روشی جدید جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی دما و بارش در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو (اردبیل)

کاظم جوان[۱]، حمید طاهری شهرآئینی*[۲]، فرزین نصیری صالح[۳]، مجید حبیبی نوخندان[۴]

۱.دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران - مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۲.دکتری مهندسی عمران- آب، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳.دکتری مهندسی عمران - آب، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴.دکتری- اقلیم شناسی، استادیار، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۷/۱۹

چکیده

استفاده از پراکنش‌های مکانی بارش و دما نقش مهمی در افزایش دقت خروجی مدل‌های هیدرولوژیکی دارند. هدف از این مقاله تهیه پراکنش‌های مکانی دما و بارش در آینده در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو است. حوضه آبریز مورد مطالعه در شمال غرب کشور و در استان اردبیل قرار دارد. این حوضه آبریز از نظر تولید محصولات کشاورزی در ایران دارای اهمیت بسیار است. در تهیه پراکنش‌های مکانی بارش و دما از روش‌های درونیابی شامل روش‌های وزنی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی(RBF)، مکانی چند جمله‌ای و کریجینگ از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. بدین منظور ابتدا داده‌های ماهانه بارندگی و دما در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو با استفاده از ۱۰ ایستگاه هواشناسی در سال ۲۰۰۴ تهیه شد، سپس به منظور انتخاب روش مناسب برای تهیه پراکنش‌های مکانی بارش و دمای حوضه آبریز کارایی روش‌های زمین آمار مورد بررسی قرار گرفت. با محاسبه شاخص‌های میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا و مقایسه، روش وزنی عکس فاصله مناسب‌ترین روش برای تهیه پراکنش مکانی دما و روش RBF برای تهیه پراکنش‌های مکانی بارش در این حوضه شناخته شده است. در صورتی‌که با کمک روشی بتوان پراکنش‌های مکانی بارش و دما در آینده را تهیه کرد، می‌توان پیش‌بینی‌های دبی را با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی انجام داد. در این مقاله الگوریتم روشی بیان شده که می‌توان به کمک آن پراکنش‌های مکانی بارش و دما در آینده را تهیه کرد. برای پیش‌بینی پراکنش‌های مکانی دما و بارش در آینده نیاز به یک مدل پیش‌بینی‌کننده متغیرهای آب و هوایی است که در این مقاله از داده‌های مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS استفاده شده است. خروجی داده‌های مدل PRECIS با قدرت تفکیک ۵۰×۵۰ کیلومتر بر اساس سناریوی B2 از سری سناریوی SERS و برای سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ است. نتایج پراکنش‌های مکانی دما در حوضه نشان می‌دهد که دما در تمامی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو نسبت به دوره پایه بین ۲ تا ۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و همچنین نتایج پراکنش‌های مکانی بارش در حوضه به دلیل افزایش و کاهش در ماه‌های مختلف سال روند خاصی را تسبت به دوره پایه نشان نمی‌دهد.

کلید واژه ها: پیش‌بینی پراکنش‌های مکانی بارش و دما، حوضه آبریز رودخانه قره‌سو، مدلPRECIS ، روش‌های درون‌یابی

* Email: hamid.taheri@modares.ac.ir

تلفن نویسنده مسئول: ۰۹۱۲-۴۴۵۷۹۶۶

مقدمه

مبحث تغییر اقلیم از جنبه‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته و تاکنون تحقیقات متنوعی در رابطه با اثر تغییر اقلیم در منابع آب به انجام رسیده است (Wilby و همکاران، ۱۹۹۹). روش‌های مختلفی برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب بیان شده است که یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌هایی که داده‌های اقلیمی آینده را تولید می‌کنند، است.

آماده‌سازی داده‌های اقلیمی با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌شود که ما در این مقاله روش جدیدی را برای این کار ابداع کردیم. هدف اصلی این مقاله ارائه این روش جدید و خروجی پراکنش‌های مکانی دما و بارش در آینده می باشد. یکی از مدل‌هایی که داده‌های اقلیمی آینده را تولید می‌کنند مدل‌های گردش جهانی (GCM[1]) است (Watson، ۱۹۹۵). اگر چه، قدرت تفکیک مکانی GCMها برای مطالعات تغییر اقلیم و شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی، کم به نظر می‌رسد، اما یکی از راه‌های رفع این مشکل، تفکیک مقیاس مکانی است.

در محل‌هایی که مقدار پارامترهای اقلیمی مشخص نیستند و GCMها نتوانسته‌اند از آن محل داده تهیه کنند، استفاده از تفکیک مقیاس مکانی توصیه شده است (Wilby و همکاران، ۱۹۹۹). یک راه استفاده از تفکیک مقیاس مکانی، تفکیک مقیاس دینامیکی است که این مسئله در مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCM[2]) رعایت شده است (Hay و همکاران، ۲۰۰۲ و Hay و همکاران، ۲۰۰۳). مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای به علت قدرت تفکیک مکانی بهتر از مدل‌های GCM (در حدود ۵۰ کیلومتر) برای شبیه‌سازی عوارض زمین و کاربری اراضی مناسب‌ترند. همچنین داده‌های بارشی که بوسیله مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای تولید می‌شوند برای ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی مناسب‌تر هستند (Gutowski و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای، مدل PRECIS[3] است که با استفاده از این مدل، تحقیقات زیادی به منظور از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مختلف صورت پذیرفته است.

Lijuan و همکاران (۲۰۰۷) اقدام به شبیه‌سازی یکی از حوضه‌های آبریز رودخانه زرد در چین در یک دوره ۱۵ ساله به کمک مدل PRECIS و مدل شبیه‌سازی رواناب LRM نمودند. نتایج مدل PRECIS نشان داد که این مدل می‌تواند در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال غربی حوضه آبریز رودخانه زرد گرادیان پخش بارش را بخوبی مدل کند (Lijuan و همکاران، ۲۰۰۷).) اثرات پدیده تغییراقلیم بر منابع آب و پیش‌بینی تغییر رواناب آینده مخزن Danjiangkou با کمک مدل PRECIS در دوره‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (Chen و همکاران، ۲۰۰۷).Akhtar و همکاران (۲۰۰۸) اقدام به ارزیابی تغییرات در منابع آب بر اثر تغییر اقلیم در سه حوضه آبریز Hindukush–Karakorum–Himalaya پرداختند.

