

## تأثیرات تغییر اقلیم بر پهنه بندی اقلیمی استان گلستان با روش دمارتن گسترش یافته

خلیل قربانی<sup>۱\*</sup>، مهرناز بذرافشان دریاسری<sup>۲</sup>، مهدی مفتاح هلقی<sup>۳</sup>، نودر قهرمان<sup>۴</sup>

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، منابع آب دانشگاه گرگان

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب شده تا آب و هوای کره زمین تحت تأثیر قرار گرفته و تغییراتی در پهنه‌های اقلیمی به وجود آورد. مطالعه حاضر با هدف بررسی این تغییرات در استان گلستان با تنوع اقلیمی زیاد، بر اساس شاخص طبقه بندی دمارتن گسترش یافته انجام شده است. بدین منظور از داده‌های بارش سالانه ۶۰ ایستگاه و نیز دمای حداکثر و حداقل روزانه ۲۲ ایستگاه هواشناسی در سطح استان طی دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۰ به عنوان داده‌های اقلیمی دوره پایه و مشاهداتی استفاده شد و نیز با استفاده از مولد داده LARS-WG بر اساس خروجی مدل HADCM3، تحت سناریوهای مختلف A2، A1B و B1، داده‌های بارش و دما طی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تولید شدند. برای هر کدام از این سری داده‌ها، میانگین درازمدت بارش سالانه، میانگین درازمدت دمای سالانه و میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال استخراج گردید و با آزمون کردن روش‌های مختلف درونیابی، بهترین روش استخراج و مبنای انجام درونیابی قرار گرفت. با بکارگیری روش دمارتن گسترش یافته، پهنه‌های اقلیمی هر یک از سری داده‌ها به تفکیک ترسیم شدند. طبق نتایج حاصله، روش کریجینگ نسبت به دیگر روش‌ها با خطای کمتری بارش را درونیابی می‌کند. از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نیز برای پهنه‌بندی دما استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم بارش و دما در استان گلستان افزایش می‌یابد اما مقدار آنها در دوره‌های مختلف متفاوت است بطوری که در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱) افزایش بارش بر دما برتری دارد و باعث مرطوب‌تر شدن اقلیم‌ها می‌شود ولی در دوره اقلیم آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) افزایش دما اثر بیشتری دارد و باعث گرم و خشک‌تر شدن اقلیم‌ها می‌شود. از بین سناریوهای اقلیمی، سناریوی A2 شرایط به مراتب نامطلوبتری را برای استان گلستان تصویر نمود و بر اساس نتایج حاصله، اقلیم نیمه‌خشک گرم که تاکنون در استان وجود نداشته است در دوره اقلیمی آینده دور، این اقلیم در سناریوی A2 برای ۵ درصد مساحت استان پیش‌بینی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: LARS-WG، HadCM3، دمارتن گسترش یافته، تغییر اقلیم، پهنه‌بندی اقلیمی، استان گلستان.

### مقدمه

چند پارامتر اقلیمی باشند. از مهمترین این پارامترها می‌توان به بارش و دما اشاره کرد که در طبقه‌بندی‌های اقلیمی مختلف از جمله روش دمارتن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، از دو پارامتر میانگین درازمدت بارش سالانه و میانگین درازمدت دمای سالانه استفاده می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که دو پارامتر مذکور و به طبع آن، نمایه طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن نیز دستخوش تغییراتی شده است. در بیشتر نقاط کره زمین بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای دمای هوا رو به افزایش بوده و طبق گزارش هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم، غلظت گازهای گلخانه‌ای از ۲۸۰ پی.پی.ام در سال ۱۷۵۰ به ۴۰۰ پی.پی.ام در سال ۲۰۱۵ رسیده و در صورت ادامه این روند،

اقلیم بیانگر شرایط متوسط درازمدت عوامل جوی در یک محل معین، صرفنظر از لحظه وقوع آنها می‌باشد. در یک تعریف جامع می‌توان گفت که اقلیم مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی است که وضعیت جوی یک منطقه را مشخص کرده و بر موجودات آن منطقه تأثیر می‌گذارد. برای شناخت اقلیم، از مجموعه قواعدی استفاده می‌شود که مناطق با آب و هوای مشابه را در یک گروه قرار می‌دهد که از آن به طبقه‌بندی اقلیمی یاد می‌شود. این طبقه‌بندی‌ها می‌توانند براساس یک یا

غلظت این گاز تا پایان قرن ۲۱ از ۶۰۰ پی.پی.ام نیز تجاوز خواهد کرد (IPCC, 2007). گازه‌های گلخانه‌ای امواج گرمایی فروسرخ گسیل شده از سطح زمین را جذب می‌کنند و بخشی از آن را دوباره به سطح زمین بر می‌گردانند. این عمل باعث برهم زدن توازن گرمایی و در نتیجه گرم‌تر شدن زمین می‌شود. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم، شواهد موجود نشان داده است که دمای هوای کره زمین طی صد سال گذشته به طور متوسط ۰/۳ تا ۰/۶ درجه افزایش یافته است. گرمایش جهانی با تحت تأثیر قرار دادن گردش عمومی جو، باعث ایجاد تغییراتی در دمای هوا و نیز مقدار، شدت، مدت و زمان وقوع بارشها و برخی پارامترهای هواشناسی دیگر گردیده و این تغییرات، با ایجاد تغییراتی در اقلیم مناطق مختلف، همراه بوده است. به عنوان نمونه، در ارتباط با آشکارسازی روند تغییرات بارش می‌توان به افزایش روند میزان بارش در آرژانتین (Viglizzo *et al.*, 1995)، استرالیا (Suppiah and Hennessy, 1998)، نیوزلند (Plummer *et al.*, 1999) و کاهش روند میزان بارش در روسیه (Gruza *et al.*, 1999)، ترکیه (Turke, 1996)، آفریقا (Hess *et al.*, 1995) و چین (Zhai *et al.*, 1999) و در کشور ما نیز به کاهش روند میزان بارش در حوضه زاینده‌رود (Massah Bavani and Morid, 2006) و کاهش بارش در فصول زمستان و بهار و افزایش آن در فصول تابستان، پاییز و نیز در مقیاس سالانه در شهر تبریز (Khorshid Doust and Ghavidel Rahimi, 2006) اشاره کرد. در ارتباط با روند تغییرات دمای هوا نیز می‌توان از افزایش میانگین دمای فصلی در شهرهای بزرگ ایران طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با کمترین مقدار روند در زمستان نسبت به بقیه فصل‌های سال (Sabohi and Soltani, 2009)، افزایش دمای سالانه در استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ (Abassi *et al.*, 2010)، افزایش دمای حدی در چند نمونه اقلیمی ایران طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۶۱ (Varshavian *et al.*, 2011) و افزایش دمای تبریز در کلیه مقاطع ماهانه، فصلی و سالانه (Khorshid Doust and Ghavidel Rahimi, 2006) طی دوره‌های آینده نام برد. هر چند در مورد سایر عوامل دمایی نظیر دمای نقطه شبنم، روند تغییرات آن در سه دهه گذشته از قانونمندی چندان مشخصی در اقلیمهای مختلف ایران برخوردار نبوده است (Gharekhani and Ghahreman, 2010).

با در نظر گرفتن جو زمین به عنوان یک سیال و حل معادلات پیوستگی دینامیک سیال جو در مقیاس‌های گسسته زمانی و مکانی، می‌توان گردش عمومی جو را مدل کرد. این مدل‌ها مجموعه معادلاتی هستند که معرف قوانین فیزیکی-

