

مجله مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره چهارم، بهار 93

تاریخ دریافت مقاله: 92/09/16

تاریخ پذیرش مقاله: 93/02/20

تعیین نقطه‌ی شکست دمای سالانه با الگوی وابستگی سیستم خاکستری برای تحلیل جزیره**حرارتی مشهد**محبوبه فرزندی^۱، حجت رضائی پزند^۲، نفیسه سیدنژاد کلختمی^۳**چکیده**

تشکیل جزیره حرارتی در شهرهای بزرگ یکی از مخاطرات محیطی جدید به علت توسعه بی رویه شهرها قلمداد می شود. دمای کره زمین از قرن 19 میلادی در حال افزایش است. جزیره حرارتی کلان شهرها از دو مولفه گرم شدن جهانی و گرم شدن به علت توسعه شهری (رشد جمعیت، توسعه شهری، تغییر کاربری و ...) به وجود آمده است. بررسی این دو مولفه برای شهر مشهد با آمار دراز مدت دمای 127 ساله هدف این مقاله است. نقطه تغییر دمای سالانه مشهد با روش همبستگی سیستم خاکستری سال 1359 به دست آمد. متوسط دما قبل و بعد از 1359 به ترتیب 13/5 و 15/1 با اختلاف 1/6 درجه سانتیگراد بوده و روند افزایشی دارد. این افزایش حدود 3 درجه افزایش را برای سال 1392 نشان می دهد. معادله خط روند خطی شهر مشهد پس از نقطه شکست با ضریب تعیین $R^2 = 0/71$ و آماره آزمون 0/0933 (دارای روند) است. در حالی که این آماره قبل از نقطه شکست 0/0035 (بدون روند) می باشد. افزون بر این دمای سالانه سه ایستگاه کرتیان، بار-اربه و النگ اسدی که خارج از مشهد و در مجاورت آن قرار دارند برای مقایسه وجود جزیره حرارتی نیز بررسی شد. روش همبستگی سیستم خاکستری نقطه شکست این سه ایستگاه را بین سال‌های 1355 تا 1359 نشان داد. این تحلیل نشان داد که افزایش دمای سالانه در مشهد و سه ایستگاه حومه با اندک تفاوتی تقریباً هم زمان هستند. شیب خط روند این سه ایستگاه محاسبه که با آزمون خط رگرسیون در سطح یک درصد معنی دار شد. تفاضل شیب خط روند گرم شدن شهر مشهد با ایستگاه برون شهری النگ اسدی محاسبه شد. علت انتخاب ایستگاه النگ اسدی هم ارتفاع بودن و مجاور بودن آن با مشهد است. نتیجه نهایی نشان داد که جزیره حرارتی در شهر مشهد از حدود سال 1360 با شیب 0/093 شروع شده است. تفاوت دمای سالانه تا سال 1392 حدود 3+ درجه سانتیگراد است. رابطه بین لگاریتم رشد جمعیت و اختلاف دما به صورت یک الگوی استاندارد شده ارائه شد که وجود جزیره حرارتی را تایید می کند.

کلید واژه ها: جزیره حرارتی، گرمایش جهانی، مشهد، سیستم خاکستری، نقطه شکست.

مقدمه

رشد شهرنشینی و صنعت در دهه‌های اخیر سبب آزادسازی انرژی حرارتی زیاد و افزایش آلودگی هوا در ترازهای پایین جو در شهرهای بزرگ شده است. این پدیده را جزیره حرارتی می‌نامند (موهان و همکاران، 2012). این جزیره‌ها معمولاً با سطوح مجزایی که شار حرارتی بیشتری از محیط اطرافشان دارند مشخص می‌شوند. بنابراین عواملی از قبیل منابع حرارتی اضافی حاصل از احتراق مواد سوختی، تغییر در ویژگی‌های سطح زمین، تغییر بودجه تابشی به موجب آلاینده‌ها، ذرات معلق، تلاطم و اغتشاش در اثر وجود ساختمان‌ها، سبب گرم‌تر شدن محیط‌های شهری نسبت به حومه می‌شود. افزایش دمای هوا در محیط‌های شهری در مقیاس روز، ماه و سال نسبت به حومه ویژگی مهم و سیمای مشترک پدیده جزیره حرارتی است. ایجاد شیب حرارتی - به علت به وجود آمدن جزیره حرارتی در یک شهر - می‌تواند عاملی برای برطرف کردن سکون آلودگی هوا در محدوده‌های شهری باشد. اما این آلاینده‌ها می‌توانند به حومه شهرها هدایت شوند. مهمترین مشخصه جزیره حرارتی دمای هوا است (موهان و همکاران، 2012). تغییر در دما می‌تواند سبب تشدید تبخیر، بارش و تاثیر متقابل آلاینده‌ها و... می‌شود. ازدیاد جمعیت، توسعه شهر، تغییرات کاربری و افزایش مصرف مواد سوختی از مهمترین عوامل ایجاد جزیره حرارتی است. این موارد اثر متقابل نیز دارد. به همین دلیل جمعیت یک شهر (P) به عنوان شاخص استاندارد توسعه آن به حساب می‌آید و مهمترین عامل در تحلیل جزیره حرارتی است. محققین مختلف تحقیقات خوبی در تحلیل جزیره حرارتی از دیدگاه‌های متفاوت و تشکیل آن برای شهرهای ایران و سایر کشورها انجام داده‌اند. اشاره به چند مورد مفید است.

