

کارگاه فنی
اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب
۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶

مدلسازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی

آماري خروجی مدل ECHO-G

ایمان بابائیان^۱، زهرا نجفی نیک^۲، مجید حبیبی نوخندان^۳،
فاطمه زابل عباسی^۱، حامد ادب^۱، شراره ملبوسی^۱

چکیده:

در این مقاله از داده‌های سناریوی A1 مدل ECHO_G که هم اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اجراء می‌شود، برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG، استفاده شده است و نتایج آن بر روی ایستگاه‌های مطالعاتی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج کلی بررسی‌ها برای دهه ۲۰۲۰ حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کشور و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال است. همچنین استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. برای انجام مطالعه‌ای جامعتر لازم است از داده‌های دیگر مدل‌های گردش عمومی جو نظیر HadCM و سناریوهای اقلیمی دیگر نیز استفاده نمود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، دهه ۲۰۲۰، ایران، مدل گردش عمومی جو، ریز مقیاس نمایی

مقدمه:

مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی‌های اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریز مقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن در آنها لحاظ می‌شوند. در مدل‌های آماری علاوه بر داده‌های یک

۱- گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، ص.پ. ۶۷۶-۹۱۷۳۵

۲- اداره کل هواشناسی استان کرمان

۳- رئیس پژوهشکده اقلیم شناسی

مدل گردش عمومی جو، داده‌های دیده بانی شده نیز جهت کشف ارتباط آماری بین داده‌های مدل گردش عمومی جو در گذشته و داده‌های دیده بانی واقعی مورد نیاز است. روش آماری ریز مقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. از مدل‌هایی که برای ریز مقیاس نمایی دینامیکی استفاده می‌شود می‌توان به RegCM3, MM5 و PRECIS اشاره کرد. انواع مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری عبارتند از: SDSM, CLIGEN, LARS-WG, USCLIMATE, GEM, MET& Roll و...

Wilby et al (۲۰۰۱) مدل SDSM را برای ریز مقیاس کردن اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری توسعه داده اند. جی. ال. جانسون^۱ و همکارانشان (۱۹۹۶) از مرکز تحقیقات منابع آب شمالغرب آمریکا دو مدل مختلف تولید داده‌های آب و هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قرار دادند. Wilks و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۸) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی است، ابداع کردند. بابائیان و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین پژوهشی با عنوان «مطالعات مقدماتی و ارزیابی مدل‌های تولید داده، مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان» توسط بابائیان و همکاران (۱۳۸۴) به انجام رسیده است.

در مقاله حاضر از داده‌های سناریوی A1 مدل ECHO_G که هم اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اجراء می‌شود، برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی، با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری، LARS-WG استفاده شده است.

