

## بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک براساس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری

حسین عساکره\* - استاد، اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان  
بهرام شاه‌منصوری - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری، دانشگاه زنجان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

### چکیده

افزایش جمعیت و نیز افزایش مصرف انرژی از یک‌سو و گرمایش جهانی از سوی دیگر باعث تغییرات دمایی و اغلب افزایش دما در شهرها شده است. در چند دهه اخیر، رشد شهرنشینی در ایران شدت بالایی داشته و جمعیت مراکز استان‌ها به شدت افزایش یافته است. شهر اراک، به عنوان یکی از مراکز صنعتی کشور، با این پدیده مواجه بوده است. در این نوشته رفتار دمایی شهر اراک با استفاده از آزمون آماری و ترسیمی مان-کندال و نیز با به‌کارگیری رگرسیون خطی و غیرخطی بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که روند دمای ایستگاه اراک غیرخطی است؛ یعنی، آماره‌های دمایی اراک از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با نوسان‌هایی، روندی کاهشی و از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ روندی افزایشی توأم با نوسان داشته است. به‌منظور آشکارسازی وضعیت دمایی اراک در آینده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) استفاده شد. یافته‌های این بخش از پژوهش نشان داد که دمای اراک روندی افزایشی خواهد داشت، به گونه‌ای که دمای میانگین، کمینه و بیشینه اراک به ترتیب از ۱۳/۹۸، ۷/۱۱ و ۲۰/۸۳ تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴/۵، ۷/۸ و ۲۳/۲ درجه سلسیوس خواهد رسید.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی روند، رگرسیون خطی و غیرخطی، مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM).

### مقدمه

رشد سریع شهرنشینی از نیمه دوم قرن بیستم تاکنون، موجب جهش جمعیت شهرنشین از ۲۹/۴ درصد در سال ۱۹۵۰ به ۵۱/۶ درصد در سال ۲۰۱۰ شد. پیش‌بینی می‌شود که جمعیت شهرنشین جهان در سال ۲۰۳۰ به ۶۰ درصد و در سال ۲۰۵۰ به ۶۷/۲ درصد برسد (IPCC، ۲۰۱۴: ۵۴۴). رشد شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه در چند دهه اخیر، شدت زیادی داشته است. در کشور ایران نیز جمعیت شهرنشین از ۳۰ درصد در سال ۱۳۳۰ به ۵۰ درصد در سال ۱۳۵۸ و نزدیک به ۷۰ درصد در سال ۱۳۹۰ رسید. رشد بسیار سریع شهرهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه، از جمله کشور ما، مشکلات متعدد محیط‌زیستی به دنبال داشته است. یکی از این معضلات، دگرگونی آب‌وهوایی از جمله تغییرات دمایی است. فزونی مصرف انرژی در شهرهای بزرگ و پرجمعیت، آلودگی هوا در شهرها، ایجاد جزیره گرمایی و افزایش دمای شهرها را به دنبال داشته، به گونه‌ای که تا سال ۲۰۱۲ دمای شهرهای پرجمعیت ۰/۹ درجه سلسیوس افزایش داشته است (IPCC، ۲۰۱۴: ۵۵۲). مشاهدات و اندازه‌گیری‌های دمای خشکی‌ها و آب‌های جهان گرمایش جهانی

و تغییر آب‌وهوا را تأیید می‌کند (IPCC, ۲۰۰۷: ۵۳۶). طبق گزارش IPCC (۲۰۱۴: ۵۵۳) دمای مناطق شهری ایران تا سال ۲۰۱۲ از ۰/۶ تا ۱/۷۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. براساس سناریوی RCP 2.6<sup>۱</sup>، تعداد شهرها با جمعیت زیاد به سرعت افزایش و دمای همه شهرهای پرجمعیت تا سال ۲۰۲۵ تا ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. بر اساس این سناریو دمای شهرهای ایران تا سال ۲۰۲۵ از ۱ تا ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش دما خواهد داشت. سناریوهای RCP ترکیبی از پنداشت‌ها برای برآورد مقدار و ارزیابی روش‌های دستیابی به گازهای گلخانه‌ای در کشورهای مختلف با توجه به جمعیت زیاد با درآمد نسبتاً پایین و تقاضای زیاد برای دریافت انرژی است (ریاحی و همکاران: ۲۰۱۱: ۳۳-۵۷). بر اساس سناریوی Rcp 8.5 تا اواسط قرن ۲۱ اکثریت مردم جهان در شهرهای بزرگ زندگی می‌کنند و دمای شهرهای بزرگ حداقل ۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. دمای میانگین برخی شهرهای جهان به ویژه در عرض‌های بالاتر تا ۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و فراوانی روزهای گرم و داغ به خصوص در جزیره حرارتی شهرها افزایش می‌یابد. طبق این سناریو تا اواسط قرن ۲۱ دمای شهرهای ایران بین ۲/۵ تا ۳ درجه افزایش می‌یابد. افزایش روزهای گرم و داغ اثر جزیره حرارتی شهرها را تشدید می‌کند و با مسائل سلامتی افراد ارتباط دارد. گرمایش، افزایش آلودگی را به دنبال دارد و باعث افزایش مصرف انرژی در فصول گرم سال خواهد شد (IPCC, ۲۰۱۴: ۵۵۴).

شهر اراک از شهرهای پرجمعیت کشور به‌شمار می‌آید و در دهه‌های اخیر رشد بسیار سریعی را طی کرده است. جمعیت اراک از ۱۱۶۰۰۰ نفر در سال ۱۳۵۵ به ۵۲۵۰۰۰ نفر در سال ۱۳۹۰ رسیده است (معصومی، ۱۳۹۱: ۶۹). این شهر یکی از شهرهای صنعتی کشور است. در سال ۱۳۹۰، تعداد ۲۲۱ کارگاه و کارخانه صنعتی (با بیش از ده کارگر) در داخل و اطراف این شهر به ثبت رسیده است (معصومی، ۱۳۹۱: ۲۳۹). صنایع بزرگی چون ماشین‌سازی، آذراب، کمباین‌سازی و آلومینیوم‌سازی در داخل این شهر قرار دارد. به این ارقام باید مجتمع‌های بزرگ صنعتی پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه گرمایی شازند را هم افزود که در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غرب این شهر قرار دارد. در سال ۱۳۹۰ در شهرستان اراک ۹۷۰,۰۹۳,۹۳۰ کیلووات برق، ۲,۷۱۶,۸۷۹ هزار مترمکعب گاز طبیعی، ۲۱,۲۶۷ تن گاز مایع، ۱۹۷,۸۵۵ هزار لیتر بنزین، ۲۲,۹۹۳ هزار لیتر نفت سفید، ۶۲۷,۸۵۵ هزار لیتر نفت گاز، ۳۴,۱۰۴ هزار لیتر نفت کوره و ۶,۲۸۵,۶۱۰ هزار لیتر سایر سوخت‌ها چون گوگرد و حلال‌ها مصرف شده است (معصومی، ۱۳۹۱: ۲۱۸). از این‌رو، گمان می‌رود دمای این شهر از مصرف منابع انرژی یادشده متأثر شده است. آشنایی با تغییرات دمایی برای سازگاری با این تغییرات ضروری به نظر می‌رسد. سازگاری شهرها با تغییر عناصر اقلیمی موضوعی است که در گزارش IPCC (۲۰۱۴: ۵۶۳) تأکید شده است و یکی از راه‌های کاهش آثار منفی افزایش دما بر فعالیت‌های انسانی است.

در مورد بررسی روند و تغییرات بلندمدت دما مطالعات متعددی در ایران و جهان انجام شده است. در این میان به برخی از این مطالعات که طی چند سال اخیر انجام شده است، اشاره می‌کنیم. تورتی و دیساتو (۲۰۰۸: ۵۱-۵۸) با استفاده از داده‌های دمای ۴۹ ایستگاه از کشور ایتالیا آماره‌های دمایی را طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۴ بررسی کردند. نتایج بررسی ایشان روندی منفی تا سال ۱۹۹۱، سپس روندی مثبت تا سال ۲۰۰۴ را نشان داد. ربتز و رینهارد

(۲۰۰۸: ۲۷-۳۴) روند بلندمدت دمای ماهانه در سوئیس را طی قرن بیستم تحلیل کردند. نتایج به‌ویژه برای سه دهه آخر، روند مثبت میانگین دما را نشان داد. اسپلانزن و همکاران (۲۰۱۰: ۱۱۲۱-۱۱۳۶) تغییرات دمایی کلان‌شهر هامبورگ را بررسی کرد و مشخص شد که میانگین دما ۰/۶ درجه کلوین افزایش یافته است. همچنین، مشخص شد که دمای کمینه ۳ درجه کلوین بیش از دمای بیشینه افزایش داشته است. عزیزی و روشنی (۱۳۷۸: ۱۳-۲۸) با استفاده از روش مان-کندال تغییرات دمایی سواحل جنوب دریای خزر را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در بیشتر ایستگاه‌های شمال کشور تغییرات از نوع روند و نوسانی است و دمای کمینه روندی مثبت و دمای بیشینه روندی منفی داشته است. بدین ترتیب، از دامنه نوسان دما کاسته شده است. مسعودیان (۱۳۸۳: ۸۹-۱۰۶) روند دمای ایران را در نیم‌سده گذشته بررسی کرد و نتیجه گرفت که دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود ۱/۳ و ۲ درجه سلسیوس در هر صد سال افزایش داشته است. روندهای افزایشی دما عمدتاً در سرزمین‌های گرم و کم‌ارتفاع و روندهای کاهش‌ی عمدتاً در رشته‌کوه‌ها دیده می‌شود. مدرسی و همکاران (۱۳۸۸: ۴۷۶-۴۸۹) روند دمای کمینه، بیشینه و بارش ایستگاه‌های حوضه آبریز گرگان‌رود را با آزمون‌های همگنی انحرافات تجمعی و آزمون روند مان-کندال محاسبه کردند و به این نتیجه رسیدند که در بالادست حوضه گرگان‌رود بارندگی روندی افزایشی و دمای کمینه و بیشینه نیز در کل حوضه روندی افزایشی داشته است. امیدوار و خسروی (۱۳۸۹: ۳۳-۴۶) داده‌های مربوط به پارامترهای دمایی و رطوبت نسبی را در ایستگاه‌های جنوبی به روش مان-کندال بررسی کردند و افزایش دمای میانگین را به افزایش دمای کمینه نسبت دادند. علیچانی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۰۱-۱۲۲) در بررسی روند کمینه و بیشینه دمای ایستگاه‌های همدید کشور نشان دادند که در بیشتر ایستگاه‌های کشور دما روندی افزایشی داشته است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۲: ۱۱۷-۱۳۷) با استفاده از روش رگرسیون خطی و روش مان-کندال روند دمایی برخی ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحلیل کردند. منتظری (۱۳۹۳: ۲۰۹-۲۲۸) با واکاوی پهنه‌ای دماهای سالانه ایران طی ۱۹۶۱-۲۰۰۸ و با استفاده از روش مان-کندال و نیز به‌کارگیری رگرسیون خطی نشان داد که در ۶۰ درصد وسعت کشور دمای کمینه و در ۲۷ درصد کشور دمای بیشینه روندی افزایشی داشته است. میرموسوی و صبوری (۱۳۹۳: ۱۱۹-۱۳۶) با استفاده از روش‌های اسپیرمن، مان-کندال و نیز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون افزایش میانگین دمای سالانه در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، اهر، خلخال، پیرانشهر و ماکو را عامل اصلی در کاهش بارش برف در این نواحی می‌دانند.