موهان و همکاران (2012) معادله (1- الف) را برای حداکثر شدت جزیره حرارتی (DT) شهرهای اروپا و رابطه (1- ب) را برای امریکای شمالی ارائه داد. DT بیشترین اختلاف بین دمای شهر و حومه و P نماد رشد جمعیت شهر است.

$$DT = 4.06 - 2.01 \log P \quad \text{شهرهای اروپا (1- الف)}$$

$$DT = 6.41 - 2.96 \log P \quad \text{امریکای شمالی (1- ب)}$$

موسوی بایگی و همکاران (2010) رابطه (2) را برای شهر تهران به عنوان تصحیح رابطه (1) ارائه داده‌اند. آنها بیشترین اختلاف دمای شهر و حومه را با آماره T_{\min} (دمای حداقل) جانشین کرده‌اند. دوره آماری به کار رفته در این تحقیق 20 سال در بازه زمانی 1973-2003 است.

$$DT_{\min} = -10/78 + 2/429 \log P \quad (2)$$

رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (1384) جزیره حرارتی تهران را برای پیش‌بینی عددی وضع هوا با یک الگوی منطقه‌ای محدود (موسوم به الگوی MM5) شبیه‌سازی کردند. عوامل به کار رفته در تحقیق آنها تغییرات دما و باد در دو روز و در سه ایستگاه در داخل و اطراف شهر تهران بوده است. آنها یک روز توده هوای گرم و روز دیگر توده هوای سرد را برای الگوی فوق انتخاب کرده‌اند. نتایج نشان از تشکیل جزیره حرارتی در تهران بوده است. رضانی و دخت‌محمد (1389) ایجاد جزیره حرارتی در رشت را مطالعه کردند. آنها تفاوت دمایی مناطق مختلف شهر رشت و حاشیه آن را به دست آورده و نقشه دمایی این شهر را تهیه کردند. مکانهای احتمالی جزیره حرارتی براساس پهنه‌بندی نقشه‌های هم‌دمای این شهر مشخص شده است. داده‌های به کار رفته در این تحقیق روزانه و از بهمن 1385 تا خرداد 1386 به مدت پنج ماه بوده است.

غضنفری مقدم و همکاران (1389) رابطه بین جزیره حرارتی و بارش را برای شهر مشهد در مقیاس سالانه بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که همبستگی معنی‌داری بین تغییرات دمایی ایستگاه مشهد ناشی از جزیره حرارتی و بارندگی وجود دارد. آنها نتیجه گرفتند که می‌توان تأثیر جزیره حرارتی را در این شهر با اطمینان قابل قبولی بر روی بارندگی آن پذیرفت. آنها نشان دادند که پدیده جزیره حرارتی مشهد در فصل‌های سرد سبب کاهش بارش و در فصل‌های گرم سبب افزایش آن می‌شود. آمار به‌کار رفته در این تحقیق در مقیاس سالانه و از 1951 تا 2003 است. این فاصله زمانی به دو قسمت بدون پدیده جزیره حرارتی (1951-1985) و با رخ داد جزیره حرارتی (1986-2003) تقسیم شده است. آزمون کروسکال - والیس برای تشخیص تفاوت میانگین دمای این دو دوره استفاده شده است. موسوی بایگی و همکاران (1391) جزیره حرارتی مشهد را با تصاویر ماهواره‌ای و نظریه برخه‌ای بررسی کردند. آنها نشان دادند که دمای تابشی سطح مشهد به‌طور کلی در طی دهه 1992 تا 2002 افزایش داشته است. این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر است. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان داد که مناطق مسکونی در سال 2002 نسبت به سال 1992 توسعه یافته و بسیاری از پوشش‌های گیاهی درون شهری (باغات بزرگ) از بین رفته‌اند. آنها این موضوع را با ابعاد برخه‌ای نیز تأیید کردند. همچنین نتایج نشان داد که بعد برخه‌ای نیمرخ شمال غربی - جنوب شرقی (به علت گسترش بیشتر شهر و عدم یکنواختی سطوح) نسبت به سایر نیمرخ‌ها بیشتر است. تشکیل جزیره حرارتی در تحلیل‌های پژوهشگران فوق کوتاه مدت است. این پژوهش‌ها اغلب در مقیاس روزانه یا با در نظر گرفتن تأثیر سایر عوامل دیگر مانند باد، بارش و ... بوده است. طولانی‌ترین آمار به‌کار رفته مربوط به غضنفری و همکاران (1389) به مدت 54 سال از 1951 تا 2003 است. هدف پژوهش آن‌ها اثبات وجود رابطه بین پدیده جزیره حرارتی و بارش در مشهد بوده است. آنها فقط ایستگاه گل‌مکان را برای مقایسه انتخاب کرده‌اند. تشکیل جزیره حرارتی تغییراتی در سری زمانی دما ایجاد می‌کند. آمار کوتاه مدت در سری‌های زمانی نمی‌تواند به خوبی روند یا نقطه تغییر سری را نشان دهد. زیرا ممکن است وجود روند (ایجاد جزیره گرمایی) نوسانات دوره‌ای باشد نه روند دراز مدت سری. تشخیص نقطه تغییر و تشکیل روند عامل اصلی در تشکیل جزیره حرارتی است. همچنین افزایش دمای سالانه این شهر ممکن است بر اثر عوامل متعددی مانند گرم شدن جهانی دما، توسعه شهری و ... باشد. باید این عوامل را در تحلیل جزیره حرارتی در نظر گرفت. اغلب تشکیل جزیره حرارتی، گرم شدن کره زمین، رشد جمعیت و توسعه شهری در مقیاس سالانه ارزیابی می‌شود. بنابراین تحلیل سالانه جزیره حرارتی با آمار دراز مدت دمای سالانه هوا و مشخص کردن تأثیر عوامل دیگر مانند گرم شدن جهانی کره زمین می‌تواند چهره خوبی از این پدیده را نمایان کند.