آنها از داده‌ها، بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و سناریوی A2 بین سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ بوسیله مدل PRECIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر استفاده کردند(Akhtar و همکاران، ۲۰۰۸). بابائیان و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات اقلیم ایران را در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ میلادی با استفاده از مدل PRECIS مدلسازی و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این تحقیق ابتدا شبیه‌سازی‌ها برای دو دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۷۱) و دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) اجرا شد

[1] - Global or General Climate Models
[2]. Regional Climate Models
[3]. Providing Regional Climates for Impacts Studies

و خروجی‌های بارش و دمای ماهانه مدل، انتخاب و سپس با مقایسه نتایج مدل در آینده با دوره پایه، نقشه‌های تغییر بارش، دما و رواناب تهیه شدند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعه قویدل رحیمی و محمدخورشیددوست با استفاده از داده‌های ماهانه حاصل از محاسبه ضرایب مربوط به دما و بارش نقاط شبکه در مختصات ایستگاه تبریز و داده‌های ماهانه دما و بارش ایستگاه هواشناسی تبریز در یک دوره آماری ۵۲ ساله از سال ۲۰۰۳-۱۹۵۱ آثار دو برابر شدن میزان دی اکسید کربن جو بر دما و بارش به عنوان مهمترین عناصر اقلیمی، شبیه سازی شده است (قویدل رحیمی و محمدخورشیددوست، ۱۳۸۷). کوچکی وهمکاران (۱۳۸۰) به منظور مطالعه خصوصیات رشدی گندم در شرایط دو برابر شدن غلظت رشد وتولید ارقام گندم به کمک یک مدل عمومی شبیه‌سازی رشد و نمو این گیاه در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی وبا شرایط فعلی مقایسه گردید. داده‌های آب وهوایی مربوط به شرایط تغییر اقلیم(سال۱۴۰۰هجری شمسی) به وسیله مدل‌های عمومی گردش محاسبه شدند.

اطلاعات گیاهی لازم نیز از آزمایش‌های مزرعه‌ای جمع آوری گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر اقلیم از طریق افزایش درجه حرارت باعث ۲۶ روز کاهش در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد. شاخص‌های فیزیولوژیکی نظیر تعداد وسطح برگ‌ها نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

خروجی‌های مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای محدودیت مقیاس مکانی و زمانی دارند، لذا آماده‌سازی داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای برای استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی یک اقدام مهم به نظر می‌رسد. روش‌های زیادی برای تفکیک مقیاس مکانی و زمانی این داده‌ها وجود دارد که در مورد تفکیک مقیاس مکانی می‌توان به روش‌های زمین آمار و در مورد تفکیک مقیاس زمانی می‌توان به روش تغییر دلتا اشاره کرد (Yonas و Paulin، ۲۰۰۵). از دیدگاه زمین آمار، هر نمونه تا فاصلهٔ معینی با نمونه‌های اطراف خود در ارتباط است و در واقع بر طبق فرضیه‌های زمین آماری، احتمال میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است.

بنابراین انتظار می‌رود که روش‌های زمین آماری، با در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها و قابلیت استفاده از روابط بین متغیرها، دارای دقت برآورد بیشتری باشند. مرور تحقیقات پیشین نیز نشان می‌دهد که روش‌های زمین آماری برای بررسی توزیع مکانی بارندگی و دما مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در بیشتر موارد دارای دقت مناسبی بوده‌اند. خوش اخلاق و همکاران در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی رودخانه کارون تغییرات دما و بارش را در طول سه دهه اخیر در ایستگاه سینوپتیک اهواز و همچنین داده‌های دبی این رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی ارتباط میان دبی و بارش ودما برای مقادیر ماهیانه وسالانه با استفاده از روش همبستگی پیرسون مشخص شد که مقدار بارش سالانه روند افزایشی وکاهشی قابل قبولی را نشان نمی‌دهد در حالیکه دما ودبی بطور چشمگیری دارای روند افزایشی می‌باشد(خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹). Lucio در سال ۲۰۰۴ برای ریزگردانی داده‌های دمایی HadCM3 که یک مدل GCM است از روش کریجینگ استفاده کرد. پراکنش‌های مکانی دمایی بدست آمده از این تحقیق، برای بررسی مخاطرات اقلیمی به کار گرفته شدند (Lucio، ۲۰۰۴). Fu و همکاران (۲۰۰۷) روش ابداعی خود را برای بوجود آوردن داده‌ها در تمام

نقاط حوضه با دیگر روش‌های زمین آمار مقایسه و از این داده‌ها برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب حوضه آبریز واشنگتن در آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی در مقایسه با دیگر روش‌ها مناسب‌ترین نتایج را ارائه می‌کند (Fu و همکاران، ۲۰۰۷). با جمع بندی مطالب فوق می‌توان گفت مدل PRECIS یک مدل مناسب برای پیش‌بینی‌های متغیرهای آب و هوایی است. از این رو در این تحقیق، با استفاده داده‌های سناریوی B2 مدل PRECIS و روش‌های زمین‌آمار اقدام به ارائه روشی جدید برای پیش‌بینی پراکنش‌های مکانی دمایی و بارش ماهانه آینده در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو می‌شود.

مواد و روش‌ها

• منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبریز قره‌سو در استان اردبیل در محدوده جغرافیایی E ′۴۴ °۴۷ تا E ′۴۲ °۴۸ و N ′۴۵ °۳۷ تا N ′۳۶ °۳۸ قرار دارد. شکل ۱ مدل ارتفاعی رقومی[1] و جزئیات کلی از حوضه را نشان می‌دهد. حداکثر و حداقل ارتفاعات در این محدوده بترتیب ۴۷۳۲ و ۱۱۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. مهمترین شهر واقع در این محدوده، شهر اردبیل است.

رودخانه قره‌سو دارای طول ۹۰ کیلومتر و خروجی حوضه آبریز در محل ایستگاه هیدرومتری سامیان می‌باشد و مساحت حوضه آبریز آن حدود ۴۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. موقعیت جغرافیائی خاص منطقه مطالعاتی سبب گردیده است که حوضه آبریز قره‌سو در فصل‌های سرد سال تحت تاثیر توده‌های هوایی مهاجر از شمال، شمال غرب و غرب قرار گیرد.

در فصل تابستان نیز گاهی سامانه‌های کم فشار باران زا بر این منطقه تاثیر گذاشته و بارندگی‌های تابستانه را در این مناطق باعث می‌گردد. بخش‌های شرقی حوضه تحت تاثیر اقلیم خزری قرار داشته و بر شرایط دمائی و رطوبتی آن اثر می‌گذارد و موجب تعدیل آب و هوا در این مناطق می‌شود.

