

## بررسی اثر جزیره گرمایی شهری بر روند تغییرات ریزش‌های جوی مشهد

محمد صادق غضنفری مقدم<sup>۱\*</sup> - امین علیزاده<sup>۲</sup> - مهیار ناصری مقدم<sup>۳</sup> - علیرضا فرید حسینی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۲

### چکیده

گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت در کلان شهرها از یک سو و رشد فعالیتهای صنعتی بزرگ از سوی دیگر باعث ایجاد تغییراتی بر خرداقلیم مناطق شهری شده است. یکی از عوامل عمده این تغییرات را می‌توان تبدیل شدن کلانشهرها به جزایر گرمایی دانست. بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در شهرها با در نظر گرفتن شرایط مطلوب زیستی برای انسان از اهمیت زیادی برخوردار است. در این میان مطالعه تغییرات بارندگی که نقش مهمی در تعدیل آب و هوا و کاهش آلودگی شهرها دارد، ضرورت پژوهش‌های بیشتر را در این خصوص نمایان می‌کند. در این پژوهش، تغییرات بارندگی برای بررسی تغییرات خرداقلیم منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. بمنظور مطالعه این پدیده از نمایه UHI استفاده شد. این نمایه که بر اساس تفاوت دمای شهر با منطقه همجوار که تحت تأثیر افزایش دمای شهر نمی باشد است، امکان مطالعه تغییرات دمایی شهر را فراهم می‌نماید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در ایستگاه مشهد تغییرات دمایی ناشی از جزیره گرمایی با روند تغییرات بارندگی همبستگی معنی داری داشته و با اطمینان قابل قبولی می‌توان تأثیر جزیره گرمایی را بر روی بارندگی پذیرفت. بر اساس این پژوهش پدیده جزیره گرمایی مشهد در فصل‌های سرد باعث کاهش بارندگی و در فصل‌های گرم باعث افزایش آن شده است.

**واژه‌های کلیدی:** جزیره گرمایی، آلودگی هوا، خرد اقلیم، تغییر اقلیم

### مقدمه

این واقعیت که دمای شهرها از دمای مناطق همجوار بالاتر است ناشی از اختلاف انرژی جذب شده و پراکنده شده در آن‌ها با مناطق غیر شهری است. در شهرها بدلیل کم بودن فضای سبز و در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق، بافت شهری تیره رنگ ناشی از رنگ آسفالت، بتن و سایر مصالح ساختمانی انرژی جذب شده بالاتر و انرژی پراکنده شده کمتر است. از جمله راههای کاهش تأثیر جزیره گرمایی کاشت درختان سایه دار، افزایش فضای سبز شهری و استفاده از مصالح ساختمانی با ضریب سپیدی<sup>۶</sup> بالا است. جزیره گرمایی بیش از صد و پنجاه سال پیش، برای نخستین بار در برخی شهرهای اروپا از جمله لندن شناسایی شد (۴). در بسیاری از مناطق جهان بر روی این پدیده (۸) و تأثیرات مختلف ناشی از آن، مطالعات گسترده ای صورت گرفته است (۱۱).

گرچه تأثیر جزیره گرمایی با توجه به گرمایش جهانی از نظر اهمیت در مرتبه دوم قرار می‌گیرد؛ اما پژوهش‌های بسیاری مویید این مطلب اند که این مسئله در مقیاس خرد اقلیم همان منطقه غیر قابل صرف نظر و بسیار چشمگیر است. برای مثال در بین سالهای ۱۹۰۱ تا ۱۹۸۴ در شمال آمریکا، تفاوت دما، بین شهری با جمعیت بیش از

اغلب دانشمندان بر این باورند که دمای کره زمین از قرن ۱۹ میلادی در حال افزایش است (۷). در این میان پدیده ای به نام جزیره گرمایی در کلان شهرها (UHI)<sup>۵</sup> باعث افزایش دمای سریعتر در این خرد اقلیم ها گردیده و روند سریع شهرنشینی نیز در سالهای آینده بر شیب افزایش دما در شهرها خواهد افزود. مطابق آمار ارائه شده توسط سازمان ملل تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۸۰٪ جمعیت جهان در شهرها ساکن خواهند بود (United nations 2003) و این مسئله با گرم شدن هرچه بیشتر شهرها بر وخامت شرایط خواهد افزود. پدیده جزیره گرمایی تأثیرات مهمی در وضعیت آلودگی هوا و مدیریت آن، افزایش دمای محیط و مصرف انرژی وسایل خنک کننده خانگی و همچنین سلامت عمومی در مناطق شهری دارد.