دینامیکی و آماری حاکم بر جو هستند و به منظور مطالعه رفتار جو یا اقلیم در زمان‌های مختلف تدوین می‌گردند و قادرند اقلیم حال حاضر کره زمین را شبیه‌سازی کنند و تغییرات اقلیمی آینده را پیش‌بینی کنند (Xu, 1999). در ارتباط با مدل‌های اقلیمی و ریزمقیاس نمایی خروجی‌های آنها نیز مطالعات زیادی انجام شده است که می‌توان به عنوان نمونه‌های شاخص به موارد زیر اشاره کرد. در تحقیق که توسط Ghorbani (2014) به انجام رسیده است وی به ارزیابی مدل‌های داده‌کاوی در ریزمقیاس نمایی بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی NCEP در کرمانشاه پرداخت و سه روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، درخت تصمیم (M5) و نزدیکترین همسایه k (KNN) را در ریزمقیاس نمایی بارش مقایسه کرد. نتایج وی نشان داد که بارش شبیه‌سازی شده با این سه روش از میانگین و انحراف معیار کمتری نسبت به داده‌های مشاهداتی برخوردار هستند و مقادیر حدی را نمی‌توانند به خوبی پیش‌بینی کنند. با این وجود روش KNN نسبت به دیگر روش‌ها، نتایج بهتری را ارائه می‌کند. مطالعه Meshkatee *et al.* (2010) نیز در رابطه با ریزمقیاس نمایی با مدل LARS-WG به بررسی عملکرد این مولد در تولید داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ پرداخته و ایشان عملکرد مدل را در مجموع رضایت‌بخش گزارش کردند. همچنین، Bahri *et al.* (2013) در پژوهشی، اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه اسکندری در استان اصفهان را برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ توسط مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند بارش سالانه در این حوضه به میزان ۷/۲٪ افزایش خواهد یافت. تحقیق Ghorbani and Soltani (2014) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا معطوف بوده و آنها نتیجه گرفتند که طی ۳۰ سال آینده با افزایش دما، طول دوره رشد سویا تا حدود ۱۰ روز کاهش می‌یابد ولی عملکرد این محصول تغییر معنی‌داری ندارد. همچنین، Ghorbani and Valizadeh (2014) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی در ایستگاه‌های مشهد و قزوین نتیجه گرفتند که تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم، اولین یخبندان و سرمای پاییزه و آخرین یخبندان و سرمای بهاره، زودتر رخ خواهد داد و طول دوره یخبندان و سرما کاهش خواهد یافت. طی مطالعه ای، Ebrahimpour *et al.* (2014) با بکارگیری خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، B1 و استفاده از مدل SIMETAW نشان دادند که در دوره ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰، در چهار ایستگاه بوشهر، مشهد، تبریز و زاهدان، نرخ تبخیر-تعرق مرجع نسبت به دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ بین ۴ تا ۸ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین، قابلیت

پهنه‌بندی اقلیمی استان گیلان توسط Lashany Zand *et al.* (2010) با بکارگیری روش‌های کلاسیک مانند کوپن، دمارتن، آمبرژه، و ایوانف اشاره کرد. با توجه به نقطه ضعفی که در نمایه اقلیمی دمارتن به لحاظ طبقه‌بندی نکردن وضعیت دمایی منطقه وجود داشت، این روش بر اساس میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال توسط Khalili (1973) توسعه داده شد و دمارتن گسترش‌یافته نام گرفت. از این روش، Mohammadi and Husseini Sadr (2010) برای بررسی پراکندگی جغرافیایی اقلیم‌ها از دیدگاه کشاورزی در استان آذربایجان غربی، به عنوان روش طبقه‌بندی اقلیمی - کشاورزی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که شش نوع اقلیم متفاوت از نیمه‌خشک فراسرد تا خیلی مرطوب سرد در این استان قابل تشخیص هستند. در تحقیق حاضر، از روش طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته به دلیل قابلیت دسترسی و تولید داده‌های مورد نیاز آن برای دوره‌های اقلیمی آینده و همچنین امکان تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

استان گلستان در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. این استان با مساحت ۲۰۴۳۸ کیلومترمربع، تشکیل دهنده ۱/۳ درصد مساحت کل کشور و ۱۱/۷ درصد از مساحت حوضه دریای خزر است و در شمال ایران، بین ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده و از تنوع اقلیمی خوبی برخوردار است و از آن به عنوان یکی از نواحی اکوتوریسم ایران یاد می‌کنند. میزان بارندگی سالانه در نقاط مختلف استان بین ۱۹۲ تا ۹۶۲ میلی‌متر در نوسان می‌باشد و میانگین آن در سطح استان ۵۳۰ میلی‌متر است. مطالعه حاضر بر اساس داده‌های بارش روزانه ۶۰ ایستگاه و داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه ۲۲ ایستگاه هواشناسی استان که دارای آمار کاملی در دوره مشاهداتی ۱۹۸۲-۲۰۱۰ بودند، انجام شد.

### مدل مولد داده LARS-WG

تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت تأثیر قرار خواهد داد و عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (Karamooz and Araghinejad, 2006). در مطالعات تغییر

مولد هواشناسی موجود در مدل اخیر در تولید داده‌های دما به تأیید رسید. علاوه بر استفاده از مولدهای هواشناسی رایج، رهیافت‌های دیگری از جمله فنونی مبتنی بر الگوریتم نزدیکترین همسایه K، روش‌های تناسبی، باز نمونه‌گیری هدفمند و زنجیره مارکف پنهان نیز مورد استفاده محققان بوده است (Ghamghami and Ghahreman, 2012؛ Ghamghami *et al.*, 2014). برای پهنه‌بندی اقلیمی لازم است تا پارامترهای اقلیمی محاسبه شده در ایستگاه‌های هواشناسی درون‌یابی شوند. در این زمینه نیز مطالعات فراوانی انجام شده است به عنوان مثال Goovaerts (2000) در کشور پرتغال، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را برای برآورد بارندگی سالانه ۳۶ ایستگاه کلیماتولوژی بررسی کرد و روش کریجینگ مناسب‌تر شناخته شد و یا Gundogdu and Esen (2010) نیز سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را برای پهنه‌بندی میانگین ۲۵ ساله بارش سالانه در ترکیه بررسی کردند. آنها با محاسبه ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و مشاهده شده، نتیجه گرفتند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با ضریب تبیین ۸۶ درصد در مقایسه با روش کریجینگ و کوکریجینگ به ترتیب با ضرایب تبیین ۵۱ و ۶۷ درصد، عملکرد مطلوبتری دارد. در مطالعه دیگری، Asakereh (2008) با عنوان کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، این روش را روشی دقیق و پرکاربرد معرفی کرده است. همچنین، Farahmand *et al.* (2010)، برآورد توزیع مکانی بارندگی در حوضه سد درود زن را با استفاده از GIS بررسی کردند و با مقایسه و ارزیابی روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله، برتری روش کریجینگ نسبت به روش وزنی عکس فاصله را گزارش کردند. تحقیق Ghorbani and Agha Shariatmadari (2014) در بررسی تأثیر گرادپان‌های موضعی در افزایش دقت درون‌یابی داده‌های اقلیمی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، نشان داد که نتایج درون‌یابی به کمک روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درون‌یابی اختلاف معنی‌داری دارد. آنها با در نظر گرفتن میانگین ۳۰ ساله دمای هوا و رطوبت نسبی ۲۴۰ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی در ایران، دقت این روش را با سایر روش‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی این دو پارامتر اقلیمی ارزیابی کردند. بنابراین، این روش مناسب‌ترین روش در ترسیم نقشه‌های هم‌دمای سالانه توسط آنها، معرفی گردید.

در ارتباط با بکارگیری طبقه‌بندی‌های اقلیمی نیز می‌توان به پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین با بکارگیری روش‌های دمارتن و کریمی توسط Kakavand and Najaf Abadi (2008) و

معیارهای ارزیابی، مناسبترین روش برای درونیابی بارش شناسایی گردید. برای درونیابی دما نیز با مبنا قرار دادن نتیجه پژوهش Ghorbani and Agha Shariatmadari (2014)، از روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) استفاده شد. در ادامه به معرفی این روشها پرداخته می شود.

**روش وزنی عکس فاصله:** مقدار یک متغیر در نقطه ای که نمونه برداری انجام نشده باشد از روی نقاط مجاورش با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده می شود:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^a}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^a}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:  $Z^*$ : مقدار برآورد شده بارش،  $Z_i$ : مقدار مشاهده شده بارش در اطراف نقطه مورد نظر،  $d_i$ : فاصله بین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین،  $a$ : عدد صحیحی (بین ۱ تا ۵) و  $n$ : تعداد نقاط مشارکت داده شده در درونیابی است.

**روش اسپیلاین:** اسپیلاینها، توابع پیچیده ای شامل قطعاتی از چند جمله هایی با درجات مختلف بین هر دو نقطه از فضا هستند که در محل اتصالات، نرم شده اند. اسپیلاینها یکی از بهترین روشها برای نشان دادن تغییرات تدریجی سطوح مانند ارتفاع، عمق سطح ایستابی یا غلظت آلودگی می باشد. نتیجه درونیابی با این روش، سطحی نرم و هموار می باشد (Aghdasi, 2004).

در روش اسپیلاین، نقاط مجهول بر اساس معادله زیر تخمین زده می شوند:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_i \varphi(\|s_i - s_o\|) + w_{n+1} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:  $\varphi(r)$ : تابع پایه شعاعی،  $r = \|s_i - s_o\|$  فاصله اقلیدسی بین پیش بینی مکان  $S_0$  و هر داده مکانی  $S_i$  و  $\{w_i = 1, 2, \dots, n+1\}$  معرف وزنهایی است که تخمین زده می شوند.

