

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره چهارم، بهار ۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۰۲/۲۰

## تعیین نقطه‌ی شکست دمای سالانه با الگوی وابستگی سیستم خاکستری برای تحلیل جزیره

### حرارتی مشهد

محبوبه فرزندی<sup>۱</sup>، حجت رضائی پزند<sup>۲</sup>، نفیسه سیدنژاد گلختمی<sup>۳</sup>

#### 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 ۱۹ 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 ۱۲۷ ساله هدف این مقاله است. نقطه تغییر دمای سالانه مشهد با روش همبستگی سیستم خاکستری سال ۱۳۵۹ به دست آمد. متوسط دما قبل و بعد از ۱۳۵۹ به ترتیب ۱۳/۵ و ۱۵/۱ با اختلاف ۱/۶ درجه سانتیگراد بوده و روند افزایشی دارد. این افزایش حدود ۳ درجه افزایش را برای سال ۱۳۹۲ 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-اریه و النگ اسدی که خارج از مشهد 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 ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۹ 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 ۱۳۶۰ با شیب  $0/093$  شروع شده است. تفاوت دمای سالانه تا سال ۱۳۹۲ حدود  $3+3$  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، ۲۰۱۲). 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 - بهعلت بهوجود 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، ۲۰۱۲). 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 (۲۰۱۲) معادله (۱-الف) را برای حداکثر شدت جزیره حرارتی ( $\Delta T$ ) شهرهای اروپا و رابطه (۱-ب) را برای امریکای شمالی ارائه داد.  $\Delta T$  بیشترین اختلاف بین دمای شهر و حومه و P نماد رشد جمعیت شهر است.

$$\Delta T = 4.06 - 2.01 \log P \quad \text{شهرهای اروپا (۱-الف)}$$

$$\Delta T = 6.41 - 2.96 \log P \quad \text{امریکای شمالی (۱-ب)}$$

موسوی بایگی و همکاران (۲۰۱۰) رابطه (۲) را برای شهر تهران به عنوان تصحیح رابطه (۱) 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 ۲۰ سال در بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۷۳ است.

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

رنجبر سعادتآبادی و همکاران (۱۳۸۴) 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 (۱۳۸۹) ایجاد جزیره حرارتی در رشت را مطالعه کردند. آنها تفاوت دمائی مناطق مختلف شهر رشت و حاشیه آن را بهدست آورده و نقشه دمائی 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 ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ به مدت پنج ماه بوده است.

غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۸۹) 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 ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ است. این فاصله زمانی به دو قسمت بدون پدیده جزیره حرارتی (۱۹۵۱-۱۹۸۵) و با رخ داد جزیره حرارتی (۲۰۰۳-۱۹۸۶) تقسیم شده است. آزمون کروסקال - والیس برای تشخیص تفاوت میانگین دمای این دو دوره استفاده شده است.

موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) 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 ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است. این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر است. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان داد که مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ 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 (۱۳۸۹) به مدت ۵۴ سال از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ 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 ۱۲۷ سال دمای سالانه شهر مشهد، رشد جمعیت و تحلیل ایستگاههای برون شهری حومه مشهد است. این سری ۱۲۷ 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 (۱) 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 ۱). سال تاسیس این ایستگاه ۱۳۳۲ شمسی (۱۹۵۱ میلادی) است (سالنامه هواشناسی، ۳۵-۱۳۳۴). آمار دمای ماهانه این ایستگاه از بدو تاسیس (۱۹۵۱) تا کنون (۲۰۱۱) به مدت ۶۰ سال در اختیار است. آمار طولانی مدت دمای ماهانه شهر مشهد به مدت ۱۲۷ سال (۲۰۱۱-۱۸۸۵) موجود است. قسمتی از آن (۱۹۴۰-۱۸۸۵) توسط سفارت سابق آمریکا (واقع در مشهد) آمار برداری شده است. (U.S. *Smithsonian Institution, 1927,1934,1950*) و (Department of Commerce, 1950,1967,1977,1981). این آمار به تقویم هجری شمسی تبدیل که معادل سالهای ۱۲۶۴ (اواخر سلطنت ناصرالدین شاه قاجار) تا ۱۳۹۰ شمسی است. ایستگاه‌های برون شهری بار-اریه، النگ اسدی و سدطرق (کرتیان) نیز مطابق جدول (۱) 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 ۱: مشخصات ایستگاه‌های انتخابی

