

بررسی و تحلیل روند حداکثر دما در حوزه آبخیز دریاچه نمک

سادات هاشمی نسب^{۱*}، هوشمند عطایی^۲، فریبا صادقی عطاآبادی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۷

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۲

چکیده

دما از عناصر اقلیمی است که طی زمان تغییر نموده و با تغییر خود، دیگر فراسنج‌ها را متأثر می‌کند. بنابراین می‌توان آن را در زمره تأثیرگذارترین فراسنج اقلیمی محسوب نمود. هدف از این پژوهش، تجزیه و تحلیل روند حداکثر دمای سالانه و فصلی حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دهه‌های گذشته است. بدین سان از داده‌های ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۶۹-۲۰۰۸ استفاده شده است. ابتدا سری‌ها برای تعیین نرمال یا غیرنرمال بودن با آزمون جویینر سنجیده، سپس همگنی آن‌ها توسط آزمون توالی بررسی شد. برای انتخاب مدل‌های سنجش و تحلیل روند سری‌ها، از آزمون‌های آماری عاملی Tr ، ناعاملی من-کندال و برای پیش‌بینی تغییرات گرایش‌دار از روش هولت و کمترین مربعات استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه بوده است. به این ترتیب که در بازه زمانی، سالانه ۸ ایستگاه (تاکستان، دوزاج، تفرش، شمس‌آباد، قزوین، دامنه، تهران و فرودگاه همدان) از روند افزایشی پیروی می‌کنند. افزایش حداکثر دما طی دوره آماری در دامنه، شدیدتر از سایر نقاط نمود یافته است.

کلمات کلیدی: مدل‌های گرایش‌دار، آزمون پارامتری، آزمون ناپارامتری، شیوه هولت، روند، حوزه آبخیز دریاچه نمک.

۱. مدرس دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان و دانشجوی دکتری دانشگاه اصفهان / Email: sadat.hasheminasab@yahoo.com

۲. دانشیار دانشگاه پیام نور اصفهان

۳. مدرس دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم نظر بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران را به خود جلب کرده است. دلیل این امر تأثیر بسیار زیادی است که این پدیده بر حیات روی کره زمین دارد. تغییر اقلیم به طور بالقوه، ذخایر آب شرب، تولید غذا و توسعه پایدار در بسیاری از بخش‌های جهان را با مشکل روبه‌رو می‌کند (IPCC, 2007). به همین دلیل کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)، اطلاعات درباره تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و محلی را ضروری می‌داند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که میانگین دمای کره زمین حدود 0.18 ± 0.74 درجه سانتی‌گراد طی قرن بیستم افزایش یافته است و میزان افزایش دمای قرن بیست و یکم $1/8$ تا 4 درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (برهان^۱، ۲۰۰۶). اما نکته قابل توجه این است که حساسیت مناطق مختلف در برابر تغییر اقلیم به یک اندازه نیست، به طوری که مناطق کوهستانی و مرتفع نسبت به مناطق دیگر در مقابل تغییر اقلیم حساس‌ترند (بینیستون^۲ و همکاران، ۲۰۰۴؛ دیاز و بردلی^۳، ۱۹۹۷). تاکنون روش‌های آماری متعددی برای تحلیل روند سری‌های اقلیمی ارائه شده‌اند که این روش‌ها در دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی شده‌اند (تاکوچی و ایشیداری^۴، ۲۰۰۳، ۱۴۵). درباره سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آن‌ها قابل برآزش نیست، روش‌های پارامتری با نوعی محدودیت مواجه هستند، درحالی‌که در روش‌های ناپارامتری، اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است، به گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری سری زمانی بوده و به ویژه سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند، مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند (بیهرات و مهمتیک^۵، ۲۰۰۳، ۲۴۸). آزمون‌های آماری یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای تحلیل روند در سری‌های زمانی است که در رابطه با کاربرد این روش‌ها درباره اقلیم و تغییرات آن مطالعات متعددی صورت گرفته که بدین شرح است:

کوتیل و ماهراس^۶ (۱۹۹۸) به مطالعه روند دما در مدیترانه پرداخته و نشان دادند که همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های گردشی و دمای حوضه مدیترانه وجود دارد. موگری و نانی^۷ (۱۹۹۸) در بررسی تغییرات دمای ایتالیا روند روند افزایشی دمای سالانه و فصلی ایتالیا را در طی ۲۰ سال گذشته گزارش دادند. برونٹی^۸ و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که طی دوره آماری ۱۸۶۵ تا ۱۹۹۶، حداقل و حداکثر دمای روزانه در ایتالیا روند مثبت داشته است. یو و هاشینو^۹ (۲۰۰۳) روند بلند مدت دمای سالانه، فصلی و ماهانه ژاپن را مورد ارزیابی قرار داده و به این نتایج دست یافتند که دمای سالانه ژاپن از ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۶، بین 0.51 تا 2.77 درجه افزایش یافته است. تورکز و سامر^{۱۰} (۲۰۰۴) ضمن بررسی الگوهای زمانی، مکانی و تغییرپذیری دامنه دمای روزانه ترکیه نشان دادند که دماهای شبانه به طور معنی‌داری در اکثر مناطق شهری ترکیه افزایش یافته است. لیس و جولی^{۱۱} (۲۰۰۹) روند فرین‌های اقلیمی را در استرالیا بررسی کردند. نتایج نشان داد که فرین‌های دما (به ویژه موج‌های گرم و تعداد شب‌های گرم)، دوره‌های طولانی خشک (که طی سال پراکنده شده‌اند) و بارش‌های فرین به طور معنی‌داری افزایش یافته است. فیسچر^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه روندهای دما و بارش در حوضه رودخانه ژوجیانگ^{۱۳} در جنوب عنوان نمودند که دمای سالانه و دوره گرم روند معنی‌دار مثبت دارد، درحالی‌که سری‌های بارش و دوره‌های سرد روندهای منفی دارند. سانتوس^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۰) روند شاخص‌های فرین دما و بارش روزانه را در ایالت یوتای امریکا^{۱۵} طی دوره آماری ۱۹۳۰-۲۰۰۶ به کمک داده‌های ۲۸ ایستگاه هواشناسی بررسی کردند. آن‌ها ۲۰ شاخص فرین دما و بارش را با استفاده از نرم‌افزار

6. Kutiel & P.Maheras
7. Maugeri & Nanni
8. Brunetti
9. Yue & Hashino
10. Turkes & Sumer
11. Lisa & Julie
12. Fischer
13. Zhujiang
14. Santos
15. Utah

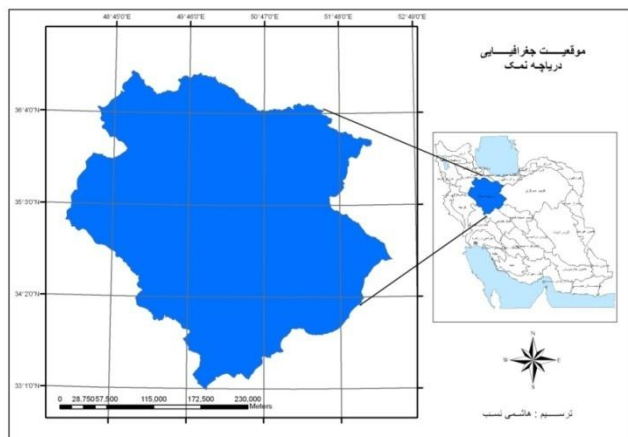
1. Brohan
2. Beniston
3. Diaz & Bradley
4. Takeuchi & Ishidaira
5. Bihrat & Mehmetcik

