

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۶ - زمستان ۱۳۸۸

وصول مقاله: ۱۳۸۷/۳/۵

تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۷/۱۰

صفحات: ۱۳۵-۱۵۲

## ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از

### ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G

ایمان بابائیان<sup>۱</sup> زهرا نجفی نیک<sup>۲</sup> فاطمه زابل عباسی<sup>۱</sup>  
دکتر مجید حبیبی نوخندان<sup>۲</sup> حامد ادب<sup>۲</sup> شراره ملبوسی<sup>۱</sup>

۱- گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور

۲- اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، سازمان هواشناسی کشور

۳- اداره کل هواشناسی استان کرمان

۴- رئیس پژوهشکده اقلیم‌شناسی

#### چکیده

مدل‌های گردش عمومی جو، به دلیل بزرگ مقیاس بودن شبکه‌ی محاسباتی آنها، قادر به پیش‌بینی پارامترهای آب و هواشناختی در مقیاس نقطه‌ای نیستند، لذا دانشمندان ابزار واسطی به نام مدل‌های Weather Generator را ابداع کرده‌اند 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 مطالعه‌ی حاضر با استفاده از این تکنیک، خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ ریز مقیاس گردیدند و نتایج آن بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور تجزیه و تحلیل شدند. نتایج کلی برای دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه‌ی بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه‌ی دما به میزان ۰/۵ درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه‌ی دما مربوط به ماه‌های سرد سال است. استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه‌ی ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. با توجه به کاهش بارش کشور و همچنین افزایش آستانه‌ی بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد. به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته می‌شود. بررسی نتایج بر روی شمال شرق کشور حاکی از جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی جو، ریز مقیاس نمایی، ایران، پدیده‌های حدی.

## مقدمه

استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت جهان و به تبع آن گسترش روز افزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره‌ی زمین، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره‌ی زمین به وجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره‌ی زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، خشکسالی و... می‌باشد. افزایش این رخدادها در سال‌های اخیر به دغدغه‌ی اصلی اقلیم‌شناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است.

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. تغییر اقلیم به آرامی در حال گسترش به سرتاسر کره‌ی زمین و تأثیر آن بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای است. افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای کره‌ی زمین، افزایش سطح آب و دمای اقیانوس‌ها شده که نهایتاً موجب افزایش تبخیر از سطح دریا و به دنبال آن افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد. اما پاسخ تمامی نقاط کره‌ی زمین به پدیده‌ی گرمایش جهانی صرفاً به صورت افزایش بارش نخواهد بود. به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش نیز مواجه خواهند شد. مهمترین تبعات تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود. بطوری‌که انتظار می‌رود پدیده‌های حدی در طی دهه‌های آینده روند افزایشی داشته باشد.

با توسعه‌ی روش‌های عددی در علم هواشناسی، افق جدیدی در پیش‌بینی‌های چندروزه، فصلی و دهه‌ای پدید آمد. در این روش معادلات حرکت هوا با یکسری ساده‌سازی‌ها، به روش تفاضل محدود و بر روی یک شبکه‌ی گسترده‌ی سه بعدی در سیستم مختصات کروی حل می‌شوند. استفاده از این روش در مقیاس هفته‌ای هم‌اکنون در اکثر مراکز پیش‌بینی جهانی با قدرت تفکیک کمتر از ۱۰ کیلومتر به موضوعی روزانه و عادی تبدیل شده است؛ اما استفاده از آن در مقیاس دهه‌ای و بالاتر به دلیل محدودیت‌های محاسباتی و زمانی و هزینه‌بر بودن آن، با مشکلاتی مواجه است، بطوری‌که در این مقیاس زمانی، محدودیت‌های جدی برای قدرت تفکیک مکانی مدل‌ها وجود دارد. هم‌اکنون قدرت تفکیک برای مدل‌های گردش عمومی جو در حد چندصد کیلومتر است. مدل‌های گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی

و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چندصد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌ی مورد بحث کاملاً متفاوت باشد. برای فائق آمدن به نقیصه‌ی تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو راهکار وجود دارد که عبارتند از: ریزمقیاس نمایی آماری<sup>۱</sup> با استفاده از مدل‌های آماری و به کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای. استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است. اما در روش آماری و در عرض چند ثانیه می‌توان ریزمقیاس نمایی آماری را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص برای چندین ده سال انجام داد. روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه‌ی کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند می‌توان به LARS-WG, CLIMGEN, GEM, USCLIMATE و WGEN اشاره کرد. ویلیبی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۱) مدل SDSM را برای ریزمقیاس نمایی بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری را ابداع کردند (ویلیکس و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۵۷-۳۲۹). جی. ال. جانسون<sup>۳</sup> و همکارانشان (۱۹۹۶) از مرکز تحقیقات منابع آب شمال غرب آمریکا دو مدل مختلف تولید داده‌های آب و هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIMGEN را مورد بررسی قرار دادند (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۸۹۶-۱۸۷۸).

CLIMGEN یکی از مولدهای تصادفی داده‌های آب و هوایی از نوع ریچارسون است که سری‌های زمانی روزانه بارندگی، دما، نقطه شبنم، باد و تابش خورشیدی را برای یک منطقه‌ی مشخص برآورد می‌کند (ریچارسون و همکاران، ۱۹۸۴: ۸۳).

