



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

مطالعه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

*مهرناز بذرافشان دریاسری^۱، مهدی مفتاح‌هلقی^۲، خلیل قربانی^۳ و نوذر قهرمان^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانشیار گروه مهندسی آب،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۴دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: اقلیم شرایط متوسط آب و هوایی است که در سال‌های اخیر با افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو و بر هم خوردن توازن تابشی در حال تغییر است و پدیده‌ای با عنوان تغییر اقلیم را شکل می‌دهد. تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. برای شناسایی اقلیم، از مجموعه قواعدی استفاده می‌شود که پارامترهای اقلیمی را طبقه‌بندی و به آن‌ها طبقه‌بندی‌های اقلیمی گفته می‌شود. در پهنه‌بندی اقلیمی لازم است تا داده‌های هواشناسی که در مقیاس ایستگاهی ثبت شده‌اند درون‌یابی شوند، این عمل با روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. استان گلستان با برخورداری از اقلیم‌های متنوع، به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد که از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران است که شناخت پهنه‌های اقلیمی آن اهمیت زیادی دارد. با توجه به تنوع اقلیمی استان گلستان، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات پهنه‌های اقلیمی استان تحت‌تأثیر پدیده تغییر اقلیم است که بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ترسیم شده و با نقشه اقلیمی ترسیم شده بر اساس داده‌های مشاهداتی مقایسه و تغییرات اقلیمی در استان بررسی شد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب‌شرقی دریای خزر قرار دارد. و 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 از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده که از تنوع اقلیمی خوبی برخوردار است. در ابتدا پس از تولید داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای مختلف توسط مولد داده LARS، پهنه‌های اقلیمی استان بر اساس داده‌های مشاهداتی دما و بارش طی دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۲، (۱۳۶۰-۱۳۹۰) به روش دمارتن کلاسیک ترسیم و با پهنه‌های اقلیمی ترسیم شده بر اساس خروجی مدل LARS طی سه دوره از خروجی‌های مدل اقلیمی HADCM3 (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰) و تحت سه سناریوی انتشار گاز گلخانه‌ای A2، A1B و B1 مقایسه شدند. داده‌های بارش با استفاده از روش کریجینگ و داده‌های دما بر اساس روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی درون‌یابی شدند و پهنه‌های اقلیمی نیز بر حسب درصد مساحت آن‌ها در هر یک از سناریوها با یکدیگر مقایسه شدند.

* مسئول مکاتبه: bazrafshan_mehrnaz@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج خروجی مدل LARS نشان داد که میانگین دمای هوا در استان گلستان تا سال ۲۱۰۰، حدود ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و در بین سناریوهای مختلف، سناریوی A2 در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ افزایش دمای بیش‌تری را نشان می‌دهد. میانگین ماهانه بارش در برخی از ماه‌ها کاهش و در برخی ماه‌های دیگر افزایش، اما در مجموع میانگین سالانه بارش افزایش را نشان می‌دهد. در ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش، نتایج نشان داد که روش کریجینگ نسبت به روش‌های عکس وزن فاصله و اسپیلین با دقت بالاتری می‌تواند بارش را درون‌یابی کند.

نتیجه‌گیری: خروجی‌های مدل LARS مؤید روند افزایشی دما و بارش است اما افزایش دما در مقایسه با افزایش بارش شدت بیش‌تری را نشان می‌دهد و این باعث تغییراتی در پهنه‌های اقلیمی استان خواهد شد و در مجموع استان در دوره‌های اقلیمی آبی در اثر پدیده تغییر اقلیم به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش خواهد رفت. در این میان، سناریوی A2 شرایط خشک‌تری را برای استان گلستان تا پایان قرن حاضر پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، دمارتن، پهنه‌بندی اقلیمی، LARS

مقدمه

اقلیم کره زمین در طول تاریخ همواره در حال تغییر بوده است و سرعت این تغییرات اقلیمی از زمان انقلاب صنعتی افزایش پیدا کرده است. این امر به‌طور عمده به‌علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد (6). رشد صنایع و کارخانه‌ها و تخریب جنگل‌ها و محیط زیست باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. مهم‌ترین اثر این افزایش روی درجه حرارت اتمسفر کره زمین بوده که در نوشته‌های علمی از آن به‌عنوان گرم شدن یاد می‌کنند. تأثیر این افزایش تنها بر میزان درجه حرارت اتمسفر زمین سراسری نبوده و دیگر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت‌تأثیر خود قرار داده است که از آن به‌نام تغییر اقلیم نام برده می‌شود. در واقع به تغییر در وضعیت اقلیم که برای یک دوره طولانی مثل چند دهه یا بیش‌تر ادامه داشته باشد تغییر اقلیم گفته می‌شود (14). برای شناسایی اقلیم، از مجموعه قواعدی استفاده می‌کنند که پارامترهای اقلیمی را طبقه‌بندی و به آن‌ها طبقه‌بندی‌های اقلیمی گفته می‌شود. پهنه‌بندی اقلیمی یعنی شناسایی پهنه‌هایی که دارای آب‌وهوای یکسانی باشند (20).

دوستی و همکاران (2013) برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه تهر استان گلستان داده‌های مدل HADCM3 را با استفاده از مدل LARS-WG تحت دو سناریوی A1B و A2 و ریزمقیاس کردند و به این نتیجه دست یافتند که بارش در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوی A2، ۱۶٪ و سناریوی A1B، ۲٪ افزایش می‌یابد (7). مشکواتی و همکاران (2010) در رابطه با ریزمقیاس نمایی با مدل LARS به بررسی عملکرد مدل LARS در مدل‌سازی داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ پرداخته و به این نتیجه رسیدند که عملکرد مدل LARS در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی مناسب است (22).

