

A Capability Assessment of the SDSM Model to Simulate Mean Temperature of Urmia City

Hossein Asakerh ¹, Hassan Shadman ^{2*}

¹ Professor of Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

² PhD Candidate of Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

Climate modeling is one of the fundamental methods of simplifying the complexity of the climate that can increase our understanding of the system's behavior. Climate simulating through using the outputs of general circulation models in order to be aware of the characteristics of the climate, will be required in the coming years. The achievements of general circulation models cannot be used directly in regional and smaller-scale climate simulations. A common way to solve this problem is by statistically downscaling the output of general circulation models. SDSM is one of the most practical models in the mentioned fields. In this study, attempts are made to assess the ability of the SDSM in downscaling and simulating the temperature data of Urmia since the beginning of 1961 until the end of 2010 using National Emergency Communications Plan's re-analyzed data and the outputs of HadCM3 under A2 and B2 scenarios. To assess the adequacy of the models obtained and the SDSM's ability to simulate, some statistical tests such as the Chow test, the standard error, Wilmot index compatibility and also monthly and annual diagrammed data have been used. The results of this study show that the greater the time period is, the more preferable and closer to reality the simulated mean temperature will be. However the SDSM model's function is inadequate in simulating the maximums and minimums. Therefore the achievements of this model are suitable only to obtain a general understanding of the characteristics of future climate and they cannot be used in precise projects.

Key words: Statistical Downscaling, Simulation, SDSM, Urmia.

ارزیابی توان مدل SDSM در همانندسازی میانگین دمای شهر ارومیه

حسین عساکره، استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

حسن شادمان*، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۰۸/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰، صص ۸۹-۱۰۸

چکیده

الگوسازی اقلیمی، یکی از روش‌های بنیادین و کارا در ساده‌سازی پیچیدگی‌های دستگاه اقلیم است که درک ما را از چگونگی رفتار این سامانه افزایش می‌دهد؛ همچنین همانندسازی‌های اقلیمی با به‌کارگیری برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو برای آگاهی از ویژگی‌های اقلیم در سال‌های آینده لازم است. با این همه امکان به‌کارگیری دستاوردهای مدل‌های گردش عمومی جو به شکل مستقیم برای همانندسازی اقلیم در مقیاس‌های ناحیه‌ای و کوچک‌تر وجود ندارد. یکی از راهکارهای متداول برای حل این مشکل، ریزمقیاس‌گردانی آماری برون‌دادهای مدل‌های گردش عمومی است. مدل SDSM، یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در زمینه یادشده است. روش بنیادین این مدل برای ریزمقیاس‌گردانی داده‌ها، رگرسیون چند متغیری است. در این پژوهش تلاش شده است با به‌کارگیری داده‌های میانگین دمای ارومیه از ابتدای سال ۱۹۶۱ میلادی تا پایان سال ۲۰۱۰، داده‌های دوباره واکاوی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) و برون‌داد مدل^۱ HadCM3 با سناریوهای A2 و B2، توان SDSM در ریزمقیاس‌گردانی و همانندسازی داده‌های دمایی ارزیابی شود. برای سنجش شایستگی مدل‌های به‌دست‌آمده و توان SDSM در همانندسازی از بعضی آزمون‌های آماری همچون آماره چو، خطای استاندارد، شاخص سازگاری ویلموت و همچنین رسم نمودارهای ماهیانه و سالیانه داده‌ها استفاده شده است. دستاوردهای این پژوهش نشان داد هرچه بازه زمانی برای میانگین‌گیری بیشتر باشد، میانگین‌های دمایی همانندسازی‌شده پسندیده‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود؛ با وجود این مدل SDSM در همانندسازی بیشینه‌ها و کمینه‌ها کارکرد چندانی پسندیده‌ای نداشته است؛ از این رو دستاوردهای این مدل فقط برای رسیدن به شناختی کلی از ویژگی‌های اقلیم آینده مناسب است و امکان به‌کارگیری در پروژه‌های دقیق را ندارد.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس‌گردانی آماری، همانندسازی، SDSM، ارومیه.

^۱ Hadley Centre Coupled Model, version 3

مقدمه

دیگر علوم همواره به دنبال الگوسازی سامانه اقلیم و رفتار آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت بوده‌اند. با این همه سرآغاز الگوسازی اقلیمی را نخستین سال‌های دهه ۱۹۶۰ میلادی می‌دانند؛ یعنی زمانی که مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های تابشی - همرفتی پدید آمدند (مک‌گوفی و سلرز، ۱۳۸۰: ۱۵). الگوسازی اقلیم، روشی آمیزه‌ای است که دنیای واقعی را به اندازه و ویژگی‌های دلخواه درمی‌آورد. بدین شکل درک پیچیدگی‌های سامانه اقلیم امکان‌پذیر می‌شود (عساکره، ۱۳۸۶: ۱۰۲).

با پیش کشیده شدن موضوع تغییر اقلیم متأثر از کارکردهای انسانی و گسترش گازهای گلخانه‌ای، الگوسازی‌های اقلیمی ارزش و شتاب بیشتری یافته است؛ از این رو در چند دهه گذشته مدل‌های گوناگونی ارائه شده است که هر یک بخشی از دستگاه اقلیم و فرایندهای آن را آشکار می‌سازند. در این بین مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)^۳ مشهورتر و شناخته شده‌تر از دیگر مدل‌ها هستند. هدف نهایی مدل‌های یادشده، همانندسازی اقلیم آینده زمین، یعنی پیش‌بینی اقلیم آینده در شرایط تعریف شده (سناریوهای انتشار) است. با این همه مدل‌های گردش عمومی جو نیز همچون هر مدل دیگری محدودیت‌های خود را دارند. یکی از این محدودیت‌ها، تفکیک مکانی مدل‌هاست؛ به شکلی که برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو هم‌اکنون تفکیک مکانی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر دارد (-http://www.ipcc.org/data.org); از این رو امکان به‌کارگیری دستاورد آنها به‌طور مستقیم برای همانندسازی و پیش‌بینی اقلیم در

برپایه تعریف برنامه جهانی پژوهش جو^۱ (GARP) وابسته به سازمان جهانی هواشناسی^۲ (WMO)، اقلیم مجموعه‌ای از هواسپهر، یخ‌سپهر، زیست‌سپهر و پهنه‌های خشکی‌هاست (مک‌گوفی و سلرز، ۱۳۸۰: ۵). این تعریف در سال ۱۹۷۵ میلادی پیشنهاد شده، اما به‌خوبی گویای چگونگی و پیچیدگی سامانه اقلیم است. بن‌مایه‌های دستگاه اقلیم از دیدگاه ترکیب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ساختار و رفتار، ناهمگون‌اند؛ ولی به دلیل شارش جرم، انرژی و تکانه به هم پیوند می‌خورند و در زیرسامانه‌ها جریان می‌یابند. آنچه سامانه اقلیم را بسیار پیچیده می‌سازد، برهم‌کنش‌های فیزیکی، شیمیایی و حیاتی بین بخش‌های آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی ناهمسان است (عساکره، ۱۳۸۶: ۴)؛ بنابراین دریافت‌های ما از اقلیم، برپایه آن دسته از ویژگی‌های دستگاه اقلیم استوار است که به آسان‌ترین یا سودمندترین شکل این پدیده را تعریف می‌کنند (مک‌گوفی و سلرز، ۱۳۸۰: ۲).

یکی از رویکردهای کارآمدی که همواره انسان برای ساده‌سازی پیچیدگی‌های پیرامونش به کار گرفته، الگوسازی (مدل‌سازی) بوده است. یک مدل، نمایش پاره‌ای از ویژگی‌های دنیای پیرامون به شکل ساده و کلی است. روشن است که در اینجا ساده‌بودن، مفهومی نسبی در برابر پیچیدگی‌های محیط است و نمایش نیز بیان یک پدیده به گونه‌ای است که دست‌کم با یکی از حواس پنج‌گانه درک شود. با توجه به آنچه گفته شد، اقلیم‌شناسان نیز همچون اندیشمندان

^۱ Global Atmospheric Research Program

^۲ World Meteorological Organization

^۳ General Circulation Model

۳- داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش عمومی جو که برای تولید سناریوهای اقلیمی به کار گرفته می‌شوند. این داده‌ها می‌توانند برون‌داد یکی از مدل‌های HadCM2، HadCM3، CGCM2 یا CSIRO باشند. داده‌های NCEP و برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو به شکل داده‌های شبکه‌ای دردسترس است و از <http://www.cics.uvic.ca> امکان دریافت دارد.

پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های گوناگونی با استفاده از مدل SDSM در گستره جهانی انجام شده است. مدل یادشده را نخستین بار ویلی و همکاران^۱ (۲۰۰۲) با هدف ریزمقیاس‌گردانی برای همانندسازی داده‌های بارش و دما ارائه کردند.

صمدی و همکاران^۲ (۲۰۱۱) در پژوهشی توانایی SDSM را در همانندسازی شرایط آب و هوایی در استان خراسان بررسی کردند.

اهرت و همکاران^۳ (۲۰۱۲) ضریب بایاس را در مدل SDSM بررسی کردند.

پرویز و ژوفری^۴ (۲۰۱۴) داده‌های بارش را در حوضه گنگ - برهماپوترا همانندسازی کردند.

محمود و بابل^۵ (۲۰۱۴) تغییرات در دماهای فرین را با استفاده از مدل SDSM در حوضه رودخانه چلوم بررسی کردند.

کازمی و همکاران^۶ (۲۰۱۴) در پژوهشی

مقیاس ناحیه‌ای و کوچک‌تر وجود ندارد. این محدودیت از آنجا ناشی می‌شود که اگر تفکیک مکانی مدل بیش از اندازه کوچک باشد، ممکن است فرایندهایی که در ابعاد کوچک‌تر از اندازه تفکیک مدل عمل می‌کنند، ناخواسته در مدل وارد شوند (مک‌گوفی و سلرز، ۱۳۸۰: ۴۵). برای حل این مشکل راهکاری به نام «ریزمقیاس‌گردانی» پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های پرکاربرد در این زمینه ریزمقیاس‌گردانی آماری است. این روش برپایه یک تابع انتقال و پیوند بین پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس و پیش‌بینی‌شونده‌های محلی استوار است. تاکنون روش‌های گوناگونی برای آشکارسازی روابط بین برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو با اقلیم محلی و همانندسازی آن به کار گرفته شده است؛ برای نمونه رگرسیون‌های خطی و غیرخطی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، همبستگی کانونی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (فلاح قاهره، ۱۳۹۳: ۸). کاربرد گسترده روش‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری سبب طراحی و ارائه بعضی بسته‌های نرم‌افزاری نیز شده است.