آر. دی. هارمل<sup>۴</sup> و همکارانش (۲۰۰۲) در مؤسسه‌ی تحقیقات کشاورزی آمریکا دمای کمینه و بیشینه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی آمریکا را با استفاده از روش‌های آماری مدل کردند (هارمل و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۶). ویلیکس<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۸) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی

---

1-Statistical downscaling  
2-Wilby  
3-G.L.Johnson  
4-R.D.Harmel  
5-Wilks

است، ابداع کردند (ویلیکس و همکاران، ۱۹۹۲: ۶۷-۸۴ و ویلیکس و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۵۷-۳۲۹ و ریچارسون و همکاران، ۱۹۸۴: ۱۳). این مدل می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای بیشینه، کمینه، بارندگی و تابش روزانه‌ی خورشید به کار رود. همچنین این مدل قادر است مقادیر تصادفی پارامترهای هواشناسی را به صورت سری زمانی روزانه یا ساعتی ارائه دهد.

مک‌کاگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مورد مطالعه قرار دادند (مک‌کاگ و همکاران: ۲۰۰۳). بابائیان و کوان (۲۰۰۴) تغییرات اقلیمی کشور کره‌ی جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه بر روی پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای حداقل و حداکثر، طول دوره‌ی روزهای تر و خشک، طول دوره‌ی روزهای داغ و یخبندان و روند تغییرات بارش‌های سنگین ده ایستگاه سینوپتیک کشور کره‌ی جنوبی انجام گرفت. همچنین پژوهشی با عنوان «مطالعات مقدماتی و ارزیابی مدل‌های تولید داده، مطالعه‌ی موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان» به انجام رسیده است. نتایج مدل‌سازی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پروژه نشان‌دهنده‌ی توانمندی بسیار خوب مدل LARS-WG برای مدل‌سازی دماهای بیشینه و کمینه و انحراف معیار آنها در دوره‌ی آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی می‌باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۰۱-۹۷ و بابائیان و نجفی، ۱۳۸۵: ۶۵-۴۹).

در مقاله‌ی حاضر از داده‌های سناریوی A1 مدل ECHO-G که هم‌اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اجراء می‌شود، برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل تولید داده LARS-WG استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی مدل

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه‌ی روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. نسخه‌ی اولیه LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه‌ی ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. در این

1- Mc.Kague

مدل از روش زنجیره‌ی مارکف برای مدل‌سازی رخداد بارش استفاده می‌شود. زنجیره‌ی مارکف همیشه قادر نیست به طور صحیح طول دوره‌ی خشکی را شبیه‌سازی نماید. طول دوره‌ی خشکی برای ارزیابی عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان بسیار مهم است. کارایی دومدل LARS-WG و مدل WGEN در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط سمونف<sup>۱</sup> بررسی شد. نتایج مدل LARS-WG در مقایسه با WGEN همخوانی بیشتری با داده‌های دیدبانی دارد (سمونف و همکاران، ۲۰۰۲؛ سمونف و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۷-۹۵). مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه‌تجربی می‌باشد. در توزیع نیمه‌تجربی فاصله‌ها به طور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i, \dots, i=0, 1, 2, \dots, 10\}$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است.

$$[a_{i-1}, a_i]$$

$$a_{i-1} < a_i$$

$h_i$  تعداد رخدادبارش در  $i$ مین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و

خشک و بارش افزایشی هستند.

در این مدل تابش به طور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه‌تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. در این مدل سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های مینیمم و ماکزیمم روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه‌ی سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه‌ی حرارت فصلی به کار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آیند، از طریق تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم به دست می‌آید.

تولید داده‌ها توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل ابتدا داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و

برای هر شبکه مدل ECHO-G یک سناریوی خاص تولید داده تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو بایستی داده‌های شبکه‌ای مدل ECHO-G در دوره‌ی آینده با داده‌های دوره‌ی پایه مقایسه شوند. در اینجا دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و دوره‌ی آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است. علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه‌ی محاسباتی، برای اجرای مدل LARS-WG نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاههای واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می‌کند. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده‌ی ماهانه که در برگزیده‌ی رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق فرمول:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (1)$$

پیش‌بینی<sup>۱</sup> می‌کند که در آن  $F_{fut}$ ،  $F_{obs}$ ،  $F_{GCM}^{fut}$  و  $F_{GCM}^{base}$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیدبانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق فرمول:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (2)$$

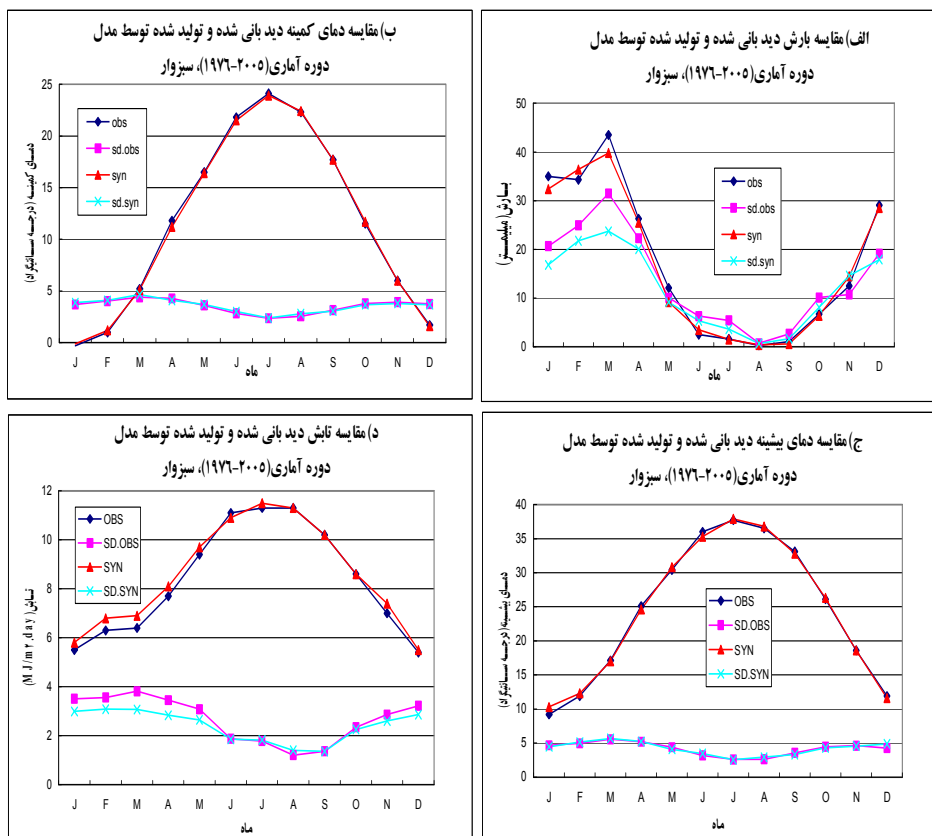
تغییر می‌دهد (بابائیان و کوان، ۲۰۰۴: ۹۸) که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است.

