

تحلیل جزیره گرمایی و بررسی روند غیر خطی تغییرات دمای ۱۳۰ ساله مشهد

محبوبه فرزندی^۱، حجت رضائی پزند^۲، بهاره میرکماندار^{۳*}

^۱ دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد

^۳ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۲ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۳

چکیده

متن جزیره گرمایی شهری برآمده از افزایش درجه‌ی حرارت برخی شهرها در مقایسه با حومه شهر یا محدوده‌های روستایی نزدیکشان است. چنین پدیده‌ای از مخاطرات محیطی تلقی می‌شود و مشکلات فراوانی دارد. پژوهش حاضر به منظور بررسی روند غیرخطی و تحلیل نقاط شکست دمای ۱۳۰ ساله مشهد با روش‌های وابستگی خاکستری و رگرسیون پرداخته است. همچنین مقایسه با ایستگاه‌های برون شهری در جهت بررسی تأثیر جزیره گرمایی بر روند افزایش دمای شهر مشهد انجام شده است. آمار ۱۳۰ ساله دمای ماهانه شهر مشهد از سال ۱۲۶۴ تا ۱۳۹۳ به کار رفته که نقطه شکست (شروع جزیره گرمایی) با روش وابستگی سامانه خاکستری در سال ۱۹۷۹ تعیین شد. آزمون‌های حداقل مربعات، من-کندال و سن، وجود روند را پس از نقطه شکست تأیید کردند. افزون بر این ایستگاه برون شهری طرق-کرتیان و چند ایستگاه شاهد برای مقایسه و بررسی وجود روند (تشکیل جزیره گرمایی) تحلیل شد. آزمون ویلکاکسون اختلاف معنی داری بین میانگین‌های جفت شده دو ایستگاه بعد از نقطه شکست را نشان داد. پس از تأیید وجود جزیره گرمایی در جهت تحلیل روند غیرخطی دمای سالانه مشهد سه الگوی چندجمله‌ای، کمانک‌های هموار (Spline) و رگرسیون کمانک‌های تطبیقی (MARS) به سری زمانی دمای مشهد برازش داده شد. هر سه الگو روند گرم شدن شهر مشهد را که S مانند است، تأیید می‌کنند. شیب تند جزیره گرمایی مشهد بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۷۹ شروع و تا سال ۲۰۰۰ ادامه داشته و شیب سال‌های اخیر بسیار کم و به حالت نسبتاً ایستایی رسیده است. همچنین نتایج نشان داد دمای متوسط شهر مشهد بعد از سال ۱۹۷۹ حدود ۲/۵ درجه افزایش داشته است.

کلمات کلیدی: آزمون من کندال، جزیره گرمایی، رگرسیون مارس، سامانه وابستگی خاکستری، کمانک‌های

تطبیقی، کمانک‌های هموار.

۲۰۱۰) تحلیل و بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات دما (در همه مقیاس‌های زمانی) مثبت و معنی‌دار است. بسامدهای غالب در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه، تأیید کننده رفتار نوسانی یکدیگرند. اما تحلیل‌های فصلی نشان داد که الگوی نوسانی فصل‌هایی با محدوده دمایی مشابه، شباهت بیشتری به یکدیگر دارند. به نظر می‌رسد که دوره گرم سال براساس نتایج آزمون من-کندال تأثیر بیشتری بر روند مثبت و معنی‌داری دما در منطقه مطالعاتی دارد. باهک (۱۳۹۲) روند بارش و دما در ایستگاه سینوپتیک کرمان را در دوره ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ با روش من-کندال بررسی کرد، وی نتیجه گرفت این روند در اکثر ماه‌ها معنی‌دار است. عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) روند دمایی ایستگاه‌های جنوب دریای خزر را در یک دوره ۴۰ ساله مطالعه کردند. نتایج آزمون من-کندال تحقیق آنها نشان داد که اکثر ایستگاه‌های این تحقیق برای دمای حداقل، روند مثبت و دمای حداکثر، روند منفی دارد. همچنین این محققین بیان کردند که درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان بیشتر از بهار و پاییز است و زمان شروع تغییرات در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست. خسروی و همکاران (۱۳۸۲) به مطالعه‌ی سری‌های زمانی دمای فصلی ایستگاه مشهد جهت بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین و اثرات گرمایش جهانی بر دمای منطقه با مقایسه نمونه داده‌ها طی دهه‌های متفاوت قرن بیستم پرداختند، نتایج ایشان تفاوت معنی‌دار دما طی مقاطع مختلف زمانی نسبت به میانگین و افزایش دمای مشهد طی دهه آخر قرن بیستم را نشان داد. آذرخشی و همکاران (۱۳۸۱) روند تغییرات فصلی و سالانه‌ی بارش و دما را برای ۲۴ ایستگاه سینوپتیکی در سطح کشور با آمار پنجاه ساله تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. روش من-کندال و رگرسیون خطی برای نشان دادن روند تغییرات در متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهش‌ی در داده‌های بارش سالانه‌ی مناطق مختلف کشور دیده شد. روند تغییرات دما در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه

گرم شدن جو را می‌توان به دو حالت جهانی یا عمومی (global) و محلی (local) تفکیک کرد. اولی برآمده از گازهای گلخانه‌ای و عوامل دیگر است که تقریباً از انقلاب صنعتی آغاز شده است. دومی معروف به جزیره گرمایی است که در شهرها و مراکز صنعتی بزرگ رخ می‌دهد. جزیره گرمایی به هر محدوده‌ای اطلاق می‌شود که انسان در آن به ساخت‌وساز پرداخته و مصالح ساختمانی نظیر آسفالت و سنگ، حرارت را در درون خود ذخیره می‌سازند و با خنک شدن هوا در ساعات پس از غروب خورشید حرارت را بازتاب می‌نمایند، بنابراین اختلاف دما در ساعات شب محسوس‌تر است. این اثر در کنار تجمع مصرف انرژی در شهرها و تهویه ضعیف‌تر در مقایسه با مناطق روستایی موجب پدید آمدن جزایر گرمایی شهری می‌شود و دمای این مناطق در مقایسه با مناطق پیرامونی‌اش به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر است (خسروی، ۱۳۸۲). آمار دمای ایستگاه‌های شهری و برون شهری برای بررسی گرم شدن جهانی استفاده می‌شود. آمار ایستگاه‌های شهری برای بررسی رخداد همراه جزیره گرمایی و گرم شدن جهانی و برون شهری صرفاً برای گرم شدن جهانی تحلیل می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که روند تشکیل جزیره گرمایی شیب تندی دارد (فرزندی، ۱۳۹۳). گرچه گرم شدن کره زمین واقعیتی است که طی سده‌های گذشته پررنگ شده است، اما نمی‌توان این واقعیت را به دلیل کوتاه بودن طول دوره سنجش و اندازه‌گیری مستقیم عناصر اقلیمی وضعیتی قطعی و پایدار دانست. تغییر اقلیم ^۱حالتی از تمایل عمومی اقلیم است. پیش بینی آن چندان ساده نیست. مدل‌های اقلیمی تنها برای توضیح رفتار کوتاه‌مدت دستگاه اقلیم مفید هستند و هرگز توانایی توضیح رفتار میان‌مدت و بلندمدت اقلیم را ندارند. زیرا آمار طولانی مدت در اختیار نیست (امیری، ۱۳۸۴). عراقی و همکاران (۱۳۹۴) دمای متوسط ماهانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک مشهد را با تبدیل موجک گسسته و انجام آزمون من-کندال در یک دوره ۵۵ ساله (منتهی به

مثبت است. بیشترین تغییرات در دمای متوسط تابستان و کمترین در فصل زمستان مشاهده شد.

