

واژه‌های کلیدی: اردبیل، پهنه‌بندی، تغییر اقلیم، ریزمقیاس
 نمایی، *SDSM*

مقدمه

تغییر اقلیم، حاصل از افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی شدن کشورها است که منجر به افزایش دمای زمین می‌شود. فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی از عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. طبق نظر هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) متوسط دمای سطح زمین طی قرن گذشته حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که بیشترین مقدار آن بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ بوده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ این مقدار بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد [۱]. افزایش دما می‌تواند در نهایت به افزایش مقادیر تبخیر و تفرق منجر شود و اتمسفر بتواند مقادیر بیشتری از بخار آب را جابه‌جا کند. بنابراین گرم شدن جهانی زمین، ممکن است چرخه هیدرولوژی را تسریع کرده و منابع آب جهانی دو باره توزیع شود. این امر موجب تغییر بیشتر پارامترهای اقلیمی می‌شود [۴]. IPCC در آخرین گزارش ارزیابی به وضوح بیان داشته که حتی اگر جوامع به محدود کردن تولید گازهای گلخانه‌ای خود ادامه دهند باز هم نخواهند توانست مانع بروز عواقبی شوند که در دهه‌های بعدی رخ خواهند داد [۲]. از جمله این موارد می‌توان به افزایش دما و سطح آب دریاها، تغییر در الگوهای آب و هوایی، گسترش آفات و بیماری‌های گرمسیری و اسیدی شدن اقیانوس‌ها و به دنبال آن به خطر انداختن مرجان‌ها و دیگر زندگی‌های دریایی اشاره کرد. تغییر الگوی دما از جمله مهمترین تأثیرات تغییر اقلیم به شمار می‌رود. برای یک برنامه‌ریزی درست برای آینده پیش‌بینی دقیق این پارامترهای اقلیمی امری ضروری به شمار می‌آید.

غفاری و چپی (۱۳۹۲)، در تحقیقی به پهنه‌بندی اثرات تغییر اقلیم بر روند پارامترهای دمایی در استان کردستان با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آنها جهت بررسی فرض عدم تصادفی بودن داده‌ها از آزمون پارامتری رگرسیون خطی و از آزمون ناپارامتری من-کندال جهت بررسی روند موجود و معنی داری آن در سری زمانی استفاده نمودند و در نهایت نتایج حاصل از بررسی معنی داری روند پارامترهای دمایی توسط آزمون من-کندال در سطح استان کردستان را در نرم‌افزار Arc GIS پهنه‌بندی کردند. نتایج حاصل از بررسی

پهنه‌بندی اثرات تغییر اقلیم روی الگوی دمایی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل HadCM3 (مطالعه موردی: استان اردبیل)

سپیده چوبه^{۱*}، بهنوش فرخ‌زاده^۲، مسعود گودرزی^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۸

چکیده

دما یکی از مهمترین پارامترهای هواشناسی است که در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این متغیر هواشناسی در بررسی‌های تغییر اقلیم و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بطوری که تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت یکی از مسائل مهم زیست محیطی بشر به حساب می‌آید. پهنه‌بندی این پارامتر و بررسی تغییرات آن در دوره دراز مدت می‌تواند بر مدیریت صحیح بهره‌برداری از منابع آب و خاک و تامین نیاز آبی گیاهان موثر باشد. در این تحقیق داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی A1B با استفاده از مدل *SDSM* ریزمقیاس شد سپس به ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر الگوی دمایی در ۳ دهه‌ای آتی استان اردبیل پرداخته شد. بدین ترتیب ابتدا متوسط دمای سالیانه استان در ۳ دهه‌ی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت و با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک استان طی دوره آماری ۱۹۹۴-۲۰۱۴ مقایسه گردید. در انتها نیز پهنه‌بندی تغییرات الگوی دمایی در این دوره‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که دما در استان بطور محسوس روند صعودی به خود خواهد گرفت بطوری که میانگین دمای حداقل و حداکثر در سطح استان در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب ۰/۴۰، ۱/۹۰ و ۳/۸۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حکایت از این امر داشت که ایستگاه سرعین در این ۳ دهه بیشترین افزایش دما (۳/۸۴-۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد) و ایستگاه کوثر شاهد کمترین افزایش دما (۱۳/۳-۰/۳۵) خواهد بود.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، نویسنده مسئول، Email: Sepideh.choobeh@yahoo.com

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر.

۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مواد و روش ها

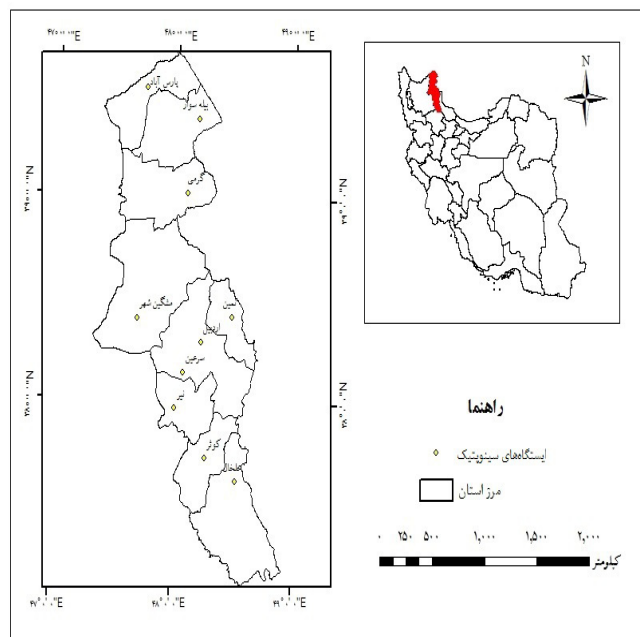
موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غربی ایران در منطقه آذربایجان واقع شده است. مساحت این استان ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع می باشد. طبق آخرین تقسیمات کشوری، شامل ۱۰ شهرستان، ۲۵ بخش، ۲۱ شهر و ۶۶ دهستان می شود. این استان از شمال به جمهوری آذربایجان، از سمت غرب به استان آذربایجان شرقی، از سمت شرق به استان گیلان و کوه های تالش و از سمت جنوب به استان زنجان محدود شده است. سه جریان آب و هوایی با ویژگی های متفاوت، اقلیم و آب و هوای استان را تحت تأثیر خود قرار می دهد. «جریان مدیترانه ای» با ماهیت معتدل که بیشتر بخارهای خود را در کوهستان های ترکیه و زاگرس و آذربایجان غربی از دست می دهد، از غرب، استان اردبیل را متأثر می کند. این جریان، منشاء مهم و اصلی بارش های جوی ایران است و ورود آن به منطقه، با تعدیل درجه حرارت و رطوبت هوا همراه است. «جریان هوایی سیبری آسیای مرکزی» که ماهیتی بری و سرد دارد و پس از عبور از دریای خزر و جذب بخار آن، استان اردبیل را تحت تأثیر قرار می دهد. جریان هوایی سیبری در تابستان باعث کاهش شدید گرما و خنک شدن هوا می شود. سومین جریان هوایی، «جریان اطلس شمالی یا اسکاندیناوی» است که دارای ماهیتی سرد است. چهارمین عامل مؤثر در اقلیم (آب و هوا) استان، وجود دریای خزر در شرق آن است که غیر از برخورد کردن منطقه از بخارهای خود، در مناطق نزدیک و ساحلی نیز عامل تعدیل درجه حرارت است. با وجود تنوع اقلیمی در استان، «سرد» بودن (بر اثر ارتفاع، جریان های هوایی سرد و عرض جغرافیایی) ویژگی مشترک اقلیم گوناگون آن جا است. حتی در قسمت شمالی استان که به دلیل پست بودن منطقه دارای اقلیم معتدل است، به طور متوسط در ۵۰ روز سال یخبندان است (اداره هواشناسی استان اردبیل، ۱۳۹۴). در این تحقیق از داده های میانگین دمای روزانه ایستگاه های سینوپتیک استان در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۹۴ استفاده شده است. در جدول ۱ موقعیت ایستگاه های سینوپتیک استان ارائه شده است.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه های سینوپتیک استان

ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه
۱۳۳۲	۳۸°۱۵'	۴۸°۱۷'	اردبیل
۱۰۱	۳۹°۲۱'	۴۸°۱۹'	بيله سوار
۴۴	۳۹°۳۹'	۴۸°۱۰'	پارس آباد
۱۷۹۶	۳۷°۳۸'	۴۸°۳۱'	خلخال
۱۷۵۰	۳۸°۹۰'	۴۸°۵۰'	سرعین
۱۱۷۵	۳۷°۳۵'	۴۸°۱۴'	کوثر
۷۴۹	۳۹°۳۰'	۴۸°۳۰'	گرمی
۱۵۶۸	۳۸°۲۳'	۴۷°۴۰'	مشکین شهر
۱۴۷۹	۳۸°۲۵'	۴۸°۲۹'	نمین
۱۲۸	۳۸°۲۰'	۴۸°۱۰'	نیر

