

تحلیل و مدل سازی آماری (پیش بینی) سری زمانی درجه حرارت کلانشهر اهواز

کاظم حمادی^۱ و لیلا نوزریان^{۲*}

(۱) مدیر مطالعات منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان

(۲) رئیس گروه مطالعات آبهای سطحی، سازمان آب و برق خوزستان

* نویسنده مسئول: Leila_nozarian1383@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۸

چکیده

پیش‌بینی‌های دما و بارش به طور کارآمدی در تصمیم‌گیری و استفاده بهینه از منابع آب می‌توانند به کار گرفته شوند. تحقیقات انجام شده در کشور نشانگر افزایش چشمگیر درجه حرارت سالانه است. روشن شدن این وضعیت برای کلانشهر اهواز بدلیل قطب جمعیتی جنوب غرب کشور، تراکم صنایع نفت، پتروشیمی، فولاد و برق، قطب شبکه‌های آبیاری و زهکشی و اراضی زراعی سنتی مهم می‌باشند. این تحقیق با هدف تحلیل مقدماتی سری زمانی درجه حرارت سالانه اهواز صورت می‌گیرد تا ضمن مشخص نمودن مولفه‌های سری‌های زمانی به ویژه مولفه روند، میزان سهم و تغییرات آن‌ها را نیز روشن نماید. با بکارگیری تئوری سری‌های زمانی استوکاستیک همراه با روند نسبت به پیش دید شرایط آبی و شبیه سازی آن برای ۵۸ سال آتی اقدام نمود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد روند افزایشی درجه حرارت برابر $3.81^{\circ}c/100year$ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سری‌های زمانی دما، روند افزایشی درجه حرارت، مدل سازی آماری دما، اهواز.

مقدمه

امروزه مدیریت بهینه منابع آب به ابزارهایی همچون پیش‌بینی‌های بارش و دما وابسته است. درجه حرارت عمده‌ترین و اساسی‌ترین عامل در تعیین نقش و پراکندگی سایر عناصر اقلیمی بشمار می‌آید. علاوه بر آن دما اثرات انکارناپذیری بر سیکل هیدرولوژی، چرخه تولید محصولات زراعی، مصارف آب (به ویژه کشاورزی)، میکرو ارگانیسم‌های و رطوبت خاک، فعالیت‌های انسانی، آستانه‌های تحمل بشری، جرایم و بزهکاری حرارتی و محیط زیست دارد. تبخیر و تبخیر و تعرق پتانسیل در کلیه بررسی‌های هیدروکلیماتولوژی، محاسبات آبیاری و زهکشی، بیلان آب و نیاز آبی گیاهان از اهمیت برخوردار بوده که در تعیین و تخمین میزان آن دما نقش اساسی را ایفا می‌کند. رسولی (۱۳۸۱)، سرهای زمانی را به منظور تحلیل دمای شهر تبریز بکار برد. این محقق ضمن مشخص نمودن شاخص‌های اولیه سری زمانی مولفه‌های آن را جدا سازی نمود. ایشان نشان داد که درجه حرارت تبریز در ۵۰ ساله مورد پژوهش؛ روند رو به افزایش داشته است به نحوی که مولفه روند دارای ضریب زاویه $0/0265$ بوده است. عساکره و خردمند (۱۳۸۱)، مدل سازی SARIMA را به منظور الگوسازی متوسط درجه حرارت ماهانه جاسک استفاده کرده‌اند در این تحقیق از دوره آماری بسیار مناسبی در حد ۱۰۴ سال استفاده شد. شبیه سازی از الگوی نهایی گویای این امر بوده که شیب خط (سری زمانی درجه حرارت ماهانه) به طرف بالا است. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی تحت عنوان "ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده با کمک مدل MAGICC- SCENGEN با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو ECHAM4 و HadCM2 به طور میانگین افزایش دمای ۳ تا $3/6$ درجه سانتیگراد را تا سال ۲۱۰۰ برای کشورمان پیش بینی می‌کنند، که در این دو مدل توزیع مکانی افزایش دما با هم مطابقت دارند. مدرسی و همکاران (۱۳۸۹) در حوضه آبریز گرگان رود- قره سو به کمک روش‌های هیدرولوژیکی و با استفاده از نتایج آزمون روند، نواحی مختلف حوضه آبریز گرگان رود- قره سو از لحاظ وقوع پدیده تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که رخداد تغییر اقلیم در اکثر نواحی این حوضه، در قالب وجود روند صعودی در دمای حداقل و حداکثر در فصول تابستان و زمستان (سطح اعتماد حداقل ۹۵ درصد) نمایان می‌باشد. جهانبخش و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به بررسی پارامترهای اقلیمی دما و بارش در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه کرخه توسط روش‌های غیرپارامتریک مانند روش Man Kendall پرداختند. نتایج نشان داد که بارندگی سالانه در اکثر زیر حوضه‌های منطقه دارای روند کاهشی می‌باشد در صورتی که روند موجود در دما افزایشی است. سطح معنی‌داری در این آزمون ۹۵ درصد در نظر گرفته شده است. این بدان معنی است که در منطقه مورد مطالعه طی این دوره آماری میانگین سالانه دما افزایش و مقدار بارش سالانه کاهش داشته است. نتایج آزمون من کندال بیانگر روند معنی‌دار در برخی ایستگاه‌ها می‌باشد هرچند آماره S دما در همه ایستگاه‌ها مثبت و برای بارندگی در همه ایستگاه‌ها منفی می‌باشد. در ضمن