تحقیقات فوق نشان می‌دهد که جزیره گرمایی در شهرهای ایران تشکیل شده است. اکثر پژوهش‌ها اثر جزیره گرمایی را در روند دمایی بررسی نکرده اند. چند تحقیق در خصوص جزیره گرمایی به شرح زیر است. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) رابطه جزیره گرمایی را برای شهر تهران در دوره ۲۰۰۳-۱۹۷۳ تحلیل و تأیید کردند. نتایج مطالعات نشان داد میزان آزن و نیز دمای هوا در تهران دارای روند افزایشی بوده و میزان افزایش دمای کمینه نسبت به میزان دمای بیشینه، بیشتر است. این محققین در پژوهشی دیگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و نظریه فرکتال به بررسی و تحلیل جزیره حرارتی شهر مشهد پرداخته و اعلام کردند دمای تابشی سطح مشهد به طور کلی در طی دهه‌ی ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ خصوصاً در مناطق مسکونی افزایش چشمگیری داشته است. فرزندی و همکاران (۱۳۹۳) جزیره حرارتی شهر مشهد را در دوره طولانی مدت (۲۰۱۱-۱۸۸۵) بررسی کردند. این محققین نقطه شکست سری زمانی دمای سالانه را با سامانه خاکستری به دست آورده و روند دمایی درون شهری را با چندین ایستگاه حومه مقایسه نمودند. نتیجه اینکه قسمت عمده این روند برآمده از پدیده جزیره گرمایی شهری است. باری و چارلی (Barry and Chorley, ۱۹۸۷) تغییرات سالانه دمای هوا در لندن را در دوره آماری ۱۹۳۱ تا ۱۹۶۰ بررسی کردند. آنها میانگین سالانه دمای هوای این شهر را ۱۱، دمای حومه شهر ۱۰/۳ و دمای نواحی روستایی ۹/۶ درجه سانتی گراد گزارش کردند که تفاوت دما اثبات وجود جزیره گرمایی در این شهر است. وانگ و همکاران (Wong and et. al, ۲۰۰۶) روش سامانه وابستگی خاکستری را برای تغییر داده‌های هیدرولوژیکی و بیان کاربرد آن در رودخانه اصلی منطقه شوند چین استفاده کردند. ایشان در این پژوهش سه رابطه‌ی جدید که از نظر هندسی نسبت به معادلات ارائه شده بهتر است را معرفی می‌کنند. مارک و همکاران (Mark and et.al, ۲۰۱۰) تغییر

اقلیم شهرها را در محدوده خاورمیانه، شبه قاره هند و شرق آفریقا با مدل جهانی HadAM۳ مطالعه کردند. این تحقیق بیان داشت که پدیده جزیره گرمایی می‌تواند تا ۳۰٪ بر افزایش دمای شهری موثر باشد. روهینتون و راجر (Rohinton and Kruger, ۲۰۱۲) سه روش برای ارزیابی تغییرات آب و هوایی محلی گلاسکو با سه نوع داده مطالعه کردند. این سه روش عبارت‌اند از ارزیابی روند تغییرات دما و میانگین دما، به کارگیری نمایه UHI برای سنجش دمای مناطق شهری و روستایی. مشاهده دما در مناطق با پوشش گیاهی مختلف. وجود جزیره گرمایی در این تحلیل اثبات شد. موهان و همکاران (Mohan and et. al., ۲۰۱۲) رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی را یکی از عوامل مؤثر بر افزایش دمای هوا در نواحی شهری که موجب ایجاد جزیره حرارتی بر روی این مناطق در مقایسه با محیط اطراف دانسته و اعلام داشت دمای آن به طور محسوسی گرم تر است. ایشان معادله (۱) را برای حداکثر شدت جزیره گرمایی (ΔT) شهرهای اروپا و معادله (۲) را برای آمریکای شمالی ارائه کردند. ΔT بیشترین اختلاف بین دمای شهر و حومه و P نماد رشد جمعیت شهر است.

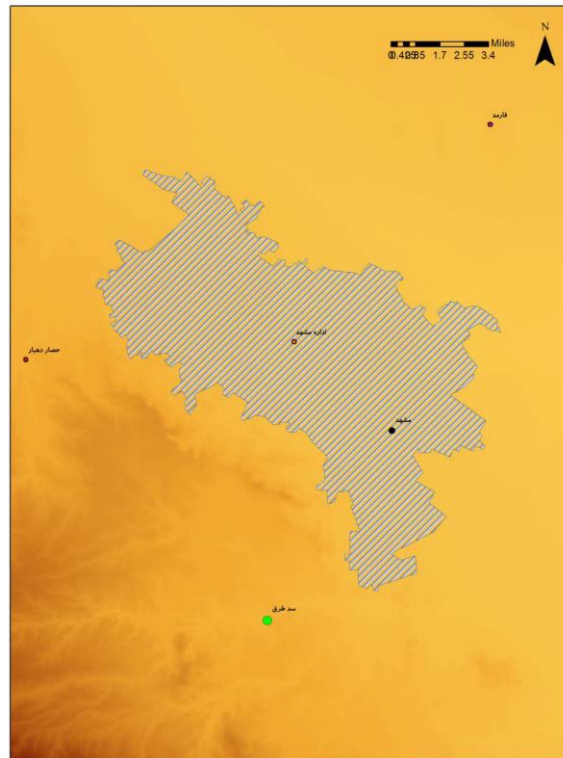
$$\Delta T = ۴.۰۶ - ۲.۰۱ \log P \quad (۱)$$

$$\Delta T = ۶.۴۱ - ۲.۹۶ \log P \quad (۲)$$

مطالعات انجام شده در خصوص جزیره گرمایی وجود این پدیده را در شهرها نشان می‌دهد. پژوهش حاضر به بررسی روند غیرخطی دمای ۱۳۰ ساله مشهد با روش‌های جدید، زمان شروع و افول شیب دمایی در سال‌های اخیر، مقایسه نتایج با ایستگاه‌های برون شهری و تحلیل نقاط شکست اثر جزیره گرمایی بر روند افزایش دمای شهر مشهد پرداخته است. در واقع تحلیل نقاط شکست، اثر جزیره گرمایی بر روند افزایش دما را نشان می‌دهد. این هدف با الگوهای ریاضی و با مطالعه موردی (۱۳۰ سال آمار دمای سالانه مشهد) انجام شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی

نام ایستگاه	سال آماری	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
مشهد	۲۰۱۴-۱۸۸۵	۹۹۹	۵۹:۳۸	۳۶:۱۶
طرق-کرتیان	۲۰۱۴-۱۹۶۸	۱۲۴۰	۵۹:۳۰:۴۱	۳۶:۱۰:۲۴



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های انتخابی

و همکاران، ۱۳۹۳). این داده‌ها دارای مفقودی‌هایی در زمان جنگ جهانی اول و دوم است که توسط فرزندی و همکاران جمع‌آوری و ترمیم شده است (فرزندی و همکاران، ۱۳۹۸). داده‌های ایستگاه‌های تبخیرسنج سد طرق و کرتیان به دلیل نزدیکی و مشابهت به صورت یک ایستگاه در نظر گرفته شد و در جدول با نام طرق-کرتیان به عنوان نماینده یک ایستگاه برون شهری در نظر گرفته شد (جدول ۱). شکل (۱) نیز موقعیت قرارگیری ایستگاه مشهد و ایستگاه حومه (خارج شهر) سد طرق را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه هواشناسی همدید مشهد در شرق این شهر و در مجاورت فرودگاه شهید هاشمی نژاد قرار دارد (جدول ۱). سال تأسیس این ایستگاه ۱۳۳۲ شمسی (۱۹۵۱ میلادی) است (سالنامه هواشناسی، ۳۵-۱۳۳۴). آمار دمای ماهانه این ایستگاه از بدو تأسیس (۱۹۵۱) تاکنون در اختیار است. آمار طولانی مدت دمای ماهانه شهر مشهد در کتبی به نام World weather record به مدت ۱۳۰ سال (۲۰۱۴-۱۸۸۵) موجود است (فرزندی

(۳) و (۴).