### داده‌ها و منطقه‌ی مورد مطالعه

مطالعه‌ی حاضر بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور که دارای آمار بدون نقص در دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۷۶-۲۰۰۵ 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 ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ به عنوان دوره‌ی پایه در نظر گرفته شد.

بطور کلی توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی اثرات مستقیمی بر روی ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. بنابر این، در ابتدا توانمندی این مدل با استفاده از ۳۰ سال داده‌های دیدبانی شده ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. اینکار از طریق مقایسه‌ی داده‌های دوره‌ی آماری و داده‌های تولید شده توسط مدل و با استفاده از روش آماری، نقشه و نمودار انجام شد. برای اینکار یک سناریوی حالت پایه برای دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ تهیه و مدل LARS-WG برای دوره‌ی پایه‌ی مذکور اجرا گردید. برای ارزیابی خروجی‌های مدل، داده‌های دیدبانی و مدل‌سازی شده ۴ پارامتر دمای کمینه، بیشینه، بارش، تابش با استفاده از آزمون T استودنت با یکدیگر مقایسه گردیدند. با تحلیل آماری نتایج مدل‌سازی‌های ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور ملاحظه گردید که بین دماهای بیشینه و کمینه‌ی مدل و دیدبانی تطابق بسیار خوبی وجود دارد. مدل‌سازی بارش روزانه بطور کلی در تمامی ایستگاهها قابل قبول بودند؛ اما انحراف معیار بارش روزانه‌ی مدل در اکثر موارد کمتر از داده‌های دیدبانی می‌باشند. در مورد تابش، فقط نتایج مدل‌سازی ایستگاه رامسر در سطح اعتماد پنج درصد قابل قبول نیست. بطور کلی نتایج حاکی از توانمندی LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی پایه ایستگاههای تحت مطالعه‌ی کشور بر اساس سناریوی حالت پایه می‌باشد. در شکل ۱ به عنوان نمونه مقادیر دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش حاصل از مدل LARS-WG با مقادیر دیدبانی آورده شده است.



شکل ۱: مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده‌بانی در ایستگاه سینوپتیک سبزوار برای دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ الف. بارش، ب. دمای کمینه، ج. دمای بیشینه و د. تابش

در ادامه برای ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، سناریوهای تغییر اقلیم بر روی ۱۵ شبکه‌ی محاسباتی مدل ECHO-G که کشورمان در داخل این شبکه قرار می‌گیرد، در دو دوره‌ی پایه ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ و آینده ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ تدوین گردیدند. سپس فایل رفتار اقلیمی دوره‌ی پایه تمامی ایستگاهها توسط سناریوی مذکور و توسط مدل LARS-WG پریشده شدند و داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش روزانه تولید شدند.



جدول ۱: نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاههای مورد مطالعه‌ی کشور

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
آباد	۳۱/۱۱	۵۲/۴	۲۰۳۰	کرمانشاه	۳۴/۲۱	۴۷/۰۹	۱۳۱۸/۶
اهواز	۳۱/۲	۴۸/۴	۲۲/۵	خرم‌آباد	۳۳/۲۶	۴۸/۱۷	۱۱۴۷/۸
اراک	۳۴/۰۶	۴۹/۴۶	۱۷۰۸	خوی	۳۶/۳۳	۴۴/۵۸	۱۱۰۳
اردبیل	۳۸/۱۵	۴۸/۱۷	۱۳۳۲	مشهد	۳۶/۲۸	۵۹/۶	۹۹۹/۲
بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱	نوشهر	۳۶/۳۹	۵۱/۳	-۲۰/۹
بم	۲۹/۰۶	۵۸/۲۱	۱۰۶۶/۹	ارومیه	۳۷/۳۲	۴۵/۰۵	۱۳۱۵/۹
بندرعباس	۲۷/۱۳	۵۶/۲۲	۱۰	رامسر	۳۶/۵۴	۵۰/۴	-۲۰
بندر انزلی	۳۷/۲۸	۴۹/۲۸	-۲۶/۲	رشت	۳۷/۱۵	۴۹/۳۶	-۶/۹
بندر لنگه	۲۶/۳۲	۵۴/۵	۲۲/۷	سبزوار	۳۶/۲	۵۷/۶۶	۹۷۷/۶
بیرجند	۳۲/۵۲	۵۹/۱۲	۱۴۹۱	سقز	۳۶/۱۵	۴۶/۱۶	۱۵۲۲/۸
بجنورد	۳۷/۴۶	۵۷/۳۱	۱۰۹۱	سنندج	۳۵/۲	۴۷	۱۳۷۳/۴
چاه‌بهار	۲۵/۱۷	۶۰/۳۷	۸	سمنان	۳۵/۳۵	۵۳/۳۳	۱۱۳۰/۸
دوشان‌تپه	۳۵/۴۲	۵۱/۲	۱۲۰۹/۲	شهرکرد	۳۲/۱۷	۵۰/۵۱	۲۰۶۱/۴
اصفهان	۳۲/۳۷	۵۱/۴	۱۵۵۰/۴	شاهرود	۳۶/۲۵	۵۴/۵۷	۱۳۴۵/۳
فسا	۲۸/۵۸	۵۳/۴۱	۱۲۸۸/۳	شرق- اصفهان	۳۲/۴	۵۱/۵۲	۱۵۴۳
قزوین	۳۶/۱۵	۵۰/۰۳	۱۲۷۹/۲	شیراز	۲۹/۳۲	۵۲/۳۶	۱۴۸۴
گرگان	۳۶/۵۱	۵۴/۱۶	۱۳۳	تبریز	۳۸/۰۵	۴۶/۱۷	۱۳۶۱
همدان فرودگاه	۳۴/۵۲	۴۸/۳۲	۱۷۴۱/۵	تهران- مهرآباد	۳۵/۴۱	۵۱/۱۹	۱۱۹۰/۸
همدان نوژه	۳۵/۱۲	۴۸/۴۳	۱۶۷۹/۷	تربت- حیدریه	۳۵/۲۷	۵۹/۲۲	۱۴۵۰/۸
ایرانشهر	۲۷/۱۲	۶۰/۴۲	۵۹۱/۱	زاهدان	۲۹/۲۸	۶۰/۵۳	۱۳۷۰
کاشان	۳۳/۵۹	۵۱/۲۷	۹۸۲/۳	زنجان	۳۶/۴۱	۴۸/۲۹	۱۶۶۳
کرمان	۳۰/۱۵	۵۶/۵۸	۱۷۵۳/۸				