نام ایستگاه	کد ایستگاه	سال آماری	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
مشهد	-	۱۸۸۵-۲۰۱۱	۹۹۹	۵۹:۳۸	۳۶:۱۶
بار-اریه	۴۷۰۴۳	۱۳۴۹-۹۰	۱۵۶۰	۵۸:۴۲:۱۸	۳۶:۲۷:۳۴
النگ اسدی	۶۴-۰۳۳	۱۳۶۱-۹۰	۹۰۰	۵۹:۴۸:۲۸	۳۶:۱۵:۱۶
کرتیان-سد طرق	۶۴-۰۴۴	۱۳۴۶-۹۰	۱۲۴۰	۵۹:۳۰:۴۱	۳۶:۱۰:۲۴

### جمعیت مشهد

رشد جمعیت مشهد یکی از عوامل موثر در تشکیل جزیره حرارتی است. آمار جمعیت شهر مشهد از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ در دوره‌های ده ساله در اختیار است<sup>۱</sup>. سالهای میانی با درون‌یابی خطی محاسبه شده است. جدول (۲) آمار فوق را نشان می‌دهد. جمعیت دوره‌های ده ساله به‌صورت رنگی ارائه شده‌اند.

جدول ۲: آمار جمعیت سالانه مشهد (۱۳۹۱-۱۳۳۰).

سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت
۱۳۳۰	۱۹۳۳۰۷	۱۳۴۳	۳۷۵۸۳۰	۱۳۵۶	۷۴۷۳۴۳	۱۳۶۹	۱۷۷۷۳۰۳	۱۳۸۲	۲۳۶۱۹۵۹
۱۳۳۱	۲۰۳۰۴۴	۱۳۴۴	۳۹۲۵۶۰	۱۳۵۷	۸۲۶۹۱۶	۱۳۷۰	۱۸۵۵۷۵۲	۱۳۸۳	۲۳۷۸۲۳۹
۱۳۳۲	۲۱۲۷۸۰	۱۳۴۵	۴۰۹۲۸۱	۱۳۵۸	۹۰۶۴۸۹	۱۳۷۱	۱۹۳۴۲۰۱	۱۳۸۴	۲۳۹۴۵۲۰
۱۳۳۳	۲۲۲۵۱۷	۱۳۴۶	۴۳۵۱۲۹	۱۳۵۹	۹۸۶۰۶۲	۱۳۷۲	۲۰۱۲۶۵۰	۱۳۸۵	۲۴۱۰۸۰۰
۱۳۳۴	۲۳۲۲۵۳	۱۳۴۷	۴۶۰۹۷۷	۱۳۶۰	۱۰۶۵۶۳۵	۱۳۷۳	۲۰۹۱۰۹۸	۱۳۸۶	۲۴۷۸۵۱۵
۱۳۳۵	۲۴۱۹۹۰	۱۳۴۸	۴۸۶۸۲۵	۱۳۶۱	۱۱۴۵۲۰۸	۱۳۷۴	۲۱۶۹۵۴۷	۱۳۸۷	۲۵۴۶۲۳۰
۱۳۳۶	۲۵۸۷۲۰	۱۳۴۹	۵۱۲۶۷۳	۱۳۶۲	۱۲۲۴۷۸۱	۱۳۷۵	۲۲۴۷۹۹۶	۱۳۸۸	۲۶۱۳۹۴۴
۱۳۳۷	۲۷۵۴۵۰	۱۳۵۰	۵۳۸۵۲۱	۱۳۶۳	۱۳۰۴۳۵۴	۱۳۷۶	۲۲۶۴۲۷۶	۱۳۸۹	۲۶۸۱۶۵۹
۱۳۳۸	۲۹۲۱۸۰	۱۳۵۱	۵۶۴۳۶۹	۱۳۶۴	۱۳۸۳۹۲۷	۱۳۷۷	۲۲۸۰۵۵۷	۱۳۹۰	۲۷۴۹۳۷۴
۱۳۳۹	۳۰۸۹۱۰	۱۳۵۲	۵۹۰۲۱۷	۱۳۶۵	۱۴۶۳۵۰۸	۱۳۷۸	۲۲۹۶۸۳۷	۱۳۹۱	۳۰۰۹۲۹۵
۱۳۴۰	۳۲۵۶۴۰	۱۳۵۳	۶۱۶۰۶۵	۱۳۶۶	۱۵۴۱۹۵۷	۱۳۷۹	۲۳۱۳۱۱۸	□	□
۱۳۴۱	۳۴۲۳۷۰	۱۳۵۴	۶۴۱۹۱۳	۱۳۶۷	۱۶۲۰۴۰۶	۱۳۸۰	۲۳۲۹۳۹۸	□	□
۱۳۴۲	۳۵۹۱۰۰	۱۳۵۵	۶۶۷۷۷۰	۱۳۶۸	۱۶۹۸۸۵۴	۱۳۸۱	۲۳۴۵۶۷۸	□	□