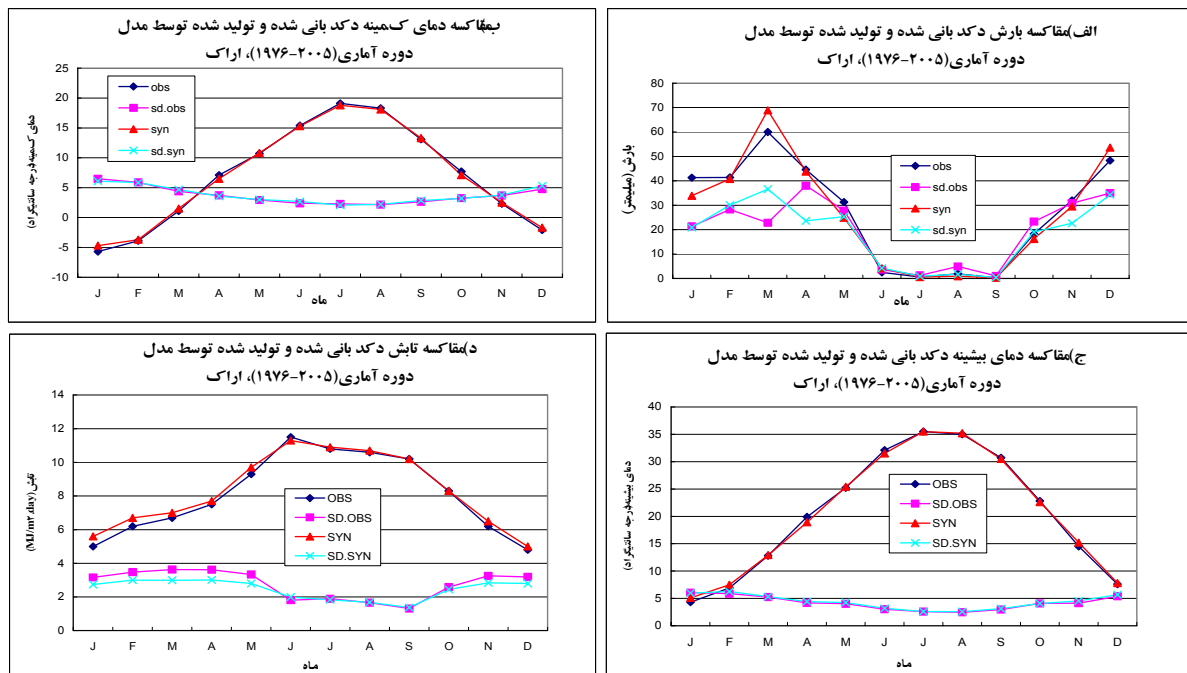
این مطالعه بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور انجام شده است. ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های ناقص قابل توجهی بودند در این تحقیق حذف شدند. با توجه به اینکه طول دوره آماری ایستگاه‌های مذکور یکسان نمی‌باشد لذا دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ به عنوان دوره اقلیم پایه فرض گردید.

معرفی مدل LARS-WG:

یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا LARS-WG است که برای تولید بارش روزانه، تابش، ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. اولین نسخه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس کردن به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد. مدل LARS-WG برای مدلسازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را بکار می‌برد. مبنای این مدل برای مدلسازی طول دوره‌های

خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی می‌باشد. 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 مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم مورد استفاده قرار می‌گیرند. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشد.

این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده، کالیبره کردن مدل، ارزیابی مدل، ایجاد داده‌های هواشناسی. بطورکلی 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 ۳۰ سال داده‌های دیدبانی شده ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولید شده توسط مدل با دو روش نقشه، نمودار و مقایسه آماری انجام شد. برای اینکار یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ تهیه و مدل LARS-WG اجرا گردید. داده‌های دیده بانی و مدل‌سازی شده برای ۴ پارامتر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش و ویژگی‌های آماری آنها شامل انحراف معیار، خطاهای نسبی، انحراف معیار و میزان همبستگی و دیگر آزمون‌ها (Fisher - t-test و خی دو) برای ارزیابی خروجی‌های مدل LARS-WG تهیه شدند و توانمندی مدل برای ایجاد اقلیم گذشته ۴۳ ایستگاه کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ تدوین گردید و با استفاده از رفتار اقلیمی دوره گذشته ایستگاه‌های مورد مطالعه، اقلیم دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ هر کدام از ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور شبیه‌سازی شد. پس از آن موضوع تغییر اقلیم روی پارامترهای دمای حداکثر، کمینه، بارش مورد ارزیابی قرار گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری:

