

مدل سازی آماری روند کمینه دمای حوضه فلات مرکزی

سادات هاشمی نسب^۱، فریبا صادقی عطاآبادی^۲

۱- مدرس دانشگاه پیام نور اصفهان و دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان

۲- کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، مدرس دانشگاه پیام نور اصفهان

چکیده

امروزه موضوع تغییرات اقلیم، آگاهی از دلایل بروز این تغییرات، پیش‌بینی و شناسایی تأثیرات این تغییرپذیری بر روی سایر عناصر و پدیده‌های کره زمین بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر به منظور بررسی و مدل‌سازی روند کمینه دمای حوضه فلات مرکزی ایران، دمای ۲۸ ایستگاه در طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۵۸ مورد استفاده و سپس توزیع بهنجاری سری دمای سالانه ایستگاه‌ها با استفاده از آزمون جویئر و نمودار توزیع بهنجاری سری‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله حاکی از آن می‌باشد که کمینه دمای ۷ ایستگاه حوضه فلات مرکزی دارای توزیع ناهنجار هستند. ایستگاه‌هایی با توزیع ناهنجار با آزمون ناعاملی دنیلس و سایر ایستگاه‌ها با توزیع نرمال، با آزمون عاملی χ^2 مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله نشان داد که از بین ۲۸ ایستگاه، ۱۷ ایستگاه دارای تغییرات گرایش‌دار یا روند می‌باشند. میل تغییرات روند ایستگاه‌ها به جز فضا افزایشی است. نتایج تحلیل و پیش‌بینی روند سری‌های دمای ایستگاه‌های گرایش‌دار با استفاده از روش کمترین مربعات و مدل درجه دو نشان داد که روند کمینه دمای ایستگاه‌های همدان، درگزین، سبزوار، تهران و سمنان به صورت نزولی خواهد بود و برای سایر ایستگاه‌ها، پیش‌بینی‌های روند بدست آمده حاکی از ادامه روند صعودی دمای کمینه در طی سال‌های آتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: روند، آزمون‌های پارامتری، آزمون‌های ناپارامتری، کمترین مربعات، مدل درجه دو.

مقدمه

در ارتباط با بررسی تغییرات اقلیم و همچنین بررسی روند عناصر اقلیمی، محققان زیادی کوشیده‌اند در تحلیل‌های خود این موضوع را مورد مطالعه قرار دهند که در این میان می‌توان به برخی از این مطالعات در سطح جهان و ایران اشاره نمود. زنگ^۱ و همکاران (۱۹۹۸)، به مطالعه ساختار مدل‌های سری زمانی و تشخیص روند سری‌های دمایی منطقه‌ای و جهانی پرداخته‌اند. ایشان بیان می‌کنند که مدل روند خطی مدل مطلوب و مناسبی برای بسیاری از مناطق جهان از مناطق گرمسیری نیمکره شمالی تا عرض‌های میانی نیمکره جنوبی است. اگویلر^۲ و همکاران (۲۰۰۵)، روند تغییر اقلیم را در شرق میانه در دوره ۵۳ ساله با استفاده از مقادیر بارش روزانه و بیشینه و کمینه دما روزانه در ۷۵ ایستگاه در ۱۵ کشور جهان را مورد بررسی قرار داده‌اند و افزایش روند را در بیشینه دمای سالانه و کمینه روزانه بدست آورده‌اند. مارنگو^۳ و همکار (۲۰۰۸) پس از بررسی سری‌های زمانی کمینه و بیشینه

اقلیم پدیده‌ای متغیر است که در طول زمان و مکان دستخوش تحول و دگرگونی شده و می‌شود. خاصیت تغییر پذیری اقلیم و چگونگی و دلایل بروز این تغییرات و تأثیرات آن بر روی سایر پدیده‌های طبیعی موضوعی است که همواره ذهن اقلیم‌شناسان را به خود معطوف داشته است. با توجه به ماهیت عناصر اقلیمی که در قالب مقیاس‌های مختلف زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تغییرات زمانی عناصر اقلیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. در اقلیم‌سنجی یکی از مولفه‌های مهم مورد مطالعه، مدل‌های گرایش‌دار می‌باشد. بسته به ماهیت، گستره زمانی و قابلیت اطمینان عناصر اقلیمی می‌توان برای سنجش و پیش‌بینی تغییرات ایستگاه‌ها از مدل‌های مختلف تغییرات گرایش‌دار استفاده کرد. مطالعه تحلیل روند امکان تحلیل تغییرات عناصر مختلف اقلیمی در قالب الگوهای بلند مدت را می‌دهد (جاوری، ۱۳۸۹، ۶-۲).

