

ارزیابی تغییرات اقلیم ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۱۰۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده های مدل LARS-WG

دکتر منوچهر فرج زاده^۱، وحید فیضی^۲

۱- دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری جغرافیای دانشگاه تهران

چکیده

استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری در مطالعات برآورد نوسانات اقلیمی این امکان را فراهم ساخته است که بتوان داده‌های آب و هوایی را در مقیاس مکانی و زمانی مناسب تولید کرد. چنین قابلیتی کمک شایانی به مطالعه نوسانات اقلیمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای است. با استفاده از تولید کننده های وضع آب و هوا می توان خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را ریز مقیاس نمود. یکی از این مدل‌ها لارس می باشد. در این تحقیق به بررسی عملکرد مدل لارس در مدلسازی داده های دمای ایستگاه هواشناسی تبریز تحت سناریوی AI توسط الگوی آماری LARS-WG در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۱۰۰ الگوسازی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که به طور کلی عملکرد مدل لارس در مدل سازی متغیرهای هواشناسی تحت بررسی مناسب است و می توان از آن جهت بازسازی داده های ایستگاه ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده ها به دوره آینده بهره جست. نتایج به دست آمده در دو دسته مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا وضعیت و روند تغییرات اقلیم در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۷ به ۴ دوره تقسیم شد و هر دوره به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از افزایش دما در طی دوره های دوم تا سوم نسبت به میانگین دوره را داشت. در دسته دوم به پیش بینی دماهای میانگین حداقل و حداکثر در طی سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ پرداخته شد. نتایج نشان از افزایش شدت و مدت دماها در مقابل میانگین دمای دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۷ را دارند. به طوری که در میانگین حداکثرها نشانی از دماهای زیر صفر درجه دیده نمی شود و گسترش پهنه های بالاتر از صفر درجه و نبود شرایط یخبندان را پیش بینی کرده اند.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، شبیه سازی، ریز مقیاس نمایی، مدل LARS-WG

مقدمه

رشد صنایع و به موجب آن مصرف بیش از حد سوخت های فسی لی از یک سو، و افزایش جمعیت جهان و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵). برای انجام مطالعات تغییر اقلیم منابع مختلف در دوره های آتی، در ابتدا می بایست متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه سازی شوند. بنابراین پیش بینی دراز مدت شرایط آب و هوایی هر منطقه، می تواند راهکار مناسبی برای مقابله با عوارض ناگوار تغییرات آب و هوایی، مانند خشکسالی، سیل و ... باشد (احترامیان، ۱۳۸۳).

مدل مولد اقلیمی، یک مدل عددی است که براساس تعدادی پارامترهای آماری مشخص، سری زمانی پارامترهای اقلیمی را بصورت مصنوعی ایجاد می کند (ریچاردسون، ۱۹۸۱؛ ریچاردسون و رایت، ۱۹۸۴؛ راکسکو و همکاران، ۱۹۹۱).

با توسعه روش‌های عددی در علم هواشناسی، افق جدیدی در پیش بینی های چند روزه، فصلی و دهه ای پدید آمد. در این روش معادلات حرکت هوا با یکسری ساده سازها، به روش تفاضل محدود و بر روی یک شبکه گسترده سه بعدی در اطراف کره زمین حل می شوند. استفاده از این روش در مقیاس هفته‌ای هم اکنون در اکثر مراکز پیش بینی جهانی با قدرت تفکیک کمتر از ۱۰ کیلومتر به موضوعی روزانه و عادی تبدیل شده است. اما استفاده از این روش در مقیاس دهه ای و بالاتر به دلیل محدودیتهای محاسباتی و زمانی، با مشکلاتی مواجه است، بطوریکه در این مقیاس زمانی، محدودیتهای جدی برای تفکیک مکانی مدلها وجود دارد. برای فائق آمدن به نقیصه تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو راهکار وجود دارد که عبارتند از: ریز مقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل‌های آماری و به کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه ای. استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریز مقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است. اما مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری کاربران را قادر می سازد تا خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را به گونه ای ریز مقیاس کنند که داده‌های تولیدی شباهت زیادی با مقادیر داده‌های ثبت شده در یک ایستگاه داشته باشند بنابراین از مهمترین روش‌های آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم، می توان به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی (Weather (WG Generator اشاره کرد. این مدل‌ها ابزاری برای پیش بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه آنها برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی طراحی شده‌اند. این مدل‌ها قادر به تولید داده‌های روزانه از خروجی ماهانه مدل‌های گردش عمومی جو هستند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵)، هر چند ممکن است خطای روزانه مدل‌های Weather Generator از صحت قابل قبولی برخوردار نباشند، اما مشخصه آماری آنها با آنچه که در واقعیت رخ می دهد، بسیار نزدیک 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 (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸، اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

امروزه به کارگیری مدل‌های اقلیمی در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بسیار مورد توجه و رو به گسترش است و محققانی همچون سیروتکنو (۲۰۰۱)، سمنوف و بارو (۱۹۹۷)، بیلی (۱۹۶۴)، هریسون و همکاران (۱۹۹۵)، دونینگ و همکاران (۲۰۰۰)، ویزای و همکاران (۲۰۰۳)، جونز و همکاران (۲۰۰۳)، فینگ میا و همکاران (۲۰۰۷)، آبابایی و همکاران (۲۰۱۰)، برزگر و همکاران (۱۳۸۶) و جعفری مقدم و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از مدل‌های اقلیمی به ارزیابی نوسانات اقلیمی و تأثیرات آن در آینده پرداخته‌اند.

بابائیان و کوان (۲۰۰۴) تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه بر روی پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای حداقل و حداکثر، طول دوره روزهای تر و خشک، طول دره روزهای داغ و یخبندان و روند تغییرات بارش‌های سنگین ده ایستگاه سینوپتیک کشور کره جنوبی انجام گرفت. همچنین پژوهشی با عنوان مطالعه مقدماتی و ارزیابی مدل‌های تولید داده،

مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل سازی دماهای بیشینه و کمینه و انحراف معیار آنها در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه های آتی می باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵ و بابائیان و نجفی، ۱۳۸۵).