یکی از مدل‌های آماری پرکاربرد در سطح جهانی که به شکل بسته نرم‌افزاری رایگان در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، مدل SDSM است. این نام، کوتاه‌شده عبارت ریزمقیاس‌گردانی آماری است. در این مدل عمل ریزمقیاس‌گردانی به‌طور معمول با استفاده از رگرسیون چندمتغیره انجام می‌شود. داده‌های استفاده‌شده در این مدل عبارت‌اند از: ۱- مشاهدات ایستگاهی که ویژگی‌های محلی را نشان می‌دهند؛ ۲- داده‌های دوباره واکاوی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) که برای پیکربندی تابع انتقال و برآورد ضریب‌های مدل به کار می‌روند و

1 Wilby et al

2 Samadi et al

3 Ehret et al

4 Pervez & Geoffrey

5 Mahmood & Babel

6 Kazmi et al

گسترش یافته است. تفکیک مکانی این مدل 2.5×3.75 درجه جغرافیایی است که در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه برابر با 278×295 کیلومتر است. دستاوردهای این مدل در گزارش چهارم مجمع بین‌الدولی تغییرات اقلیمی^۳ (IPCC) به کار گرفته شده است (<http://www.ipcc-data.org>). انگاره (تصور) سناریوی A2 از دنیای آینده، جهانی است که در آن همگرایی به آهستگی رخ می‌دهد. الگوهای پیشرفت، ناحیه‌ای است. دیرکرد در گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر روی می‌دهد و مانعی برای کاربرد انرژی هسته‌ای در آن وجود ندارد. در سناریوی B2 نیز به مانند سناریوی A2، جمعیت جهانی رو به افزایش است؛ اما در سناریوی B2 شتاب آن کمتر است. در این سناریو نیز دنیای آینده همگرایی کمی دارد، اما نسبت به جهان A2 محیط زیست برای انسان ارزشمندتر است؛ با این همه راهکارها بیشتر محلی است. روی هم‌رفته سناریوی B2 نگاهی خوش‌بینانه‌تر نسبت به سناریوی A2 به جهان آینده دارد (<http://www.ipcc-data.org>).

با توجه به اینکه سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰، یکی از دوره‌های بهنجار اقلیمی و همچنین به پیشنهاد طراحان مدل دوره پایه در SDSM است، سری زمانی میانگین دمای شهر ارومیه در همین بازه زمانی برای معرفی به مدل ساماندهی و داده‌های مشاهداتی دمای این شهر از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ برای ارزش‌یابی پایانی در نظر گرفته شد. پس از معرفی سری زمانی دمای شهر ارومیه به مدل SDSM در نخستین گام، آزمون‌های کنترل کیفیت آماری روی داده‌ها انجام شد. با نگرش

دستاوردهای SDSM را با ECHAM5 در پاکستان برای ریزمقیاس‌گردانی دما مقایسه کردند.

صمدی نقاب و همکاران (۱۳۹۰) با به‌کارگیری مدل SDSM، دما و بارش را در گستره ایران همانندسازی کردند.

آبکار و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی نشان دادند مدل SDSM توانایی مناسبی در همانندسازی شاخص‌های دمایی در نواحی خشک و نیمه‌خشک دارد.

رضایی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند مدل SDSM در پیش‌بینی ویژگی‌های دمایی نواحی خشک توانایی بیشتری نسبت به نواحی فراخشک دارد.

روش‌شناسی پژوهش

با نگرش به کاربرد گسترده مدل SDSM در گستره جهانی، در این نوشتار کوشش شده است افزون بر همانندسازی دمای ارومیه، توانایی مدل یادشده در ریزمقیاس‌گردانی و همانندسازی داده‌های دمایی ارزیابی شود. برای دستیابی به هدف این پژوهش از داده‌های میانگین دمای روزانه ایستگاه همدید ارومیه که در ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳ دقیقه طول خاوری جای دارد، از ابتدای سال ۱۹۶۱ میلادی تا پایان سال ۲۰۱۰ و از داده‌های دوباره واکاوی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) و برون‌داد مدل HadCM3 با سناریوهای A2 و B2 استفاده شده است.

HadCM3 یکی از مدل‌های جو-اقیانوسی گردش عمومی هواسپهر^۱ (OGCM) در مرکز هدلی^۲

^۱ Atmosphere-ocean general circulation model

^۲ Hadley

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change

هرگونه تبدیلی پذیرفته شد. در گام بعد اندازه ضریب‌های بهینه برای هریک از متغیرهای پیشگو برآورد شد. در این مرحله برای هریک از ماه‌های سال یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیری بر داده‌ها برازش داده شد. رگرسیون، روشی آسان برای الگوسازی پیوندهای تابعی میان متغیرهاست؛ از این رو رگرسیون دستاورد شناخت پیوندهای میان متغیرها برای بیان (توصیف)، برآورد و پیش‌بینی داده‌هاست (عساکره، ۱۳۸۶: ۲۱۷).

بازه زمانی برای ساخت مدل از ابتدای سال ۱۹۶۱ تا انتهای ۱۹۷۵ میلادی است. یکی از نکات مهم هنگام به‌کارگیری رگرسیون‌های چندمتغیری، رخداد تورم پراش است. چنانچه هم‌راستای نیرومندی میان متغیرهای پیشگو وجود داشته باشد، پراش ضریب‌های مدل بزرگ می‌شود؛ بنابراین با بزرگ‌تر شدن اندازه ضریب تبیین گمان می‌رود مدل رگرسیونی بخش بزرگی از تغییرات متغیر پاسخ را نشان دهد؛ این در حالی است که افزایش ضریب تبیین پیامد هم‌راستایی متغیرهای پیشگو بوده است؛ از این رو بزرگی ضریب تبیین نادرست و دروغین است. تورم پراش با رابطه زیر محاسبه می‌شود (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۷: ۲۲۷):

$$VIF_j = (1 - R_j^2)^{-1} \quad (1)$$

در این رابطه R_j^2 ضریب تبیین چندگانه از رگرسیون X_j روی دیگر متغیرهای پیشگوست (عساکره، ۱۳۸۳: ۴). اگر اندازه تورم پراش از ۵ یا ۱۰ بزرگ‌تر باشد، ناتوانی ضریب‌های رگرسیون در اثر هم‌راستایی چندگانه مشهود است (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۷: ۲۲۷)؛ بنابراین می‌بایست هم‌راستایی متغیرهای پیشگو را زدود. بسته نرم‌افزاری SDSM توان انجام

به اینکه SDSM از داده‌های روزانه استفاده می‌کند، در مرحله کنترل کیفیت فقط بزرگ‌ترین، کوچک‌ترین، میانگین و شمار داده‌های گمشده بررسی می‌شود. در گام بعد می‌باید یکی از یاخته‌های داده‌های شبکه‌ای بزرگ‌مقیاس گزینش شود که به ایستگاه بررسی شده نزدیک‌تر است. واژه نزدیک به دو مفهوم نزدیکی فیزیکی یا نزدیکی به معنای همسانی و هم‌تغیری تعبیر می‌شود. با نگرش به اینکه در اینجا هدف، آشکارسازی پیوندها (روابط) بین مشاهدات ایستگاهی و متغیرهای جوئی است، وجود هم‌تغیری بین داده‌ها اهمیت زیادی دارد؛ بنابراین برای گزینش یکی از یاخته‌ها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شده است.^۱ در این روش هر یاخته‌ای که متغیرهای جوئی آن بیشترین همبستگی ممکن را با داده‌های ایستگاهی داشته باشد، نزدیک‌ترین جعبه برای به‌کارگیری داده‌های بزرگ‌مقیاس خواهد بود؛ از این رو اندازه همبستگی داده‌های ایستگاه ارومیه با داده‌های یاخته‌ای پیرامون آن سنجش و در پایان جعبه 14X_20Y به‌مثابه نزدیک‌ترین یاخته گزینش شد. این جعبه در ۵۲/۵ درجه طول جغرافیایی خاوری و ۳۷/۵ درجه عرض شمالی جای دارد. در گام بعد برای گزینش متغیرهای پیشگو، اندازه همبستگی، میان‌داده‌های ایستگاهی و داده‌های بزرگ‌مقیاس جوئی بررسی و متغیرهایی برگزیده شدند که بیشترین همبستگی جزئی را با داده‌های دمای ایستگاه ارومیه داشتند. همچنین برای افزایش اندازه ضریب همبستگی بین داده‌ها بعضی تبدیل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری SDSM آزموده و در پایان به‌کارگیری داده‌ها بدون انجام

^۱ برای آگاهی از این آزمون بنگرید به: عساکره، ۱۳۹۰: ۱۸۷.

خطای استاندارد ضریب رگرسیون، بیان‌کننده میانگین انحرافات استاندارد داده‌ها پیرامون سطح رگرسیون است. هرچه اندازه خطای استاندارد کمتر باشد، مدل از شایستگی بیشتری برخوردار است.^۳

در گام بعد توان پیش‌بینی مدل، همچنین شمار دفعات بهینه برای همانندسازی آزموده شد؛ به این ترتیب دوره ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ میلادی همانندسازی و سپس نتایج با داده‌های مشاهداتی ایستگاه مدنظر مقایسه شد.