پارامترهای دمایی با آزمون خود همبستگی حاکی از عدم تصادفی بودن داده های پارامترهای دمایی بود. بررسی نقشه های پهنه بندی روند متوسط دمای سالانه در سطح استان کردستان نشان داد که روند تغییرات بلند مدت دمای سالانه با طول جغرافیای رابطه ی مستقیم داشته و از غرب به شرق روند گرمایش دما بیشتر بوده است [۵]. به علت کمبود شدید آب و شرایط زیست محیطی شکننده در حوزه آبخیز رایا در مراکش راجدن و همکاران (۲۰۱۲)، به مطالعه وضعیت منابع آب منطقه مذکور تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تا افق ۲۱۰۰ پرداختند. بدین منظور مدل WEAP با استفاده از اطلاعات هواشناسی زمان حال واسنجی شده و برای مطالعه آینده مورد استفاده قرار گرفته شده است. نتایج نشان دهنده افزایش ۱، ۳ و ۴ درجه سانتی گراد و افزایش ۵ تا ۱۰ درصد، ۱۰ تا ۴۰ درصد و ۴۰ تا ۶۰ درصد به ترتیب برای دهه های ۲۰۲۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ بوده است [۱۱]. سلیبگ (۲۰۱۵)، در مطالعه خود به شبیه سازی رژیم حرارتی جریان رودخانه ویسکانسین جریان تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم پرداخت. او در مطالعه خود از مدل SNTMP برای ارزیابی آب های سطحی و زیرزمینی و برای پیش بینی شاخص های اقلیمی نیز از شش مدل گردش عمومی جو و سه سناریو انتشار استفاده نمود. نتایج نشان می دهد که تا سال ۲۱۰۰ درجه حرارت متوسط سالانه جریان به طور پیوسته و در حدود ۱/۱ تا ۳/۲ درجه سانتی گراد برای سناریوهای انتشار مختلف افزایش خواهد یافت [۱۲]. در این تحقیق از خروجی های مدل HADCM3 تحت سناریو A1B برای بررسی تغییرات الگوی دما در طی سال های ۲۰۹۹-۲۰۱۴ میلادی استفاده شد. در نهایت برای پی بردن به تغییرات دما در سطح استان اقدام به پهنه بندی دما در سال های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ میلادی شد.



شکل ۱- موقعیت استان اردبیل و ایستگاه های سینوپتیک استان

جدول ۲- مشخصات مدل HadCM3

سناریوهای شبیه‌سازی شده	طول دوره شبیه‌سازی (سال)	دوره شبیه‌سازی گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در گذشته	دقت مکانی (طول × عرض)
A2c, B1, B2, A2b, A2	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای انتشار: ۲۰۹۹-۱۰۵۰	۱۹۶۰-۱۹۸۹: So4 ۱۹۶۰-۱۹۸۹: Co2	۲/۵ × ۳/۷۵

معرفی مدل HadCM3^۱

HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) است و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. توصیف این مدل توسط گوردن و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است. HadCM3 از دو مولفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده است (در گزارش دوم از برونداد مدل HadCM2 استفاده شد). این مدل نیازی به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه‌سازی ندارد. شبیه‌سازی‌ها بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مولفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این مدل می‌باشد. از جمله دیگر مزیت این مدل هماهنگی خوب بین مولفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد [۹]. مساح بوانی (۱۳۸۵)، با مقایسه متوسط دمای ماهانه و بارندگی مدل‌های مختلف AOGCM با داده‌های مشاهداتی در حوضه سد زاینده‌رود، بیان داشت مدل HADCM3 نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشته است و در صورت استفاده تنها یک مدل، استفاده از مدل HADCM3 را پیشنهاد داده است [۸]. مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعات خود با مقایسه مدل‌های مختلف GCM بیان داشته‌اند، مدل HADCM3 نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی و عملکرد بهتری برخوردار است [۷]. مشخصات مدل HadCM3 در جدول ۲ ارائه شده است.

سناریوهای غیر اقلیمی بیانگر اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و در نتیجه تاثیر این وضعیت بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است که سناریو انتشار نامیده می‌شود. سری اولیه این سناریوها با نام IS923 در سال ۲۰۰۰ توسط IPCC ارائه شد و بیانگر آن بود که مقادیر گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ با نرخ ثابت افزایش می‌یابد. سناریوی A2 یک جهان بسیار ناهمگون را به نمایش می‌گذارد، که مفهوم اصلی آن خودکفایی و تکیه بر هویت محلی است. الگوهای باروری در مناطق دگرگونی بسیار اندکی دارند که نتیجه آن افزایش پیوسته جمعیت است. توسعه اقتصادی در ابتدا بر محور منطقه‌ای تاکید دارد. سناریوی B1 یک دنیای همگن با جمعیت حداکثر در میانه قرن ۲۱ و کاهش پس