روش‌های مختلفی برای کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری می‌باشند. تابیوس و سالاس (1985) در یکی از ایالت‌های آمریکا روش کریجینگ را در توزیع بارش سالانه برای ۲۹ ایستگاه باران‌سنجی مناسب تشخیص دادند (23). آبتیو و همکاران (1993) در جنوب فلوریدا، روش

مناسب‌ترین روش در ترسیم نقشه‌های هم‌دمای سالانه معرفی گردید (12). گرامی‌مطلق و شبانکری (2006) با پهنه‌بندی اقلیمی استان بوشهر به این نتیجه دست یافتند که در استان بوشهر براساس روش‌های تجربی، سیستم‌های پهنه‌بندی اقلیمی دمارتن با تفکیک استان به دو ناحیه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، سیستم سلیمانوف با دو ناحیه اقلیمی بیابانی و استپی خشک و سیستم کوپن با دو ناحیه اقلیمی خشک جنب حاره و نیمه‌خشک جنب‌حاره از سایر روش‌های پهنه‌بندی تجربی نتایج بهتری را ارائه کردند (10). کاکاوند و نجف‌آبادی (2008) در طرح پژوهشی خود، تحت عنوان پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین با بهره‌گیری از GIS نیز ضمن استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی از جمله دمارتن و کریمی نقشه اقلیمی استان قزوین را تهیه نمودند (17). لشنی‌زند و همکاران (2010) در پهنه‌بندی اقلیمی استان گیلان با استفاده از روش‌های کلاسیک مانند کوپن، دمارتن، آمبرژه، ایوانف به این نتیجه دست یافتند که براساس روش دمارتن، کل ایستگاه‌های سینوپتیک استان گیلان اقلیم بسیار مرطوب دارند، به استثنای ایستگاه منجیل که از نوع اقلیم خشک می‌باشد (19).

با توجه به تنوع اقلیمی استان گلستان، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات پهنه‌های اقلیمی استان تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم است که بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ترسیم شده است.

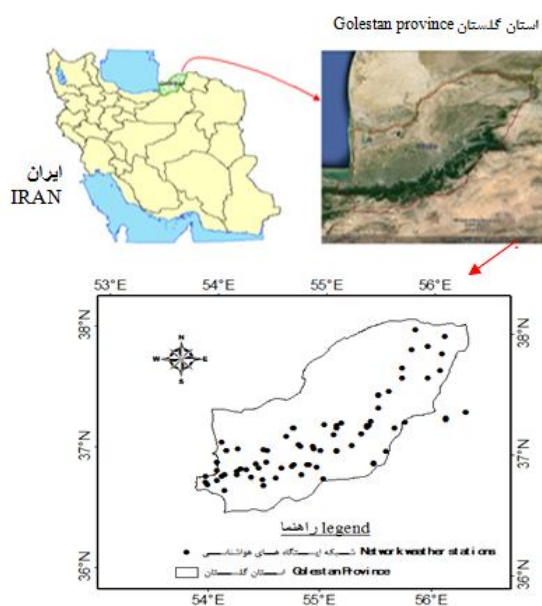
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: استان گلستان در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. این استان با مساحت ۲۰۴۳۷/۷۵ کیلومتر مربع، که تشکیل‌دهنده ۱/۳ درصد مساحت کل کشور و ۱۱/۷ درصد از مساحت حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد در شمال ایران، بین ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه عرض شمالی و

کریجینگ را به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد بارندگی سالانه معرفی کردند (1). گووارتس (2000) در کشور پرتقال روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را برای برآورد بارندگی سالانه ۳۶ ایستگاه کلیماتولوژی بررسی کرد و روش کریجینگ مناسب‌تر شناخته شد (13). جان‌داگ‌دو و اسن (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 الگو شده نتیجه گرفتند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با ضریب تبیین ۸۶٪ درصد در مقایسه با روش کریجینگ و کوکریجینگ به‌ترتیب با ضرایب تبیین ۵۱٪ و ۶۷٪ درصد کم‌ترین مقدار خطای پیش‌بینی را به‌خود اختصاص می‌دهد (15). عساکره (2008) در پژوهشی با عنوان کاربرد روش کریجینگ در میانمایی بارش، این روش را روشی دقیق و پرکاربرد معرفی کرده است (3). فرمند و همکاران (2010)، برآورد توزیع مکانی بارندگی در حوضه آبریز سد درودزن را با استفاده از GIS بررسی کردند و با مقایسه و ارزیابی روش‌های درونیابی کریجینگ و عکس فاصله برتری روش کریجینگ نسبت به روش عکس فاصله را اثبات کردند (8). قربانی و آفاشری‌عتمداری (2014) در بررسی تأثیر گرادیان‌های موضعی در افزایش دقت درونیابی داده‌های اقلیمی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، 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 و به این نتیجه رسیدند که نتایج درونیابی به کمک روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درونیابی اختلاف معنی‌داری دارد بنابراین این روش

۵۳۰ میلی‌متر است. مطالعه حاضر بر اساس داده‌های بارش تجمعی سالانه ۶۰ ایستگاه و داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه ۲۲ ایستگاه هواشناسی استان گلستان (شکل ۱) که دارای آمار کاملی در دوره مشاهداتی ۱۳۹۰-۱۳۶۰ بودند، انجام شد.

۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده که از تنوع اقلیمی خوبی برخوردار است و تقریباً تمام اقلیم‌های ایران را در بر می‌گیرد و از آن به‌عنوان اکوتوریسم ایران یاد می‌کنند. میزان بارندگی سالانه استان بین ۱۹۲ تا ۹۶۲ میلی‌متر می‌باشد و میانگین آن در استان



شکل ۱- شبکه ایستگاه‌های هواشناسی در استان گلستان.

Figure 1. Network of weather stations in Golestan Province.

کنند. مدل‌های مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی مدل‌هایی هستند که خروجی مدل‌های عددی گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری به‌نحوی ریزمقیاس می‌نمایند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. معروف‌ترین این مدل‌ها عبارتند از: USCLIMAT, WGE, LARS-WG, CLIGEN, SDSM, GEM MET&ROLL (4).

در این پژوهش از مقادیر روزانه بارش و حداقل و حداکثر دما در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱ استفاده شده است. همچنین جهت ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش در هر سه دوره از خروجی‌های مدل اقلیمی HADCM3 تحت سناریوهای مختلف اقلیمی

تغییر اقلیم و مدل مولد داده LARS: تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت‌تأثیر 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 (18). در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است تا داده‌های دوره پایه مشخص شوند. اخیراً قدرت تفکیک مدل‌های گردش عمومی و منطقه‌ای افزایش پیدا کرده است، ولی هیچ یک از این مدل‌ها نمی‌توانند آب‌وهوای واقعی را در مقیاس منطقه‌ای و یا کوچک‌تر برآورد یا پیش‌بینی

d_i فاصله بين نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمين، a عدد صحيحى (بين 1 تا 5) و n تعداد نقاط مشاركت داده شده در درون يابى است (2).

روش اسپيلاين: اسپيلاين ها، توابع پيچيده اى شامل قطعاتى از چند جمله هاى با درجات مختلف بين هر دو نقطه از فضا هستند كه در محل اتصالات، نرم شده اند. اسپيلاين ها يكي از بهترين روش ها براى نشان دادن تغييرات تدريجى سطوح مانند ارتفاع، عمق سطح ايستابى يا غلظت آلودگى مى باشد. نتيجه درون يابى با اين روش سطحى نرم و هموار مى باشد (2).

در روش اسپيلاين نقاط مجهول بر اساس معادله زير تخمين زده مى شوند.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i \Phi(\|s_i - s_0\|) + \omega_{n+1} \quad (2)$$

كه در آن، $\Phi(r)$ تابع پايه شعاعى، $r = \|s_i - s_0\|$ فاصله اقليدسى بين پيش بينى مكان s_0 و هر داده مكانى s_i و $\{\omega_i = 1, 2, \dots, n+1\}$ وزن هاى كه تخمين زده مى شوند.

روش كريجينگ: در بين روش هاى درون يابى روش كريجينگ براى ترسيم نقشه هاى همبارش روش مناسبى مى باشد. كريجينگ يك روش تخمين آمارى است كه مقادير مجهول را با استفاده از مقادير معلوم و يك نيم تغيير نما، برآورد مى كند. اين روش بر منطق ميانگين متحرك وزن دار استوار مى باشد. كريجينگ علاوه بر تخمين مقادير مجهول، خطاى مرتبط با آن تخمين را نيز حساب مى كند. بنابراين مى توان فاصله اطمينان تخمين را براى هر مقدار برآورد شده محاسبه كرد.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (3)$$

A1B, B1 و A2 در مدل توليد داده LARS-WG استفاده شد. مدل گردش عمومى جو HadCM3. يكي از مدل هاى جفت شده اقيانوسى جوى است كه توسط مركز تحقيقات و پيش بينى اقليمى هادلى در بریتانیا طراحی شده است (16). LARS-WG يكي از مشهورترين مدل هاى آمارى مولد داده هاى تصادفى وضع هوا است كه براى توليد بارش روزانه، تابش، ماكزيمم و مينيمم درجه حرارت هاى روزانه در يك ايستگاه تحت شرايط اقليم حاضر و آينده به كار مى رود. خروجى هاى اين مدل شامل دماى كمينه، دماى بيشينه، بارش و تابش مى باشد. توليد داده ها توسط مدل در سه مرحله انجام مى شود كه عبارتند از: كالبره كردن، ارزشيابى و ايجاد داده هاى هواشناسى (5).

روش هاى درون يابى: براى پهنه بندى اقليمى لازم است داده هاى هواشناسى كه در مقياس ايستگاهى ثبت شده اند درون يابى شوند، روش هاى مختلفى براى درون يابى در نرم افزار GIS وجود دارد. در اين پژوهش از روش هاى عكس وزن فاصله و اسپيلاين با روش زمين آمارى، كريجينگ براى درون يابى بارش و براى درون يابى دما از روش رگرسيون وزن دار جغرافيايى استفاده شد. اين روش ها به شرح زير مى باشند:

روش عكس وزن فاصله: مقدار يك متغير در نقطه اى كه نمونه بردارى انجام نشده باشد از روى نقاط مجاورش با استفاده از رابطه 1 تخمين زده مى شود:

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

كه در آن، Z^* مقدار برآورد شده بارش، Z_i مقدار مشاهده شده بارش در اطراف نقطه مورد نظر،

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{kr} x_{ikr} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (5)$$