## بررسی و تحلیل نتایج میانگین بارش

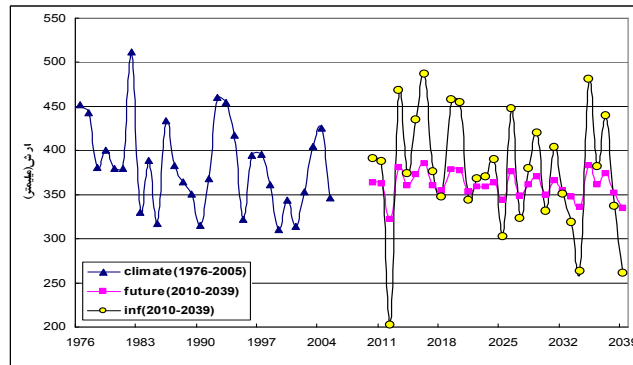
در جدول ۲ مقادیر میانگین ماهانه‌ی بارش و انحراف معیار آنها آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در تمامی ماهها انحراف معیار بارش مدل از انحراف معیار دوره‌ی آماری کمتر است. در حالی که انتظار بر این است که مقادیر حدی اقلیمی در آینده افزایش یابد، لذا برای رفع این نقیصه با استفاده از فرمول (۲) و ضمن حفظ میانگین‌ها، انحراف معیار آنها به نسبت انحراف معیار داده‌های دیدبانی به داده‌های مدل گردش عمومی جو در دوره‌ی پایه افزایش داده شد. در شکل ۲ مقادیر بارش سالانه با و بدون اعمال این نسبت نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه‌ی میانگین و انحراف معیار بارش (میلی متر) در دوره‌ی پایه و دهه ۲۰۲۰ در کل ایستگاههای مورد مطالعه

دوره آماری	میزان بارش	انحراف معیار	میزان بارش	انحراف معیار	میزان بارش	انحراف معیار	میزان بارش	انحراف معیار	میزان بارش	انحراف معیار	میزان بارش	انحراف معیار	
دوره آماری	میزان بارش	۵۰/۵	۴۲/۸	۵۰/۴	۳۸/۱	۲۵/۲	۹/۷	۷/۲	۱۱	۲۲/۱	۴۱/۳	۴۴/۸	۵۰/۸
	انحراف معیار	۱۳/۷	۱۲/۲	۱۰/۹	۹/۹	۹/۲	۱۲/۳	۱۱/۶	۱۵/۸	۲۶/۹	۳۱/۲	۲۰/۳	۱۶/۳
دهه ۲۰۲۰	میزان بارش	۴۰/۱	۴۲/۶	۴۹/۲	۳۰/۵	۲۲	۹/۱	۷/۷	۹/۶	۲۱/۷	۴۱	۴۱/۷	۴۵/۲
	انحراف معیار واقعی مدل	۴/۸	۵/۳	۵	۳/۷	۳/۱	۲/۴	۲/۶	۳/۲	۶/۲	۹/۴	۷	۵/۷
	انحراف معیار تعدیل یافته مدل	۱۰/۶	۱۳/۹	۱۳/۳	۹/۹	۹/۱	۱۱/۵	۱۱/۳	۱۵/۱	۲۵/۲	۳۲	۲۰/۷	۱۵/۳

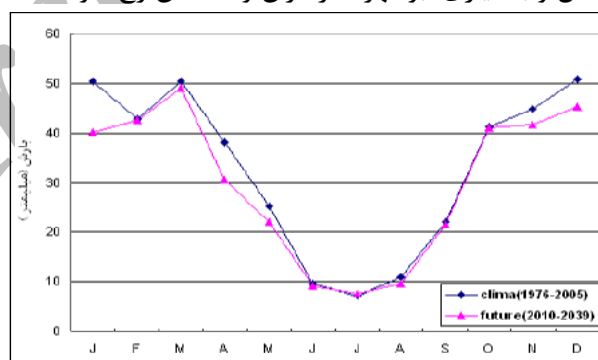
بر اساس جدول فوق علیرغم کاهش بارش‌های فصل تابستان در کشور، بارش ماه ژوئیه در مقایسه با دوره‌ی آماری ۱۰ درصد افزایش یافته است، اما در سایر ماههای سال بارش‌ها کاهش می‌یابند. بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماههای ژانویه و آوریل می‌باشد که در مقایسه با نرمال حدود ۲۰ درصد کاهش یافته‌اند.