جمعیت دوره‌های ده ساله مشاهده‌ای به‌صورت رنگی ارائه شده‌اند.

### روش وابستگی سیستم خاکستری<sup>□</sup>

یک سیستم خاکستری، سامانه‌ای مناسب برای تحلیل سری‌های کوتاه مدت است (وونگ و همکاران، ۲۰۰۶). 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، ۲۰۰۶). 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.

۱- انتخاب سری مرجع  $(X_0)$  و سری‌های مقایسه‌ای  $(X_i)$  مطابق رابطه (۳) و (۴)

$$(۳) \quad X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \quad \text{سری مرجع (سری زمانی مورد مطالعه)}$$

$$(۴) \quad X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{سری مقایسه‌ای}$$

۲- محاسبه درجه وابستگی خاکستری مطابق روابط (۵) تا (۶).

$$(۵) \quad \xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} - \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) - \rho \Delta_{\max}} \quad , \quad k = 1, \dots, n \quad \text{ضرایب وابستگی خاکستری}$$

عوامل رابطه (۵) به شرح زیراند:

$$\Delta_{oi}(\mathbf{k}) = |\mathbf{x}_j(\mathbf{k}) - \mathbf{x}_o(\mathbf{k})|$$

قدرمطلق تفاضل دو سری مشاهده‌های و مقایسه‌های است.

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k \{\Delta_{oi}(\mathbf{k})\} \quad \text{و} \quad \Delta_{\max} = \max_i \max_k \{\Delta_{oi}(\mathbf{k})\}$$

مینیمالاند.  $\rho \in (0,1)$  ضریب تشخیص درجه نزدیکی  $\mathbf{X}_i$  و  $\mathbf{X}_o$  است.  $\xi_{oi} \in [0,1]$  و  $\sum_{k=1}^n \omega(\mathbf{k}) = 1$  است. درجه

وابستگی خاکستری مطابق رابطه (۶) 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

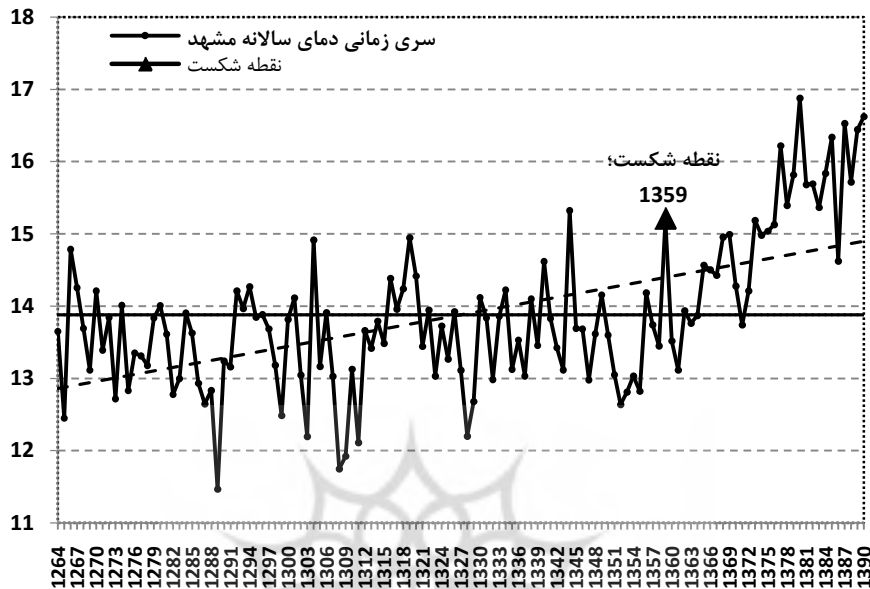
$(\eta(T))$ . محاسبه سهم تغییرات نسبی ماگزیمال  $(\eta(T^*))$ . مشخص کردن نقطه تغییر (وونگ و همکاران، ۲۰۰۶).