**روش کریجینگ:** کریجینگ، یک روش تخمین آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنما، برآورد می کند. این روش بر منطق "میانگین متحرک وزن دار" استوار می باشد. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می کند. بنابراین، می توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده محاسبه کرد.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{رابطه ۳})$$

اقلیم در ابتدا لازم است تا داده های دوره پایه مشخص شوند. اخیراً قدرت تفکیک مدل های گردش عمومی و منطقه ای افزایش پیدا کرده است، ولی هیچ یک از این مدلها نمی توانند آب و هوای واقعی را در مقیاس منطقه ای و یا کوچکتر برآورد یا پیش بینی کنند. مدل های مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی، مدل هایی هستند که خروجی مدل های عددی گردش عمومی جو را با استفاده از روش های آماری به نحوی ریزمقیاس می نمایند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. معروفترین این مدلها عبارتند از: SDSM, LARS-WG و CLIGEN (Babaeian and Najafi Nick, 2007).

مدل LARS-WG ابتدا توسط Racsco and Szeidl ارائه و سپس توسط Semenov *et al.* (1998) بازنگری و تعدیل شد. این مولد داده برای شبیه سازی وضع هوا، احتیاج به مقادیر روزانه بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشید دارد. ابتدا مشخصات آماری مقادیر روزانه داده های مشاهده شده وضع هوا در یک مکان معین تحلیل شده و سپس از این مشخصات به همراه یک مولد اعداد شبه تصادفی برای ساخت سری های درازمدت داده های روزانه استفاده می شود. فرایند ساخت داده های روزانه با تعیین وضعیت بارندگی در یک روز معین شروع شده و سپس مقدار بارندگی و سایر متغیرهای وضع هوا شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش خورشید تولید می شوند (Bazrafshan, 2009). تولید داده ها توسط مدل در سه مرحله انجام می شود که عبارتند از: واسنجی، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی (Babaeian *et al.*, 2007).

در این پژوهش، از مقادیر روزانه بارش و حداقل و حداکثر دما در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱ استفاده شده است. همچنین، برای ارزیابی تغییرات پارامتر بارش در هر سه دوره از خروجی های مدل اقلیمی HADCM3 تحت سناریوهای مختلف اقلیمی A2 (SRA2), B1 (SRB1) و A2 (SRA2) در مدل تولید داده LARS-WG استفاده شد. مدل گردش عمومی جو HadCM3، یکی از مدل های جفت شده اقیانوسی جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است (Hadley Center, 2006).

### روش های درونیابی

برای پهنه بندی اقلیمی لازم است داده های هواشناسی که در مقیاس ایستگاهی ثبت شده اند، درونیابی شوند. روش های مختلفی برای درونیابی وجود دارد. در این تحقیق، ابتدا کارایی سه روش وزنی عکس فاصله (IDW)، اسپیلاین و کریجینگ برای درونیابی بارش مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از برخی

این امکان را می‌دهد تا پارامترهای تخمین‌زده شده به صورت موضعی تغییر کند. یک الگوی GWR می‌تواند به صورت رابطه (۶) نوشته شود (Mennis, 2006):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن: بردار  $(u_i, v_i)$  مختصات  $i$  امین موقعیت را نشان می‌دهد،  $\beta_0(u_i, v_i)$  و  $\beta_k(u_i, v_i)$  پارامترهای تخمین زده شده برای  $i$  امین موقعیت هستند که مقادیر آنها با موقعیت تغییر می‌کند. مقادیر  $x_{ik}$  و  $\varepsilon_i$  به ترتیب متغیرهای مستقل و میزان خطا در موقعیت  $i$  می‌باشند.

پارامترهای الگوی رگرسیون چند متغیره خطی بر اساس حداقل مربعات معمولی به صورت رابطه (۷) تخمین زده می‌شوند:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن:  $X$ : ماتریس مشاهدات و  $Y$ : بردار پاسخ است. پارامترها در GWR با استفاده از یک تابع وزنی به صورت رابطه (۸) تخمین زده می‌شود:

(رابطه ۸)

$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y$   
که:  $W(u_i, v_i)$  وزن‌های انتخاب شده‌اند به طوری که آنهایی که به نقطه مورد مطالعه نزدیک‌تر هستند، نسبت به نقاط دورتر تأثیر بیشتری بر نتایج داشته باشند.

#### معیارهای ارزیابی روش‌های درون‌یابی

در ارزیابی دقت و اعتبار روش‌های درون‌یابی از روش اعتبارسنجی تقاطعی (حذفی) استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد می‌شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای کلیه نقاط شبکه این عمل صورت می‌گیرد. در نهایت در هر روش با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE) از روابط (۹) تا (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$MBE = \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) / n \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$RMSE = \left( \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2 / n \right)^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آنها:  $n$ : تعداد داده‌ها،  $Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد در نقطه  $x_i$  و  $Z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

که در آن:  $Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد در نقطه  $x_i$ ،  $\lambda_i$ : وزن مربوط به متغیر  $Z$  و  $Z(x_i)$ : مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

نرمال بودن متغیر  $Z$ ، شرط استفاده از این تخمینگر است. اگر  $Z$ ، توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد. از آنجا که تخمینگر کریجینگ بهترین تخمینگر خطی نارایب است، لذا باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد (Aghdasi, 2004).

#### روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی: GWR ابزاری

مفید و عملی برای ارزیابی غیریکنواختی یک متغیر وابسته است. غیریکنواختی مکانی هنگامی که ساختار فرآیند الگوسازی شده تغییر می‌کند، بوجود می‌آید. روش GWR، معادلات جداگانه‌ای را با مشارکت متغیرهای مستقل و وابسته‌ای که در داخل یک نوار (فاصله) از هر پدیده قرار می‌گیرند، تشکیل می‌دهد. شکل و اندازه پهنای باند برای نوع کرنل، روش پهنای باند، فاصله و تعداد پدیده‌ها توسط کاربر به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. در روش GWR یک معادله رگرسیونی جداگانه برای هر مشاهده به جای واسنجی یک معادله، تولید می‌شود. بنابراین، روش مزبور این امکان را می‌دهد تا مقادیر پارامتر مورد نظر به صورت پیوسته در فضای جغرافیایی تغییر کند. هر یک از معادلات با استفاده از یک وزن متفاوت از مشاهدات، مشتمل در مجموع داده‌ها، واسنجی می‌شود. چون معادله رگرسیونی به‌طور غیر مستقل برای هر مشاهده واسنجی شده است، لذا یک پارامتر پیش‌بین جداگانه، مقدار  $Z$  و  $R^2$  برای هر مشاهده محاسبه می‌کند. جزئیات کامل GWR توسط Fotheringham *et al.* (2002) ارائه شده است.

تحلیل‌های رگرسیونی برای الگوبندی رابطه بین یک متغیر با یک یا چند متغیر دیگر مطابق روابط (۴) و (۵) ارائه می‌شود.  
(رابطه ۴)

$$y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_{1i} + \beta_{2i}x_{2i} + \dots + \beta_{kn}x_{kn} + \varepsilon_i \quad (\text{رابطه ۵})$$

در روابط فوق:  $y_i$ : بارش درون‌یابی شده در موقعیت  $i$ ، مقدار  $\beta_0$ : عرض از مبدأ،  $\beta_{ik}$ : برابر است با  $k$  امین پارامتر موضعی در  $i$  امین موقعیت،  $X_{ik}$ : نشان دهنده  $k$  امین متغیر مستقل در  $i$  امین موقعیت و  $n$ : بیانگر موقعیت قبلی است. وزن اختصاص داده شده به هر یک از مشاهدات در GWR بر اساس یک تابع تنزل فاصله در مرکز مشاهده  $i$  است. الگوی رگرسیون وزنی جغرافیایی GWR موقعیت مکانی نمونه‌ها را در نظر می‌گیرد و

پهنه‌بندی اقلیمی به روش دمارتن گسترش یافته

طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن بر اساس دما و بارندگی پایه‌گذاری شده است. در این سیستم طبقه‌بندی، شاخص خشکی دمارتن بر اساس رابطه زیر محاسبه و بر اساس آن نوع اقلیم مشخص می‌شود (جدول ۱).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در آن: I: ضریب خشکی، T: میانگین درازمدت دمای سالانه برحسب درجه سانتیگراد و P: میانگین درازمدت بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر می‌باشد.

جدول ۱. طبقه بندی اقلیمی دمارتن

محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۲۴	۲۴-۲۸	۲۸-۳۵	بیشتر از ۳۵
نوع اقلیم	خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
علامت	C1	C2	C3	C4	C5	C6

خطا بتوان آن عامل اقلیمی را درون‌یابی کرد. بنابراین، ابتدا در تحلیل نتایج به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پارامترهای اقلیمی پرداخته شد.

پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی بارش و دما

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش با بکارگیری معیارهای مختلف ارزیابی خطا در جدول ۳ آورده شده است. همانگونه که از این جدول پیداست، مقادیر هر سه شاخص ارزیابی خطا برای روش کریجینگ در مقایسه با روش‌های وزنی عکس فاصله و اسپیلاین کمتر بوده و در نتیجه روش کریجینگ با دقت بالاتری می‌تواند بارش را درون‌یابی کند. بر این اساس، نقشه‌های هم‌بارش سالانه برای هر دوره اقلیمی با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شدند.