در شکل ۳ نمودار میانگین ماهانه‌ی بارش ایستگاههای مورد مطالعه آورده شده است. ملاحظه می‌شود که بطور کلی میانگین بارش کشور به جز ماه ژوئیه که در مقایسه با دوره‌ی آماری افزایش یافته است، در سایر ماههای سال بارش‌ها کمتر از نرمال می‌باشد. انحراف معیار بارش آینده در تمامی ماههای سال نسبت به دوره‌ی آماری کاهش یافته است.



شکل ۲: میانگین بارش سالانه‌ی کشور تا سال ۲۰۳۹ میلادی

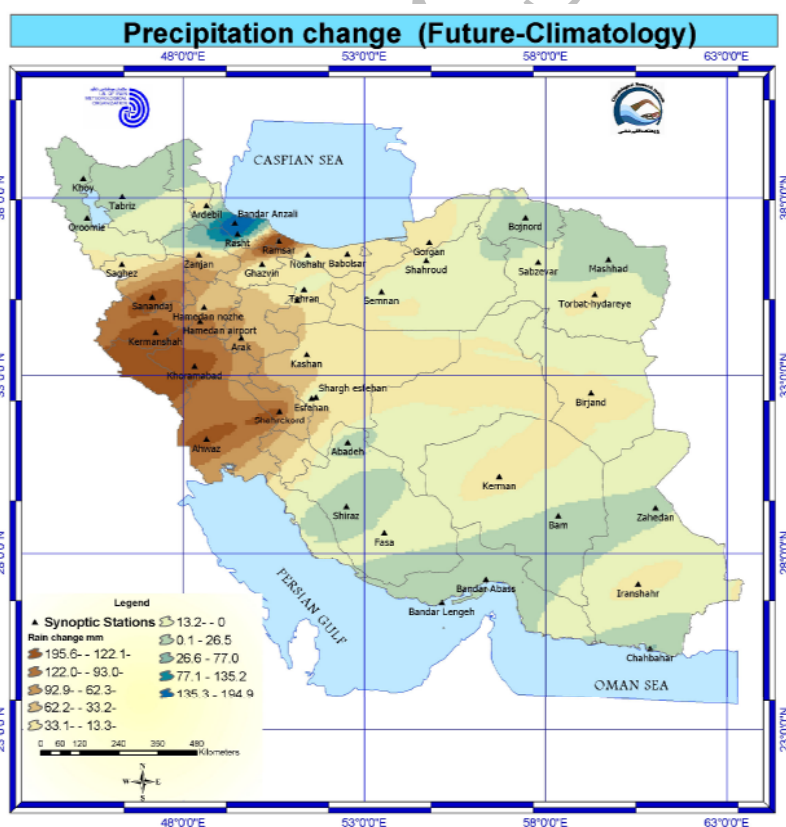
کاهش بارندگی در فصل تابستان به مراتب کمتر (حدود ۳ درصد) بوده و در فصل سرد سال بیشتر است، به طوری که کاهش بارش‌های فصل سرد سال در مقایسه با نرمال ۸ درصد می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود انحراف معیار مقادیر بارش تولید شده سالانه به نسبت انحراف معیار داده‌های دوره‌ی دیدبانی به مقادیر حاصل از مدل گردش عمومی جو در دوره‌ی مشابه افزایش یافته است. توزیع مکانی بارش کشور در دوره‌ی آینده با دوره‌ی پایه مقایسه شد. در شکل ۴ تفاوت بارش‌های دهه‌ی ۲۰۲۰ نسبت به دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) دیده می‌شود. در این دوره استان‌های کرمان، خراسان جنوبی، رضوی و بخش‌هایی از یزد با کاهش بارش مواجه خواهند بود. بیشترین کاهش بارش در استان‌های واقع در امتداد رشته‌کوه زاگرس، غرب کشور و سواحل جنوبی و شرقی خزر شامل استان‌های کردستان، همدان، زنجان، مرکزی، کرمانشاهان، لرستان، ایلام، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، بوشهر، مازندران و گلستان رخ خواهد داد.



شکل ۳: میانگین ماهانه بارش کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ (دهه‌ی ۲۰۲۰) و مقایسه‌ی آن با دوره‌ی آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۶)

در همین دوره استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، خراسان شمالی، فارس، سیستان و بلوچستان، گیلان و هرمزگان بارندگی‌ها افزایش می‌یابند که بیشترین افزایش در استان گیلان به میزان ۱۱ درصد است.

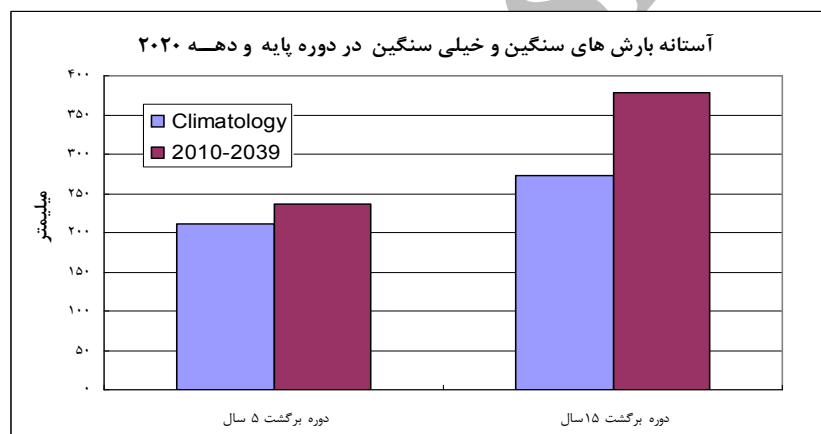
در سایر استان‌ها بارندگی روند کاهشی دارد. بیشترین کاهش بارندگی در استان خوزستان به میزان ۵۶ درصد رخ می‌دهد. به جز بارندگی ایستگاههای آباده، انزلی، بم، بندرعباس، بندر لنگه، بجنورد، چابهار، خوی، مشهد، ارومیه، رشت، شیراز، تبریز و زاهدان که در مقایسه با دوره‌ی آماری افزایش یافته است، در سایر ایستگاههای مورد مطالعه بارش کاهش می‌یابد. در مجموع، بارش‌های سالانه در کل کشور به میزان ۹ درصد در دهه‌ی ۲۰۲۰ کاهش می‌یابند. همچنین الگوی بارش‌های شمال شرق کشور به سمت انتهای فصل سرد جابه‌جا شده‌اند.