• میانگین بارش

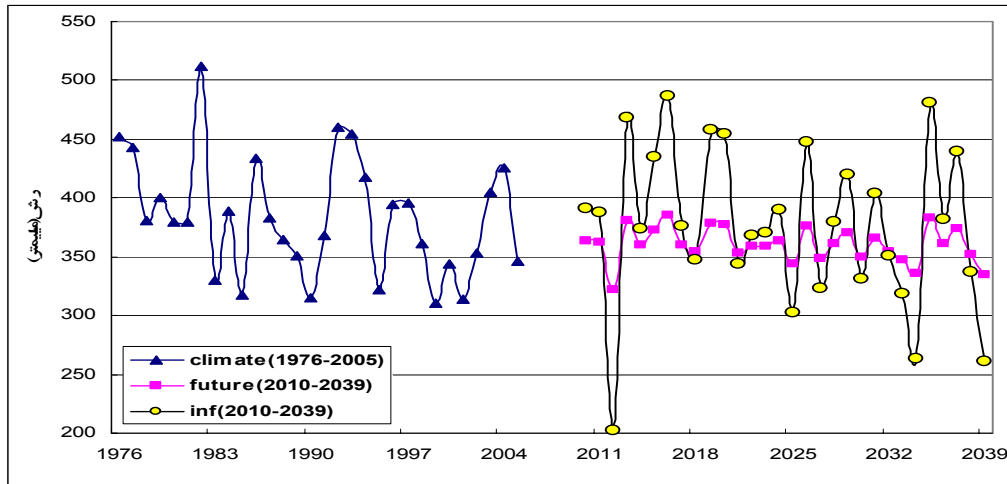
میزان بارش‌های روزانه ۴۳ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (دهه ۲۰۲۰)، با توجه به رفتار اقلیمی آنها در دوره گذشته و همچنین سناریوهای اقلیمی تهیه شده از خروجی مدل‌های ECHO-G، محاسبه گردیدند. سپس با استفاده از روش میانگین‌گیری حسابی بین ایستگاه‌های مذکور مقدار میانگین ماهیانه بارش کشور در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری و همچنین انحراف معیار آنها (جدول ۱) محاسبه شد.

جدول ۱: مقایسه میانگین بارش‌ها و انحراف معیار بارش (میلی متر) در

دوره آماری و دهه ۲۰۲۰ در کشور

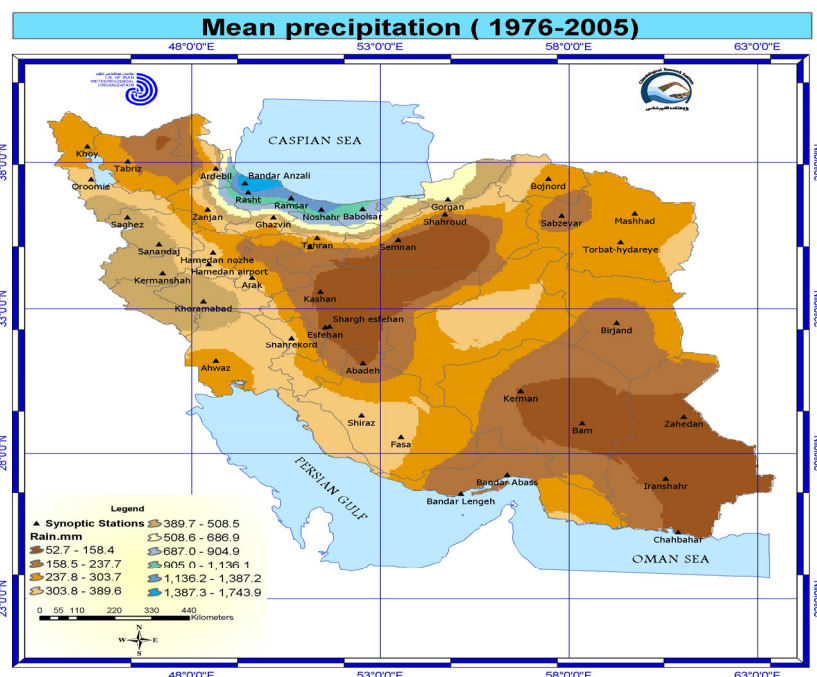
دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	میزان بارش	دوره آماری
۵۰/۸	۴۴/۸	۴۱/۳	۲۲/۱	۱۱	۷/۲	۹/۷	۲۵/۲	۳۸/۱	۵۰/۴	۴۲/۸	۵۰/۵	انحراف معیار	
۱۶/۳	۲۰/۳	۳۱/۲	۲۶/۹	۱۵/۸	۱۱/۶	۱۲/۳	۹/۲	۹/۹	۱۰/۹	۱۲/۲	۱۳/۷	میزان بارش <th rowspan="2">دهه ۲۰۲۰</th>	دهه ۲۰۲۰
۴۵/۲	۴۱/۷	۴۱	۲۱/۷	۹/۶	۷/۷	۹/۱	۲۲	۳۰/۵	۴۹/۲	۴۲/۶	۴۰/۱	انحراف معیار	
۵/۷	۷	۹/۴	۶/۲	۳/۲	۲/۶	۲/۴	۳/۱	۳/۷	۵	۵/۳	۴/۸		

براساس جدول فوق علیرغم کاهش بارش‌های فصل تابستان در کشور، بارش ماه ژوئیه در مقایسه با دوره 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 بارش‌ها در مقایسه با نرمال در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته‌اند. انحراف معیار بارش در تمامی ماه‌های سال روند کاهشی دارد.