در مطالعه حاضر از داده های سناریوی A1 برای ارزیابی تغییرات دمای ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره آماری ۲۰۱۱ تا ۲۱۰۰ با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری با به کارگیری مدل تولید داده LARS-WG استفاده شده است. در نهایت با استفاده از نرم افزار Surfer 9 در سه دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰، ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ و ۲۷۱ تا ۲۱۰۰ به درون یابی و بررسی تغییرات روزانه دما در طی ماه های مختلف صورت گرفته است.

مواد و روشها

معرفی مدل

مدل LARS-WG یک مدل ریزمقیاس نمایی آماری است که مولد مصنوعی داده های آب و هواشناسی است. این مدل می تواند برای شبیه سازی داده های هواشناسی در یک مکان واحد، تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار رود (Semenov et al, 1998). خواص آماری داده های تولید شده مشابه دوره آماری بوده، اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده های مدل GCM در دوره آینده و گذشته پریشیده می شود. این مدل به تهیه میانگین سری های زمانی داده های مصنوعی شبیه سازی شده با مشخصات آماری مطابق با آمار دیده بانی شده در یک ایستگاه می پردازد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. کارایی مدل LARS-WG به وسیله زمنف در سال ۱۹۹۰ در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در امریکا و اروپا و آسیا مورد ارزیابی قرار گرفت (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۹). تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی (Semenov & Barrow, 2002). در این مدل داده های مدل های گردش عمومی جو شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل گردش عمومی جو یک سناریوی خاص مدل LARS-WG تدوین می شود (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). در این مدل از روش زنجیره مارکوف برای مدل سازی بارش استفاده می شود و سری های فوریه، درجه حرارت را تخمین می زنند. درجه حرارت های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرایندهای تصادفی و با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل سازی می شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی بکار می رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده بانی شده بدست می آیند، از طریق تحلیل خود همبستگی زمانی داده های کمینه و بیشینه به دست می آیند (Semenov & Brook, 1998, Semenov & Barrow, 2002).

خلاصه ای از فرایند مدل LARS-WG

در این مدل فرایند تولید داده های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش زیر انجام می گیرد،

- ۱- کالیبره کردن مدل (Site Analysis): در این بخش داده های آب و هوایی دیده بانی شده جهت تعیین خصوصیت آماری شان تحلیل شدند. این اطلاعات در دو فایل مجزا ذخیره شده اند.
- ۲- صحت سنجی مدل (Q test): در این قسمت خصوصیات آماری داده های دیده بانی شده و تولید شده توسط مدل، جهت تعیین اینکه آیا تفاوت های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده ها وجود دارد یا نه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.
- ۳- تولید کننده (Generator): در اینجا داده های آب و هوایی مصنوعی با استفاده از فایل های بدست آمده از داده های آب و هوایی دوره دیدبانی شده تولید می گردد، که دارای خصوصیات آماری مشابه با دوره دیده بانی باشند. (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵).

در نهایت پس از آماده کردن مراحل سه گانه مدل و با رعایت تمام نکات زیر، نرم افزار با توجه به مدل GCM و سناریوی انتشار، به تولید داده های آب و هوایی می پردازد. بنابراین این مدل با دریافت غایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می کند. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده های ماهانه که در بر گیرنده رفتار اقلیم پایه می باشد، تمامی داده های ماهانه را مطابق فرمول:

$$F_{fut} = F_{Obs} + (F_{Gcm}^{fut} + F_{Gcm}^{Obs}) \quad \text{رابطه ۱}$$

پیشیده می کند، که در آن F_{Obs} ، F_{Gcm}^{fut} ، F_{Gcm}^{Obs} ، به ترتیب نشان دهنده ی پارامتر هواشناسی پیش بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیده بانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش بینی شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده بر روی شبکه مدل در دوره گذشته می باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق فرمول:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{Base}^{Obs}}{STD_{Base}^{Gcm}} \times STD_{fut}^{Gcm} \quad \text{رابطه ۲}$$

تغییر می دهد (Babaeian et al, 2004) که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی مورد بررسی است. در نهایت با استفاده از نرم افزار Surfer 9 به درون یابی داده ها در طی روزها و ماه های پرداخته شد و نتایج آنها با داده های مشاهداتی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۷ بررسی گردید.

سناریوهای انتشار

سناریو ها در واقع، تصویری پیشنهادی از آینده ارائه می دهند. به عبارتی سناریوها به ارزیابی پیشرفت های آتی در یک سیستم پیچیده که ذاتاً غیر قابل پیش بینی است، کمک می کنند. بطور کلی، پیش بینی های اقلیمی و ارزیابی های تغییر اقلیم با مشکلاتی چون برآورد سطح انتشار گازهای گلخانه ای و سایر آلاینده ها در دهه های آتی، بزرگ مقیاس

بودن تفکیک مکانی و زمانی مدل های گردش عمومی جو نظایر اینها مواجهاند. مدل های اقلیمی نیاز به زمان زیادی برای ارزیابی، آزمایش و اجرا دارند و ممکن است به ماه ها و سال های زیادی برای طراحی، اجرا و تشخیص مجموعه مناسبی از آزمایش ها نیاز باشد. به علاوه، آنها نیازمند ظرفیت محاسباتی بالایی نیز هستند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). بنا به دلایل یاد شده، مدل های تولید سناریوهای اقلیمی (CSGs) گزینه های مناسبی برای این منظورند، به شرطی که: الف) بتوانند رفتار مدل های پیچیده تر را الگو قرار دهند؛ ب) عدم قطعیت های پیش بینی های اقلیمی را به طور مؤثر و با سرعت کشف کنند؛ ج) به آسانی در بسیاری از مناطق استفاده شوند (شائمی بزرگی، حبیبی نوخندان، ۱۳۸۸).