که در آن، y_i بارش درون‌یابی شده در موقعیت i ، مقدار β_0 عرض از مبدأ، β_{ik} برابر است با k^{th} پارامتر موضعی در i^{th} موقعیت، X_{ik} نشان‌دهنده k^{th} متغیر مستقل در i^{th} 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 این امکان را می‌دهد تا پارامترهای تخمین‌زده شده به صورت موضعی تغییر کند. یک الگو GWR می‌تواند به صورت رابطه ۶ نوشته شود (21):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (6)$$

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. ε_i و X_{ik} به ترتیب متغیرهای مستقل و میزان خطا در موقعیت i می‌باشند. پارامترهای الگوی رگرسیون چندمتغیره خطی بر اساس حداقل مربعات معمولی به صورت رابطه ۷ تخمین زده می‌شود:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

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:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (x^T w(u_i, v_i) x)^{-1} x^T w(u_i, v_i) Y \quad (8)$$

که در آن، $z^*(x_i)$ مقدار برآورد در نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر $z(x_i)$ ، 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 نااریب است، بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد (2).

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 به وجود می‌آید. 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 به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. GWR یک معادله رگرسیونی جداگانه را برای هر مشاهده به‌جای واسنجی یک معادله، تولید می‌کند، بنابراین این امکان را می‌دهد تا مقادیر پارامتر 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 غیرمستقل برای هر مشاهده واسنجی شده است، بنابراین یک پارامتر پیش‌بین جداگانه، مقدار Z و R^2 برای هر مشاهده محاسبه می‌کنند. جزئیات کامل GWR توسط فادرینگهام و همکاران (2002) ارائه شده است (9).

تحلیل‌های رگرسیونی برای الگوبندی رابطه بین یک متغیر با یک یا چند متغیر دیگر مطابق رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده می‌شود.

آماره آزمون t در شرایطی که اندازه و واریانس دو نمونه یکسان نباشد به فرم زیر است:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (12)$$

که در آن، n اندازه نمونه، S^2 واریانس نمونه و \bar{X} میانگین نمونه و اندیس‌های ۱ و ۲ معرف نمونه‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌اند. پس از محاسبه t ، احتمال مقادیر بزرگ‌تر از $|t|$ (یعنی p -value) به دست آمده از توزیع آماری t با درجه آزادی n_1+n_2-2 در سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد مقایسه می‌شود. چنانچه p -value کم‌تر از ۵ یا ۱ درصد باشد، فرضیه تساوی میانگین‌ها رد می‌شود (11).

پهنه‌بندی اقلیمی دومارتن: طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن بر اساس عوامل زیادی از جمله عناصر دما و بارندگی پایه‌گذاری شده است. به عقیده این دانشمند در بین تمام عوامل و عناصر جهت طبقه‌بندی دما و بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

دومارتن بین درجه حرارت و مقدار رطوبت رابطه تجربی زیر را پیدا کرد:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (13)$$

که در آن، I شاخص خشکی، T متوسط دمای سالانه یا ماهانه بر حسب درجه سلسیوس و P متوسط بارندگی سالانه یا ماهانه (میلی‌متر).

بر اساس فرمول دومارتن ۶ نوع آب‌وهوا طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۱):

که در آن، $W(u_i, v_i)$ 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 متقابل (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 شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای همه نقاط شبکه این عمل صورت می‌گیرد. در نهایت در هر روش با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریبی و ریشه مجذور مربعات خطا از روابط ۹ تا ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$MBE = \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) / n \quad (9)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \quad (10)$$

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2 / n \right)^{1/2} \quad (11)$$

آزمون تساوی میانگین‌ها: برای بررسی میانگین‌های دو نمونه معمولاً از آزمون t دو نمونه‌ای استفاده می‌شود. در این مطالعه، فرضیه‌های آزمون به صورت زیر است:

فرضیه H_0 : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده مساوی میانگین داده‌های مشاهده شده است.

فرضیه H_1 : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده با میانگین داده‌های مشاهده شده فرق می‌کند.

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن.

Table 1. Climate classification Demarton.

بسیار مرطوب	مرطوب	نیمه‌مرطوب	مدیترانه‌ای	نیمه‌خشک	خشک	نوع اقلیم
Very wet	Wet	Semi-Wet	Mediterranean	Semi-dry	dry	Type of climate
More than 35	28-35	24-28	20-24	10-20	0-10	ضریب خشکی دمارتن (I) index Demarton

در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ افزایش دمای بیش‌تری را برای استان نشان می‌دهد.

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی: در ابتدا به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش اشاره می‌شود. نتایج معیارهای ارزیابی خطا (جدول ۲) نشان می‌دهد که روش کریجینگ نسبت به روش‌های عکس وزن فاصله و اسپیلاین 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.

اولین گام در تهیه نقشه‌های هم‌دما استفاده از رابطه گرادیان دما با ارتفاع می‌باشد، اما این گرادیان گرمایی در مناطق مختلف عدد ثابتی نیست. بنابراین در مناطق بزرگ تعمیم یک رابطه گرادیانی به کل منطقه، نتایج خوبی را به‌همراه ندارد. در چنین مواردی استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به کار قربانی و آقاشریعتمداری (۲۰۱۴) درون‌یابی به روش GWR برای داده‌های دما با $R^2 = 95\%$ مناسب می‌باشد و نقشه‌های هم‌دما نیز با توجه به وضعیت توپوگرافی استان و تأثیر ارتفاع بر دما، با روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی ترسیم شدند (۱۲).