برای گزینش شمار بهینه همانندسازی، ریشه دوم میانگین مربع‌های خطا (RMSE)^۴ و شاخص سازگاری (توافق) ویلموت^۵ به کار رفت. شاخص سازگاری ویلموت اندازه‌درستی پیش‌بینی‌های مدل را نشان می‌دهد که بین صفر و یک است. چنانچه این شاخص برابر با یک باشد، سازگاری کامل مشاهدات و پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و اگر برابر با صفر باشد، هیچ‌گونه سازگاری میان مشاهدات و پیش‌بینی‌ها وجود ندارد. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن d ، شاخص سازگاری ویلموت و PE ، پراش خطای بالقوه است (یارنال، ۱۳۸۵: ۱۷۲).

$$d = 1 - \frac{N(RMSE)}{PE} \quad PE = \sum (|\hat{y}_i| + |y_i|)^2 \quad (3)$$

در گام بعد برای آزمون توان همانندسازی مدل با دوره پایه ۱۹۷۵-۱۹۶۱، نیمه دوم دوره بهنجار اقلیمی یعنی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ همانندسازی و دستاورد آن با ترسیم نمودارهای ماهیانه و سالیانه از میانگین، بیشینه، کمینه و پراش داده‌های همانندسازی شده در

چنین ویرایشی را دارد؛ اما می‌بایست اندازه VIF را به نرم‌افزار معرفی کرد؛ از این رو پیش از پیکربندی مدل‌های رگرسیونی در این پژوهش، اندازه تورم پراش برای متغیرهای پیشگو به دست آمد و میانگین آن به مدل معرفی شد.

برای سنجش شایستگی مدل‌های به دست آمده از آماره چو^۱ (رابطه ۲)، اندازه ضریب تبیین و از ضریب رگرسیون استفاده شد. آزمون چو، روشی برای سنجش پایایی ضریب‌های مدل است. برپایه این آزمون مدلی پذیرفته می‌شود که ضریب‌های متغیرهای پیشگوی آن در راستای زمان نوسان چندانی نداشته باشد؛ بنابراین برای انجام این آزمون بازه زمانی به دو دوره تقسیم می‌شود؛ سپس ضریب‌های مدل برای هریک از این دوره‌ها برآورد و مقایسه می‌شود (هاوارد^۲، ۱۹۸۹: ۱۴۶).

$$F = \frac{\left[\frac{RSS - (RSS_1 + RSS_2)}{K + 1} \right]}{\frac{(RSS_1 + RSS_2)}{[N_1 + N_2 - 2(K + 1)]}} \quad (2)$$

در این رابطه $RSS = \sum e_i^2$ ، $RSS_1 = \sum e_{i1}^2$ و $RSS_2 = \sum e_{i2}^2$ هستند و e_i باقی مانده‌های مدل، e_{i1} باقی مانده‌های نیمه اول و e_{i2} باقی مانده‌های نیمه دوم است. K نیز شمار متغیرهای مدل است. آماره‌ای که از این رابطه به دست می‌آید با $F_k, N_1 + N_2 - 2K$ از جدول مقایسه می‌شود. چنانچه F_k بزرگ‌تر از F باشد، شواهد کافی برای رد فرض صفر ($H_0 = B_{i1} = B_{i2}$) وجود ندارد (هاوارد، ۱۹۸۹: ۱۴۶).

^۳ برای آگاهی بیشتر بنگرید به: رضایی و سلطانی، ۱۳۸۷: ۱۴۳.

^۴ Root mean square error

^۵ Willmott

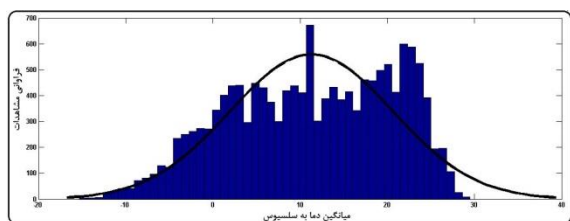
^۱ Chow

^۲ Haward

زیاد است. ویژگی‌های یادشده برای چولگی و کشیدگی مشاهدات به همراه شکل (۱) نشان می‌دهد فراوانی داده‌های بیشتر از میانگین بیشتر و اندکی افزایش پیرامون میانگین رخ داده است؛ بنابراین داده‌های میانگین دمای ارومیه به اندازه‌های پیرامون و بیشتر از میانگین گرایش دارند؛ اما رویدادهای فرین بیشتر در اندازه‌های دمایی کمتر از میانگین رخ داده است.

جدول ۱. فراسنج‌های آماری دمای ایستگاه همدید ارومیه به سلسیوس از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ میلادی

متغیر میانگین	ضریب	بیشینه کمینه دامنه چولگی کشیدگی	تغییرپذیری
میانگین	۱۱/۳	۸۲/۷	۲۹/۵
دمای ارومیه	-۰/۲۵	۴۴/۸	-۱۵/۳



شکل ۱. بافت‌نگار میانگین دمای شهر ارومیه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ میلادی

مدل رگرسیونی برازنده میانگین دمای ایستگاه ارومیه با سال، مدلی درجه ۲ به شکل زیر است. این رابطه در هر سطح اطمینان دلخواهی معنادار است و ۳۹ درصد از تغییرات میانگین دما را بیان می‌کند. با توجه به مدل یادشده و شکل (۲) دمای ارومیه نخست روندی کاهشی و پس از آن روندی افزایشی را در پیش گرفته است.

$$\text{Temperature} = 13.5 - 0.27 \text{ time} + 0.006 \text{ time}^2 \quad (4)$$

برابر مشاهدات آزموده شد؛ سپس برای همانندسازی دمای شهر ارومیه در دوره ده‌ساله ۲۰۱۰-۲۰۰۱، برون‌دادهای مدل HadCM3 با دو سناریوی A2 و B2 با مدل به دست آمده در SDSM ریزمقیاس شد. برای ارزیابی توان SDSM در همانندسازی دمای ارومیه گذشته از ترسیم میانگین، بیشینه، کمینه و پراش ماهیانه و سالیانه داده‌های همانندسازی شده و مشاهده شده در برابر هم، میانگین و پراش مشاهده‌ها و داده‌های همانندسازی شده برای دوره ده‌ساله محاسبه و مقایسه شد. برای مقایسه میانگین و پراش، آزمون تی^۱ و اف^۲ به کار رفت.^۳

در گام بعدی طول دوره پایه از ابتدای سال ۱۹۶۱ تا پایان سال ۲۰۰۰ میلادی در نظر گرفته و مراحل بالا بار دیگر بر مبنای دوره پایه جدید انجام شد تا بتوان دستاوردهای همانندسازی را با دوره پایه کوتاه‌تر و دوره پایه بلندتر مقایسه کرد. درپیش‌گرفتن چنین رویکردی بر پایه فرضی بنیادین استوار است که افزایش طول دوره آماری سبب می‌شود مدل‌های رگرسیونی دستاورد بهتری داشته باشند.

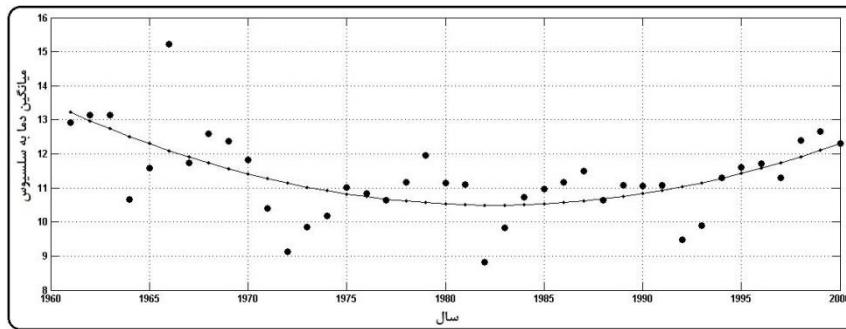
یافته‌های پژوهش

فراسنج‌های آماری میانگین دمای شهر ارومیه در جدول (۱) آمده است. اندازه‌های میانگین نشان می‌دهد شهر ارومیه نسبت به بسیاری از نواحی ایران خنک‌تر و حتی سردتر بوده است. چولگی مشاهدات منفی، اما بسیار اندک است. اندازه مثبت برای کشیدگی نشان می‌دهد فراوانی داده‌ها پیرامون میانگین به نسبت

^۱ T test

^۲ F test

^۳ برای آگاهی بیشتر بنگرید به: Kanji, 2006: 33. عساکره، ۱۳۹۰: ۳۴۳.



شکل ۲. مدل درجه ۲ برازش داده‌شده بر میانگین دمای شهر ارومیه (۱۹۶۱-۲۰۰۰)

پیشین پیوند دارد. بیشترین همبستگی جزئی بین میانگین دما و متغیرهای بزرگ‌مقیاس نیز به ترتیب با ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، اندازه دما در ارتفاع ۲ متری زمین و فشار تراز دریا به دست آمد (جدول ۲).

آنگونه که پیش‌تر گفته شد، انتخاب متغیر پیشگو، یکی از بنیادهای مهم در ریزمقیاس‌گردانی آماری است. دستاورد این مرحله نشان داد میانگین دمای ارومیه داده‌هایی خودهمبسته‌اند؛ به بیان دیگر اندازه‌های دمایی هر روز در شهر ارومیه با روز

جدول ۲. اندازه ضریب همبستگی جزئی و آماره P برای متغیرهای پیشگو و پاسخ (۱۹۶۱-۱۹۷۵)

متغیر پاسخ	متغیرهای پیشگو	ضریب همبستگی جزئی	آماره P
میانگین دمای شهر ارومیه	دما در ارتفاع ۲ متری زمین	۰/۱۹۵	۰
	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۲۱	۰
	فشار تراز دریا	-۰/۱۶۴	۰
	میانگین دمای شهر ارومیه با تأخیر یک	۰/۸۱۷	۰

۷۵ درصد از تغییرات مشاهدات را توجیه می‌کنند. بیشترین اندازه ضریب تبیین نیز از آن ماه فوریه است؛ به شکلی که مدل برازنده این ماه بیش از ۸۵ درصد از تغییرات میانگین دمای ارومیه را توجیه می‌کند. آماره چو برای تمامی ماه‌های سال معنادار است. با این همه اندازه این آماره در ماه ژانویه به نسبت کوچک است؛ از این رو ضرایب به دست آمده برای این ماه از نوسان نسبتاً زیادی برخوردارند.