سناریوی انتشار دربرگیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه ای در اتمسفر کره زمین است. برای تولید این سناریوها روش های مختلفی وجود دارد. نظیر سناریوهای مصنوعی که بر اساس روش های آماری و بر مبنای روند تغییرات اقلیم گذشته تولید می شوند، یا استفاده از مدل های جفت شده اقیانوس - اتمسفر، AOGCM و برخی از مدل های ساده دیگر، معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، استفاده از مدل های سه بعدی AOGCM است (مساح بوانی، ۱۳۸۵).

در سال ۱۹۹۲ اولین سناریوهای انتشار IPCC تحت عنوان IS92 برای استفاده در ورودی مدل های گردش عمومی جو به منظور مدلسازی سناریوهای تغییر اقلیم تدوین شدند. سناریوهای IS92 شامل برآورد جمعیت، تولید ناخالص ملی، مصرف انرژی به تفکیک بخش های تجارت، صنعت، حمل و نقل و مسکونی، تولید انرژی، میزان تولید و مصرف سوخت های ثانوی، میزان تولید انرژی از سوخت های مایع، جامد، گاز هیدروژنی، هسته ای، خورشیدی، بیوماس، مقدار انتشار دی اکسید کربن، منواکسید کربن، اکسید نیترو، اکسیدهای نیتروژن، متان از طریق احتراق، انتشار متان از معادن و بسیاری منابع انتشار گازهای گلخانه ای برای ده منطقه کره زمین شامل آمریکا، غرب اروپا و کانادا، آسیا و آسیای جنوب شرقی، اروپای مرکزی، آسیای مرکزی، آفریقا، خاورمیانه، امریکای لاتین، جنوب و جنوب غرب آسیا و روسیه برای سال های ۱۹۸۵، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵، ۲۰۲۰، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ بود. IPCC در سال ۲۰۰۰ سری جدید سناریوهای انتشار را با عنوان SRES را برای ارائه در سومین گزارش ویژه سناریوهای انتشار تدوین کرد. گروه SRES سه خانواده سناریو با نام های A1، A2، B1، B2 را برای توصیف ارتباط بین فرایندهای تولید کننده گازهای گلخانه ای و آئروسل ها و نحوه تغییرات آنها طی قرن بیست و یکم در مناطق مهم کره زمین به کار گرفت. (Harvey et al, 1997, Houghton et al, 1995).

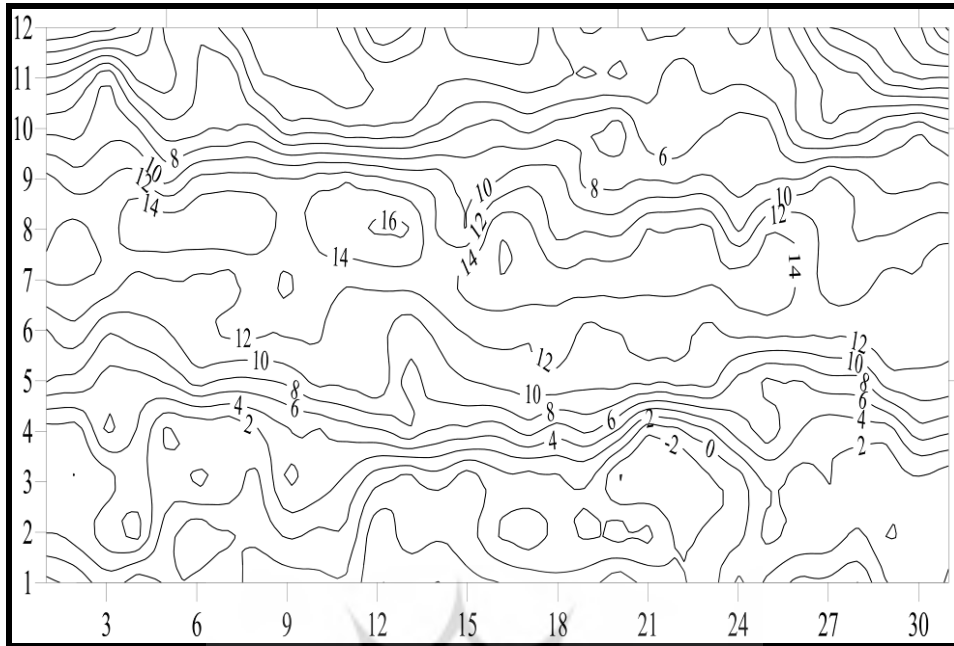
مفروضه های این سناریوها بر اساس رهیافت های محلی و منطقه ای برای اقتصاد، مسائل زیست محیطی، تکنولوژی، میزان جمعیت و مسائل اجتماعی تعریف می شود. به طور کلی بر اساس مفروضات سناریوهای خانواده A، رشد جمعیت تا سال ۲۱۰۰ به حدود ۱۱/۳ خواهد رسید. رشد اقتصادی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ در حدود ۲/۳٪ خواهد بود. بنابراین افزایش جمعیت و رشد اقتصادی سبب تغییر میزان مصرف انرژی در بخش های مختلف خواهد شد، که نهایتاً بر میزان انتشار گازهای گلخانه ای تاثیر خواهد داشت. بر اساس این تغییرات میزان افزایش متوسط دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ در حدود ۳/۹ درجه سلسیوس خواهد بود. این سناریو به دو خانواده A1 و A2 تقسیم می شود. سناریوی خانواده A1 به رشد سریع اقتصادی و افزایش جمعیت و بیشینه استفاده از گازهای گلخانه ای تأکید

دارد و به سه خانواده A1F1، A1T و A1B تقسیم می شود. خط داستانی سناریوهای خانواده A2 بر هویت محلی و حفظ آن تأکید دارد که در نتیجه به افزایش جمعیت منجر می شود. رشد اقتصادی در این سناریو نسبت به سایر سناریوها کندتر و ناقص تر است.