افزایش دما عمدتاً در سرزمین‌های گرم و کم ارتفاع و روندهای کاهشی عمدتاً در رشته کوه‌ها دیده می‌شوند. موحدی و همکاران (۱۳۸۴) تغییرات زمانی و مکانی دمای حوضه مارون را مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه دست یافتند که در طی نیم سده گذشته دمای ماه‌های گرم سال روند افزایشی داشته است. جاوری (۱۳۸۶) تغییرات عناصر اقلیمی را در قالب مدل‌های گرایش‌دار مورد سنجش و بررسی قرار داده است و برای این منظور از آمار دمای ماهانه، فصلی و سالانه ۱۱۰ ایستگاه در طول دوره آماری ۳۵ سال استفاده کرده است. حمزبی (۱۳۸۹) در بررسی تغییرات اقلیمی سری زمانی برخی از پارامترهای اقلیمی ایران نشان داده است که از بین ۳۶ ایستگاه مورد مطالعه برای کمینه دما در فصل تابستان و پاییز بیشتر از ۷۵ درصد ایستگاه‌ها و در فصل بهار و زمستان در بیشتر از ۶۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند نزولی می‌باشند. قائدی و منتظری (۱۳۹۰) به بررسی و شناسایی روند ماهانه دمای کمینه ایران طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۶۱ پرداخته‌اند و به این نتایج دست یافتند که دمای کمینه در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس تغییر معناداری نداشته و در سایر ماه‌ها افزایش معناداری داشته است.

بررسی تغییرات زمانی اقلیم در قالب مدل‌های متعددی مانند مدل‌های روند، فصلی، دوره‌ای و تصادفی انجام می‌شود. یکی از عناصر مهمی اقلیمی که می‌توان در این راستا مورد مطالعه قرارداد دما است. هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی و مدل‌سازی الگوی روند دمای کمینه حوضه فلات مرکزی ایران می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

جامعه آماری مورد استفاده در این تحقیق کمینه دمای سالانه ایستگاه‌های همدید و اقلیم‌شناسی حوضه فلات مرکزی ایران است که نمونه‌ای به حجم ۲۸ ایستگاه با طول دوره آماری بالاتر از ۳۰ سال و در طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۵۸ انتخاب شده‌اند (شکل ۱). دمای مفقود برخی از سال‌ها با استفاده از روش کمترین مربعات مورد بازسازی قرار گرفته است.

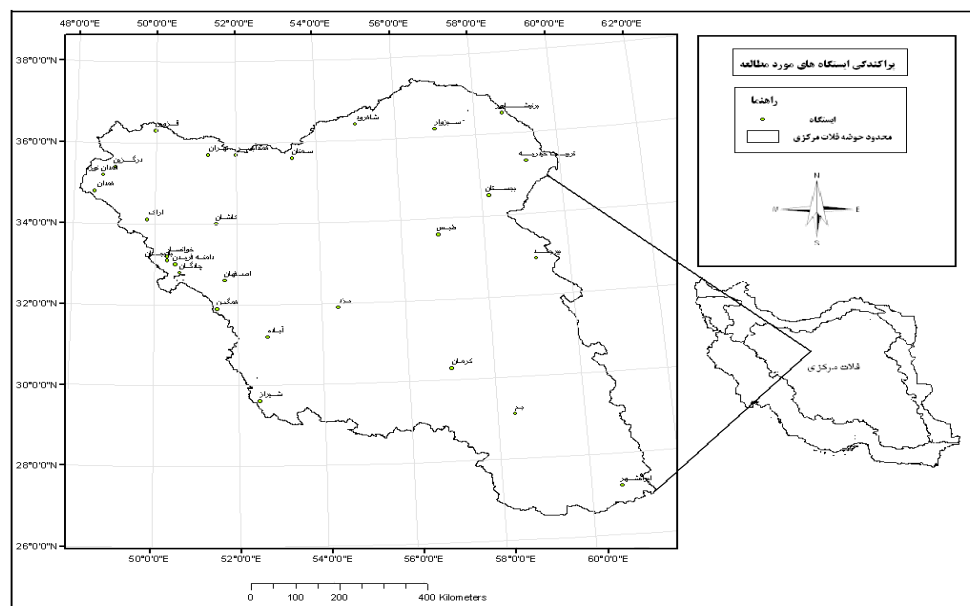
دمای جنوب برزیل طی دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۶۰ به این نتیجه دست یافتند که روند دمای کمینه دارای شیب افزایشی و روند دمای بیشینه منطقه مورد مطالعه دارای شیب ملایمی بوده است. کوریس^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، روند افزایش دما، نقطه شبنم و بارش اروپای مرکزی را با استفاده از سری‌های ۱۱۲ ساله برای پوتسدام و سری‌های طولانی مدت مورد مطالعه قرار داده‌اند. ایشان بیان می‌کنند که زمستان‌های خیلی سرد فقط تا نیمه قرن بیستم رخ داده است در حالیکه زمستان‌های گرم روند افزایشی را نشان می‌دهد. مارتینز^۲ و همکاران (۲۰۱۰) روند دمای شبانه و روزانه ۳۷ ایستگاه در کاتالونیا اسپانیا را در طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۴-۱۹۷۵ مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه دست یافته‌اند که دمای سالانه ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در هر دهه (بوژه در بهار و تابستان) افزایش یافته است که در فصل زمستان به ۰/۸ تا ۰/۹ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. فری^۳ (۲۰۱۱)، ساختار فصلی روند دما در استراتوسفیر پایینی منطقه حاره را مورد مطالعه قرار داده است. ایشان بیان می‌دارد که روندها در پوش سپهر منطقه حاره ارتباط معکوسی را با روندهای ناحیه قطبی برای دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که ممکن است مربوط به تغییرات گردشی پوش سپهر باشد. وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات مشاهده شده در روند بیشینه دمای چین را در طی دو دوره ۱۹۸۹-۱۹۶۰ و ۲۰۰۹-۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان دهنده وجود تغییرات قابل توجهی در روند دما از اوایل ۱۹۹۰ است که به ویژه در فصل زمستان، یک سیگنال از تغییر اقلیم مشاهده می‌شود. جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) تغییرات زمانی دما و بارش ایران را مورد بررسی و پیش‌بینی قرار داده‌اند و برای این منظور از روش تحلیل خوشه‌ای داده‌های آماری ۴۱ ایستگاه سینوپتیک را به پنج منطقه اقلیمی همگون طبقه‌بندی کرده‌اند و برای محاسبه روند از مدل فصلی میانگین متحرک تجمعی ضربی استفاده کرده‌اند. مسعودیان (۱۳۸۴) در طی مطالعه روند دمای ایران از سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰ به این نتیجه رسید که دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش داشته است. روندهای