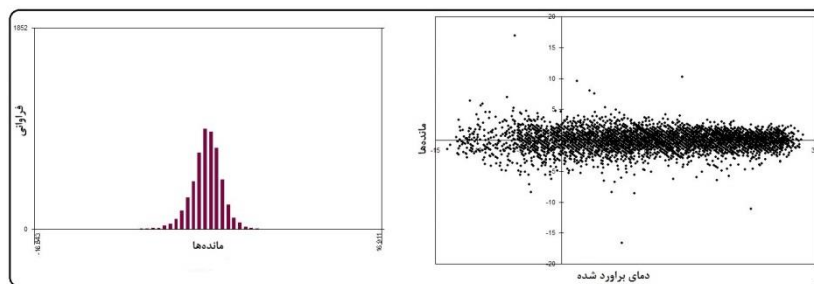
پس از گزینش متغیرهای پیشگو، فرایند الگوسازی برای دوره ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۵ میلادی انجام شد. به این ترتیب برای هر یک از متغیرهای پاسخ در هر ماه از سال، یک مدل رگرسیون خطی به دست آمد. جدول (۳) ضریب‌ها، خطای استاندارد و ضریب تبیین مدل‌های برازش داده‌شده را نشان می‌دهد. همچنین ستون آخر نشان‌دهنده اندازه آماره چو است. کمترین ضریب تبیین در ماه جولای به دست آمده است؛ به شکلی که متغیرهای پیشگو تقریباً

جدول ۳. ویژگی‌های مدل‌های رگرسیونی برای میانگین دمای ارومیه در ماه‌های سال (۱۹۶۱-۱۹۷۵)

ضریب‌های مدل								ماه
آمارهٔ چو	ضریب تبیین	خطای استاندارد	فشار تراز دریا	ارتفاع تراز ۵۰۰	دما در ارتفاع ۲ متری	میانگین دما با تأخیر یک	عرض از مبدأ	
۰/۶	۰/۸۴۴	۱/۹۹	-۰/۱۹۳	-۰/۱۴۱	۲/۷۳۲	۰/۷۴۲	۲/۵۹۵	ژانویه
۱/۶۸	۰/۸۵۹	۱/۸۵۷	-۰/۵۴۲	۰/۶۳۸	۱/۲۶۴	۰/۸۰۶	۲/۵۴۴	فوریه
۲/۸۷	۰/۸۰۴	۱/۶۱۳	-۰/۱۰۴	۰/۵۶۱	۲/۱۵۶	۰/۶۶۳	۴/۰۵۱	مارس
۱۰	۰/۸۲۷	۱/۴۱۴	-۰/۲۸۵	۱/۸۲۶	۱/۴۸۲	۰/۵۳۲	۶/۲۳۹	آوریل
۱۳/۶	۰/۷۹۴	۱/۲۹۶	-۰/۴۴۱	۲/۱۵۳	۰/۷۱۴	۰/۵۵۹	۶/۱۲۴	می
۱۰/۷۴	۰/۸۱۳	۱/۱۵۴	-۰/۷۶۲	۲/۵۹۳	۰/۷۹	۰/۵۲۱	۶/۶۶۲	ژوئن
۷/۴۷	۰/۷۴۸	۱/۰۲۱	-۰/۵۷۲	۱/۸۵۷	۰/۶۴۶	۰/۵۹۹	۶/۲۸۲	جولای
۶/۲۵	۰/۷۸۵	۰/۹۸۵	-۰/۴۰۹	۱/۷۱۳	۰/۸۰۲	۰/۶۸۴	۴/۲۷۷	آگوست
۸/۱	۰/۸۲۲	۱/۰۴۹	-۰/۷۴۸	۲/۰۹۸	۰/۷۱۸	۰/۶۲۵	۴/۶۱۵	سپتامبر
۱۲	۰/۷۹	۱/۳۵۴	-۰/۵۳۱	۱/۶۳۲	۱/۷۰۱	۰/۵۹۲	۴/۴۶۳	اکتبر
۲/۱۱	۰/۸۰۶	۱/۳۶۱	-۰/۳۳۸	۱/۰۴۶	۱/۵۴۱	۰/۶۴۱	۳/۵۹۸	نوامبر
۶/۵۲	۰/۸۵۶	۱/۶۲۳	-۰/۴۱۸	۰/۳۸۸	۲/۳۳۸	۰/۶۵۹	۳/۲۹۷	دسامبر

بهنجار پیروی می‌کنند؛ بنابراین مانده‌ها به شکل تصادفی توزیع شده‌اند و از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کنند.

شکل (۳) پراکنش‌نگار و بافت‌نگار مانده‌های مدل را نشان می‌دهد. آنگونه که دیده می‌شود مانده‌ها هیچ‌گونه همبستگی با مشاهدات ندارند و از توزیع



شکل ۳. پراکنش‌نگار و بافت‌نگار مانده‌های مدل برای دورهٔ ۱۹۶۱-۱۹۷۵

بهینهٔ همانندسازی‌ها، ریشهٔ دوم مربع خطاها و همچنین شاخص سازگاری ویلموت به کار گرفته شد. دستاورد این بخش نشان داد شمار بهینهٔ همانندسازی یک بار است. شاخص سازگاری ویلموت نیز نشان می‌دهد مشاهدات و داده‌های همانندسازی‌شده از همسانی زیادی برخوردارند (جدول ۴).

با وجود آنکه رگرسیون‌های برازش داده‌شده بر داده‌ها مدل‌های نسبتاً مناسبی هستند، باز هم می‌باید توان همانندسازی و پیش‌بینی مدل‌ها آزموده شود؛ بنابراین در گام بعدی با بهره‌گیری از متغیرهای پیشگوی NCEP و مدل‌های به‌دست‌آمده، داده‌های دمایی شهر ارومیه برای دورهٔ ۱۹۹۰-۱۹۷۶ میلادی برآورد شد. در خور بیان است برای دستیابی به شمار

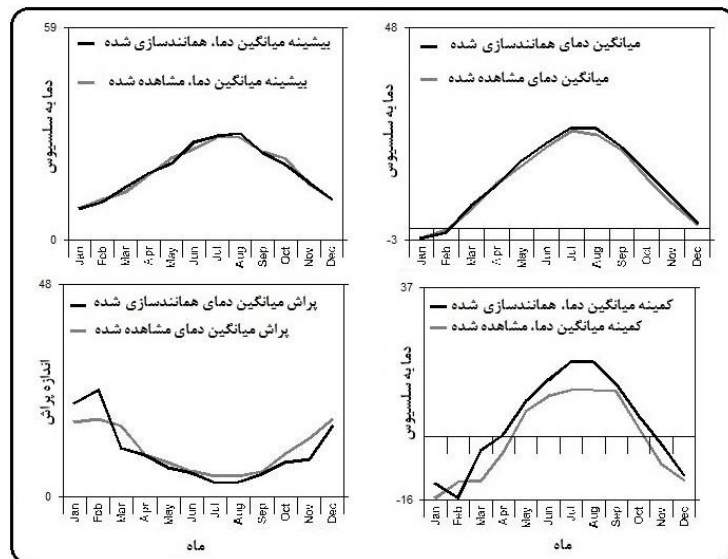
جدول ۴. شمار بهینه همانندسازی، میانگین ریشه دوم مربع خطاها و آماره ویلموت برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۵

متغیر پاسخ	شمار بهینه شبیه‌سازی	میانگین ریشه دوم مربع خطاها	آماره ویلموت
میانگین دمای ارومیه	۱	۳/۳	۰/۹۹

شکل (۴) نشان می‌دهد مدل در همانندسازی میانگین‌های ماهیانه دمای شهر ارومیه کارایی مناسبی داشته است. بیشترین همسانی بین مشاهدات و داده‌های به‌دست‌آمده از مدل برای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس است. بیشترین ناهمگونی‌ها نیز در فصل گرم سال و ماه‌های می، اکتبر و نوامبر رخ داده است که میانگین‌های پیش‌بینی شده، کمتر از اندازه‌های مشاهده شده است. از جدول (۳) به یاد داریم مدل‌های به‌دست‌آمده برای ماه‌های یادشده، ضریب تبیین کمتر

از ۸۰ درصد داشته‌اند.

همانندسازی پیشینه‌های میانگین دما نیز در بعضی ماه‌های سال شایسته و در بعضی دیگر اندکی از مشاهدات دور است. به این ترتیب که پیش‌بینی‌ها برای ماه‌های می، اکتبر و نوامبر بیشتر و در فصل گرم سال به همراه ماه‌های مارس و آوریل کمتر از مشاهدات بوده است. در اینجا نیز افزایش اشتباه با کاهش ضریب تبیین در ارتباط است. همانندسازی کمینه میانگین دما با اشتباه فراوان همراه بوده است؛ به شکلی که امکان پذیرش دستاورد آن وجود ندارد. پراش به‌دست‌آمده از داده‌های همانندسازی شده فقط در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و سپتامبر به پراش مشاهدات نزدیک شده است و در دیگر ماه‌ها ناهمسانی بسیاری با مشاهدات دارد.