عنصر اصلی سناریوهای خانواده B بر این اصل استوار است که آینده، سطح فزاینده ای از آگاهی های اجتماعی و زیست محیطی در جهت نیل به توسعه پایدار به همراه خواهد داشت و بر این اساس سعی بر پیش بینی ابهامات موجود در آینده دارد. به عبارتی بر اساس سناریوهای این گروه دولتها، بازرگانان، رسانه ها و مردم به سوی حفاظت محیط زیست و تعادل اجتماعی جهت دارند. بر اساس این سناریوها رشد جمعیت تا سال ۲۱۰۰ بطور متوسط به ۹/۴ میلیارد نفر و رشد اقتصادی در حدود ۲٪ افزایش خواهد داشت. سپس این سناریو بر اساس این تغییرات، میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از افزایش مصرف انرژی را مورد ارزیابی قرار می دهد. بر اساس سناریوهای این خانواده، میزان افزایش متوسط دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ حدود ۲/۵ درجه سلسیوس خواهد بود. این سناریو نیز به دو خانواده B1 و B2 تقسیم می شود. در این مطالعه از سناریوی A1 جهت برآورد میزان دما در دوره مطالعاتی استفاده شده است.

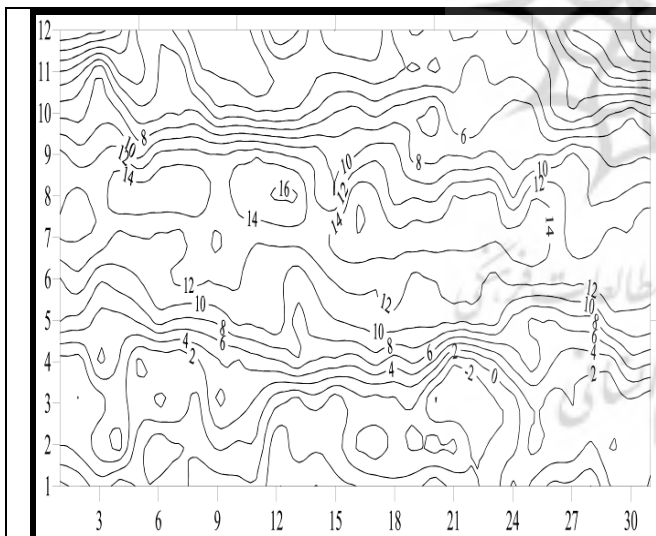
نتایج

در این بخش ابتدا با استفاده از داده های روزانه ایستگاه تبریز به بررسی وضعیت موجود و روند دمای هوا در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۷ گردید. برای این منظور ابتدا داده های مورد مطالعه به طور کلی میانگین گیری گردید و سپس به بررسی دوره ای ۵ ساله داده ها پرداخته شده است. شکل های ۱ تا ۵ نتایج به دست آمده از این بخش از مطالعات را در دوره های ۵ ساله و کلی را نشان می دهد.



شکل ۱: میانگین دمای روزانه ایستگاه تبریز طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۷