1 - Kürbis

3 - Free

۲- Martinez

4- Wang



شکل شماره ۱- پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه حوضه فلات مرکزی

$$t_r = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

قاعده آزمون: $H_0: p = 0$ $H_1: p \neq 0$

قاعده تصمیم‌گیری: $Reject: H_0 \text{ if } |t_r| > t_{\alpha/2}$

آزمون‌های ناعاملی برای سنجش مدل‌های روند

آزمون دنیلز

یکی از مهمترین آزمون‌های ناپارامتری، آزمون دنیلز^۲ است (رابطه ۲). برای محاسبه این آزمون با فراوانی بیش از ۳۰ می‌توان از معادله زیر استفاده نمود (جاوری، ۱۳۸۹، ۴۹):

$$Z = \frac{r_s - \mu_{r_s}}{\sigma_{r_s}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

قاعده آزمون

سری بدون روند است: H_0

سری دارای روند است: H_a

محاسبه روند با روش کمترین مربعات

مهمترین روش محاسبه و تحلیل روند، روش کمترین مربعات می‌باشد. در این روش معادله خط برازش طوری تشکیل می‌شود که مجموع مربعات توان دوم انحراف‌های

برای کاربرد مدل‌های گرایش‌دار اولین مرحله از انجام فرایند تحقیق، سنجش سری‌ها می‌باشد که به منظور سنجش بهنجاری سری‌ها، روش گرافیکی (نمودار توزیع نرمال) و آزمون جوینر^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربرد مدل‌های روند

بعد از سنجش داده‌ها، باید سری مورد نظر را در قالب مدل تحلیل سنجید. اگر سری قابلیت تحلیل با مدل‌های روند یا گرایش‌دار را داشته باشد می‌توان با مدل‌های روند آن را تحلیل و پیش‌بینی کرد. اگر سری بهنجار باشد برای سنجش مدل باید از آزمون‌های عاملی و اگر سری شرایط نرمال را نداشته باشد، باید برای سنجش از آزمون‌های ناعاملی استفاده کرد.

آزمون‌های عاملی برای سنجش مدل‌های روند

آزمون tr

آزمون مذکور به عنوان یکی از آزمون‌های مهم عاملی مطرح می‌شود. عدم همبستگی سری‌ها در قالب این آزمون به طریقی دلالت بر عدم روند آن‌ها دارد (جاوری، ۱۳۸۹، ۶۸).

عمودی از خط برازش شده، کمینه شود (جاوری، ۱۳۸۹، ۸۵).

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 t \quad \text{رابطه (۳)}$$

مدل‌های روند خطی منحنی

زمانی که انتظار می‌رود یک سری فراز و فرود آن از دوره‌ای به دوره دیگر عینا در پیش‌بینی سری افقی تغییر کند، مدل خطی منحنی ضرورت می‌یابد. تحت این شرایط سری مورد نظر غیر خطی است و تفاضلات اولیه آن افقی نخواهد بود. در چنین شرایطی پیش‌بینی مدل‌های روند خطی منحنی از اهمیت زیادی برخوردار است. مدل‌های مذکور عبارتند از مدل خطی، مدل درجه دو، مدل نمایی، مدل هندسی و... (جاوری، ۱۳۸۹، ۹۴-۶۸).