زمستان به ۰/۸ تا ۰/۹ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. مسعودیان (۱۳۸۳) روند دمای ایران را در نیم سده گذشته بررسی کرده است. نتایج وی نشان داد که دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش یافته است. روندهای افزایش دما عمدتاً در سرزمین‌های گرم و کم ارتفاع و روندهای کاهش عمده‌تر در رشته‌کوه‌ها دیده می‌شوند. در یک مطالعه دیگر، وی روند بارش ایران در نیم سده گذشته را بررسی کرده است. نتایج وی در این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی، بارش ایران طی نیم سده گذشته حدود نیم میلی‌متر در سال افزایش داشته است. اگر میانگین بارش ایران را حدود ۲۵۰ میلی‌متر در نظر بگیریم، چنین معلوم است که بارش کشور در طی نیم سده گذشته، حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است. حجام و همکاران (۱۳۸۷) روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ۴۸ ایستگاه باران‌سنجی طی بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۹ در حوضه مرکزی ایران به کمک دو روش ناپارامتری من-کندال^۶ و برآورد شیب سن^۷ تحلیل کردند. نتایج نشان داد هنگامی که تعداد داده‌های صفر (عدم بارش) زیاد است، کارایی روش برآورد شیب سن بهتر از روش من-کندال است. در هر دو روش، روند نزولی و معنی‌داری در برخی از سری‌های زمانی مشاهده شد. موحدی و همکاران (۱۳۸۴)، تغییرات زمانی-مکانی دمای مارون را بررسی و نتیجه گرفتند طی نیم سده گذشته، دمای ماه‌های گرم سال از بخش‌های گرم حوضه، روند افزایشی داشته و افزایش دمای شبانه بیش از دمای روزانه بوده است. قانلی و منتظری (۱۳۹۰) به‌منظور شناسایی روند ماهانه دمای کمینه، ایران طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۸ به این نتایج دست یافتند که دمای کمینه ایران در طی دوره آماری مذکور ۱۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد بوده که در ماه ژانویه، فوریه و مارس دمای کمینه، تغییر معناداری نداشته و در سایر ماه‌ها افزایش معناداری داشته است. در واقع درخصوص تغییرات اقلیم در غالب زمان می‌توان اذعان داشت که این قالب دلالت بر تغییرات روند، فصلی، دوره‌ای و تصادفی دارد. مطالعه تحلیل روند، امکان تحلیل تغییرات

RCLimindex 1.0 برای منطقه مورد مطالعه تجزیه و تحلیل کردند. نتایج حاصل از تحلیل شاخص‌های فرین دما و بارش نشان داد که دمای هوا طی قرن اخیر افزایش یافته است، درحالی‌که روند بارش به لحاظ آماری کمتر معنی‌دار است. برونسلی^۱ و همکاران (۲۰۱۰) روند فصلی دما و بارش را در ایالت کانساس آمریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که دما در همه فصل‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش دما مربوط به فصل تابستان و پاییز است که برابر با ۰/۴ سانتی‌گراد در هر سال می‌باشد. روند بارش نشان داد که در زمستان، اندکی افزایش و در تابستان و پاییز کاهش یافته است. فان^۲ و همکاران (۲۰۱۰) روند مکانی و زمانی دما را در جنوب غرب چین، طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۴ مطالعه کردند. آن‌ها از داده‌های میانگین دمای شبانه‌روزی، دمای روزانه، دمای شبانه و دمای روزانه ۱۱۹ ایستگاه هواشناسی در جنوب غرب چین استفاده کردند و به کمک روند خطی نشان دادند که دمای سالانه، ۰/۳ درجه سانتی‌گراد، دمای تابستان و زمستان به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش یافته است. همچنین روند افزایش دمای شبانه نسبت به دمای روزانه به‌ویژه در فصل زمستان بیشتر است. کیوتسیوکیس^۳ و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات فرین‌های اقلیمی را در یونان طی بازه زمانی ۱۹۵۵-۲۰۰۲ بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که زمان رخداد بیشتر بارش‌ها تغییر یافته است. بزرگی و توزیع مکانی بارش‌های فرین تغییر یافته است. دماهای روزانه به‌ویژه در تابستان روند صعودی نشان می‌دهند. همچنین توزیع دماهای شبانه و حداقل تغییر پیدا کرده است. مارتینز^۴ و همکاران (۲۰۱۰) روند دمای شبانه و روزانه را به کمک داده‌های ۳۷ ایستگاه در کاتالونیا^۵ اسپانیا طی دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای سالانه ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در هر دهه (به‌ویژه در بهار و تابستان) افزایش یافته است که در فصل

1. Brunsell
2. Fan
3. Kiotsioukis
4. Martinez
5. Catalonia

6. Mann Kendall
7. Sen's Estimator Slope



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه دریاچه نمک

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، روش تحقیق، آماری، توصیفی، تحلیلی می‌باشد. لذا به منظور بررسی، تغییرات و شناسایی روند از فراسنج حداکثر دمای سالانه و فصلی ۱۴ ایستگاه هواشناسی (قزوین، تهران، کاشان، دامنه، خوانسار، شمس‌آباد، شاهزند، فرودگاه همدان، همدان نوژه، تاکستان، اراک، تفرش، دوزاج و درگزین) واقع در محدوده حوضه دریاچه نمک طی دوره آماری ۱۹۶۹-۲۰۰۸ استفاده شده است (شکل ۲). در قسمت‌هایی از محدوده مورد مطالعه ایستگاه‌های مورد نظر داده‌های کافی نداشته، لذا برای ارزیابی، سری‌ها به دو دسته ۳۰ و ۴۰ ساله تقسیم شدند.

در ابتدا برای ارزیابی همگنی و تصادفی بودن داده، آماره‌ها به محیط نرم‌افزار SPSS منتقل و پس از اطمینان از همگنی داده با به‌کارگیری آزمون توالی، همگنی داده‌ها تأیید شد. به منظور سنجش سری‌ها از لحاظ نرمال یا غیر نرمال بودن آن‌ها از آزمون جونیور استفاده شده است. پس از آنکه مشخص شد که کدام یک از ایستگاه‌ها توزیع نرمال یا غیر نرمال داشته، برای شناسایی و تحلیل تغییرات، سری‌های با توزیع غیر نرمال با روش ناپارامتری من - کندال و سری‌های با توزیع نرمال با آزمون پارامتری t مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن، سری‌های با تغییرات گرایش‌دار با روش هولت^۲ و کمترین مربعات پیش‌بینی شدند.