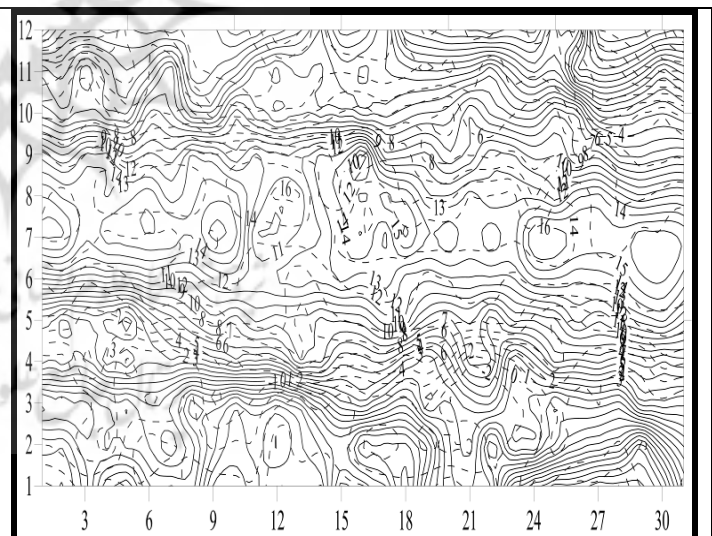
منبع: نگارندگان



شکل ۳: میانگین دمای دوره اول ۱۹۸۷-۱۹۹۱

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: میانگین ۱۹۹۱-۱۹۸۷

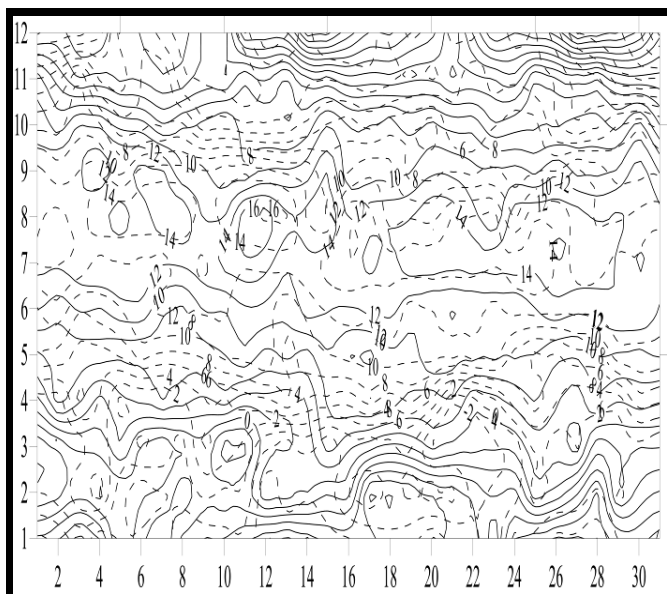
منبع: نگارندگان



شکل ۲: میانگین دمای دوره دوم ۱۹۹۲-۱۹۹۶

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: میانگین ۱۹۹۲-۱۹۹۶

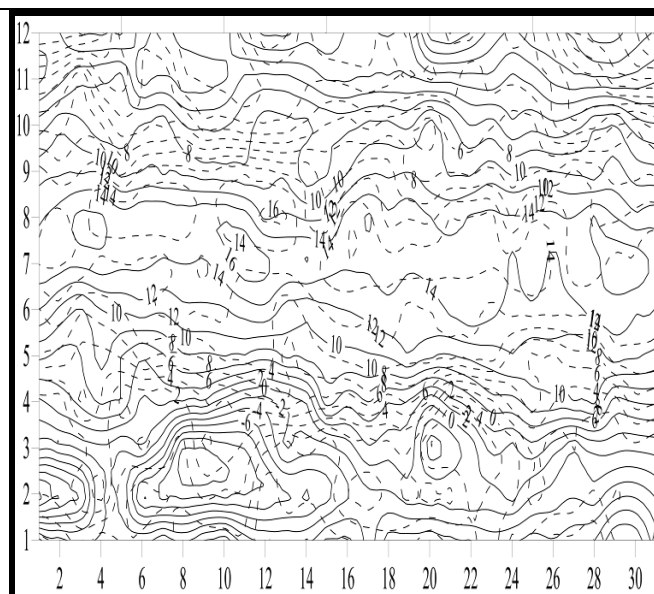
منبع: نگارندگان



شکل ۵: میانگین دمای دوره چهارم ۲۰۰۲-۲۰۰۷

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: میانگین ۲۰۰۲-۲۰۰۷

منبع: نگارندگان



شکل ۴: میانگین دمای دوره سوم ۱۹۹۷-۲۰۰۱

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: میانگین ۱۹۹۷-۲۰۰۱

منبع: نگارندگان

بر اساس شکل های فوق مشاهده می شود که دمای هوا در طی ماه های خرداد تا شهریور بالا است. به عبارتی یگر دوره گرم سال در این ایستگاه از خرداد شروع شده و تا شهریور ادامه دارد. البته بایستی اشاره کرد که در ماه شهریور دماها پایین تر از سه ماه ذکر شده است. در بقیه ماه های سال دما به سمت سرمایش سوق پیدا می کند. با توجه به چنین شکل هایی می توان به تهیه تقویم زراعی و همچنین محدوده های آسایش اقلیمی نیز دست یافت. به طور مثال منحنی صفر درجه که به عنوان منحنی انجماد معروف است در طی دوره مطالعاتی در اوایل ماه یعنی روزهای اول در بهمن ماه دیده می شود. در حالی که دماهای صفر درجه در طی روزهای ۱۸ تا ۲۳ در فروردین ماه نیز دیده می شود. لذا برای انجام عملیات کشاورزی بایست تا ماه اردیبهشت انتظار یخبندان را داشت و از کشت محصولات آسیب پذیر در برابر سرما جلوگیری نمود.

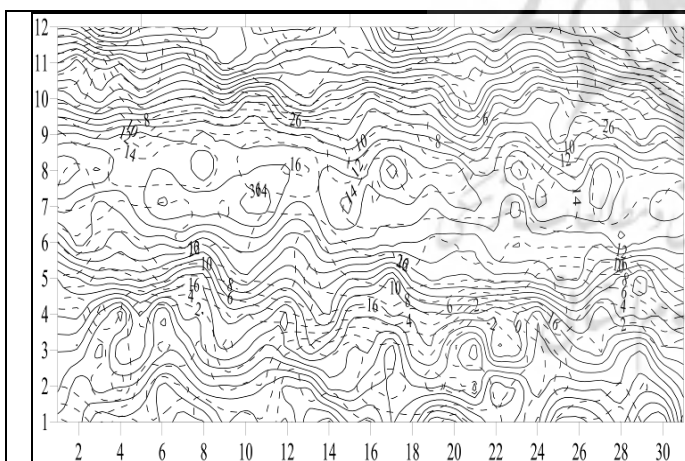
میانگین بلند مدت دما با میانگین دمای دوره اول یعنی ۱۹۸۷-۱۹۹۱ تفاوت خاصی نداشته و میزان دماها تقریباً یکسان هستند. اما این وضعیت در دوره دوم متفاوت تر بوده و با میانگین بلند مدت همخوانی ندارند. یکی از مسائل مورد توجه در مقایسه این دو، فاصله داشتن منحنی های دما در دوره آماری بلند مدت و کم شدن این فاصله ها در دوره آماری ۱۹۹۲-۱۹۹۷ است. این فشردگی منحنی ها در ماه های سوم و چهارم و نهم و دهم به خصوص در اوایل ماه تا روزهای ۱۵ به خوبی مشخص است از طرفی با توجه داده های ثبت شده مشاهده می شود که دوره دوم مطالعاتی دماها نسبت به دوره بلند مدت یک جابجایی کمی را داشته اند. به عنوان مثال خط هم دمای صفر درجه در کمتر در هیچ یک از روزها به فروردین ماه نرسیده و این میزان تا نیمه دوم روزهای اسفند گسترده شده و از آن پس دماها افزایش پیدا کرده اند. لذا اولین تفاوت بین دوره دوم و بلند مدت کاهش گسترش دماهای زیر صفر درجه بوده است.

همانند دوره دوم، دوره سوم مطالعاتی یعنی ۱۹۹۷-۲۰۰۱، شاهد کاهش گسترش دماهای زیر صفر است. این مسئله علاوه بر ابتدای دوره گرم در اواخر دوره گرم نیز مشهود است به طوری که دماهای زیر صفر درجه در ماه های مهر در منطقه کمتر دیده می شود و این مسئله خود افزایش دماها و گسترش پهنه های دمای گرم در محدوده را نشان می دهد. از نکات دیگر شکل میانگین دمای دوره سوم می توان یافت این است که منحنی های دما در ابتدای دوره و انتهای دوره گرم بسیار به هم نزدیکتر شده و در طی دوره گرم از هم فاصله گرفته اند که این مسئله نیز خود گسترش و افزایش دماها را نشان می دهد.