مشخص شد روند دما و بارندگی در سطح منطقه از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. در مطالعه‌ای بختیاری (۱۳۸۲) با استفاده از روش‌های معمول سری‌های زمانی (اختلاف از میانگین، میانگین متحرک، معادلات رگرسیون، و استاندارد Z. score) مشخص نمود که در شهر کرمان هم دو عنصر عمده اقلیمی یعنی دما و بارش طی دوره آماری ۲۹ ساله ۱۹۷۱-۲۰۰۰ دارای روندهای متفاوتی بوده‌اند. بدین مفهوم که در طی سالهای مزبور روند تغییرات دما افزایشی و مقدار بارش دارای روند کاهشی بوده است. همچنین روند تغییرات دو عنصر فوق در طول تمام دوره یکسان نبوده و لذا ضریب همبستگی دما و بارش سالانه و فصلی در طول مدت دوره از مقدار کمی برخوردار بوده است. افزایش دمای سالانه به میزان ۰/۰۵ درجه سانتیگراد در مقیاس سالانه بوده و بیشترین کاهش بارندگی در دو دوره حرارتی ۹۰-۱۹۸۶ و ۱۹۹۶-۲۰۰۰ به ترتیب به میزان ۲۷ و ۲۰ میلی متر در مقیاس سالانه بوده است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴)، در تحقیقی با عنوان "بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه" گزارش دادند که افزایش مقدار دی اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای دیگر اتمسفر، منجر به افزایش میانگین دمای کره زمین ($0/2 \pm 0/6$) در قرن بیستم شده است. پیش بینی شده است تا سال ۲۰۵۰ دمای حوضه آبریز گرگانرود حدود ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (شیخ و بابایی، ۱۳۸۸). کشاورزی مبتنی بر اقتصاد اجتماعی منطقه نسبت به تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیر است. پنت و همکاران (۱۹۹۹) در مقاله‌ی "آب و هوا و تنوع دراز مدت آن در هیمالیای غربی در طول دو قرن گذشته" گزارش داد که دمای متوسط در سرینگار (شهری در ایالت کشمیر هندوستان) بین سالهای ۱۸۹۳ و ۱۹۹۰ با نرخ ۰/۸ درصد در ۱۰۰ سال افزایش یافته است. فاولر و آرچر (۲۰۰۶) نیز در پژوهش "سیگنالهای مربوط به تغییر اقلیم در بالادست حوضه رودخانه سند" گزارش داده اند که افزایش قابل توجهی در دمای میانگین سالانه در سرینگر با نرخ ۰/۰۷ درجه در یک دهه در دوره ۱۸۹۴ تا ۲۰۰۰ وجود داشته است. سری‌های زمانی علاوه بر استفاده در پارامترهای هواشناسی در پارامترهای جریان رودخانه نیز کاربرد وسیعی دارد. Jayewardene و Fernando، از انواع مدل‌های ARMA جهت پیش بینی بارش ماهانه استفاده کردند. Venema et al تغییرات اقلیمی را در حوضه آبریز رودخانه سینگال (Senegal) با همان روش مورد بررسی قرار دادند. Yurekli و kurn طی تحقیقی روش‌های استوکاستیک را برای پیش بینی دبی حداقل روزانه همراه برای سه ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز (Cekerek Stream) به منظور استفاده در تحلیل خشکسالی به کار بردند. آنها از دو مدل ARIMA و توماس- فیرینگ (Thomas- Fiering) استفاده نمودند. شرسا و همکاران (۲۰۱۶) طی پژوهشی در حوضه آبریز رودخانه کوشی تغییرات دما و بارش را در دوره زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۰ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از روند افزایشی دمای متوسط سالانه حوضه و همچنین افزایش روز و شب‌های گرم شده است. کارکی و همکاران (۲۰۱۷) شرایط تغییر اقلیم کشور نپال منتج به تغییر در میزان بارش و روزهای بارانی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج

نشان داد که روندبارش در پای کوه‌ها و مناطق کم ارتفاع کاهشی و تعداد روزهای بارانی نیز کاهش یافته است. حیدری و همکاران (۱۳۹۷) تحقیقی در خصوص ارزیابی روش‌های آماری در آشکارسازی روند تغییرات بارش استان کرمانشاه انجام داده‌اند. نتایج بدست آمده از آزمون من کندال نشان داد که روند تغییرات بارش در مقیاس سالانه در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مذکور نزولی بوده و در سطح ۵ درصد معنی دار است. در مقیاس فصلی بیشترین و کمترین روند منفی مربوط به زمستان و بهار بوده است، ۷۵ درصد ایستگاه‌ها در سطح ۵ درصد، در زمستان روند منفی داشت. در فصل تابستان، روند صعودی داشت، ولی معنی دار نبود. در مقیاس ماهانه، ۶۲ درصد از ایستگاه‌ها در ماه مهر، اسفند و آذر، روند منفی معنی دار در سطح ۵ درصد داشتند. زینلی مبارکه و همکاران (۱۳۹۷) طی پژوهشی مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی تحت شرایط محدودیت آب در خراسان رضوی را انجام دادند. نتایج شبیه سازی‌ها نشان دادند که میانگین تغییرات دمای طول فصل رشد در منطقه مورد مطالعه در آینده نسبت به پایه تحت هر دو RCP افزایشی و معادل $1/41$ و $1/83$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. یافته‌های این تحقیق همچنین نشان دادند تغییر تاریخ کاشت در آینده موجب افزایش بیشتر عملکرد خواهد شد. تحقیقات انجام شده در کشور نشانگر افزایش چشمگیر درجه حرارت سالانه است. روشن شدن این وضعیت برای منطقه اهواز بدلیل تراکم صنایع نفت، پتروشیمی، فولاد و برق، وجود شبکه‌های آبیاری و زهکشی و اراضی زراعی سنتی وسیع و همچنین به دلیل مسایل زیست محیطی مهم می‌باشند. بنابراین این تحقیق می‌تواند پاسخگوی این سوال باشد که آیا دما در منطقه اهواز روند افزایشی دارد و این روند از لحاظ آماری معنی دار است. اگر چنین باشد مقدار افزایش آن تا چه حدودی است. این تحقیق با هدف تحلیل مقدماتی سری زمانی درجه حرارت سالانه اهواز صورت می‌گیرد تا ضمن مشخص نمودن مولفه‌های سری‌های زمانی به ویژه مولفه روند میزان سهم و تغییرات آن‌ها را نیز روشن نماید؛ سپس با بکارگیری تئوری سری‌های زمانی استوکاستیک همراه با روند نسبت به پیش دید شرایط آبی و شبیه سازی آن برای ۵۸ سال آتی اقدام می‌نماید. کشور ما به لحاظ سابقه کوتاه در بهره‌گیری از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم داده‌های جوی از نظر مدلسازی پارامترهای اقلیمی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای درک فرآیندها و شناخت الگوهای سری زمانی نیاز به روش‌های خاصی است مدل‌های سری زمانی شامل مدل ضربی و جمعی، مدل رگرسیونی و مدل اتورگرسیون و میانگین متحرک می‌باشند. مدل مجموع و ضرب یکی از الگوهای کلاسیک سری‌های زمانی است و براساس تجزیه و تحلیل سری به مولفه‌های دیگر صورت می‌گیرد. مدل جمع و ضرب به صورت زیر نوشته می‌شود:

رابطه ۱: $Y = T + C + S + I$

رابطه ۲: $Y = T.C.S.I$

که در آن T: مولفه روند (Trend)، C: مولفه چرخه‌ای (Cyclical)، S: مولفه فصلی (Seasonal) و I: مولفه غیرمنظم یا تصادفی (Irregular) است.

در این تحقیق از مدل ضربی استفاده شد بر همین مبنا چگونگی ساخت مولفه‌ها در مدل ضربی شرح داده می‌شود.

مولفه روند (T): تابع روند ممکن است خطی، نمایی، خم رشد و... باشد. سری زمانی Y_n را در نظر گرفته می‌شود. اگر X_n کد عددی باشد که به زمان یا دوره نسبت داده شود، به کمک روش کوچکترین مجموع مربعات، یک خط را برای سری واقعی (متغیر وابسته) برازش می‌شود. مولفه روند برای پیش بینی کوتاه مدت کاربرد دارد به شرط آن که مولفه ترکیبی دوره‌ای نامنظم زیاد بزرگ نباشد. در غیر این صورت در درجه اول به این مولفه توجه می‌شود به خصوص برای پیش بینی‌های دراز مدت که اول به مولفه دوره ای نامنظم و سپس به مولفه روند توجه می‌شود.

مولفه فصلی (S): ابتدا سری اصلی را هموار نموده و مقادیر هموار شده، مولفه روند- دوره‌ای T.C، است. سپس از تقسیم سری بر این مولفه یعنی $Y/(T.C) = \%$ مولفه نامنظم- فصلی به دست می‌آید که اگر این مولفه پایدار باشد با متوسط گیری از این مولفه، مولفه فصلی بدست می‌آید. مولفه فصلی برای پیش بینی کوتاه مدت به کار می‌رود. در صورتی که اثر فصل را در فرآیند نادیده گرفته شود مولفه $Y/S = C.T.I$ حاصل می‌شود همچنین مولفه $C.S.I/S = C.I$ در تشخیص محل دوره کمک می‌کند.

مولفه دوره ای (C): این مولفه دوره‌های متغیر رانشان می‌دهد این مولفه هم از لحاظ مدت و هم دامنه، تغییر می‌کند برای بسیاری از فرایندهای تجاری و اقتصادی یا کشاورزی الگوهای تغییر دوره‌ای مشخصی (پیشرو، تاخیری و...) وجود دارد. کاربرد مولفه دوره‌ای در تشخیص وضعیت فعلی و دوره‌های بازگشت است (دوره‌ای تغییر جهت). بنابراین با ارجاع به این الگوهای موجود دوره‌ای و مقایسه با مولفه دوره‌ای سری واقعی، می‌توان گفت در کدام دوره قرار گرفته اند و یا پیش بینی کوتاه مدتی از تغییرات آتی کرد.

مولفه نامنظم (I): بعد از محاسبه مولفه چرخه‌ای، فصلی و روند مانده‌ها و تاثیر عوامل دیگر را مولفه نامنظم گویند. برخی اوقات تفکیک این مولفه از مولفه دوره‌ای دشوار است؛ بنابراین هر دو مولفه را یکی می‌گیرند.

در این تحقیق مقادیر درجه حرارت ماهانه و سالانه شهر اهواز از سال ۱۹۵۷ تا سال ۲۰۱۴ میلادی به مدت ۵۸ سال از سازمان هواشناسی استان خوزستان دریافت و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد. به منظور سازماندهی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از صفحه گسترده اکسل و نرم افزار آماری SPSS استفاده شده است. آمار دریافتی بر حسب تقویم میلادی بوده که

بدلیل تامین اهداف این تحقیق برگرداندن آن به تقویم شمسی صورت نگرفت. البته به منظور تحلیل سری زمانی در مقیاس فصلی، تبدیل های لازم بر مبنای تقویم شمسی انجام شد. گام های این پژوهش مطابق ذیل صورت گرفت.