هدف و نوآوری مقاله حاضر استفاده از 127 سال دمای سالانه شهر مشهد، رشد جمعیت و تحلیل ایستگاه‌های برون شهری حومه مشهد است. این سری 127 ساله به خوبی می‌تواند نقطه تغییر را به عنوان شروع روند افزایش دما نشان دهد. این کار با همبستگی سیستم خاکستری با پشتوانه ریاضی قوی انجام شده است. افزون بر این دمای سه ایستگاه برون شهری را برای تأثیر و مشخص کردن سهم گرم شدن جهانی در تشکیل جزیره حرارتی نیز در نظر گرفته‌ایم. رابطه (1) نیز برای شهر مشهد تصحیح شده است.

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 1). سال تاسیس این ایستگاه 1332 شمسی (1951 میلادی) است (سالنامه هواشناسی، 35-1334). آمار دمای ماهانه این ایستگاه از بدو تاسیس (1951) تا کنون (2011) به مدت 60 سال در اختیار است. آمار طولانی مدت دمای ماهانه شهر مشهد به مدت 127 سال (1885-2011) موجود است. قسمتی از آن (1885-1940) توسط سفارت سابق آمریکا (واقع در مشهد) آمار برداری شده است. (Smithsonian Institution, 1927, 1934, 1950) و (U.S. Department of Commerce, 1950, 1967, 1977, 1981). این آمار به تقویم هجری شمسی تبدیل که معادل سالهای 1264 (اواخر سلطنت ناصرالدین شاه قاجار) تا 1390 شمسی است. ایستگاه‌های برون شهری بار-اریه، النگ اسدی و سدطرق (کرتیان) نیز مطابق جدول (1) در اطراف مشهد به منظور مقایسه در این تحقیق به کار رفته‌اند. این سه ایستگاه تبخیرسنج بوده و زیر نظر وزارت نیرو و ایستگاه همدید مشهد زیر نظر سازمان هواشناسی ایران است.

جدول 1: مشخصات ایستگاه‌های انتخابی

نام ایستگاه	کد ایستگاه	سال آماری	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
مشهد	-	1885-2011	999	59:38	36:16
بار-اریه	47043	1349-90	1560	58:42:18	36:27:34
النگ اسدی	64-033	1361-90	900	59:48:28	36:15:16
کرتیان-سد طرق	64-044	1346-90	1240	59:30:41	36:10:24

جمعیت مشهد

رشد جمعیت مشهد یکی از عوامل موثر در تشکیل جزیره حرارتی است. آمار جمعیت شهر مشهد از سال 1335 تا 1390 در دوره‌های ده ساله در اختیار است¹. سال‌های میانی با درون‌یابی خطی محاسبه شده است. جدول (2) آمار فوق را نشان می‌دهد. جمعیت دوره‌های ده ساله به صورت رنگی ارائه شده‌اند.

جدول 2: آمار جمعیت سالانه مشهد (1391-1330).

سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت
1330	193307	1343	375830	1356	747343	1369	1777303	1382	2361959
1331	203044	1344	392560	1357	826916	1370	1855752	1383	2378239
1332	212780	1345	409281	1358	906489	1371	1934201	1384	2394520
1333	222517	1346	435129	1359	986062	1372	2012650	1385	2410800
1334	232253	1347	460977	1360	1065635	1373	2091098	1386	2478515
1335	241990	1348	486825	1361	1145208	1374	2169547	1387	2546230
1336	258720	1349	512673	1362	1224781	1375	2247996	1388	2613944
1337	275450	1350	538521	1363	1304354	1376	2264276	1389	2681659
1338	292180	1351	564369	1364	1383927	1377	2280557	1390	2749374
1339	308910	1352	590217	1365	1463508	1378	2296837	1391	3009295
1340	325640	1353	616065	1366	1541957	1379	2313118	□	□
1341	342370	1354	641913	1367	1620406	1380	2329398	□	□
1342	359100	1355	667770	1368	1698854	1381	2345678	□	□

جمعیت دوره‌های ده ساله مشاهده ای به صورت رنگی ارائه شده‌اند.

روش وابستگی سیستم خاکستری¹

یک سیستم خاکستری، سامانه‌ای مناسب برای تحلیل سری‌های کوتاه مدت است (وونگ و همکاران، 2006). سری‌های زمانی دما بارش و غیره در ایران و سایر نقاط جهان کوتاه مدت هستند. روش وابستگی سیستم خاکستری یک شیوه مفید و کارا برای تشخیص نقطه شکست (روند غیرخطی) برای این نوع داده‌هاست (وونگ و همکاران، 2006). این سیستم سری مورد مطالعه را (با روش وابستگی سیستم خاکستری) به سری مرجع و تعداد متنابهی سری مقایسه‌ای تفکیک می‌کند. سپس سری مرجع را با تحلیل وابستگی خاکستری با سایرین مقایسه و نقطه تغییر را (در صورت وجود) تعیین می‌کند. مراحل انجام تعیین نقطه تغییر یک سری زمانی (در صورت وجود) مطابق زیر است. n طول سری زمانی مورد مطالعه است.

1- انتخاب سری مرجع (X_0) و سری‌های مقایسه‌ای (X_i) مطابق رابطه (3) و (4)

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \quad (3) \quad \text{سری مرجع (سری زمانی مورد مطالعه)}$$

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4) \quad \text{سری مقایسه‌ای}$$

2- محاسبه درجه وابستگی خاکستری مطابق روابط (5) تا (6).

$$x_{oi}(k) = \frac{D_{\min} - rD_{\max}}{D_{oi}(k) - rD_{\max}} \quad , \quad k = 1, \dots, n \quad (5) \quad \text{ضرایب وابستگی خاکستری}$$

عوامل رابطه (5) به شرح زیراند:

$D_{oi}(k) = |x_j(k) - x_0(k)|$ قدرمطلق تفاضل دو سری مشاهده‌ای و مقایسه‌ای است. $D_{\min} = \min_i \min_k \{D_{oi}(k)\}$ و $D_{\max} = \max_i \max_k \{D_{oi}(k)\}$ به ترتیب آماره نزدیکی ماکسیمال و

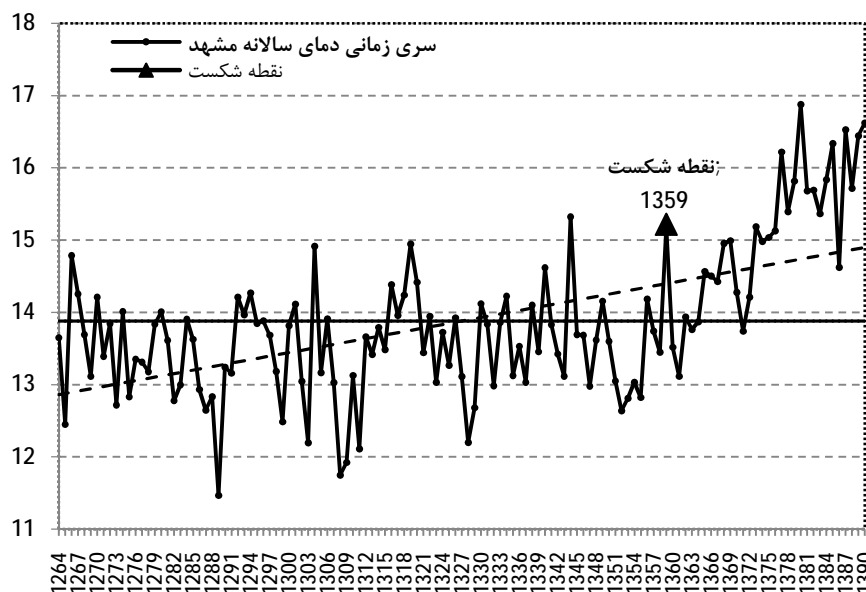
مینیمال اند. $r \hat{I} (0,1)$ ضریب تشخیص درجه نزدیکی X_i و X_0 است. $x_{0i} \hat{I} [0,1]$ و $\sum_{k=1}^n w(k) = 1$ است. درجه وابستگی خاکستری مطابق رابطه (6) است. افزون بر روابط قبل باید آماره‌های زیر نیز با روابط مربوط محاسبه شوند. به علت گستردگی این روابط از ارائه آنها صرف نظر می‌شود. محاسبه سهم تغییرات نسبی از درجه وابستگی $(\eta(T))$. محاسبه سهم تغییرات نسبی ماگزیمال $(\eta(T^*))$. مشخص کردن نقطه تغییر (وونگ و همکاران، 2006).