در دوره چهارم مطالعاتی دیده می شود که دماها نسبت به میانگین تفاوت های زیادی داشته و گسترش دماهای بالای صفر درجه در منطقه را شاهد هستیم. در مجموع می توان گفت که دماها در طی دوره آماری روند افزایشی را نشان داده اند. این مسئله را می توان با کاری که فرج زاده و فیضی تحت عنوان "مطالعه تغییر اقلیم در شمال غرب ایران به روش من-کندال" انجام داده اند نیز مقایسه نمود. آنها در نتیجه گیری کلی خود از منطقه و دمای ایستگاه تبریز بیان کرده اند که دماهای این ایستگاه در طی دوره آماری ۱۹۶۹-۲۰۰۵ دارای روند افزایشی بوده است. هر چند این افزایش دارای مقدار کمی بوده است.

پیش بینی

پیش بینی میزان دماها در طی دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ را برای بررسی بهتر به سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ طبقه بندی نموده و دماهای میانگین حداکثر و حداقل را جدا نموده و هر یک از پارامترهای فوق در قالب یک نقشه آورده شده است. شکل های ۶ تا ۸ نتایج حاصل از پیش بینی دماهای حداکثر ایستگاه تبریز را نشان می دهد.

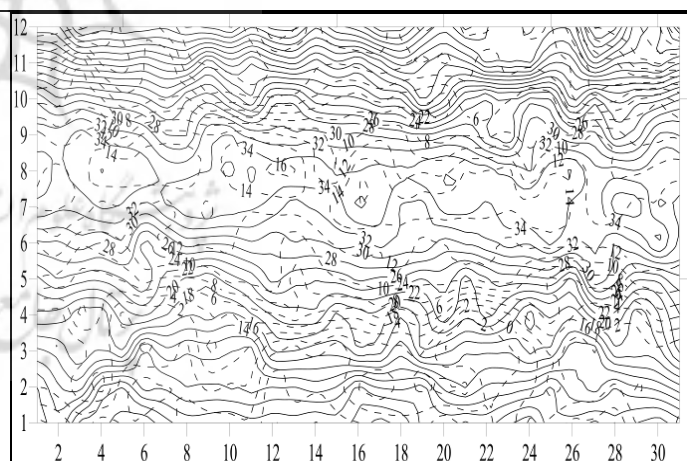


شکل ۷: میانگین حداکثر دمای پیش بینی شده برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷

خط ممتد: حداکثر دمای پیش بینی شده ۲۰۷۰-۲۰۴۱

منبع: نگارندگان

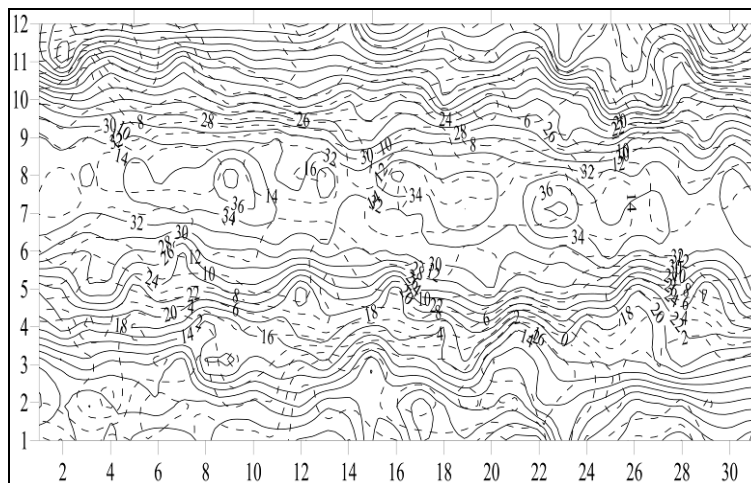


شکل ۶: میانگین حداکثر دمای پیش بینی شده برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷

خط ممتد: حداکثر دمای پیش بینی شده ۲۰۴۰-۲۰۱۱

منبع: نگارندگان

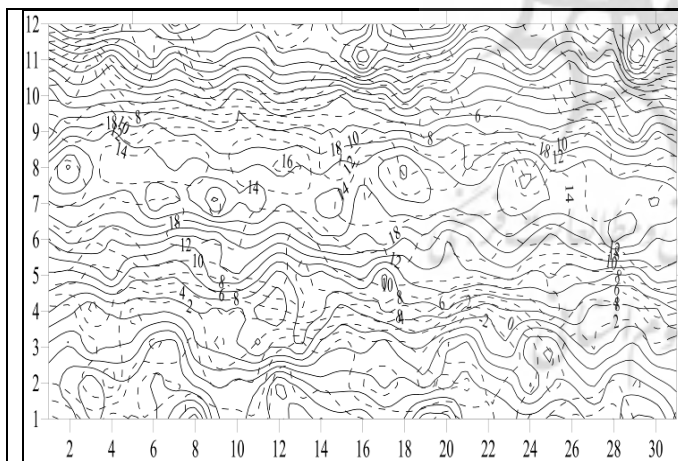


شکل ۸: میانگین حداکثر دمای پیش بینی شده برای دوره ۲۰۰۷-۲۱۰۰

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: حداکثر دمای پیش بینی شده ۲۰۰۷-۲۱۰۰

منبع: نگارندگان

نتایج حاصل از دوره های پیش بینی دمای حداکثر نشان از گسترش دماهای بالا و تا حدودی حذف منحنی دمای صفر درجه دارد. به طوری که در دوره اول به خصوص در ماه های دی، بهمن و اسفند گسترش کمی از دماهای صفر درجه و کمتر از آنها دیده می شود در حالی که در دره دوم تقریباً در میانگین حداکثر دماها، دمای زیر صفر دیده نمی شود و این خود نشانه ای از افزایش دما در محدوده مورد مطالعه است. شکل های ۹ و ۱۰ میانگین حداقل دماهای پیش بینی شده را در طی دو دوره اول و دوم پیش بینی برای ایستگاه تبریز را نشان می دهد.