(۳) ضرایب وابستگی خاکستری

$$\xi_{oi}(k) = \frac{\Delta_{\min} - \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) - \rho \Delta_{\max}}, \quad k = 1, \dots, n \quad (3)$$

مشاهده ای و مقایسه ای است. $\Delta_{oi}(k) = |x_j(k) - x_o(k)|$ قدرمطلق تفاضل دو سری

به ترتیب آماره نزدیکی حداکثر و حداقل قدرمطلق تفاضل دو سری مشاهده ای و مقایسه ای هستند.

$\rho \in (0, 1]$ ضریب تشخیص درجه نزدیکی X_o و X_i است. $\xi_{oi} \in [0, 1]$ و $\sum_{k=1}^n \omega(k) = 1$ است. درجه وابستگی خاکستری مطابق رابطه (۴) است. افزون بر روابط قبل باید آماره های زیر نیز با روابط مربوطه محاسبه شوند. به علت گستردگی این روابط از ارائه آنها صرف نظر شد. محاسبه سهم تغییرات نسبی از درجه وابستگی $(\text{eta}(T))$ ، محاسبه سهم تغییرات نسبی ماکسیمال $(\text{eta}(T^*))$ و مشخص کردن نقطه تغییر (T^*) به ترتیب انجام می شود (Wong and et.al, ۲۰۰۶).

(۴) درجه وابستگی خاکستری

$$r(x_o, x_i) = \sum_{k=1}^n \omega(k) \cdot \xi_{oi}(k) \quad (4)$$

می توان با تعیین نقطه شکست به کمک سامانه خاکستری در تحلیل خط روند برای افزایش دمای سالانه استفاده کرد.

نمایه UHI

رایج ترین روش برای بررسی جزیره گرمایی مقایسه منطقه شهری با مناطق همجوار روستایی است. نمایه UHI برای بررسی روند افزایش دما ناشی از جزایر گرمای شهرها در مقایسه با منطقه روستایی مجاور که آثار جزیره گرمایی بر آن بی اثر فرض می شود با رابطه (۵) نشان داده می شود.

$$UHI = T_{au} - T_{ar} \quad (5)$$

برای بررسی نوع روند سری زمانی درازمدت مشهد ابتدا نقطه شکست با روش سامانه خاکستری تعیین شد. سپس بررسی روند با آزمون ناپارامتری من کندال قبل و بعد از نقطه شکست انجام و بررسی شد. آزمون مقایسه میانگین های سری دمای شهر مشهد و حومه نیز قبل و بعد از نقطه شکست صورت گرفت. مشاهدات نشان داد روند غیرخطی بعد از نقطه شکست نیاز به بررسی های بیشتر دارد لذا رگرسیون تکه ای مارس و اسپلاین به داده ها برازش داده شد. شرح کامل روش های مورد استفاده به ترتیب در ادامه آمده است.

روش های روش وابستگی سامانه خاکستری^۲

سامانه خاکستری، سامانه ای مناسب برای تحلیل سری های کوتاه مدت است. سری های زمانی دما، بارش و غیره در ایران و سایر نقاط جهان کوتاه مدت هستند. روش وابستگی سامانه خاکستری یک شیوه مفید و کارا برای تشخیص نقطه شکست (روند غیرخطی) برای این نوع داده هاست (Wong and et.al, ۲۰۰۶). این سامانه سری مورد مطالعه را (با روش وابستگی سامانه خاکستری) به سری مرجع و تعداد متناهی سری مقایسه ای تفکیک می کند. سپس سری مرجع را با تحلیل وابستگی خاکستری با سایرین مقایسه و نقطه تغییر را (در صورت وجود) تعیین می کند. مراحل انجام تعیین نقطه تغییر یک سری زمانی (در صورت وجود) مطابق زیر است. n طول سری زمانی مورد مطالعه است.

۱- انتخاب سری مرجع (X_o) یا سری زمانی مورد مطالعه و سری های مقایسه ای (X_i) به ترتیب مطابق رابطه (۱) و (۲).

$$X_o = (x_o(1), x_o(2), \dots, x_o(n)) \quad (1)$$

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

۲- محاسبه درجه وابستگی خاکستری مطابق روابط

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

اگر رابطه $|z| \leq Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد فرض صفر پذیرفته می‌شود. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (رضائی‌پژند، ۱۳۸۰).

آزمون t برای مقایسه میانگین‌های مستقل

اگر دو متغیر در دو گروه مورد بررسی قرار گیرند به عبارتی دو متغیر با هم در ارتباط نباشند از این مدل استفاده می‌کنیم. فرض صفر یعنی برابری میانگین‌ها را در برابر فرض یک اختلاف معنادار بین میانگین‌ها آزمون می‌کنیم.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

آماره t این آزمون با رابطه $t = \frac{\bar{x}d}{Sd/\sqrt{n}}$ بدست می‌آید. تفاوت میانگین‌ها و Sd انحراف معیار میانگین‌هاست. این آزمون یک آزمون پارامتری است و پیش فرض‌هایی دارد که باید رعایت شود. این فرض‌ها عبارت است از ۱- داده‌ها عددی یا رتبه‌ای باشد، ۲- توزیع داده‌ها نرمال باشد ۳- فرض مساوی بودن واریانس‌ها رعایت شود. (رضائی‌پژند، ۱۳۸۰).

کمانک‌های چندجمله‌ای هموار شده^۴

کمانک از دیدگاه ریاضی یک تابع عددی است که با توابع چندجمله‌ای قطعه‌ای تعریف می‌شود. این تابع می‌تواند درجات بالای چندجمله‌ای را به صورت هموار و قطعه‌ای در گره‌هایی تقریب بزند. این تقریب هموارتر از تقریب چندجمله‌ای است. کمانک‌ها به صورت قطعات خط، قطعات سهمی (درجه دو)، قطعات چندجمله‌ای درجه سه یا بالاتر باشد. معمولاً به‌ندرت از درجات بالا

در رابطه (۵)، T_{au} بیانگر دمای میانگین شهر و T_{ar} بیانگر دمای میانگین منطقه روستایی دور از تأثیر شهر در سال مورد نظر می‌باشد. نمایه UHI برای کلیه سال‌ها محاسبه می‌شود (غضنفری و همکاران، ۱۳۸۹).

تحلیل روند با استفاده از آزمون من-کندال^۳

آزمون ناپارامتری من-کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شده است. این روش به طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون نیز بر مبنای مقایسه‌ی فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌هاست و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. برای این منظور آماره آزمون Z به کمک روابط (۶) تا (۹) استخراج می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (7)$$

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_i - x_k) \quad (8)$$

استفاده می‌شود و معروف‌ترین آنها کمانک‌های درجه دو و درجه سه است.

کمانک یک تابع چندجمله‌ای قطعه‌ای حقیقی (S) است که در بازه $[a, b]$ مرکب از زیر بازه‌های $[t_{i-1}, t_i]$ با شرط $a = t_0 < t_1 < \dots < t_{k-1} < t_k = b$ تعریف می‌شود.

$$S: [a, b] \rightarrow R$$

محدودیت تابع S در یک بازه i یک چندجمله‌ای به صورت $P_i: [t_{i-1}, t_i] \rightarrow R$ است.

$$S(t) = P_1(t), t_0 \leq t \leq t_1, \dots, S(t) = P_k(t), t_{k-1} \leq t \leq t_k$$

بزرگترین رتبه چندجمله‌ای $P_i(t)$ را رتبه کمانک می‌نامند. اگر طول زیربازه‌ها مساوی باشد، کمانک را یکنواخت در غیر اینصورت غیریکنواخت می‌نامند. یکی از شروط کمانک از درجه n است که تابع S در نقاط داخلی زیر بازه‌ها پیوسته و تا مرحله n-1 مشتق‌پذیر باشد (Katz, ۲۰۱۱).