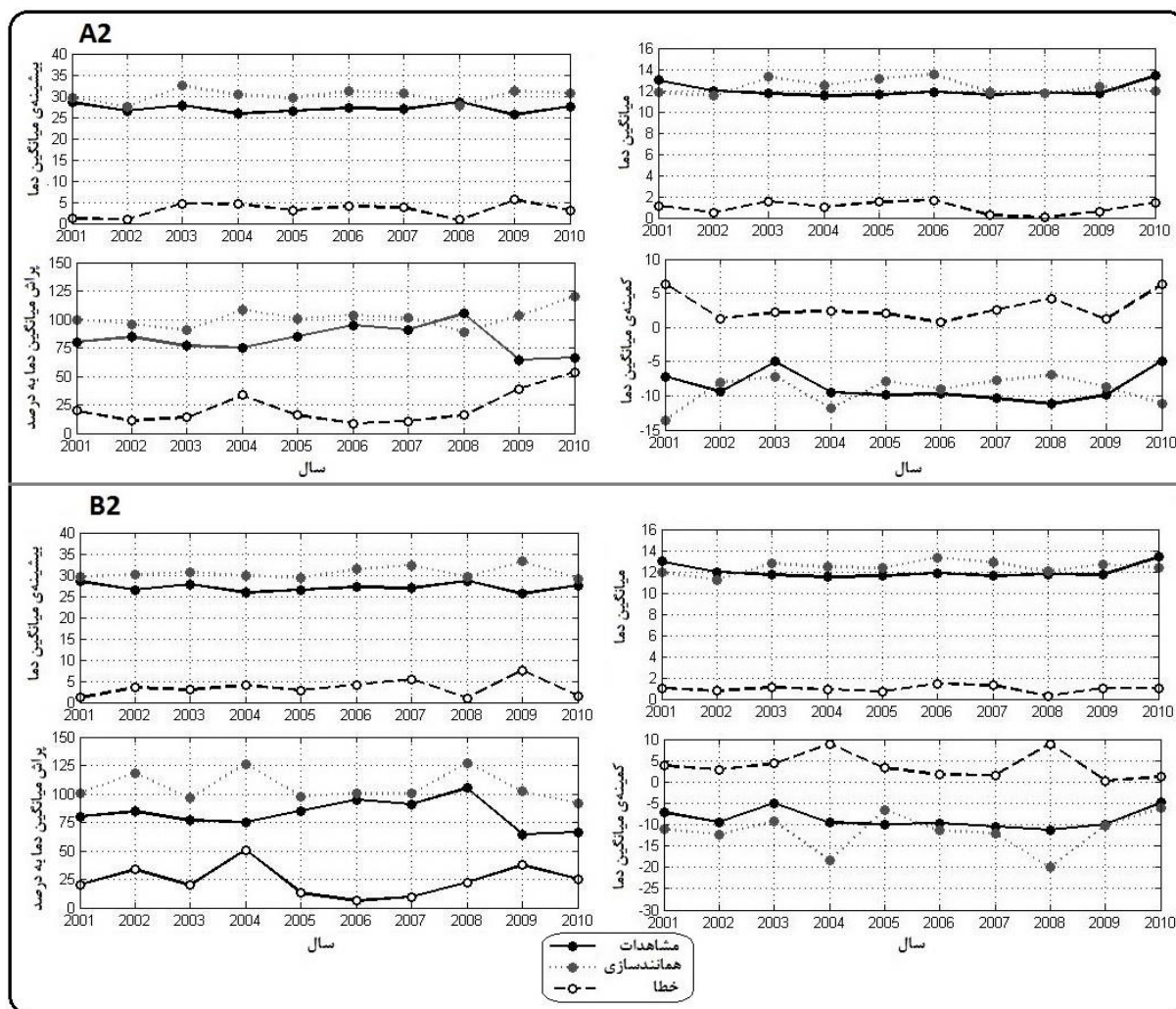
شکل ۴. میانگین مشاهداتی دما و همانندسازی ماهیانه آن (۱۹۶۱-۱۹۷۵)

سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ پیش‌بینی شد. شکل (۵) دستاورد همانندسازی میانگین دمای ارومیه را برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ با به‌کارگیری سناریوی A2 و

در گام بعدی با به‌کارگیری مدل‌های بهینه که پیش‌تر به دست آمد و برون‌داد مدل HadCM3 با سناریوهای A2 و B2 میانگین، دمای شهر ارومیه برای

دیگر سال‌ها پیش‌بینی‌ها از مشاهدات دور شده‌اند. بیشترین اندازه اشتباه نیز ۲ درجه سلسیوس بوده است. بیشینه‌ها، کمینه‌ها و پراش به‌دست‌آمده از میانگین دمای همانندسازی‌شده در بعضی سال‌ها با اشتباه زیادی همراه است. بیشینه‌ها به نسبت به مشاهدات نزدیک‌ترند، اما باز هم در ۷ سال از دوره پیش‌بینی اندازه‌های به‌دست‌آمده بیشتر از مشاهدات است.

B2 نشان می‌دهد. در این شکل همچنین میانگین دما، کمینه‌ها و بیشینه‌های به‌دست‌آمده از مشاهدات و همانندسازی‌ها، پراش مشاهدات و پیش‌بینی‌ها به همراه قدر مطلق خطای همانندسازی برای هر سال آمده است. درباره سناریوی A2 میانگین مشاهدات به همانندسازی‌ها نزدیک است؛ به شکلی که در بعضی سال‌ها اندازه اشتباه نزدیک به صفر است؛ با این همه در



شکل ۵. فراسنج‌های آماری همانندسازی‌ها در برابر مشاهدات (سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی)

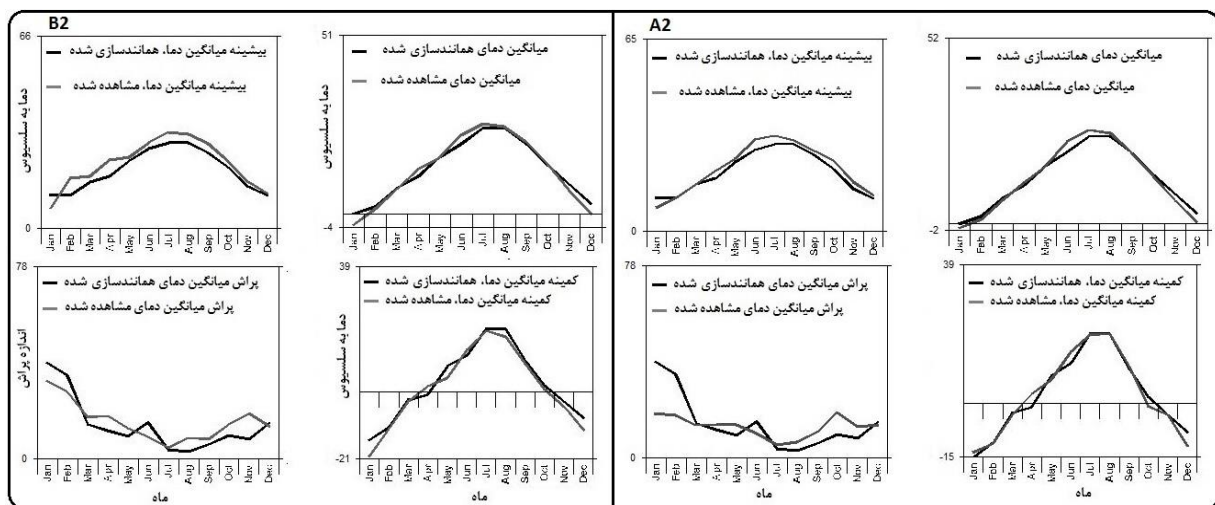
داده‌های همانندسازی‌شده چندان مناسب نیستند. اندازه بیشترین خطا در برآورد میانگین در اینجا نیز نزدیک به ۲ درجه سلسیوس است؛ اما شمار سال‌های

دست‌آورد همانندسازی با سناریوی B2 نشان می‌دهد میانگین‌های سالیانه هماهنگی بیشتری را با مشاهدات نشان می‌دهند و بیشینه‌ها، کمینه‌ها و پراش

در بعضی ماه‌ها به مشاهدات نزدیک و در بعضی ماه‌ها از آنها دور شده‌اند؛ اما پراش داده‌های همانندسازی شده خطای چشمگیری را نشان می‌دهد. دستاورد همانندسازی با برون‌داد مدل HadCM3 با به‌کارگیری سناریوی B2، خطای بیشتری را نسبت به سناریوی A2 نشان می‌دهد. افزایش خطا به‌ویژه در بیشینه‌های ماهیانه چشمگیرتر است. با وجود این در اینجا نیز میانگین‌های ماهیانه به میانگین‌های مشاهداتی نزدیک‌ترند.

با خطای برآورد نزدیک به صفر نسبت به سناریوی A2 کاهش یافته است؛ با این همه گمان می‌رود سناریوی A2 برآمد بهتری داشته است.

شکل (۶) میانگین، بیشینه، کمینه و پراش ماهیانه داده‌های همانندسازی شده با سناریوهای A2 و B2 را در برابر مشاهدات نشان می‌دهد. میانگین‌های ماهیانه به‌جز ژوئن، جولای و دسامبر هماهنگی خوبی با مشاهدات دارند. بیشینه‌ها و کمینه‌های به‌دست‌آمده نیز



شکل ۶. میانگین، بیشینه، کمینه و پراش ماهیانه داده‌های همانندسازی شده با سناریوی A2 و B2

بوده است؛ از این رو هر دو سناریو به‌ویژه سناریوی B2 تغییرپذیری بیشتری را از آنچه رخ داده است، برآورد کرده‌اند. کمینه‌های همانندسازی شده با هر دو سناریو کمتر از کمینه مشاهدات و بیشینه‌ها بیشتر از بیشینه مشاهدات به دست آمده‌اند؛ بنابراین رویدادهای فرین به‌ویژه با سناریوی B2 بیش از آنچه رخ داده، برآورد شده است. رخداد خطاهای چشمگیر در پیش‌بینی بیشینه‌ها و کمینه‌ها با افزایش پراش برآورده‌ها هماهنگ است. روی هم‌رفته مدل فقط در همانندسازی میانگین‌ها کارکردی شایسته داشته است.

جدول (۵) میانگین، کمینه، بیشینه و پراش محاسبه‌شده در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ را برای داده‌های مشاهداتی و همانندسازی شده نشان می‌دهد؛ همچنین خطای پیش‌بینی برای هر یک از آماره‌های یادشده در این جدول آمده است. میانگین‌های به‌دست‌آمده برای میانگین دمای ارومیه با هر دو سناریوی A2 و B2 برابرند و فقط ۰/۴ درجه سلسیوس خطا داشته‌اند؛ اما خطا در پراش، بیشینه و کمینه میانگین دما بیشتر بوده است. پراش به‌دست‌آمده از برون‌داد مدل با هر دو سناریوی A2 و B2 بیشتر از پراش داده‌های مشاهداتی

جدول ۵. میانگین، پراش، کمینه و بیشینه داده‌های همانندسازی شده و مشاهدات در دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰

متغیر	میانگین	پراش	کمینه	بیشینه
مشاهدات	۱۲	۸۲/۴	-۱۱/۲	۲۸/۶
A2 همانندسازی شده با سناریوی	۱۲/۴	۱۰۱/۵	-۱۳/۶	۳۲/۴
خطای پیش‌بینی	۰/۴	۱۹/۱	-۲/۴	۳/۸
B2 همانندسازی شده با سناریوی	۱۲/۴	۱۰۶/۲	-۲۰/۱	۳۳/۲
خطای پیش‌بینی	۰/۴	۲۳/۸	-۸/۹	۴/۶

اندازه همبستگی را با میانگین دمای ارومیه دارد و پس از آن نیز ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، دما در ارتفاع ۲ متری و فشار تراز دریا جای دارند. اندازه ضریب همبستگی جزئی برای تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با دمای ارومیه کوچک است، اما افزوده شدن این متغیر نقش سامانه‌های پوششی همچون چرخندها را در دمای ارومیه نشان می‌دهد؛ از این رو با افزودن بر شمار سال‌های دوره پایه، وزن سامانه‌های پوششی نیز در پیکربندی مدل افزایش یافته است.