مهمترین مرحله در انتخاب مدل، ارزیابی دقت اندازه‌گیری^۱ است زیرا بدون اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی، انتخاب مدل عملی نیست. شاخص‌های متعددی برای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی وجود دارد (روابط ۴ و ۵). در این تحقیق به

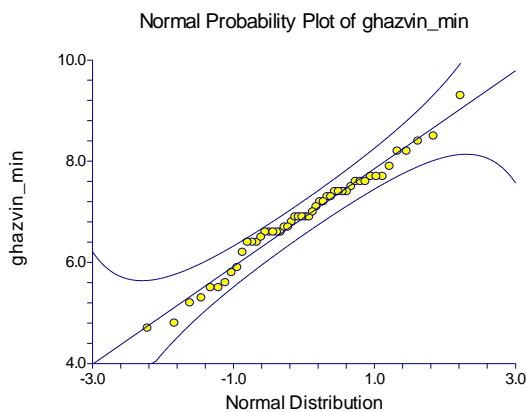
منظور انتخاب مدل پیش‌بینی روند از ریشه میانگین مربع خطاها^۲ (RMSE) که در واقع میانگین مربع خطاهاست، استفاده شده است (جاوری، ۱۳۸۹، ۲۰).

$$MSE = \frac{\sum e_i^2}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

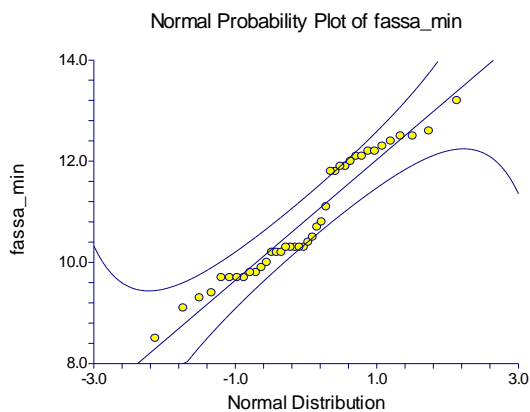
$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad \text{رابطه (۵)}$$

بحث و نتایج

به منظور بررسی مدل‌های گرایش‌دار از آزمون‌های عاملی و ناعاملی متعددی استفاده می‌شود. اولین قدم برای کاربرد آزمون‌های عاملی و ناعاملی، سنجش وضعیت بهنجاری یا نابهنجاری سری داده‌ها است. در این پژوهش به منظور سنجش وضعیت برازش دمای هر یک از ایستگاه‌ها، از آزمون جویئر و نمودار توزیع نرمال استفاده شده است که نتایج آزمون‌ها برای دمای قزوین و فسا به صورت نمونه آورده شده است که با توجه به نحوه پراکنش داده‌ها در اطراف خط نرمال، نرمال بودن دمای قزوین تأیید می‌شود.



شکل شماره ۳- نمودار توزیع نرمال دمای حداقل قزوین



شکل شماره ۲- نمودار توزیع نرمال دمای حداقل فسا

در ادامه پس از سنجش داده‌ها، باید سری مورد نظر را در قالب مدل تحلیل سنجید. اگر سری قابلیت تحلیل با مدل‌های روند یا گرایش‌دار را داشته باشد می‌توان با مدل‌های روند آن را تحلیل و پیش‌بینی کرد، در غیر اینصورت کاربرد مدل‌های روند خالی از اشکال نمی‌باشد. آزمون‌های عاملی و ناعاملی متعددی برای سنجش سری‌ها وجود دارد که در این پژوهش

با توجه به دو روش به کار برده شده به منظور سنجش بهنجاری داده‌ها، از بین ۲۸ ایستگاه مورد مطالعه، توزیع داده‌ها برای دمای ۷ ایستگاه خوانسار، برنیشابور، فسا، درگزین، اراک، بیرجند و طبس به صورت نابهنجار بدست آمده است. به عبارت دیگر حداقل دمای این ایستگاه‌ها غیر نرمال و دمای سایر ایستگاه‌ها دارای توزیع نرمال هستند.

برای ایستگاه‌هایی با دمای نرمال از آزمون پارامتری Tr و برای ایستگاه‌هایی با دمای نابهنجار از آزمون دنیلس استفاده شده است. نتایج بدست آمده برای آزمون Tr در جدول (۱) و برای آزمون دنیلس در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول شماره ۱- آزمون tr برای دمای حداقل ایستگاه‌های حوضه فلات مرکزی ایران

| نام ایستگاه (۳۰ ساله) | مقدار z | دامنه فریدن | ۱/۲۹۷ | یزد | ۱۱/۲۹۲ |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-------------|--------|
| آباده | -۱/۱۷۱ | همندآبسدرد | ۷/۷۱۸ | قزوین | ۰/۰۲۳ |
| چادگان | ۳/۸۵۱ | کاشان | ۰/۱۷۵ | اصفهان | ۱/۷۳۵ |
| همدان | ۳/۰۸۲ | سمنان | ۵/۱۶۹ | تریت حیدریه | ۴/۵۲۵ |
| نام ایستگاه (۴۰ ساله) | مقدار z | نام ایستگاه (۵۰ ساله) | مقدار z | همدان نوژه | ۰/۲۳۳ |
| ایران شهر | ۷/۱۷۶ | بم | ۸/۹۸۶ | تهران | ۵/۲۲۰ |
| بجستان | ۵/۳۰۳ | کرمان | ۷/۱۴۹ | شاهرود | ۹/۰۹۸ |
| همگین | ۱/۶۳۳ | شیراز | ۸/۵۰۳ | سبزوار | ۶/۹۶۹ |