الف) جمع آوری داده ها و آمار درجه حرارت ماهانه و سالانه شهر اهواز و تحلیل آن ها با استفاده از نرم افزار آماری

SPSS

ب) استخراج شاخص داده های خام، میانگین متحرک و تغییرپذیری

ج) تعیین مولفه های مختلف سری زمانی دما با استفاده از تئوری ها و تکنیک های سری زمانی

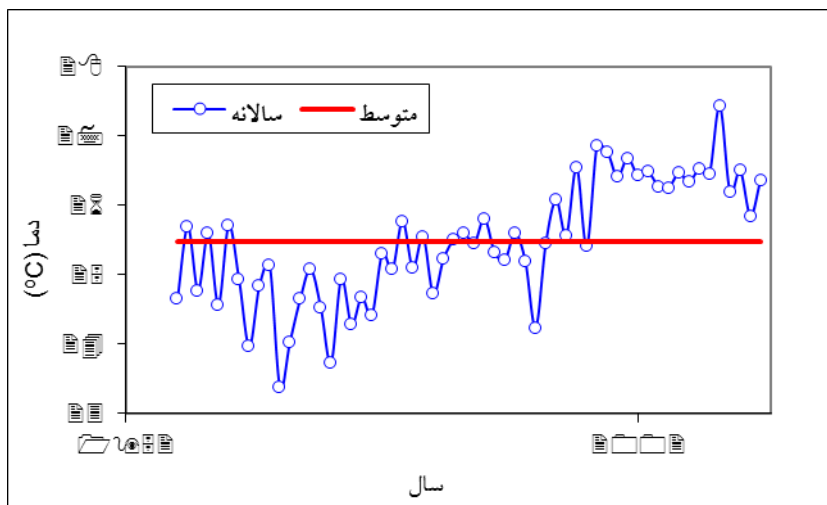
د) استفاده از مدل آماری استوکاستیک به همراه روند و پیش دید وضع آتی

نتایج و بحث

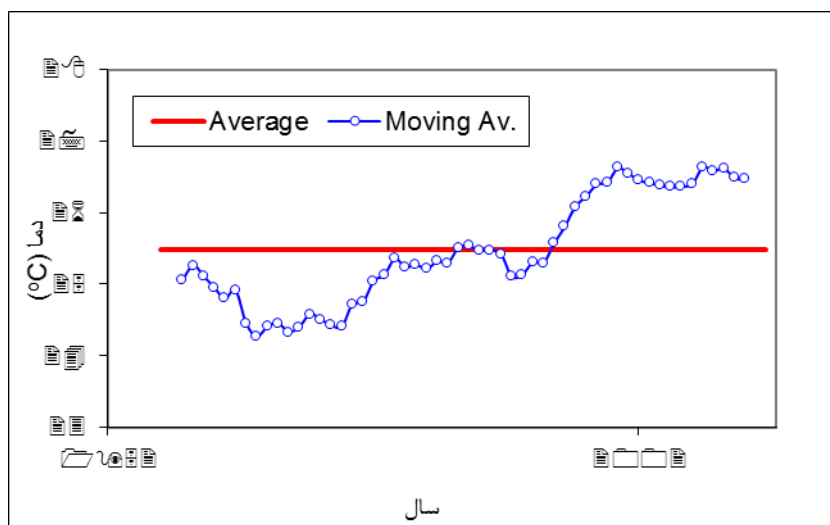
نتایج تحلیل سری زمانی دمای متوسط سالانه

همانگونه که در بخش مواد و روش ها عنوان شد به منظور تحلیل سری زمانی درجه حرارت ابتدا نمایه های گرافیکی سری زمانی یعنی شاخص داده های خام، هموار شده، میانگین متحرک و تغییر پذیری، همچنین نمایه های اصلی سری های زمانی نظیر مولفه روند (Trend)، چرخه ای (Cyclical)، فصلی (Seasonal) و غیرمنظم یا تصادفی (Irregular) از داده های اصلی استخراج گردید. نتایج تغییرات درجه حرارت متوسط سالانه یا شاخص مشاهدات خام نیز محاسبه و در (شکل ۱) نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود متوسط درجه حرارت سالانه ۲۵/۵ و تغییرات آن بین حداقل ۲۳/۴ تا حداکثر ۲۷/۴ درجه سانتی گراد است. انحراف معیار طول دوره آماری کمتر از یک درجه سانتی گراد و چولگی سری اندکی منفی و نزدیک به صفر می باشد که این موضوع دال بر همخوانی داده ها و تقارب آن ها با توزیع نرمال است. با میانگین گیری متوالی از سری داده های مشاهداتی، نوسانات سالانه درجه حرارت تعدیل و در واقع شاخص هموار شده مشخص گردید. با میانگین های گروهی مکرر از داده های مشاهداتی شاخص میانگین متحرک محاسبه شده شاخص تغییرپذیری از دیگر نمایه ها است که در تحلیل مقدماتی سری زمانی بکار می رود و نشان دهنده الگوی تغییرات سالانه داده می باشد. (شکل ۲) شاخص میانگین متحرک ۵ ساله را نشان می دهد. در ادامه این تحقیق به منظور تحلیل دقیق تر مشاهدات درجه حرارت مولفه های اصلی سری زمانی درجه حرارت شامل روند، چرخه ای، فصلی و غیرمنظم مورد توجه قرار گرفت و مولفه ها با استفاده از مدل ریاضی حاصل ضرب جداسازی گردید. برای این کار ابتدا مولفه روند به روش حداقل مربعات سری مشاهداتی محاسبه سپس مولفه چرخه ای سری محاسبه شد. از سویی با توجه به اینکه مشاهدات سالانه درجه حرارت معمولاً فاقد اثرات فصلی هستند مولفه غیرمنظم با توجه به روشن شدن دو مولفه روند و چرخه ای براحتی