پیش‌بینی و شبیه‌سازی عناصر آب‌وهوایی به‌ویژه دما و بارش بر اساس ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو نیز مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور را به خود معطوف داشته است. برای مثال، گانگن و همکاران (۲۰۰۵: ۲۹۷-۳۱۴) کاربرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری در شبیه‌سازی داده‌های آب‌وهوایی در «کبک» کانادا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که وقتی از داده‌های NCEP برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود مدل شایسته و به‌هنگام استفاده از داده‌های CGCM1 مدل ناکارآمدی است و دما را کمتر از دمای مشاهده‌شده نشان می‌دهد. کاکیدس و برج (۲۰۰۹: ۱-۱۸) حساسیت مدل ریزمقیاسی آماری را در جنوب «اونتاریا» ارزیابی و برآورد آمار کمینه و بیشینه دما با خطای کم را با این مدل تأیید کردند. ساوویگنت و همکاران (۲۰۱۰: ۴۱-۵۷) مدل ریزمقیاس نمایی آماری را برای دما و بارندگی شمال شیلی در حوضه خشک «ال‌کویی» آزمودند و نتیجه گرفتند که این مدل برای دما مناسب ولی برای

بارندگی ضعیف است. تریهورن و دی‌گاتانو (۲۰۱۱: ۱۹۷۵-۱۹۸۹) تکنیک‌هایی را برای ریزمقیاس‌نمایی بارش‌های شدید در شمال شرق ایالت متحده آمریکا مقایسه و مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را تأیید کردند. لیو و همکاران (۲۰۱۲: ۴۱-۵۷) دو مدل ریزمقیاس‌نمایی NHMM و SDSM را برای بارندگی روزانه حوزه «رودخانه خشک» در چین ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که هر دو مدل توانایی شبیه‌سازی خصوصیات سالانه و ماهانه بارش را دارد ولی مدل NHMM در شبیه‌سازی بارش ماهانه اندکی بهتر است. فیشا و همکاران (۲۰۱۲: ۱-۱۴) با استفاده از SDSM و LARS ریزمقیاس‌نمایی آماری را برای دما و بارش فرین‌رود «تی‌بر» در ایتالیا به‌کار بردند و با استفاده از داده‌های HadCM3 و GCM تحت سناریوی A2 و B2 برای دوره‌های مختلف پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل توانایی پیش‌بینی دما را دارد. لی‌تیتوس و همکاران (۲۰۱۳: ۱-۱۳) براساس مدل‌های گردش عمومی جو CGCM3 طبق سناریوی A2 برای «شروتر» در کانادا ۵ درجه سلسیوس افزایش دما را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند. پرویز و همکاران (۲۰۱۴: ۱۲۰-۱۳۴) مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM را برای شبیه‌سازی بارندگی حوزه «کنگ» و «برهماپوترا» به‌کار بردند. محمد و مولاند (۲۰۱۴: ۵۶-۶۶) تغییرات آینده رخداد دمای بیشینه را در نواحی مرزی «جلوم» بررسی و مدل‌سازی کردند. ایشان نتیجه گرفتند که در آینده تغییر در تکرار و شدت همه نمایه‌های فرین‌های گرم بیش از فرین‌های سرد است.

عباسی و همکاران (۱۳۸۹: ۴-۲۰) تغییر آب‌وهوای زاگرس را با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای دهه ۲۰۲۰ افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۴ درجه سلسیوس محتمل است. آبکار و همکاران (۱۳۹۲: ۱-۱۴) کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارزیابی و تأیید کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل دما را برای مناطق خشک نسبت به فراخشک بهتر برآورد می‌کند. رضایی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۱۷-۱۳۱) کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که این مدل، نسبت به منطقه فراخشک، در منطقه خشک از توانایی و دقت بالاتری برای پیش‌بینی بارندگی برخوردار است. قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۳: ۱۵۵-۱۶۶) عوامل مورفواقلیمی را بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل SDSM بررسی کردند و دقت ایستگاه‌هایی که ارتفاع آن‌ها به متوسط ارتفاع سلول یا یاخته انتخابی نزدیک‌تر است، نسبت به ایستگاه‌هایی که در حاشیه سلول قرار دارد از طریق مدل SDSM با دقت بیشتری عناصر شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که در بیشتر این تحقیقات افزایش دما تأیید می‌شود. همچنین، مدل SDSM آماره‌های دمایی را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند.

در تحقیق حاضر ضمن آشکارسازی نوع روند دمای ایستگاه اراک (خطی یا غیرخطی بودن)، به منظور آشکارسازی و برآورد وضعیت دمایی اراک در آینده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) استفاده شد. پیش‌بینی آماره‌های دمایی اراک از داده‌های دو سناریوی A2 و B2 بر اساس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 طی دوره‌ای از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ انجام شد. بدین ترتیب رفتار پیشین، کنونی و نیز آتی دمای اراک بررسی شده است.

## داده‌ها و روش‌ها

برای انجام این تحقیق و به منظور بررسی، الگوسازی و نیز پیش‌بینی دمای ایستگاه اراک، سه گروه داده به شرح زیر استفاده شد:

۱. میانگین دمای روزانه، میانگین دمای کمینه و میانگین دمای بیشینه ایستگاه اراک از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۱۰ (۱۸۲۶۲ روز) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. ایستگاه اراک در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۷۰۸ متر است.
۲. داده‌های روزانه مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) برای متغیرهای مختلف جوی طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ به شرح جدول ۱ از مرکز مذکور اخذ شد.
۳. داده‌های مدل جهانی گردش عمومی جو زمین Hadcm3 تحت سناریوی A2 و B2 برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ از تارنمای <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?Scenarios> به شرح جدول ۱ اخذ شد. به منظور انتخاب یاخته مناسب از سری یاخته‌های پایگاه داده‌ای جوی NCEP و نیز Hadcm3، ابتدا بین داده‌های جوی یاخته‌های مجاور ایستگاه اراک و نیز یاخته‌ای شامل ایستگاه اراک با داده‌های ایستگاه اراک همبستگی ایجاد شد. در نهایت، یاخته 15X-22Y با مختصات ۳۲/۵ درجه عرض شمالی و ۵۲/۵ درجه طول شرقی با بیشترین همبستگی انتخاب شد. به منظور بررسی تغییرات بلندمدت دمای شهر اراک از رگرسیون خطی و غیرخطی (شامل رگرسیون درجه دوم و درجه سوم)، آزمون آماری و گرافیکی مان-کندال استفاده شده است. با توجه به اینکه روش‌شناسی این فنون در تحقیقات متعدد داخلی و خارجی بیان شده است، از ذکر آن‌ها در این نوشتار خودداری می‌شود (برای مثال، به علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷؛ سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۲ مراجعه کنید). تمامی عملیات آماری-ترسیمی این بخش با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و MATLAB انجام گرفته است.

جدول ۱. متغیرهای مورد استفاده از پایگاه داده‌ای داده‌های NCEP و Hadcm3

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	فشار تراز دریا	۱۴	مؤلفه مداری باد تراز دریا
۲	سرعت باد تراز دریا	۱۵	همگرایی در تراز دریا
۳	مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز دریا	۱۶	واگرایی باد در تراز دریا
۴	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	مؤلفه مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	سرعت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	همگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	مؤلفه نصف‌النهاری باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	مؤلفه مداری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	مؤلفه نصف‌النهاری باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	همگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۰	ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	رطوبت نسبی تراز دریا
۱۳	رطوبت ویژه تراز دریا	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای ایستگاه اراک از مدل ریزمقیاس نمای آماری (SDSM) استفاده شد. از این مدل برای شبیه‌سازی متغیرهای آب‌وهوایی هر ایستگاه، در شرایط حال حاضر و نیز در شرایط آینده تحت سناریوهای مختلف پدیده تغییر اقلیم استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی آماره‌های دمایی ایستگاه اراک، داده‌های مشاهدات روزانه ایستگاهی، داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های Hadcm3 استفاده شد. مراحل انجام این پژوهش به شرح زیر است:

- مرتب‌سازی داده‌های روزانه ایستگاه اراک (شامل میانگین، کمینه و بیشینه) با استفاده از نرم‌افزار SWAT Meteo V1.0 انجام شد. طول روزهای سال برای داده‌های ایستگاهی، داده‌های NCEP و نیز داده‌های Hadcm3 هم‌وزن و همسان شد.

- در مرحله کنترل کیفیت داده‌ها، معلوم شد که تعداد روزهای فاقد داده در دوره ۵۰ ساله ۴۸ روز بود (از ۱۸۲۶۲ روز در ۴۸ روز عدد ثبت نشده بود) که پس از شبیه‌سازی با به‌کارگیری مدل SDSM جایگزین شد.