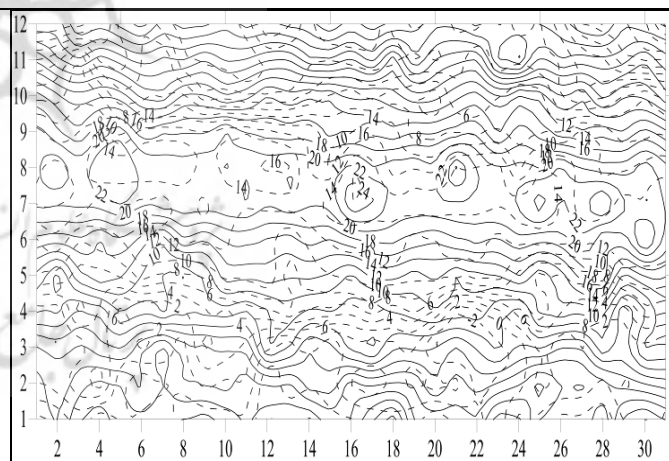


شکل ۱۰: میانگین حداقل دمای پیش بینی شده برای دوره ۲۰۰۷-۲۰۴۱

خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷

خط ممتد: حداقل دمای پیش بینی شده ۲۰۰۷-۲۰۴۱

منبع: نگارندگان



شکل ۹: میانگین حداقل دمای پیش بینی شده برای دوره ۲۰۰۷-۲۰۴۰

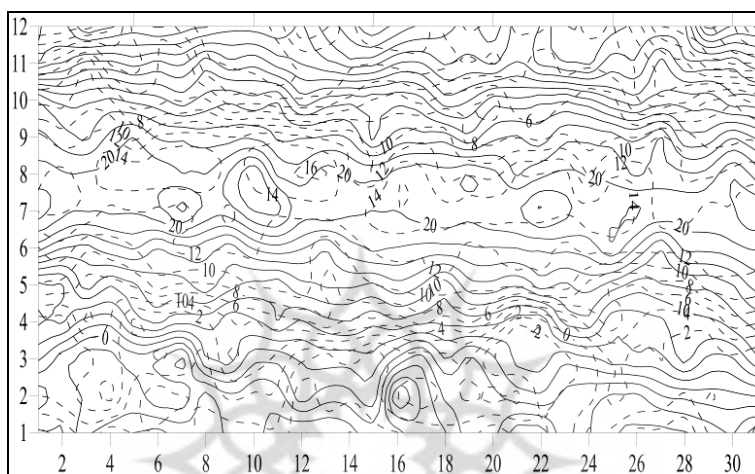
خط چین ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷

خط ممتد: حداقل دمای پیش بینی شده ۲۰۰۷-۲۰۴۰

منبع: نگارندگان

میانگین حداقل پیش بینی شده برای ایستگاه تبریز طی دوره اول یعنی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نشان از افزایش دماها در طی ماه های مختلف دارد. در این پیش بینی مشاهده می شود که حداقل دماها در طی دوره اول از میانگین دوره ۱۹۸۷-

۲۰۰۷ بالاتر قرار دارند. یکی از نکات جالب در فاصله تقریباً مساوی منحنی‌ها در طی ماه‌های دی تا تیر و شهریور تا آذر ماه است. در طی این ماه‌ها تقریباً فاصله منحنی‌های هم‌دما یکسان بوده با یک میزان افزایش پیدا می‌کنند. اما در ماه‌های تیر تا شهریور وضعیت متفاوت بوده بیشتر شاهد منحنی‌های هم‌دما بسته هستیم. اما در دوره دوم پیش‌بینی چنین نظمی در گسترش منحنی‌های هم‌دما وجود ندارد و میانگین دماهای حداقل در ماه‌های ابتدایی دوره سرد و انتهای دوره گرم از هم فاصله کمتری دارند و به سمت دوره گرم سال منحنی‌ها از هم فاصله می‌گیرند. شکل ۱۱ نتایج حاصل از پیش‌بینی دمای میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز برای دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: میانگین حداقل دمای پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰

خط چین‌ها: میانگین ۱۹۸۷-۲۰۰۷ خط ممتد: حداقل دمای پیش‌بینی شده ۲۰۷۱-۲۱۰۰

منبع: نگارندگان

همچنان‌که در شکل ۱۱ مشخص است، میزان میانگین دمای ثبت شده در طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۷ با میانگین حداقل دمای پیش‌بینی شده دارای تفاوت‌های زیادی است. اولین تفاوت در میزان دماهاست. دمای میانگین حداقل پیش‌بینی شد بیش از دمای میانگین دوره مطالعاتی است. لذا می‌توان نتیجه گرفت دماها در طی دهه‌های آینده افزایش خواهند یافت. از طرفی دیگر گسترش پهنه‌های دمایی کمتر از صفر درجه نسبت به دوره مطالعاتی محدودتر شده است. لذا علاوه بر افزایش شدت دماها می‌توان افزایش مدت دماها را نیز انتظار داشت.

نتیجه‌گیری

به منظور ارزشیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه تبریز و لحاظ نمودن آن در برنامه ریزی‌های بلندمدت، مطالعات تغییرات اقلیمی این ایستگاه طی دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰ میلادی با استفاده از مدل **LARS-WG** و همچنین استفاده از نرم‌افزار **Surfer** در ترسیم نقشه‌های آن در طی ماه‌ها و روزهای سال بررسی شد. در این مقاله همچنین توانمندی مدل لارس در پیش‌بینی داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه تبریز مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بطور کلی نشان داد که مدل لارس توانمندی خوبی در شبیه‌سازی سری زمانی متغیرهای هواشناسی را دارد.