برای ترسیم نقشه‌های هم‌دما، اولین گام بررسی رابطه گرادیان دما با ارتفاع می‌باشد، اما این گرادیان دمایی در مناطق مختلف عدد ثابتی نیست. بنابراین، در مناطق وسیع ممکن است تعمیم یک رابطه گرادیانی به کل منطقه، نتایج خوبی را به همراه نداشته باشد (Ghorbani and Agha Shariatmadari, 2014). با توجه به نتایج مطالعات Ghorbani و Agha Shariatmadari (2014) که درون‌یابی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) را برای ترسیم نقشه‌های هم‌دما توصیه کرده‌اند، در این پژوهش نیز از این روش استفاده شد.

ارزیابی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیمی

قبل از استفاده از نتایج مدل LARS-WG، لازم است توانایی این مدل در شبیه‌سازی اقلیمی داده‌های بارش و دما در ایستگاه‌های مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از آزمون مقایسه میانگین‌ها و آزمون مقایسه واریانس‌ها که به ترتیب با بکارگیری دو آزمون t و F قابل انجام هستند، استفاده شد. نتایج حاصل از بکارگیری این دو آزمون برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در سطح مخاطره ۵٪،

در روش طبقه‌بندی دمارتن گسترش‌یافته، متغیری جدید به نام میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال (m) تعریف شده است که براساس این متغیر، هر گروه اقلیمی دمارتن به چهار گروه دمایی تقسیم می‌شود (Khalili, 1973). زیرطبقه‌های دمایی که برحسب (m) تعریف شده‌اند عبارتند از:

جدول ۲- طبقه‌بندی دمایی بر اساس روش دمارتن گسترش یافته

(Mohammadi and Husseini Sadr, 2010)				
حدود m	>۵	۰-۵	-۷-۰	<-۷
اقلیم	گرم	معتدل	سرد	فرا سرد
علامت	m۴	m۳	m۲	m۱

پس از تولید داده‌های بارش و دمای روزانه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی A1B، B1 و A2، بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3، سری زمانی پارامترهای اقلیمی مورد نیاز در فرمول اقلیمی دمارتن گسترش یافته برای هر یک از دوره‌های اقلیمی شامل: ۱۹۸۱-۲۰۱۰ (دوره پایه مشاهداتی)، ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ به تفکیک برای تک‌تک ایستگاه‌های مورد مطالعه، محاسبه شد. بر اساس حالت‌های ترکیبی حاصل از سه دوره زمانی تحت شرایط تغییر اقلیم و سه سناریوی مختلف و نیز با در نظر گرفتن یک دوره پایه مشاهداتی، ۱۰ سری داده برای هر یک از پارامترهای میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال، میانگین سالانه دما و میانگین سالانه بارش استخراج گردید و در مجموع ۱۰ سری داده برای هریک از ایستگاه‌ها محاسبه و مقادیر آنها در پهنه جغرافیایی استان گلستان درون‌یابی و بر اساس بهترین روش درون‌یابی، پهنه‌بندی شدند که نتایج حاصل در ادامه ذکر می‌گردد.

نتایج

برای پهنه‌بندی اقلیمی نیاز به پهنه‌بندی پارامترهای مورد نیاز در فرمول اقلیمی می‌باشد. برای این منظور لازم است با کمترین

یا واریانس داده‌های شبیه‌سازی شده و در نتیجه دال بر عدم توانایی مدل LARS-WG برای انجام شبیه‌سازی اقلیمی بارش و دما خواهد بود. با مراجعه به جدول ۴ دیده می‌شود که در هیچ یک از موارد مقدار p-value از ۰/۰۵ کمتر نشده است و بدین ترتیب توانایی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی اقلیمی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در تمام ماه‌های سال با دقتی قابل قبول، تأیید شد.

اختلاف معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی، وجود ندارد. نتایج حاصل از بکارگیری این آزمون‌ها به عنوان نمونه برای داده‌های ایستگاه سینوپتیک هاشم آباد گرگان در جدول ۴ آورده شده است. اعداد داخل جدول در واقع مقدار p-value را نشان می‌دهند و با توجه به اینکه انجام این آزمون‌ها در سطح مخاطره ۵٪ مد نظر بوده است در صورتی که مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ شود، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین یا واریانس داده‌های مشاهداتی با میانگین

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های مختلف ارزیابی خطا برای روش‌های مختلف درون‌یابی بارش

الگو	IDW (وزنی عکس فاصله)			Kriging (کریجینگ)			RBF (اسپیلین)			
	MBE	RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	MBE	RMSE	MAE	
علامت اختصاری بارش مشاهده‌ای	-۲۷/۱	۱۴۵/۹	۱۰۳/۳	-۸/۵	۱۳۸/۲	۸۸/۴	-۱۵	۱۴۳/۸	۹۹/۶	
SRA1B	۲۰۱۱-۲۰۴۰	-۲۷/۷	۱۶۵/۲	۱۱۳/۷	-۶/۷	۱۵۲/۲	۹۸/۶	-۱۶/۸	۱۶۰/۸	۱۱۰/۱
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	-۲۶/۷	۱۵۹/۶	۱۰۹/۷	-۶/۳	۱۴۷/۳	۹۴/۱	-۱۶/۱	۱۵۵/۴	۱۰۵/۸
	۲۰۷۱-۲۱۰۰	-۲۴/۲	۱۵۵/۷	۱۰۸/۶	-۵/۶	۱۴۶/۱	۹۳/۷	-۱۴/۸	۱۵۳	۱۰۵/۱
SRA2	۲۰۱۱-۲۰۴۰	-۲۹/۴	۱۶۷/۵	۱۱۴/۵	-۷/۶	۱۵۳/۸	۹۸/۹	-۱۷	۱۶۴/۲	۱۱۱/۱
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	-۲۶/۲	۱۶۸/۸	۱۱۸/۳	-۷/۴	۱۵۵/۷	۹۹/۵	-۱۷	۱۶۲/۴	۱۱۰/۱
	۲۰۷۱-۲۱۰۰	-۲۲	۱۳۹/۹	۹۷/۲	-۵/۶	۱۳۲	۸۳/۵	-۱۳/۲	۱۳۸	۹۳/۵
SRB1	۲۰۱۱-۲۰۴۰	-۲۸/۵	۱۶۶/۱	۱۱۳/۸	-۷/۱	۱۵۲/۹	۹۸/۷	-۱۶/۶	۱۶۱/۵	۱۰۹/۷
	۲۰۴۱-۲۰۷۰	-۲۴/۹	۱۵۵	۱۰۷/۲	-۵/۶	۱۴۴/۵	۹۲/۵	-۱۵/۱	۱۵۱/۸	۱۰۴
	۲۰۷۱-۲۱۰۰	-۲۶/۱	۱۶۰/۶	۱۱۱/۳	-۵/۹	۱۴۹/۳	۹۶/۹	-۱۵/۷	۱۵۷/۱	۱۰۸/۳

جدول ۴. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها (آزمون t) و واریانس‌ها (F) بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده در ایستگاه سینوپتیک هاشم آباد گرگان با بکارگیری مدل LARS-WG

ماه	بارش		دمای حداقل		دمای حداکثر	
	آزمون t	آزمون F	آزمون t	آزمون F	آزمون t	آزمون F
فروردین	۱/۹۶	۱/۰۴	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۱۴
اردیبهشت	۰/۹۷	۱/۰۱	۰/۹۱	۰/۲۷	۰/۱	۰/۱۲
خرداد	۰/۳۷	۰/۹۷	۱/۳۳	۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۱۴
تیر	۱/۱۹	۱/۱۹	۰/۶۷	۰/۱	۰/۶۴	۰/۱۳
مرداد	۰/۹۷	۱/۲	۰/۶۲	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۰۹
شهریور	۱/۱	۱/۰۷	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۴	۰/۱۹
مهر	۰/۱۳	۰/۱۳	۱/۰۱	۰/۲	۰/۳	۰/۱
آبان	۰/۳۹	۱/۲۸	۰/۴۱	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۱
آذر	۰/۲۷	۱/۵۹	۰/۵۳	۰/۱۶	۰/۸۹	۰/۸۹
دی	۰/۱۸	۱/۴۹	۰/۶۵	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۴
بهمن	۰/۳۷	۱/۱۷	۰/۶۴	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۵۲
اسفند	۰/۱۵	۱/۲	۰/۴۲	۰/۱۹	۱/۳۴	۱/۳۴