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، استاد، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: msgm@engineer.com)

\* - نویسنده مسئول:

از محدوده پدیده جزیره گرمایی مشهد می‌باشد به عنوان ایستگاه منطقه روستایی در نظر گرفته شد. جدول ۱ مشخصات این ایستگاه‌ها شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و سال تاسیس را نشان می‌دهد.

همچنین اطلاعات مربوط به بارندگی، دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای میانگین، رطوبت نسبی و میزان ابرناکی ایستگاه‌های مربوطه از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد.

با توجه به تغییرات جمعیتی کلانشهر مشهد و تغییرات آلودگی ناشی از این افزایش جمعیت، بازه سالهای ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ میلادی به عنوان بازه بدون پدیده و سالهای ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ به عنوان بازه ای که منطقه شهری مشهد تحت تأثیر این پدیده دچار تغییر در روند درجه حرارت شده است انتخاب گردید.

برای اینکه بتوان آزمون مقایسه میانگین را انجام داد، ابتدا بایستی از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل کرد (۱). روش رایان-جوینر برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد (۱۳).

همچنین برای مقایسه میانگین داده‌های دما در بازه‌های مختلف از آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. این آزمون مشابه آنالیز واریانس یک طرفه در آزمون‌های نا پارامتریک می‌باشد.

به منظور بررسی تصادفی بودن یا روند داشتن داده‌های شاخص UHI آزمون RUNS Test بکار گرفته شد. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک بوده که برای تعیین تصادفی بودن یکسری داده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون، آزمون گشت نیز نامیده می‌شود. در این آزمون میانگین داده‌ها محاسبه شده و تصادفی بودن داده‌ها با توجه به تعداد گشت‌ها بررسی می‌شود. در صورتی که داده‌ها تصادفی نباشند می‌توان گفت که دارای روند می‌باشند.

## نتایج

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن داده‌های دما را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج داده‌هایی که P-value آنها بیشتر از ۰/۰۵ بوده نرمال می‌باشند.

نتایج بدست آمده از آزمون نرمال بودن نشان می‌دهد که در همه بازه‌های دمایی بجز دمای کمینه در بازه ۱۹۸۵-۱۹۵۱، داده‌ها در سطح ۰/۱ نرمال بوده و می‌توان از مقایسه میانگین‌ها را در این بازه‌ها انجام داد.

صدهزار نفر و مناطق روستایی مجاور آن حدود ۰/۱ درجه سانتیگراد در هر ده سال بوده است (۹).

مطالعات اقلیمی در ۳۰ سال اخیر نشان می‌دهند که مناطق شهری بزرگ بر روی ابرها و بارندگی نیز تأثیر می‌گذارند (۳). بر اساس بررسی‌های جدید بارندگی‌های فصل‌های گرم، در شهرها به میزان ۹ تا ۱۷ درصد افزایش داشته‌اند (۲ و ۱۰).

آزمایش‌های هواشناسی شهری گسترده‌ای از سال ۱۹۷۰ در ایالات متحده در مورد تأثیر کلان شهرها بر روی تغییرات میان مقیاس نیوار و بارش‌های همرفتی صورت گرفت (۵). این پژوهشات موید تأثیر پدیده جزیره گرمایی بر روی بارندگی‌های مناطق شهری بوده و برای نمونه باعث افزایش بارندگی در فصل تابستان شده است.

هدف از انجام این پژوهش ابتدا اثبات ایجاد پدیده جزیره گرمایی در کلانشهر مشهد با مقایسه ایستگاه همجوار (گلمکان) بوسیله نمایه UHI بوده و در نهایت بررسی تغییرات پارامترهای مهم جوی (بوژه بارندگی) در نتیجه این پدیده می‌باشد.

در این پژوهش، تغییرات بارندگی به عنوان یکی از پارامترهای اقلیمی برای بررسی تغییرات خرداقلیم منطقه در نظر گرفته شد و کلان شهر مشهد از طریق مقایسه با مناطق هم جوار که در یک طبقه بندی اقلیمی قرار می‌گیرند به عنوان یک جزیره گرمایی مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

رایج ترین روش برای بررسی جزیره گرمایی مقایسه منطقه شهری با مناطق همجوار روستایی است. بسیاری از مطالعات در خصوص جزیره گرمایی با محاسبه نمایه UHI صورت پذیرفته است (۴). این نمایه برای بررسی روند افزایش دما ناشی از جزایر گرمایی شهرها در مقایسه با منطقه روستایی مجاور که آثار جزیره گرمایی بر آن بی اثر فرض می‌شود با رابطه ۱ نشان داده می‌شود.

$$UHI = T_{au} - T_{ar} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $T_{au}$  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.