$$r(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^n w(k) \cdot x_{0i}(k) \quad (6) \quad \text{درجه وابستگی خاکستری}$$

می‌توان با تعیین نقطه شکست به کمک سیستم خاکستری خط روند برای افزایش دمای سالانه را تحلیل کرد.

نتایج و بحث

این مقاله آمار بلند مدت 127 سال دمای سالانه شهر مشهد (1885-2011 میلادی، معادل 1264-1390 شمسی) را برای تحلیل جزیره حرارتی و گرم شدن جهانی در نظر گرفته است (شکل 1). تعیین نقطه شکست دمای سالانه مشهد (شروع تشکیل جزیره حرارتی و گرم شدن جهانی) با روش وابستگی سیستم خاکستری انجام شده است. سه ایستگاه برون شهری نیز برای تعیین روند گرم شدن جهانی و تفکیک آن با جزیره حرارتی شهر مشهد در نظر گرفته شده‌اند. نقطه شکست برای ایستگاه مشهد و سه ایستگاه خارج شهر محاسبه و شیب خط روند برای این چهار ایستگاه به دست آمده است. مقایسه شیب‌ها به خوبی نشان دهنده افزایش دما بر اثر گرم شدن جهانی و جزیره حرارتی است. موارد انجام شده برای درک بهتر مطابق زیر تفکیک شده است.



شکل 1- سری زمانی طولانی مدت دمای سالانه مشهد و نقطه شکست دما

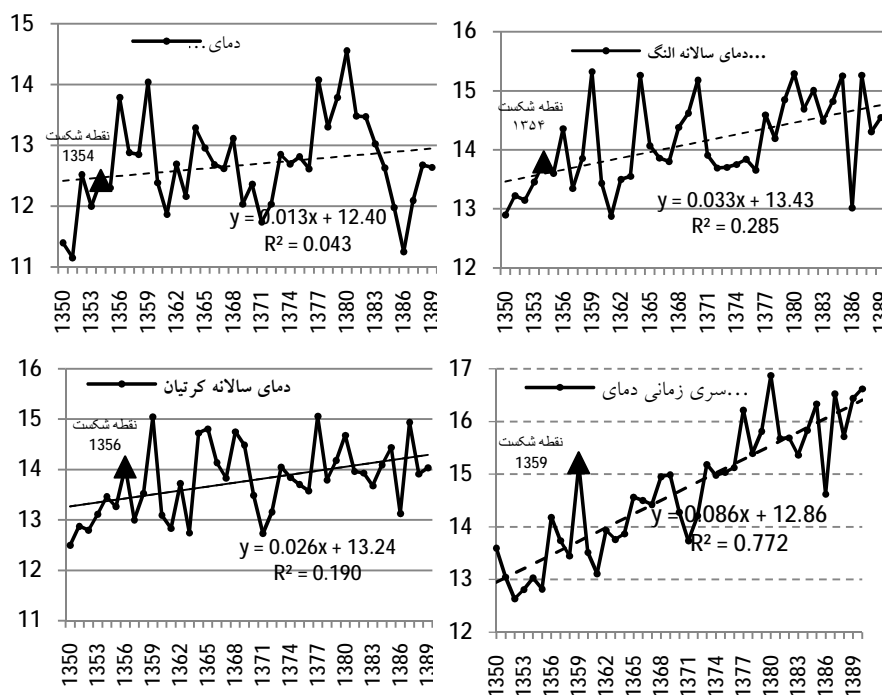
تشخیص نقطه شکست با سیستم خاکستری

مشهد دارای 127 سال آمار بلند مدت دمای ماهانه است (1885-2011) (شکل 1). روش همبستگی سیستم خاکستری برای تشخیص نقطه شکست با نرم افزار matlab-2012a و برنامه نویسی به کار رفته است. جدول (2) خلاصه محاسبات را نشان می‌دهد. نقطه شکست برای شهر مشهد سال 1359 به دست آمده است. این نقطه برای سه ایستگاه برون شهری کرتیان، بار-اریه و النگ اسدی نیز که خارج از مشهد و در مجاورت آن قرار دارند با روش همبستگی سیستم خاکستری محاسبه شده است. چون آمار این سه ایستگاه کوتاه مدت بوده و نقطه شکست آنها تقریباً در سال‌های ابتدایی دوره آماری آنها رخ داده، بنابراین دقت زیادی ندارد. جدول (3) محاسبات مربوط به نقطه شکست را برای این سه ایستگاه در مناطق روستایی و به دور از رشد جمعیت و توسعه شهری هستند. لذا فقط می‌توانند گرم شدن جهانی کره زمین را نشان دهند. نقطه شکست این سه ایستگاه بین سال‌های 1355 تا 1357 رخ داده است (شکل 1 و 2).