- از میان ۲۶ متغیر مستقل جوی NCEP و Hadcm3 (جدول ۱) متغیرهایی انتخاب شد که بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین پراش خطا را داشت. این متغیرها متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل اختیار شد. پس از انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مناسب، عامل تورم پراش این متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS برآورد شد. عامل تورم پراش چندگانگی خطی متغیرها را بررسی می‌کند. میانگین تورم پراش متغیرهای غالب، ۳ برآورد شد.

- در مرحله واسنجی مدل، مدل‌های ریزمقیاس نمایی بر مبنای رگرسیون خطی چندگانه برازش‌یافته بر مشاهدات روزانه آب‌وهوایی و متغیرهای جوی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شد. داده‌های آب‌وهوایی روزانه در اینجا داده‌های روزانه کمینه، بیشینه، و میانگین روزانه دمای ایستگاه اراک است. متغیرهای جوی مقیاس منطقه‌ای همان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده است. مدل با استفاده از الگوریتم کمترین مربعات معمولی بهینه شد. طول دوره آماری برای واسنجی مدل از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ در نظر گرفته شد؛ یعنی، دوره‌ای که هم داده‌های ایستگاهی و هم داده‌های NCEP وجود دارد. در بسیاری از تحقیقات طول این دوره را دوره پایه یعنی از ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ در نظر می‌گیرند. در این تحقیق به دو دلیل طول این دوره از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ در نظر گرفته شد. نخست، رفتار دمایی اراک خطی مستقیم نیست، بلکه انحنایی است. از این‌رو، دو نیم‌کردن دوره ممکن است خطای محاسباتی ایجاد کند، زیرا در نیم‌دوره نخست دما روندی کاهشی و در نیم‌دوره دوم دما روندی افزایشی و در مجموع روندی سهمی دارد. دوم اینکه هر چه طول دوره نمونه‌برداری اقلیمی بیشتر باشد، برآورد و پیش‌بینی دقیق‌تر است.

نمایه دوربین واتسون، ضریب تعیین، خطای استاندارد و آزمون چاو کیفیت مدل را پس از واسنجی مدل تعیین می‌کند. نمایه دوربین واتسون همبستگی بین مانده‌های مدل (اختلاف مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده) است (نتر و همکاران، ۱۳۷۴: ۴۶۲). ضریب تعیین (مجذور ضریب همبستگی) قدرت پیش‌بینی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را نشان می‌دهد. نمایه آماره چاو پایایی ضرایب را می‌آزماید و مدلی را می‌پذیرد که ضرایب آن در امتداد زمان نوسان بالایی ندارد.

- با استفاده از مدل به‌دست‌آمده در مرحله واسنجی همچنین، به‌کارگیری متغیرهای پیش‌بینی‌کننده انتخابی، مشخصات دمایی اراک طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ (۱۴۹۷۵ روز) شبیه‌سازی شد. هدف از شبیه‌سازی دمایی نخست، ارزیابی مدل ساخته‌شده و دوم تعیین و جایگزینی داده‌های گمشده است. بسیاری پژوهشگران هنگام شبیه‌سازی در SDSM، دوره واسنجی را به دو نیمه تقسیم می‌کند و برای نیمه دوم داده مصنوعی تولیدشده را با داده‌های مشاهده‌شده

مقایسه می‌کند (برای مثال، آبکار و همکاران، ۱۳۹۲؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹ را نگاه کنید). در پژوهش حاضر، برای کل دوره داده‌های آب‌وهوایی تولید شد، زیرا همان‌گونه که گفتیم، میانگین دمای اراک از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ روندی کاهشی دارد و از آن پس روندی افزایشی پیدامی‌کند. بدیهی است که در این حالت نمی‌توان بر اساس نیمه اول برای نیمه دوم داده تولید کرد. به‌منظور ارزیابی و کارایی مدل و شناسایی بهترین روش جهت پیش‌بینی دما از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب ساتکلیف، روابط ۱ تا ۳ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۷-۱۳۱) و نمایه توافقی ویلموت رابطه ۴ (یارنال، ۱۳۹۳: ۱۷۲) شرح زیر استفاده شد:

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (۲)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{X})^2} \quad (۳)$$

$$d = 1 - \frac{N - (RMSE)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (۴)$$

در روابط فوق  $P_i$ ،  $O_i$ ،  $\bar{X}$  و  $N$  به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی‌شده، مشاهده‌شده، میانگین مشاهده‌شده و تعداد داده‌هاست. هر چه میزان  $MAE$  و  $RMSE$  کمتر باشد، کارایی بیشتر مدل در برآورد پارامتر دمایی را نشان می‌دهد. ضریب ناش-ساتکلیف و نمایه توافقی ویلموت بین صفر تا ۱ متغیر است. عدد ۱، نماینده توافقی کامل مشاهدات و پیش‌بینی‌ها و صفر نماینده عدم توافقی کامل است. این نمایه‌ها میزان صحت پیش‌بینی‌های مدل را نشان می‌دهد. برای رسیدن  $d$  و  $NS$  به حد معناداری، نمی‌توان مقداری قائل شد، بلکه محقق باید بر پایه اطلاعات خود از موضوع مورد بررسی دقت داده‌ها و مدل مورد استفاده مقدار این شاخص‌ها را ارزیابی کند (برنت‌یارنال، ۱۳۹۳: ۱۷۲). نکته‌ای که در این مرحله باید به آن توجه شود تعیین تعداد اثر جمعی<sup>۱</sup> برای شبیه‌سازی است که می‌توان از ۱ تا ۱۰۰ انتخاب کرد. با آزمایش و خطای مکرر عددی انتخاب می‌شود که کمترین خطا را داشته باشد. با کمک روابط (۲) تا (۴) می‌توان بهترین تعداد اثر جمعی را انتخاب کرد.

پیش‌بینی آماره‌های دمایی اراک از داده‌های دو سناریوی A2 و B2 بر اساس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ انجام شد. این سناریوها بر اساس تولید گازهای گلخانه‌ای، هواویزهای سولفات‌ها و واداشت تابشی تولید شده است (فلاح قالمهری، ۱۳۹۳: ۲۲). سناریوی A2 با پیش‌فرض جهان ناهمگون و اختلاف منطقه‌ای از نظر اقتصادی، فرهنگی و توسعه‌ای طراحی شده است. این سناریو بر اساس واگرایی فرهنگی، رشد زیاد

جمعیت و عدم توجه به رشد اقتصادی بنا نهاده شده است. سناریوی B2 بر پایه پایداری محیطی حاصل از راه‌حل محلی بنا نهاده شده و شرایط اجتماعی، اقتصادی و محیطی در نواحی مختلف متفاوت فرض شده است و جهان ناهمگون و واگرا متصور می‌شود. برای ایستگاه اراک تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره‌های ده ساله، آماره‌های دمایی شبیه‌سازی شد. برای ارزیابی دقت پیش‌بینی این دو سناریو از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا و شاخص توافق ویلموت بین میانگین سالانه ایستگاهی و شبیه‌سازی شده (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱) بهره گرفته شد.

## یافته‌های پژوهش

### الف) مشخصات توصیفی و تحلیل روند دما

جدول ۲ نتایج آزمون آمارة مان-کندال را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول تنها میانگین کمینه دما در تابستان دارای روند است و با توجه به سطح معناداری آزمون آماری مان-کندال برای دوره‌ای ۵۰ ساله معلوم می‌شود که بیش از  $+0/19$  و کمتر از  $-0/19$  است و رفتار دمایی ایستگاه اراک روندی ثابت دارد. با توجه به اینکه آزمون آماری مان-کندال کمینه دمای تابستان معنادار است، نمودار گرافیکی مان-کندال برای کمینه دمای تابستان رسم می‌شود (شکل ۱ الف) که نشان‌دهنده معناداری مثبت دمای شبانه در فصل تابستان است.

جدول ۲. نتایج آزمون آمارة مان-کندال برای پارامترهای دمایی ایستگاه اراک از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰

آماره فصل	کمینه دما	کمینه مطلق	بیشینه دما	بیشینه مطلق	میانگین روزانه دما
بهار	۰/۱۰۸	-۰/۰۰۱	-۰/۰۳۳	-۰/۱۰۲	-۰/۰۶
تابستان	۰/۳۰۴*	-۰/۰۹۴	-۰/۰۳۷	۰/۰۷	۰/۱۳
پاییز	-۰/۰۵۲	-۰/۰۰۷	-۰/۰۸۱	-۰/۰۲۶	-۰/۰۹۱
زمستان	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۰۳	۰/۰۴
سالانه	۰/۰۹۲	۰/۰۱۸	-۰/۰۰۲	۰/۰۸	۰/۰۵

\*معناداری

جدول ۳ ضریب رگرسیون خطی و آمارة P را نشان می‌دهد. به این ترتیب، می‌توان قضاوت کرد که یا پارامترهای دمایی اراک طی زمان تغییر نمی‌کند یا اینکه رفتار دمایی ایستگاه اراک رفتاری غیرخطی است. در شرایطی که رابطه دو یا چند متغیر به شکل دو یا چند جمله‌ای باشد، خط پراش یک متغیر را با متغیر دیگر توجیه نمی‌کند. در این صورت باید به جای یک خط، یک منحنی برای بیان رابطه برآزش کرد. مدل‌های رگرسیون انحنایی دارای یک، دو یا بیش از دو متغیر مستقل است و هر متغیر مستقل توان‌های متعددی دارد (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۴۳). از این رو، برای بررسی دقیق‌تر رفتار بلندمدت دمای اراک از رگرسیون درجه دوم و درجه سوم استفاده شد.