از آن اما با دگرگونی سریع ساختارهای اقتصادی به سمت یک سرویسدهی اقتصادی، کاهش شدید مواد و معرفی فناوری پاک و منابع مناسب ترسیم می‌کند. در این سناریو تاکید بر پایداری محیطی و اجتماعی و کوشش برای گسترش تکنولوژی و فناوری سریع، مادی‌گری اقتصادی و بهبود سرمایه می‌باشد [۱۰] در این مطالعه با هدف انتخاب یک سناریو حد واسط از سناریوی A1B برای بررسی تغییرات دما در دهه‌های آتی استفاده شد.

معرفی مدل SDSM^۲

مدل رگرسیونی چند متغیره، متغیرهای پیش‌بینی شونده NCEP^۳ و GCM را کالبره و آنالیز می‌نماید. SDSM یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای است [۶]. این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی‌کننده (دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی کوچک مقیاس کرده و در مرحله بعد بارش در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. نرم‌افزار SDSM کوچک مقیاس کردن آماری متغیرهای اقلیمی روزانه را طی مراحل زیر انجام می‌دهد:

- ۱- کنترل کیفیت داده‌ها و تغییر شکل داده‌ها؛ ۲- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده؛ ۳- کالبره کردن مدل؛ ۴- تولید مدل هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی‌کننده مشاهده‌ای)؛ ۵- آنالیز آماری؛ ۶- خروجی گرافیکی مدل؛ ۷- تولید سناریو اقلیمی (با استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی مدل)، تمامی مراحل فوق توسط گزینه‌های تعیین شده در محیط نرم‌افزار SDSM انجام می‌گیرد [۱۳]. به منظور ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌های کوچک مقیاس استفاده شده از مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE^۴، MAE^۵، BIAS، NSE^۶ صورت گرفت. مقدار پارامتر NSE بین منهای بی‌نهایت و یک متغیر می‌باشد و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بیش‌تر بودن دقت مدل است. پارامترهای MAE و RMSE خطای مدل را نشان می‌دهند و پایین‌تر بودن مقادیر مربوط به این دو معیار نشان‌گر کارایی بهتر مدل می‌باشد. نزدیک به صفر بودن پارامتر BIAS نیز نشان‌دهنده دقت بیش‌تر

2- Statistical Downscaling Model

3- National Center Enviroment Prediction

4- Root Mean Square Error

5- Mean Absolute Error

6- Nash sutcliffe

1- Hadley Center Coupled Model, version 3

مدل در شبیه‌سازی است [۱]. آمارهای مذکور با استفاده از روابط ۱ تا ۴ محاسبه شده اند.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (x_o - x_s)^2}{\sum (x_o - \bar{x}_o)^2} \right] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_o - x_s)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum |x_o - x_s|}{N} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (x_s - x_o) \quad (4)$$

در روابط بالا x_o : داده‌های مشاهده شده، x_s : داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{x}_o$: میانگین داده‌های مشاهده شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد. پس از اطمینان از عملکرد و کارایی مدل مولد آب و هوایی در تولید داده‌های بارش خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B در ۱۰ شهر استان در دوره‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ کوچک مقیاس گردید. ایستگاه‌های منتخب عبارتند از اردبیل، خلخال، مشکین شهر، پارس‌آباد، نیر، نمین، گرمی، کوثر، بيله سوار و سرعین.

محاسبه تابع نیم تغییر نما

اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها قبل از انجام مطالعات پهنه‌بندی امری ضروری است. در این پژوهش جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد که این داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. جهت انجام پهنه‌بندی انتخاب تابع تجربی استاندارد گام اول است، ابزاری که همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نماید، نیم‌تغییرنما^۱ نام دارد که نمودار واریانس بر مبنای فاصله بین نمونه‌هاست [۷]. نیم تغییر نما قلب زمین آمار و رکن اصلی آن است که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد [۱۴]. تغییر واریانس بین نقاطی به فاصله h از یکدیگر، می‌تواند همبستگی متقابل بین مقدار متغیر را بین این نقاط نشان دهد. در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که وابستگی مقدار متغیر در نقاط نزدیک به هم بیشتر از نقاط دور از هم باشد. هدف اصلی از برقرار کردن تابع نیم تغییر نما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود [۵]. به این منظور از نرم‌افزار GS+ برای تعیین بهترین تابع نیم تغییر نما استفاده شد. نرم‌افزار GS+ از میان توابع تجربی براساس ضریب تبیین R^2 بهترین تابعی که بر داده‌ها برازش یافته است را انتخاب و نمایش می‌دهد.