این نقاط شکست نشان دهنده روند غیرخطی در سری‌های زمانی فوق است. نتیجه اینکه گرم شدن این چهار ایستگاه (نقطه تغییر روند) با شیب‌های متفاوت و تقریباً به فاصله کمی از یکدیگر شروع شده است. شیب خط روند در مشهد بسیار زیادتر از شیب سه ایستگاه دیگر است لذا می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل جزیره حرارتی نیز علاوه بر تغییر اقلیم در روند گرم شدن مشهد دخالت دارد. به عبارت دیگر بخشی از گرم شدن شهر مشهد به علت تغییر اقلیم و قسمتی مربوط به عوامل دیگر مثلاً تشکیل جزیره حرارتی است.

جدول 3: نتایج نهایی تعیین نقطه تغییر با سیستم خاکستری

نقطه شکست	$\eta(T\text{-mean})$	$\eta(T^*)$	Δ_{max}	Δ_{min}	T	طول دوره (سال)	نام ایستگاه
1359	$817/58 \times 10^9$	$482/37 \times 10^{10}$	2/11	-3/51	20	127	مشهد
1357	86/37	865/61	2/06	-1/01	10	40	کرتیان
1355	32/98	185/35	2/17	-1/43	10	40	بار-اریه
1355	10/37	59/05	2/28	-0/84	10	40	النگ اسدی



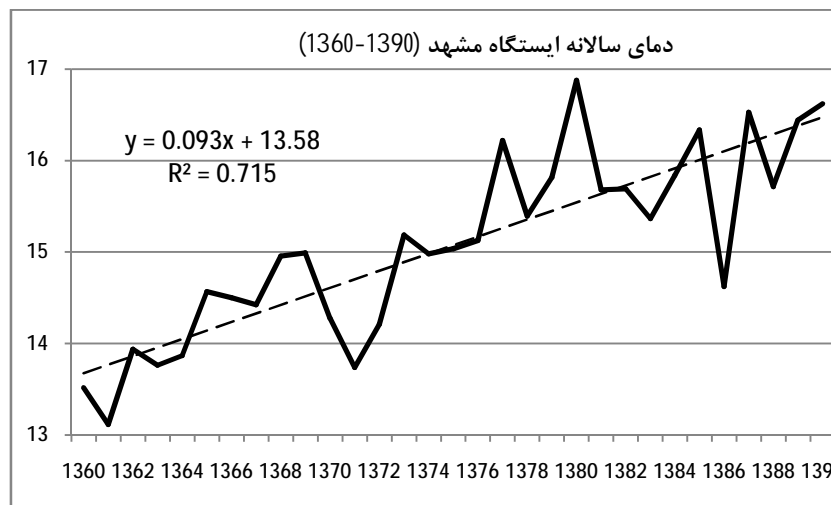
شکل 2: سری زمانی دمای سالانه مشهد و سه ایستگاه برون شهری (با، النگ اسدی و کرتیان) نقطه شکست دما با مثلث مشخص شده است.

تحلیل روند گرم شدن شهر مشهد و سه ایستگاه حومه

روند خطی شهر مشهد پس از نقطه شکست با آزمون رگرسیون انجام شده است (شکل 3). این آزمون وجود روند خطی را در سطح 0/05 پس از نقطه شکست تایید می کند. معادله خط روند $y = 0/0933x + 13/6$ با ضریب تعیین $R^2 = 0/71$ و آماره آزمون 0/0933 است. این آزمون قبل از نقطه شکست نیز با رگرسیون خطی برای ایستگاه مشهد انجام شد معادله خط مطابق $y = 0/0035x + 13/3$ است. این آزمون نشان می دهد که روند در سطح 0/05 (یا 0/01) قبل از نقطه شکست وجود ندارد. لذا سری زمانی 127 ساله دمای سالانه مشهد قبل از نقطه شکست بدون روند و پس از آن با شیب 0/0933 دارای روند خطی است. این روند افزایش 3+ درجه ای را تا سال 1392 نشان می دهد.