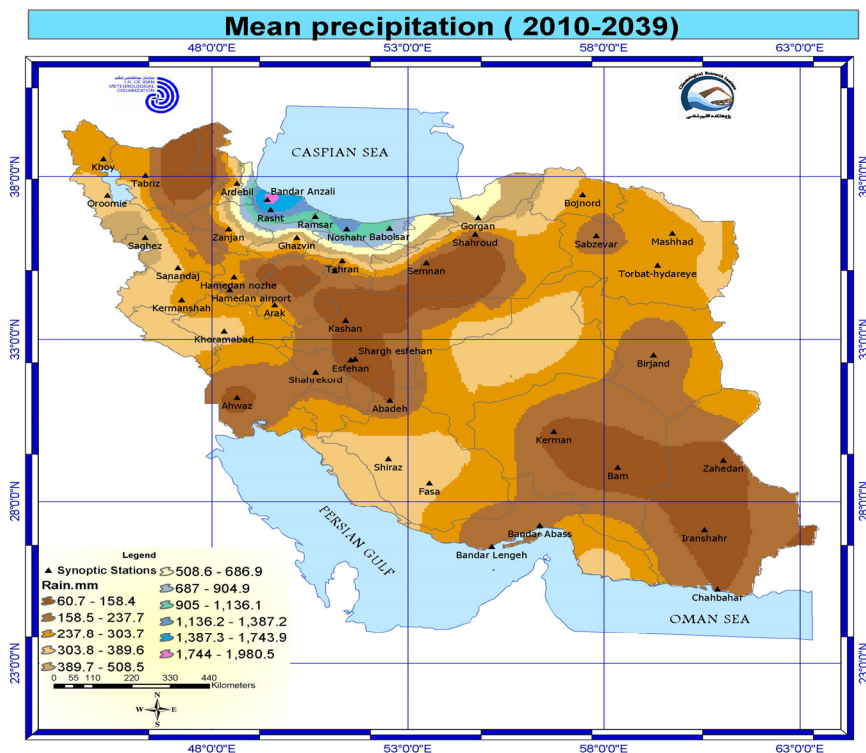


شکل ۲- میانگین بارش سالانه کشور تا سال ۲۰۳۹ میلادی. داده‌های دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مقادیر مدل‌سازی شده می‌باشند.

در شکل ۲ میانگین بارش سالانه کشور تا سال ۲۰۳۹ میلادی دیده می‌شود. داده‌های قبل از سال ۲۰۰۴ از آمار ثبت شده ایستگاه‌ها بدست آمده‌اند و آمار سال ۲۰۱۰ به بعد بر اساس نتایج مدل محاسبه شده‌اند. شکل‌های ۳ و ۴ توزیع مکانی بارش کشور را در دوره‌های ۱۹۷۶-۲۰۰۵ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود در دهه ۲۰۲۰ در 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 نسبت به دوره آماری مشاهده می‌شود.



شکل ۳. میانگین بارش سالانه کشور در دوره (۱۹۷۶-۲۰۰۵)



شکل ۴. میانگین بارش سالانه کشور در دوره (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