در گام بعدی دوره پایه برای پیش‌بینی ویژگی‌های دمایی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به ۴۰ سال افزایش یافت و بار دیگر فرایند ساخت مدل و همانندسازی دما انجام شد؛ از این رو در نخستین گام فرایند گزینش متغیرهای پیشگو بار دیگر انجام پذیرفت که دستاورد آن در جدول (۶) آمده است. با افزایش سال‌های دوره پایه، تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز به شمار متغیرهای پیشگو افزوده شده است. با وجود این همچنان میانگین دما با تأخیر یک بیشترین

جدول ۶. اندازه ضریب همبستگی جزئی و آماره P برای متغیرهای پیشگو و پاسخ (۲۰۰۰-۱۹۶۱)

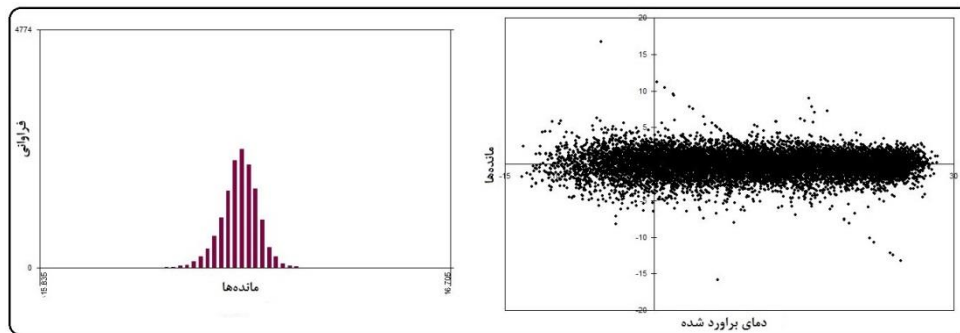
متغیر پاسخ	متغیرهای پیشگو	ضریب همبستگی جزئی	آماره P
	دما در ارتفاع ۲ متری زمین	۰/۱۷۸	۰
	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۱۹۶	۰
میانگین دمای شهر ارومیه	فشار تراز دریا	-۰/۱۷۳	۰
	تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۰۷۹	۰
	میانگین دمای شهر ارومیه با تأخیر یک	۰/۸۱۳	۰

می‌کند. روی هم‌رفته اندازه ضریب تبیین در مدل جدید کاهش، اما اندازه‌های آماره چو افزایش چشمگیری داشته است. شکل (۷) نشان می‌دهد مانده‌های مدل رگرسیونی برازش داده شده بر داده‌ها از توزیع بهنجار پیروی می‌کند؛ همچنین پراکنش‌نگاری در این شکل نشان می‌دهد بین مانده‌ها و دمای برآورد شده هیچ‌گونه همبستگی وجود ندارد.

جدول (۷) ضریب‌های رگرسیونی را برای الگوهای برازش داده شده در ۱۲ ماه سال نشان می‌دهد. بیشترین اندازه ضریب تبیین در اینجا نیز مربوط به ماه فوریه است؛ با وجود این ارزش این ضریب به ۸۴/۵ درصد کاهش یافته است. کمترین اندازه ضریب تبیین در ماه آگوست رخ داده است که فقط ۶۶/۶ درصد از تغییرات دمایی این ماه را توجیه

جدول ۷. ویژگی‌های مدل‌های رگرسیونی برای میانگین دمای ارومیه در هر ماه از سال (۱۹۶۱-۲۰۰۰)

ماه	عرض از مبدأ	میانگین دما با تأخیر یک	دما در ارتفاع ۲متری	ارتفاع تراز ۵۰۰	فشار تراز دریا	تاوایی در تراز ۸۵۰	خطای استاندارد	ضریب تبیین	آماره چو	ضریب‌های مدل																																																																																																														
										ژانویه	۳/۴۶۱	۰/۷۴۹	۲/۲۲۸	۰/۴۵۶	-۰/۶۰۴	-۰/۲۲۴	۱/۹۸۲	۰/۸۳۸	۳/۷۸	فوریه	۳/۳۶۹	۰/۷۷۸	۱/۲۲۲	۱/۰۶۸	-۰/۷۰۳	-۰/۱۵۴	۱/۹۲	۰/۸۴۵	۴	مارس	۴/۲۹۱	۰/۶۵۷	۰/۷۸۹	۱/۶۷۱	-۰/۷	-۰/۰۷۸	-۰/۶۶۵	۱/۶۶۵	۰/۸۲۴	۹/۸۴	آوریل	۶/۷۶	۰/۴۵	۰/۷۸۶	۲/۵۴۲	-۰/۷۴	۰/۰۷۵	۱/۴۷۸	۰/۷۸۹	۷/۹۷	می	۷/۰۵۳	۰/۴۴۱	۰/۵۹۶	۳/۲۲۴	-۰/۸۱۷	۰/۱۸۱	۱/۴۰۲	۰/۷۸۶	۱۲/۶۶	ژوئن	۴/۶۸۳	۰/۶۲۱	۰/۰۵۳	۲/۶۶۹	-۰/۹۲۱	-۰/۰۱۹	۱/۴۶۴	۰/۷۴۹	۱۷	جولای	۵/۴۷۲	۰/۵۹۳	۰/۲۹	۲/۳۴	-۰/۹۹۴	-۰/۱۹۷	۱/۱۵۵	۰/۷	۱۶/۴۸	اگوست	۴/۹۷۷	۰/۶۳۶	۰/۹۵۳	۱/۴۳۹	-۰/۵۵	-۰/۲۰۷	۱/۲۶۸	۰/۶۶۶	۳۴/۵۹	سپتامبر	۵/۰۲۵	۰/۵۸۸	۱/۱۲۱	۱/۶۱۶	-۰/۶۸۸	-۰/۱۰۵	۱/۲۷۲	۰/۷۴۶	۷/۷	اکتبر	۴/۶۸۶	۰/۵۵۱	۱/۹۲۶	۱/۵۸۵	-۰/۵۹۵	-۰/۰۷۱	۱/۳۸۷	۰/۷۸۳	۲/۴	نوامبر	۳/۳۹۷	۰/۶۶۲	۰/۷۲۴	۱/۵۸۷	-۰/۷۹۲	-۰/۱۰۹	۱/۴۲۱	۰/۸۱۹	۳/۸۱



شکل ۷. پراکنش‌نگار و بافت‌نگار مانده‌های مدل برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۰

۱۰ بار است؛ همچنین با نگرش به جدول (۸) اندازه ریشه دوم میانگین مربع‌های خطا به نسبت مدل پیشین (دوره پایه ۱۹۷۵-۱۹۶۱) کاهش و آماره ویلموت افزایش داشته است.

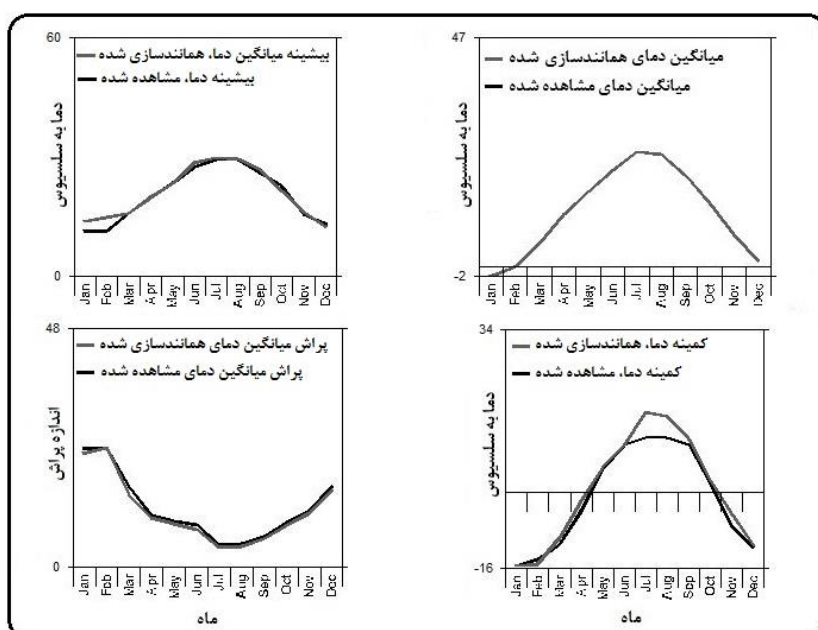
در گام بعدی برای دستیابی به شمار بهینه همانندسازی، داده‌های میانگین دمای ارومیه در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۰) برآورد شده است. ریشه دوم مربع‌های خطا و همچنین شاخص سازگاری ویلموت نشان داد شمار بهینه همانندسازی‌ها برای مدل جدید

جدول ۸. شمار بهینه همانندسازی، میانگین ریشه دوم مربع خطاها و آماره ویلموت برای دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۰

متغیر پاسخ	شمار بهینه شبیه‌سازی	ریشه دوم مربع خطاها	آماره ویلموت
میانگین دمای ارومیه	۱۰	۲/۲	۰/۹۹۹

رخ داده است؛ همچنین اندازه آماره چو نیز در این دو ماه به نسبت کم است. برآورد کمینه دمای ماهیانه نیز نسبت به مدل پیشین بهبود آشکاری داشته است؛ با وجود این همچنان ناهماهنگی بین برآوردها و مشاهدات به ویژه در ماههای گرم سال چشمگیر است. با نگرش به جدول (۷) ماههای ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر کمترین اندازه‌های ضریب تبیین را دارند.