رگرسیون مارس^۴

فرید من (Friedman, ۱۹۹۱) رگرسیون کمانکی تطبیقی چند متغیره (MARS) را معرفی کرده است. این روش به طور گسترده در داده کاوی و الگو سازی به کار می‌رود. می‌توان آن را تعمیمی از رگرسیون خطی گام به گام و یا شکل اصلاح شده درخت رگرسیونی^۵ انگاشت. قابلیت‌های این روش متناسب با افزایش تعداد متغیرهای ورودی بهتر نمایان می‌شود. فرض کنید $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ مجموعه مشاهدات باشد. روش MARS مقادیر متغیر پاسخ (Yi) را با استفاده از الگویی خاص که بر توابعی به نام توابع مبنا (آینه ای یا چوب هاک) استوار است، برآورد می‌کند. این توابع مطابق رابطه (۱۰) بیان می‌شوند.

$$h_1(x) = (x-t)_+ = \begin{cases} x-t & x > t \\ 0 & x \leq t \end{cases} \quad (10)$$

$$h_2(x) = (t-x)_+ = \begin{cases} t-x & x < t \\ 0 & x \geq t \end{cases}$$

t ثابت گره و نماد "+" به معنای بخش مثبت است. گره t در عمل یکی از مشاهدات متغیر X است. دو تابع $h_1(x)$ و $h_2(x)$ هر یک به تنهایی تابع چوب هاک و هر دو با هم زوج منعکس یافته (تابع آینه ای) در گره t هستند. شرح روش طولانی بوده و در مراجع مورد نظر موجود است. رگرسیون مارس با الگوریتمی سه مرحله‌ای مطابق زیر انجام می‌شود:

الف) آرایش (ایجاد الگوی اولیه به روش پیش رو)

ب) پیرایش (اصلاح الگوی اولیه به روش پس رو)

پ) گزینش (انتخاب الگوی بهینه رگرسیون خطی یک متغیره MARS)

در مرحله گزینش الگویی با کمترین مقدار اعتبار متقابل تعمیم یافته^۶ (GCV) انتخاب می‌شود. این معیار تشخیص برای z امین الگو مطابق رابطه (۱۱) است. m_j تعداد توابع پایه در الگوی J ام. SSE_j مجموع مربعات خطای الگوی J ام، v پارامتر هموارسازی (عددی بین ۰/۲ تا ۰/۴) و n تعداد مشاهدات است. وجود هر تابع پایه در الگو معادل یک گره است. این الگو می‌تواند چندگره ای نیز باشد (Friedman, ۱۹۹۱) و (رضائی‌پژند و جانفدا، ۱۳۹۲).

$$GCV_j = \frac{SSE_j}{(1 - \frac{vm_j}{n})} \quad j=1,2,\dots,2n-2 \quad (11)$$

روش وابستگی سامانه خاکستری در نرم افزار matlab-۲۰۱۲a ، آزمونهای کلاسیک مقایسه ای در SPSS ۱۶.۰ ، محاسبه روند در نرم افزار اکسل و برنامه نویسی در نرم افزار "R.۲.۱۳.۰" به منظور برازش الگوهای غیرخطی استفاده شده است. بسته‌های نرم افزاری plotrix earth, plotmo, leaps و mda در تحلیل

5 -Multivariate Adaptive Regression Splines

6 -Classification and Regression Tree

رگرسیون MARS استفاده شده است.

نتایج و بحث

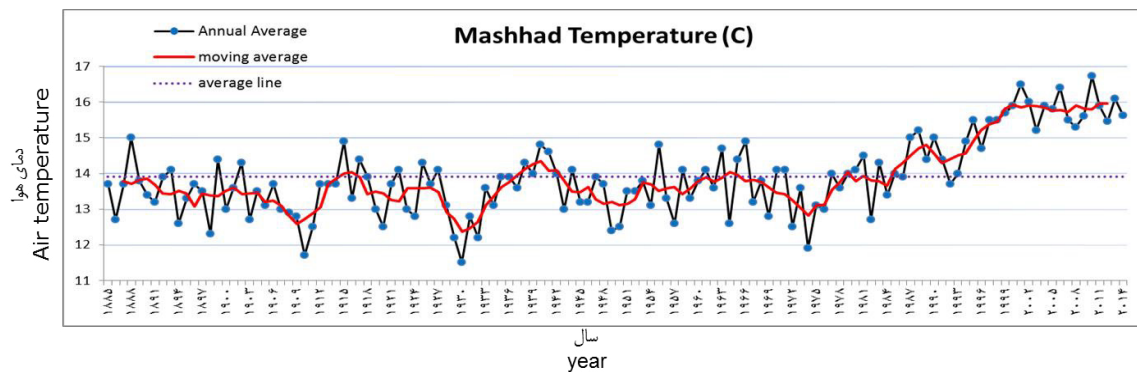
مشهد دارای ۱۳۰ سال آمار بلندمدت دمای ماهانه (۲۰۱۴-۱۸۸۵) است. این آمار برای تأیید وجود روند غیرخطی دما و تأثیر جزیره گرمایی مشهد استفاده شده است. دمای سالانه ایستگاه برون شهری طرق-کرتیان برای مقایسه و تحلیل جزیره حرارتی به کار رفته است. سری‌های زمانی ۱۳۰ سال دمای سالانه مشهد به همراه خط میانگین و میانگین متحرک ۵ ساله در شکل (۲) و سری زمانی دمای سالانه طرق-کرتیان در دوره آماری موجود در شکل (۳) نشان داده شده است.

شکل (۲) روند دوره ای در دمای سالانه مشهد را نشان می‌دهد. همچنین روند دمایی در سال‌های اخیر مشهود است که نشان از یک نقطه شکست و تغییر رفتار سری زمانی سالانه مشهد دارد. لذا برای بررسی‌های بیشتر و تعیین نقطه شکست از روش وابستگی سامانه خاکستری کمک گرفته می‌شود.

بررسی امکان وجود جزیره حرارتی: روش

همبستگی سامانه خاکستری در تشخیص نقطه شکست برای بررسی شروع جزیره حرارتی شهری با نرم افزار ۲۰۱۲a-matlab به کار رفته است. نقطه شکست ایستگاه‌های درون شهری مشهد و برون شهری طرق-کرتیان با این روش به دست آمد. جدول (۲) خلاصه محاسبات را نشان می‌دهد. نقطه شکست برای ایستگاه مشهد و طرق-کرتیان به ترتیب سال ۱۹۷۹ و ۱۹۸۶ به دست آمده است. $\eta(T^*)$ نشان می‌دهد که عدد مربوط به کرتیان کوچک بوده و شکست ضعیفی را در این سری نشان می‌دهد. شکل (۴) نیز بیانگر این مطلب است. آزمون خط رگرسیون برای وجود روند در ایستگاه کرتیان انجام که معادله آن در شکل (۵) آمده است. این آزمون نیز نشان می‌دهد که روند (در سطح ۰/۵٪) وجود ندارد. شیب کم منحنی می‌تواند ناشی از گرم شدن جهانی باشد. سامانه خاکستری نشان از وجود نقطه شکست و نمودارها نشان از صعودی بودن روند بعد از نقطه شکست دارد. میانگین دما قبل و بعد از نقطه شکست به ترتیب ۱۳/۵ و ۱۵ درجه است (شکل ۴).