با مقایسه روند تغییرات بارندگی، رطوبت نسبی و میزان ابرناکی در فصل‌های مختلف، اثرات این پدیده بر روی بارندگی شهر مشهد بررسی شد. ایستگاه گلمکان به عنوان نزدیک ترین ایستگاه که خارج

جدول ۱ - ویژگی‌های ایستگاه‌های همدیدی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و سال تاسیس)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال تاسیس
مشهد	۳۶ ۱۶	۵۹ ۲۸	۹۹۹/۲	۱۹۵۱
گلمکان	۳۶ ۲۹	۵۹ ۱۷	۱۱۷۶	۱۹۸۷

(جدول ۲) - جدول نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن مربوط به داده‌های دما

ایستگاه	دوره زمانی	طول دوره (سال)	میانگین (سانتی گراد)	انحراف معیار	R	P-value	نرمال بودن
مشهد	۱۹۸۵-۱۹۵۱	۳۵	۶/۲	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۰۶	$(\alpha=0.05) +$
دمای کمینه	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۸/۵	۰/۶۲	۰/۹۷	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
گلمکان	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۶/۵۴	۰/۵	۰/۹۸	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
مشهد	۱۹۸۵-۱۹۵۱	۳۵	۲۰/۸۷	۱	۰/۹۷	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
دمای بیشینه	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۲۱/۵۵	۰/۹۷	۰/۹۹	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
گلمکان	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۲۰/۰۸	۰/۸۱	۰/۹۶	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
مشهد	۱۹۸۵-۱۹۵۱	۳۵	۱۳/۴۵	۰/۸۱	۰/۹۷	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
دمای متوسط	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۱۴/۸	۰/۸	۰/۹۹	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$
گلمکان	۲۰۰۳-۱۹۸۶	۱۸	۱۵/۱۵	۰/۶۵	۰/۹۹	> ۰/۱	$(\alpha=0.1) +$

(جدول ۳) - نتایج آزمون کروسکال-والیس برای مقایسه میانگین دما در ایستگاه مشهد

دما	ایستگاه	دوره	میانگین دوره	میانگین دراز مدت	تفاوت میانگین	P-value	وضعیت
کمینه	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۸/۵	۶/۲	۲/۳	< ۰/۰۰۱	معنی دار
بیشینه	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۴	۲۱/۵۵	۲۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۰۰۹	معنی دار
متوسط	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۴/۸	۱۳/۴۵	۱/۳۵	< ۰/۰۰۱	معنی دار

همچنین شیب روند افزایش دماهای میانگین، کمینه و بیشینه در بین سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۳ با ایستگاه گلمکان مقایسه گردید. با توجه به اینکه ایستگاه گلمکان نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیک به ایستگاه مشهد می‌باشد، می‌توان داده‌های ایستگاه مشهد را با داده‌های این ایستگاه (به عنوان شاهد) مقایسه نمود. شکل ۱ روند دماهای کمینه، بیشینه و میانگین در ایستگاه گلمکان را در بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۳ نشان می‌دهد.

برای بررسی تأثیرات تشکیل پدیده جزیره گرمایی، تغییرات پارامترهای مهم شامل بارندگی، رطوبت و ابرناکی در سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۸۶ نسبت به دوره بلند مدت گذشته، یعنی دوره ۱۹۸۵-۱۹۵۱، مورد مطالعه قرار گرفت.

با توجه به اینکه در بسیاری از منابع رفتار بارندگی در فصل‌های گرم متفاوت از فصل‌های سرد گزارش شده است (۱۳)، لذا روند تغییرات دما، بارندگی، رطوبت نسبی و ابرناکی به تفکیک فصل‌های مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا داده‌های بارندگی مورد آنالیز آماری قرار گرفته و نرمال بودن این داده‌ها به تفکیک فصل بررسی شد. جدول ۵ نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن داده‌های بارندگی را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که همه داده‌ها دارای توزیع نرمال نمی‌باشند. بنابراین برای آزمون مقایسه میانگین، همانند داده‌های دما، از آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس استفاده شد.