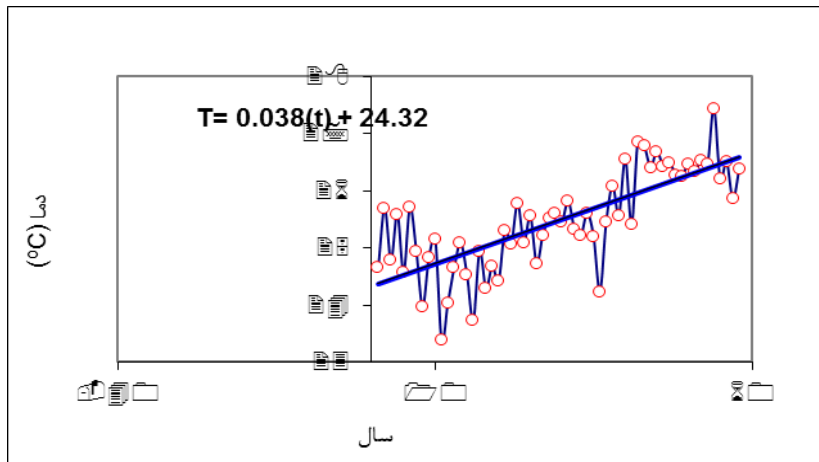
قابل دست‌یابی است. نتیجه این محاسبات در (شکل‌های ۳ تا ۵) ارائه شده است. همانگونه که قبلاً اشاره شد مولفه نامنظم بعد از محاسبه مولفه چرخه‌ای، فصلی و روند مانده‌ها و تاثیر عوامل دیگر را مولفه نامنظم گویند. برخی اوقات تفکیک این مولفه از مولفه دوره‌ای دشوار است؛ بنابراین هر دو مولفه را یکی می‌گیرند. در این پژوهش نیز تفاوت تغییرات این دو مولفه بسختی قابل تشخیص است.



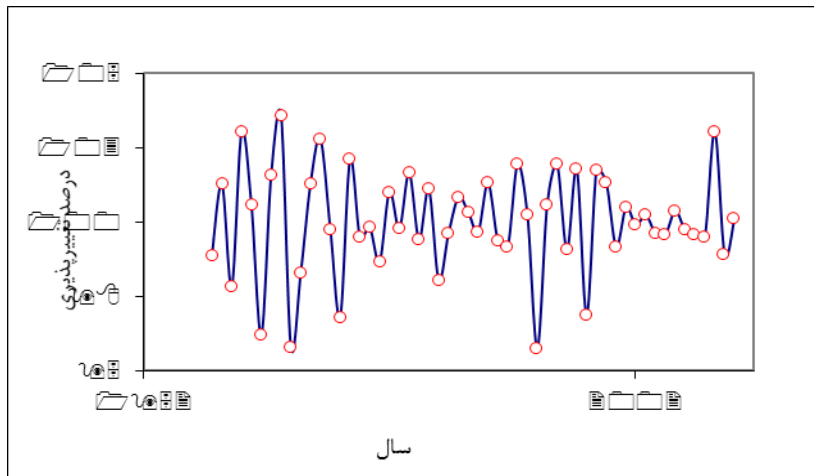
شکل ۱: تغییرات درجه حرارت متوسط سالانه اهواز (شاخص مشاهدات خام)



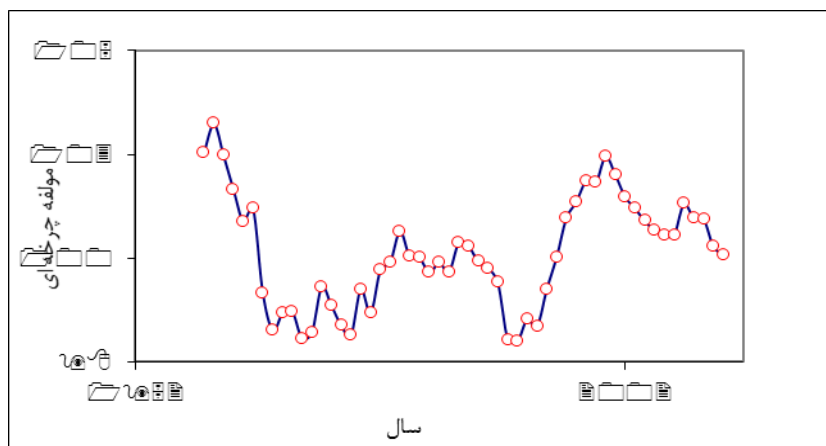
شکل ۲: شاخص میانگین متحرک ۵ ساله درجه حرارت متوسط سالانه اهواز