جدول ۴ انواع آماره‌های دمایی ایستگاه اراک در فصول مختلف، با رگرسیون‌های غیرخطی دارای بهترین برآزش را نشان می‌دهد. این جدول مشخص می‌کند که رفتار میانگین سالانه دما، کمینه دما و بیشینه دما انحنایی و از نوع درجه دوم است. رفتار بیشینه مطلق دما در فصول بهار، پاییز و زمستان غیرخطی و از نوع درجه سوم است. میانگین‌های بیشینه دما در دو فصل پاییز و زمستان غیرخطی و از نوع درجه دوم است. کمینه مطلق دما با هیچ کدام از رگرسیون‌های



غیرخطی برازش ندارد. این امر از بی‌نظمی این پارامتر دمایی حاصل می‌شود. میانگین‌های کمینه دما فقط در فصل تابستان با رگرسیون خطی و نیز غیرخطی از نوع درجه دوم همخوانی دارد و در بقیه فصول با هیچ یک از انواع خطی و غیرخطی رگرسیون‌ها همخوانی معناداری ندارد. شکل ۱ تا ۱۱ نتایج حاصل از تلاش‌های یادشده را نشان می‌دهد. ضریب تعیین، آماره p-value و معادله رگرسیون هر یک از متغیرها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۳. نتایج رگرسیون خطی برای پارامترهای دمایی ایستگاه اراک از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰

آماره فصل	کمینه دما		کمینه مطلق		بیشینه دما		بیشینه مطلق		میانگین روزانه دما	
	B	p-value	B	p-value	B	p-value	B	p-value	B	p-value
بهار	۰/۰۰۸	۰/۳۷۶	۰/۰۰۳	۰/۸۸۴	۰/۰۰۵	۰/۷۳	۰/۰۱۲	۰/۴۵۵	۰/۰۰۶	۰/۵۶۵
تابستان	۰/۰۲۴	۰/۰۰۴**	۰/۰۲۴	۰/۱۸۶	-۰/۰۰۹	۰/۴۰۱	۰/۰۰۴	۰/۷۶	۰/۰۰۷	۰/۴۰۷
پاییز	-۰/۰۰۶	۰/۶۳۵	۰/۰۱۴	۰/۷۵۶	-۰/۰۰۷	۰/۸۸۲	-۰/۰۰۲	۰/۸۸۲	-۰/۰۰۶	۰/۶۴۷
زمستان	-۰/۰۰۵	۰/۸۵۶	-۰/۰۱۱	۰/۸۷۳	۰/۱	۰/۷۳۵	۰/۰۰۲	۰/۹۴۸	۰/۰۰۳	۰/۹۲۶
سالانه	۰/۰۰۵	۰/۵۹۸	۰/۰۰	۰/۹۹۵	-۰/۰۰۲	۰/۸۶۲	۰/۰۰	۰/۹۵۸	۰/۰۰۳	۰/۸۱۳

\*\*معناداری =B ضریب رگرسیون

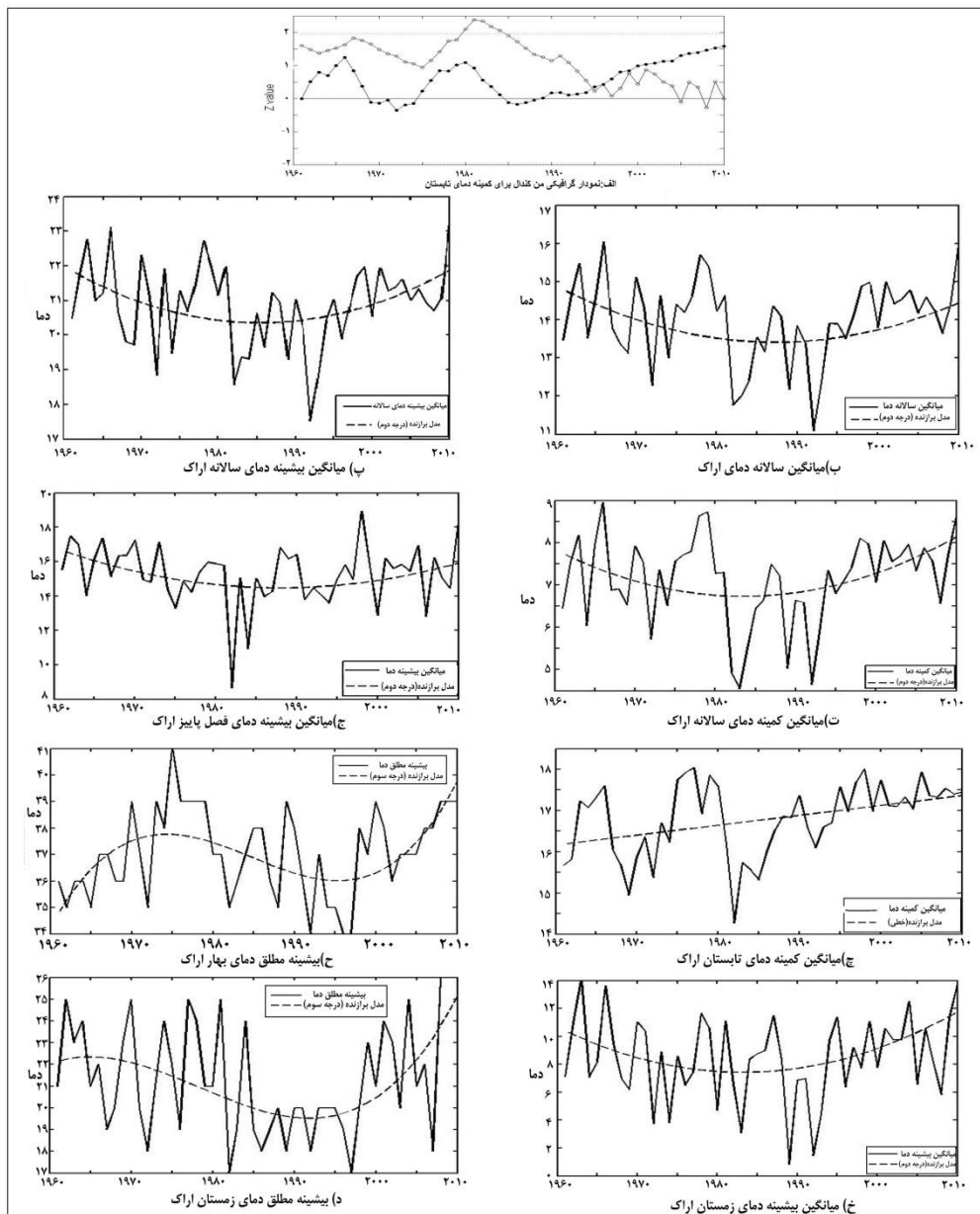
جدول ۴. انواع آماره‌های دمایی ایستگاه اراک بر اساس مدل‌های برازنده در فصول مختلف

آماره فصل	کمینه دما		کمینه مطلق		بیشینه دما		بیشینه مطلق		میانگین دما	
	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value	نوع رگرسیون	p-value
بهار	درجه سه	۰/۱۴۶	درجه دو	۰/۵۹۹	درجه سه	۰/۳۴۷	درجه سه	۰/۰۰۱*	درجه سه	۰/۲۳۳
تابستان	خطی	۰/۰۰۴*	درجه دو	۰/۱۵۹	درجه سه	۰/۲۹۸	درجه سه	۰/۰۸۱	درجه سه	۰/۴۹۹
پاییز	درجه دو	۰/۲۰۳	درجه دو	۰/۶۲۸	درجه دو	۰/۰۵*	درجه دو	۰/۰۵۷	درجه دو	۰/۰۶۳
زمستان	درجه دو	۰/۱	درجه سه	۰/۹۴۹	درجه دو	۰/۰۳۹*	درجه سه	۰/۰۰۱*	درجه دو	۰/۶۱
سالانه	درجه دو	۰/۰۳۶*	درجه دو	۰/۸۸	درجه دو	۰/۰۲۱*	درجه سه	۰/۰۷۳	درجه دو	۰/۰۲۳*

\*معناداری در سطح ۹۵ و بیش از ۹۵ درصد

جدول ۵. الگوی برازنده، ضریب تعیین و آماره‌های P مربوط

آماره‌های دمایی	معادله	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	P-value
میانگین دمای سالانه	$T_{Dt}=14.894-0.109t+0.002t^2+e_t$	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۰۲۳
میانگین کمینه دمای سالانه	$T_{Dt}=7.835-0.094t+0.002t^2+e_t$	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۳۶
میانگین بیشینه دمای سالانه	$T_{Dt}=21.965-0.127t+0.002t^2+e_t$	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۰۲۱
میانگین بیشینه دمای پاییز	$T_{Dt}=16.815-0.168t+0.003t^2+e_t$	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۵
میانگین بیشینه دمای زمستان	$T_{Dt}=10.651-0.278t+0.006t^2+e_t$	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۳۹
میانگین کمینه دمای تابستان	$T_{Dt}=16.163+0.024t+e_t$	۰/۴۰	۰/۱۶	۰/۰۰۴
بیشینه مطلق دمای بهار	$T_{Dt}=34.242+0.57t-0.028t^2+0.000376t^3+e_t$	۰/۵۴	۰/۲۹	۰/۰۰۱
بیشینه مطلق دمای زمستان	$T_{Dt}=22.027+0.137t-0.016t^2+0.00029t^3+e_t$	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۰۰۱



شکل ۱. تغییرات مشخصات دمایی ایستگاه اراک و مدل برازنده بر آن در فصل‌های مختلف سال

با توجه به شکل‌های اب، اپ، ات، اج و اخ مشخص می‌شود که دمای میانگین، بیشینه و کمینه سالانه، بیشینه فصل پاییز و بیشینه فصل زمستان رفتاری از نوع رگرسیون درجه دوم دارد؛ یعنی، دما از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با نوسان‌هایی روندی کاهشی و از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ روندی افزایشی داشته است. شکل اج روندی خطی را برای کمینه تابستان نشان می‌دهد. شکل اح رفتاری از نوع رگرسیون درجه ۳ را نمایان می‌کند؛ یعنی اینکه بیشینه مطلق بهار از سال ۱۹۶۱ تا سال ۱۹۷۵ افزایش داشته و از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷ روندی کاهشی و از آن پس تا سال ۲۰۱۰ با شیب تندی روندی افزایشی داشته است. شکل اد بیشینه مطلق فصل زمستان را نشان می‌دهد. در این فصل تا سال ۱۹۶۵ افزایش

بیشینه مطلق دما دیده می‌شود و پس از آن تا سال ۱۹۹۵ روندی کاهشی داشته و از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۰ با شیب بالایی بیشینه دمای مطلق زمستانه افزایش داشته است.