برای اطمینان از صحت مقایسه میانگین بازه‌های زمانی داده‌های دما، از آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک بوده و با توجه به این که این گونه آزمون‌ها فرض نرمال بودن داده‌ها را در نظر نمی‌گیرند، می‌تواند برای داده‌های غیر نرمال نیز مورد استفاده قرار گیرد.

برای داده‌های کمینه، بیشینه و متوسط دما در بازه‌های سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۵۱ و ۱۹۸۶-۲۰۰۳ در ایستگاه مشهد آزمون مقایسه میانگین صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمون در جدول شماره ۳ آمده است.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میانگین هر سه دما (کمینه، بیشینه و متوسط) در ایستگاه مشهد در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۳ نسبت به دوره دراز مدت گذشته، یعنی بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۵۱ افزایش معنی داری داشته است. (جدول ۳)

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در تمامی دماهای کمینه، بیشینه و متوسط در بازه دمایی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۳ افزایش دما نسبت به دوره بلند مدت گذشته (میانگین مورد انتظار)، یعنی بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۵۱، افزایش معنی داری داشته است. بنابر این می‌توان فرض تشدید افزایش دما ناشی از شکل‌گیری پدیده جزیره گرمایی در مشهد را مطرح کرد. البته برای اثبات این مسئله نیاز به بررسی روند شاخص UHI می‌باشد.

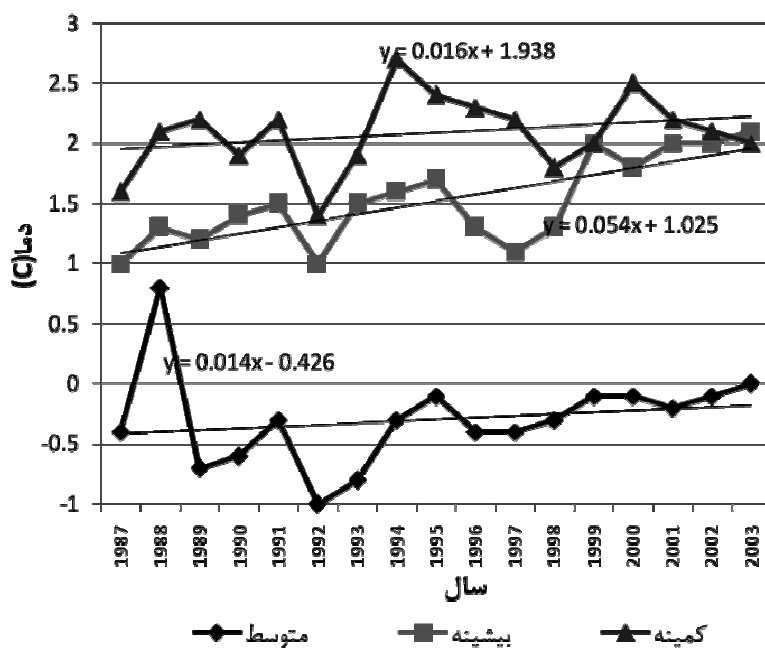
نتایج آزمون گشت (RUNS Test) برای داده‌های UHI در جدول ۴ گزارش شده است.

(جدول ۴) - نتایج آزمون گشت (RUNS Test) برای شاخص UHI

شاخص	دوره	میانگین شاخص	انحراف معیار	تعداد گشت‌های مشاهده شده	تعداد گشت‌های مورد انتظار	P-value	وضعیت تصادفی بودن
UHI min	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۲/۰۹	۰/۳۱	۹	۹/۲۳	۰/۹	تصادفی
UHI Max	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱/۵۲	۰/۳۶	۴	۹/۲۳	۰/۰۰۶۷	غیر تصادفی
UHI mean	۱۹۸۶ - ۲۰۰۵	-۰/۳	۰/۳۹	۶	۹/۲۳	۰/۰۹۳	غیر تصادفی

(جدول ۵) - جدول نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن داده‌های بارندگی در ایستگاه مشهد