لازم به ذکر است که برای پارامتر دما براساس نتیجه مطالعه قربانی و آقاشریعتمداری (۲۰۱۴)، از روش GWR استفاده شده است (۱۲). پس از پهنه‌بندی بارش و دما، پهنه‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های اقلیمی تولید شده توسط مدل LARS تحت سناریوهای مختلف ترسیم و مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

نتایج و بحث

بررسی نتایج مدل اقلیمی LARS: ابتدا قابلیت مدل اقلیمی LARS در شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها و آزمون مقایسه واریانس‌ها بررسی شد و نتایج نشان داد که اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین دما و بارش شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی وجود ندارد.

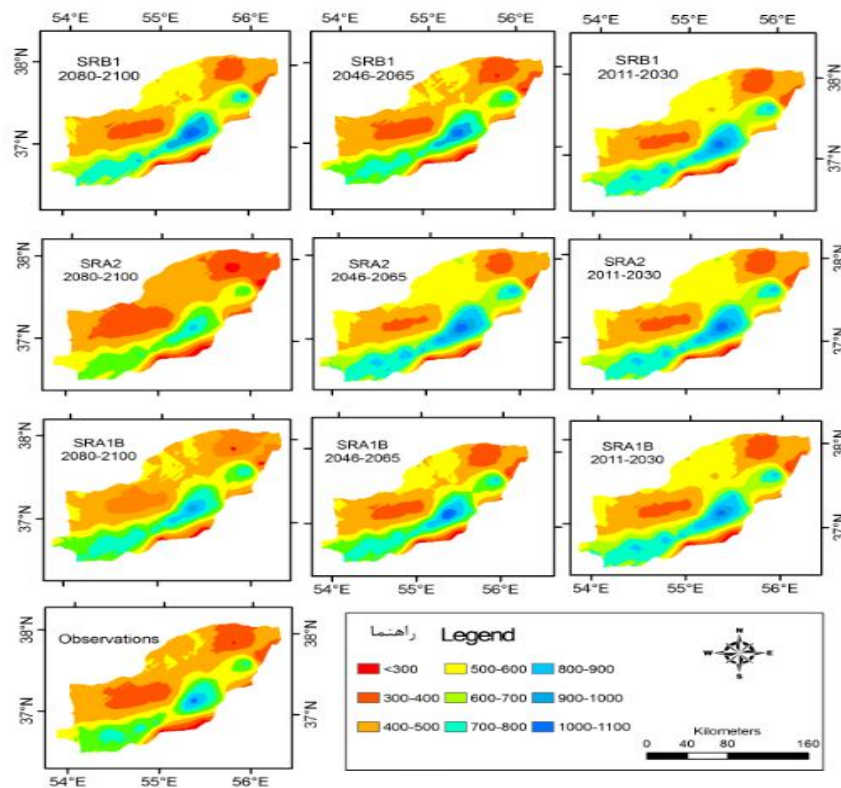
داده‌های اقلیمی تولید شده توسط مدل LARS براساس نتایج مدل گردش عمومی جو HadCM3، تحت سناریوهای مختلف در ماه‌های مختلف براساس آزمون مقایسه میانگین‌ها مقایسه شد و نتایج نشان داد که میانگین دمای هوا تا ۴/۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد ولی بارش در برخی از ماه‌ها کاهش و در برخی از ماه‌ها افزایش می‌یابد. در بین سناریوهای مختلف در مورد دما، سناریوی A2

جدول ۲- نتایج ارزیابی خطا روش‌های مختلف درونیابی.

Table 2. Results of the different methods of interpolation error.

اسپیلاین			کریجینگ			وزنی عکس فاصله			الگو
RBF			Krijing			IDW			Pattern
MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	علامت اختصاری
									Symbol
									بارش مشاهده‌ای
									View of observation
99.6	143.8	-15	88.4	138.2	-8.5	103.3	145.9	-27.1	2011-2030
110.1	160.8	-16.8	98.6	152.2	-6.7	113.7	165.2	-27.7	2046-2065
105.8	155.4	-16.1	94.1	147.3	-6.3	109.7	159.6	-26.7	2080-2100
105.1	153	-14.8	93.7	146.1	-5.6	108.6	155.7	-24.2	2011-2030
111.1	164.2	-17	98.9	153.8	-7.6	114.5	167.5	-29.4	2046-2065
110.1	162.4	-17	99.5	155.7	-7.4	118.3	168.8	-26.2	2080-2100
93.5	138	-13.2	83.5	132	-5.6	97.2	139.9	-22	2011-2030
109.7	161.5	-16.6	98.7	152.9	-7.1	113.8	166.1	-28.5	2046-2065
104	151.8	-15.1	92.5	144.5	-5.6	107.2	155	-24.9	2080-2100
108.3	157.1	-15.7	96.9	149.3	-5.9	111.3	160.6	-26.1	

مقایسه بارش و دما تحت سناریوهای مختلف



شکل ۲- پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف.

Figure 2. Rainfall zones in the base period and future periods under different scenario.

جدول ۳- درصد مساحت پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف.