شکل ۴: تفاوت بارش‌های سالانه‌ی کشور در دهه‌ی ۲۰۲۰ با دوره‌ی پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

### بارش‌های سنگین

آستانه‌ی بارش‌های سنگین که به صورت بارش‌هایی با دوره‌ی برگشت ۵ سال تعریف شده است، در دوره‌ی پایه و دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ محاسبه شدند. همین کار برای آستانه‌ی بارش‌های خیلی سنگین (با دوره‌ی برگشت ۱۵ ساله) نیز انجام شد. در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد که آستانه‌ی بارش‌های سنگین با ۱۳ درصد افزایش از حدود ۲۱۰ میلیمتر در دوره‌ی پایه به ۲۳۷ میلیمتر در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ افزایش یافته است. همچنین آستانه بارش‌های خیلی سنگین نیز به مانند بارش سنگین روند افزایشی داشته و با ۳۹ درصد افزایش از ۲۷۳ میلیمتر در دوره‌ی پایه به ۳۷۸/۸ میلیمتر در دهه‌ی ۲۰۲۰ رسیده است.



شکل ۵: تغییرات آستانه بارش‌های سنگین (دوره‌ی برگشت ۵ سال) و خیلی سنگین (دوره‌ی برگشت ۱۵ سال) در کشور

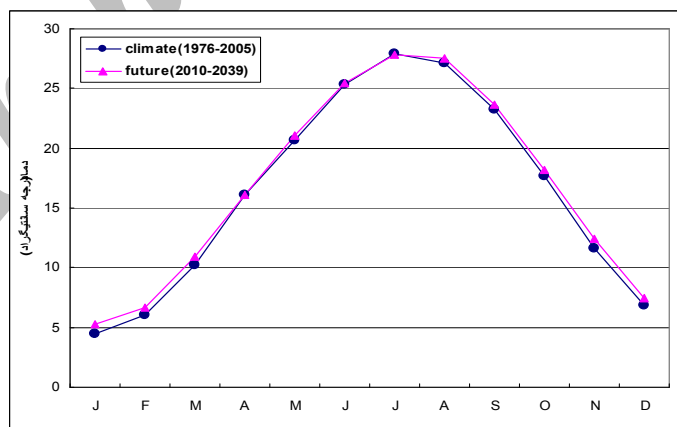
### میانگین دما

در جدول ۳ میانگین و انحراف معیار دمای کشور در دوره‌ی پایه و دهه‌ی ۲۰۲۰ آورده شده است. همانند بارش و باحفظ میانگین‌ها، انحراف معیار دما به نسبت انحراف معیار مقادیر دیدبانی به مقادیر حاصل از خروجی مدل گردش عمومی جو در دوره‌ی پایه، افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهند که به جز ماه‌های آگوست و ژوئیه، میانگین دمای کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی آماری افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش میانگین دما مربوط به فصل زمستان به میزان ۰/۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. پس از آن فصل پاییز قرار دارد که میانگین دمای آن در مقایسه با دوره‌ی آماری ۰/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است، به عبارت دیگر افزایش دمای فصل سرد سال بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد.

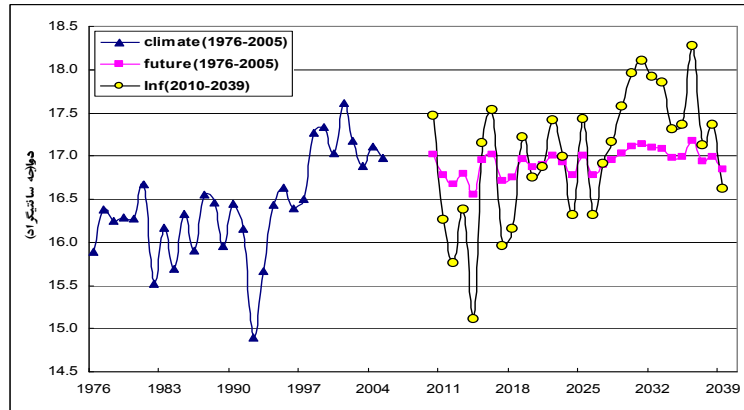
جدول ۳: میانگین و انحراف معیار دما (درجه سانتیگراد) در دوره‌ی پایه و دهه‌ی ۲۰۲۰ در ایستگاههای منتخب کشور