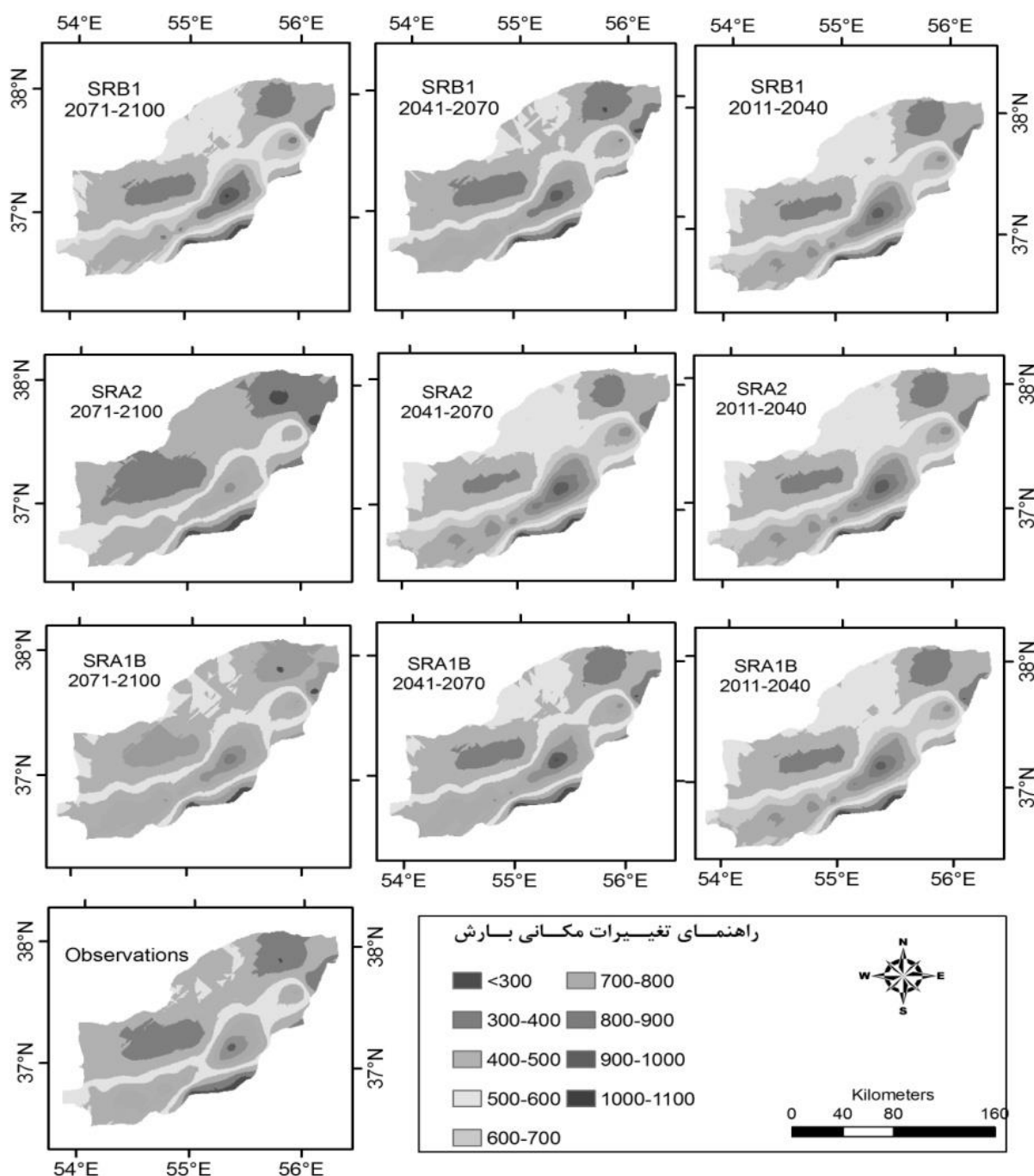
تغییرات هریک از این پارامترهای اقلیمی در دوره‌های مختلف اقلیمی مورد مقایسه قرار گیرند (جدول ۵). شکل ۱ پهنه‌های بارش را در دوره پایه و دوره‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۱ پیداست در اثر

### پهنه‌های بارش و دما در دوره‌های اقلیمی آتی تحت سناریوهای مختلف

پس از ترسیم نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش، این نقشه‌ها طبقه‌بندی و درصد مساحت هر یک از طبقات محاسبه شدند تا

در آینده محسوس تر خواهد بود بطوری که شاهد مناطقی با میانگین اقلیمی دمای بیش از ۱۸/۵ درجه خواهیم بود. این افزایش دما در دوره اقلیمی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ بیشتر خواهد بود و از بین سناریوهای اقلیمی انتشار، سناریوی A2 شرایط بدتری را برای استان نشان می‌دهد بطوری که بیش از ۶۹ درصد استان در محدوده میانگین سالانه دمایی ۲۰-۲۲ درجه قرار می‌گیرند (شکل ۲ و جدول ۶).

تغییر اقلیم، میانگین بارش استان گلستان در دوره‌های اقلیمی آینده، تغییر می‌کند بطوری که در دوره اقلیمی آتی نزدیک (دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰) بیشترین افزایش بارش را تحت سناریوی A2 شاهد خواهیم بود. اما در دیگر دوره‌های اقلیمی آتی از شدت این افزایش بارش کاسته می‌شود. البته، این تغییرات بارش در استان زیاد نیست بطوری که در سناریوی A2 فقط سه درصد از مساحت استان شاهد بارش بیش از ۹۰۰ میلی‌متر خواهند بود. ولی تغییرات دمایی ناشی از تغییر اقلیم در استان

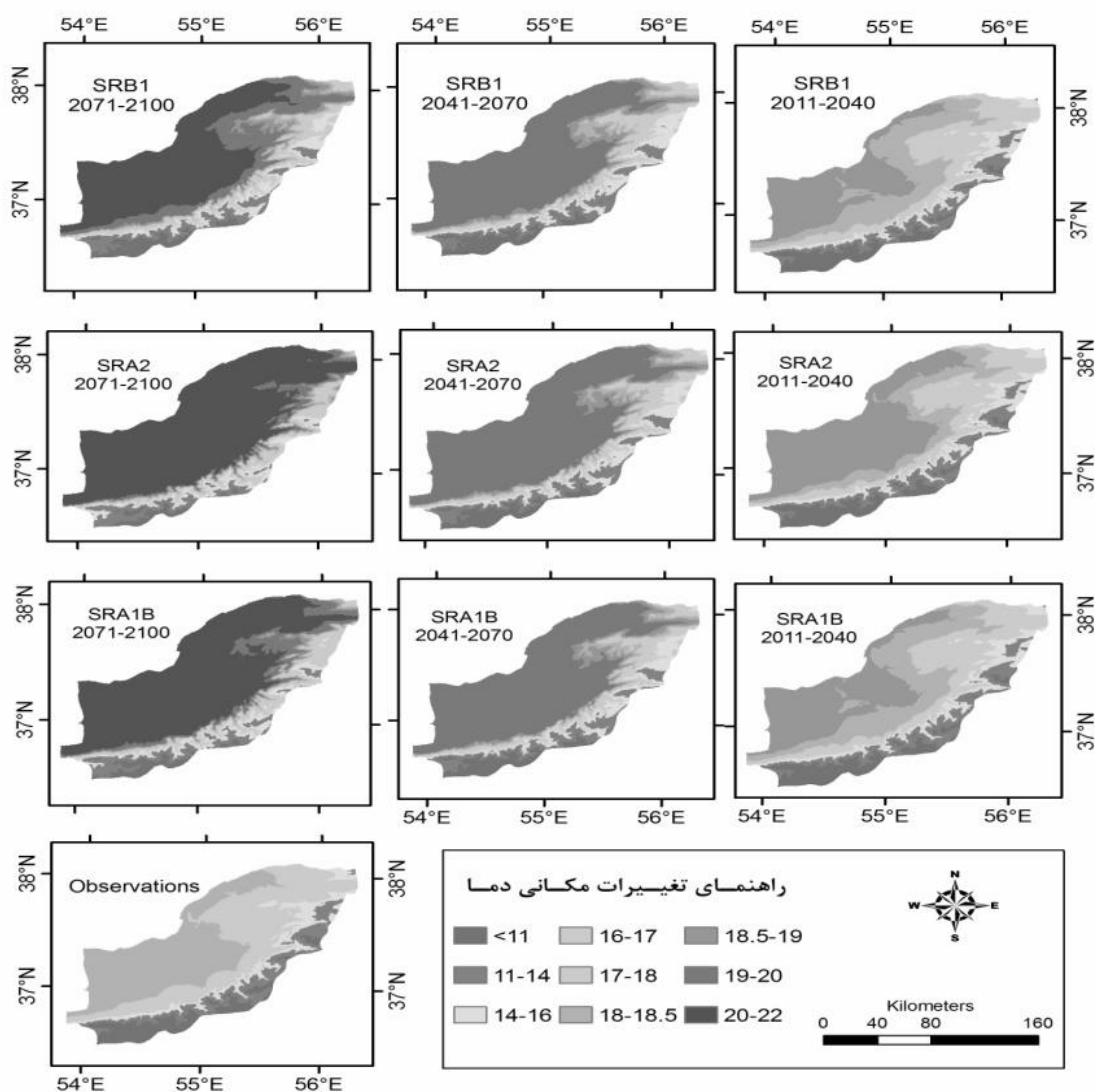


شکل ۱. پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف (برحسب میلی‌متر)