پهنه بندی الگوی دما

به منظور پهنه‌بندی الگوی دما با استفاده از قابلیت Geoestatistical

Analysis در محیط GIS استفاده گردید. جهت انجام درون‌یابی از روش وزن‌دهی معکوس^۳ (IDW) فاصله استفاده شد. روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد، لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آنهایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود زیرا نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش می‌یابد، لازم است وزن‌ها اساس فاصله کاهش یابد، بنابراین فاصله‌ها معکوس می‌شود به بیان دیگر از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود به همین دلیل است که این مدل Inverse Distance Weighted نام گرفته است. از طرف دیگر تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال نمود. توان دوم معکوس فاصله از این مدل به طور مکرر توسط پژوهشگران استفاده شده است. درون‌یابی در این شیوه به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم‌اندازه می‌شود. مختصات مکانی این ماتریس روشن است و دارای واحد اندازه‌گیری می‌باشد. برای مثال دارای سلول‌های 50×50 متری است. در این شبکه مقدار متغیر در سلول‌هایی معلوم است یا به عبارتی اندازه‌گیری شده است و در سایر سلول‌ها این میزان نامعلوم است. سلول‌هایی که ارزش آن نامعلوم است با استفاده از سلول‌های اطراف در یک شعاع مشخص بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود. رابطه کلی درون‌یابی دو بعدی به روش فوق به صورت رابطه (۵) و (۶) است [۱۴].

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i W_i \quad (5)$$

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^N D_i^{-\alpha}} \quad (6)$$

که در آن $W(x, y)$ مقادیر برآورد شده در موقعیت (x, y) ، N تعداد نقاط معلوم مجاور (x, y) ، λ_i وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم W_i در موقعیت (x_i, y_i) ، D_i فاصله اقلیدسی بین هریک از نقاط واقع در موقعیت‌های (x, y) و (x_i, y_i) ، α مقدار توان است که متأثر از وزن W_i بر W است.

بحث و نتایج

ارزیابی عملکرد مدل SDSM

مقایسه نتایج حاصل از آزمون K-S برای توزیع فراوانی، آزمون T-test برای مقادیر میانگین‌ها و آزمون F-test برای انحراف معیار

3- Inverse Distance Square Weighted

1- Semi-variogram

2- Coefficient of Determination

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های خطاستنبی پارامتر بارش در دوره پایه در ایستگاه‌های استان

پارامتر	آماره	خلخال	کوثر	گرمی	پارس آباد	نیر	نمین	بيله سوار	سرعین	مشگین	اردبیل
دمای حداقل	NSE	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۲۲
	BIAS	۰/۰۶	-۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۳
	MAE	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۲۲	۰/۱۵
دمای حداکثر	NSE	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۰/۲۶	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۷۲	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳۴
	BIAS	-۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۰۶	-۰/۰۵	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۱۰	-۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۴
	MAE	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۵۶	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۲۷

جدول ۴- جزئیات متوسط دمای مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره‌های آتی

دوره مشاهداتی	خلخال	کوثر	گرمی	پارس آباد	نیر	نمین	بيله سوار	سرعین	مشگین	اردبیل
۲۰۲۰	۸/۱	۱۲/۹۸	۱۳/۹۳	۱۰/۲۵	۹/۸۰	۱۰/۰۵	۱۵/۶۸	۸/۵۱	۱۱/۱۱	۹/۱۴
۲۰۵۰	۸/۵	۱۳/۳۳	۱۴/۲۵	۱۰/۵۶	۱۰/۲۴	۱۰/۳۸	۱۶/۰۰	۹/۱۷	۱۱/۴۵	۹/۶۳
۲۰۸۰	۱۱/۳۹	۱۶/۱۳	۱۷/۲۲	۱۳/۵۰	۱۳/۰۷	۱۳/۱۹	۱۹	۱۲/۳۵	۱۴/۳۹	۱۲/۶۴