با توجه به جدول‌های فوق و شکل ۱ می‌توان دریافت که رفتار دمایی شهر اراک خطی نیست. رگرسیون خطی و آزمون مان-کندال عدم تغییرپذیری دمایی اراک را نشان می‌دهد. با بررسی دقیق‌تر همراه با جزئیات می‌توان استنباط کرد که آماره‌های دمایی شهر اراک که رفتاری از نوع رگرسیون درجه دوم داشته تا سال ۱۹۸۵ دارای افت‌وخیز و نوسان‌های با میانگین نسبتاً ثابت یا کاهشی بوده است. از آن پس، روند متغیرهای دمایی افزایشی بوده است. متغیرهای که رفتاری از نوع رگرسیون درجه سوم داشته است، از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۵ روندی افزایشی و از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۵ روندی کاهشی و از آن پس با شیب نسبتاً تند روندی افزایشی داشته است.

### ب) شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای ایستگاه اراک

پس از کنترل کیفیت داده‌ها، ضریب همبستگی معمولی همچنین، ضریب همبستگی جزئی بین میانگین، کمینه و بیشینه دمای ایستگاه اراک و هر یک از متغیرهای جوی NCEP (جدول ۱) برآورد شد. سه متغیر فشار تراز دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری متغیرهای توضیحی برای میانگین دمای ایستگاه اراک شناخته شد. متغیرهای همگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز میانگین دما در ارتفاع ۲ متری برای بیشینه دمای ایستگاه اراک و بالاخره متغیرهای فشار تراز دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز میانگین دما در ارتفاع ۲ متری برای کمینه دمای ایستگاه اراک تشخیص داده شد. عامل تورم پراش متغیرها برآورد شد. نتایج واسنجی مدل برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ در جدول ۶ آمده است.

در جدول ۶ مجذور ضریب همبستگی، خطای استاندارد، آماره چاو و نمایه دوربین واتسون برای بیشینه، میانگین و کمینه دمای اراک برای هر ماه آمده است. مجذور ضریب همبستگی، توان برآورد متغیرهای توضیحی را نشان می‌دهد. برای مثال، این متغیرها برای میانگین بیشینه، میانگین روزانه و میانگین کمینه دما به ترتیب ۷۵، ۷۹ و ۶۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کند. به عبارت دیگر، بین ۶۶ تا ۸۰ درصد پراش برآوردشده در ایستگاه اراک با واداشت منطقه‌ای تبیین می‌شود. خطای استاندارد این جدول نشان می‌دهد که خطای میانگین روزانه کمتر از خطای میانگین کمینه‌ها و میانگین بیشینه‌هاست. خطای ماه‌های گرم کمتر از ماه‌های سرد است، بدین دلیل که میانگین دمای روزانه، به‌ویژه در ماه‌های گرم‌تر سال نسبت به کمینه و بیشینه دما نظم بیشتری دارد. مقادیر مربوط به آماره دوربین واتسون نیز تصادفی بودن مانده‌های مدل را تأیید می‌کند. آماره چاو نیز تأییدی بر پایایی ضرایب مدل است.

جدول ۶. نتایج واسنجی مدل برای فراسنج‌های دمایی ایستگاه اراک

آماره ماه	ضریب تعیین			خطای استاندارد			آماره چاو			نمایه دوربین واتسون		
	بینه	کمینه	بینه	بینه	بینه	بینه	بینه	کمینه	بینه	بینه	بینه	بینه
ژانویه	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۷۳	۲/۹۵	۲/۶۷	۳/۳۸	۱/۴۷	۱/۸۲	۲/۲۳	۲/۰۴	۱/۸۵	۱/۹۸
فوریه	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۷۲	۲/۹۸	۲/۴۷	۳/۲۹	۳/۳۷	۲/۰۹	۰/۵۵	۲	۱/۸۷	۲/۰۸
مارس	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۷۲	۲/۵۹	۲/۸۴	۲/۲۷	۱۰/۹۸	۱۴/۶۷	۱۰/۸۲	۱/۸۶	۱/۷۴	۲/۱۶
آوریل	۰/۶۹	۰/۷۷	۰/۶۷	۲/۳۷	۱/۶۷	۲/۰۸	۲۳/۸۹	۳۹/۳۵	۱۹/۶	۱/۸	۱/۵۵	۲/۹۲
می	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۶۰	۲/۱۰	۱/۴۹	۱/۷۸	۲۴/۸۹	۳۹/۲۵	۲۰/۶۴	۱/۹۱	۱/۶۹	۱/۹۶
ژوئن	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۵۹	۲/۴۵	۱/۱۰	۱/۵۶	۱۶/۳۷	۱۷/۲۹	۳/۲۷	۱/۷۷	۱/۸۱	۲/۱۵
ژولای	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۵	۱/۳۷	۱/۰۴	۱/۴۱	۲۲/۸۰	۱۹/۲۵	۳/۰۹	۱/۷۳	۱/۸۲	۲/۱۰
آگوست	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۶۲	۱/۲۶	۰/۹۹	۱/۳۹	۱۹/۷۶	۱۷/۵۵	۱/۲۷	۱/۸۲	۱/۸۶	۲/۱۳
سپتامبر	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۶۶	۱/۴۱	۱/۰۷	۱/۵۶	۲۵/۶۴	۳۶/۲۸	۹/۵۶	۱/۹۲	۲/۰۵	۲/۲۱
اکتبر	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۶۳	۱/۸۴	۱/۳۷	۱/۹۱	۱۴/۶۹	۲۱/۸۴	۷/۰۱	۱/۸۶	۱/۸۲	۲/۰۹
نوامبر	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۷۱	۱/۹۸	۱/۴۵	۲/۰۱	۱۲/۷۱	۱۳/۰۸	۵/۱۱	۱/۸۹	۱/۸۵	۲/۰۵
دسامبر	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۶۸	۲/۴۵	۲/۱۰	۲/۷۰	۴/۳۹	۴/۲۶	۱/۲۲	۱/۹۳	۱/۸۴	۲/۰۵
سالانه	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۶۶	۲/۰۶	۱/۶۰	۲/۱۱	۱۵/۰۸	۱۸/۸۹	۷/۰۳	۱/۸۸	۱/۸۱	۲/۰۷

پس از واسنجی با استفاده از مدل برآوردشده و متغیرهای توضیحی بیان شده برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ داده‌های دما برآورد شد. جدول ۷ معیارهای آماری ارزیابی مدل دمایی ایستگاه اراک را نشان می‌دهد. اثر جمعی با آزمایش و خطاهای متعددی که انجام گرفته حاصل شد. برای آماره‌های ایستگاه اراک با افزایش اثر جمعی تا ۲۰ الی ۳۰، نتایج معیارهای ارزیابی بهتر شد ولی از عدد ۳۰ به بعد تغییرات بسیار ناچیز بود.

جدول ۷. معیارهای آماری ارزیابی مدل دمایی ایستگاه اراک

آماره	ensemble	MAE	RMSE	NS	d
میانگین دما	۲۰	۱/۷۶	۲/۴۵	۰/۹۴	۰/۹۹
بیشینه دما	۲۰	۲/۲۲	۲/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۹
کمینه دما	۳۰	۱/۹۶	۲/۷۵	۰/۹۱	۰/۹۸

به منظور ارزیابی یافته‌های جدول ۷، مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده برای یک دوره چهار ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰) در جدول ۸ مقایسه شد. اختلاف بین آماره‌های شبیه‌سازی شده با آماره‌های مشاهده‌ای به غیر از کمینه مطلق و بیشینه مطلق بسیار ناچیز است. اختلاف بین بیشینه مطلق ماهانه‌ها نیز حدود یک درجه است، ولی اختلاف بین کمینه‌ها زیاد است. با توجه به شکل ۲ الف دمای میانگین، بیشینه و کمینه کاملاً با هم منطبق است. بین بیشینه مطلق ایستگاهی و شبیه‌سازی شده تفاوت اندکی وجود دارد و بین کمینه‌های مطلق اختلاف زیاد است؛ یعنی اینکه کمینه‌های مطلق به خوبی برآورد نشده است.

جدول ۸. مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های شبیه‌سازی شده ایستگاه اراک