• داده‌های بارش و دمای ماهانه

در این تحقیق برای تهیه پراکنش‌های مکانی دمایی و بارش در حوضه آبریز مطالعاتی از اطلاعات مربوط به میانگین بارش دمای ماهانه سال ۲۰۰۴ در ۱۱ ایستگاه در سطح حوضه استفاده شده است. بارش و دمای سال ۲۰۰۴ با داده‌های بارش و دما در یک دوره سی ساله در منطقه همبستگی بسیار بالایی (۰/۹۲) دارد که به دلیل این همبستگی می‌توان به داده‌های این سال اطمینان نمود. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی را در حوضه آبریز قره‌سو نشان می‌دهد. تا حد ممکن باید در خارج از مرز منطقه نیز ایستگاه‌های انتخاب گردد این امر باعث می شود که در مرز حوضه برونیابی انجام نگیرد و خطا در محدوده حوضه افزایش نیابد. به منظور کاهش اثرات برونیابی در طی عملیات درونیابی، از تعدادی از ایستگاه‌های بیرون از حوضه آبریز نیز استفاده شده است.

• روش‌های درون‌یابی بارش و دما

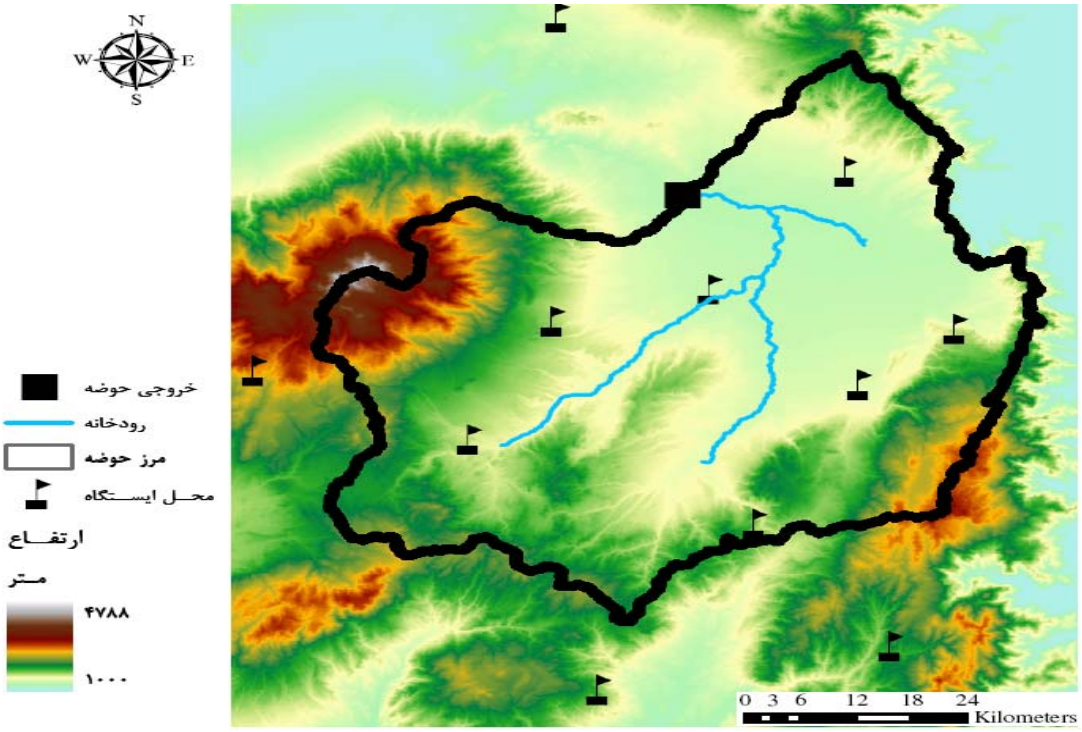
در مورد بارش و دمای ماهانه در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو، روش‌های درون‌یابی مختلف شامل روش‌هایIDW چندجمله‌ای کلی و محلی، RBF، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی توسط جوان (۱۳۸۹) مورد استفاده و قیاس قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده است که در مورد دمای ماهانه بهترین روش IDW است و در مورد بارش ماهانه بهترین روش درون‌یابی

[1] - Digital Elevation Model

روش RBF از نوع Spline with Tension بوده است.

• معرفی مدل

مدل PRECIS[1] یک مدل اقلیمی منطقه‌ای مناسب است که می‌تواند با کامپیوترهای شخصی اجرا و در سطحی از جهان که در آن سناریوهای تغییر اقلیم بیان شده، استفاده شود. این مدل توسط مرکز هادلی[2] برای بخش‌های محیطی، غذایی و فعالیت‌های روستایی گسترش یافته است. هدف از ساختن مدل PRECIS این بوده است که به طور رایگان در اختیار کشورهای در حال توسعه قرار گرفته و آن‌ها بتوانند سناریوهای تغییر اقلیم را در مراکز ملی خود توسعه دهند. آن‌ها می‌توانند از داده‌های محلی برای اجرای مدل در محلشان و پیش‌بینی معتبر از آن استفاده کنند (Jones و همکاران ۲۰۰۴). در مدل PRECIS از مدل HadAM3H که خود مولفه جوی مدل جفت شده جوی- اقیانوسی HadCM3 مرکز هادلی است، استفاده شده است (Gordon و همکاران، ۲۰۰۰). خروجی داده‌های مدل PRECIS به صورت ماهانه است. این مدل دارای قدرت تفکیک فضایی ۵۰ و ۲۵ کیلومتر، با ۱۹ لایه در جو (از سطح زمین تا ۳۰ کیلومتری در استراتوسفر) و چهار لایه در عمق خاک می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های شرایط مرزی مدل گردش جهانی جو HadAM3P و سناریوی انتشار B2 برای تهیه پراکنش‌های مکانی دما و بارش استفاده شده که این داده‌ها از پژوهشکده اقلیم شناسی مشهد تهیه شده است. سناریوی B2 جهانی را تصور می‌کند که تاکید بر راه‌حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، رشد اقتصادی متوسط و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2 دارد. یکی از دلایل انتخاب سناریو B2 در این تحقیق شبیه بودن آن به مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در منطقه و همچنین اهمیت دادن روز به روز مسئولین کشور به مسئله محیط زیست است. دلیل دیگر این انتخاب آماده نبودن داده‌های مدل