نتایج به دست آمده در دو دسته مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا وضعیت و روند تغییرات اقلیم در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۷ به ۴ دوره تقسیم شد و نهر دوره به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از افزایش دما در طی دوره های دوم تا سوم نسبت به میانگین دوره را داشت.

در دسته دوم به پیش بینی دماهای میانگین حداقل و حداکثر در طی سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ پرداخته شد. نتایج نشان از افزایش شدت و مدت دماها در مقابل میانگین دمای دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۷ را دارند. به طوری که در میانگین حداکثرها نشانی از دماهای زیر صفر درجه دیده نمی شود و گسترش پهنه های بالاتر از صفر درجه و نبود شرایط یخبندان را پیش بینی کرده اند.

بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق عباسی و همکاران (۱۳۸۹) تحت عنوان ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN، مشاهده می شود که این محققان نیز افزایش دمای ۳ تا ۳/۶ درجه ای دما در ایران را پیش بینی کرده اند. همچنین بابائیان و همکاران (۱۳۸۵) طی تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹ تا ۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، بیشترین افزایش دما در طی دوره آماری خود را در شمال غرب عنوان نموده اند. لذا نتایج به دست آمده از این تحقیق نیز نتایج قبلی محققان فوق را تایید می نماید. علاوه بر این نیز در این تحقیق به تفکیک ماه و سال می توان دماهای پیش بینی شده را مشاهده نمود از آنها در تهیه تقویم زراعی، توریسم، انرژی و سایر اهداف دیگر بهره جست و در برنامه ریزی ها به چنین مسائلی توجه نمود.

منابع:

- ۱- آبابایی، بهنام و فرهاد میرزایی و تیمور سهرابی (۱۳۸۹): ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه ساحلی ایران، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، پاییز و زمستان.
- ۲- احترامیان، کمال و عباس شهابفر و امین علیزاده (۱۳۸۳): ارزیابی پدیده انسو بر رژیم بارش در استان خراسان، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۳.
- ۳- اسماعیلی، رضا و مجید نوخندان و غلامعباس فلاح قاهر (۱۳۸۹): ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی مطالعه موردی: خراسان رضوی، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۶۹-۸۲.
- ۴- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک و فاطمه زابل عباسی و مجید حبیبی نوخندان و حامد ادب و شراره ملبوسی (۱۳۸۸): ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹ تا ۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، سال هفتم، شماره ۱۶، صص ۱۳۵-۱۵۲.

۵- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک (۱۳۸۹): تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۰-۳۹ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان.

۶- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک (۱۳۸۵): معرفی و ارزیابی مدل لارس برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره 1961-2003، مجله نیوار، شماره 62 و 63، پاییز و زمستان ۱۳۸۵ ص ۶۵-۴۹.

۷- عباسی، فاطمه و ایمان بابائیان و مجید حبیبی نوخندان ولیلا گلی مختاری و شراره ملبوسی و شمس اله عسکری (۱۳۸۹): ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده، با کمک مدل M-SCENGEN، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۹۱-۱۰۹.

۸- مساح بوانی، علیرضا (۱۳۸۵): ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان، پایان نامه دکتری دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر سعید مرید.

- 9- 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.
- 10- Bailey R.G., 1989, *Ecoregions of the continents*. USDA Forest Service Washington DC.
- 11- Downing T.E. Harrison P.A. Butterfield R.E. and Lonsdale K.G., 2000, *Climate Change Climatic Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment*. Environmental Change Institute University of Oxford.
- 12- Fengmei Yao, Yinglong Xu, Erda Lin, Masayuki Yokozawa, Jiahua Zhang, 2007, *Assessing the Impacts of Climate Change on Rice Yields in the Main Rice Areas of China*, *Climatic Change*, 80, pp. 395-409.
- 13- Harrison P.A. Butterfield R.E. and Downing T.E., 1995, *Climate Change and Agriculture in Europe: Assessment of Impacts and Adaptations*. Environmental Change Unit Research Report No. 9 Environmental Change Unit University of Oxford.
- 14- Harvey, L.D.D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., Lal, M., Leemans, R., Raper, S.B.C., Wigley, T.M.L. and de Wolde, J., 1997, *An introduction to Simple Climate models used in the IPCC Second Assessment Report: IPCC Technical Paper 2* (eds J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs and M. Noguer), Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, pp. 50.
- 15- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg A. and Maskell K., eds, 1996, *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, New York, pp. 572.
- 16- Jones P.D., Lister D.H., Jaggard K.W., Pidgeon J.D., 2003, *Future Climate Impact on the Productivity of Sugar Beet in Europe*, *Clim Change* 58, pp. 93-108.
- 17- Racsco P. Szeidl L. Semenov M., 1991, *A serial approach to local stochastic weather models*. *Ecological Modeling* 57(1991):27-41.
- 18- Richardson C.W., 1981, *stochastic simulation of daily precipitation temperature and solar radiation*. *Water Resources*, 17:182-190.

- 19-Richardson C.W. Wright D.A., 1984, WGEN: A model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture Agricultural Research Service ARS-8, USDA Washington DC.
- 20-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.
- 21-Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W., 1998, Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates, *Climate Research* 10 pp. 95-107.
- 22-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 diver's climates*. *Climate Research* 10, 95-107.
- 23-Sirotekno, O., 2001, The Global Greenhouse Effect, Agro Ecosystems and the Future of Agriculture, WMO, CAGM report, NO 77 b.
- 24-Weiss A., Hays J., Won J., 2003, Assessing Winter Wheat Responses to Climate Change Scenarios: A Simulation Study in the US Great Plans, *Clim Chang* 58:119–147.