ماه	آماره‌های دمایی ایستگاهی					آماره‌های دمایی شبیه‌سازی شده					انحراف آماره‌های ایستگاهی با شبیه‌سازی شده				
	بیشینه	بیشینه مطلق	کمینه	کمینه مطلق	میانگین	بیشینه	بیشینه مطلق	کمینه	کمینه مطلق	میانگین	بیشینه	بیشینه مطلق	کمینه	کمینه مطلق	میانگین
ژانویه	۴/۲۲	۱۷	-۵/۶۸	-۲۸	-۰/۷۳	۴/۲۱	۱۷/۱۸	-۵/۷۹	-۲۲/۴۹	-۰/۷۵	-۰/۱	۰/۱۸	-۰/۳	۴/۵۱	۰/۲
فوریه	۶/۸۱	۲۱	-۲/۸	-۳۰/۵	۱/۵	۷/۱۲	۱۹/۲۵	-۳/۵۵	-۲۱/۲۲	۱/۸	-۰/۳۱	۱/۷۵	-۰/۲۵	۹/۲۸	۰/۳
مارس	۱۳/۰۵	۲۵	۱/۶۱	-۲۲	۷/۳۴	۱۳/۰۳	۲۴/۶۱	۱/۵۶	-۱۱	۷/۳	-۰/۲	۰/۳۹	-۰/۵	۹	-۰/۴
آوریل	۱۹/۶۱	۲۹	۶/۹۴	-۵	۱۳/۲۹	۱۹/۶۳	۲۸/۵۹	۶/۹۳	-۴/۰۶	۱۳/۲۷	-۰/۲	۰/۴۱	-۰/۱	۰/۹۴	-۰/۲
می	۲۵/۳۹	۳۵/۴	۱۰/۳۹	۰	۱۸/۱۶	۲۵/۴۶	۳۴/۳۵	۱۰/۹۱	۲/۸۹	۱۸/۱۷	-۰/۷	۰/۶۹	-۰/۶۲	۲/۸۹	-۰/۱
ژوئن	۳۲/۳۱	۴۱	۱۵/۳۸	۴	۲۳/۸۴	۳۲/۳۵	۳۸/۳۵	۱۵/۴۳	۸/۱۸	۲۳/۸۹	-۰/۴	۲/۶۵	-۰/۳	۴/۱۸	-۰/۵
ژوئلی	۳۵/۶۰	۴۴	۱۸/۹۱	۱۲	۲۷/۲۶	۳۵/۵۵	۴۰/۹۹	۱۸/۸۸	۱۳/۷۱	۲۷/۲	-۰/۵	۳/۰۱	-۰/۳	۱/۷۱	-۰/۳۴
اگوست	۳۴/۷۸	۴۱	۱۷/۸۴	۱۰	۲۶/۳۰	۳۴/۷۵	۳۹/۸۷	۱۷/۷۷	۱۱/۸	۲۶/۲۴	-۰/۳	۱/۱۳	-۰/۷	۱/۸	-۰/۶
سپتامبر	۳۰/۶۳	۳۸	۱۳	۲	۲۱/۸۲	۳۰/۵۹	۳۶/۶۵	۱۲/۹۹	۵/۱۸	۲۱/۸۲	-۰/۴	۱/۳۵	-۰/۱	۳/۱۸	-۰/۱
اکتبر	۲۲/۸۹	۳۱	۷/۶۴	-۴	۱۵/۲۸	۲۲/۹۶	۳۲/۹۶	۷/۶۹	-۰/۴۳	۱۵/۲۸	-۰/۷	۱/۹۶	-۰/۵	۳/۵۷	۰
نوامبر	۱۴/۷۲	۲۴	۲/۴۴	-۱۰	۸/۵۹	۱۴/۶۷	۲۴/۷۷	۲/۴۷	-۷/۸۶	۸/۵۵	-۰/۵	۰/۷۷	-۰/۳	۲/۱۴	-۰/۴
دسامبر	۷/۶۸	۲۲	-۲/۲۲	-۲۳	۲/۷۳	۷/۷۱	۲۱/۳۸	-۲/۲۱	-۱۵/۹۶	۲/۷۴	-۰/۳	۰/۶۲	-۰/۱	۷/۰۴	-۰/۱
زمستان	۶/۲۲	۲۲	-۲/۹	-۳۰/۵	۱/۱۵	۶/۳۲	۲۱/۴۳	-۳/۸۶	-۲۲/۶۳	۱/۲۴	-۰/۱۰	۰/۵۷	-۰/۴	۶/۱۳	-۰/۹
بهار	۱۹/۳۵	۳۵/۴	۶/۴۹	-۲۲	۱۲/۹	۱۹/۳۷	۴۳/۳۵	۶/۴۶	-۱۱	۱۲/۹۱	-۰/۲	۸/۰۵	-۰/۳	۱۱	-۰/۱
تابستان	۳۴/۲۵	۴۴	۱۷/۴	۴	۲۵/۸۲	۳۴/۲۴	۴۰/۹۹	۱۷/۳۸	۸/۱۸	۲۵/۸	-۰/۱	۳/۰۱	-۰/۲	۴/۱۸	-۰/۲
پاییز	۲۲/۷۵	۳۸	۷/۶۹	-۱۰	۱۵/۲۳	۲۲/۷۴	۳۶/۶۵	۷/۷۲	-۷/۸۶	۱۵/۲۲	-۰/۱	۱/۳۵	-۰/۳	۲/۱۴	-۰/۱
سالانه	۲۰/۷۱	۴۴	۶/۹۷	-۳۰/۵	۱۳/۸۴	۲۰/۷۳	۴۰/۹۹	۶/۹۷	-۲۲/۶۳	۱۳/۸۵	-۰/۲	۳/۰۱	۰	۶/۱۳	-۰/۱

- برای پیش‌بینی مشخصات دمایی اراک از داده‌های دو سناریوی A2 و B2 مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ بهره گرفته شد. برای ایستگاه اراک تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره‌های ده ساله، آماره‌های دمایی شبیه‌سازی شد. برای ارزیابی دقت پیش‌بینی این دو سناریو از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا و شاخص توافق ویلموت بین میانگین سالانه ایستگاهی و شبیه‌سازی شده (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱) توسط سناریوی A2 و B2 استفاده شد. جدول ۹ معیارهای ارزیابی کارایی این سناریوها را در برآورد و پیش‌بینی آماره‌های دمایی را برای ایستگاه اراک نشان می‌دهد. بر اساس این جدول تفاوت چندانی بین دو سناریوی A2 و B2 در پیش‌بینی آماره‌های دمایی وجود ندارد.

جدول ۹. معیارهای ارزیابی کارایی سناریوهای A2 و B2

آماره	MAE		RMSE		d	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2
میانگین	۱/۰۶	۰/۹۱	۱/۳	۱/۲	۰/۹۹	۰/۹۹
بیشینه	۱/۱۷	۱/۰۷	۱/۴۳	۱/۳۶	۰/۹۹	۰/۹۹
کمینه	۰/۹۰	۰/۸۴	۱/۱۶	۱/۳	۰/۹۹	۰/۹۹

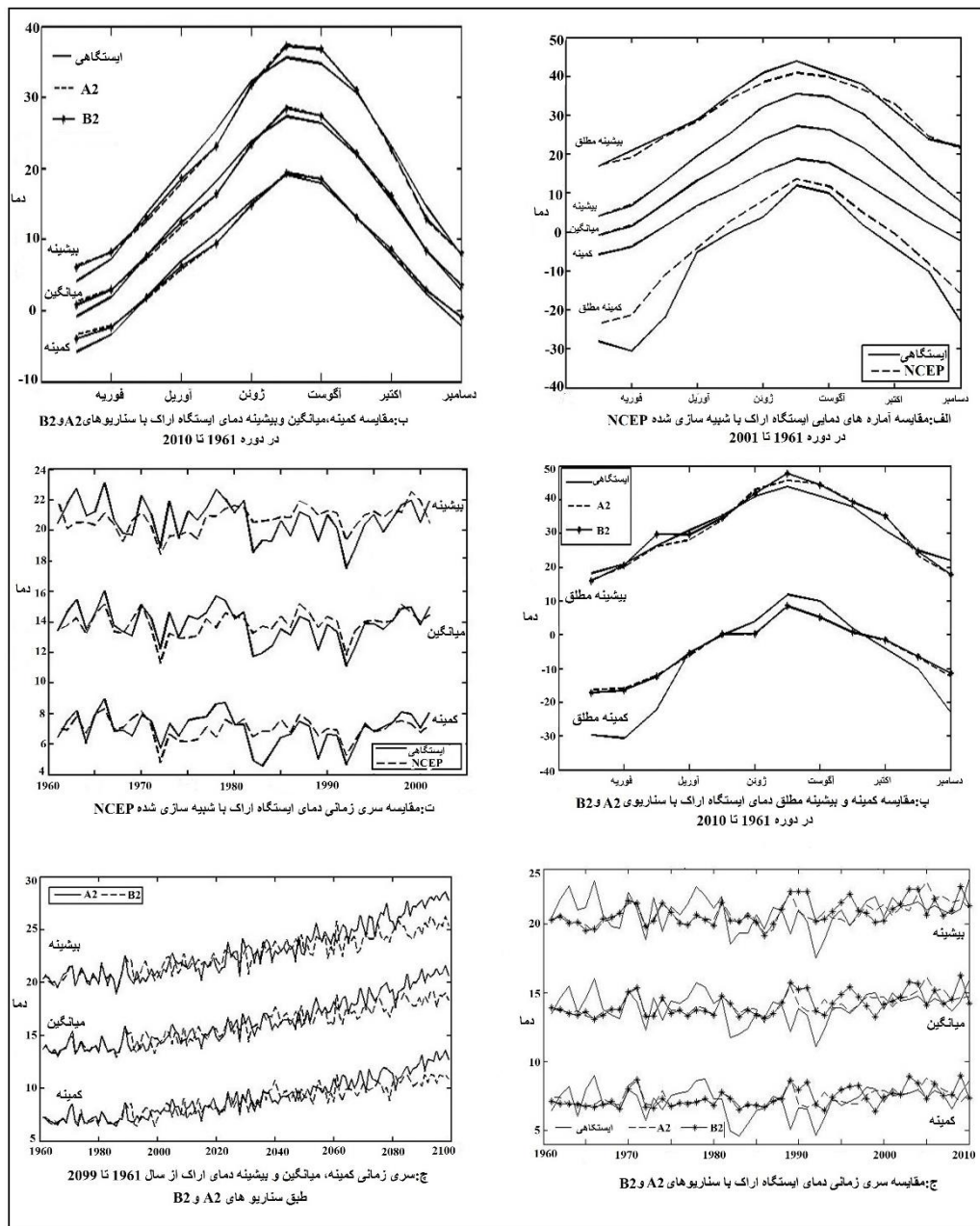
جدول ۱۰. تغییرات میانگین دورهای آماره‌های دمایی اراک از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ تحت دو سناریوی A2 و B2