بارندگی	ایستگاه	دوره زمانی	طول دوره (سال)	میانگین (میلی متر)	انحراف معیار	R	P-value	نرمال بودن
سالانه	مشهد	۱۹۵۱ - ۱۹۸۵	۳۵	۲۵۸/۲	۷۱/۲	۰/۹۹	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +
	مشهد	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱۸	۲۵۳/۸	۷۲/۹	۰/۹۷	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +
بهار	مشهد	۱۹۵۱ - ۱۹۸۵	۳۵	۷۹/۸	۳۸/۸	۰/۹۴	< ۰/۰۱	-
	مشهد	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱۸	۷۵/۶	۵۵/۹	۰/۹۶	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +
تابستان	مشهد	۱۹۵۱ - ۱۹۸۵	۳۵	۲/۳	۴/۲	۰/۸۷	< ۰/۰۱	-
	مشهد	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱۸	۵/۸	۷/۴	۰/۹	< ۰/۰۱	-
پاییز	مشهد	۱۹۵۱ - ۱۹۸۵	۳۵	۵۲/۳	۳۰/۵	۰/۹۵	< ۰/۰۱	-
	مشهد	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱۸	۴۳/۹	۲۱/۸	۰/۹۸	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +
زمستان	مشهد	۱۹۵۱ - ۱۹۸۵	۳۵	۱۲۰/۹	۴۶/۴	۰/۹۷	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +
	مشهد	۱۹۸۶ - ۲۰۰۳	۱۸	۱۲۸/۵	۴۰/۵	۰/۹۷	> ۰/۱	( $\alpha=۰/۱$ ) +



(شکل ۱) - نمایه UHI برای ایستگاه مشهد

(جدول ۶) - نتایج آزمون کروסקال-والیس برای مقایسه میانگین بارندگی در ایستگاه مشهد

بارندگی	ایستگاه	دوره	میانگین دوره (میلی متر)	میانگین دراز مدت (میلی متر)	تفاوت میانگین (میلی متر)	P-value	وضعیت
سالانه	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۲۵۳/۸	۲۵۸/۲	- ۴/۴	> ۰/۰۰۱	معنی دار
بهار	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۷۵/۶	۷۹/۸	- ۴/۲	۰/۰۴	معنی دار
تابستان	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۵/۸	۲/۳	۳/۵	۰/۰۰۹	معنی دار
پاییز	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۴۳/۹	۵۲/۳	- ۸/۴	> ۰/۰۰۱	معنی دار
زمستان	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۱۲۸/۵	۱۲۰/۹	۷/۶	۰/۰۶	معنی دار*

\* در سطح  $\alpha = 0/1$  معنی دار می باشد.

(جدول ۷) - جدول نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن داده‌های رطوبت نسبی و ابرناکی

ایستگاه	دوره زمانی	طول دوره (سال)	میانگین	انحراف معیار	R	P-value	نرمال بودن
مشهد	۱۹۵۱-۱۹۸۵	۳۵	۵۰/۸۵	۵/۰۳	۰/۹۸	> ۰/۰۰۱	+
مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۱۸	۴۶/۶۵	۴/۸۱	۰/۹۸	> ۰/۰۰۱	+
مشهد	۱۹۵۱-۱۹۸۵	۳۵	۶۰	۱۰/۴۱	۰/۹۸	> ۰/۰۰۱	+
مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۱۸	۶۳/۸	۱۱/۱۸	۰/۹۸	> ۰/۰۰۱	+

(جدول ۸) - جدول نتایج حاصل از آزمون کروسکال-والیس داده‌های رطوبت نسبی و ابرناکی

پارامتر	ایستگاه	دوره	میانگین دوره	میانگین دراز مدت	تفاوت میانگین	P-value	وضعیت
درصد رطوبت نسبی	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۴۶/۶۵	۵۰/۸۵	- ۴/۱۷	> ۰/۰۰۱	معنی دار
تعداد روزهای ابرناکی	مشهد	۱۹۸۶-۲۰۰۳	۶۳/۸	۶۰	۳/۸	۰/۱۴	غیر معنی دار

تعیین کننده ای داشته است. آزمون مقایسه میانگین ها نشان می‌دهد که در هر سه دمای کمینه، بیشینه و متوسط، میانگین دما در بازه سالهای ۱۹۸۶-۲۰۰۳ افزایش دما نسبت به میانگین دراز مدت گذشته افزایش معنی داری داشته است (جدول ۳). شیب تغییرات دما برای ایستگاه مشهد در بین سالهای ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ برای دمای متوسط روزانه برابر با ۰/۰۰۸۶، دمای ماکزیمم روزانه ۰/۰۲ و دمای متوسط مینیمم ۰/۰۳۴- می‌باشد. این درحالی است که مقادیر برای سالهای ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ که تحت تاثیر جزیره حرارتی بوده به ترتیب برابر با ۰/۱۱، ۰/۱۱ و ۰/۰۸ می‌باشد (جدول ۹).