شکل (۸) نشان می‌دهد مدل، کارایی شایسته‌ای در برآورد میانگین‌های ماهیانه دمای ارومیه داشته است؛ به گونه‌ای که برآوردها و مشاهدات از همسانی بسیار زیادی برخوردارند. بیشینه‌های برآوردشده نیز در بسیاری از ماههای سال همسان با مشاهدات است و فقط در ماههای ژانویه و فوریه ناهمسانی‌ها چشمگیر است. از جدول (۷) به یاد داریم بیشترین خطای استاندارد مدل‌های برازش داده‌شده در دو ماه یادشده



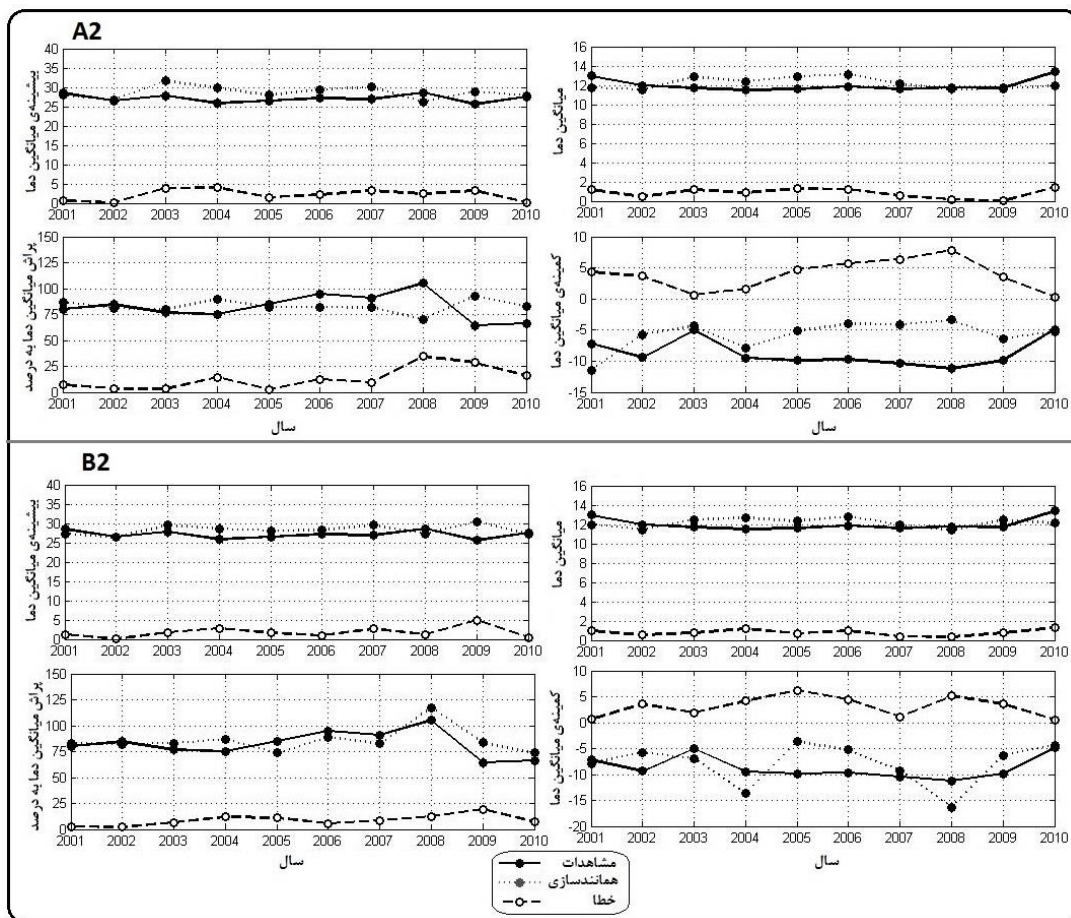
شکل ۸. میانگین مشاهداتی دما و همانندسازی آن (۲۰۰۰-۱۹۶۱)

دستاورد همانندسازی جدید در پراش دمای سالیانه دیده می‌شود؛ به شکلی که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ اندازه خطا تقریباً برابر با صفر است. با چشم‌پوشی از کمینه‌های سالیانه، افزایش دوره پایه به بهبود دستاورد همانندسازی با سناریوی A2 کمک کرده است. بهبود اندازه‌های دمایی برای میانگین و بیشینه‌های سالیانه در نگاه اول چندان چشمگیر نیست؛ اما نباید فراموش کرد برای متغیری همچون دما، دگرگونی در اندازه‌های ۰/۵ درجه سلسیوس هم در خور و مهم است. گواه

دستاورد همانندسازی میانگین دمای ارومیه با سناریوی A2 و B2 برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ و با دوره پایه ۴۰ ساله در شکل (۹) آمده است. برآورد میانگین‌های سالیانه در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ اندکی بهبود یافته است. برآورد بیشینه‌های سالیانه نیز به ویژه در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ بهبود چشمگیری داشته است. با وجود این کمینه‌های به دست آمده با مدل جدید در برابر مدل پیشین (با دوره پایه ۱۵ ساله) با خطای بیشتری همراه بوده است. بیشترین بهبود در

درخور توجه درباره کمیته‌های دمای سالیانه این است که مدل جدید در همانندسازی‌ها بیش‌برآورد بوده است؛ درحالی‌که مدل پیشین، مدلی کم‌برآورد برای کمیته‌های سالیانه بود. پراش داده‌های همانندسازی شده در اینجا نیز بیشترین بهبود را دارد؛ به شکلی که دستاورد همانندسازی با سناریوی B2 برای پراش سالیانه داده‌ها نسبت به سناریوی A2 (هر دو با دوره پایه ۴۰ساله) نیز با اشتباه کمتری همراه بوده است.

این سخن دگرگونی‌های میانگین دمای زمین است. چنانکه همه دگرگونی‌های دستگاه اقلیم که به گرمایش جهانی نسبت داده می‌شوند، در نتیجه تغییر کمتر از ۱ درجه سلسیوس در میانگین دمای زمین رخ داده است. دستاورد همانندسازی با دوره پایه ۴۰ساله و با سناریوی B2 نیز برای میانگین و بیشینه‌های سالیانه همراه با بهبود بوده است که در اینجا نیز بیشینه‌ها با کاهش خطای بیشتری روبه‌رو شده‌اند. ناهمسانی



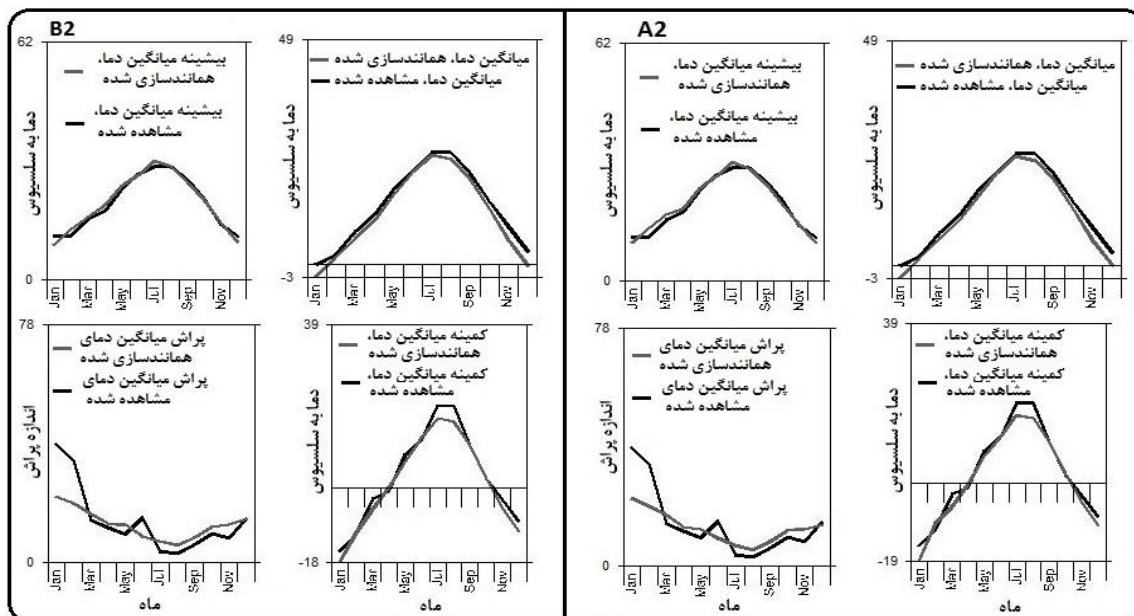
شکل ۹. فراسنج‌های آماری همانندسازی‌ها (دوره پایه ۴۰ساله) در برابر مشاهدات (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی)

با دوره پایه ۱۵ساله از هماهنگی بیشتری با مشاهدات برخوردارند. کاهش خطا به‌ویژه در بیشینه‌ها بسیار چشمگیر است. کمیته‌های همانندسازی شده با مدل جدید نیز در بیشتر ماه‌های سال با کاهش خطا روبه‌رو

شکل (۱۰) نشان می‌دهد میانگین، بیشینه و پراش ماهیانه دمای شهر ارومیه که با به‌کارگیری برون‌داد مدل HadCM3 (سناریوی A2) و دوره پایه ۴۰ساله همانندسازی شده‌اند، به نسبت دستاورد همانندسازی

دو دلیل است: نخست آنکه مدل پیشین (با دوره پایه ۱۵ساله) خطای بیشتری در برآورد بیشینه‌ها با سناریوی B2 به نسبت سناریوی A2 داشت و دوم آنکه در مدل جدید برآورد بیشینه‌ها با سناریوی B2 بهتر از سناریوی A2 بوده است.

بوده‌اند؛ اما در ماه‌های گرم سال خطای همانندسازی به شکل چشمگیری افزایش داشته است. دستاورد همانندسازی با برون‌داد سناریوی B2 نیز همسانی بسیاری با سناریوی A2 دارد؛ با وجود این کاهش خطا در بیشینه‌های آن بیشتر بوده است. این رویداد به



شکل ۱۰. فراسنج‌های آماری داده‌های همانندسازی شده با سناریوی A2 و B2 (دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۶۱)

بهتری داشته است. با وجود این کاهش خطا در بیشینه به دست آمده با سناریوی A2 و کمینه به دست آمده با سناریوی B2 به نسبت کم است؛ به بیان دیگر مدل جدید هنگام به کارگیری برون‌دادهای سناریوی A2 کارکرد مناسبی در همانندسازی بیشینه‌ها نداشته است؛ همچنین برآورد کمینه‌ها با به کارگیری برون‌دادهای سناریوی B2 با خطای بسیار همراه بوده است. در پایان مدل جدید با به کارگیری سناریوی A2 برون‌داد بهتری نسبت به سناریوی B2 دارد و سناریوی B2 فقط در همانندسازی بیشینه‌ها برتری داشته است.