سناریو آماره دوره	A2				B2				ایستگاه						
	روز	ماه	سال	تغییرات	روز	ماه	سال	تغییرات	روز	ماه	سال	تغییرات	روز	ماه	سال
۱۹۶۱-۱۹۷۰	۱۳/۷۵	۲۰/۳۷	۷/۰۷	۴۴/۳۶	-۱۵/۹	۱۳/۷۰	۲۰/۳۰	۷/۰۳	۴۴/۰۴	-۱۵/۶۳	۱۴/۳۱	۲۱/۲۸	۷/۳۳	۲۶	-۲۶
۱۹۶۱-۱۹۸۰	۱۳/۷۹	۲۰/۴۴	۷/۰۹	۴۴/۷۷	-۱۶/۷۷	۱۳/۷۵	۲۰/۲۸	۷/۰۵	۴۵/۰۲	-۱۶/۲۶	۱۴/۲۹	۲۱/۱۷	۷/۴۰	۴۴	-۲۸
۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۳/۸۹	۲۰/۵۳	۷/۱۲	۴۴/۹۸	-۱۷/۰۴	۱۳/۸۹	۲۰/۵۲	۷/۱۳	۴۴/۹۳	-۱۶/۷۸	۱۳/۹۲	۲۰/۸۵	۶/۹۹	۴۴	-۳۰/۵
۱۹۶۱-۲۰۰۰	۱۳/۹۳	۲۰/۵۴	۷/۱۹	۴۵	-۱۶/۶	۱۳/۹۹	۲۰/۶۲	۷/۲	۴۵/۴۰	-۱۷/۲۹	۱۳/۸۴	۲۰/۸۳	۶/۹۷	۴۴	-۳۰/۵
۱۹۶۱-۲۰۱۰	۱۴/۱۲	۲۰/۷۵	۷/۳۲	۴۵/۷۵	-۱۶/۷	۱۴/۱۷	۲۰/۸۳	۷/۳۴	۴۷/۹۰	-۱۷/۵۴	۱۳/۹۸	۲۰/۸۳	۷/۱۱	۴۴	-۳۰/۵
۱۹۶۱-۲۰۲۰	۱۴/۲۷	۲۰/۸۹	۷/۴۵	۴۵/۸۶	-۱۶/۵	۱۴/۳۴	۲۱/۰۲	۷/۴۷	۴۷/۲۷	-۱۷/۷					
۱۹۶۱-۲۰۳۰	۱۴/۴۷	۲۱/۱۰	۷/۵۹	۴۶/۴۱	-۱۶/۴۹	۱۴/۵۴	۲۱/۲۳	۷/۶۲	۴۷/۸۰	-۱۷/۱۳					
۱۹۶۱-۲۰۴۰	۱۴/۶۷	۲۱/۳۳	۷/۷۶	۴۷	-۱۶/۷	۱۴/۷۴	۲۱/۴۱	۷/۸۲	۴۷/۷۲	-۱۷/۵۳					
۱۹۶۱-۲۰۵۰	۱۴/۸۵	۲۱/۵۱	۷/۹۱	۴۷/۱۶	-۱۷/۱۱	۱۴/۹۵	۲۱/۶۴	۷/۹۹	۴۷/۸۵	-۱۷/۹					
۱۹۶۱-۲۰۶۰	۱۴/۱۰	۲۱/۷۹	۸/۱۱	۴۸/۴	-۱۶/۹۶	۱۵/۱۳	۲۱/۸۳	۸/۱۳	۴۸/۴۸	-۱۸/۰۷					
۱۹۶۱-۲۰۹۹	۱۶/۳۱	۲۲/۰۷	۹/۰۷	۵۲/۱	-۱۶/۸	۱۵/۹۱	۲۱/۶۳	۸/۷۵	۵۰/۶۴	-۱۷/۸۵					

جدول ۱۰ مقایسه تغییرات میانگین دوره‌ای مشخصات دمایی اراک را از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۰ تحت دو سناریوی A2 و B2 نشان می‌دهد و با مشخصات دمای ایستگاه اراک مقایسه می‌کند. طبق این جدول و بر مبنای سناریوی A2 و B2 به ازای هر ده سال به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۱۹ درجه سلسیوس به میانگین روزانه دما، ۰/۲۵ و ۰/۲ درجه سلسیوس به بیشینه دما و ۰/۱۹ و ۰/۱۶ درجه سلسیوس به کمینه دما اضافه می‌شود. طبق این جدول میانگین روزانه، بیشینه و کمینه دمای سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۰، در طی بیست سال تحت سناریوی A2 به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۲۷ و ۰/۴۸ درجه سلسیوس و تحت سناریوی B2 به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۴ و ۰/۵۱ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

شکل‌های ۲ ب و ۲ پ آماره‌های ماهانه دمایی ایستگاهی اراک را با آماره‌های شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای A2 و B2 در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ مقایسه می‌کند. این سناریوها، میانگین، کمینه و بیشینه دما را تا سال ۲۰۱۰ به خوبی برآورد می‌کند. بیشینه مطلق دما نسبتاً خوب برآورد شده ولی کمینه مطلق دما، به‌ویژه در ماه‌های سرد سال، به خوبی برآورد نشده است.

شکل ۲ت سری زمانی داده‌های ایستگاهی و سری زمانی داده‌های جوی NCEP را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار از سال ۱۹۹۱ سیر افزایشی میانگین، بیشینه و کمینه دما آشکار است و داده‌های شبیه‌سازی جوی NCEP نیز با داده‌های ایستگاهی تقریباً منطبق است. شکل ۲ج سری زمانی آماره‌های دمایی اراک را طبق سناریوهای A2 و B2 با سری زمانی ایستگاهی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ نمایش می‌دهد و مقایسه می‌کند. هماهنگی نسبی کمینه، میانگین و بیشینه دمای سالیانه سناریوهای A2 و B2 با داده‌های ایستگاهی در این نمودار نشان داده شده است. شکل ۲چ سری زمانی دمای اراک را از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۹۹ نمایش می‌دهد. این نمودار برآورد و پیش‌بینی کمینه، میانگین و بیشینه دمای ایستگاه اراک را طبق دو سناریوی A2 و B2 نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر دو سناریو روند افزایشی دما را تا سال ۲۰۴۰ تقریباً نزدیک به هم پیش‌بینی می‌کند. از سال ۲۰۴۰ تا ۲۰۹۹ سناریوی A2 سیر افزایشی دما را بیش از سناریوی B2 پیش‌بینی کرده است. طبق این نمودار، در سال ۲۰۹۹ کمینه دمای اراک تحت دو سناریوی A2 و B2 به ترتیب به ۱۳ و ۱۱ درجه سلسیوس و بیشینه دمای اراک تحت دو سناریوی A2 و B2 به ترتیب به ۲۸ و ۲۶ درجه سلسیوس خواهد رسید.



شکل ۲. مشخصات دمایی ایستگاه اراک و داده‌های شبیه‌سازی شده بر اساس سناریوهای A2 و B2

### نتیجه‌گیری

همان‌گونه که علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) و منتظری (۱۳۹۳) در پژوهش‌های خود نشان داده‌اند، وضعیت دمایی اکثر شهرها و استان‌های کشور روندی افزایشی دارد و برخی شهرها یا مناطق کشور از جمله اراک هیچ نوع تغییرپذیری ندارد. با این حال در این مقاله مشخص شد که رفتار دمایی اراک، غیرخطی است و از طریق رگرسیون خطی یا با روش



ناپارامتری مان - کندال برآوردپذیر نیست. آماره‌های دمایی اراک رفتاری از درجه دوم یا درجه سوم دارد و در دوره مطالعه (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) ابتدا سیری کاهشی، سپس سیری افزایشی داشته است، به گونه‌ای که میانگین، میانگین بیشینه و میانگین کمینه دمای اراک طی بیست سال اخیر (۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰) نسبت به کل دوره (۱۹۶۱-۲۰۱۰) به ترتیب ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۱۸ درجه سلسیوس افزایش داشته و طی ده سال اخیر (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) نسبت به کل دوره (۱۹۶۱-۲۰۱۰) به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۶۳ و ۰/۵۸ درجه سلسیوس افزایش داشته است. لذا می‌توان قضاوت کرد، همان‌گونه که در گزارش IPCC (۲۰۱۴: ۵۵۲) برای شهرهای ایران آمده، همه متغیرهای دمایی شهر اراک طی دو دهه اخیر روندی افزایشی داشته است.

در کل دوره آماری مورد بررسی (۱۹۶۱-۲۰۱۰) کمینه دمای فصل تابستان روندی افزایشی را نشان می‌دهد؛ به عبارتی، شب‌های تابستان در حال گرم‌شدن است. بدین ترتیب، افزایش مقدار مصرف انرژی در تابستان و نیاز آبی افزون‌تر فضای سبز در سطح و اطراف شهر مورد انتظار است. بیشینه مطلق فصل زمستان و فصل بهار در دو دهه اخیر به شدت افزایش یافته است. بدین ترتیب، افزایش سرعت ذوب ذخایر برف در فصل زمستان و اوایل بهار محتمل‌تر است. این امر کاهش منابع آب در فصل تابستان را به دنبال خواهد داشت. افزایش بیشینه مطلق دما در فصل بهار نشانه کوتاه‌شدن این فصل و طولانی‌شدن فصل گرماست. در نتیجه، افزایش مصرف آب و انرژی از پیامدهای اجتناب‌ناپذیر این وضعیت خواهد بود.

برای برآورد و پیش‌بینی آماره‌های دمایی اراک از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM استفاده شد. قدرت برآورد و پیش‌بینی این مدل از طریق داده‌های ایستگاهی، داده‌های شبکه NCEP و نیز مدل HadCM3 برای آماره‌های ایستگاه اراک ۷۰ تا ۸۰ درصد است. آماره‌های فصلی و سالانه دارای رفتاری منظم و معنادار، به خوبی با این مدل پیش‌بینی می‌شود و آماره‌های فصلی و سالانه فاقد رفتاری منظم (نظیر کمینه مطلق) چندان پیش‌بینی‌پذیر نیست. اگرچه با استفاده از خروجی مدل‌های HadCM3 آماره‌های دمایی اراک تا سال ۲۰۹۹ پیش‌بینی شد، به دلیل وقایع طبیعی و انسانی غیرقابل پیش‌بینی که ممکن است تا سال ۲۰۹۹ رخ دهد، این پیش‌بینی‌ها قابل اطمینان نیست و فقط می‌توان پیش‌بینی‌ها را تا دو الی سه دهه آینده با احتیاط پذیرفت. از این‌رو، و طبق سناریوی A2 در سال ۲۰۳۰ میانگین، کمینه و بیشینه دما برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۳۰ به ترتیب به ۱۴/۴۷، ۷/۵۹ و ۲۱/۱ درجه سلسیوس می‌رسد. طبق سناریوی B2 این ارقام به ترتیب به ۱۴/۵، ۷/۶۲ و ۲۱/۳ درجه سلسیوس خواهد رسید. این بدان معناست که میانگین، کمینه و بیشینه دما طی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ طبق سناریوی A2 به ترتیب ۱/۳، ۱/۲ و ۱/۲ درجه سلسیوس و طبق سناریوی B2 به ترتیب ۱/۴، ۱/۲ و ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

با توجه به نتیجه این تحقیق و تحقیقات متعددی که در داخل و خارج از کشور در خصوص افزایش دمای شهرها انجام گرفته و گزارش‌های IPCC، می‌توان قضاوت کرد که دمای اراک حداقل در دو دهه آینده روندی افزایشی خواهد داشت و این افزایش دما احتمالاً بر متغیرهای دیگر اقلیمی نظیر تبخیر، میزان بارش و رطوبت نسبی، همچنین بر فرایندهای انسانی نظیر آلودگی هوا، مصرف انرژی، سلامت شهروندان و فضای سبز تأثیر خواهد گذاشت. مسئولان و برنامه‌ریزان شهری باید اقدامات لازم را جهت انطباق و سازگاری در مجموعه سیستم شهر اعمال کنند.