جدول ۵. درصد مساحت پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف

سناریوهای بارش mm	دوره مشاهده‌ای	دوره‌های آتی								
		۲۰۱۱-۲۰۴۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
		SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1
<۳۰۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۲	۱	۱
۳۰۰-۴۰۰	۱۸	۱۰	۱۰	۱۰	۷	۱۶	۱۵	۲۷	۱۶	۱۱
۴۰۰-۵۰۰	۴۱	۲۷	۲۸	۲۸	۲۷	۳۲	۳۶	۳۷	۳۴	۳۲
۵۰۰-۶۰۰	۱۸	۲۰	۲۹	۲۹	۲۷	۳۵	۲۱	۱۶	۲۱	۲۷
۶۰۰-۷۰۰	۱۵	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۵	۱۴	۱۴
۷۰۰-۸۰۰	۶	۱۳	۱۳	۱۳	۱۴	۱۲	۱۰	۲	۱۱	۱۲
۸۰۰-۹۰۰	۲	۵	۴	۴	۵	۳	۲	۰	۲	۲
۹۰۰-۱۰۰۰	۰	۲	۱	۱	۲	۱	۰	۰	۰	۱
۱۰۰۰-۱۱۰۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۲. توزیع مکانی دما در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف (برحسب درجه سانتی‌گراد)

جدول ۶. درصد مساحت پهنه‌های دمایی در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف

		دوره‌های آتی								
		۲۰۱۱-۲۰۴۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
سناریوها دما(°C)	دوره مشاهداتی	SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1
		<۱۱	۹	۸	۸	۸	۵	۵	۶	۲
۱۱-۱۴	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۸	۸	۵	۶	۷
۱۴-۱۶	۱۰	۹	۹	۹	۸	۸	۹	۵	۶	۸
۱۶-۱۷	۱۰	۷	۸	۸	۵	۵	۵	۳	۵	۵
۱۷-۱۸	۲۳	۱۳	۱۴	۱۴	۶	۶	۷	۵	۵	۵
۱۸-۱۸/۵	۳۷	۱۴	۲۴	۲۴	۵	۵	۶	۲	۲	۴
۱۸/۵-۱۹	۰	۳۹	۲۷	۲۶	۷	۷	۸	۲	۳	۵
۱۹-۲۰	۰	۰	۰	۰	۵۶	۵۶	۵۲	۶	۱۰	۱۷
۲۰-۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۹	۶۱	۴۶

اقلیمی ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ افزایش دما قابل توجه بوده و برخلاف افزایش بارشی که در این دوره وجود دارد، باعث می‌شود درصد مناطق بسیار مرطوب در مقایسه با دوره مشاهداتی پایه کاسته شده و به درصد مناطق مرطوب در مقایسه با دوره مشاهداتی افزوده شود. این افزایش دما در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ شدیدتر می‌شود و پیدایش اقلیم خشک در سناریوی A2 و افزایش درصد مناطق نیمه‌خشک و کاهش درصد مناطق مرطوب و بسیار مرطوب را نتیجه خواهد داد و در مجموع اقلیم استان به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش خواهد رفت و در این میان سناریوی A2 در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ شرایط خشک‌تری را برای استان پیش‌بینی می‌کند.

#### پهنه‌های اقلیمی در دوره‌های اقلیمی آتی تحت سناریوهای مختلف

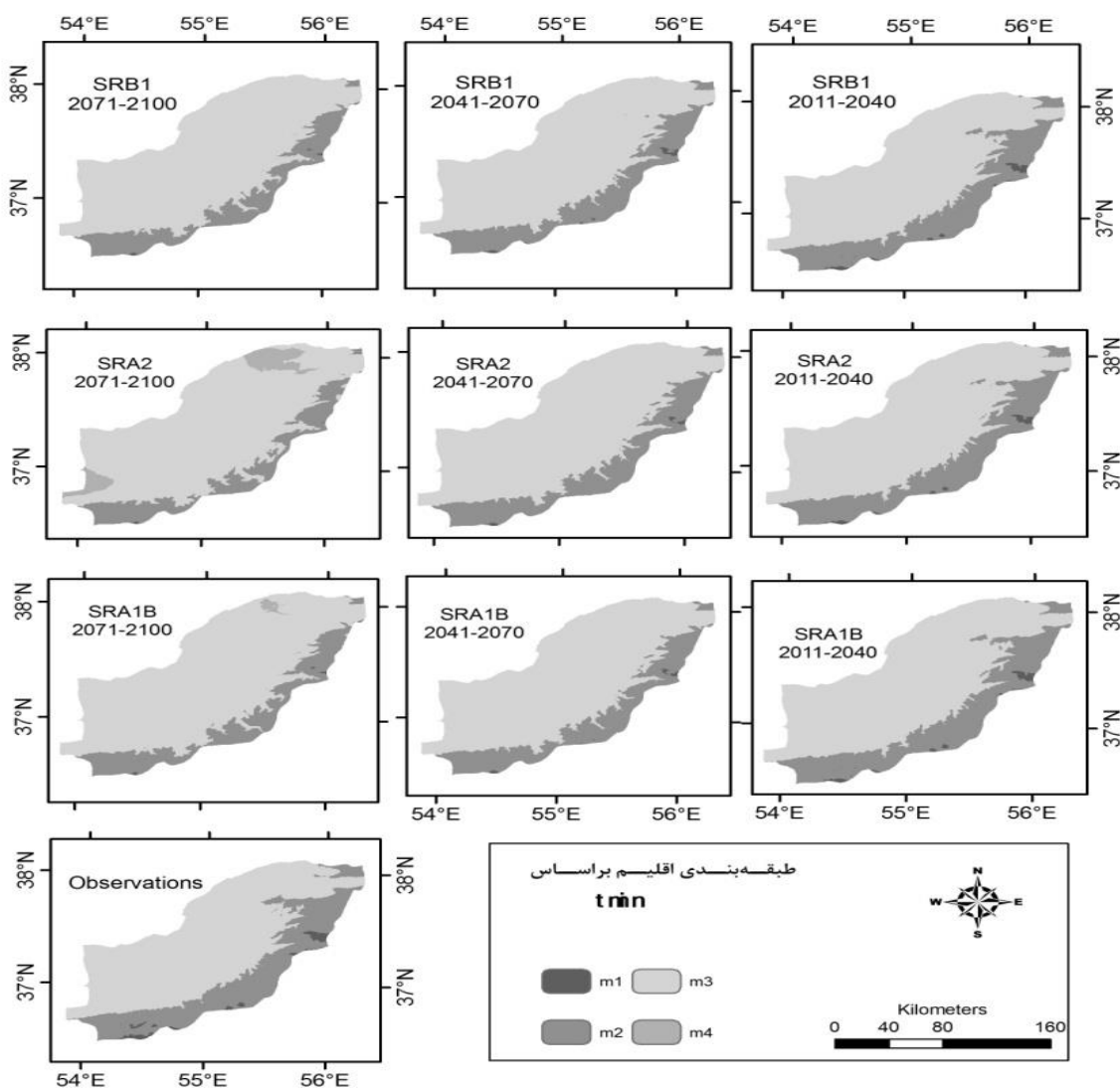
بر اساس نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمایی که با استفاده از میانگین داده‌های بارش و دما طی دوره مشاهداتی و دوره‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف بدست آمد، ابتدا پهنه‌های اقلیمی به روش دمارتن ترسیم شدند و مساحت هر یک از این پهنه‌ها محاسبه و با هم مقایسه شد. نتایج حاصله در جدول ۷ نشان می‌دهد که در دوره اقلیمی ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ از درصد مناطق نیمه‌خشک در مقایسه با دوره مشاهداتی کاسته شده و به درصد مناطق مرطوب و بسیار مرطوب در مقایسه با دوره مشاهداتی افزوده شده است و این می‌تواند به دلیل افزایش بارشی باشد که برای این دوره پیش‌بینی شده است. در دوره

جدول ۷. درصد مساحت پهنه‌های اقلیمی در طبقه‌های اقلیمی مختلف در دوره پایه و دوره‌های اقلیمی آتی تحت سناریوهای مختلف

		دوره آماری								
		۲۰۱۱-۲۰۴۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
اقلیم	دوره گذشته	SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1	SRA2	SRA1B	SRB1
		خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲
نیمه‌خشک	۶۵	۵۸	۵۸	۵۹	۶۰	۶۵	۶۶	۷۶	۶۹	۶۶
مدیترانه‌ای	۱۲	۱۲	۱۳	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱
نیمه‌مرطوب	۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۱۰
مرطوب	۱۰	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۱	۱۱	۳	۸	۱۱
بسیار مرطوب	۴	۷	۷	۷	۶	۳	۳	۰	۱	۳

دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ این مساحت کاهش خواهد یافت و در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ شاهد افزایش این میزان خواهیم بود که بیشترین افزایش در مساحت اقلیم نیمه خشک معتدل تحت سناریوی A2 و در دوره اقلیمی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ رخ خواهد داد. در دوره مشاهداتی پایه، اقلیم مرطوب بسیار سرد وجود داشت که با توجه به افزایش بارش و دمایی که در دوره اقلیمی آینده نزدیک پیش‌بینی شده است، اقلیم بسیار مرطوب معتدل نیز در این دوره به انواع اقلیم‌ها افزوده می‌شود. در نهایت، نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزایش دما و بارش طی دوره‌های اقلیمی آینده، باعث تغییراتی در پهنه‌های اقلیمی استان می‌شود. این تغییرات هم در درصد مساحت پهنه‌های اقلیمی و هم در جابجایی پهنه‌های اقلیمی اتفاق می‌افتد.