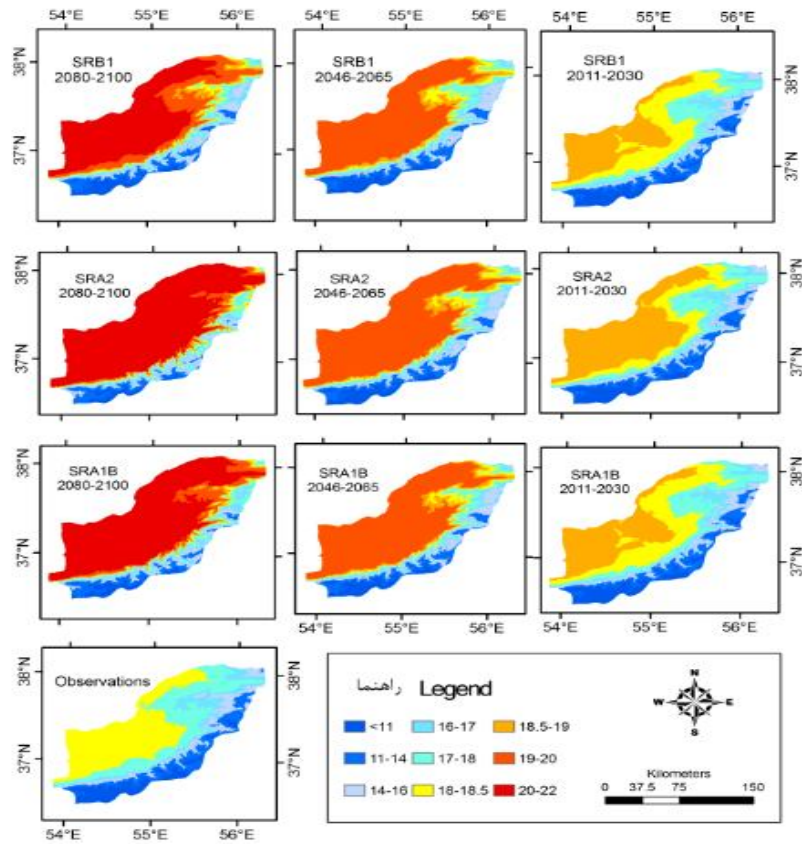
Table 3. Percent of zones month base period and future periods under different scenarios.

دوره آماری										سناریوها Scenarios
Period										
2080-2100			2046-2065			2011-2030			p-obs	بارش Rain (mm)
SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2		
1	1	2	1	1	0	0	1	0	1	<300
11	16	27	15	13	7	10	10	10	18	300-400
32	34	37	36	32	27	28	28	27	41	400-500
27	21	16	21	25	37	29	29	30	18	500-600
13	14	15	14	14	13	13	13	13	15	600-700
12	11	3	10	12	14	13	13	13	6	700-800
3	2	0	2	3	5	4	4	5	2	800-900
1	0	0	0	1	2	1	1	2	0	900-1000
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1000-1100

از مساحت کل استان بوده است و در دوره‌های آتی این میزان تغییرات دمایی افزایش یافته است. به طوری که مساحت این پهنه‌های اقلیمی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته و بیش‌ترین افزایش دما در این دوره تحت سناریو A2 می‌باشد. در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نیز به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دما داشتیم و بیش‌ترین افزایش دما در این دوره تحت سناریو A2 و A1B می‌باشد. در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۰ نیز به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دما داشتیم و بیش‌ترین افزایش دما در این دوره تحت سناریو A2 می‌باشد.

با توجه به شکل ۲ و جدول ۳، میزان بارندگی در استان گلستان در دوره مشاهداتی تا ۹۰۰ mm بوده و در دوره‌های آتی این میزان بارندگی افزایش یافته است. به طوری که این پهنه‌های بارش به ۱۱۰۰ mm در سناریو A2 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و نیز به ۱۰۰۰ mm در سناریو B1 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۰ رسیده است.

با توجه به شکل ۳ و جدول ۴، تغییرات دمایی در استان گلستان در دوره مشاهداتی تا ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین مساحت پهنه‌های اقلیمی در محدوده ۱۸-۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد به میزان ۳۷ درصد



شکل ۳- توزیع مکانی دما در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف (°C).

Figure 3. Spatial distribution of temperature in the base period and future periods under different scenarios (°C).

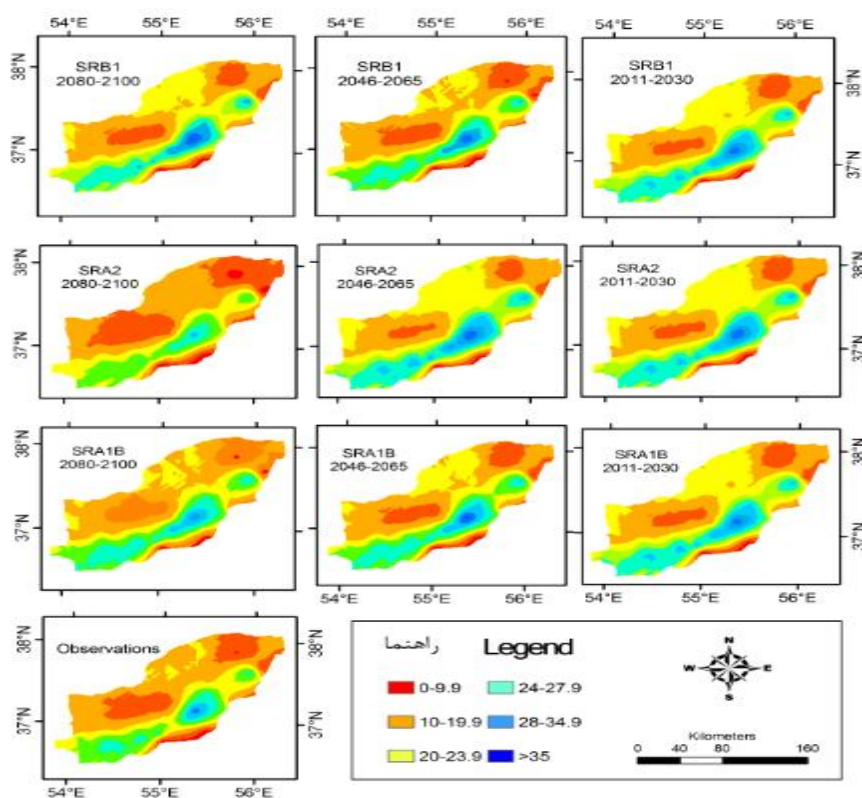
جدول ۴- مساحت پهنه‌های اقلیمی در ۹ اقلیم در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف.