نمودارهای سری زمانی مربوط به سه ایستگاه برون شهری بار-اریه، کرتیان و النگ اسدی برای مقایسه در شکل (2) رسم شده اند. نمودارها به صورت چشمی نشان می دهند که روند افزایشی با شدت اندک وجود دارد. معادلات روند روی شکل درج شده است. آزمون رگرسیون روند خطی را در سطح 0/05 در این سه ایستگاه رد می کند. اما در سطح 0/01 وجود روند تایید می شود. شیب این سه به ترتیب 0/0136، 0/0263 و 0/0332 است. یعنی این سه ایستگاه در سال های اخیر تقریباً به طور متوسط هر سال اندکی گرم شده اند که می توان آن را ناشی از گرم شدن جهانی کره زمین دانست. ایستگاه النگ اسدی در نزدیکی مشهد و تقریباً هم ارتفاع آن است. این ایستگاه برون شهری و به دور از توسعه شهری و جمعیتی است. می توان شیب تقریبی خط روند آن را ناشی از گرم شدن جهانی دانست. این شیب گرادیان افزایش دما را نشان می دهد. می توان به تقریب این گرادیان را برای مشهد به عنوان سهم گرم شدن جهانی

از روند افزایشی دمای شهر مشهد در نظر گرفت. تفاضل شیب حرارتی خط روند مشهد و این افزایش را محاسبه که عدد $0/0601 = 0/0332 - 0/0933$ می‌شود. این عدد نشان دهنده تشکیل و رشد جزیره حرارتی سالانه در مشهد است. اگر این روند را برای سال 1392 در نظر بگیریم، آنگاه با رشد متوسطی در حدود 2 درجه سانتیگراد بر اثر جزیره حرارتی در مشهد مواجه می‌شویم که عدد قابل ملاحظه‌ای است. رشد جمعیت می‌تواند عامل اصلی در گرم شدن شهر مشهد باشد زیرا رشد جمعیت سبب رشد صنایع، خودروها، ساختمان سازی و ... می‌شود. بنابراین باید رابطه بین افزایش دما و جمعیت نیز به عنوان ملاکی مهم در تشکیل جزیره حرارتی دانست.



شکل 3: آزمون رگرسیون برای محاسبه روند دمای سالانه مشهد (بعد از نقطه شکست)

رابطه رگرسیونی دما با جمعیت

جمعیت شهر مشهد (P) از سال 1335 تا سال 1390 هر ده سال یک بار آماربرداری و ارائه شده است. جمعیت بقیه سال‌ها با توجه به روند افزایشی با درونیابی برآورد شده‌اند. رابطه (1) برای شهر مشهد در بازه زمانی 1360 تا 1390 (بعد از نقطه شکست) نیز تصحیح شده است. چون DT در رابطه (1) معادل اختلاف دمای شهر و حومه است، لذا ایستگاه النگ اسدی که در مجاورت و خارج شهر و هم ارتفاع با مشهد است، انتخاب و DT برای سال‌های مختلف محاسبه شده است. رابطه (7) با رگرسیون به عنوان جانشین رابطه (1) برای شهر مشهد پس از نقطه شکست به دست می‌آید این رابطه تفاوت چشمگیری با رابطه (1) دارد. علت رشد سریع جمعیت و توسعه شهری شهر مشهد در چند دهه اخیر است. در حالیکه این رشد برای رابطه (1) بسیار کند بوده است. زیرا رشد جمعیت در بعضی از شهرهای اروپا صفر یا منفی است. رابطه (7) با رابطه (2) همخوانی بیشتری دارد. زیرا رشد جمعیت در تمام شهرهای ایران به ویژه کلان شهرها در دهه‌های اخیر بسیار سریع بوده است.