بیشتر است. در نتیجه فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در دمای این ایستگاه‌ها رد می‌شود و با احتمال ۹۵ درصد اطمینان نتیجه گرفته می‌شود که سری دمای حداقل این ایستگاه‌ها دارای تغییرات گرایش دار یا روند هستند. مقادیر مثبت بدست آمده برای ایستگاه‌ها حاکی از وجود روند مثبت و افزایشی برای این ایستگاه‌ها است، بدین معنی که میزان دمای حداقل این ایستگاه‌ها در حال افزایش است.

نتایج آزمون tr نشان می‌دهد که برای ایستگاه‌هایی با آمار ۳۰ سال، مقدار آزمون بدست آمده برای دمای حداقل ایستگاه‌های چادگان و همدان و برای ایستگاه‌هایی با آمار ۴۰ سال برای ایستگاه‌های ایران شهر، بجستان، همندآبسدرد، سمنان و نتایج آزمون برای ایستگاه‌های ۵۰ ساله برای ایستگاه‌های بم، کرمان، شیراز، یزد، تریت حیدریه، تهران، شاهرود و سبزوار از مقادیر بحرانی ۲/۰۴۲ برای دوره ۳۰ ساله، مقدار ۲/۰۲۱ برای دوره ۴۰ ساله و مقدار ۲/۰۱ برای دوره ۵۰ ساله

جدول شماره ۲- آزمون دنیلس برای دمای حداقل ایستگاه‌های حوضه فلات مرکزی ایران

| نام ایستگاه | مقدار z |
|-------------|---------|
| درگزین | ۴/۰۵۶ |
| خوانسار | ۰/۶۴ |
| برنیشابور | -۱/۰۴ |
| فسا | -۳/۳ |
| اراک | ۰/۱۵۶ |
| بیرجند | -۰/۳۶۲ |
| طیس | ۶/۱۸ |

باشد و چون این مقدار برای ایستگاه‌های درگزین و طیس مثبت بدست آمده است، نشان می‌دهد دمای حداقل این دو ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است، اما برای ایستگاه فسا این روند به صورت منفی و نزولی بدست آمده است. اما برای سایر ایستگاه‌ها که مقادیر آزمون بدست آمده از مقدار بحرانی کمتر بوده، الگوی روندی مشاهده نشده است و

با توجه به مقادیر بدست آمده از آزمون دنیلس که در جدول (۲) آورده شده است، از بین ایستگاه‌هایی با توزیع نابهنجار، مقدار آزمون بدست آمده برای ایستگاه‌های درگزین، فسا و طیس از مقدار بحرانی ۱/۹۶ با سطح اطمینان ۹۵ درصد اطمینان بیشتر است، لذا فرض صفر مبنی بر عدم وجود تغییرات گرایش دار، رد می‌شود و نتیجه گرفته می‌شود که دمای این ایستگاه دارای تغییرات گرایش دار یا روند می-

ممکن است دمای این ایستگاه‌ها از سایر الگوها مانند الگوی فصلی، دوره ای و یا تصادفی تبعیت کنند. در ادامه به منظور انتخاب مدل مناسب برای تحلیل و پیش‌بینی روند دما از شاخص‌های دقت سنجی ریشه میانگین

مربع خطاها برای سه مدل خطی، درجه دو و نمایی استفاده می‌شود (جدول ۳). از بین سه مدل نامبرده هر کدام مقدار (RMSE) کمتری داشته باشد به عنوان مدل بهتر برای پیش‌بینی استفاده می‌شود.

جدول شماره ۳- شاخص دقت پیش‌بینی ریشه میانگین مربع خطاها برای مدل‌های روند خطی، منحنی و نمایی