در سطح استان را طی سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ نشان می‌دهد. در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ همه‌ی ایستگاه‌های استان افزایش دما را پیش‌بینی نموده‌اند اما با توجه به اینکه هنوز انتشار گازهای گلخانه‌ای زیاد نبوده، پس تغییر اقلیم شدید نمی‌باشد. در این دهه شهرستان شهرستان سرعین با $0/65^{\circ}\text{C}$ بیشترین افزایش دما و شهرستان با پارس‌آباد با $0/30^{\circ}\text{C}$ کمترین افزایش دما را خواهد داشت. در صورتی‌که رفته رفته تغییر اقلیم بسیار شدیدتر خواهد شد، همانطور که مشاهده می‌شود منطقه مطالعاتی در آینده دور افزایش دمای بیش‌تری را خواهد داشت. با نگاهی به نرخ تغییرات دمایی مشخص می‌گردد که افزایش دما در شهرهایی نظیر اردبیل و سرعین شدیدتر از سایر شهرهای استان است. در دهه ۲۰۵۰ افزایش دما برای شهرستان اردبیل $2/12^{\circ}\text{C}$ و برای شهرستان سرعین $2/37^{\circ}\text{C}$ خواهد بود از طرفی کمترین افزایش دما در این دهه مربوط به ایستگاه نمین خواهد بود. برای مدیریت صحیح و جامع حوزه آبخیز، وجود نگرش بلند مدت برای برنامه‌ریزی ضروری به‌نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی دما به خوبی مبین وضعیت تغییر دما در گستره ۷۰ سال آینده است. در این میان باید متذکر شد که روش وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله به خوبی توانست تأثیر پدیده تغییر اقلیم را در روند دمای میانگین سالانه در سطح استان بیان کند. افزایش متوسط دمای سالانه در طول دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ فارغ از اینکه متأثر از پارامترهای محیطی باشد، بیشتر از شرایط

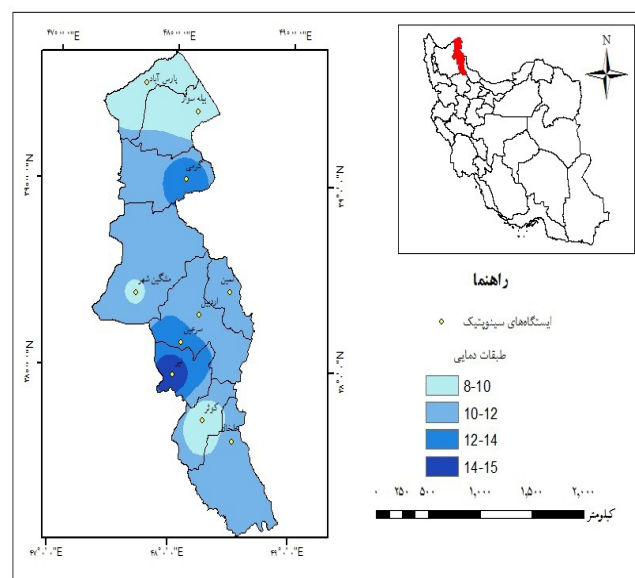
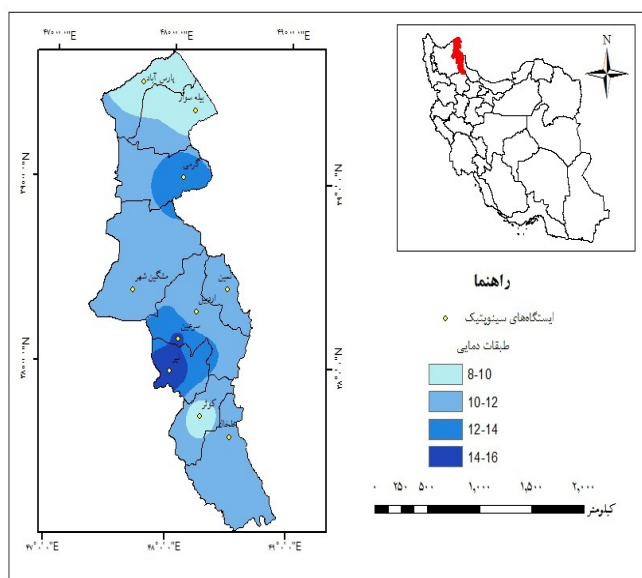
داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل مولد آب و هوایی در بازسازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سطح اعتماد یک درصد می‌باشد. در جدول ۳ مقادیر NSE، BIAS، MAE، RMSE مربوط به پارامتر بارش، ارائه شده است. بالا بودن مقادیر پارامتر NSE، پایین بودن مقادیر شاخص خطا سنجی MAE و نزدیک به صفر بودن شاخص BIAS (اریبی) نشان از کارایی و توانایی قابل قبول مدل مولد رگرسیونی چند متغیره در تولید داده‌های دما در منطقه مورد دارد [۱]. هر چه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد میزان خطای مدل‌سازی به حداقل می‌رسد.