فراسنج‌های مختلف اقلیمی را در قالب‌های الگوهای بلندمدت ارائه می‌دهد. لذا طی دهه اخیر یکی از مقوله‌های تحقیقاتی جالب توجه محافل علمی، شناسایی رفتار هریک از فراسنج‌های اقلیمی در سطوح مختلف ملی، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی است. بنابراین اهمیت و ارزش این پژوهش در بررسی تغییرات زمانی و مکانی فراسنج حداکثر دما با استفاده از روش‌های آماری است. از آنجا که تغییرات ناگهانی در هریک از فراسنج‌های اقلیمی قالب بحران اقلیمی را مطرح می‌کند. لذا اهمیت و ارزش این پژوهش در بررسی تغییرات زمانی و مکانی فراسنج حداکثر دما با استفاده از روش‌های آماری است، نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت تصمیم‌گیری مدیران بخش‌های مختلف مفید و مؤثر واقع شود. هدف از این پژوهش، بررسی و ارزیابی تغییرات فراسنج حداکثر دما و شناسایی روند در حوزه آبخیز دریاچه نمک است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این حوضه بین ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه تا ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه واقع شده و هفت استان را که عبارت‌اند از استان‌های تهران، مرکزی، قم، قزوین، زنجان، همدان و بخش بسیار کوچکی از استان مازندران را پوشش داده است. شهرهای تهران، کرج، ورامین، قزوین، تاکستان، خرمدره، ابهر، همدان، درگزین، ساوه، قم، تفرش، آشتیان، کاشان، اراک، شمس‌آباد، گلپایگان و خوانسار در محدوده این حوضه قرار دارند. حوضه دریاچه نمک در تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور، تحت عنوان حوضه هفتم مطرح شده که از شمال به دامنه‌های کوهستانی البرز، از غرب و جنوب به دامنه‌های زاگرس و از سمت شرق به کویر کاشان محدود است (شکل ۱). از اختصاصات مهم حوزه آبخیز دریاچه نمک، غلبه اندک بوم‌سازگان‌های دشتی بر کوهستانی است، به نحوی که افزون بر ۴۶/۳ درصد حوضه (۴۲۹۷۹ کیلومتر مربع) را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهند.

1. Joiner

2. Linear Exponential Smoothing Or Holt.S Two-Parameter Method

میزان تغییر یا روند از رابطه زیر استفاده می شود (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۹):

$$T = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (2)$$

T آماره من - کندال و P مجموع تعداد رتبه های بزرگ تر از ردیف n_i که بعد از آن قرار می گیرند و از رابطه زیر به دست می آید:

$$p = \sum_{i=1}^{N-1} ni \quad (3)$$

برای سنجش معنی دار بودن آماره T از رابطه زیر استفاده می شود:

$$(T)_i = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (4)$$

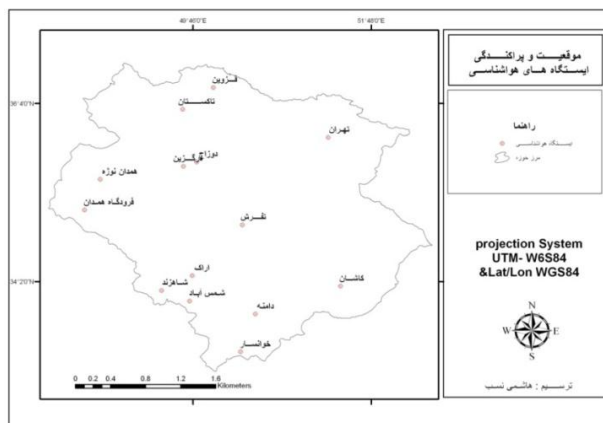
که در اینجا tg برابر با مقدار بحرانی توزیع نرمال استاندارد (Z) می باشد که بر اساس احتمال ۹۵ درصد، برابر ۱/۹۶ است. در صورت اعمال این مقدار، $(T)_i$ در این تحقیق برابر ± 0.19 می شود. حال با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده اگر $(T)_i > T$ یعنی $(T)_i > 0.19$ باشد، هیچ گونه روند مهمی در سری ها مشاهده نمی شود و سری ها تصادفی هستند و اگر $(T)_i < T$ یعنی $(T)_i < -0.19$ شد، روند منفی در سری ها و اگر $(T)_i > T$ یعنی $(T)_i > 0.19$ باشد، روند مثبت در سری ها غالب خواهد بود

برای شناسایی روندهای جزئی و کوتاه مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری های زمانی از نمودار سری زمانی بر حسب مقادیر $u(t)$ و $\dot{u}(t)$ استفاده می شود. برای ترسیم نمودار سری زمانی مقادیر متوالی، آماره های $u(t)$ و $\dot{u}(t)$ با استفاده از آزمون من - کندال محاسبه شد. مراحل اجرای این آزمون عبارت اند از:

۱. داده ها به ترتیب وقوع ردیف می شوند و ترتیب زمانی داده ها را n در نظر می گیریم.
۲. داده ها رتبه بندی می شوند که برای این منظور از آماره T استفاده می شود.
۳. امید ریاضی E_i ، واریانس V_i و شاخص من - کندال U_i بر اساس رابطه های زیر محاسبه می شوند:

$$E_i = ni(ni - 1) / 4 \quad (5)$$

$$V_i = ni(ni - 1)(2ni + 5) / 72 \quad (6)$$



شکل (۲): موقعیت و پراکندگی ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

- آزمون Tr

آزمون مذکور به عنوان یکی از آزمون های مهم عاملی مطرح می شود. این آزمون با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون^۱ مورد استفاده قرار می گیرد. عدم همبستگی سری ها در قالب این آزمون به طریقی دلالت بر عدم روند آنها دارد. مقدار آماره آزمون مذکور را می توان با استفاده از رابطه زیر به دست می آید.

$$Tr = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r}} \quad (1)$$

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

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

- آزمون ناپارامتری من - کندال

این آزمون برای بررسی عدم وجود روند در مقابل وجود روند در سری های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می گیرد (من^۲، ۱۹۴۵؛ کندال^۳، ۱۹۷۵). مراحل انجام این آزمون بدین شرح است:

ابتدا آزمون تصادفی بودن داده ها برای وجود یا عدم وجود هر گونه روند در داده ها انجام شد. برای انجام این آزمون، ابتدا سری های آماری رتبه بندی می شوند و برای

1. Pearson
2. Mann
3. Kendall

شکل هموارسازی

$$U_i = (\sum ti - Ei) / \sqrt{V_i} \quad (7)$$

برای بررسی تغییرات باید شاخص U' نیز محاسبه شود. مراحل محاسبه U' بدین شرح است:

۱. داده‌ها رتبه بندی می‌شوند که برای این منظور از آماره T' (نسبت رتبه I به رتبه‌های مابعد) استفاده می‌شود.

۲. امید ریاضی E_i'، واریانس V_i' و شاخص U_i' از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$Ei' = [N - (ni - 1)](N - ni) / 4 \quad (8)$$

$$(9)$$

$$Vi' = [N - (ni - 1)](N - ni)[2(N - (ni - 1))] + 5/72$$

$$Ui' = -(\sum ti' - Ei') / \sqrt{Vi'} \quad (10)$$

در این روش، مقادیر متوالی از مقدار u(i) و u'(i) حاصل از آزمون من-کنندال به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود. محل تلاقی شاخص U و U' با محدوده ۹۵ درصد اطمینان، نشان‌دهنده تغییرات سری زمانی بوده و رفتار U بعد از محل تلاقی وضعیت روند (کاهشی یا افزایشی) سری را نشان می‌دهد. اگر مقادیر u(i) و u'(i) از منحنی‌ها چندین بار روی هم قرار بگیرند، روند یا تغییری وجود نخواهد داشت، ولی در جایی که همدیگر را قطع می‌کنند، منحنی‌ها محل شروع روند یا تغییرات را به صورت تقریبی به نمایش می‌گذارند. اگر منحنی‌ها همدیگر را در داخل محدوده ۱/۹۶ ± قطع کنند، نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند، بیانگر وجود روند در سری زمانی است. عدم تلاقی دو شاخص معرف عدم روند سری می‌باشد (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

هموارسازی نمایی خطی به شیوه هولت

در شیوه هولت، شیب و روند مستقیماً برای هر مرحله با ثوابت متفاوت، هموارسازی می‌شوند. با شیوه هولت می‌توان سری دارای روند و تغییرات فصلی را نیز هموارسازی و پیش‌بینی کرد.

$$\hat{T}_t(t) = (1 - \alpha) \times \hat{Y}_t(t - 1) + \alpha Y_t \quad (11)$$

شکل پیش‌بینی مدل

$$\hat{Y}_{t+p} = \hat{T}_t(t) + p \times \hat{\beta}_1(t) \quad (12)$$

با توجه به مدل مذکور، باید سری‌های مورد بررسی با ضرایب مختلف آلفا (α) مورد سنجش قرار گیرند و بهترین مدل برای سری را با استفاده از شاخص‌های دقت‌سنجی مخصوصاً با ضریب نابرابری تایل انتخاب، بررسی و پیش‌بینی نمود.