| نام ایستگاه | مدل خطی | مدل درجه دو | مدل نمایی | نام ایستگاه | مدل خطی | مدل درجه دو | مدل نمایی |
|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|
| همدان | ۰/۸۲۲ | ۰/۸۱۹ | ۰/۹۰۵ | ایرانشهر | ۰/۵۱۶۸ | ۰/۵۱۶۱ | ۰/۵۱۶۵ |
| فسا | ۰/۹۰۲ | ۰/۸۱۸ | ۰/۸۹۴ | همندآبسر | ۰/۸۳۸ | ۰/۸۰۵ | ۰/۸۲۵ |
| درگزین | ۰/۸۴۹ | ۰/۸۳۶ | --- | شاهرود | ۰/۷۲۸ | ۰/۶۴۷ | ۰/۷۱ |
| چادگان | ۰/۷۷۱ | ۰/۷۱۳ | ۰/۸۰۱ | یزد | ۰/۵۴۹ | ۰/۵۳۴ | ۰/۵۶۷ |
| بم | ۰/۷۴۷ | ۰/۷۴۶۰ | ۰/۷۴۶۷ | شیراز | ۰/۸۰۵ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۱۳ |
| بجستان | ۱/۴۱ | ۱/۳۹ | ۱/۴۰۵ | طیس | ۰/۸۵۵ | ۰/۸۴۲ | ۰/۸۴۶ |
| کرمان | ۰/۶۰۳ | ۰/۵۷۴ | ۰/۵۹۶ | تهران | ۰/۹۵۴ | ۰/۹۱۸ | ۰/۹۶۱ |
| سبزوار | ۰/۹۴۹ | ۰/۸۱۵ | ۰/۹۷۲ | سمنان | ۰/۶۶۲ | ۰/۶۱۹ | ۰/۶۶۷ |
| ترت حیدریه | ۰/۵۵۶ | ۰/۵۵۰ | ۰/۵۵۵ | | | | |

با توجه به جدول (۳) که مقادیر بدست آمده شاخص دقت پیش‌بینی ریشه میانگین مربع خطاها، برای سه مدل خطی، نمایی و درجه دو نشان داده شده است، مقدار شاخص (RMSE) برای مدل درجه دو در تمامی ایستگاه‌ها دارای حد کمتری نسبت به سایر مدل‌ها است. در نتیجه مدل درجه دو به عنوان مدل مطلوب‌تر برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه دمای ایستگاه‌های رونددار حوضه فلات مرکزی ایران با استفاده از مدل درجه دو مدل‌سازی شده است (جدول ۴).

با توجه به جدول (۳) که مقادیر بدست آمده شاخص دقت پیش‌بینی ریشه میانگین مربع خطاها، برای سه مدل خطی، نمایی و درجه دو نشان داده شده است، مقدار شاخص (RMSE) برای مدل درجه دو در تمامی ایستگاه‌ها دارای حد کمتری نسبت به سایر مدل‌ها است. در نتیجه مدل درجه دو به عنوان مدل مطلوب‌تر برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه دمای ایستگاه‌های رونددار حوضه فلات مرکزی ایران با استفاده از مدل درجه دو مدل‌سازی شده است (جدول ۴).

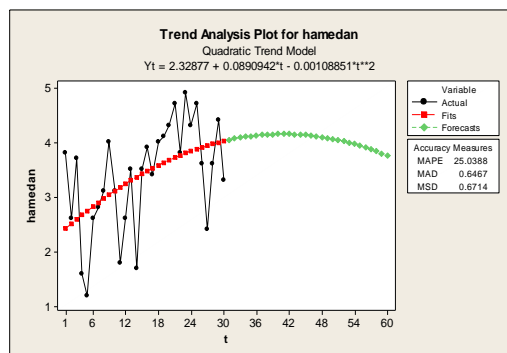
جدول شماره ۴- مدل درجه دو ایستگاه‌های رونددار حوضه فلات مرکزی

| نام ایستگاه | مدل درجه دو | نام ایستگاه | مدل درجه دو |
|-------------|--|-------------|---|
| همدان | $Y_t = 2.32877 + 0.0890942t - 0.0010885t^2$ | ایرانشهر | $Y_t = 18.3958 + 0.0430025t + 0.000222425t^2$ |
| فسا | $Y_t = 13.1187 - 0.197239t + 0.00319284t^2$ | همندآبسر | $Y_t = 2.77989 + 0.0106525t + 0.00195887t^2$ |
| درگزین | $Y_t = 2.01297 + 0.0106548t - 0.00126412t^2$ | شاهرود | $Y_t = 7.80606 - 0.0251389t + 0.00179264t^2$ |
| چادگان | $Y_t = 1.63768 - 0.0713109t + 0.00439228t^2$ | یزد | $Y_t = 10.5816 + 0.0038623t + 0.00120757t^2$ |
| بم | $Y_t = 15.1227 + 0.055467t + 0.00022936t^2$ | شیراز | $Y_t = 7.86079 + 0.0937272t - 0.000797852t^2$ |
| بجستان | $Y_t = 7.13370 + 0.0581106t + 0.00112923t^2$ | طیس | $Y_t = 11.8956 + 0.0742402t + 0.000793587t^2$ |
| کرمان | $Y_t = 6.00383 - 0.00763683t + 0.00099582t^2$ | تهران | $Y_t = 10.1421 + 0.121495t - 0.00140502t^2$ |
| سبزوار | $Y_t = 7.87320 + 0.199878t - 0.00262097t^2$ | سمنان | $Y_t = 10.9723 + 0.128635t - 0.00196346t^2$ |
| ترت حیدریه | $Y_t = 6.85967 + 0.00278290t + 0.000439560t^2$ | | |

برای پیش‌بینی مدل درجه دو می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (جاوری، ۱۳۸۹، ۹۶).