Table 4. Area of climate zones in 9 region in the base period and future periods under different scenarios.

دوره آماری										سناریوها Scenarios دما (°C)
Period										
2080-2100			2046-2065			2011-2030			t-obs	Temperature
SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2		
5	3	2	6	5	5	8	8	8	9	<11
7	6	5	8	8	8	10	10	10	11	11-14
8	6	5	9	8	8	9	9	9	10	14-16
5	5	3	5	5	5	8	8	7	10	16-17
5	5	5	7	6	6	14	14	13	23	17-18
4	2	2	6	5	5	24	24	14	37	18-18.5
5	3	2	8	7	7	26	27	39	0	18.5-19
17	10	6	52	56	56	0	0	0	0	19-20
46	61	69	0	0	0	0	0	0	0	20-22

(شکل ۴). نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در مجموع اقلیم استان به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش می‌رود و در این میان سناریوی A2 در دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ شرایط خشک‌تری را برای استان پیش‌بینی می‌کند (جدول ۵).

مقایسه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی: براساس نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دمایی که با استفاده از میانگین داده‌های بارش و دما طی دوره‌ی مشاهداتی و دوره‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف به دست آمد. پهنه‌های اقلیمی به روش دمارتن ترسیم شدند مساحت هر یک از این پهنه‌ها محاسبه شد



شکل ۴- پهنه‌بندی اقلیمی به روش دمارتن برای دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف.

Figure 4. Climatic zoning Demarton method for the base period and future periods under different scenarios.

جدول ۵- مساحت پهنه‌های اقلیمی در ۶ اقلیم در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف.

Table 5. Area of climate zones in 6 region in the base period and future periods under different scenarios.

دوره آماری									دوره گذشته ops	اقلیم Climate
2080-2100			2046-2065			2011-2030				
SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	خشک Dry
66	69	76	66	65	60	59	58	58	65	نیمه‌خشک Semi-Arid
11	12	12	11	11	12	12	13	12	12	مدیترانه‌ای Mediterranean
10	10	7	10	10	9	9	9	9	9	نیمه‌مرطوب Semi-Wet
11	8	3	11	11	13	13	13	13	10	مرطوب Wet
3	1	0	3	3	6	7	7	7	4	بسیار مرطوب Very wet

به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش می‌رود که این می‌تواند به دلیل افزایش دما باشد.

کاربرد روش اقلیمی دمارتن در بررسی آب‌وهوایی استان گلستان نشان می‌دهد که در گستره استان تنوع آب و هوایی وجود دارد. شرایط مختلف محلی موجب گوناگونی در ویژگی‌های آب‌وهوایی مناطق مختلف در استان شده است که با به‌کارگیری روش‌های پهنه‌بندی اقلیمی این گوناگونی در استان مشاهده می‌شود. در این پژوهش مشخص شد که در استان گلستان به روش سیستم دمارتن، استان به ۵ پهنه آب‌وهوایی تقسیم شده که عبارتند از اقلیم نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب می‌باشند. به‌طور کلی بیش‌ترین پهنه استان، در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک قرار دارد.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که از بررسی پهنه‌های اقلیمی در دوره‌های اقلیمی آینده ناشی از تغییر اقلیم به دست آمد عبارتند از:

نتایج مدل اقلیمی LARS نشان می‌دهد که در دوره‌های اقلیمی ۲۰۱۱-۲۱۰۰ در استان گلستان دمای هوا به میزان ۱/۰۸ تا ۵/۳۷ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. همچنین میانگین بارش سالانه نیز افزایش بارش را در استان نشان می‌دهد. سناریوی A2 از بین سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش دمای بیش‌تری را نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهد و همچنین برای پارامتر بارش، سناریوهای A1B در دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ افزایش بارش بیش‌تری را نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهند و با وجود افزایش بارش در استان گلستان شاهد هستیم که اقلیم استان