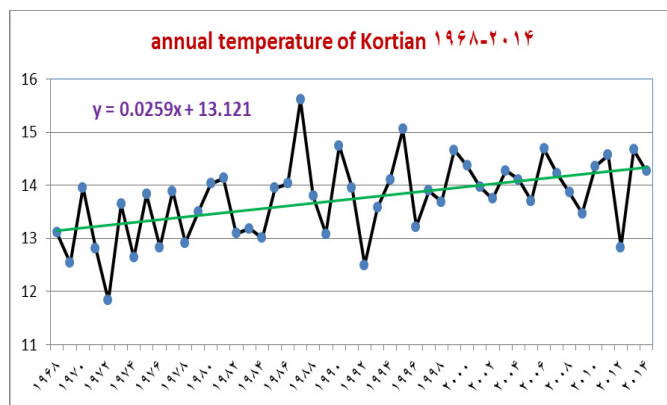
تحلیل روند: وجود نقطه شکست در دمای ۱۳۰ ساله



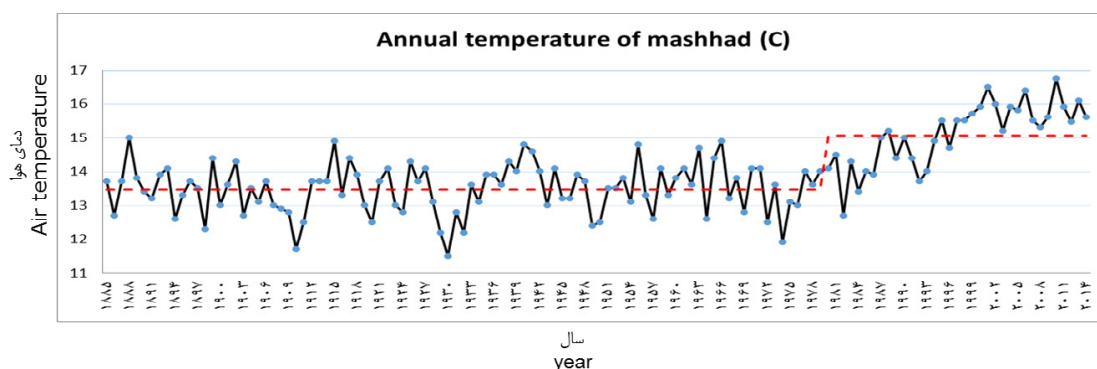
شکل ۲- سری زمانی سالانه دمای ۱۳۰ ساله مشهد، خط میانگین و میانگین متحرک ۵ ساله

جدول ۲- خلاصه نتایج بررسی نقطه شکست سامانه وابستگی خاکستری

ایستگاه	طول دوره	T	Δ_{max}	Δ_{min}	$\eta(T-mean)$	$\eta(T^*)$	نقطه تغییر
مشهد	۱۳۰	۲۰	۱/۸۲	-۳/۹۸	$۵۸/۸ \times 10^{-۹}$	$۴/۸ \times 10^{-۱۰}$	۱۹۷۹
طرق-کرتیان	۴۷	۱۰	۳/۲۳	-۱/۲۵	۱۸/۱۲	۲۲۰/۳۵	۱۹۸۶



شکل ۳- سری زمانی دمای سالانه طرق-کرتیان



شکل ۴- مقایسه میانگین دمای سالانه مشهد قبل و بعد از نقطه شکست

روند است. مطابق جدول (۳) ملاحظه می‌گردد مقادیر b به‌دست آمده مثبت بوده، بنابراین روند تغییرات دمایی ایستگاه‌ها روندی مثبت است. اگر قدرمطلق Z در آزمون من-کندال بیشتر از $1/96$ باشد، در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. اگر قدرمطلق Z بیشتر از $2/58$ باشد، در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار و در غیر این صورت معنی‌دار نیست. مقادیر قدرمطلق Z به‌دست آمده در جدول برای دمای سالانه مشهد قبل از نقطه شکست و دمای ایستگاه طرق-کرتیان معنی‌دار نیست و بعد از نقطه شکست معنی‌دار است. اگر صفر بین دو آماره سن قرار بگیرد، داده‌ها بدون روند است. جدول (۳) نشان می‌دهد که دمای سالانه مشهد قبل از نقطه شکست فاقد روند بوده و بعد از آن روند دارد. بررسی روند دمای ایستگاه برون شهری طرق-کرتیان و نمایه UHI بیانگر عدم وجود

مشهد با سامانه خاکستری اثبات شد. این سامانه نقطه شروع تغییر ناگهانی دما را نشان می‌دهد. بررسی روند با روش پارامتری حداقل مربعات و دو روش ناپارامتری من-کندال و سن انجام می‌شود. روند دما قبل و بعد از نقطه شکست و در ایستگاه‌های برون شهری طرق-کرتیان نیز با این سه روش بررسی شد. نمایه UHI براساس تفاوت دمای شهر با منطقه همجوار که تحت تأثیر افزایش دمای شهر نیست، امکان مطالعه تغییرات دمایی شهر را فراهم می‌کند، از این رو این نمایه برای سال‌های مختلف برای هر دو ایستگاه حومه محاسبه و روند آن به‌منظور تحلیل جزیره گرمایی شهر مشهد بررسی شده است. وجود روند در سری مذکور و ایجاد جزیره گرمایی در مشهد را تأیید می‌کند. اگر b در آزمون حداقل مربعات مثبت باشد، روند مثبت و اگر منفی باشد، روند منفی و اگر صفر باشد، بدون

جدول ۳- خلاصه نتایج بررسی روند دما به روش های پارامتری و ناپارامتری

حدافل مربعات	روش سن		من کندال	آزمون روند
b	QM1-1%	QM2+1%	Z	آماره مناسب
۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۱۲	۰/۰۲۲۵	۶/۵۱	دمای ۱۳۰ ساله مشهد
۰/۰۰۱۲	-۰/۴۷۹	۰/۸۱۴	۰/۵۷	دمای مشهد (قبل از نقطه شکست)
۰/۰۷۱	۰/۰۲۳۲	۰/۰۳۶۴	۷/۶۵	دمای مشهد (بعد از نقطه شکست)
۰/۰۲۶	-۰/۰۴۵	۰/۰۲۶۸	۱/۳۳	دمای طرق کرتیان
۰/۰۴۶	۰/۰۶۰۹۱	۰/۰۲۲۱	۴/۹۸	UHI

جدول ۴- خلاصه نتایج بررسی نرمال بودن داده های دما با آماره های شاپیرو-ویلک و کولموگروف اسمیرنوف

نتیجه	شاپیرو-ویلک		کولموگروف اسمیرنوف		آزمون نرمال بودن
	مقدار احتمال	آماره	مقدار احتمال	آماره	آماره مناسب
نرمال	۰/۶۱۸	۰/۹۴۹	۰/۳۸۷	۰/۹۰۴	دمای مشهد (قبل از نقطه شکست)
نرمال	۰/۱۹۳	۰/۸۸۲	۰/۴۴۵	۰/۸۶۴	دمای مشهد (بعد از نقطه شکست)
نرمال	۰/۱۰۲	۰/۸۸۵	۰/۹۷۵	۰/۴۸۰	دمای طرق کرتیان (قبل از نقطه شکست)
نرمال	۰/۵۱۵	۰/۹۴۱	۰/۹۲۵	۰/۵۴۷	دمای طرق کرتیان (بعد از نقطه شکست)

جدول ۵- خلاصه نتایج مقایسه میانگین های مستقل مشهد و کرتیان قبل و بعد از نقطه شکست

آزمون t		آزمون لون			درجه آزادی	مشهد-کرتیان (قبل از نقطه شکست)
مقدار احتمال	آماره t	مقدار احتمال	آماره F	آماره F		
۰/۲۱۹	-۱/۲۶	۰/۸۲	۰/۰۵۳	۲۲	مشهد-کرتیان (قبل از نقطه شکست)	
۰/۰۰۰	۵/۸۲	۰/۰۲۲	۵/۴۹	۶۸	مشهد-کرتیان (بعد از نقطه شکست)	

موارد بیش از ۰/۰۵ است). نتایج آزمون t برای مقایسه دو نمونه مستقل در دو حالت قبل و بعد از نقطه شکست در جدول (۵) آمده است. آماره آزمون t برای مقایسه میانگین ها هنگامی که واریانس دو نمونه برابر است با زمانی که متفاوت است یکسان نیست. در نتیجه با آزمون لون تعیین می کنیم آیا واریانس ها برابر است. اگر مقدار احتمال در آزمون لون کمتر از ۰/۰۵ باشد یعنی بین واریانس ها اختلاف وجود دارد (در جدول خروجی spss باید سطر دوم در نظر گرفته شود). واریانس داده های دما قبل از نقطه شکست اختلاف معناداری ندارد و واریانس ها بعد از نقطه شکست اختلاف دارند. لذا در هر کدام از حالات t مختص آن محاسبه و در جدول آمده است. نتایج آزمون t قبل از نقطه شکست دارای آماره

روند در این ایستگاه است. نمایه UHI نیز روند را بعد از نقطه شکست در مشهد تأیید می کند، که نشان از وجود و تشکیل جزیره گرمایی شهری است.