• میانگین دما

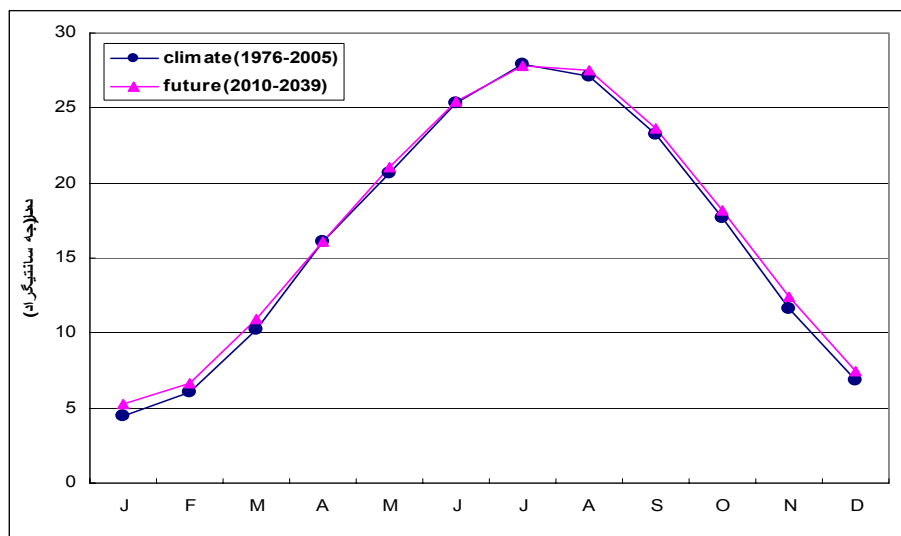
میانگین دمای کشور با استفاده از روش میانگین‌گیری حسابی بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه محاسبه شد. در جدول ۲ میانگین و انحراف معیار دمای کشور در دوره آماری و دهه ۲۰۲۰ آورده شده است. انحراف معیار مقادیر دمای سالانه خروجی‌های مدل GCM در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به نسبت انحراف معیار دوره آماری کاهش یافته است.

جدول ۲. مقایسه میانگین دما و انحراف معیار دما (درجه سانتیگراد) در دوره آماری و

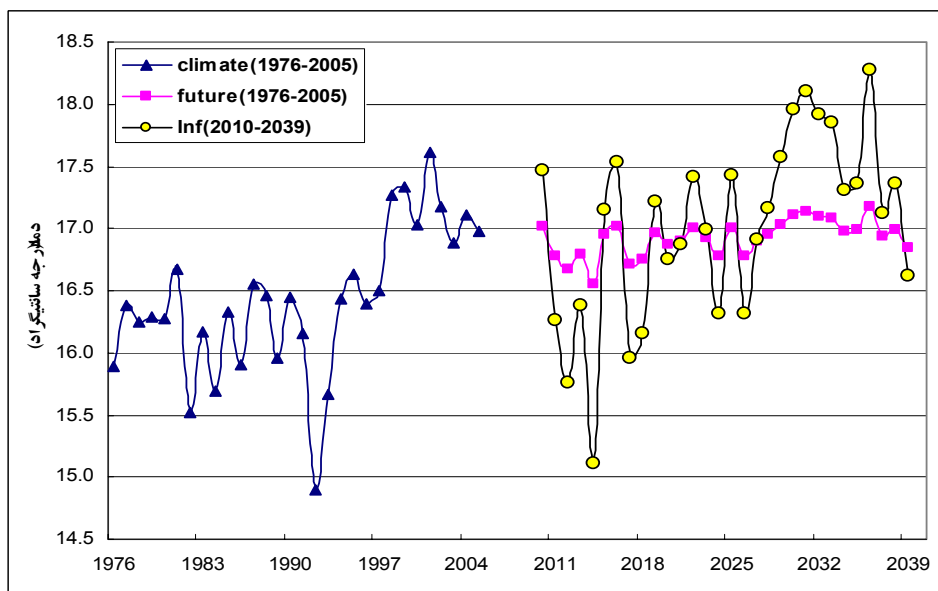
دهه ۲۰۲۰ در ایستگاه‌های منتخب کشور

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	میانگین دما	دوره آماری
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	
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	دهه 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	

نتایج مدل نشان می‌دهند که میانگین دمای کشور در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره آماری به جز ماه‌های آگوست و ژوئیه، در سایر ماه‌های سال افزایش می‌یابد. در ماه‌های آگوست و ژوئیه میانگین دمای کشور تغییری نیافته است. بیشترین افزایش میانگین دما مربوط به فصل زمستان است که به میزان ۰/۷ درجه سانتیگراد می‌باشد. پس از آن فصل پاییز قرار دارد که میانگین دمای آن در مقایسه با دوره آماری ۰/۶ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. به عبارت دیگر افزایش دمای فصل سرد سال بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد. شکل ۵ میانگین ماهانه دمای کشور را در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری نشان می‌دهد.