منابع

1. Abtew, W., Obeysekera, J., and Shih, G. 1993. Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida. *Water Resources Bulletin*. 29: 179-188.
2. Aghdasi, F. 2004. Study of some geostatistical methods for mapping of daily and annual precipitation (Case study: Borkhar plain). M.Sc. Thesis of Science in Agrometeorology. University of Tehran. (In Persian)
3. Asakereh, H. 2008. Application of Kriging interpolation of rainfall, Case Study: interpolation of precipitation 1998/3/17 in Iran. *J. Geograph. Dev.* 12: 25-42. (In Persian)
4. Babaeian, I., and Najafi Nick, Z. 2011. Analysis of Climate Change in the Razavi Khorasan province 2010-2039 in the model output downscaling GCM. *Development of Geography and Regional Magazine*. 15p. (In Persian)
5. Babaeian, I., Najafi Nick, Z., Nokhandan Habibi, M., Zabul Abbasi, F., Adab, H., and Malboci, Sh. 2007. Modeling the climate Iran in the period 2010-2039 using a statistical overview of the output of small-scale model ECHO-G. Technical workshop on climate change impacts on water resources management. (In Persian)
6. Cut Forth, H.W., Woodwin, B.G., Mc Cokey, R.J., Smith, D.G., Jefferson, P.G., and Akinremy, O.O. 1999. Climate Change in the Semiarid prairie of southwestern Saskatchewan: Late winter-early spring. *Can. J. Plant. Sci.* 79: 343-353.
7. Dosti, M., Habib Nezhad, M., Shahedi, K., and Miryaghobzade, M. 2013. Climatic indices basin Tamar, Golestan province in terms of climate change by using the LARS-WG. *Earth Space Physics J.* 39: 4. 177-189.
8. Farahmand, A., Golkar, F., and Farahmand, F. 2010. Estimating the spatial distribution of rainfall in the dam Basin Dorudzan using GIS. *Geomatics Conference*. May.
9. Fotheringham, A.S., Brunson, C., and Charlton, M.E. 2002. *Geographically weighted regression*. Chichester: John Wiley & Sons.
10. Gerami Motlagh, A., and Shbankary, M. 2006. Climate zoning Bushehr province. *Isfahan Univ. J. (Humanities)*. Cover the twentieth. 1: 187-210.
11. Ghorbani, Kh. 2013. Geographically weighted regression: A method for mapping isohyets in Gilan Province. *J. Water Soil (Agricultural Science and Technology)*. Ferdowsi University of Mashhad. 26: 3. 743-752.
12. Ghorbani, Kh., and Aghshariatmadari, 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). *J. Water. Manage. Res.* 5: 10. 132-143.
13. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approach for incorporating elevation into spatial interpolation of rainfall. *J. Hydrol.* 228: 2. 113-129.
14. Graham, P., Cleugh, H., Stafford Smith, M., and Battaglia, M. 2011. Science and solutions for Australia, Climate Change. Pp: 4-5.
15. Gundogdu, I., and Esen, O. 2010. The importance of secondary variables for mapping of meteorological data. The 3rd international conference on cartography and GIS. 15-20 June, 2010, Nessebar, Bulgaria.
16. Hadley Center. 2006. Effect of climate change in the developing countries. UK Meteorological Office.
17. Kakavand, R., and Najafabadi, M. 2008. Qazvin climatic maps using GIS. Conference on Geographic Information System. Azad University of Qazvin.
18. Karamooz, M., and Araghinejad, Sh. 2005. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University. Press, 464p.
19. Lshnyznd, M., Shah Hosseini, M., and Beyranvandezade, M. 2010. Climate zoning Gilan using classical methods. Conference on Applications of Natural Geography in environmental planning 5 and 6 June. Islamic Azad University Khoramabad.
20. Masoudian, S.A. 2003, the area's climate IRAN, geography and development. 2: 184-171.

21. Mennis, J. 2006. Mapping the Results of Geographically Weighted Regression. *Cartographic J.* 43: 2. 171-179.
22. Meshkatee, A., Kordjazi, M., and Babaeian, I. 2010. Evaluation of the Simulation Model Lars During the 1993-2007. *J. Geograph. Sci. Appl. Res.* 16: 19. 81-96.
23. Tabios, G.Q., and Salas, J.D. 1985. A comparative of techniques for spatial analysis precipitation. *Water Resources Bulletin.* 21: 3. 365-380.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Comparative study of climatic regions of Golestan province under different climate change scenarios

***M. Bazrafshan Daryasari¹, M. Meftah Halghi², Kh. Ghorbani³
and N. Ghahraman⁴**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resources Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University

Received: 12/23/2014; Accepted: 02/02/2016

Abstract

Background and Objectives: Climate which is defined as the average weather, has been changed in recent years due to increased greenhouse gasses emission and imbalance of radiation in atmosphere. Climate change is one of the major challenges which affect different aspects of human life on the earth. For recognition of climates a set of rules are employed which are called climatic classification. For performing classification the observed at-station data should be interpolated using different methods. Golestan province located in northeast of Iran with diverse climates is chosen for current study. As it is an important agricultural production region, its climatic classification is of main concern. The aim of this study is to investigate the effects of climate change on climatic zones.

Materials and Method: The study area is located in southeastern part of Caspian Sea, between 36° 24' to 38° N and 53° 51' to 56° 14' E. The required data of temperature and rainfall for baseline period 1982-2011 were generated using LARS-WG model. These generated data along with historical observed dataset were used for calculation of DeMartone classification index. Besides, the index was worked out using the data for baseline and outputs of HADCM3 climate model for three future periods of 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2100 under three emission scenario of A2, A1B and B1. The rainfall and temperature data were interpolated using Kriging and Geographically Weighted Regression methods, respectively. The climatic zones were compared based on their coverage percentage in province.

Results and Discussion: The outputs of LARS weather generator indicated the increase of mean air temperature in Golestan province for about 4.3 °C by 2100. Among different emission scenarios, the A2 scenario at the period of 2070 to 2100 shows the maximum increase in temperature. The average monthly rainfall showed decreasing trend in some months and increasing trend in some others but in general, the total annual rainfall will increase. The evaluation of different interpolation methods revealed that the Kriging method is performing more accurately than IDW and Spline methods at interpolation of rainfall data.

Conclusion: The outputs of LARS weather generator showed an increasing trend in both temperature and rainfall, but the increase would be more significant in case of temperature which in turn, would shift the climatic zones of province. In general, the province would experience more arid conditions in future periods as a result of climate change. In this manner, the A2 scenario projects more arid conditions for Golestan province by the end of this century.

Keywords: Climatic zoning, De-Martone index, Interpolation, LARS

* Corresponding Author; Email: bazrafshan_mehrnaz@yahoo.com