برای اطمینان از وجود جزیره گرمایی شاخص UHI بایستی دارای روند باشد. به عبارتی تفاوت دمای شهر و منطقه همجوار بایستی در سالهای بعد از تشکیل جزیره گرمایی روند افزایشی داشته باشد (۴).

بر اساس نتایج جدول ۴ تصادفی بودن داده‌های شاخص UHI برای دماهای بیشینه و متوسط با توجه به نتایج آزمون گشت رد می‌شود. بنابر این می‌توان وجود روند را برای این شاخص پذیرفت که نشان می‌دهد اختلاف دما در محدوده جزیره گرمایی نسبت به محدوده خارج از آن با روند مشخصی در حال تغییر است. با بررسی

جدول ۶ نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین داده‌های دما را در دوره تحت تاثیر پدیده جزیره گرمایی (سالهای ۱۹۸۶-۲۰۰۳) با دوره دراز مدت پیشین که متاثر از این پدیده نبوده (سالهای ۱۹۸۶-۱۹۵۱) را نشان می‌دهد.

آزمون نرمال بودن برای داده‌های رطوبت نسبی و ابرناکی به روش رایان-جوینر انجام شد. نتایج این آزمون در جدول ۷ آمده است. همچنین نتایج آزمون کروسکال-والیس برای مقایسه میانگین داده‌های رطوبت نسبی و ابرناکی در جدول ۸ نشان داده شده است.

شیب تغییرات پارامترهای مورد مطالعه شامل دما، بارندگی، درصد رطوبت نسبی و تعداد روزهای ابرناکی برای ایستگاه مشهد و گل‌مکان به تفکیک فصل و میانگین سالانه محاسبه شد.

شیب تغییرات این پارامترها برای ایستگاه مشهد به تفکیک دوره تحت تاثیر جزیره گرمایی و دوره درازمدت بدون تاثیر در جدول ۹ نشان داده شده است.

## بحث

بررسی آماری داده‌های دما در ایستگاه مشهد نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۶ به بعد، پدیده جزیره گرمایی در روند افزایش دما نقش

می‌باشد (جدول ۹). لذا می‌توان نتیجه گرفت با وجود اینکه روند کاهش ابرناکی در ایستگاه مشهد کمتر از ایستگاه گل‌مکان بوده است اما در اثر پدیده جزیره گرمایی شهر مشهد روند بارندگی‌های شهر مشهد کمتر از گل‌مکان بوده است.

همچنین نتایج جدول ۹ در مورد بارندگی در ایستگاه‌های مشهد و گل‌مکان نشان دهنده این است که بارندگی ایستگاه مشهد در تمامی فصل‌های بجز تابستان شیب کمتری داشته است. شیب تغییرات بارندگی برای ایستگاه مشهد در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۳ در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با  $-۱/۵۸$ ،  $۱/۰۶$ ،  $۰/۰۲$  و  $-۳/۳$  بوده که در مقایسه با بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۵۱ این مقادیر به ترتیب  $-۰/۱۲$ ،  $۰/۸۹$ ،  $۰/۰۵$  و  $۰/۹۸$  مویده کاهش بارندگی در فصل‌های سرد و افزایش آن در فصل‌های گرم می‌باشد. این مسئله برای بازه‌های زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۳ و ۱۹۸۵-۱۹۵۱ نیز صادق است. لذا پدیده جزیره گرمایی در فصل‌های سرد باعث کاهش بارندگی و در فصل‌های گرم باعث افزایش آن شده است (۱۳). اما در مورد بارندگی کل سال شیب نمودار کاهش یافته و این کاهش روند به پدیده جزیره گرمایی در مشهد مربوط می‌شود. شیب تغییرات بارندگی سالانه در ایستگاه مشهد در بین سالهای ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۵ برابر با  $۱/۷۷$  بوده در حالی که این مقدار در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ مقداری منفی و برابر با  $-۳/۸$  می‌باشد.

با توجه به نتایج، تغییرات رطوبت نسبی سالانه در ایستگاه گل‌مکان در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۳ با شیب منفی و برابر با  $-۰/۴۸$  می‌باشد که در مقایسه با بازه زمانی مشابه برای ایستگاه مشهد،  $-۰/۰۱$ ، کاهش رطوبت نسبی با شیب تندتر در ایستگاه گل‌مکان مشاهده می‌گردد؛ در حالی که بارندگی سالانه ایستگاه گل‌مکان با شیب کمتری ( $-۰/۶۸$ ) نسبت به ایستگاه مشهد ( $-۳/۸$ ) کاهش پیدا کرده است. این مسئله با توجه به اینکه تعداد روزهای ابرناکی نیز در ایستگاه گل‌مکان با شیب تندتری ( $-۱/۲۹$ ) نسبت به ایستگاه مشهد ( $-۰/۳۷$ ) کاهش پیدا کرده است (جدول ۵) نشان دهنده نقش آلاینده‌ها در بالا بودن رطوبت نسبی مناطق شهری در مقایسه با ایستگاه‌های همجوار می‌باشد.