محاسبه روند با روش کمترین مربعات

مهم‌ترین روش محاسبه و تحلیل روند، روش کمترین مربعات است. در این روش، معادله خط برازش طوری تشکیل می‌شود که مجموع مربعات توان دوم انحراف‌های عمودی از خط برازش شده، حداقل شود. برآورد خط برازش شده را با استفاده از رابطه زیر می‌توان به دست آورد:

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 t \quad (13)$$

مقدار به دست آمده از رابطه بالا را می‌توان به عنوان سری پیش‌بینی در نظر گرفت. حاصل سری اولیه از سری پیش‌بینی، خطا یا مانده‌های پیش‌بینی است. برای محاسبه روش مذکور باید مراحل زیر را انجام داد:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \quad (14)$$

$$\hat{Y}_t = \hat{T}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 t \quad (15)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \frac{n+1}{2} \hat{\beta}_1 \quad (16)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{12 \times SS_{ty}}{n(n^2 - 1)} \quad (17)$$

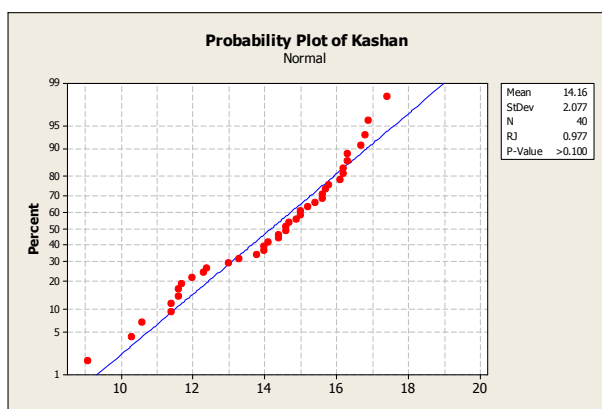
$$SS_{ty} = \sum_{i=1}^n ty - \frac{n-1}{2} \sum_{i=1}^n y \quad (18)$$

غیرنرمال) آن‌ها مشخص شده که سری‌های سالانه و پاییز تهران و همدان نوژه، سالانه، زمستان، تابستان و پاییز فرودگاه همدان، پاییز اراک، بهار و پاییز تفرش، بهار و پاییز شمس‌آباد و شاهزند، تابستان و پاییز قزوین، پاییز درگزین و سالانه و زمستان خوانسار دارای توزیع نرمال بوده، به طوری که مقادیر P-Value داده‌های ایستگاه‌های با توزیع غیرنرمال (ناهنجار) مقادیر کمتر ($P\text{-Value} < 0.010$) و ایستگاه‌های با توزیع بهنجار (نرمال) مقدار بیشتر ($P\text{-Value} > 0.100$) را نشان می‌دهند (شکل ۶-۳).

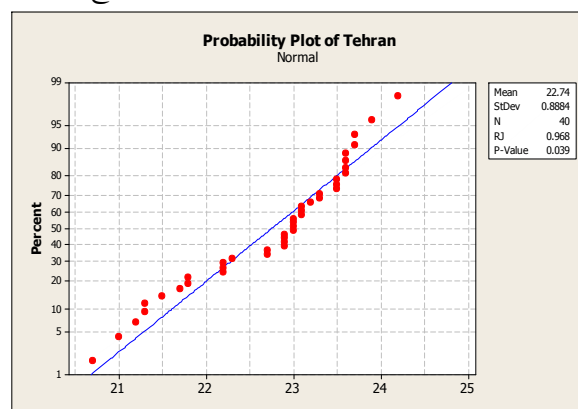
$$SS_{II} = \frac{n(n^2 - 1)}{12} \quad (19)$$

بحث

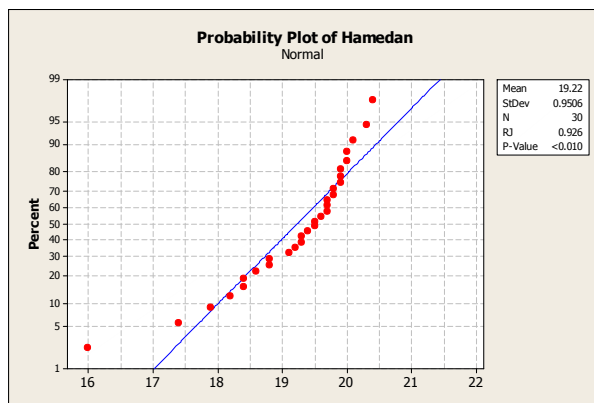
دما شاخص‌ترین فراسنج اقلیمی برای بررسی و ارزیابی گرمایش جهانی است و از مشهورترین راه‌های ارزیابی آن، شناسایی و تحلیل روند سری‌هاست. در ابتدا به منظور بررسی روند دمای حداکثر ایران، وضعیت توزیع دمای هریک از ایستگاه‌ها با استفاده از آزمون جویئر مورد بررسی قرار گرفته است. پس از سنجش داده‌ها از نظر توزیع (نرمال و



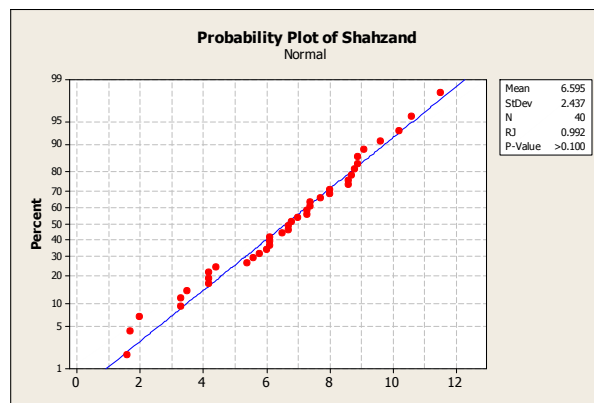
شکل (۴): نمودار توزیع نرمال با آزمون جویئر (تهران)



شکل (۳): نمودار توزیع نرمال با آزمون جویئر (کاشان)



شکل (۶): نمودار توزیع نرمال با آزمون جویئر (شاهزند)



شکل (۵): نمودار توزیع نرمال با آزمون جویئر (فرودگاه همدان)

است. براساس آزمون T_r ایستگاه‌های تاکستان، دوزاج، تفرش، شمس‌آباد، قزوین و دامنه به ترتیب با مقادیر $۳/۵۶$ ، $۲/۹$ ، $۴/۴۳$ ، $۳/۰۲$ ، $۲/۶۲$ ، $۶/۱۳$ با ضریب حد معیار $۲/۰۲۱$ با روند افزایشی روبه رو بوده‌اند. تهران و فرودگاه همدان بر اساس آزمون T من کندال با مقادیر $۰/۳۸$ و $۰/۳۹$ با ضریب حد معیار $۰/۲۱$ روند افزایشی را نشان می‌دهند. در فصل زمستان، ۶ ایستگاه تهران، تاکستان، تفرش، شمس‌آباد، قزوین و دامنه با