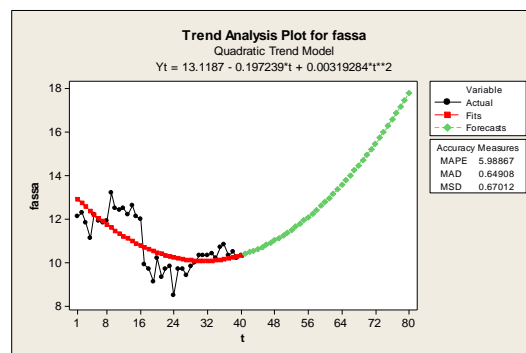
برای ادامه نتایج پیش‌بینی روند دماهای حداقل ایستگاه‌های رونددار حوضه فلات مرکزی ارائه شده است که به عنوان نمونه می‌توان به ایستگاه‌های فسا و همدان اشاره نمود (شکل ۴ و ۵).

$$\hat{Y}_{t+p} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \times (t+p) + \hat{\beta}_2 \times (t+p)^2 \quad (۶)$$



شکل شماره ۵- نمودار تحلیل و پیش‌بینی روند دمای کمینه همدان

بالاتر از ۳۰ سال، مورد بررسی قرار گرفتند. دمای سال‌های مفقود ایستگاه‌ها با استفاده از روش کمترین مربعات مورد بازسازی قرار گرفت. در ادامه به منظور سنجش سری‌ها، وضعیت بهنجاری یا ناهنجاری دمای ایستگاه‌ها با استفاده از دو روش آزمون جویینر و نمودار توزیع نرمال مورد سنجش قرار گرفت که از بین ۲۸ ایستگاه مورد مطالعه، دمای کمینه ۷ ایستگاه دارای توزیع ناهنجار بودند که دمای این ایستگاه‌ها با توزیع ناهنجار، با آزمون ناعاملی دنیلس و دمای سالانه بقیه ایستگاه‌ها با آزمون عاملی t_r مورد سنجش قرار گرفتند. در این پژوهش با توجه به ۲ آزمون به کار برده شده (t_r و دنیلس)، از بین ۲۸ ایستگاه، کمینه دمای ایستگاه‌های چادگان، همدان، ایرانشهر، همدان آبسرد، بجنستان، سمنان، بم، کرمان، شیراز، یزد، تربت حیدریه، تهران، شاهرود، سبزوار، درگزین، فسا و طبس دارای الگوی روند هستند که میل تغییرات روند کمینه دمای ایستگاه فسا به صورت نزولی بدست آمده است. میل تغییرات گرایش‌دار در سایر ایستگاه‌های رونددار مورد مطالعه منطقه به صورت مثبت یا صعودی نشان داده شده است. بدین معنی که میزان کمینه دما در این نواحی در حال افزایش و گرم‌تر شدن است. همچنین با استفاده از شاخص دقت پیش‌بینی ریشه میانگین مربع خطاها، مدل درجه دو به عنوان مدل مطلوب‌تر و مناسب‌تر برای پیش‌بینی روند استفاده شد که نتایج پیش‌بینی‌های روند بدست آمده با استفاده از مدل درجه دو برای ایستگاه‌های گرایش‌دار حوضه فلات مرکزی ایران نشان داد که روند کمینه دمای ایستگاه‌های همدان، درگزین، سبزوار، تهران و سمنان به صورت روند نزولی و کاهشی بوده اما برای سایر



شکل شماره ۴- نمودار تحلیل و پیش‌بینی روند دمای کمینه فسا

با توجه به پیش‌بینی‌های روند بدست آمده با استفاده از مدل درجه دو برای ایستگاه‌های رونددار حوضه فلات مرکزی ایران مشاهده می‌شود که پیش‌بینی‌ها برای روند دمای کمینه ایستگاه‌های همدان از دوره ۴۲ به بعد (از سال دوازدهم پیش‌بینی)، درگزین از دوره ۴۳ به بعد (از سال سوم پیش‌بینی)، سبزوار از دوره ۳۹ به بعد، تهران از دوره ۴۴ به بعد و سمنان از دوره ۳۴ به بعد دارای سیر نزولی و کاهشی است. اما برای سایر ایستگاه‌ها، پیش‌بینی‌های روند بدست آمده حاکی از ادامه روند صعودی دمای کمینه در این ایستگاه‌ها می‌باشد. در رابطه با ایستگاه فسا که تحلیل روند حاکی از وجود روند نزولی در طی دوره مورد مطالعه در این ایستگاه است، مشاهده می‌شود که دمای کمینه در این ایستگاه تا دوره ۳۱ مورد مطالعه دارای روند نزولی بوده است اما از دوره ۳۲ به بعد روند دمای کمینه در این ایستگاه به صورت صعودی درآمده و در طی دوره پیش‌بینی نیز روند صعودی دما ادامه داشته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی و کاربرد مدل‌های سنجش و پیش‌بینی تغییرات گرایش‌دار ارزیابی عناصر آب و هوایی در قالب مدل‌های گرایش‌دار از سه منظر سنجش، تحلیل و پیش‌بینی سری‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. برای انتخاب مدل‌های سنجش و تحلیل سری‌ها جهت پیش‌بینی تغییرات گرایش‌دار سری‌ها، از آزمون‌های آماری عاملی و ناعاملی استفاده شده است. در این تحقیق حداقل دمای ۲۸ ایستگاه اقلیم‌شناسی و سینوپتیک حوضه فلات مرکزی ایران با طول دوره آماری