$$r(\mathbf{x}_o, \mathbf{x}_i) = \sum_{k=1}^n \omega(\mathbf{k}) \cdot \xi_{oi}(\mathbf{k}) \quad (6) \quad \text{درجه وابستگی خاکستری}$$

می توان 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 ۱۲۷ سال دمای سالانه شهر مشهد (۲۰۱۱-۱۸۸۵ میلادی، معادل ۱۳۹۰-۱۲۶۴ شمسی) را برای تحلیل جزیره حرارتی و گرم شدن جهانی در نظر گرفته است (شکل ۱). 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 ۱- سری زمانی طولانی مدت دمای سالانه مشهد و نقطه شکست دما

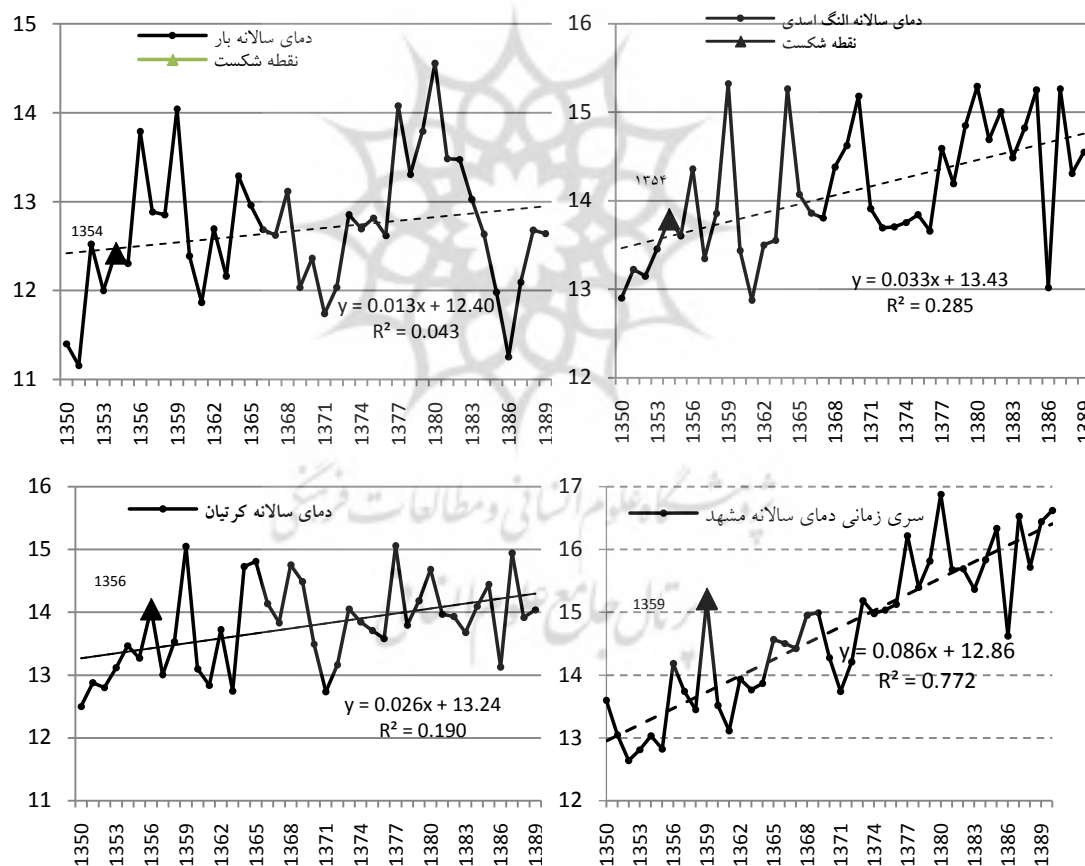
### تشخیص نقطه شکست با سیستم خاکستری

مشهد دارای ۱۲۷ سال آمار بلند مدت دمای ماهانه است (۲۰۱۱-۱۸۸۵) (شکل ۱). روش همبستگی سیستم خاکستری برای تشخیص نقطه شکست با نرم افزار matlab-2012a و برنامه نویسی به کار رفته است. جدول (۲) خلاصه محاسبات را نشان میدهد. نقطه شکست برای شهر مشهد سال ۱۳۵۹ به دست آمده است. این نقطه برای سه ایستگاه برون شهری کریتیان، 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 (۳) محاسبات مربوط به نقطه شکست را برای این سه نشان میدهد. 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 ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۷ رخ داده است (شکل ۱ و ۲).