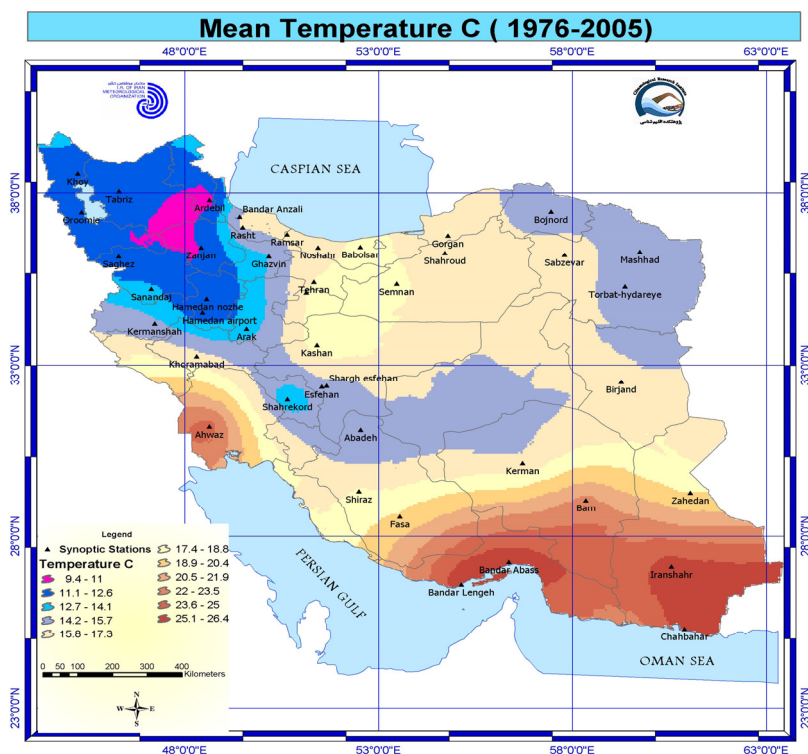


شکل ۵. میانگین ماهانه دمای کشور در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره آماری.

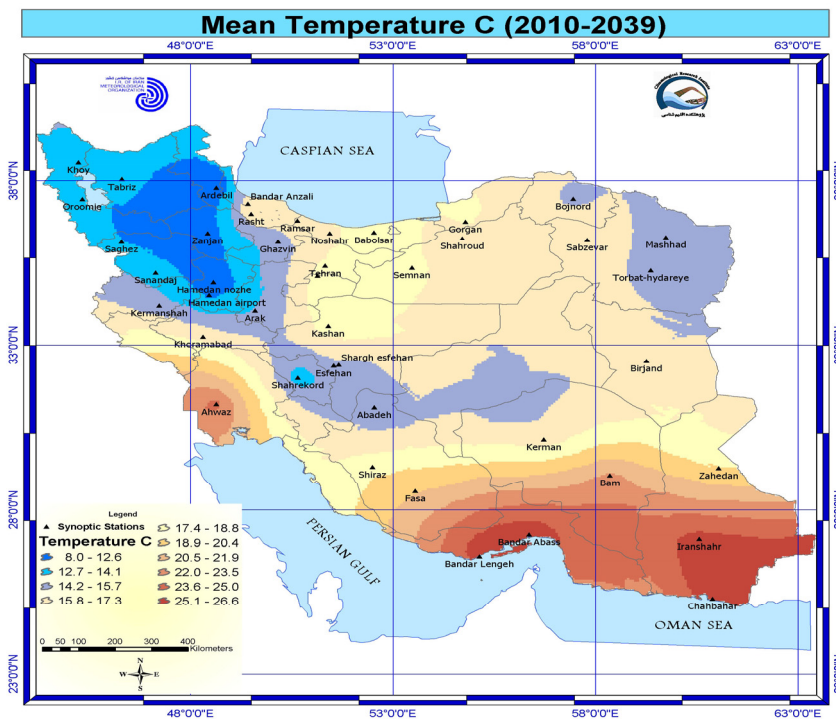


شکل ۶. میانگین دمای سالانه کشور تا سال ۲۰۳۹

توزیع مکانی میانگین دمای کشور در دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و دوره مورد مطالعه (۲۰۱۰-۲۰۳۹) در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است.