پس از برازش داده‌ها در محیط نرم‌افزار GS+ براساس معیارها ارزیابی، بهترین تابع تجربی برای پارامتر بارندگی در کلیه دوره‌های آتی تابع گوسین انتخاب شد. پس از انتخاب بهترین نوع تابع تجربی، پهنه‌بندی الگوی دمایی در استان در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام پذیرفت و پهنه‌بندی دما برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ میلادی بدست آمد. متوسط دما در لایه‌های پهنه‌بندی در جدول ۴ ارائه شده است.

باتوجه به جزئیات بدست آمده برای مقادیر دما در شهرهای استان به وضوح شدت سیر افزایشی متوسط دما در استان دیده می‌شود. شکل‌های ۲ تا ۵ به ترتیب پهنه‌بندی دمای متوسط سالانه

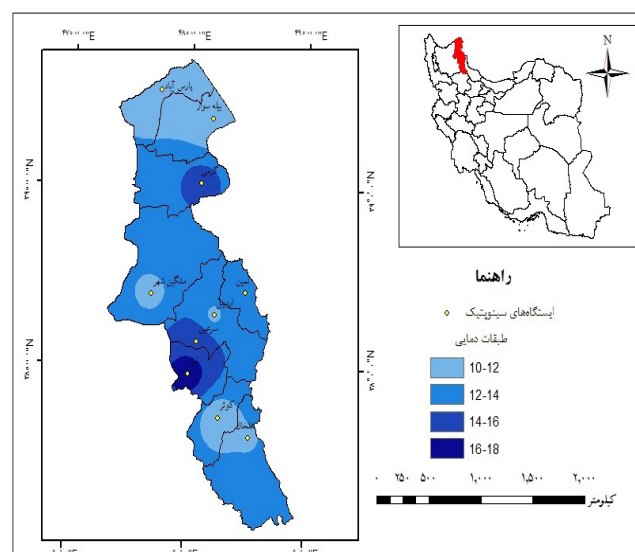
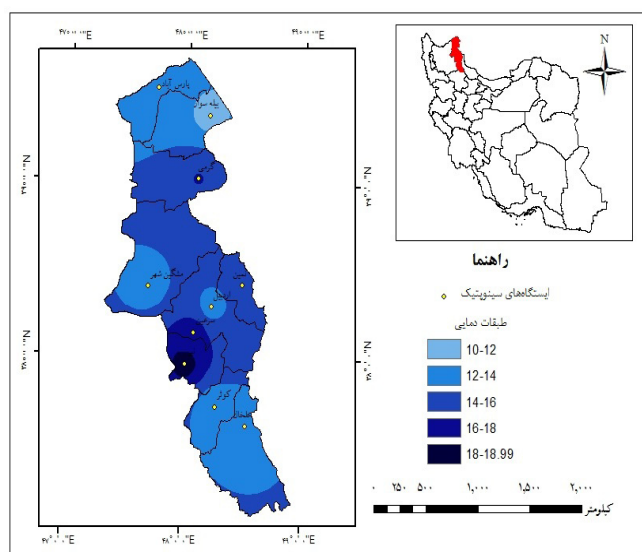
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنایع . اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حدی است که می‌تواند آینده اقلیمی یک منطقه را تحت تأثیر خود قرار دهد. بنابراین ضرورت توجه به این مهم با گسترش آلاینده‌های دوجندان می‌شود. گرچه که باید به اثر این عوامل در مقیاس جهانی توجه شود اما نقطه شروع برای رویارویی با پدیده تغییر اقلیم توجه به اثرات آن در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. از آنجا که استان اردبیل با تأثیرات این پدیده کم و بیش سروکار خواهد داشت، ضرورت توجه به سیاست‌های سازگاری و کاهش انتشار، امری ضروری به نظر می‌رسد. اما متأسفانه نه‌تنها به این موارد توجه نشده بلکه اتخاذ تصمیم‌های نادرست عملاً وضعیت موجود و در وهله‌ی بعدی شرایط را برای آینده نیز وخیم‌تر خواهد کرد.

تغییر اقلیم در منطقه نشأت گرفته است. در این دوره افزایش دما نسبت به ده‌های قبل بیشتر بوده و در شهرستان سرعین به $3/84^{\circ}\text{C}$ خواهد رسید و کمترین افزایش دما مربوط به شهرستان نمین و برابر با $3/13^{\circ}\text{C}$ خواهد بود. نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج بحری (۱۳۹۲)، که افزایش $0/82$ تا $1/02$ درجه سانتیگرادی دما را برای حوزه آبخیز اسکندری پیش‌بینی کرده است و هم‌چنین مطالعات بابائیان و همکاران (۱۳۸۶)، آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹)، خسروانیان و همکاران (۱۳۹۰)، بابائیان و همکاران (۱۳۹۱)، مریت و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. در راستای کاهش اثر پدیده تغییر اقلیم دو سیاست عمده مدنظر تمامی سازمان‌های بین‌المللی مسئول است که عبارتند از ۱- سازگاری با طبیعت و شرایط موجود . ۲-