در ادامه پس از مشخص شدن وضعیت بهنجاری یا ناهنجاری سری داده‌ها، از آزمون عاملی t_r برای ایستگاه‌هایی با توزیع دمایی نرمال و از آزمون ناعاملی من - کندال برای ایستگاه‌هایی با توزیع دمایی ناهنجار استفاده و پس از محاسبه آزمون T_r و T من - کندال مشخص شد که دمای حداکثر سالانه در ۸ ایستگاه دارای روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ بوده‌اند، به طوری که این تغییرات از نوع افزایشی بوده

مقادیر ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۲۵، ۰/۳۱، ۰/۴۶ و ۰/۴۶ دارای روند افزایشی هستند. سری حداکثر دمای ۵ ایستگاه، تاکستان و دامنه با مقادیر ۰/۴۵ و ۰/۲۲ با ضریب حد معیار ۰/۲۱ براساس آزمون T_r و دوزاج، تفرش و شاهزند با مقادیر ۰/۲۷، ۰/۲۳ و ۰/۲۴ با ضریب حد معیار ۰/۲۱ بر اساس آزمون T من کندال، در فصل بهار روند افزایشی را نشان می‌دهند. دیگر

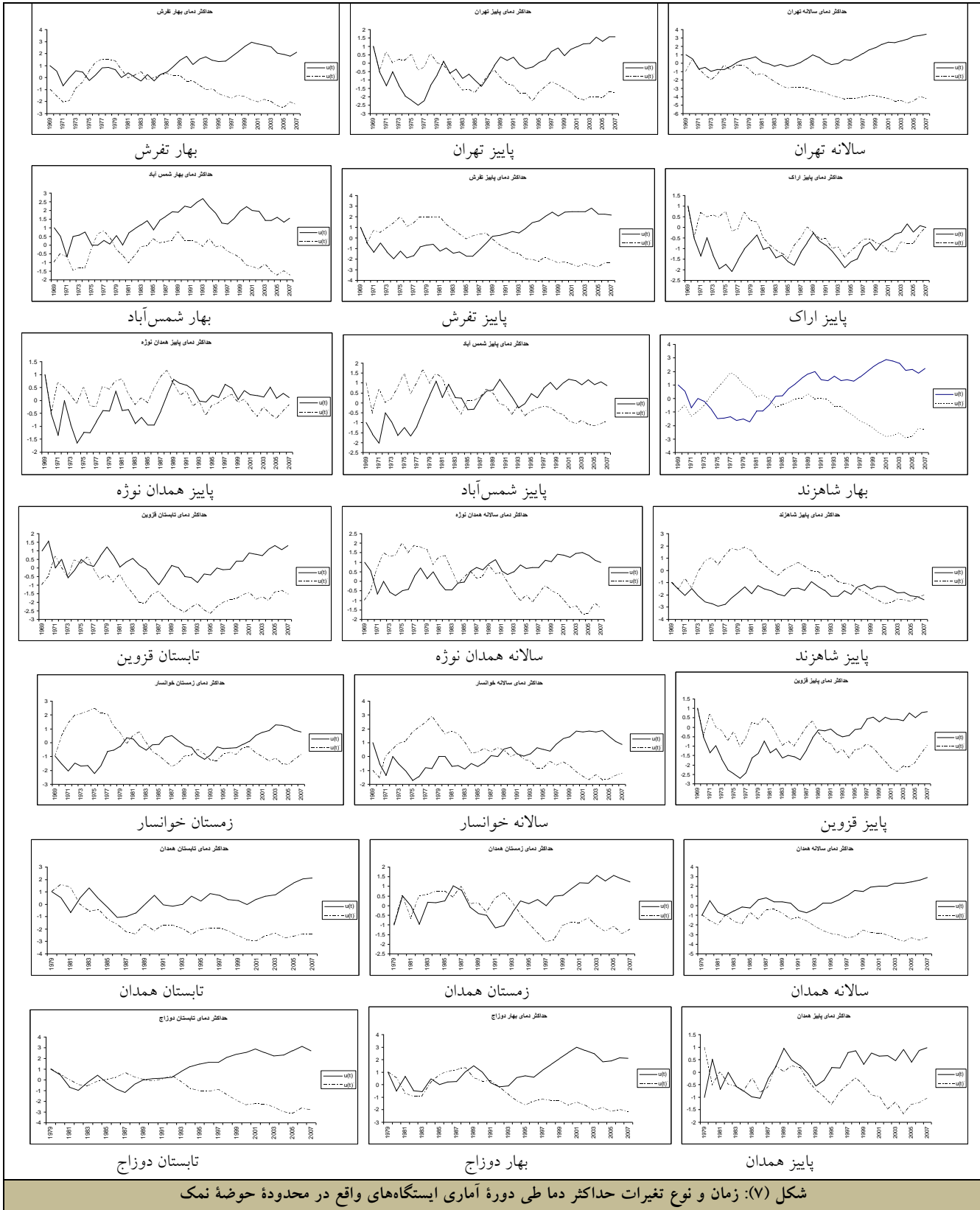
ایستگاه‌ها در این فصل فاقد روند هستند. در فصل تابستان، سری داده‌های ایستگاه‌های تهران، تاکستان، فرودگاه همدان، دوزاج، تفرش و دامنه حاکی از روند افزایشی در مقادیر دما بوده است. ایستگاه‌های دوزاج، تفرش و دامنه برخوردار از روند افزایشی در فصل پاییزند، دیگر ایستگاه‌ها در این فصل فاقد روند بوده‌اند.

جدول (۱): نتایج آزمون عاملی T_r و ناعاملی T من - کندال طی دوره مطالعاتی

ایستگاه	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	توزیع سری‌های
تهران	۰/۳۸	۳/۰۲	۱/۶۷	۳/۳۰	۰/۱۷	نرمال: زمستان، بهار، تابستان غیر نرمال: سالانه، پاییز
کاشان	-۰/۸۲	۰/۵۳	-۱/۰۲	-۱/۷۶	-۰/۷۹	نرمال: سالانه، زمستان، بهار، تابستان، پاییز غیر نرمال: -
تاکستان	۳/۵۶	۳	۲/۴۵	۲/۸۳	۰/۶۲	نرمال: سالانه، زمستان، بهار، تابستان، پاییز غیر نرمال: -
فرودگاه همدان	۰/۳۹	۰/۱۵	۱/۱۵	۰/۲۷	۰/۱۶	غیر نرمال: سالانه، زمستان، تابستان، پاییز نرمال: سالانه، زمستان، پاییز غیر نرمال: بهار
دوزاج	۲/۹	۱/۴۷	۰/۲۷	۰/۳۵	۲/۱۲	نرمال: سالانه، زمستان، پاییز غیر نرمال: بهار، تابستان
اراک	۰/۳۱۳	۰/۸۷۶	۰/۰۴۲	-۰/۹۴	۰	نرمال: سالانه، زمستان، بهار، تابستان غیر نرمال: پاییز
تفرش	۴/۴۳	۳/۲۵۳	۰/۲۳	۴/۶۳	۰/۲۳	نرمال: سالانه، زمستان، تابستان غیر نرمال: بهار، پاییز
شمس‌آباد	۳/۰۲	۲/۳۱	۰/۱۷	۱/۶۳	۰/۰۹۷	نرمال: سالانه، زمستان، تابستان غیر نرمال: بهار، پاییز
شاهزند	۱/۹۴	۰/۵۱۶	۰/۲۴	۱/۴۰	۰/۲۰	نرمال: سالانه، زمستان، تابستان غیر نرمال: بهار، پاییز
همدان نوژه	۰/۱۱	۱/۲۰	۰/۵۸	۰/۹۹	۰/۰۱۲	نرمال: زمستان، بهار، تابستان غیر نرمال: سالانه، پاییز
قزوین	۲/۶۲	۲/۴۶	۱/۱۲۸	۰/۱۴	۰/۰۸۹	نرمال: سالانه، زمستان، بهار غیر نرمال: تابستان، پاییز
دامنه	۶/۱۳	۳/۴۶	۴/۲۲	۴/۸۰	۲/۵۹	نرمال: سالانه، زمستان، بهار، پاییز، تابستان غیر نرمال:
درگزین	۰/۶۹	۰/۶۷	۱/۰۴	۰/۸۵	۰/۰۷۵	نرمال: سالانه، زمستان، بهار، تابستان غیر نرمال: پاییز
خوانسار	۰/۰۹۷	۰/۰۸۷	-۰/۱۲	۰/۹۹	۰/۸۲	نرمال: پاییز، بهار، تابستان غیر نرمال: سالانه، زمستان