شکل ۱: حوضه آبریز رودخانه قره‌سو

1 - Providing Regional Climates for Impacts Studies

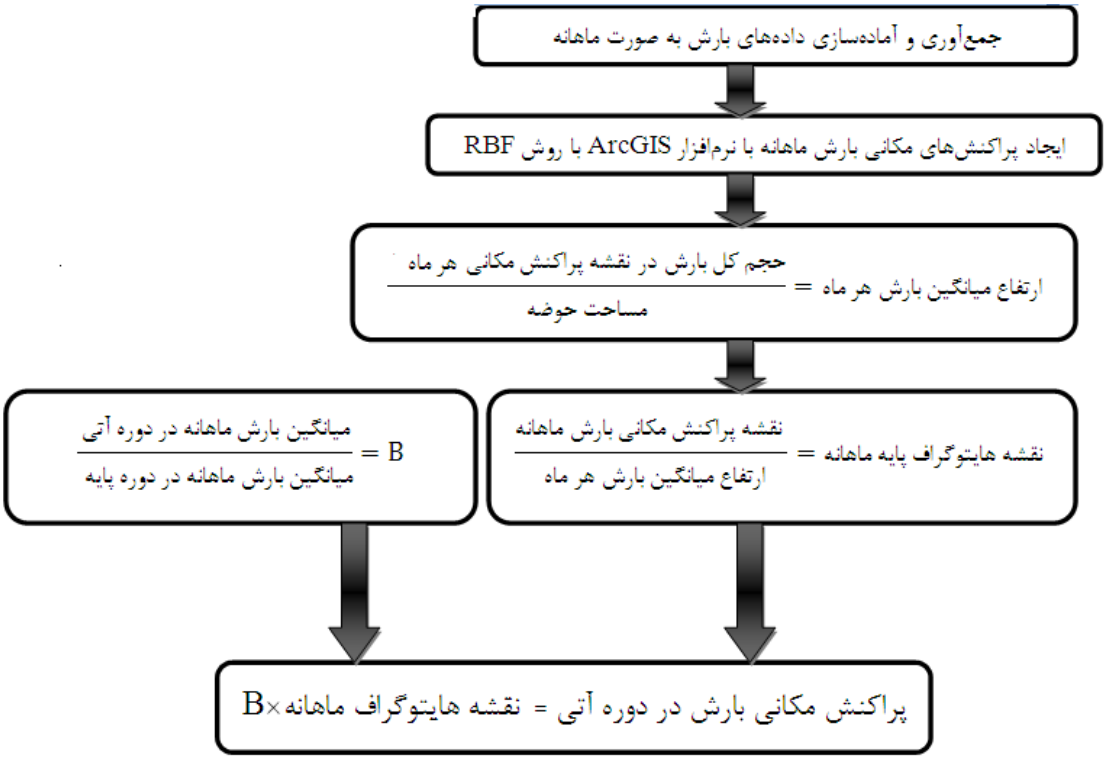
2. Hadley Centre

PRECIS بر اساس سناریوی A2 بود.

- **الگوریتم استفاده از روش جدید**

در این مرحله از تحقیق روند تهیه نقشه‌های هایتوگراف و ترموگراف و همچنین مراحل رسیدن به پراکنش‌های مکانی بارش و دما در سال‌های مختلف توضیح داده می‌شود. بعنوان نمونه روند تولید پراکنش‌های مکانی بارش توضیح داده می‌شود که تمام این مراحل نیز عینا برای پراکنش‌های مکانی دمایی نیز صدق می کند. شکل ۲ الگوریتم تهیه پراکنش مکانی بارش ماهانه در دوره آتی را نشان می‌دهد.

در مرحله اول داده‌های بارش ماهانه جمع آوری شده و وارد محیط GIS نرم‌افزار ArcGIS می‌شود. در مرحله بعدی با استفاده از روش RBF که بعنوان روش مناسب جهت درون‌یابی بارش ماهانه در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو شناخته شده، نقشه پراکنش مکانی بارش آن ماه ترسیم می‌شود. توجه شود که در مورد دمای ماهانه، روش درون‌یابی مناسب روش IDW است. با استفاده از مدل پراکنش مکانی بارش در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو مقدار حجم کل بارش از طریق محاسبه مقادیر بارش تمامی پیکسل‌های نقشه بارش محاسبه می‌شود. و چنانچه نسبت حجم کل بارش را بر مساحت تقسیم نمائیم ارتفاع متوسط بارش ماهانه محاسبه می‌شود. چنانچه نقشه پراکنش مکانی بارش هر ماه را بر ارتفاع میانگین بارش آن ماه تقسیم شود، نقشه هایتوگراف پایه ماهانه بدست می‌آید. میانگین بارش ماهانه در دوره‌های آتی برای ماه‌های مختلف را می‌توان از طریق مدل PRECIS تعیین نمود. از طرفی میانگین بارش در دوره پایه از روی میانگین بارش ماهانه سال ۲۰۰۴ که همبستگی زیادی با میانگین‌های سی ساله دارد اتخاذ شده است. اگر نسبت میانگین بارش هر ماه در دوره آتی به میانگین بارش هر ماه دوره پایه،B نامیده شود آنگاه از ضرب مقدار B مربوط به هر ماه در نقشه هایتوگراف پایه هر ماه، نقشه پراکنش



شکل ۲: الگوریتم تهیه پراکنش مکانی بارش ماهانه در دوره آتی

مکانی بارش هر ماه برای دوره آتی ایجاد خواهد شد.

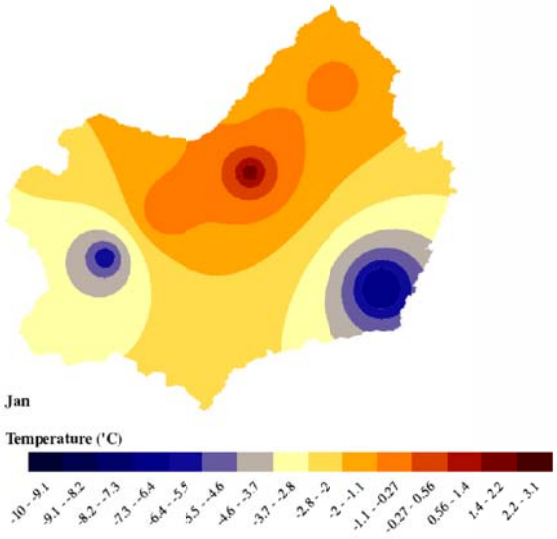
نتایج و بحث

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نقشه‌های پراکنش دما و بارش را در ماه ژانویه در حوضه آبریز قره‌سو نشان می‌دهند. این نقشه‌ها برای تمامی ماه‌های سال ایجاد شدند. همانطور که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر بارش در قسمت‌های از غرب حوضه و در قسمت‌های شرقی آن اتفاق می‌افتد که می‌توان علت آنرا به ترتیب نزدیکی به کوه‌های سبلان و دریای خزر دانست.