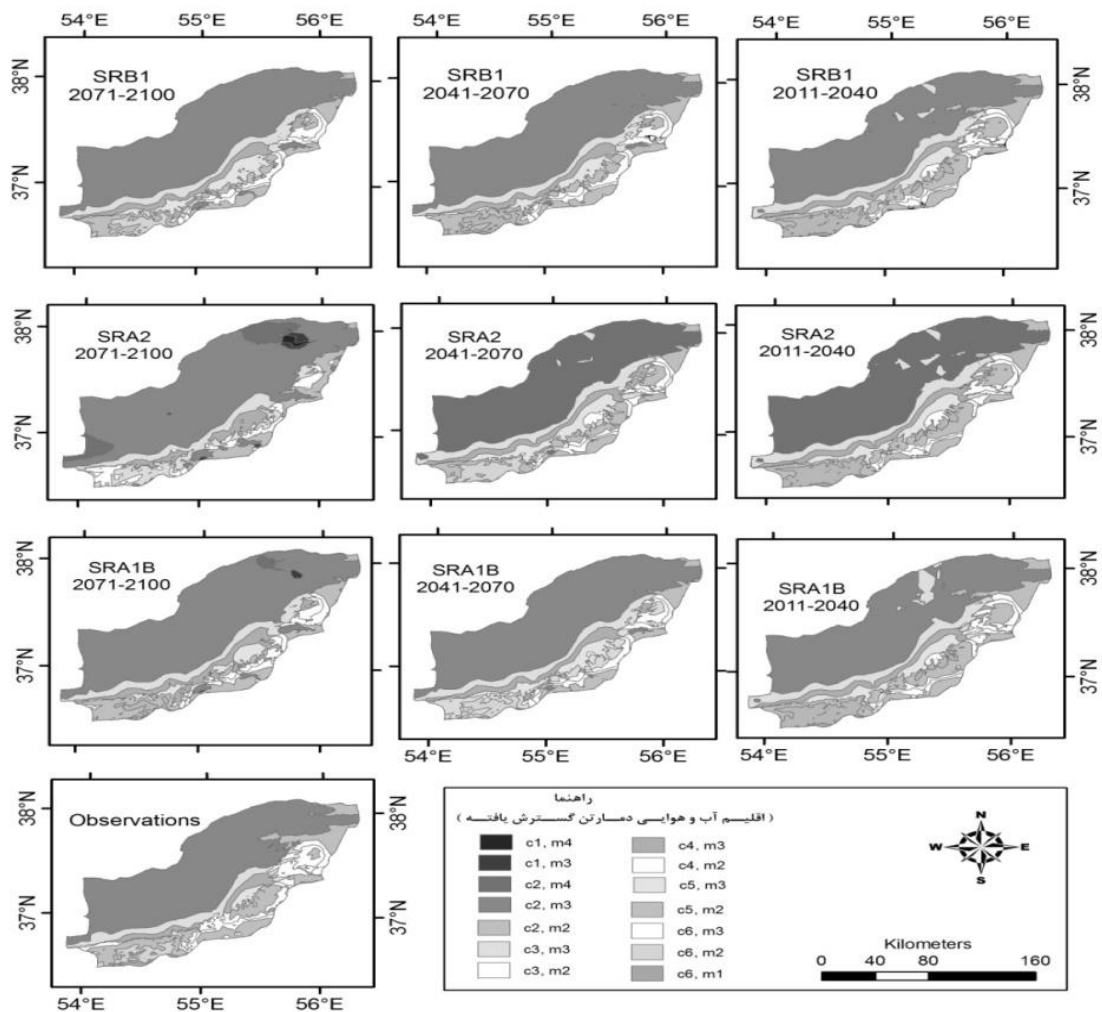
پس از ترسیم پهنه‌های اقلیمی دمارتن، لایه اطلاعاتی حداقل‌های دما در سردترین ماه سال نیز ترسیم شد و با توجه به طبقه‌بندی انجام شده، فقط تحت سناریوهای A2 و A1B در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ اقلیم گرم مشاهده می‌شود که دارای چهار نوع اقلیم است. در صورتی که تحت سناریوهای مختلف در مابقی دوره‌ها، استان گلستان دارای سه نوع اقلیم فراسرد، سرد و معتدل می‌باشد (شکل ۳). به عنوان گام نهایی با ادغام لایه اطلاعاتی حداقل‌های دما در سردترین ماه سال در لایه پهنه‌های اقلیمی ایجاد شده به روش دمارتن، نقشه نهایی پهنه‌بندی اقلیمی استان در قالب روش دمارتن گسترش یافته تهیه شد (جدول ۸ و شکل ۴). همانگونه که از جدول ۸ پیداست در اقلیم فعلی حدود ۵۶ درصد استان گلستان دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل می‌باشد اما تحت هر سه سناریوی A1B, A2, B1 در



شکل ۳. طبقه‌بندی اقلیمی استان گلستان براساس میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال در دوره‌های مختلف تحت سناریوهای مختلف

جدول ۸. درصد مساحت اقلیم‌های مختلف تحت سناریوهای مختلف در دوره پایه و دوره‌های آینده به روش دمارتن گسترش یافته

نوع اقلیم	علامت اختصاری	دوره‌های آتی									
		SRA2			SRA1B			SRB1			
		۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰	۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۱۰۰	۲۰۱۱-۲۱۰۰
نیمه خشک سرد	C2M2	۵	۵	۶	۶	۶	۵	۶	۶	۵	۸
نیمه خشک معتدل	C2M3	۵۲	۵۵	۶۴	۵۱	۵۹	۶۲	۵۲	۶۰	۶۱	۵۶
نیمه خشک گرم	C2M4	-	-	۵	-	-	۱	-	-	-	-
مدیترانه‌ای سرد	C3M2	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۵
مدیترانه‌ای معتدل	C3M3	۱۰	۹	۸	۱۰	۸	۸	۹	۸	۸	۷
نیمه مرطوب سرد	C4M2	۴	۳	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۵
نیمه مرطوب معتدل	C4M3	۵	۶	۴	۵	۶	۶	۵	۵	۶	۴
مرطوب سرد	C5M2	۸	۷	۳	۹	۶	۵	۹	۷	۶	۸
مرطوب معتدل	C5M3	۵	۶	-	۴	۵	۳	۵	۴	۵	۲
بسیار مرطوب سرد	C6M2	۶	۵	-	۶	۳	۱	۶	۳	۲	۳
بسیار مرطوب معتدل	C6M3	۱	۱	-	۱	-	-	۱	-	-	-



شکل ۴. نقشه نهایی پراکندگی اقلیم‌ها در استان گلستان به روش دمارتن گسترش یافته

## نتیجه‌گیری

(۲۰۱۱-۲۱۰۰) متفاوت است بطوری که در دوره‌های اقلیمی آینده نزدیک، اثر افزایش بارش بیشتر از افزایش دما است و پهنه‌های اقلیمی مرطوب‌تر می‌شوند ولی در دوره اقلیمی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ به دلیل افزایش بیشتر دمای هوا، پهنه‌های اقلیمی خشک‌تر شده و اقلیم خشک که در دوره‌های قبلی و مشاهداتی پایه وجود نداشت در این دوره دیده می‌شود.

- به دلیل افزایش دما و بارش، در دوره‌های اقلیمی آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱) به مساحت اقلیم‌های نیمه مرطوب سرد افزوده می‌شود. در این دوره به درصد مناطق مرطوب‌تر افزوده شده است، ولی در دوره اقلیمی آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) از درصد مناطق بسیار مرطوب سرد و نیمه خشک سرد به دلیل افزایش محسوس‌تر دما، کاسته می‌شود. همچنین، در اثر پدیده تغییر اقلیم، از درصد مناطق با اقلیم مدیترانه‌ای سرد کاسته شده و درصد مناطق اقلیمی مدیترانه‌ای گرم افزایش می‌یابد.