$$(7) DT = -26.37 + 4.29 \log P, \quad R = 0/67$$

نتیجه گیری

اغلب دانشمندان معتقدند که دمای کره زمین از قرن 19 میلادی به آهستگی در حال افزایش است. این گرم شدن در شهرها شدیدتر است. آن را جزیره حرارتی می‌نامند. این جزیره از دو مولفه گرم شدن جهانی و گرم شدن به علت توسعه شهری (رشد جمعیت، توسعه شهری، تغییر کاربری و ...) به وجود آمده است. هدف این مقاله بررسی این دو مولفه برای شهر مشهد با آمار دراز مدت دمای سالانه 127 ساله مشهد است. این آمار از اواخر قرن نوزدهم تا اوایل قرن بیست و یکم را شامل می‌شود بنابراین می‌توان دو مولفه فوق را به خوبی در این آمار تحلیل کرد. این سری به خوبی می‌تواند نقطه تغییر را به عنوان شروع روند نشان دهد. این نقطه با روش همبستگی سیستم خاکستری با پشتوانه ریاضی قوی انجام شد (روابط 3 تا 6). نقطه شکست برای شهر مشهد براساس این روش سال 1359 به دست آمد (جدول 2). افزون بر این دمای سالانه سه ایستگاه کرتیان، بار-اریه و النگ اسدی که خارج از مشهد و در مجاورت آن قرار دارند برای مقایسه وجود جزیره حرارتی نیز بررسی شد. نقطه شکست برای این سه ایستگاه نیز با روش همبستگی سیستم خاکستری محاسبه شد (جدول 2). این نقطه برای این سه ایستگاه بین سال-های 1355 تا 1359 رخ داده است. چون آمار این سه ایستگاه کوتاه مدت است. لذا نمی‌توان این نقاط شکست را به دقت تعیین کرد. اما همین تحلیل نشان داد که افزایش دما در مشهد و سه ایستگاه حومه با اندک تفاوتی تقریباً هم زمان هستند. شیب خط روند این سه ایستگاه محاسبه که با آزمون خط رگرسیون در سطح یک درصد معنی دار شد (شکل 2). تفاضل شیب خط روند گرم شدن شهر مشهد با ایستگاه برون شهری النگ اسدی محاسبه و شیب سالانه جزیره حرارتی مشهد 0/06 به دست آمد. علت انتخاب ایستگاه النگ اسدی هم ارتفاع بودن و مجاور بودن آن با مشهد است. نتیجه نهایی اینکه جزیره حرارتی در شهر مشهد به طور کلی از سال 1360 با شیب 0/06 شروع شده است. دمای متوسط شهر مشهد قبل و بعد از سال 1360 بر اثر تشکیل جزیره حرارتی به طور متوسط به حدود 1/6 درجه سانتیگراد افزایش نشان داد. این افزایش روند صعودی دارد که افزایش متوسط دمای شهر مشهد را 2 درجه برای سال 1392 نشان می‌دهد. بنابراین افزایش 2 درجه ای دما به علت وجود جزیره حرارتی قابل چشم پوشی نیست. رابطه بین رشد جمعیت و اختلاف دما (رابطه 7) نیز این مطلب را پشتیبانی می‌کند.

منابع

- 1- رضائی، بهمن، دخت محمد، سیده مریم، (1389). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره حرارتی در شهر رشت. مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال اول، شماره اول، ص. 49-64.
- 2- رضائی‌پژند، حجت، بزرگ نیا، ابوالقاسم، (1381). تحلیل رگرسیون غیرخطی و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. 398 صفحه.
- 3- رنجبر سعادت آبادی، عباس، آزادی، مجید، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، صادقی حسینی، سیدعلیرضا، (1384). مطالعه موردی جزیره حرارتی تهران و شبیه سازی عددی آن. مجله فیزیک زمین و فضا، جلد 31، شماره 1، ص. 63-78.
- 4- سالنامه آماری هواشناسی، (35-1334). سازمان هواشناسی کل کشور.
- 5- غضنفری مقدم، محمد صادق، علیزاده، امین، ناصری مقدم، مهیار، فرید حسینی، علیرضا، (1389). بررسی اثر جزیره حرارتی شهری بر روند تغییرات ریزشهای جوی مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد 24، شماره 2، ص. 359-366.
- 6- موسوی بایگی، محمد، اشرف، بتول، فرید حسینی، علیرضا، میان آبادی، آمنه، (1391). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نظریه فرکتال، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، ص. 35-49.
- 7- Mohan, Manju, Kikegawa, Yukihiko, Gurjar, B.R., Bhati, Shweta, Kandya, Anurag, Ogawa, Koichi, (2012), Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Air shed in India. 2, 127-138 Atmospheric and Climate Sciences.
- 8- Mousavi-Baygi, Mohammad, Ashraf, Batool, Miyanabady, Ameneh, (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 Volume 5, Number 2, pp. 189-200.
- 9- Smithsonian Institution, (1927), World weather records, 1910-1920. S. Smithsonian. Miss C. Collect. , 79. (Publication2913.)
- 10- Smithsonian Institution, (1934), World weather records, 1921-1930. Smiths on. Miss c. Col lect., 90. (Publication3216.)
- 11- Smithsonian Institution. (1947). World weather records, 1931 - 1940. Smiths on. Misc. Col Lect., 105. (Publication3803.)
- 12- U.S. Department of Commerce, (1950), World weather records, 1941 -1950. Washington, DC, V. S. Department of Commerce. Weather Bureau.
- 13- U.S. Department of Commerce, (1968), World weather records, 1951 -1960. Washington, DC, V.S. Department of Commerce. Environmental Science Services Administration.
- 14- U.S. Department of Commerce, (1977), World weather records, 1971-1980. Washington, DC, V. S. Department of Commerce. National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- 15- U.S. Department of Commerce. (1981). Word weather records, 1961 -1970. Washington, DC, V.S. Department of Commerce. National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- 16- Wong Harry, Hu, B.Q., Ip, W.C., Xia, J., (2006,) Change-point analysis of hydrological time series using grey relational method. Volume322, PP 323-338, Journal of Hydrology, ELSEVIER.