در تهیه پراکنش‌های مکانی بارش و دمای ماهانه در آینده، به یک سری نقشه هایتوگراف و ترموگراف پایه از بارش و دما نیاز است. این سری نقشه‌ها با استفاده از پراکنش‌های مکانی بارش و دمای ماهانه از سال ۲۰۰۴ ایجاد می‌شوند که بعنوان مثال ۲ نمونه از آنها در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. شکل ۵ نمونه‌ای از یک نقشه هایتوگراف پایه بارش و شکل ۶ نقشه ترموگراف پایه دما را نشان می‌دهد که مربوط به ماه ژانویه سال ۲۰۰۴ می‌باشند.

نقشه هایتوگراف پایه شکل ۵ از طریق تقسیم کران نقشه پراکنش مکانی بارش بر حجم کل بارش حوضه در ماه ژانویه به سطح حوضه محاسبه شده است که در ماه ژانویه حجم کل بارش که از روی نقشه پراکنش مکانی بارش (شکل ۳) محاسبه شده برابر ۴۸۹۵۶۷۲۶۰/۶۸ مترمکعب بوده است که چنانچه بر سطح حوضه آبریز ۴۱۶۷۱۷۲۷۵۳ مترمربع تقسیم شود عدد ۰/۱۱۷ متر بدست می‌آید. این عدد بیانگر میانگین بارش ماه ژانویه می‌باشد. چنانچه نقشه پراکنش مکانی بارش شکل ۳ بر عدد۰/۱۱۷ متر (میانگین بارش ماه ژانویه) تقسیم شود، نقشه هایتوگراف پایه شکل ۵ حاصل می‌شود. نقشه ترموگراف پایه شکل ۶ هم با روش مشابه هایتوگراف ایجاد شده است. مدل **PRECIS** می‌تواند مقادیر بارش و دمای ماهانه را برای سال‌های آتی محاسبه کند. داده‌های دما و بارش آینده از مدل **PRECIS** گرفته شده است.

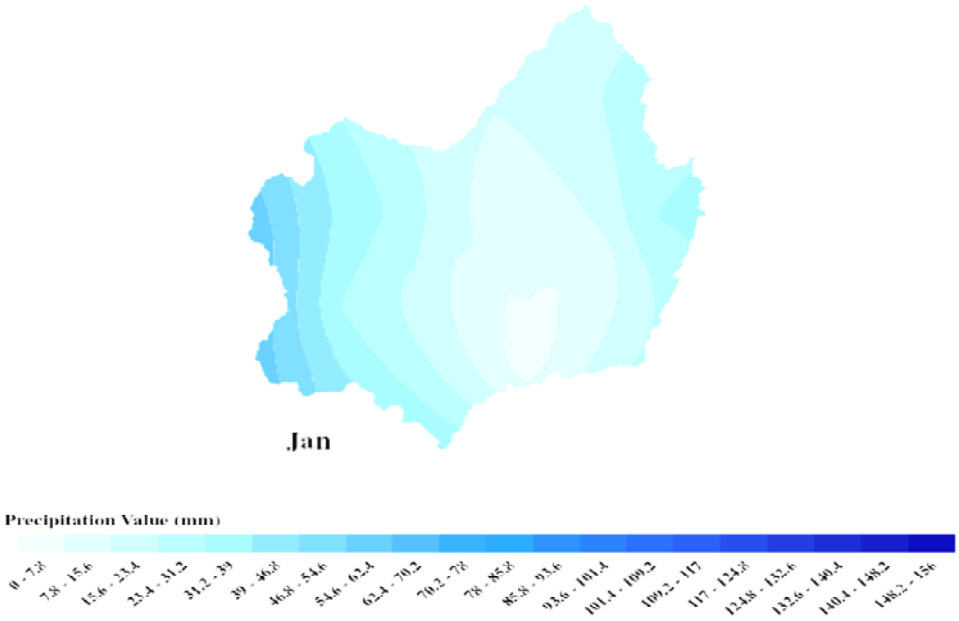
نتایج محاسبات مدل PRECIS برای بارش و دمایی سال ۲۱۰۰ به ترتیب در جداول ۱و ۲ ارائه شده‌اند. در این جداول میانگین‌های ماهانه محاسبه شده برای دوره پایه نیز ارائه شده است که از طریق تقسیم حجم محاسبه شده از



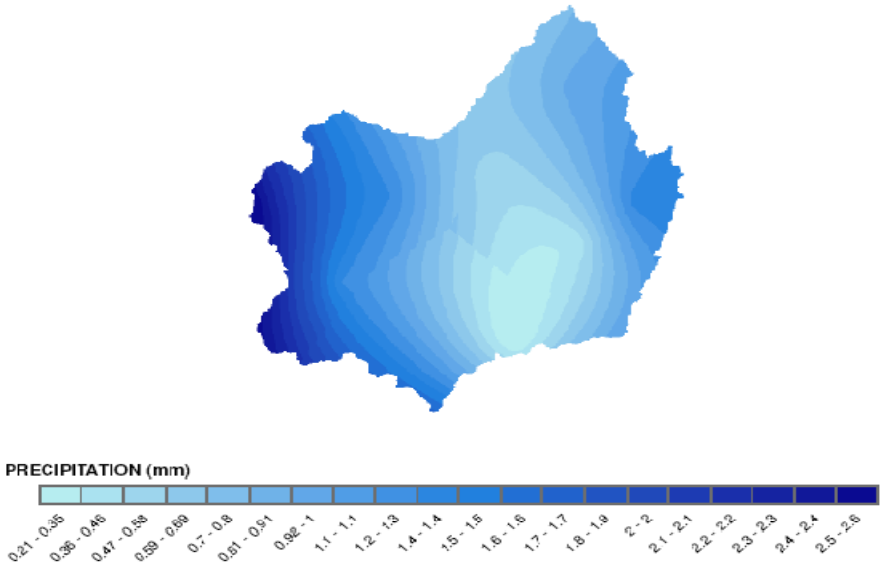
شکل ۳- پراکنش مکانی دما در ماه ژانویه در سال ۲۰۰۴ ایجاد شده توسط روش درون‌یابی IDW

روی نقشه پراکنش مکانی بارش بر سطح حوضه محاسبه شده‌اند.

چنانچه مقادیر دما و بارش ماهانه سال ۲۱۰۰ بر میانگین‌های دما و بارش سال ۲۰۰۴ تقسیم شوند مقادیر B محاسبه می‌شوند. این مقادیر برای بارش و دمای ماه‌های مختلف سال محاسبه شده‌اند. چنانچه مقدار B هر ماه برای بارش یا دما در مقدار نقشه‌های هایتوگراف پایه یا ترموگراف پایه آن ماه ضرب شود نقشه‌های پراکنش مکانی بارش یا دمای آن بدست می‌آید. این عملیات برای ماه‌های مختلف سال اجرا شده است و شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب نقشه‌های بارش و دمای ماه‌های مختلف سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد.



