عوامل کلی گرمایش زمین از جمله افزایش گازهای گلخانه‌ای در نتیجه افزایش فعالیت‌های انسان و کاهش بخار آب موجود در اتمسفر حاصل خواهد شد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از مدل‌های Weather Generator می‌توان داده‌های خروجی چندین سال (از یک دهه تا چند صد سال) مدل‌های جهانی پیش بینی عددی را در سطح ایستگاه‌های هواشناسی به مقیاس ریز تبدیل کرد و از این طریق پس از تهیه سناریوهای اقلیمی، میزان تغییر اقلیم در هر نقطه از کره زمین را مورد ارزیابی قرارداد. در این مقاله به منظور تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارندگی، خروجی‌های GCM ریز مقیاس شده و سپس با استفاده از داده‌های مدل ECHO-G تحت سناریوی A1، میزان این تغییرات بر روی ۸ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان در طی یک دوره آماری ۲۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ریز مقیاس نمایی از مدل LARS-WG استفاده شد. در

ابتدا توانمندی مدل LARS-WG بر روی ۸ ایستگاه هواشناسی استان خوزستان بررسی شد. برای این کار یک سناریوی حالت پایه برای دوره‌ی پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ تهیه و مدل براساس سناریوی مذکور اجرا شد و توانمندی آن در شبیه سازی اقلیم گذشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که مهمترین نتایج آن به شرح زیر است:

- بیشترین افزایش دمای حداقل مطلق برای ایستگاه آبادان ماه سپتامبر می‌باشد که مقدار آن $18/8^{\circ}C$ در طی ۲۰ سال و $0/94^{\circ}C$ میانگین سالانه افزایش را نشان می‌دهد و انتظار می‌رود دمای تابستانی افزایش یافته و به دنبال آن فصل طبیعی گرم افزایش خواهند یافت. بیشترین کاهش دمای حداکثر مربوط به ماه اوت، و مقدار آن در ایستگاه بستان $1/8^{\circ}C$ در طی ۲۰ سال و $0/09^{\circ}C$ میانگین سالانه نسبت به دوره دیده بانی شده کاهش را نشان می‌دهد. از سوی دیگر بیشترین کاهش دمای حداقل نیز مربوط به ماه سپتامبر است که ایستگاه بستان با $15/6^{\circ}C$ - در مدت ۲۰ سال $0/78^{\circ}C$ - میانگین سالانه بیشترین کاهش دمای حداقل را دارد، بدین ترتیب، دمای حداقل در فصول سرد کاهش و در فصول گرم افزایش خواهد داشت و دمای حداکثر نیز در طول سال عمدتاً با کاهش همراه است.

- بیشترین افزایش بارش در ماه مارس در ایستگاه رامهرمز به $1/03$ میلی‌متر می‌رسد و پس از آن ماه‌های مه و سپتامبر قرار دارد. بیشترین کاهش بارندگی به ترتیب در ماه‌های دسامبر و ژانویه است که بیشترین مقدار آن در ایستگاه صفی آباد به میزان $4/09$ - میلی‌متر می‌باشد. بارش‌های زمستانی یک ماه به طرف فصل گرم جابجایی خواهد داشت که این جابجایی در دمای کمینه نیز دیده می‌شود. پس از بارش زمستانی، تغییرات بارش ماه مارس قابل توجه است که به غیر از ایستگاه‌های دزفول، مسجد سلیمان، بستان و رامهرمز که روند صعودی دارند، بیشترین این افزایش مربوط به ایستگاه رامهرمز به میزان $1/03$ میلی‌متر است که در فصل بهار این افزایش صورت گرفته است.

نتایج حاصل نشان دهنده قدرت بالای مدل LARS-WG در همانند سازی داده‌های واقعی دما و بارش می‌باشد. قدرت مدل در پوشش پارامترهای مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ درصد قابل قبول است. نتیجه این روند تغییرات در مقایسه با تحقیق غمدیده (۱۳۸۸) که بر روی بخشی از ایران استان کردستان انجام دادند تطابق دارد و تقریباً در این منطقه با افزایش دمای کمینه با کاهش بارش سالانه همراه خواهد بود. مقایسه نتایج این پژوهش با کار پژوهش دشت بزرگ (۱۳۸۷) که روی ۳ ایستگاه سینوپتیک منطقه مطالعاتی آبادان، اهواز و دزفول با استفاده از مدل آماری انجام شده است منطبق بوده و نشان از کاهش بارندگی با افزایش دما دارد.

با توجه به مطالب گفته شده به نظر می‌رسد که بیشترین تغییرات، در بارش و سپس در دمای حداقل رخ خواهد داد. بارش‌های زمستانی یک ماه به طرف فصل گرم جابجا شده است که این موجب تغییر نوع بارش‌ها و نیز تغییر زمان رخداد حتی در بارش‌های بهاره می‌شود. اما در مجموع در ۸ ایستگاه منطقه مطالعاتی افزایش دمای حداقل با کاهش بارش سالانه همراه خواهد بود.

منابع

- ۱- بابائیان، ایمان، (۱۳۸۴): مطالعه مقدماتی و ارزیابی مدل‌های Weather Generator مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS - WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان، پژوهشکده اقلیم شناسی، گزارش پروژه.
- ۲- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا (۱۳۸۵) الف: ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ میلادی، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم.
- ۳- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا (۱۳۸۵) ب: معرفی و ارزیابی مدل LARS - WG برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳. پاییز و زمستان ۱۳۸۵.

- ۴- دشت بزرگی، آمنه (۱۳۸۷): بررسی تغییر روند درجه حرارت و بارش در استان خوزستان با استفاده از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد، واحد اهواز.
- ۵- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵): آب و هوای ایران. تهران پیام نور، چاپ هفتم، ۲۲۱، صفحه.
- ۶- غمدیده، امیر (۱۳۸۸): تاثیرات اقلیمی بر شاخص‌های اقلیمی دما و بارش براساس GCM (مطالعه موردی، استان کردستان) رساله کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، واحد تهران.

- 7- Babaeian, I, Kwon, W. T, and I'm, E. S (2004): Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab.
- 8- Harmel, R. D, et. al. (2002): Evaluating The Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With The Normal Distribution, Canadian Society for Engineering.
- 9- Johnson, G. L, Hanson, C. L, Hard Agree, S. P, & Ballard, E.B (1996): Stochastic Weather Simulation: Overview and Analysis of Two Commonly Used Models. J. Applied Meteorology 35.
- 10- Mc Kague, k, et. Al (2003): Clim Gen- A Zgnvenient Weather Genera Tion Tool for Canadian Climate Stations, Proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.
- 11- Richardson, C.W (1981): Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature and Solar Radiation, Water Resources Research, 17.
- 12- Richardson, C.W., & Wright, D.A.(1984): WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables. U.S. Dept. Agr, Agricultural Research Service, Publ. ARS-8.
- 13- Semenov, M.A, and Barrow, E. M (1997): Use of a Stochastic Weather Generator in The Development of Climate Change Scenarios Climatic Change 35.
- 14- Semenov, M.A., and Brooks, R. J (1999): Spatial Interpolation of The LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. Climate Research 11.
- 15- Shakiba, Alireza, (2006): The Effects of Different Climate Scenarios on Global and Regional Precipitation Patterns. The Second Iran-Korea Joint Work Shop on Climate Modeling. METRI/KMA, 21-22 Oct. Seoul, South Korea.