آزمون t مستقل: مقایسه میانگین های مشهد و حومه (ایستگاه طرق-کرتیان) قبل و بعد از نقطه شکست (سال ۱۹۷۹) با آزمون t نیز انجام شد. این کار برای تأیید بیشتر وجود جزیره حرارتی است. نتایج در جداول (۴) و (۵) آمده است. آزمون t یک آزمون پارامتری است و باید پیش فرض های آن از قبیل نرمال بودن داده ها و فرض برابری واریانس ها رعایت شود. نتایج آزمون های شاپیرو-ویلک و کولموگروف اسمیرنوف در جدول (۴) آمده است. نتایج این جدول نشان می دهد دمای مشهد و حومه قبل و بعد از نقطه شکست نرمال است (مقدار احتمال در همه

قبل از ۱۹۷۹ فقط نوساناتی را نشان می‌دهد که شامل دوره‌های گرم و سرد هستند و روند آشکاری به چشم نمی‌خورد.

تحلیل روند غیرخطی و کاهش شیب روند در سال‌های اخیر با برازش الگوهای مختلف بررسی شده است. سه الگوی چندجمله‌ای، کمانک‌های هموار و رگرسیون کمانک‌های تطبیقی (مارس) در این خصوص به شرح زیر استفاده شده‌اند.

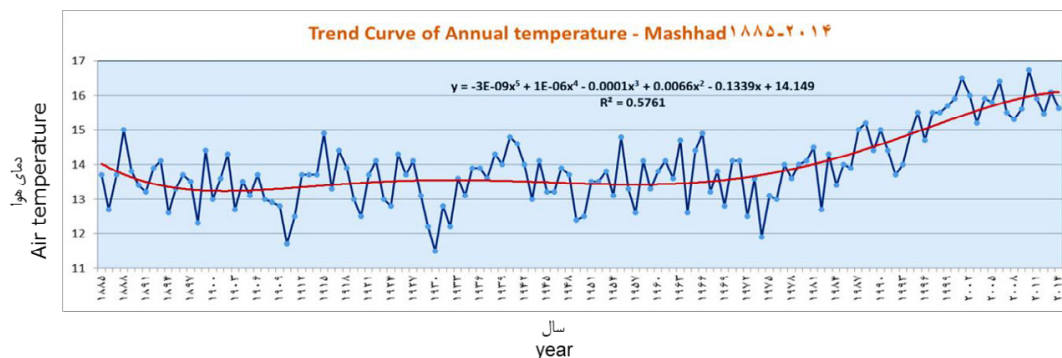
برازش الگوهای چند جمله‌ای: الگوهای مختلف چندجمله‌ای بر داده‌ها برازش داده شد که الگوی درجه ۵ نتیجه مناسب‌تری را ارائه داد (شکل ۵). این شکل به خوبی نشان می‌دهد که سری زمانی قبل از ۱۹۷۹ نوسانات اندکی دارد. و از حدود ۱۹۷۹ تا حدود ۲۰۰۰ شیب تند و بعد از آن تقریباً افقی است. دقت شود که برازش منحنی نیز خطا دارد. داده‌ها برای تحلیل بهتر به دو قسمت قبل و بعد از ۱۹۷۹ تقسیم شدند. الگوی چندجمله‌ای درجه ۵ بر داده‌های بعد از ۱۹۷۹ برازش داده شد (شکل ۶) که به خوبی رفتار S مانند سال‌های اخیر (تشکیل جزیره حرارتی) را نشان می‌دهد. روند نسبتاً افقی در این شکل بعد از سال ۲۰۰۰ نمایان شده است.

برازش کمانک‌های هموار: این الگوها می‌تواند به خوبی روند و تغییرات سری زمانی را به صورت هموار شده، تبیین کند. دو کمانک یکی برای کل داده‌ها (شکل ۷ - چپ) و دیگری داده‌های سال‌های اخیر و کمی قبل از نقطه شکست (شکل ۷- راست) برازش داده شد. (شکل ۷-)

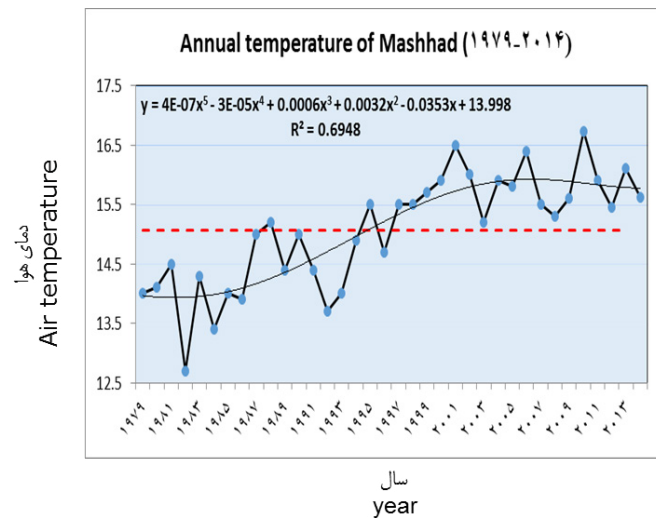
$t=1/26$ است که در سطح $0/05$ برابری میانگین‌ها را رد نمی‌کند ($p\text{-value}=0/219$). یعنی اختلاف معنی‌داری بین میانگین دمای مشهد و کرتیان قبل از نقطه شکست مشاهده نمی‌شود. نتایج آزمون t بعد از نقطه شکست دارای آماره $t=5/82$ است که در سطح $0/05$ برابری میانگین‌ها را رد می‌کند ($p\text{-value}=0/00$). یعنی اختلاف معنی‌داری بین میانگین دمای مشهد و کرتیان بعد از نقطه شکست مشاهده می‌شود.

تحلیل جزیره گرمایی: شیب خط روند ایستگاه برون شهری کرتیان-طرق در دوره آماری موجود $0/026$ است. این شیب در دوره مشابه بعد از نقطه شکست (۱۹۷۹) برای ایستگاه شهری مشهد و ایستگاه برون شهری کرتیان به ترتیب $0/071$ و $0/013$ است. تفاضل شیب خط روند ایستگاه شهری و حومه $0/058$ است (یعنی شیب سالانه جزیره حرارتی مشهد). به این ترتیب دمای متوسط شهر مشهد بعد از سال ۱۹۷۹ (۳۶ سال) حدود $2/5$ درجه افزایش داشته که می‌توان گفت حدود 2 درجه بر اثر تشکیل جزیره حرارتی و $0/5$ درجه بر اثر گرمایش جهانی بوده است.