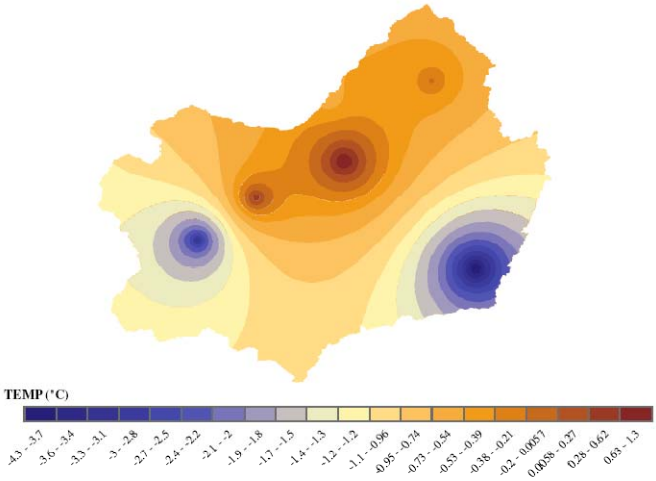
شکل۴: پراکنش مکانی بارش در ماه ژانویه در سال ۲۰۰۴ ایجاد شده توسط روش درون‌یابی RBF



شکل ۵- پراکنش مکانی هایتوگراف پایه بارش ماه ژانویه در سال ۲۰۰۴

نتایج پراکنش‌های مکانی دمایی حوضه نشان می‌دهد که در تمامی فصول، این سناریو افزایش دما را برای حوضه آبریز رودخانه قره‌سو نسبت به دوره پایه پیش‌بینی می‌کند. این افزایش دما برای فصل زمستان برابر ۲ تا ۴ درجه سلسیوس، فصل بهار ۲ تا ۵ درجه، فصل تابستان ۳ تا ۵ درجه و برای فصل پاییز ۲ تا ۴ درجه سلسیوس خواهد بود.

بیشینه مقدار دما در ماه آگوست و کمینه مقدار آن در ژانویه رخ داده است. نتایج پراکنش‌های مکانی بارش حوضه نشان می‌دهد که بارش در ماه‌های مختلف سال با افزایش و کاهش به مواجه است. مقدار بارش در پنج ماه ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر و دسامبر در دوره آتی از دوره پایه بیشتر است. یکی از دلایل آن این است که بارندگی در یک منطقه، تابع عوامل مختلفی بوده و همچنین وجود نوسانات درونی در سیستم اقلیم بخصوص در مقیاس‌های زمانی کوتاه (فصلی، ماهانه و روزانه) در بارندگی می‌تواند باعث ایجاد انحراف در شبیه‌سازی‌ها گردد.



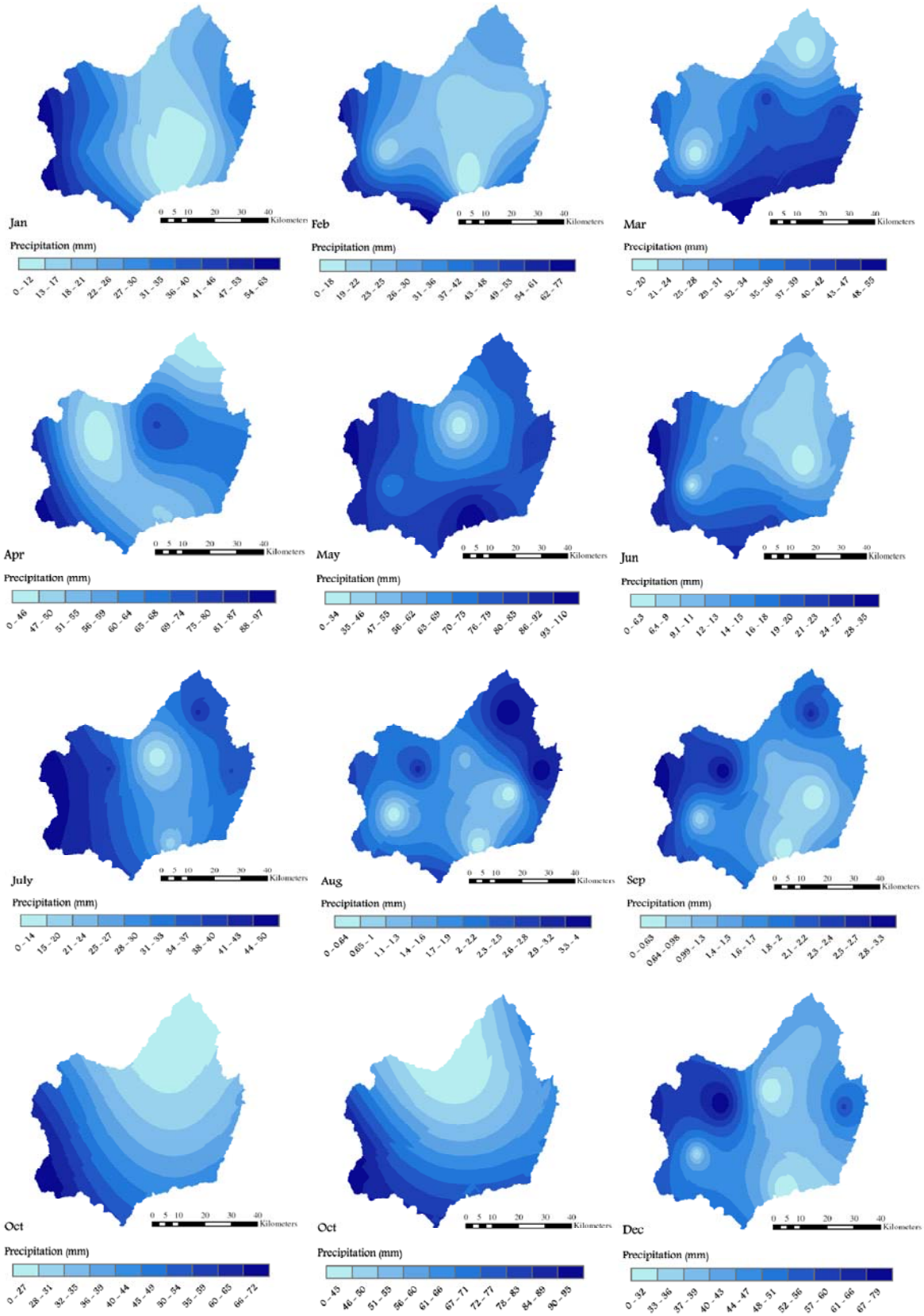
شکل ۶- پراکنش مکانی ترموگراف پایه دما ماه ژانویه در سال ۲۰۰۴