این نقاط شکست نشان دهنده روند غیر خطی در سریهای زمانی فوق است. نتیجه اینکه گرم شدن این چهار ایستگاه (نقطه تغییر روند) با شیب های 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 ۳: نتایج نهایی تعیین نقطه تغییر با سیستم خاکستری

نام ایستگاه	طول دوره (سال)	T	$\Delta_{min}$	$\Delta_{max}$	$\eta(T^*)$	$\eta(T\text{-mean})$	نقطه شکست
مشهد	۱۲۷	۲۰	-۳/۵۱	۲/۱۱	$۴۸۲/۳۷ \times ۱۰^{-۱۰}$	$۸۱۷/۵۸ \times ۱۰^{-۹}$	۱۳۵۹
کرتیان	۴۰	۱۰	-۱/۰۱	۲/۰۶	۸۶۵/۶۱	۸۶/۳۷	۱۳۵۷
بار-اریه	۴۰	۱۰	-۱/۴۳	۲/۱۷	۱۸۵/۳۵	۳۲/۹۸	۱۳۵۵
النگ اسدی	۴۰	۱۰	-۰/۸۴	۲/۲۸	۵۹/۰۵	۱۰/۳۷	۱۳۵۵



شکل ۲: سری زمانی دمای سالانه مشهد و سه ایستگاه برون شهری (با، النگ اسدی و کرتیان) نقطه شکست دما با مثلث مشخص شده است.

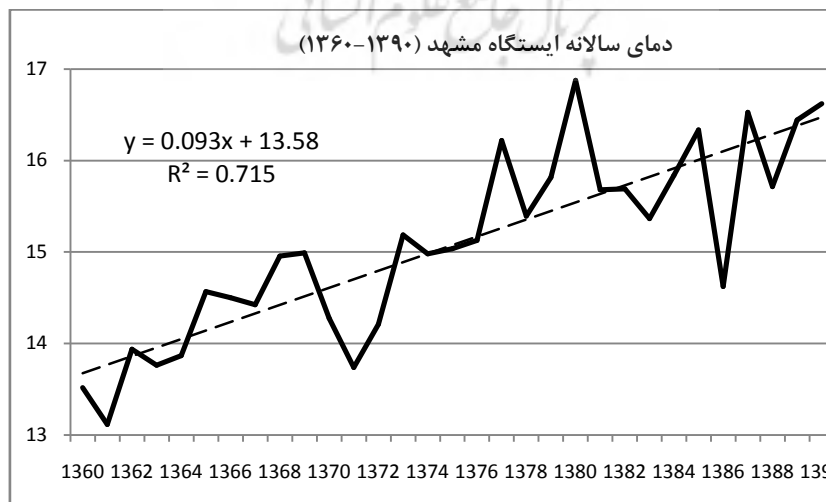
### تحلیل روند گرم شدن شهر مشهد و سه ایستگاه حومه

روند خطی شهر مشهد پس از نقطه شکست با آزمون رگرسیون انجام شده است (شکل ۳). این آزمون وجود روند خطی را در سطح  $0/05$  پس از نقطه شکست تایید می کند. معادله خط روند  $y = 0/09۳۳x + ۱۳/۶$  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 میدهد 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 (۲) رسم شده‌اند. نمودارها به صورت چشمی نشان میدهند 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 میکند. اما در سطح  $0/01$  وجود روند تایید میشود. شیب این سه به ترتیب  $0/0136$ ،  $0/0263$  و  $0/0332$  است. یعنی این سه ایستگاه در سالهای اخیر تقریباً به طور متوسط هر سال اندکی گرم شده‌اند که میتوان 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  $0/0601 = 0/0933 - 0/0332$  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 می شویم که عدد قابل ملاحظه ای است. رشد جمعیت می تواند عامل اصلی در گرم شدن شهر مشهد باشد زیرا رشد جمعیت سبب رشد صنایع، خودروها، ساختمان سازی و ... می شود. بنابراین باید رابطه بین افزایش دما و جمعیت نیز به عنوان ملاکی مهم در تشکیل جزیره حرارتی دانست.