شرحی که گذشت در خصوص دمای ایستگاه شهر اراک بود که گوشه‌ای از ویژگی دمایی این شهر را بازگو می‌کند، حال آنکه دمای محسوس سطوح مختلف شهر داستان دیگری دارد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان شرح مفصل‌تری از مشخصات دمایی این شهر را بیان کرد.

## منابع

- آبکار، ع؛ حبیب‌نژاد، م؛ سلیمانی، ک. و نقوی، ه. (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی مناطق خشک و نیمه‌خشک، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۴): ۱-۱۴.
- امیدوار، ک. و خسروی، ی. (۱۳۸۹). بررسی برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۱(۲): ۳۸-۳۳-۴۶.
- رضایی، م؛ نهتانی، م. و مقدم‌نیا، ع. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۱۰: ۱۱۷-۱۳۱.
- سبزی‌پرور، ع؛ سیف، ز. و قیامی، ف. (۱۳۹۲). تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، جغرافیا و توسعه، ۳۰: ۱۱۷-۱۳۸.
- عباسی، ف؛ ملبوسی، ش؛ حبیبی نوخندن، م. و اثمیری، م. (۱۳۸۹). ارزیابی تغییر اقلیم زاگرس در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از مدل ریزمقیاس دمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۱(۲-۱): ۴-۲۰.
- عزیزی، ق. و روشنی، م. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴: ۱۳-۲۸.
- عساکره، ح. (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان، زنجان.
- علیچانی، ب؛ محمودی، پ؛ سلیقه، م. و ریگی‌چاهی، ا. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶(۳) پیاپی ۱۰۲: ۱۰۱-۱۲۲.
- فلاح قاهری، غ. (۱۳۹۳). ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی، انتشارات سخن گستر، مشهد.
- قرمز چشمه، ب؛ رسولی، ع؛ رضای بنفشه، م؛ مساح‌بوانی، ع. و خورشیددوست، ع. (۱۳۹۳). بررسی اثر عوامل مورفواقلیمی بر دقت مدل ریزمقیاس گردانی (SDSM)، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۲): ۱۵۵-۱۶۴.
- مدرسی، ف؛ عراقی‌نژاد، ش؛ ابراهیمی، ک. و خلقی، م. (۱۳۸۹). بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری در حوضه آبریز گرگانرود- قره‌سو، نشریه آب و خاک، ۳۴(۳): ۴۷۶-۴۸۹.
- مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیمه‌سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، ص ۸۹-۱۰۶.
- معصومی، ش. (۱۳۹۱). سالنامه آماری استان مرکزی ۱۳۹۰، استانداری استان مرکزی، اراک، ص. ۲۶۹-۲۷۶.
- منتظری، م. (۱۳۹۳). واکاوی زمانی مکانی دماهای سالانه ایران طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۸، جغرافیا و توسعه، ۳۶: ۲۰۹-۲۲۸.
- میرموسوی، س.ح. و صبوری، ل. (۱۳۹۳). مطالعه روند بارش برف در شمال غرب ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۵(۳): ۱۱۹-۱۳۶.
- نتر، ج. و واسرمن، و. (۱۳۷۴). آمار کاربردی، ترجمه ع. عمیدی، جلد دوم، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- نجاتی، ر. و اشرفی، ح. (۱۳۹۳). آمار کاربردی به زبان ساده (ویراست SPSS ۲۲)، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران.
- یارنال، ب. (۱۳۹۰). اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه س. مسعودیان، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- Abassi, F.; Malbusi, S.; Habibi Nokhandan, M. and Asmari, M. (2010). Climate Change Assessment over Zagros during 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, *Climatological Research Institute*, 1: 4-20.

- Abkar, A.; Habibnadjad, M.; Solaimani, K. and Naghavi, H.(2013). Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions, *Irrigation & Water Engineering*, 14: 1-14.
- Alijani, B.; Mahmoudi, P.; Salighe, M. and Rigichahi, A. (2011). Study of annual maximum and minimum temperatures changes in iran, *Geography Research Quarterly*, 102: 101-122.
- Azizi, G. and Roushani, M. (2008). Investigation of Change of Some Climatic Elements in North Coast of Persian Gulf Using Kendal Test, *Geography Rese Quarterly*, 64: 13-28.
- Asakereh, H. (2011). *Fundamentals of Statistical Climatology*, Zanjan University.
- Fallah Ghalhari, G.A. (2014). *Statistical downscaling of climatic*, Sokhangostar, Mashhad.
- Fiseha, B.M.; Melesse, A.M; Romano, E., Volpi, E. and Fiori, A. (2012). Statistical Downscaling of of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy, *International Journal Water Sciences*; 1(3): 1-14
- Gagnon, S.; Singh, B.; Rousselle, J. and Roy, L. (2005). An Application of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Simulate Climatic Data for Streamfl ow Modelling in Québec, *Canadian Water Resources Journal*, 30(4): 297-314 .
- Ghermezcheshmeh, B.; Rasuli, A.A.; Rezaei-Banafsheh, M.; Massah, A.R. and Khorshiddust, M.A. (2014). Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Aaccuracy of SDSM, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(2): 155-164.
- IPCC (2014). Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by, Christopher B. Field, Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea, pp.544-563.
- IPCC (2007). Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Susan Solomon, Martin Manning, Melinda Marquis, Kristen Averyt, Melinda M.B. Tignor, Henry LeRoy Miller, Jr, Zhenlin Chen, pp. 536.
- Koukidis, E.N. and Berg, A.A. (2009). Sensitivity of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Reanalysis Products, *Atmosphere-Ocean*, 47(1): 1-18.
- LeeTitus, M.; Sheng, J.; Greatbatch, R. and Folkins, I. (2013). Improving Statistical Downscaling of General Circulation Models, *Atmosphere-Ocean*, pp. 1-13.
- Liu, Z.; Xu, Z.; Charles, S.P.; Fub, G. and Liu, L. (2012). Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China, *Internationaljournal of Climatology Int. J. Climatol*, 31: 2006-2020.
- Mahmood, R. and Babel, S.M. (2014). Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin, *Weather and Climate Extremes*, 5-6: 56-66.
- Masomi, S. (2012). *Statistical yearbook of central province*, central province governor, Arak.
- Masoudian, S.A. (2004). Temperature Trend In Iran The Last Half Century, *Geography and Development*, 2(3): 89-106.
- Mirmousavi, S.H. and Saboor, L. (2014). Study of snow precipitation changes trend in North West of Iran, *Quarterly Geography and Environmental Planning*, 28(3): 119-136.
- Modaresi, F.; Araghinejad, SH.; Ebrahimi, K. and Kholghi, K. (2010). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin, *Journal of Water and Soil*, 24(3): 476-489.
- Montazeri, M. (2014). Time-Spatial Investigation of Iran's Annual Temperatures During 1961-2008, *Geography and Development*, 36: 209-228.
- Nejati, R. and Ashrafi, H.R. (2014). *Statistics Made Simple (spss 22)*, Shahid Rajae Teacher Training University.
- Neter, J., Wasserman, W. and Whitmore, G.A. (1993). *Applied Statistics*, Translated by A. Amidi, Iran University Publishers.
- Omidvar, K. and Khosravi, Y. (2014). Investigation of Change of Some Climatic Elements in North Coast of Persian Gulf Using Kendal. Test, *Quarterly Geography and Environmental Planning*, 28(2): 33-46.
- Pervez, Md, S.; Geoffrey, M; Henebry, G.M. (2014). Projections of the Ganges-Brahmaputra precipitation Downscaled from GCM predictors, *Journal of Hydrology*, 517: 120-134.
- Rebetez, M. and Reinhard, M. (2008). Monthly air temperature trend in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004, *Theor. Appl. Climatol*, 91: 27-34.

- Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M. and Rigi, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study:Kerman and Bam), *Journal of Watershed Management Research*, 5(10): 117-131.
- Riahi, K.; Rao, S.; Krey, V.; Cho, C.; Chirkov, V.; Fischer, G.; Kindermann, G.; Nakicenovic, N. and Rafaj, P. (2011). RCP 8.5A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109: 33–57.
- Sabziparvar, A.; Seif, Z. and Ghiami, F. (2012). Analysis of Temperature changes Trend in Arid and Semi-arid Regions, *Geography and Development*, 30: 117-138.
- Schlunzen, K.H.; Hoffmann, P.; Rosenhagen, G. and Riecke, W. (2010). Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg, *International Journal of Climatology*, 30: 1121–1136.
- Souvignet, M.; Gaese1, H.; Ribbe, L.; Kretschmer, N. and Oyarzún, R. (2010). Statistical downscaleing of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed, *Hydrological Sciences Journal– Journal des Sciences Hydrologiques*, 55: 41-57.
- Toreti, A. and Desiato, F. (2008). Temperature trend over Italy from 1961- 2004, *Theor. Appl. Climatol*, 91 :51-58.
- Tryhorn, L. and DeGaetano, A. (2011). A comparison of techniques for downscaling extreme precipitation over the Northeastern United States, *International Journal of Climatology; Int. J. Climatol*, 31: 1975–1989.
- Yarnal, B. (1993). Synoptic Climatology in Environmental Analysis, Translate by Masoudian, S.A., Esfahan University.