جدول ۱- میانگین‌های ماهانه بارش در سال ۲۱۰۰ و ۲۰۰۴

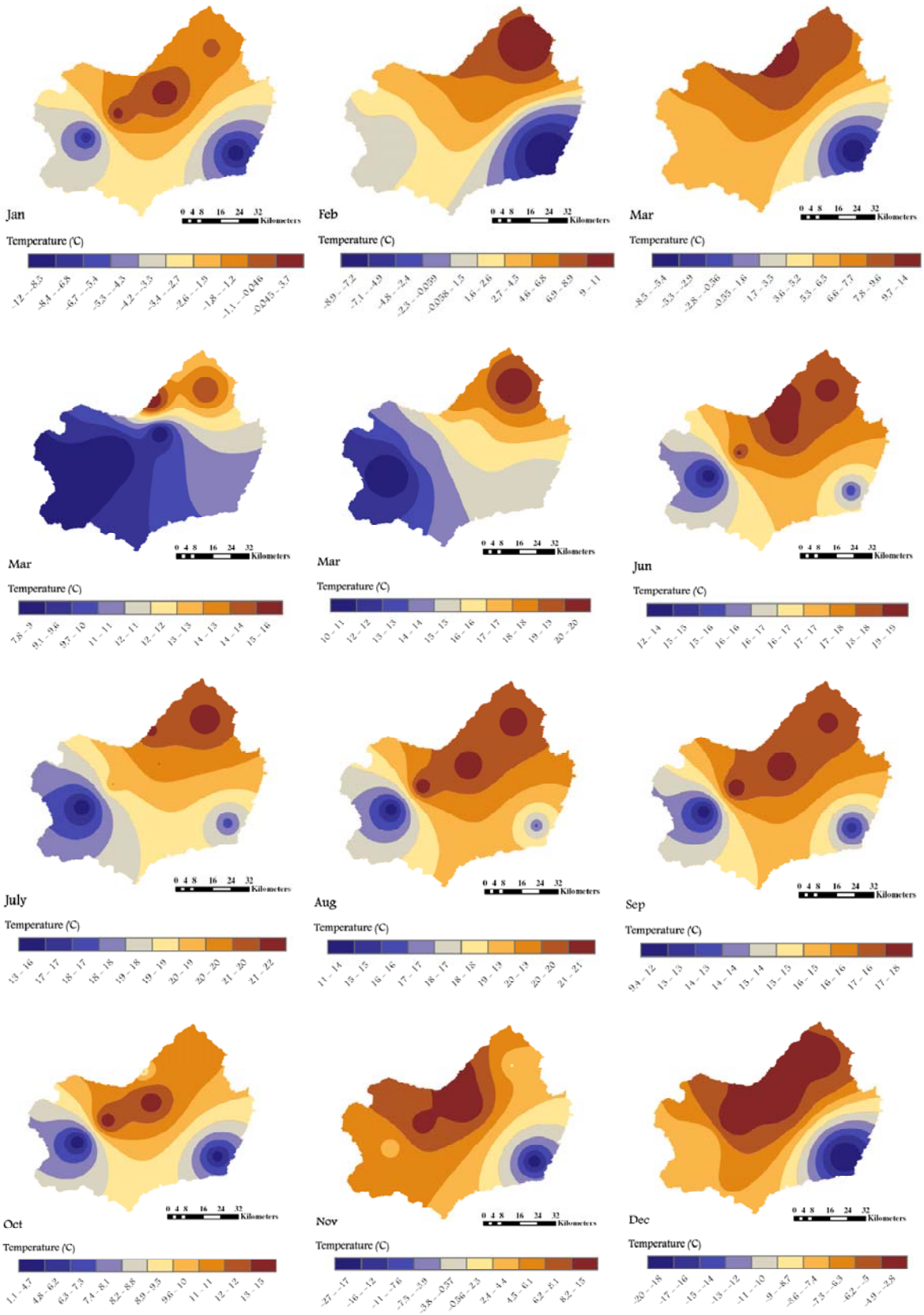
سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۱۰۰	۵/۰۴	۵/۸	۱/۹۹	۴/۲۵	۱/۹۶	۰/۶۱	۰	۰	۰/۶۵	۱/۵۲	۰/۸۵	۳/۲۲
۲۰۰۴	۱۲/۳	۱۸/۹	۴۱/۸	۷۳/۲	۱۴/۷	۷/۴۸	۳/۴	۱/۱	۱/۷	۱۲/۶	۳۲/۲	۲۳/۷
B	۰/۴۱	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۸	۰	۰	۰/۳۸	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۱۳

جدول ۲- میانگین‌های ماهانه دما در سال ۲۱۰۰ و ۲۰۰۴

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۱۰۰	۱/۵۶	۳/۵۸	۱۰/۳۸	۱۱/۷۸	۱۸/۷	۲۳/۲۳	۲۹/۸۹	۳۱/۰۸	۲۴/۷۹	۱۹/۷۶	۱۵/۴۵	۶/۰۲
۲۰۰۴	۳/۱	۳/۲	۶/۲	۶/۹	۱۳/۷	۱۷/۴	۱۷/۸	۱۹/۴	۱۵/۸	۱۲/۳	۷/۴	-۲/۸
B	۰/۵	۱/۱۲	۱/۶۷	۱/۷۱	۱/۳۶	۱/۳۴	۱/۶۸	۱/۶	۱/۵۷	۱/۶۱	۲/۰۹	-۲/۱۵



شکل ۷- پراکنش‌های مکانی بارش ماهانه سال ۲۱۰۰ در حوضه آبریز رودخانه قره‌س



شکل ۸- پراکنش‌های مکانی دمای ماهانه سال ۲۱۰۰ در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو

نتیجه‌گیری

تهیه مناسب پراکنش‌های مکانی دمایی و بارش در مطالعات هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم حوضه‌های آبریز اهمیت بسیاری دارد. برای تهیه این پراکنش‌های مکانی لازم است دما و بارش در داخل حوضه درون‌یابی شود. همچنین پیش‌بینی پراکنش‌های مکانی دما و بارش با وجود اثر تغییر اقلیم کمک زیادی در بخش هیدرولوژی و منابع آب می‌کند. در این مقاله به منظور تهیه پراکنش‌های مکانی بارش و دما حوضه آبریز رودخانه قره‌سو در پایان قرن ۲۱، خروجی مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS با سناریوی پیش فرض B2 در مقیاس ۵۰×۵۰ کیلومتر مورد استفاده قرار گرفت.