شیب خط برازش داده شده بر داده‌های شاخص UHI افزایش دما در هر سه دمای کمینه، بیشینه و متوسط در محدوده شهر نسبت به منطقه خارج پدیده جزیره گرمایی قابل مشاهده است (شکل ۱). نتایج مشابهی توسط پترسون و همکاران گزارش شده است (۱۱).

با مقایسه شیب تغییرات دماهای مختلف در بین سالهای ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ بین ایستگاه گل‌مکان و مشهد تفاوت روند قابل مشاهده می‌باشد. مقادیر شیب دماهای متوسط، ماکزیمم و مینیمم برای ایستگاه مشهد به ترتیب برابر با  $۰/۱۱$ ،  $۰/۱۱$  و  $۰/۰۸$  بوده در حالی که این مقادیر برای ایستگاه گل‌مکان به ترتیب برابر با  $۰/۰۴$ ،  $۰/۰۸$  و  $۰/۰۴$  می‌باشد (جدول ۹).

بررسی‌های انجام شده توسط نمایه UHI نیز مویده نتایج قبل در خصوص تأثیر پدیده جزیره گرمایی از سال ۱۹۸۶ در شهر مشهد می‌باشد. شیب UHI برای دماهای متوسط، ماکزیمم و مینیمم به ترتیب برابر با  $۰/۰۶$ ،  $۰/۰۵$  و  $۰/۰۱$  می‌باشد (شکل ۱).

میانگین رطوبت نسبی در دوره بعد از تشکیل جزیره گرمایی اختلاف معنی داری با دوره قبل داشته است. تفاوت میانگین دو دوره برابر با  $۴/۱۷$  درصد بوده که در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۳ کاهش پیدا کرده است (جدول ۸). همچنین شیب تغییرات رطوبت نسبی در بازه زمانی سالهای ۱۹۸۶-۲۰۰۳ نسبت به بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۵۱ بسیار کمتر بوده است که این موضوع با توجه به افزایش دما قابل توجیه است. شیب رطوبت نسبی برای ایستگاه مشهد در بین سالهای ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ برابر با  $-۰/۰۱$  بوده که این مقدار برای بازه زمانی ۱۹۵۷ تا ۱۹۸۵ برابر با  $۰/۰۹$  می‌باشد (جدول ۹). کیم و بایک در سال ۲۰۰۲ به نتایج مشابهی در رابطه با تغییرات رطوبت نسبی با افزایش دما دست یافتند (۱۴).

در مورد تعداد روزهای ابرناکی در ایستگاه مشهد با توجه به جدول ۸ می‌توان گفت که میانگین دوره تحت تأثیر پدیده جزیره گرمایی نسبت به میانگین دراز مدت گذشته اختلاف معنی داری نداشته است. شیب تغییرات ابرناکی در ایستگاه مشهد در بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۸۶ نسبت به شیب تغییرات ابرناکی در ایستگاه گل‌مکان افزایش داشته است، در حالیکه این موضوع برای بارندگی کاملاً برعکس

(جدول ۹) - شیب تغییرات پارامترهای هواشناسی به تفکیک ایستگاه‌ها و فصل‌های

تعداد روزهای ابرناکی	مشهد	گل‌مکان	درصد رطوبت نسبی		بارندگی	دما		مشهد	گل‌مکان	مشهد	گل‌مکان
			مشهد	گل‌مکان		مشهد	گل‌مکان				
۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۵۱	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۵۱	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۵۱	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۵۱
-۰/۲۱	-۰/۲۴	-۰/۰۱	-۰/۲۸	-۰/۲۰	-۰/۰۳	۱/۱۸	-۱/۵۸	-۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۳۰	-۰/۰۹
-۰/۰۶	-۰/۰۶	۰/۰۱	-۱/۵۵	۰/۰۳	۰/۲۰	-۰/۴۷	۱/۰۶	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۳۰	-۰/۰۳
-۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۱۱	-۱/۱۹	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۲۱	-۰/۰۱
-۰/۹۰	-۰/۲۹	۰/۱۰	-۱/۸۷	-۰/۳۱	-۰/۰۴	-۱/۴۲	-۳/۳۰	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۴۶	-۰/۱۴
-۱/۲۹	-۰/۳۷	۰/۲۲	-۰/۴۸	-۰/۰۱	۰/۰۹	-۰/۶۸	-۳/۸۰	۱/۷۷	۰/۰۷	۰/۱۰	-۰/۰۱