شکل ۷. توزیع مکانی میانگین سالانه دمای کشور در دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵)



شکل ۸. توزیع مکانی میانگین بارش سالانه کشور در دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

ملاحظه می‌شود که در دوره مورد مطالعه آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) 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. در مقابل استان‌های اردبیل و خوزستان در دهه ۲۰۲۰ در مقایسه با دوره آماری کاهش دمای جزئی خواهند داشت.

بطور کلی میانگین دمای کشور در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ در مقایسه با دوره آماری ۰/۴ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد.

جمع‌بندی:

در این مقاله خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A 1 به منظور ارزیابی تغییر اقلیم کشور در افق ۱۴۰۰ (۲۰۳۹-۲۰۱۰) بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور ریز مقیاس شدند. برای ریز مقیاس نمایی از مدل آماری LARS-WG استفاده شد. در ابتدا توانمندی مدل LARS-WG بر روی ۴۳ ایستگاه هواشناسی کشور انجام شد. برای اینکار یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ تهیه و مدل LARS-WG بر اساس سناریوی مذکور اجراء شد و توانمندی ایجاد اقلیم گذشته توسط مدل LARS-WG مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده توانمندی بسیار بالای مدل LARS-WG در مدلسازی دمای کمینه و بیشینه و تابش دوره آماری در مقایسه با بارش بودند. مدلسازی بارش ماهانه و انحراف معیار آن هم قابل قبول بودند هر چند انحراف معیار مقادیر مدل شده اغلب کمتر از مقادیر دیدبانی شده بودند. پس از اطمینان از صحت سنجی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه‌های کشور، با استفاده از سناریوهای تدوین شده بر روی ۱۵ شبکه محاسباتی (در مدل ECHO-G)، کشور ایران با ۱۵ شبکه محاسباتی پوشش داده می‌شود) آن برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی اجراء شد که مهمترین نتایج آن بشرح زیر می‌باشد:

- بطور کلی در کل کشور بارش به میزان ۹ درصد کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش در استان‌های واقع در امتداد رشته کوه 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 میلی متر 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.
- میانگین دما در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی بطور متوسط ۰/۵ درجه سانتیگراد در مقایسه با دوره آماری 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. افزایش‌های 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.

مراجع:

- ۱- بابائیان، ۱ و نجفی نیک، ز (۱۳۸۵)، ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده هواشناسی
- ۲- بابائیان، ۱ و نجفی نیک، ز (۱۳۸۶)، معرفی مدل LARS-WG و مطالعه موردی استان خراسان، مجله نیوار، در حال چاپ
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, 98pp.
4. Dubrovsky M., 1998: Estimating climate change impacts on crop yields with use of crop growth model and weather generator. Proc. 14th Conf. Prob. Stat., AMS.
5. Dubrovsky, M., 1996: Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. Meteorological Bulletin 49, 97-105.
6. Dubrovsky, M., 1996: Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, Meteorologickeo Zpravy, Vol49, pp. 12q – 1380.
8. Goodess, C.M., 2000: The Construction of Daily Rainfall Scenarios for Mediterranean Sites Using a Circulation-type Approach to Downscaling, PhD Thesis, University of East Anglia.
9. Harmel,R.D, et.al, 2002: Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temprature With the Normal Distributian, Canadian Society for engineering , 26pp.
10. 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, 1878-1896.
11. Katz, R. W., 1996: Use of conditional stochastic models to generate climate change scenarios, Climate Change 32, 237-255.
12. 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.
13. Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A., 1991: A serial approach to local stochastic models. J. Ecological Modeling 57, 27-41.
14. 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, 83 pp.
15. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002: LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
 16. 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, 95-107.
 17. Thompson, C.S, and Mullan, A.B, 1995: Weather Generators. NIWA Internal report, 115- 120.
 18. Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change*. 22, 67-84.
 19. Wilks, D.S. and Wilby, R.L. 1999: The weather generation game: a review of
 20. stochastic weather models. *Progress in Physical Geography* 23, 329-357.
 21. 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):311-320.