حد بحرانی آزمون عاملی T_r ۲/۰۲۱حد بحرانی آزمون ناعاملی T من کندال ۰/۲۱

در همین راستا ایستگاه‌های با توزیع غیرنرمال با استفاده از روش گرافیکی من - کندال مورد بررسی قرار گرفتند. به دلیل حجم بسیار زیاد نمودارها امکان نمایش همه آن‌ها در این پژوهش وجود ندارد و تعدادی از آن‌ها به عنوان نمونه، در شکل (۴) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از بررسی نمودارهای تغییرات مؤلفه ui و ui' مربوط به فراسنج حداکثر دما نشان می‌دهد که طی ۴۰ سال گذشته، دما دارای تغییر ناگهانی نیز بوده، به طوری که اکثر تغییرات دما در محدوده مورد مطالعه، در بازه زمانی سالانه و فصلی از نوع تغییرات ناگهانی افزایشی است. تنها در حداکثر سالانه دمای دو ایستگاه خوانسار و همدان نوژه و پاییز شاهزند تغییرات ناگهانی، کاهش را نشان می‌دهند.



سپس به منظور مشخص کردن مقدار افزایش یا کاهش دما، میزان آهنگ تغییرات حداکثر دمای ایستگاه‌های روند دار در هر سال و سپس در طی دوره آماری محاسبه شده با توجه به جدول (۳) بیشترین میزان آهنگ تغییرات حداکثر دما در طی دوره آماری در بین ایستگاه‌های با روند صعودی به ترتیب مربوط به ایستگاه دامنه ۲/۶، تفرش ۲/۲ درجه سانتی‌گراد

فرودگاه همدان به ترتیب با مقادیر ۲/۲، ۲، ۱/۵۶، ۱/۱۶ و بالاترین میزان افزایش دما را داشته و به طور متوسط در فصل پاییز، تاکستان، تفرش، شمس آباد، قزوین و دامنه افزایش ۳ درجه‌ای را داشته‌اند. در فصل پاییز که تنها ۳ ایستگاه دوزاج، تفرش و دامنه میل گرایش دار (صعودی) را در بین دیگر ایستگاه‌ها نشان داده‌اند، دامنه بالاترین مقدار افزایش را به میزان ۲/۰۸ نشان می‌دهد.

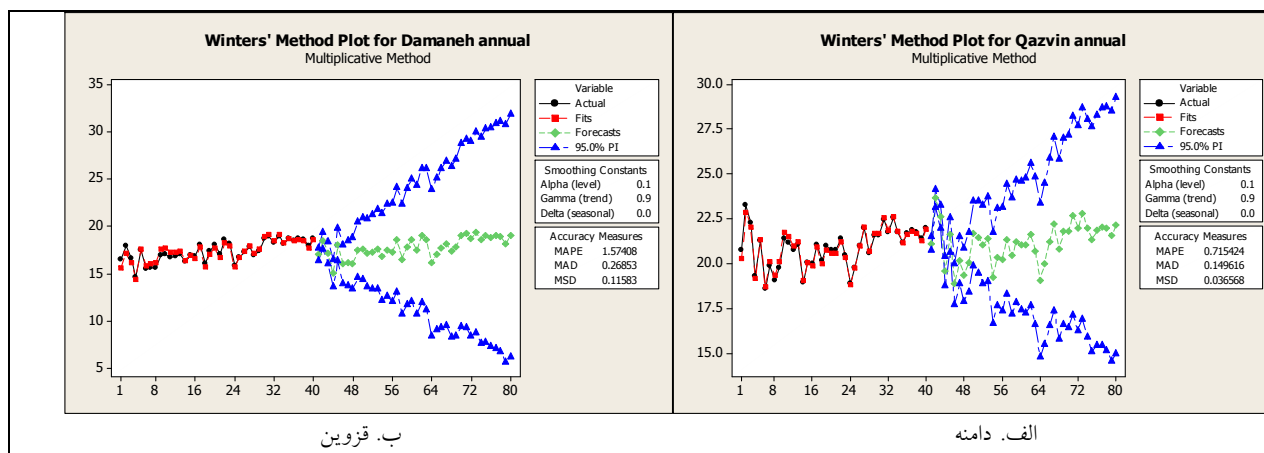
افزایش می‌باشد. میزان تغییرات دمای حداکثر ایستگاه تهران و درگزين با تغییرات گرایش دار کمترین میزان آهنگ تغییرات دما را داشته‌اند. طی ۴۰ سال گذشته در فصل بهار، دامنه بالاترین میزان افزایش دما به میزان ۲/۱ درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص داده و تاکستان، شاهزند دوزاج و تفرش به ترتیب ۲/۱، ۶۸/۹۲، ۱/۱ و ۰/۵۶ افزایش را در طی سال‌های گذشته تجربه کرده‌اند. در تابستان نیز تفرش به میزان ۲/۴۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به دامنه، دوزاج، تهران، تاکستان و

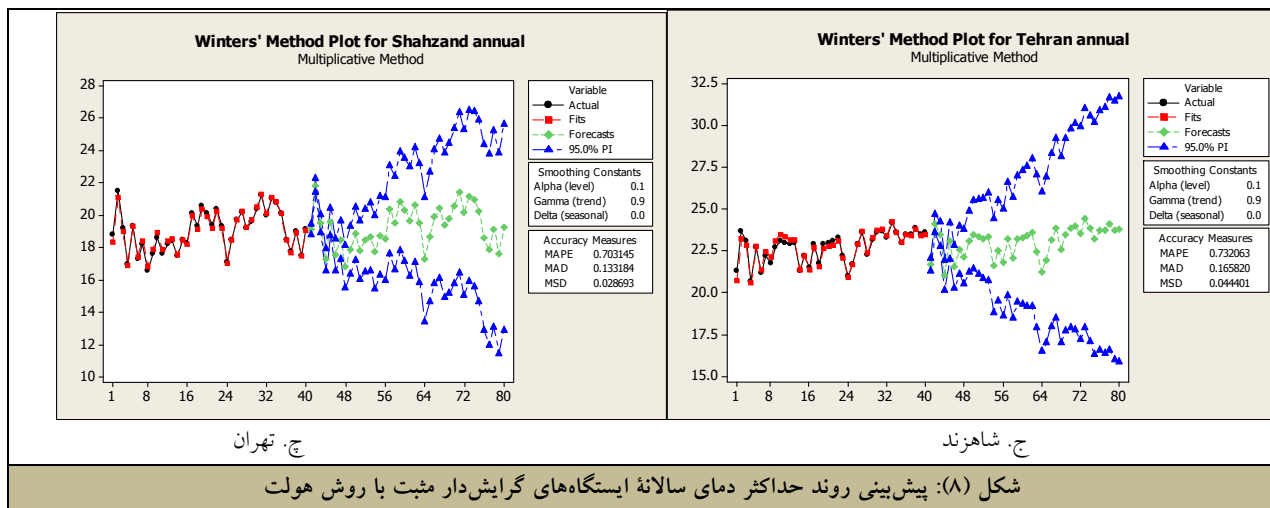
جدول (۲): آهنگ تغییرات حداکثر دمای سالانه ایستگاه‌های با روند افزایشی طی دوره آماری