شکل ۳: روند تغییرات درجه حرارت متوسط سالانه اهواز



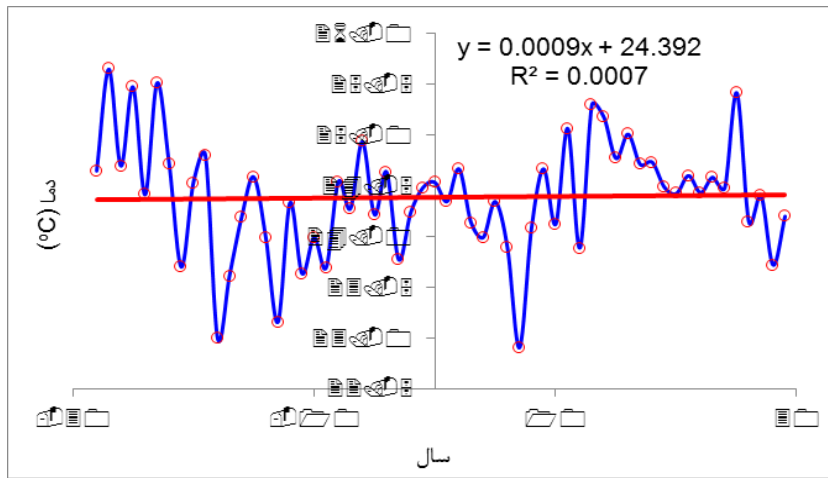
شکل ۴: مولفه یا شاخص تغییرپذیری درجه حرارت متوسط سالانه اهواز



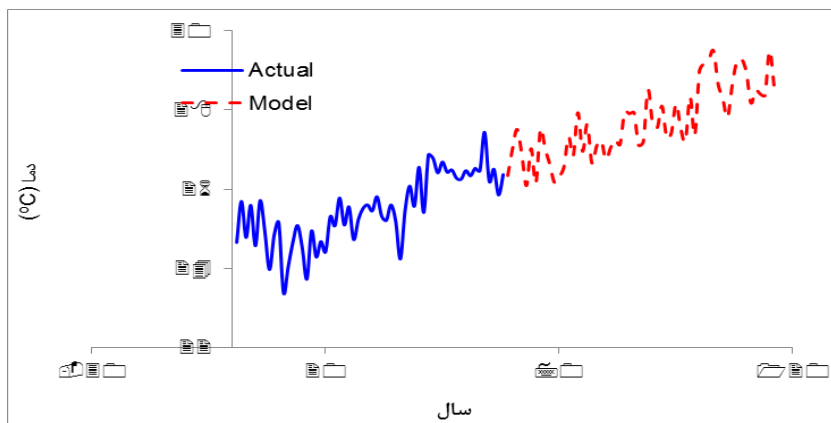
شکل ۵: درصد تغییرات مولفه چرخه‌ای درجه حرارت متوسط سالانه اهواز

نتایج شبیه سازی آماری دمای متوسط سالانه

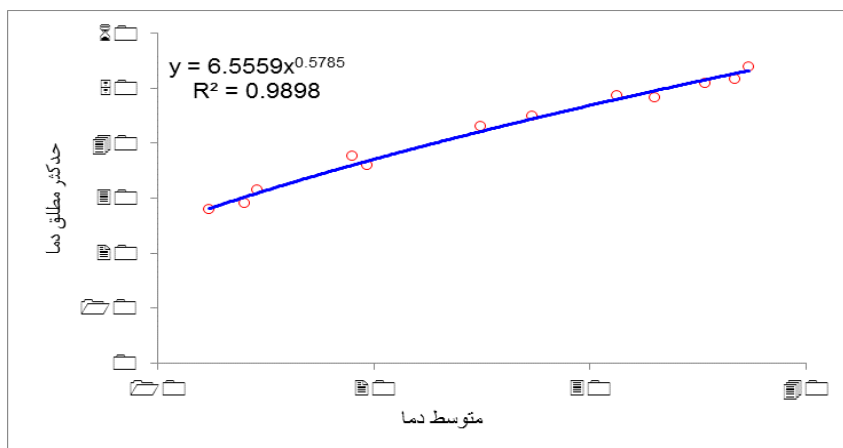
همانگونه که اشاره شد در این تحقیق مقادیر درجه حرارت ماهانه و سالانه شهر اهواز از سال ۱۹۵۷ تا سال ۲۰۱۴ میلادی به مدت ۵۸ سال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت سپس با بکارگیری تئوری سری‌های زمانی استوکاستیک همراه با روند نسبت به پیش دید شرایط آتی و شبیه سازی آن برای ۵۸ سال آتی اقدام گردید. بدین منظور سری زمانی دمای متوسط سالانه به صورت خالص در آورده شد. (شکل ۶) سری زمانی خالص درجه حرارت متوسط سالانه اهواز را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود ضریب همبستگی بین توالی زمانی مشاهدات برابر صفر می‌باشد که دلیلی محکم برای حذف مولفه روند است. سپس مقادیر خود همبستگی در گامهای تأخیری مختلف محاسبه شد. در ادامه با استفاده از مقادیر خود همبستگی، واریانس و میانگین سری حاضر به پیش دید وضع آتی اقدام گردید. شبیه سازی سری درجه حرارت متوسط سالانه اهواز طی ۵۸ سال گذشته و ۵۸ سال آتی در (شکل ۷) نمایش داده شده است. بالاخره آمار دمای ماهانه تولید و یک مدل رگرسیونی نمایی بین دمای متوسط و مطلق ماهیانه برازش داده شد. ضرایب مدل و ضریب تعیین مدل در سطح یک درصد معنی دار است. با بکارگیری این مدل نسبت به برآورد درجه حرارت مطلق در دوره ۵۸ ساله آتی اقدام شد. همبستگی بین درجه حرارت متوسط و مطلق ماهیانه در اهواز در (شکل ۸) و مقایسه دمای متوسط ماهیانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی در (جدول ۱) منعکس شده است. مقایسه میانگین گروه‌های دمای متوسط سالانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی با استفاده از آزمون آماری Independent Samples Test انجام و نتایج آن در (جدول ۲) ارایه گردید. نتایج ارایه شده در (جدول ۱) نشان می‌دهد که درجه حرارت متوسط سالانه دوره ۵۸ ساله گذشته ۲۵/۴۸ و دوره ۵۸ ساله آتی به ۲۷/۶۸ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. به عبارتی نرخ افزایش دمای متوسط سالانه در اهواز برابر ۳/۸۱ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰ سال مورد انتظار می‌باشد، این رقم افزایشی حدود ۱۵ درصد را طی یک قرن را نشان می‌دهد. اما درجه حرارت مطلق دوره ۵۸ ساله گذشته برابر ۵۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. این واقعه در ۱۵ ژولای ۱۹۶۷ مصادف با ۲۴ تیرماه ۱۳۴۶ به ثبت شده بود. پیش بینی می‌شود چنانچه روند افزایش دما با این نرخ ادامه یابد، در دوره ۵۸ ساله آتی درجه حرارت مطلق به نزدیک ۵۶ درجه سانتی‌گراد در تیرماه برسد. شایان ذکر است که مدل استفاده شده آماری است و نمی‌تواند سال وقوع همچون دمایی را دقیقاً بیان کند اما نتایج مدل حکایت از رخداد این دما در دوره ۵۸ ساله آتی دارد. مسلماً شانس وقوع آن به سمت پایان دوره ۵۸ سال آتی بیشتر و بیشتر می‌شود. تفاوت میانگین دمای متوسط سالانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی برابر ۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. با استفاده از آزمون آماری Independent Samples Test نشان داد که اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد بین میانگین دمای متوسط سالانه دو دوره وجود دارد و قطعیت ۹۹ درصدی رخداد تغییرات دمایی منتسب به پدیده گرمایش جهانی را نشان می‌دهد.