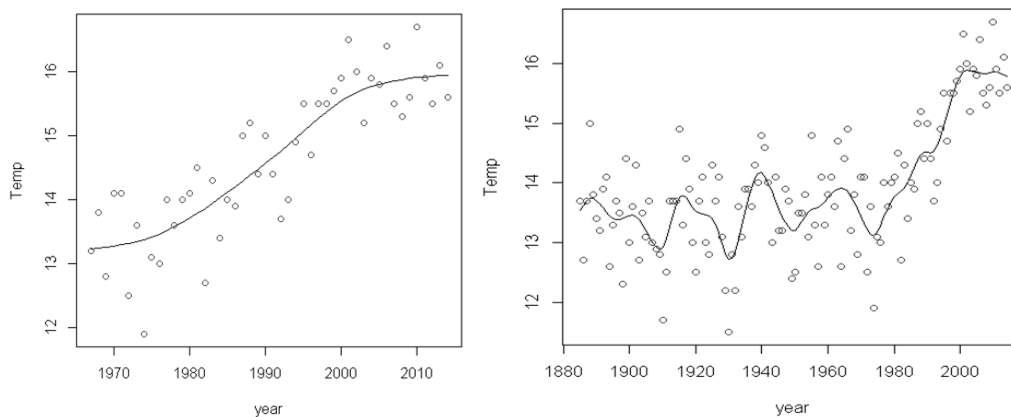
تحلیل روند با الگوهای مختلف: شکل (۵) به روشنی روند غیرخطی را برای ۱۳۰ سال دمای سالانه مشهد نشان می‌دهد. که در سال‌های اخیر تقریباً از یک منحنی S مانند پیروی می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که روند از حدود سال ۱۹۷۹ شیب تندی شروع و تقریباً در سال ۲۰۰۰ با شیب بسیار کمی ادامه دارد. سال‌های



شکل ۵- برازش منحنی چندجمله‌ای درجه ۵ بر ۱۳۰ سال دمای مشهد



شکل ۶- برازش منحنی چندجمله‌ای درجه ۵ بر دمای مشهد بعد از نقطه شکست



شکل ۷- برازش کمانک‌های هموار شده به کل داده‌ها (سمت چپ) و سال‌های اخیر (سمت راست)

شده و به حالت ایستایی رسیده است. این شیب اندک می‌تواند نشان از تأثیر کم جزیره گرمایی در سال‌های اخیر یا حالت اشباع آن باشد که باید در تحقیقی مجزا بررسی شود. خلاصه نتایج حاصل از برازش الگوی کمانک تطبیقی مارس در جدول (۷) آمده است. ضریب تعیین اصلاحی با توجه به این جدول $R^2 = 0.72$ است. ضریب تعیین اصلاح شده $R^2_{adj} = 0.77$ ، مجموع مربعات خطا $RSS = 14/89$ و اعتبار متقابل تعمیم‌یافته $GCV = 0.39$ است. این موارد نشان از خوبی نیکویی برازش دارد. رفتار باقی‌مانده‌ها نیز موید مناسب بودن الگوست که از آوردن

راست) به خوبی افقی شدن خط روند را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد. جدول (۶) آماره‌های مورد نیاز برازش این دو الگو را نشان می‌دهد (نرم افزار R).

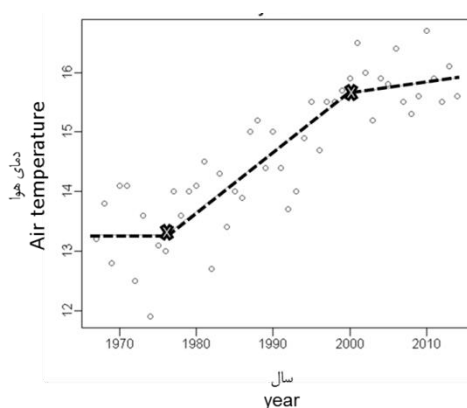
برازش رگرسیون کمانک تطبیقی (مارس):
رگرسیون کمانک تطبیقی مارس بر دمای سالانه مشهد (کمی قبل از نقطه شکست) برازش داده شد. بهترین نتیجه الگوی دو گره‌ای مطابق رابطه (۱۲) است. گره‌ها در نقاط (سال‌های) ۱۹۷۶ و ۲۰۰۰ قرار دارند (شکل ۴). این الگو و شکل (۷) به خوبی نشان می‌دهد که شیب روند دمایی شهر مشهد از حدود سال ۲۰۰۰ خیلی کم

جدول ۶- خلاصه نتایج برازش الگوی کمانک‌های هموار

الگوی کمانک هموار	اعتبارمقابل تعمیم یافته	پارامتر هموارسازی	درجه آزادی هم ارز	معیار جریمه
	GCV	spar	Df	
کل داده ها	۰/۶۲۵۵۹۷۲	۰/۲	۳۹/۸۵۷	۱/۰۶۳۷۸
سالهای اخیر	۰/۷۷۰۱۲۱	۰/۲	۵۷/۹۹۱	۲۴/۹۵۳۳

جدول ۷- خلاصه نتایج برازش الگوی کمانک‌های تطبیقی

الگو	اعتبارمقابل تعمیم یافته	مجموع مربعات خطا	ضریب تبیین تعمیم یافته	ضریب تبیین
pattern	GCV	RSS	GRSq	RSq
مارس MARS	۰/۳۸۶۴۴۳	۱۴/۸۸۶	۰/۷۲۱۷	۰/۷۶۷۱



شکل ۷- برازش الگوی کمانک تطبیقی مارس بر دمای سالانه مشهد

شکل‌های مربوطه صرف‌نظر شد. موارد فوق مناسب بودن الگوی MARS را از دیدگاه آماری تأیید می‌کند.

$$Temperature = 13.27 + 0.0992 * h(year - 1976) + 0.0809 * h(year - 2000) \quad (12)$$

جمع‌بندی

هدف این پژوهش، بررسی روند غیرخطی دمای شهر مشهد و بررسی اجمالی پدیده جزیره حرارتی است. روند طولانی سری زمانی دمای مشهد (۱۳۰ ساله) با روش‌های پارامتری حداقل مربعات و ناپارامتری من-کندال و سن بررسی و نتیجه اینکه وجود این روند با همه روش‌ها تأیید شد. وجود روند در ایستگاه‌های برون شهری کرتیان- طرق با آزمون‌های فوق رد می‌شود. نقطه شکست سری

زمانی دمای ایستگاه شهری مشهد و ایستگاه برون شهری کرتیان - طرق با الگوی وابستگی سامانه خاکستری به ترتیب ۱۹۷۹ و ۱۹۸۶ بدست آمد. بررسی‌ها نشان داد ایستگاه مشهد از سال ۱۹۷۹ با شیب تند (۰/۰۷۹) شروع به گرم شدن کرده و قبل از نقطه شکست روند معناداری نداشته است. نمایه UHI که بیانگر شدت جزیره گرمایی شهری است برای مشهد در دوره آماری مشترک موجود با ایستگاه شاهد محاسبه و روند آن با آزمون‌های فوق معنادار بود. آزمون t نشان داد اختلاف معناداری بین میانگین‌های دمای مشهد و حومه قبل از نقطه شکست وجود ندارد درحالی‌که این آزمون اختلاف معناداری بین این دو بعد از نقطه شکست نشان داد. دمای متوسط شهر مشهد بعد از سال ۱۹۷۹ (۳۶ سال) حدود ۲/۵ درجه