بهار  
تابستان  
پاییز  
زمستان  
سالانه

بارندگی کل سال به صورت یک پس خور مثبت عمل کرده و تأثیر خود را تشدید می‌نماید.

از آنجا که آلودگی شهرها در فصل‌های سرد بیشتر جلوه می‌کند و بارندگی در شهرها باعث کاهش آلودگی هوا می‌باشد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که پدیده جزیره گرمایی در شهر مشهد با تأثیر بر روی

## منابع

- 1- Ghahraman B. 2006. Time trend in the mean annual Temperature of Iran. *Turk J. Agric for* 30: 439-488
- 2- Changnon Jr. S.A. 1968. The La Porte weather anomaly—fact or fiction? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 49: 4–11.
- 3- Changnon Jr. S.A., Huff F.A., Schickendanz P.T., and Vogel J.L. 1977: Summary of METROMEX, Vol. 1: Weather anomalies and impacts. *Illinois State Water Survey Bull.* 62: 260 pp.
- 4- Howard L. 1833. *The Climate of London*, vols. I–III. London.
- 5- Huff F.A., and Changnon Jr., S.A. 1972a. Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis. *J. Appl. Meteor.*, 11, 823–842.
- 6- Huff F.A. 1986. Urban hydrological review. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 67:703–712.
- 7- IPCC 2001: *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of IPCC*, Cambridge University Press, 881pp.
- 8- Jones P.D., Groisman P. Ya., Coughlan M., Plummer N., Wang W.C., and Kar T.R. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 347(2): 169–172.
- 9- Karl T.R., Diaz H.F., and Kukla G. 1988. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *Journal of Climate*, 11(8), 1099–1123.
- 10- Landsberg H.E. 1970. Man-made climate changes. *Science*, 170, 1265–1274.
- 11- Landsberg H.E. 1981. *The Urban Climate*, Academic Press, Maryland (1981).
- 12- Peterson T.C., Gallo K.P., Lawrimore J., Owen T.W., Huang A., and McKittrick D.A. 1999. Global rural temperature trend. *Geophysical Research Letters*, 26(3), 329–332.
- 13- Ryan T.A, Joiner B.L., and Ryan B.F. 1976. *Minitab student handbook*, First Edition
- 14- Stanley A. and Changon, et.al, 1990. Precipitation changes in fall, winter, and spring caused by st.louis. *Journal of applied meteorology*, V.30, p.126
- 15- Yeon-Hee K., and Baik J.J. 2002. Maximum urban heat island intensity in Seoul. *J. Appl. Meteor.*, 41: 651-659.



## Evaluating the Effects of UHI on Mashhad Precipitation

M. S. Ghazanfari<sup>1\*</sup> - A. Alizadeh<sup>2</sup> - M. Naseri<sup>3</sup> - A. Farid Hosseini<sup>4</sup>

### Abstract

Urban expansion, pollution augmentation, and extension of major industrial activities in metropolitan areas impacted local climates of major cities. Transforming big cities into heat islands is one of the most prominent results of such a micro-climate change. In this study, variation of precipitation, temperature and some other important climatic parameters including relative humidity, and percentage of cloudiness were reviewed in order to study micro-climate change. The city of Mashhad selected for this study, as metropolitan area. The study was performed by comparing the climate parameters of this city with the neighboring regions, which were identified as the same climate category. Due to the effective role of rainfall in the urban weather modification and decreasing of pollution, rainfall variation is more important and crucial. The result of this research showed that the rainfall variation followed the temperature trend. A significant correlation between temperature and precipitation change showed the effect of heat island on urban climate parameters. The urban heat island phenomenon increase the hot season rainfall while its effects on cold season rainfall decrease.

**Keywords:** Urban Heat Island, Air pollution, Microclimate, Climate change

---

1,2,3,4 – PhD Student, Professor, MSc Student and Assistant Prof. Respectively, Dept. of water engineering College of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad  
(\* - Corresponding author E-mail: msgm@engineer.com)