شکل ۶: نمایش سری زمانی نسبتاً خالص ($r=0$) درجه حرارت متوسط سالانه اهواز



شکل ۷: شبیه سازی سری درجه حرارت متوسط سالانه اهواز (۵۸ سال گذشته و ۵۸ سال آتی)



شکل ۸: همبستگی بین درجه حرارت متوسط و مطلق ماهیانه در اهواز

جدول ۱: مقایسه دمای متوسط ماهیانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی

ماه	متوسط دوره های ۵۸ ساله (°C)		حداکثر مطلق دوره های ۵۸ ساله (°C)		اختلاف
	فعلی	آتی	فعلی	آتی	
ژانویه	۱۲,۳۸	۱۳,۴۵	۲۸,۰۰	۲۹,۴۵	
فوریه	۱۴,۶۳	۱۵,۹۰	۳۱,۵۰	۳۲,۴۳	
مارس	۱۹,۰۲	۲۰,۶۷	۳۷,۶۰	۳۷,۷۴	
اپریل	۲۴,۹۷	۲۷,۱۴	۴۳,۰۰	۴۴,۱۷	
می	۳۱,۲۴	۳۳,۹۵	۴۸,۶۰	۵۰,۲۸	
جون	۳۵,۳۶	۳۸,۴۳	۵۱,۰۰	۵۴,۰۱	
جولای	۳۷,۳۵	۴۰,۵۹	۵۴,۰۰	۵۵,۷۵	
اگوست	۳۶,۷۲	۳۹,۹۰	۵۱,۶۰	۵۵,۲۰	
سپتامبر	۳۳,۰۳	۳۵,۹۰	۴۸,۴۰	۵۱,۹۳	
اکتبر	۲۷,۳۳	۲۹,۷۰	۴۵,۰۰	۴۶,۵۴	
نوامبر	۱۹,۶۷	۲۱,۳۸	۳۶,۰۰	۳۸,۴۸	
دسامبر	۱۳,۹۹	۱۵,۲۱	۲۹,۰۰	۳۱,۶۱	
سالانه	۲۵,۴۸	۲۷,۶۸	۵۴,۰۰	۵۵,۷۵	

۲,۱۴ درجه سانتیگراد معادل ۵,۱ درصد

۲,۲۱ درجه سانتیگراد معادل ۸,۷ درصد

جدول ۲: نتایج آزمون آماری Independent Samples Test به منظور مقایسه

میانگین گروه های دمای متوسط سالانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی

گروه	تعداد	میانگین	اختلاف میانگین ها	انحراف معیار	t استیودنت	درجه آزادی	سطح معنی داری
دما	۱	۲۵,۴۸	-۲,۲۰	۰,۸۷۴	-۱۳,۳	۱۱۴	***۰,۰۰۰
	۲	۲۷,۶۸					

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که سری‌های زمانی در مقیاس سالانه و فصلی دارای نوسانات و تغییرات قابل ملاحظه‌ای نسبت به زمان هستند به نحوی که شاخص تغییرپذیری درجه حرارت بین ۱۰۳/۶-۹۵/۷، مولفه چرخه-ای ۱۰۳/۲۵-۹۸ و مولفه‌ای نامنظم ۱۰۴/۲۴-۹۵/۷۵ می‌باشند. همچنین شاخص میانگین متحرک ۵ ساله تغییرات درجه حرارت متوسط سالانه را بین ۲۶/۶-۲۴/۳ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

تحلیل مولفه‌های مختلف سری زمانی درجه حرارت سالانه بیانگر روند صعودی این پارامتر می‌باشد. مطابق (شکل ۴) رابطه روند افزایشی درجه حرارت نسبت به زمان به صورت $Y_T = 0.038T + 24.32$ می‌باشد از این رابطه می‌توان چنین استنباط نمود که روند افزایشی درجه حرارت برابر $3.8^\circ c/100year$ می‌باشد.