شکل ۳- نقشه پهنه بندی دمای متوسط سالانه در سال ۲۰۲۰ میلادی

شکل ۲- نقشه پهنه بندی دمای متوسط سالانه در دوره ۱۹۹۴-۲۰۱۴ میلادی



شکل ۵- نقشه پهنه بندی دمای متوسط سالانه در سال ۲۰۹۰ میلادی

شکل ۴- نقشه پهنه بندی دمای متوسط سالانه در سال ۲۰۵۰ میلادی

- 9-Gordon, C., Cooper, C., Senior, C., Banks, H., Gregory, J., Johns, T., et al. (2000). the simulation of SST, sea ice extents and ocean transport in a version of the Hadley center coupled model without flux adjustment. *Climate dynamics*, 147-168.
- 10-IPCC-TGICA. 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation 9-Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66
- 11-Rochdane, S., Reichert, B., Messouli, M., Babqiqi, A., & Khebiza, M. Y. (2012). Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya Watershed (Morocco), with potential adaptation strategies. *Water*, 4(1), 28-44.
- 12-Selbig, W. R. 2015. Simulating the effect of climate change on stream temperature in the Trout Lake Watershed, Wisconsin. "Science of the Total Environment". 522: 11-18.
- 13-Vezzoli, R., Mercogliano, P., Pecora, S., Zollo, A., & Cacciamani, C. (2015). Hydrological simulation of Po River (North Italy) discharge under climate change scenarios using the RCM COSMO-CLM. *Science of The Total Environment*, 521, 346-358.
- 14-Webster R and Oliver MA, 2000. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley Press. 271p.
- ۱-بحری، م. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی برعکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد. ایران.
- ۲-حسنی پاک، ع. (۱۳۹۲). زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. ۳۱۴.
- ۳-طائی سمیرمی، س، مرادی، ح و خدافل، م. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چنگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور). مجله انسان و محیط زیست. ۱۲، ۲۸ (پیاپی ۳۹)، ۱-۱۵.
- ۴-علیجانی، ب. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۴). مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی. مجله جغرافیا و توسعه، ۳ (۶)، ۳۹-۲۱.
- ۵-غفاری، گ و چپی، ک. (۱۳۹۲). پهنه بندی اثرات تغییر اقلیم بر روند پارامترهای دمایی در استان کردستان با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی. تهران، دانشگاه خوارزمی.
- ۶-محمدی، ج. (۱۳۸۵). پدومتری آمار مکانی. انتشارات پلک. ۴۵۳.
- ۷-مدرسی، ف، عراقی نژاد، ش، ابراهیمی، ک و خلقی، م. (۱۳۹۰). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۶)، ۱۳۶۵-۱۳۷۷.
- ۸-مساح بوانی، ع. (۱۳۸۵). ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی: حوزه زاینده رود استان اصفهان. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران. ایران.

*Abstract*

Zoning of the Climate Change Effects on Temperature Pattern by using HadCM3 model (Case Study: Ardebil province)

Sepideh Choobeh^{*1}, Behnosh farrokhzadeh² and Massoud Goodarzi³

Received: 2016/07/13 Accepted: 2017/03/08

Temperature is one of the most important meteorological parameters that can be used in many case studies. This parameter is of particular importance in the study of climate change and agriculture, So that climate change and rising temperatures is considered one of the most important environmental issues of human. Zoning of this parameter and study its changes can be effective in the correct management of soil and water resources and supply water requirement. This research studies the consequences of the climate change on the rainFall pattern in Ardebil province in the next three decades using the output data of the AOGCM model (hadcm3) under A1B scenario. Finally, the zoning of the temperature patterns changes were obtained in these periods. The results showed that there will be a significant upward trend in the temperature of the province. Moreover, in the third decade, Kosar station would be in the best condition with 0.35-3.13°C increase in temperature, and Sarein would be in the worst condition with 0.68-3.84°C increase in temperature.

Keywords: *Ardebil, Climate change, Down scaling, SDSM, Zoning*

1. Phd Student of Watershed Management, Urmia University of Natural resource, Corresponding Author, Email: Sepideh.Choobeh@yahoo.com

2. Assistant Professor, watershed Management research, Malayer University of Agricultural.

3. Assistant Professor, Senior Research Scientist in Soil Conservation and watershed Management research Institute .