شکل ۳: آزمون رگرسیون برای محاسبه روند دمای سالانه مشهد (بعد از نقطه شکست)

### رابطه رگرسیونی دما با جمعیت

جمعیت شهر مشهد (P) از سال ۱۳۳۵ تا سال ۱۳۹۰ هر ده سال یک بار آماربرداری و ارائه شده است. جمعیت بقیه سالها با توجه به روند افزایشی با درونیایی برآورد شده اند. رابطه (۱) برای شهر مشهد در بازه زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ (بعد از نقطه شکست) نیز تصحیح شده است. چون  $\Delta T$  در رابطه (۱) 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  $\Delta T$  برای سالهای مختلف محاسبه شده است. رابطه (۷) با رگرسیون به عنوان جانشین رابطه (۱) برای شهر مشهد پس از نقطه شکست به دست میآید. این رابطه تفاوت چشمگیری با رابطه (۱) دارد. علت رشد سریع جمعیت و توسعه شهری شهر مشهد در چند دهه اخیر است. در حالیکه این رشد برای رابطه (۱) بسیار کند بوده است. زیرا رشد جمعیت در بعضی از شهرهای اروپا صفر یا منفی است. رابطه (۷) با رابطه (۲) همخوانی بیشتری دارد. زیرا رشد جمعیت در تمام شهرهای ایران به ویژه کلان شهرها در دهه‌های اخیر بسیار سریع بوده است.

$$(\Delta T)_7 = -26.37 + 4.29 \log P, \quad R = 0.67$$

### نتیجه گیری

اغلب دانشمندان معتقدند که دمای کره زمین از قرن ۱۹ 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 ۱۲۷ ساله مشهد است. این آمار از اواخر قرن نوزدهم تا اوایل قرن بیست و یکم را شامل می شود بنابراین می توان 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 ۳ تا ۶). نقطه شکست برای شهر مشهد براساس این روش سال ۱۳۵۹ بهدست آمد (جدول ۲). 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 ۲). این نقطه برای این سه ایستگاه بین سال - های ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۹ 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 ۲). تفاضل شیب خط روند گرم شدن شهر مشهد با ایستگاه برون شهری النگ اسدی محاسبه و شیب سالانه جزیره حرارتی مشهد ۰/۰۶ 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 ۱۳۶۰ با شیب ۰/۰۶ شروع شده است. دمای متوسط شهر مشهد قبل و بعد از سال ۱۳۶۰ بر اثر تشکیل جزیره حرارتی به طور متوسط به حدود ۱/۶ درجه سانتیگراد افزایش نشان داد. این افزایش روند صعودی دارد که افزایش متوسط دمای شهر مشهد را ۲ درجه برای سال ۱۳۹۲ نشان می دهد. بنابراین افزایش ۲ درجه ای دما به علت وجود جزیره حرارتی قابل چشم پوشی نیست. رابطه بین رشد جمعیت و اختلاف دما (رابطه ۷) نیز این مطلب را پشتیبانی میکند.



## منابع

- ۱ - رضائی، بهمن، دخت محمد، سیده مریم، (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره حرارتی در شهر رشت. مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال اول، شماره اول، ص. ۶۴-۴۹.
- ۲ - رضائی پزند، حجت، بزرگ نیا، ابوالقاسم، (۱۳۸۱). تحلیل رگرسیون غیرخطی و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۹۸ صفحه.
- ۳ - رنجبر سعادت آبادی، عباس، آزادی، مجید، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، صادقی حسینی، سیدعلیرضا، (۱۳۸۴). مطالعه موردی جزیره حرارتی تهران و شبیه سازی عددی آن. مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱، شماره ۱، ص. ۷۸-۶۳.
- ۴ - سالنامه آماری هواشناسی، (۳۵-۱۳۳۴). سازمان هواشناسی کل کشور.
- ۵ - غضنفری مقدم، محمد صادق، علیزاده، امین، ناصری مقدم، مهیار، فرید حسینی، علیرضا، (۱۳۸۹). بررسی اثر جزیره حرارتی شهری بر روند تغییرات ریزشهای جوی مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۴، شماره ۲، ص. ۳۶۶-۳۵۹.
- ۶ - موسوی بایگی، محمد، اشرف، بتول، فرید حسینی، علیرضا، میان آبادی، آمنه، (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نظریه فرکتال، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، ص. ۴۹-۳۵.
- 7- Mohan, Manju, Kikegawa, Yukihiro, 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. Smithson. 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.