جدول (۹) نشان می‌دهد میانگین‌های دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ که با مدل جدید برآورد شده‌اند، با 0.2 درجه سلسیوس کاهش خطا نسبت به مدل پیشین به مشاهدات نزدیک‌تر شده‌اند. کاهش خطا در پراش به دست آمده با مدل جدید بسیار چشمگیر است؛ به گونه‌ای که میانگین و پراش به دست آمده با هر دو سناریو، با میانگین و پراش مشاهدات از دیدگاه آماری برابرند؛ حال آنکه در مدل پیشین فقط میانگین‌های همانندسازی‌ها از این ویژگی برخوردار بودند. مدل جدید در برآورد کمینه‌ها و بیشینه‌ها نیز دستاورد

جدول ۹. فراسنج‌های آماری داده‌های همانندسازی شده و مشاهدات در دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ (دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۶۱)

متغیر	میانگین	پراش	کمینه	بیشینه
مشاهدات	۱۲	۸۲/۴	-۱۱/۲	۲۸/۶
A2 همانندسازی شده با سناریوی	۱۲/۲	۸۳	-۱۱/۵	۳۱/۷
خطای پیش‌بینی	۰/۲	۰/۶	-۰/۳	۳/۱
B2 همانندسازی شده با سناریوی	۱۲/۲	۸۵/۵	-۱۶/۳	۳۰/۵
خطای پیش‌بینی	۰/۲	۳/۱	-۵/۱	۱/۹

نتیجه‌گیری

است؛ از این رو پیشنهاد می‌شود هنگام همانندسازی با SDSM طول دوره پایه تا آخرین اندازه ممکن افزایش یابد یا دست‌کم دستاورد پیش‌بینی‌های به دست آمده با دوره پایه پیشنهادی طراحان مدل با طول دوره آماری بلندتر مقایسه شود. با این همه باز هم برآورد مدل SDSM در مقیاس زمانی روزانه مناسب نیست. این رخداد به وسیله پرویز و ژوفری نیز گزارش شده است (۲۰۱۴: ۱۲۰). این رویداد به‌ویژه در پراش، بیشینه‌ها و کمینه‌های ماهیانه و همچنین پراش، بیشینه‌ها و کمینه‌های سالیانه نمود می‌یابد؛ اما در میانگین‌های ماهیانه و سالیانه به دلیل سرشکن شدن اندازه‌های بزرگ و کوچک اثر کمتری دارد.

بی‌گمان یک مدل رگرسیونی چندمتغیری، داده‌های پیرامون سطح برآزش داده شده بر مشاهدات را بهتر برآورد می‌کند؛ از این رو بهترین پیش‌بینی‌های SDSM درباره میانگین یا سطح روند خواهد بود. همچنین گمان می‌رود هرچه بازه زمانی برای میانگین‌گیری بیشتر باشد، میانگین‌های همانندسازی شده پسندیده‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهند بود. چنانکه دیدیم میانگین‌های به دست آمده از داده‌های همانندسازی شده برای دهه ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بسیار شایسته‌تر از میانگین‌های هریک از سال‌های همین دوره بود؛ از این رو پیش‌بینی‌های SDSM در

روش بنیادین مدل SDSM برای ریزمقیاس‌گردانی داده‌ها، رگرسیون چندمتغیری است. به کارگیری چنین روشی در کنار برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو سبب می‌شود دستاورد همانندسازی‌های SDSM فقط یک برآورد و پیش‌بینی آماری نباشد؛ از این رو در همانندسازی داده‌ها با SDSM، این فرض بنیادین مدنظر است که اقلیم و نمودهای آن برآیند ویژگی‌های گوناگونی از محیط و به‌ویژه هواسپهر است؛ برای نمونه دمای شهر ارومیه برآیند بعضی ویژگی‌های جوی است که در این پژوهش با نام متغیرهای پیشگو بیان شدند. با وجود این امکان این داوری نیست که دمای ارومیه جدا از دیگر متغیرهای هواسپهر یا محیط است؛ زیرا بررسی پیوند دما با متغیرهای پیشگو به روش همبستگی از ویژگی‌های گوناگونی متأثر می‌شود؛ برای نمونه طول دوره آماری، یکی از نکات مهم در اندازه همبستگی و خطای آن است.

در این پژوهش دیده شد با افزایش شمار سال‌های پایه بر شمار متغیرهای پیشگو افزوده شد؛ همچنین با افزایش طول دوره آماری و افزایش شمار متغیرهای پیشگوی شایسته، برآورد ضریب‌های مدل رگرسیونی بهبود خواهد یافت. چنانکه در این پژوهش نیز افزایش سال‌های دوره پایه چنین دستاوردی داشته

منابع

آبکار، علیجان، حبیب‌نژاد، محمود، سلیمانی، کریم و نقوی، هرمز، (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۴، شماره ۱۴، ۱-۱۷.

رضایی، عبدالمجید و سلطانی، افشین، (۱۳۸۷). مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی، تک‌جلد، چاپ سوم، اصفهان، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

رضایی، مریم، نهانی، محمد، آبکار، علیجان، رضایی، معصومه و میرکازه‌ی ریگی، مهری، (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۵، شماره ۱۰، ۱۳۱-۱۱۷.

صمدی نقاب، سینا، خورشیددوست، علی محمد، حبیبی نوخندان، مجید و زابل عباسی، فاطمه، (۱۳۹۰). به‌کارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM بارش و دما (مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران)، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۲، شماره ۶، ۵۷-۶۸.

عساکره، حسین، (۱۳۸۶). تغییر اقلیم، تک‌جلد، چاپ اول، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان.

مقیاس‌های دهه‌ای و سالیانه بهتر از مقیاس‌های ماهیانه و روزانه است.

برآورد داده‌ها درباره سطح روند همچنین سبب می‌شود پراش داده‌های همانندسازی شده همراه با خطای بسیار باشد. برآورد نادرست از بیشینه، کمینه و پراش سبب شده است SDSM توان پیش‌بینی‌های دقیق را نداشته باشد؛ از این رو گمان می‌رود این مدل فقط برای یک شناخت و برآورد کلی مناسب باشد. با این همه پیکربندی و بخش‌های گوناگون در بسته نرم‌افزاری SDSM موجب شده است این مدل ابزار مناسبی برای شناخت و آموزش بنیان‌های الگوسازی و همانندسازی باشد.

نکته مهم دیگر، خطای مدل‌های گردش عمومی جو است. از آنجا که این داده‌ها همان متغیرهای پیشگو در همانندسازی اقلیم آینده هستند، به همراه خود اندازه‌ای از خطا را به برون‌دادهای SDSM می‌افزایند؛ به بیان دیگر در دستاوردهای SDSM ما با دو گونه عدم قطعیت روبه‌رو هستیم؛ نخست عدم قطعیت برآمده از به‌کارگیری یک مدل رگرسیونی و دوم عدم قطعیت در برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو که به‌ویژه برای کشورهای هم‌چون ایران چشمگیرتر است؛ زیرا سنجش‌گاه‌های گلخانه‌ای همچون دی‌اکسیدکربن و متان که در سناریوها و همانندسازی‌های مدل‌های گردش عمومی جو بسیار مهم‌اند، از پیشینه کوتاه‌تری برخوردار است. با این همه به‌کارگیری برون‌داد این مدل‌ها و سنجش‌خطای آنها پس از ریزمقیاس‌گردانی، طراحان مدل‌های گردش عمومی جو را در شناخت ناتوانی‌ها و بهبود کارایی این مدل‌ها یاری می‌دهد.

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission>

http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html

http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_info.html

Kanji, Gopal k. 100 statistical test, third edition, (2006). SAGE publications, london.

Kazmi, Dildar Hussain, Ghulam Rasul, Jianping Li, Suhail Babar Cheema, (2014). **Comparative Study for ECHAM5 and SDSM in Downscaling Temperature for a Geo-Climatically Diversified Region**, Pakistan Applied Mathematics, V 5, Pp 137-143.

Mahmood, Rashid, Mukand, S., Babel, (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 Climat eExtremes 5-6, Pp 56–66.

Pervez, Md., Shahriar, Geoffrey, M., Henebry, (2014). **Projections of the Ganges Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors**, Journal of Hydrology, V 517, Pp 120–134.

Samadi, S., Ehteramian, K., Sari Sarraf, B. (2011). **SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province**, Procedia Social and Behavioral Sciences, V 19, Pp 741-749.

Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., (2002). **SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts**, Journal of Environmental Modeling and Software, V 17, Pp 147-159.

عساکره، حسین، (۱۳۸۳). **مدل‌سازی مکانی تغییرات عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: بارش سالانه استان اصفهان)**، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۳، ۲۱۳–۲۳۱.

فلاح قاهری، غلامعباس، (۱۳۹۳). **ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی**، تک‌جلد، چاپ اول، مشهد، انتشارات سخن‌گستر.

مک‌گوفی، کی و سلرز، ای هندرسون، (۱۳۸۰). **نخستین گام در مدل‌سازی اقلیمی**، ترجمه مسعودیان، سید ابوالفضل، غیور، حسنعلی، تک‌جلد، چاپ اول، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.

یارنال، برنت، (۱۳۸۵). **اقلیم‌شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی**، ترجمه: مسعودیان، سید ابوالفضل، تک‌جلد، چاپ اول، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.

Ehret, U.E., Zehe, V., Wulfmeyer, K., Warrach-Sagi, and Liebert, J., (2012). **Should we apply bias correction to global and regional climate model data?**, Hydrology and Earth System Sciences, V 16, Pp 3391–3404.

Haward, E., Doran, (1989). **Applied Regression Analysis in Econometrics**, CRC Press, P. 146. ISBN 0- 8247- 8094-3.

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=98>