مهمترین نتایجی که از بررسی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان در دوره‌های اقلیمی آینده در اثر تغییر اقلیم بدست آمد عبارتند از:

- استان گلستان در شمال ایران، استانی است که ۶۵ درصد مساحت آن را اقلیمی نیمه‌خشک تشکیل داده است که نسبت به پدیده خشکسالی بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد.
- نتایج مدل اقلیمی LARS-WG نشان می‌دهد که تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در استان گلستان، میانگین سالانه دمای هوا و بارش افزایش می‌یابد.
- از بین سناریوهای تغییر اقلیم، سناریوی A2 افزایش دمای بیشتری را نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهد و همچنین، برای پارامتر بارش، سناریوهای A1B در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دیگر سناریوها، افزایش بارش بیشتری را نشان می‌دهد.
- تغییرات اقلیمی در استان گلستان در دوره‌های اقلیمی آتی

## REFERENCES

- Abassi, F. Malbusi, S. Babaeian, I. Asmari, M and Borhani, R. (2010). Climate change prediction of South Khorasan Province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and Soil*. 24(2), 218-233. (In Farsi)
- Aghdasi, F. (2004). Study of some geostatistical methods for mapping of daily and annual precipitation (case study: Borkhar Plain), MSc. Thesis, University of Tehran. 112 p. (In Farsi)
- Asakereh, H. (2008). Application of Kriging interpolation of rainfall, Case Study: interpolation of precipitation 1998/3/17 in Iran. *Journal of Geography and Development*, 12, 25-42. (In Farsi)
- Babaeian, I. and Najafi Nick, Z. (2007). Climate change assessment in Khorasan-e Razavi Province from 2010 to 2039 using statistical downscaling of GCM Output. *Development of Geography and Regional Magazine*, 15, 1-19. (In Farsi)
- Babaeian, I. Najafi Nick, Z. Nokhandan Habibi, M., Zabul Abbasi, F., Adab, H. and Malboci, Sh. (2007). Modeling the climate of Iran in the period 2010-2039 using a statistical overview of the output of small-scale model ECHO-G. Technical Workshop on the Climate Change Impacts on Water Resources Management. (In Farsi)
- Bahri, M., Dastorany, M. and Goudarzi, M. (2013). Assessment of the effects of climate change on precipitation and temperature 2011-2030 period using LARS-WG (case study: Watershed Eskandari, Isfahan). The 9<sup>th</sup> National Congress of Watershed Management Science and Engineering, Nov. 8-9, 2013, University of Yazd, Yazd, Iran. (In Farsi)
- Bazrafshan, J. 2009. Agricultural drought risk assessment and searching a sufficient method for estimating its quantitative impact on crops yield of wheat and barley. Ph.D. Dissertation, University of Tehran. 253p.
- Ebrahimpour, M. Ghahreman, N. and Orang, M. (2014). Assessment of climate change impacts on reference evapotranspiration and simulation of daily weather data using SIMETAW. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 140(2): 04013012. (In Farsi)
- Farahmand, A. Golkar, F. and Farahmand, F. (2010). Estimating the spatial distribution of rainfall in the Dorudzan Dam Basin using GIS. *Geomatics Conference*, May. (In Farsi)
- Fotheringham, A.S., Brunson, C. and Charlton, M. (2002). Geographically weighted regression. John Wiley & Sons Inc.
- Ghamghami, M. and Ghahreman, N. (2013). Downscaling of climatic change using a non-parametric statistical approach in Karkheh Basin. *Iranian Journal of Geophysics*. 7(2): 142-157. (In Farsi)
- Ghamghami, M., Ghahreman, N. and Hejabi, S. (2014). Detection of climate change effects on meteorological droughts in northwest of Iran. *Journal of Earth and Space Physics*. 40(1): 167-184. (In Farsi)
- Gharekhani, A. and Ghahreman, N. (2010). Seasonal and annual trend of relative humidity and dew point temperature in several climatic regions of Iran. *Journal of Water and Soil*. 24(4): 636-646. (In Farsi)

- Ghorbani, Kh. (2014). Evaluation data mining models in downscaling of precipitation based on NCEP general circulation model output (case study: Kermanshah synoptic station). *Iranian Water Research Journal*. 8(15), 177-186. (In Farsi)
- Ghorbani, Kh. and Agha Shariatmadari, Z. (2014). The effect of local gradients on increasing of climatic data interpolation accuracy by geographically weighted regression (case study: air temperature and relative humidity). *Journal of Watershed Management Research*. 5(10), 132-143. (In Farsi)
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approach for incorporating elevation into spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*. 228 (2), 113-129.
- Gruza, G., Rankova, E., Razuvaev, V. and Bulygina, O. (1999). Indicators of climate change for the Russian Federation. *Climatic Change*. 42, 219-242.
- Gundogdu, I. and Esen, O. (2010). The importance of secondary variables for mapping of meteorological data. The 3<sup>rd</sup> *International Conference on Cartography and GIS*. Jun. 15-20, 2010, Nessebar, Bulgaria.
- Hadley Center. (2006). Effect of climate change in the developing countries. The UK Meteorological Office.
- Hess, T.M., Stephens, W. and Maryah, U.M. (1995). Rainfall trends in the north east arid zone of Nigeria 1961-1990. *Agricultural and Forest Meteorology*. 74: 87-97.
- IPCC. (2007). Climate change: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 996 p.
- Kakavand, R. and Najaf Abadi, M. (2008). Qazvin climatic maps using GIS. Conference on Geographic Information System. Azad University of Qazvin. (In Farsi)
- Karamooz, M. and Araghinejad, Sh. (2006). Advanced hydrology, Amir Kabir University Press, 464 p. (In Farsi)
- Khalili, A. (1973). The scientific understanding of climate and weather. IRIMO publication. (In Farsi)
- Khorshid Doust, M.A. and Ghavidel Rahimi, Y. (2006). The simulation of atmospheric carbon dioxide doubling impacts on climatic changes in Tabriz using Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) General Circulation Model. *Journal of Environmental Studies*. 32(39), 1-10. (In Farsi)
- Lashany Zand, M., Shah Hosseini, M. and Beyranvand Zade, M. (2010). Climate zoning of Gilan using classical methods. Conference on Applications of Natural Geography in Environmental Planning. Jun. 5-6, 2010, Islamic Azad University of Khorramabad, Khorramabad, Iran. (In Farsi)
- Massah Bavani, A.R. and Morid, S. (2006). Impact of climate change on the water resources of Zayandeh Rud Basin. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 9(4), 17-28. (In Farsi)
- Mennis, J. 2006. Mapping the results of geographically weighted regression. *The Cartographic Journal*, 43(2), 171-179.
- Meshkatee, A., Kordjazi, M. and Babaeian, I. (2010). Evaluation of the simulation model LARS during the 1993-2007. *Journal of Geographical Sciences and Applied Research*, 16(19): ??????. (In Farsi)
- Mohammadi, Gh.H. and Hussein Sadr, A. (2010). District of West Azerbaijan Province from the perspective of agricultural climatology using GIS. The 3<sup>rd</sup> National Conference on Geography and Scientific Approach to Sustainable Development. Nov. 11-12, 2010, Pyranshahr, West Azarbaijan, Iran. (In Farsi)
- Plummer, N., Salinger, M.J., Nicholls, N., Suppiah, R., Hennessy, K.J., Leighton, R.M., Trewin, B., Page, C.M. and Lough, J.M. (1999). Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climatic Change*. 42, 183-202.
- Racsko, P. and Szeidl, L. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*. 57, 27-41.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A. (2013). Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 112(3), 409-418. (In Farsi)
- Sabohi, R. and Soltani, S. (2009). Trend analysis of climatic factors in great cities of Iran. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 12(46), 303-321. (In Farsi)
- 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, 95-107.
- Suppiah, R. and Hennessy, K. (1998). Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*. 10, 1141-1164.
- Turke, S.M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *Internatonal Journal of Climatology*. 16, 1057-1076.
- Varshavian, V., Khalili, A., Ghahreman, N. and Hajjam, S. (2011). Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*. 37(1), 169-179.
- Viglizzo, E.F., Roberto, Z.E., Filippin, M.C. and Pordomingo, A.J. (1995). Climate variability and agroecological change in the central Pampas of Argentina. *Agricultural Ecosystem and Environment*. 55, 7-16.
- Xu, C.Y. (1999). From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in Physical Geography*. 23(2), 229-249
- Zhai, P., Sun, A., Ren, F., Liu, X., Gao, B. and Zhang, Q. (1999). Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*. 42, 203-218.