درجه حرارت متوسط سالانه دوره ۵۸ ساله گذشته ۲۵/۴۸ و دوره ۵۸ ساله آتی به ۲۷/۶۸ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. به عبارتی نرخ افزایش دمای متوسط سالانه در اهواز برابر ۲/۲ درجه سانتی‌گراد در ۵۸ سال مورد انتظار می‌باشد، این رقم افزایشی حدود ۱۵ درصد را طی یک قرن را نشان می‌دهد.

درجه حرارت مطلق دوره ۵۸ ساله گذشته برابر ۵۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. این واقعه در ۱۵ ژوئای ۱۹۶۷ مصادف با ۲۴ تیرماه ۱۳۴۶ ثبت شده بود. پیش بینی می‌شود چنانچه روند افزایش دما با این نرخ ادامه یابد، در دوره ۵۸ ساله آتی درجه حرارت مطلق به نزدیک ۵۶ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه برسد. اضافه می‌شود که مدل استفاده شده آماری است و نمی‌تواند سال وقوع همچون دمایی را دقیقاً بیان کند اما نتایج مدل حکایت از رخداد این دما در دوره ۵۸ ساله آتی دارد. مسلماً شانس وقوع آن به سمت پایان دوره ۵۸ سال آتی بیشتر و بیشتر می‌شود.

تفاوت میانگین دمای متوسط سالانه دو دوره ۵۸ ساله گذشته و آتی برابر ۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. با استفاده از آزمون آماری Independent Samples Test نشان داد که اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد بین میانگین دمای متوسط سالانه دو دوره وجود دارد و قطعیت ۹۹ درصدی رخداد تغییرات دمایی منتسب به پدیده گرمایش جهانی را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

از دفتر پژوهش‌های کاربردی و معاونت مطالعات پایه سازمان آب و برق خوزستان که در انجام این پژوهش ما را یاری دادند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- ابراهیمی، ح.، علیزاده، ا. و جوانمرد، س (۱۳۸۴). بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، ص ۱۸-۵.
- بختیاری، ب. (۱۳۸۲). نگرش تحلیلی بر تغییر اقلیم بارندگی و دمای شهر کرمان. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم اصفهان، ۲۹ مهر الی اول آبان سال ۱۳۸۲.
- جهانبخش، س. رحیمی بندرآبادی، س. حسینی، ع. رضایی، س. و خوش زمان، ت (۱۳۸۹). بررسی تغییرات بارندگی و دما در حوزه کرخه. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG 2010) دانشگاه زاهدان، ۲۵-۲۷ فروردین ۱۳۸۹.
- حیدری، س. گودرزی، م. شمسی پور، ع. ا. عبدالهی کاکرودی ع و بازگیر، س. (۱۳۹۷). ارزیابی روش های آماری در آشکارسازی روند تغییرات بارش (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه علمی و پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۱۲، شماره ۴۲، صص ۹۰-۸۱.
- رسولی، ع (۱۳۸۱). تحلیل مقدماتی سری های زمانی دمای هوای شهر تبریز. مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۴۶، ۴۷ صص ۲۶-۷.
- زینلی مبارکه، ز. دیهیم فرد، ر و کامبوزیا، ج. (۱۳۹۷). مدل سازی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی تحت شرایط محدودیت آب در خراسان رضوی، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۸ شماره ۳، صص ۱۵۵ تا ۱۶۹.
- شیخ، و و بابایی، ا. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات رژیم بارش حوزه آبریز گرگانرود. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- عباسی، ف. بابائیان، ا. حبیبی نوخندان، م. مختاری، ل و ملبوسی، ش (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده با کمک مدل MAGICC- SCENGEN. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، تابستان ۱۳۸۹، صص ۹۱-۱۱۰.
- عساکره، ح و خردمند نیا، م. (۱۳۸۱). مدل سازی SARIMA برای متوسط درجه حرارت ماهانه. مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۴۶، ۴۷ صص ۴۵-۴۱.

مدرسی، ف. عراقی نژاد، ش. ابراهیمی، ک. و خلقی، م. (۱۳۸۹). بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمونهای آماری مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود- قره سو. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹، صص ۴۸۹-۴۷۶.

Fernando, D.A.K., and Jayawardena, A.W. (1994) Generation and Forecasting of Monsoon Rainfall Data. 20th WEDC Conference, Colombo, Sri Lanka, pp:310-313.

Fowler, H.J., Archer, D.R., 2006. Conflicting signals of climatic change in the Upper Indus Basin. Journal of Climate 19, pp:4276-4293.

Karki, R. ul Hasson, S. Schickhoff, U. & Scholten, T. (2017). Rising Precipitation Extremes across Nepal. <http://www.mdpi.com/journal/climate>. 5,4 pp:1-25.

Pant, G.B., Rupa Kumar , K., Borgaonkar, H.P., 1999. Climate and its long-term variability over the Western Himalaya during the past two Centuries. In: Dash, S.K.

Shrestha, H. Bhattarai, U. Dulal, K. N. Adhikari, S. Marahatta, S. & Devkota, L. P. (2016). Impact of Climate Change on Precipitation in Karnali Basin, Nepal. Journal of Climate . 4 pp:1-14.

Venema, H.D., Schiller, E.J., and Adamowski, K. (1996). Evidence of Climate Change in The Senegal River Basin. Water Resources Development, 12, pp:531-546.

Yurekli, k, and kurnc, A. (2005). performances of stochastic Approaches in Generating low stream flow Data for Drought Analysis. Journal of Spatial Hydrology ,vol 5 no.1, pp:20-32 .