ایستگاه	هر سال	طی دوره آماری	ایستگاه	هر سال	طی دوره آماری
قزوین	۰/۰۲۸	۱/۱	تفرش	۰/۰۵۶	۲/۲
تهران	۰/۰۱۶	۰/۸	دوزاج	۰/۰۶۲	۱/۸
دامنه	۰/۰۶۵	۲/۶	فرودگاه همدان	۰/۰۳۵	۱
شمس آباد	۰/۰۳۱	۱/۲	تاکستان	۰/۰۳۸	۱/۵

شد. نمودار پیش‌بینی در قالب خط سری داده‌ها، برازش، پیش‌بینی، حد بالا و پایین ترسیم شد. آنچه در ایستگاه‌های با روند افزایشی مشهود است، این است که طی سال‌های آتی نیز حداکثر دما در این مناطق، همچنان روند افزایشی را نشان می‌دهند. به دلیل حجم زیاد نمودارها تنها نمودار ۴ ایستگاه قزوین، دامنه، تهران و شاهزند با وجود روند افزایشی در ذیل ارائه شده است (شکل ۸ الف-چ).

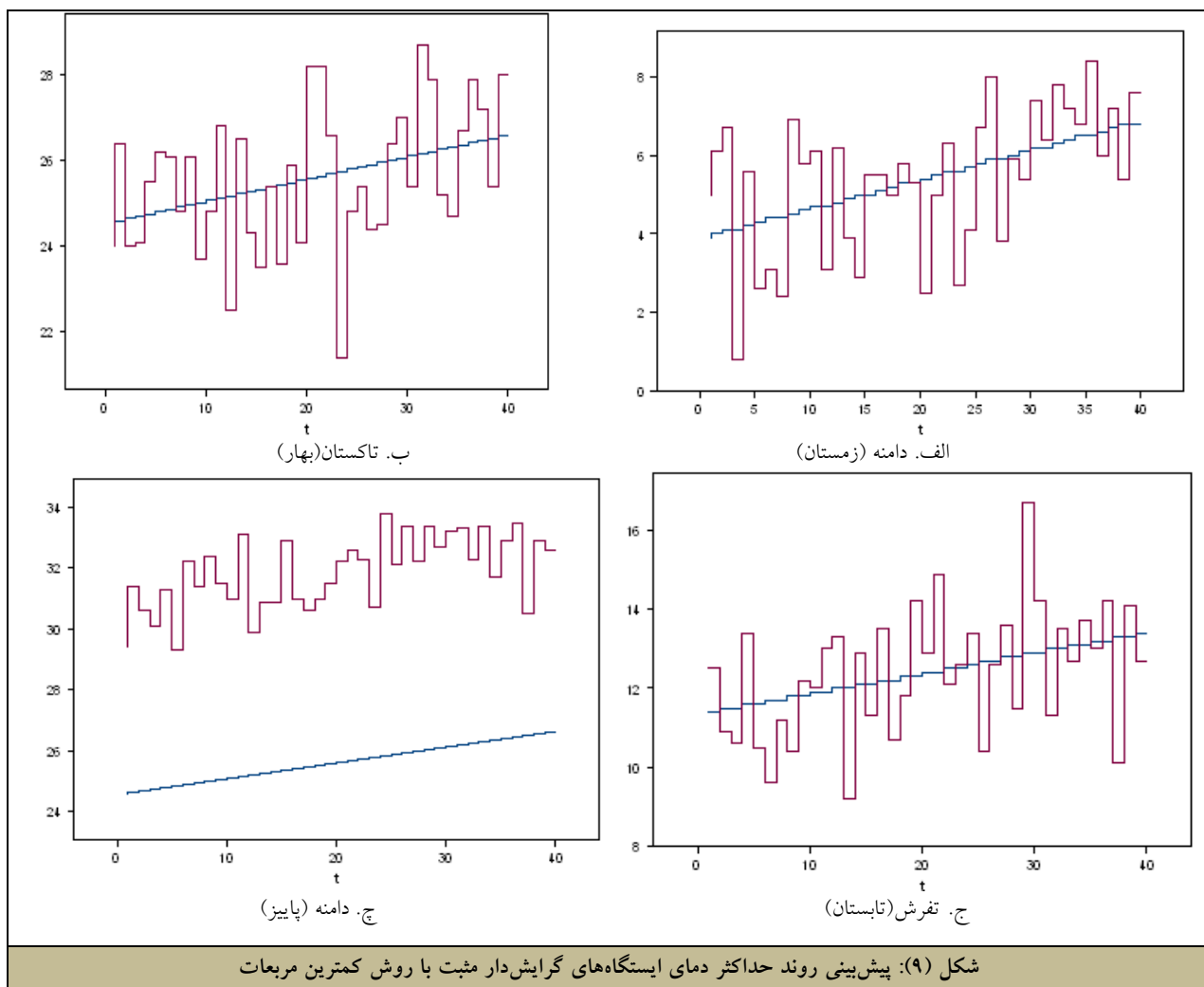
با به‌کارگیری روش هولت سری حداکثر دما برای ایستگاه‌های گرایش دار با روند افزایشی با ضرایب مختلف آلفا مورد سنجش قرار گرفت و بهترین مدل برای سری های سالانه و فصلی با استفاده از ضرایب نابرابری تایلر پیشنهاد و سپس پیش‌بینی متناسب با ضرایب صورت پذیرفت. پس از محاسبه ضرایب مختلف آلفا و گاما بر سری داده‌ها ضریب ۰/۹ برای آلفا و ضریب ۰/۱ برای گاما با کمترین مقادیر خطا بهترین مدل جهت پیش‌بینی داده برای سال‌های آتی انتخاب





روند در فراسنج مذکور در آینده مطابق با گذشته (افزایشی) خواهد بود که در برخی از ایستگاه‌ها شیب افزایش تندتر و در برخی دیگر کمتر است (شکل ۹).

پیش‌بینی با به‌کارگیری مدل کمترین مربعات در ایستگاه‌های با روند مثبت، نمودار برازش، خط روند و سری داده‌ها نشان داد که اگرچه این ایستگاه‌ها طی سال‌های گذشته روند افزایشی داشته‌اند، پیش‌بینی این مناطق حاکی از