۹. موحدی، سعید و محمدرضا کاویانی و ابوالفضل مسعودیان، ۱۳۸۴، تغییرات زمانی و مکانی دمای مارون، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد ۱۸ شماره ۱، صص ۲۸-۱۳.

۱۰. نیرومند، حسین و ابوالقاسم بزرگ نیا، ۱۳۸۶، سری های زمانی، چاپ سوم، چاپ عمران و انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

11. Klein tank, A. M. G. and G. P. KO`Nnen, 2003, Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe 1946-99, Royal Netherlands Meteorological Institute, pp.3665-3680.

12. Dian J. Gaffen and Rebecca J. Ross, 1998, Climatology and Trends of U.S. Surface Humidity and Temperature, Air Resources Laboratory, pp.818-828.

13. Free, M., 2011, The Seasonal Structure of Temperature Trends in the Tropical Lower Stratosphere, Journal of Climate, No 24, pp.859-866.

14. Guo, Y. and Yihui D., 2012, Changes in the observed trends in extreme temperatures over China around 1990, Journal of Climate, No 22, pp. 1037-1051.

15. Kürbis, K. and Mudelsee, M. and Tetzlaff, G. and Brázdil, R., 2009, Trends in extremes of temperature, dew point, and precipitation from long instrumental series from central Europe, Theor Appl Climatol, pp.187-195.

16. Peterson, and Wallis, 2005, Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, Journal of Geophysical Reserch, pp.1-12.

17. Zhang, X. and Lucie, A. and Vincent, W.D. Hogg and Ain, N., 2000, Temperature and Precipitation Trends in Canada During the 20th Century, Climate Research Branch, Meteorological Service of Canada, pp.395-417.

18. zheng, X., Reid E. Basher and Craigs. Thompson, 1996, Trend Detection in Regional-Mean Temperature Series: Maximum, Minimum, Mean, Diurnal Range, and SST, National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, New Zealand, pp 317-325.

19. zheng, X. and Reid e. basher, 1998, Structural Time Series Models and Trend Detection in Global and Regional Temperature Series, National Institute of

ایستگاه‌ها، پیش‌بینی‌های روند بدست آمده حاکی از ادامه روند صعودی دمای کمینه در این ایستگاه‌ها می‌باشد.

پیشنهادات

با توجه به اهمیت تأثیرات و تغییرات اقلیم بر روی شرایط محیطی و زیستی، پیشنهاد می‌شود با همکاری محققان سایر رشته‌ها مطالعات جامع و دقیقی بر روی تأثیراتی که افزایش و کاهش روند عناصر اقلیمی بر روی شرایط زیستی و زندگی سایر موجودات و گونه‌ها و منابع به جای می‌گذارند صورت گیرد.

منابع

۱. جاوری، مجید، ۱۳۸۸، شیوه تجزیه و تحلیل کمی در اقلیم‌شناسی (با تأکید بر مدل‌های روند)، چاپ اول، انتشارات پیام‌رسان، تهران.

۲. جاوری، مجید، ۱۳۸۹، شیوه تجزیه و تحلیل کمی در اقلیم‌شناسی (با تأکید بر مدل‌های فصلی)، چاپ اول، انتشارات پیام‌رسان، تهران.

۳. جهانبخش، سعید و سیما ترابی، ۱۳۸۳، بررسی و پیش‌بینی دما و بارش در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، صص ۱۲۵-۱۰۴.

۴. صادقی عطاآبادی، فریبا، ۱۳۹۰، بررسی و مدل‌سازی روند بارش و اثرات آن در پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان.

۵. عساکره، حسین، ۱۳۸۰، کاربرد رگرسیون خطی در تحلیل روند دمای سالانه، مجله پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۷، صص ۲۶-۳.

۶. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۱، آب و هوای ایران، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

۷. مسعودیان، ابوالفضل، ۱۳۸۹، آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.

۸. مسعودیان، ابوالفضل، ۱۳۸۴، بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، انتشارات پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۴۵-۲۹.

pp.2347-2357.
<http://www.irimo.ir>

Water and Atmospheric Research,
Wellington, New Zealand, October,