مهر	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر
۶/۸	۱۱/۷	۱۷/۷	۲۳/۳	۲۷/۱	۲۷/۹	۲۵/۳	۲۰/۶	۱۶/۱	۱۰/۲	۶/۱	۴/۵	میانگین دما	دوره‌ی آماری	
۶/۷	۶/۱	۵/۷	۵	۴/۵	۴/۶	۵/۳	۶	۶/۱	۶/۵	۷	۷/۱	انحراف معیار		
۷/۵	۱۲/۴	۱۸/۲	۲۳/۷	۲۷/۵	۲۷/۹	۲۵/۵	۲۱	۱۶/۱	۱۰/۹	۶/۷	۵/۲	میانگین دما	دهه‌ی ۲۰۲۰	
۶/۱	۵/۹	۵/۴	۴/۷	۴/۲	۴/۱	۵/۱	۵/۶	۵/۹	۶/۱	۶/۴	۶/۶	انحراف معیار واقعی مدل		
۶/۹	۶/۲	۵/۶	۴/۸	۴/۳	۴/۶	۵/۲	۵/۹	۶/۲	۶/۷	۷/۲	۷/۳	انحراف معیار تعدیل یافته		

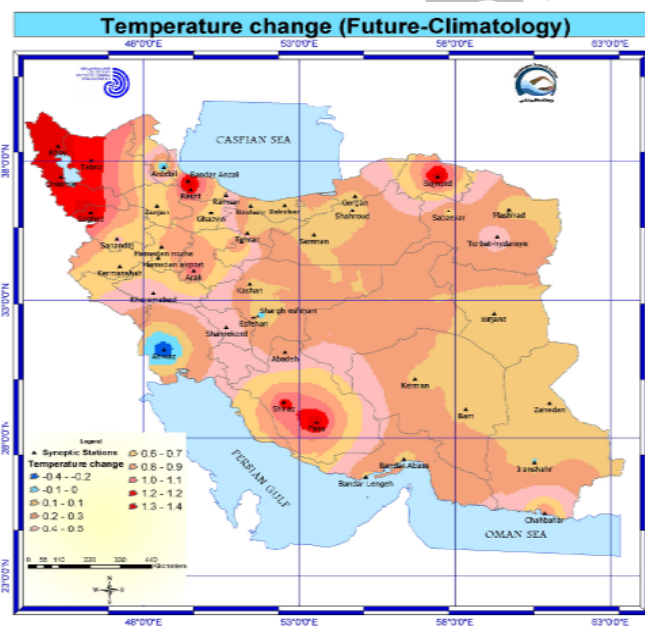
شکل ۶ میانگین‌های دمای ماهانه کشور را در دهه ۲۰۲۰ و دوره‌ی پایه نشان می‌دهد. دما در اکثر ماههای سال نسبت به دوره‌ی آماری افزایش یافته است. بیشترین افزایش دما در ماههای نوامبر، مارس و ژانویه به میزان ۰/۷ درجه سانتیگراد خواهد بود. در شکل ۷ روند افزایش دمای کشور تا سال ۲۰۳۹ دیده می‌شود. انحراف معیار مقادیر سالانه‌ی دما با استفاده از فرمول (۲) محاسبه شده است. توزیع مکانی تغییرات میانگین دمای کشور در دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۶: میانگین‌های ماهانه دمای کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره‌ی پایه



شکل ۷: میانگین دمای سالانه کشور تا سال ۲۰۳۹



شکل ۸: تفاوت میانگین سالانه دما بین دوره‌ی آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹) با دوره‌ی آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

ملاحظه می‌شود که در دوره‌ی آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و در بین استان‌های کشور، بیشترین افزایش دما در استان‌های واقع در شمال غرب کشور، جنوب البرز، مرکز کشور، خراسان شمالی، خراسان رضوی، سواحل جنوبی و جنوب شرقی کشور رخ می‌دهد. همچنین در بین ایستگاههای مورد مطالعه، بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاههای سقز، فسا و بجنورد با ۱/۴ درجه سانتیگراد خواهد بود. دمای میانگین ایستگاههای اهواز و اردبیل نیز نسبت به دوره‌ی آماری

کاهش مختصری خواهد داشت. افزایش میانگین دما در استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی به ترتیب به میزان ۱/۴، ۱/۳ و ۱/۲ درجه سانتیگراد خواهد بود. در مقابل استان‌های اردبیل و خوزستان در دهه‌ی ۲۰۲۰ در مقایسه با دوره‌ی پایه با کاهش دما مواجه خواهند شد. بطور کلی میانگین دمای کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی آماری ۰/۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد.

### روزهای داغ و یخبندان

بر اساس تعریف، روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه‌ی آن روز از ۳۰ درجه سانتیگراد فزونی یابد (سمنوف و همکاران، ۲۰۰۲). با استفاده از نتایج مدل تعداد روزهای داغ دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره‌ی پایه کشور استخراج شدند. بر این اساس میانگین تعداد روزهای داغ بجز ماههای ژانویه، می و اکتبر، در سایر ماههای سال روند افزایشی دارد. بیشترین افزایش مربوط به ماه نوامبر با ۱/۵ روز می‌باشد. روز یخبندان عبارتست از روزی که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر از آن باشد (سمنوف و همکاران، ۲۰۰۲). بر اساس این تعریف، تعداد روزهای یخبندان برای دودوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) استخراج شدند. نتایج نشان می‌دهند که به جز ماههای ژوئیه و آگوست که همانند دوره‌ی نرمال یخبندانی نداشته و ماه ژوئن که در آن تعداد روزهای یخبندان به میزان بسیار کمی افزایش می‌یابد، در سایر ماههای سال میانگین تعداد روزهای یخبندان در مقایسه با دوره‌ی آماری کاهش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور ارزیابی تغییر اقلیم کشور در افق ۱۴۰۰ شمسی معادل (۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی)، خروجی مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی پیش‌فرض A1 در مقیاس شبکه‌ی ۲/۵ در ۲/۵ درجه‌ی جغرافیایی، بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور ریزمقیاس شدند. برای ریزمقیاس نمایی از مدل LARS-WG استفاده شد.