برای ریز گردانی داده‌ها از روش‌های زمین‌آمار استفاده شد. روش‌های زمین آمار مورد استفاده در این تحقیق برای تهیه پراکنش‌های مکانی بارش و دما در سال ۲۰۰۴، روش‌های IDW، چندجمله‌ای کلی و محلی، RBF، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی بودند. نتایج نشان داد که برای تهیه پراکنش مکانی دما در این حوضه از روش IDW و برای تهیه پراکنش مکانی بارش از روش RBF استفاده کرد. در این مقاله با استفاده از روش جدیدی که در قسمت الگوریتم تحقیق بیان شده است پراکنش‌های مکانی بارش و دما در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو تهیه شده‌اند. پراکنش‌های مکانی دما و بارش برای آینده با کمک نقشه‌های هایتوگراف و ترموگراف و همچنین داده‌های خروجی مدل PRECIS تهیه شدند.

این پراکنش‌های مکانی بوسیله نرم‌افزار ArcGIS بصورت ماهانه ایجاد شده‌اند. پراکنش‌های مکانی ایجاد شده نشان می‌دهند که بیشترین مقادیر بارش در قسمت‌های غربی و شرقی حوضه اتفاق افتاده که علت آنرا می‌توان به ترتیب نزدیکی به کوه‌های سبلان و دریای خزر دانست. نتایج پراکنش‌های مکانی دما در حوضه نشان می‌دهد که دما در تمامی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو نسبت به دوره پایه بین ۲ تا ۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. همچنین نتایج پراکنش‌های مکانی بارش در حوضه به دلیل افزایش و کاهش در ماه‌های مختلف سال روند خاصی را تسبت به دوره پایه نشان نمی‌دهد. پراکنش‌های مکانی پیش‌بینی بارش و دما تهیه شده در این حوضه آبریز نشان می‌دهند که تطابق مناسبی با توپوگرافی و اقلیم منطقه دارند و می‌توان از آنها در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد.

سپاس‌گزاری

از سازمان هواشناسی کشور، پژوهشکده اقلیم شناسی و اداره کل هواشناسی خراسان رضوی به خاطر کمک شایانی در به ثمر نشاندن این تحقیق داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

منابع

۱. بابائیان، ا. مدیریان، ر. و کریمیان، م.، ۱۳۸۷، **ارزیابی تغییرات اقلیمی ایران در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل اقلیمی PRECIS**، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. خوش اخلاق، ف. افشار منش، ح. شفیعی، ز. آقاعلیخانی، م.، ۱۳۸۹، **ارزیابی اثر تغییر اقلیم برهیدرولوژی آبهای سطحی، مطالعه موردی: رودخانه کارون**، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک

ایران، تهران، موسسه ژئوفیزیک، مقالات پوستری، فیزیک فضا، ۲۱-۲۳ صفحه ۱۹۲-۱۹۵.

۳. خورشیددوست، ع. م.، قویدل رحیمی، ی، ۱۳۸۷، **ارزیابی تغییر اقلیم تبریز در شرایط دو برابر شدن دی اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی پیوندی ECHAM 4**، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۲۳ تا ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز.۴۸۴-۴۸۳.

۴. کوچکی، ع، ر. نصیری محلاتی، م. کمالی، غ، زند، ا. و شریفی، خ،ر.، ۱۳۸۰، **شبیه سازی رشد فنولوژی وتولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد**، مجله بیابان. ۶(۲)، ۱۲۸-۱۱۷.

5. Akhtar, M., Ahmad, N, and M. J. Booij., 2008. **The impact of climate change on the water resources of Hindukush–Karakorum–Himalaya region under different glacier coverage scenarios**, *Journal of Hydrology* ,355, pp. 148–163.

6. Chen, H., Shenglian, Guo., Chong-yu, Xu., and Vijay, P. Singh., 2007**,.Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin**. *Journal of Hydrology*, 344, pp. 171–184.

7. Fu, G., Barber, M. E., and Chen, Sh., 2007. **Impacts of Climate Change on Regional Hydrological Regimes in the Spokane River Watershed.** *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(5), pp 452–461.

8. Gutowski, W.J., Decker, S.G., Donavon, R.A., Pan, Z., Arritt, R.W., and Takle, E.S., 2003. **Temporal-spatial scales of observed and simulated precipitation in central US climate**. *Journal of Climate*, 16, pp. 3841–3847.

9. Gordon CC, Cooper R, Senior CA, Banks H, Gregory JM, Johns TC, Mitchell JFB, and Wood RA., 2000**. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments.** *Clim Dyn*, 16, pp. 147–168.

10. Hay, L.E., Clark, M.P., Wilby, R.L., Gutowski, W.J., Leavesley, G.H., Pan, Z., Arritt, R.W., and Takle, E.S., 2002. **Use of regional climate model output for hydrological simulations.** *Journal of Hydrometeorology*, 3, pp. 571–590.

11. Hay, L. E., and Clark, M. P., 2003. Use of **statistically and dynamically downscaled atmospheric model output for hydrologic simulations in three mountainous basins in the western United States.** *Journal of Hydrology*, 282, pp. 56–75.

12. Jones, R. G., Noguer, M., Hassell, D. C.,

Hudson, D., Wilson, S. S., Jenkins, G. J., and Mitchell, J. F. B., 2004. **Generating High Resolution Climate Change Scenarios Using PRECIS,** Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40 p.

13. Lijuan, C., Dong, W-J., Xu, Y-L., Zhang, Y. and Sparrow, M., 2007. **Validating the runoff from the PRECIS model using a large-scale routing model.** *Advances in Atmospheric Sciences*, **24**, (5), pp. 855-862.

Lucio,P. S., 2004. **Geostatistical assessment of HadCM3 simulations via NCEP reanalyses over Europe,** *Journal of Atmos, Sci. Let*, (**5**), pp 118–133.

14. Watson, R. T., Zinyowera, M. C. and Moss, R. H., 1996**. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigations of climate change,** Cambridge University Press, 889 p.

15. Wilby, R. L., Hay, L. E., and Leavesley, G. H., 1999. **A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado,** *Journal of. Hydrology*, 225, pp. 67–91.

16. Yonas, B. D., and Paulin, C., 2005. **Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed:comparison of downscaling methods and hydrologic models,** *Journal of Hydrology*, 307 , pp. 145–163.