افزایش نشان داد که در صورت مقایسه با ایستگاه برون شهری می‌توان به تقریب ادعا کرد که حدود ۲ درجه مربوط به جزیره حرارتی و ۰/۵ مربوط به گرمایش جهانی است. برازش رگرسیون کمانک تطبیقی مارس و کمانک هموار شده اسپلاین تأیید می‌کند که روند گرم شدن شهر مشهد S مانند است و شیب سال‌های اخیر بسیار کم و به حالت نسبتاً ایستایی رسیده است که می‌تواند فقط بر اثر گرم شدن جهانی باشد. شکل‌ها نشان می‌دهند که روند از حدود سال ۱۹۷۹ با شیب تندی شروع و تقریباً "تا سال ۲۰۰۰ ادامه دارد، سپس با شیب بسیار کمی پیشرفت کرده است. این موارد می‌تواند به تقریب رفتار جزیره حرارتی مشهد را تفسیر کند. سال‌های قبل از ۱۹۷۹ فقط نوساناتی را نشان می‌دهد که شامل دوره‌های گرم و سرد هستند و روند آشکاری به چشم نمی‌خورد. سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ شیب روند تند و سپس این شیب از حدود سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ اندک است. در نتیجه می‌توان ادعا نمود که شروع جزیره گرمایی با شیب زیاد و پس از مدتی شیب آن بسیار کم می‌شود و از یک منحنی S مانند (تجمعی) پیروی می‌کند. یعنی افزایش دمای شهر به علت جزیره حرارتی به یک حالت اشباع مانند می‌رسد. حالت اشباع باید با داده‌های بیشتر و مولفه‌های فیزیکی و ... تأیید شود. تأیید وجود یا رد جزیره گرمایی در یک شهر نیاز به ایستگاه‌های متعدد دماسنجی در نقاط مختلف شهر با یک توزیع مناسب دارد.

مراجع

- آذرخش، م.، فرزادمه‌ر، ج.، اصلاح، م. و سحابی، ه.، ۱۳۸۰، بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، مجله مدیریت مرتع و آبخیزداری، ۶۶، ۱-۱۶.
- امیری، ا.، ۱۳۸۳، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی در رشت، مجله خشکسالی و خشکسالی کشاورزی، ۱۵، ۱-۱۱.
- باهک، ب.، ۱۳۹۱، بررسی احتمال تغییر اقلیم در استان کرمان با روش من-کندال (مطالعه موردی ایستگاه کرمان)، مجله سرزمین جغرافیا.
- خسروی، م.، جاودانی خلیفه، ن. و محمدنیا قرائی، س.، ۱۳۸۲، بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین، سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- رضائی-پژند، ح. و جانفدا، م.، ۱۳۹۲، کاربرد رگرسیون مارس در برآورد بار معلق مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز خراسان رضوی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۹، ۸۸-۹۳.
- عراقی، ا.، موسوی بایگی، م. و هاشمی‌نیا، س.، م.، ۱۳۹۳، بکارگیری تبدیل موجک گسسته برای تحلیل روند و شناسایی الگوهای نوسانی دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد)، مجله آب و خاک، ۲۹، ۲۳۹-۲۴۹.
- عزیزی، ق. و روشنی، م.، ۱۳۸۶، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴، ۱۳-۲۸.
- فرزندی، م.، <https://jsw.um.ac.ir/index.php/jsw/user/viewProfile/author/145916>، ب.، سرمد، م.، ۱۳۹۸، ترمیم داده‌های مفقود هواشناسی با روش‌های تکاملی و یادگیری ماشین، مطالعه موردی: بارش و دمای ماهانه درازمدت مشهد، نشریه آب و خاک، ۳۳(۲): ۳۶۱-۳۷۷.
- فرزندی، م. و رضائی-پژند، ح.، ۱۳۹۳، ترمیم و گسترش ۱۲۷ سال آمار دمای ماهانه مشهد، مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳، ۱۱۱-۱۲۳.
- فرزندی، م. و رضائی-پژند، ح.، ۱۳۹۲، تعیین نقطه‌ی شکست دمای سالانه با الگوی وابستگی سیستم خاکستری برای تحلیل جزیره حرارتی مشهد، ۳، ۴۹-۶۰.
- موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، فریدحسینی، ع. و میانه‌آبادی، ا.، ۱۳۹۱، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۳۶-۴۹.
- Barry, R. Chorley, R. J., 1987, Atmosphere, Weather and climate, London: Methuen and colted.
- Dessler, A. E., 2012, Introduction to Modern Climate Change, Cambridge University Press, pp. 236.
- Friedman, J. H., 1991, Multivariate adaptive regression splines (with discussion), Annals of Statistics, No. 19, pp. 1-141.
- hazanfari1, M. S. Alizadeh, A. Naseri, M. Farid Hosseini, A., 2010, Evaluating the Effects of UHI on Mashhad Precipitation, Journal of Water and Soil, No. 2(24), pp. 359-366.
- Judd, K. L., 1998, Numerical Method in Economics, MIT Press, p. 225.
- Katz, M. H., 2011, Multivariable Analysis: A Practical Guide for Clinicians and Public Health Researchers, Cambridge University Press, p. 82.
- Mark, P. McCarthy, M. Best, J. Betts, R. A., 2010, Climate change in cities due to global warming and urban effects, geophysical research letters, No. 37, pp. 109-705.
- Mohan, M. Kikegawa, Y. Gurjar, B. R. Shweta, B. Kandy, A. Ogawa, K., 2012, Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Air shed in India, Atmospheric and Climate Sciences, pp. 127-138.
- Mousavi-Baygi, M. Ashraf, B. Miyanabady, A., 2010, The Investigation of Tehran's Heat Island by using the Surface Ozone and Temperature Data, International Journal of Applied Environmental Sciences, ISSN 0973-6077, No. 2(5), pp. 189-200.
- Rezaei-Pazhand, H., 2001, Application of statistics and probability in water resources, Published Islamic Azad University of Mashhad, pp. 457.
- Rezaei-Pazhand, H. Bozorgnia, A., 2002, Non-

University of Mashhad University Press, pp. 398.
-Wong, H. Hu, B. Q. Ip, W. C. Xia, J., 2006, Change-point analysis of hydrological time series, using grey relational method, Journal of Hydrology, No. 324, pp. 323-338.

linear regression analysis and its applications.
-Rohinton, E., 2012, Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. Building and Environment, No. 53, pp. 137-149.

Analysis of heat Island and investigation of nonlinear trend of 130-year temperature changes in Mashhad

M. Farzandi¹, H. Rezaee_Pazhand², B. Mirkamandar^{3*}

¹ Ph.D. in Agricultural Meteorology , Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

² M. Sc. Hydrology, Department of Civil Engineering, Azad University of Mashhad

³ Phd. Student of Water Structures, Shahid Bahonar University of Kerman

*Corresponding Author Email: EMAIL

Received: 02 September 2020, accepted: 23 November 2020

ABSTRACT

Urban heat Island to a significant degree high temperature phenomena some towns or in the confines of a village nearby called. Such a phenomenon has led to many problems. This study answers these questions by analyzing 130 years of temperature data of Mashhad. Grey System relational change-point method used to find the starting point of trend in meteorology and hydrology. Several parametric and non-parametric methods were used to linear trend in this study. The least-square tests, Mann-Kendall and Sense significant trend were confirmed after and before the change point. These tests are based on a comparison of null and one Hypotheses. The null hypothesis of this test is based on randomness and lack of trend data series and acceptance assume a (reject the null hypothesis) is evidence of trends in the data series. The three models of regression: polynomial, Soft Spline polynomials (Splines) and Multivariate adaptive regression splines (MARS) was fitted for analyzing trend non-linear of Mashhad temperature. The starting point of trend of Mashhad temperature (start heat island) Obtained 1979 by System relational change-point method .MARS and Spline regression analysis confirms that the warming trend in Mashhad is S-shaped and slope recent years has been very low after 2000 and relatively static state. This phenomenon may be due to the saturation of urban heat island and low trend after 2000 that can be caused by global warming. The results also showed that the average temperature in Mashhad after 1979 has increased by about 2.5 degrees.

Keywords: Urban heat island, Mann-Kendall, change-point, Splines, MARS.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Farzandi, M.; Rezaee_Pazhand, H.; Mirkamandar, B. (2021). Analysis of heat Island and investigation of nonlinear trend of 130-year temperature changes in Mashhad. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(4): 375-389

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