در ابتدا توانمندی مدل LARS-WG بر روی ۴۳ ایستگاه هواشناسی کشور بررسی شد. برای اینکار یک سناریوی حالت پایه برای دوره‌ی پایه ۱۹۷۶-۲۰۰۵ تهیه و مدل بر اساس سناریوی مذکور اجرا شد و توانمندی آن در شبیه‌سازی اقلیم گذشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

پس از صحت‌سنجی، مدل LARS-WG با استفاده از سناریوهای تدوین شده برای ۱۵ شبکه‌ی محاسباتی (در مدل ECHO-G، کشور ایران با ۱۵ شبکه‌ی محاسباتی پوشش داده می‌شود)، آن برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی بر روی تمامی ایستگاههای مورد مطالعه اجرا شد که مهمترین نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:



- در کل کشور بارش به میزان ۹ درصد کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش در استان‌های واقع در امتداد رشته‌کوه زاگرس، غرب کشور و سواحل جنوبی و شرقی خزر شامل استان‌های کردستان، همدان، زنجان، مرکزی، کرمانشاهان، لرستان، ایلام و خوزستان، چهارمحال و بختیاری، بوشهر، مازندران و گلستان می‌باشد. این استان‌ها با کاهشی بیش از ۲۳ میلی‌متر در سال مواجه خواهند بود. استان‌های کرمان، خراسان جنوبی، جنوب خراسان رضوی و بخش‌هایی از یزد و سیستان و بلوچستان نیز با کاهش بارش مواجه خواهند بود. آستانه‌ی بارش‌های با دوره‌های برگشت ۵ سال (بارش‌های سنگین) و ۱۵ سال (بارش‌های خیلی سنگین) به ترتیب با ۱۳ و ۳۹ درصد افزایش در مقایسه با دوره‌ی آماری، به ۲۳۷ و ۳۷۸/۸ میلی‌متر خواهند رسید. با توجه به کاهش بارش کشور و همچنین افزایش آستانه بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده وقوع رخداد‌های سیل افزایش یابد.

- میانگین دما در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی به‌طور متوسط ۰/۵ درجه سانتیگراد در مقایسه با دوره‌ی پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش ماهانه مربوط به ماه‌های سرد سال به میزان ۰/۷ درجه سانتیگراد خواهد بود. بیشترین افزایش در بین استان‌های کشور مربوط به استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی به میزان ۱/۴، ۱/۳ و ۱/۲ درجه سانتیگراد خواهد بود. استان‌های دیگری که با افزایش قابل ملاحظه دما مواجه هستند عبارتند از: گیلان، زنجان، کردستان، کرمانشاهان، لرستان، مرکزی، همدان، فارس و جنوب سیستان و بلوچستان. افزایش دما در استان‌های شرقی کشور، جنوب شرق خزر، سمنان و تهران قابل ملاحظه نمی‌باشد. بطور کلی بجز در بخش‌هایی از دو استان خوزستان و اصفهان در سایر استان‌های کشور میانگین دما افزایش می‌یابد.

- تعداد روزهای یخبندان (روزهای با دمای حداقل مساوی یا کمتر از صفر درجه سانتیگراد) در کشور کاهش می‌یابد که بیشترین آن در ماه نوامبر به تعداد ۱/۲ روز خواهد بود. تعداد روزهای داغ (با دمای بیشینه بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد) در دوره‌ی آینده افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش ماهانه مربوط به ماه نوامبر با میانگین ۱/۵ روز می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده‌ی اقلیم‌شناسی، اداره‌ی کل هواشناسی خراسان رضوی و دفتر ملی تغییر آب و هوا برای حمایت‌های مالی و مرکز تحقیقات هواشناسی کشور کره جنوبی برای ارسال داده‌های روزانه مدل ECHO-G تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

## منابع و مأخذ

- ۱- بابائیان، ایمان؛ نجفی‌نیک، زهرا (۱۳۸۵). ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی، پروژه خاتمه‌یافته پژوهشکده اقلیم‌شناسی. گروه پژوهشی تغییر اقلیم.
- ۲- بابائیان، ایمان؛ نجفی‌نیک، زهرا (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳. پاییز و زمستان ۱۳۸۵.
- 3- Babaeian, I, Kwon, W. T, and Im, E. S (2004) Application of Weather Generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.
- 4- Harmel, R. D, et. al (2002) Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature With the Normal Distributian, Canadian Society for engineering.
- 5- Johnson, G. L, Hanson, C. L, Hardegree, S. P, and Ballard, E.B (1996) Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. J. Applied Meteorology 35.
- 6- Mc kague, k, et. Al (2003). Clim Gen- A ZGnvenient weather Genera Tion Tool for Canadian climat stations,proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.
- 7- Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A., 1991: A serial approach to local stochastic models. J. Ecological Modeling 57, 27-41.
- 8- Richardson, C.W (1981) Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation. Water Resources Research, 17.
- 9- Richardson, C.W., and Wright, D.A.(1984) WGEN: A model for generating daily weather variables. U.S. Dept. Agr., Agricultural Research Service, Publ. ARS-8.
- 10- Semenov, M.A, and Barrow, E. M (1997). Use of a stochastic Weather Generator in the development of Climate Change Scenarios. Climatic Change 35.
- 11- Semenov, M.A., and Brooks, R. J (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. Climate Research 11.
- 12- Semenov, M.A., and Barrow, E. M (2002) LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.
- 13- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W (1998) Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. Climate Research 10.
- 14- Thompson, C.S, and Mullan, A. B (1995). Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
- 15- Wilks, D. S (1992). Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate Change. 22.
- 16- Wilks, D.S. and Wilby, R. L (1999). The Weather Generation game: a review of Stochastic Weather Models. Progress in Physical Geography 23.
- 17- Zhang, X. C (2003). Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction, Transaction of the ASAE, Vol.46 (2).