نتیجه گیری

با بررسی و کاربرد مدل‌های سنجش و پیش‌بینی تغییرات گرایش‌دار، ارزیابی عناصر آب‌وهوایی در قالب مدل‌های گرایش‌دار از سه منظر سنجش، تحلیل و پیش‌بینی، مورد توجه قرار می‌گیرد. پس در این زمینه توجه به هریک از سه منظر در هر پژوهشی لازم و ضروری است. با محاسبات انجام‌شده بر حداکثر دما ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده حوضه نمک مشخص شد که دما در طول دوره (۱۹۶۹-۲۰۰۸) تغییر کرده است. این تغییر در اغلب نقاط از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب‌وهوایی و روند می‌باشد که در اغلب سری‌ها (فصلی و سالانه) مشهود بوده است. در بررسی سری‌های حداکثر دما معلوم شد که تغییرات موجود از نوع روند و در جهت افزایشی بوده، به این ترتیب که در بازه زمانی سالانه ۸ ایستگاه (تاکستان، دوزاج، تفرش، شمس‌آباد، قزوین، دامنه، تهران و فرودگاه همدان) از روند افزایشی پیروی می‌کنند. افزایش حداکثر دما طی دوره آماری در دامنه و تفرش شدیدتر از سایر نقاط ظاهر شده و تغییرات سری‌های همدان نوژه، خوانسار، کاشان، اراک، شاهزند و دامنه متفاوت با دیگر ایستگاه‌ها در بازه زمانی سالانه بوده است. در مقیاس فصلی ایستگاه دامنه بالاترین مقدار افزایش دما را در طی دوره آماری به خود اختصاص داده است. در فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب به میزان ۳، ۲/۱، ۲/۳ و ۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد. در نهایت سری حداکثر ایستگاه‌های گرایش‌دار با ضرایب مختلف آلفا مورد سنجش قرار گرفت و بهترین مدل برای سری حداکثر دما با استفاده از ضریب نابرابری تایل پیشنهاد و دمای این ایستگاه‌ها با استفاده از این ضرایب و به کار بردن شیوه هولت و کمترین مربعات، مورد تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی قرار گرفت. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که طی سال‌های آتی نیز حداکثر دما در این محدوده، همچنان روند افزایشی را خواهد داشت به طوری که در برخی از ایستگاه‌ها شیب افزایش تندتر و در برخی دیگر کمتر است.

در آخر فرضیه مطرح‌شده در این پژوهش تأیید می‌شود و آنچه مشخص است اینکه میل تغییرات گرایش‌دار در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، به صورت مثبت یا صعودی بوده؛ بدین معنی که میزان حداکثر دما در این نواحی در حال افزایش و گرم‌تر شدن است. این امر در مناطق مرتفع‌تر از جمله دامنه، اثرات سوئی بر دیگر فراسنج‌ها خواهد داشت که از جمله این تأثیرات می‌توان بر مقدار و خصوصیات مکانی و زمانی بارش و ذوب زودهنگام برف در طی ماه‌های سرد است که خود منجر به تغییر اقلیم و در پی آن، ایجاد آثار زیانبار زیست‌محیطی شده که برخی از مناطق را با بحران مواجه می‌سازد.

پیشنهادات

- در مطالعات آینده در مناطقی که روند افزایشی داشته اثر متقابل آن را بر مسائل زیست‌محیطی در زیرگروه‌های گیاهی و جانوری بررسی شود.
- ایجاد ساختارهای لازم برای پایش و پیش‌آگاهی از رخداد اقلیم حدی در آینده، به منظور ارائه راهکارهای مناسب برای سازگاری و کاهش اثرگذاری‌های ویرانگر آن.
- توجه به امکانات بالقوه کشور از جنبه‌های مختلف برای رویارویی مناسب با اثرگذاری‌های سوء تغییر اقلیم با اتکا به علوم و فناوری‌های بوم‌سازگار و نیز بهره‌گیری از تجربه‌ها و دانش بومی در سطح کشور.
- تأسیس شورای عالی تغییر اقلیم به منظور ایجاد هماهنگی‌ها و تصمیم‌گیری‌های لازم در رابطه با مقابله با آثار سوء تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع طبیعی کشور.
- ارائه برنامه کار «عمل در سطح ملی» برای کاهش آسیب‌ها و زیان‌های ناشی از تغییر اقلیم در تولیدات کشاورزی و منابع طبیعی کشور و نیز سازگاری به تغییر اقلیم در قالب محافظت بیشتر از منابع طبیعی جنگلی و مرتعی.

مراجع

1. Beniston, M, Stephenson, DB. 2004, Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 44, 1–9,
2. Bihrat o., Mehmetcik B., 2003, The Power of Statistication Tests for Trend Detection. *Turkish J.Eng. Env. Sci.* Volume 27, pp 247-251.
3. Brohan, P, Kennedy, JJ, Harris, I, Tett, SFB, Jones, PD., 2006, Uncertainty estimates in regional and global observed temperature change: A new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 111: D12106, DOI: 10.1029/2005JD006548.
4. Brunzell, N.A., Jones, A.R., Jackson, T.L., Feddema, J.J., 2010. Seasonal trends in air temperature and precipitation in IPCC AR4 GCM output for Kansas, USA: evaluation and implications. *International Journal of Climatology*, 30, 1178-1193.
5. Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M.m Nanni, T., 2000. Trends of minimum and maximum Daily Temperatures in Italy from 1865 to1996, *Theor. Appl.Climatol*
6. Diaz, H.F., Bradley, R.S., .1997. Temperature variations during the last century at high elevations sites. *Climatic Change*, 36, 253–279.
7. Fan, ZX, Brauning, A., Thomas, A., Li., J.B., Cao, K.F., 2010. Spatial and temporal temperature trends on the Yunnan Plateau (Southwest China) during 1961–2004. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc. 2214.
8. Farajzadeh, M., fezi, V., Molashhi, M., 2010. Study of climate change in the North West of Iran Mann-Kendal. *Congress Physical geography in envromental Planning*. Khoram Abad.
9. Fischer, T., Gemmer, M., Luliu, L., Buda, S., 2010. Temperature and precipitation trends and dryness pattern in the Zhujiang River Basin, south china, 2007-1961, *Quaternary International*, pp 1-11.
10. Hejam, S., Khoshkhoo, Y., Shamsodinvand, R., 1999. The trend analysis of change seasonal and annual rainfall of stations in central basin in Iran using –non parametric method. *Journal of research geography*, 64, 157–16.
11. IPCC, Summary for policymakers. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of working group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, 13-Miller HL (eds). Cambridge University Press: Cambridge, New York, 2007, 1–18.
12. Ghedi, P., Montazeri. M., 2011. Identification of the monthly minimum temperature during 1961-2008.11th Congeress geographers, Iran. university martyr beheshti.p70.
13. Kiotsioukis, I., Melas, D., Zerefos., Ch., 2010. Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002). *International Journal of Climatology*, 30, 1723-1737.
14. Kutiel., H., Maheras, P., 1998. Variations in the temperature regime across the Mediterranean during the last century and their relationship with circulation indices, *Theor. Appl. Climatol*.
15. Lisa, V.A., Julie, M.A., 2009, Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*, 29, 417-435.
16. Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*, 4th edn, Griffin: London, 202.
17. Man, HB.,1945, Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
18. Martinez, M.D., Serra, C., Burgueno, Lana, X., 1945. Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975–2004. *International Journal of Climatology*, 30, 2010, 267-290.
19. Masoodian., A., 2009. Servey the temperature trend of the past half century, *Journal geography and development*.89-106.
20. Maugeri, M., Nanni, T., (1998). *Surface Air Temperature variations in Italy: Recent*

- Trends and an update to 1993, *Theor. Appl. Climatol.*
21. Movahedi. S., Kavyani, M., Masoodiyan, A., 2008. Temporal and spatial Temperature change in Maroon, *Journal research University Isfahan*, 18(1), 13-28.
 22. Santos. C.A.C.D., Neale, C.M.U., Rao, T.V.R., 2010. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2205.
 23. Turkes, M., Sumer, U.M., 2004, Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of turkey, *Theor. Appl. Climatol.*
 24. Takeuchi, Z.X.Xu., Ishidaira, K.H., 2003. Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*. 279:144-150.
 25. Yue, S., Hashino, M., 2003. Temperature trends in Japan: 1900-1996, *Theor. Appl. Climatol.*