

## بررسی تغییرات روزهای بارشی تحت تأثیر خرد اقلیم شهری در کلانشهر تهران

جابر رحیمی\* - دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

جواد بذرافشان - استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

علی رحیمی - کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۷/۳

### چکیده

گفتمان اصلی خرد اقلیم‌شناسی شهری، طبیعت انسان‌زده است. بافت فیزیکی شهر در مقایسه با فضای خارج شهر، همانند روستاهای پیرامون، تفاوت‌های زیادی دارد. مقایسه‌ی شاخص‌های اقلیمی شهر با نواحی پیرامونی، نشانه‌ی بارزی از تأثیرپذیری خرد اقلیم شهری از مناطق شهری است. یکی از شاخص‌های مهم تأثیرپذیر اقلیمی از نواحی شهری، فرایند بارندگی است. گمان می‌رود به دلیل دگرگونی بافت شهری تهران در دهه‌ی پیش، پارامتر بارندگی نیز نسبت به دهه‌های گذشته، دستخوش تغییر شده باشد. در این مطالعه، نخست داده‌های بلندمدت بارش روزانه‌ی دو ایستگاه مهرآباد (تحت تأثیر خرد اقلیم شهری) و بیلقان (خارج از محدوده‌ی تأثیر خرد اقلیم شهری) در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) جمع‌آوری شد؛ سپس با استفاده از دو روش آماری کروسکال والیس و آزمون تاو - کندال، وجود روند در داده‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام، برای تعیین نوع و زمان تغییر در سری داده‌ها از روش آماری - گرافیکی "من - کندال" استفاده شد. ارزیابی آزمون‌های آماری روی تمام دوره‌ها نشان داد که فرض تصادفی بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در ایستگاه مهرآباد به‌شدت رد شده و روند فزاینده‌ی شمار روزهای بارندگی، به‌ویژه در سال‌های گذشته معنادار است. این در حالی است که در ایستگاه بیلقان هیچ‌گونه روند معناداری در سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد یافت نشد. همچنین، پراکنش روزهای بارشی در طول هفته برای پانزده سال نخست و پانزده سال انتهایی دوره‌ی آماری در دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان مقایسه شد. نتایج نشان داد که تنها در ایستگاه مهرآباد، تعداد روزهای بارشی در پانزده سال پایانی طی روزهای کاری هفته افزایش و در روزهای پایانی هفته کاهش می‌یابد که این امر به احتمال، برآمده از تأثیرات خرد اقلیم شهری بر فرایند هواشناختی بارش است.

کلیدواژه‌ها: خرد اقلیم شهری، بارندگی، آزمون آماری، کلانشهر تهران.

## مقدمه

رشد شتابان جمعیت و شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن در شهرها، پدیده‌ای است چشمگیر و انکارناپذیر؛ چراکه شهرها به پیروی از نقش و موقعیت جدیدی که پیدا کرده‌اند، اشکال تازه‌ای از زندگی اجتماعی را بر خود و فضای پیرامونی خویش تحمیل می‌کنند که آثار آنها بر آب‌وهوا، محصولات کشاورزی، بهداشت عمومی و... تأثیرگذار است. در این میان، دگرگونی محیط در قلمرو آب‌وهوایی بیش از زمینه‌های دیگر شهری است. خرد اقلیم شهری بر عناصر اقلیمی گوناگونی همچون دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و... اثرگذار است. گسترش بی‌رویه جمعیت و رشد صنعت در کلانشهر تهران و ترکیب آن با مجموعه عوامل طبیعی در درازمدت موجب ایجاد تغییراتی در اقلیم این شهر شده است. تغییرات ایجادشده با شهرنشینی در خرد اقلیم شهری می‌تواند عناصر اقلیمی زیادی (مانند: ذرات معلق، متوسط دما، تابش خورشید، اشعه‌ی ماورای بنفش، بارش، رطوبت نسبی، فراوانی پوشش ابر، فراوانی وقوع مه، سرعت باد و...) را تحت تأثیر قرار دهد (عزیزی، ۱۳۸۳، ۲۳۷؛ ژنگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸، ۱۲۳). مقدار تغییرات ایجاد شده در هر یک از این عناصر، در هر زمان، وابسته به متغیرهایی چون گسترش عناصر شهر، ماهیت صنایع، عوامل موقعیتی همچون توپوگرافی و فصل سال و... است. در نتیجه، خرد اقلیم شهری از عوامل اقلیمی شهر که در طی زمان با تأثیرپذیری از عوامل شهری در حال تغییر هستند، شکل گرفته است (حجازی‌زاده، ۱۳۸۱، ۱۷۱). با وجود آثار شدید شهرها بر بسیاری از عناصر هواشناختی، بیشتر پژوهش‌ها در این بخش به مطالعه‌ی عنصر هواشناختی دما پرداخته‌اند که این مسأله ممکن است به دلیل پدیداری محسوس تغییرات دمایی در شهرهای بزرگ و آلوده باشد.

پژوهش‌های گوناگون نشان داده‌اند که شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن، سبب تغییرات گسترده در پارامتر تعداد روزهای بارش و شدت بارش می‌شوند، به‌ویژه در کشورهایی که در عرض‌های میانی واقع شده‌اند (چنگنون<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۷۶، ۵۴۴؛ لوری<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷، ۴۷۷؛ یونیتانی<sup>۴</sup>، ۱۹۸۲، ۱۴۶۶؛ آلپرت<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸، ۹۳۳).

چاندلر<sup>۶</sup> (۱۹۶۵، ۱۲۲) آثار شهر بر روی بارش را از سه دیدگاه نقش سطح ناهموار شهرها در ایجاد شرایط همگرایی و افزایش حرکات فزاینده‌ی هوا، آثار جزایر گرمایی شهر بر افزایش ناپایداری و درنهایت، فراوانی هستک‌های تراکم در اتمسفر شهرها را مورد بررسی قرار داد. همچنین چنگنون (۱۹۷۸، ۵۷۸) در طرح پژوهشی مطالعات هواشناسی مترومکس<sup>۷</sup> که یکی از پژوهش‌های ارزشمند در زمینه‌ی خرد اقلیم شناسی شهری شمرده می‌شود، به نتایج مشابهی دست یافت. در بررسی‌های پروژه‌ی مترومکس در شهر سنت‌لوئیس وجود یک افزایش معنادار آماری در رخداد انواع بارش (شامل: رگبارهای شدید، توفان‌های تندی و تگرگ) ناشی از شهرنشینی و آثار آن در فصل تابستان مشاهده شد. در این پروژه، تأثیر شهر بر روی رگبارهای شدیدی که بیشتر در خرداد ماه رخ می‌دهد و به‌طور عمده، در ماه‌های تیر و

1. Zheng & et al.
2. Changnon & et al.
3. Lowry
4. Yonetani
5. Alpert & et al.
6. Chandler
7. Metropolitan Meteorological Experiment (METROMEX)

مرداد کاهش می‌یابد نیز، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شمار روزهای همراه با رگبار در ماه‌های فصل تابستان به سبب تأثیرپذیری از آثار شهرنشینی تا ۴۵ درصد افزایش پیدا می‌کند (چنگنون، ۱۹۷۸، ۵۷۸). آتکینسن<sup>۱</sup> (۱۹۷۱، ۴۷) به بررسی آثار توسعه‌ی شهرنشینی بر روی تشکیل ابرهای همرفتی در لندن و شناسایی مسیرهای عبور این ابرها پرداخت. یورگیو و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۶، ۳۳۸۳) در مطالعه‌ی خود در مورد آثار توسعه‌ی شهری بر بارندگی همرفتی در شهر سنت‌لوئیس دریافتند که بین جزیره‌ی حرارتی شهری و بارندگی همرفتی (با شدت  $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) در شهر سنت‌لوئیس همبستگی مثبت وجود دارد. تایاک و تورو<sup>۳</sup> (۱۹۹۷، ۵۰۱) به مطالعه‌ی آثار شهرها بر روی تغییرات اقلیم در چهار شهر بزرگ ترکیه پرداختند و این‌گونه بیان کردند که رابطه‌ی معناداری میان آثار شهرنشینی و عنصر اقلیمی دما وجود دارد. اما این رابطه میان آثار شهرنشینی و عنصر اقلیمی بارش وجود ندارد؛ بنابراین نتیجه گرفتند که شهرها تأثیر زیادی بر روی دوره‌های بارش ندارند. مطالعات چندی که به مقایسه‌ی بارش شهر و روستا پرداخته‌اند، نشان می‌دهند که مقدار بارش روی شهرها حدود ده درصد بیش از نواحی مجاور و پیرامونی شهرهاست (عزیزی، ۱۳۸۳، ۲۴۰). چنگنون (۲۰۰۱، ۱۶۱) با مطالعه‌ی داده‌های بارش شیکاگو در درازمدت، به وجود یک افزایش معنادار در شمار روزهای همراه با بارش سنگین در فصول بهار و تابستان پی برد و مشخص شد که در این موقع از سال این بارش‌ها در مناطق شهری به میزان ۱۲ درصد نسبت به مناطق روستایی افزایش نشان می‌دهد. به‌علاوه، برخی از مطالعات نشان دادند که شهرها آثاری نیز بر پراکنش روزهای بارشی در میان روزهای هفته دارند. دت ویلر و لنزبرگ<sup>۴</sup> (۱۹۷۴، ۷۵۵) به بررسی پراکنندگی پراکنندگی روزهای بارشی شهر پاریس در طول هفته در یک دوره‌ی هشت‌ساله پرداختند. نتایج این مطالعه، وجود یک افزایش تدریجی در شمار روزهای بارشی طی روزهای دوشنبه تا جمعه و کاهش چشمگیر آن در روزهای شنبه و یکشنبه را نشان داد. به‌گونه‌ای که اختلاف میانگین بارش در روزهای کاری هفته ( $1/93$  میلی‌متر) و روزهای آخر هفته ( $1/47$  میلی‌متر) حدود ۲۴ درصد برآورد شده است.

بیشتر مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی تغییرات دوره‌های بارش در ایران، در مقیاس ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند و از یک روش آماری منسجم و معنادار برخوردار نبودند. تعداد بسیار کمی از این پژوهش‌ها به بررسی و شناخت روابط میان شهرنشینی و تغییرات بارش و یافتن روابط معنادار بین آنها پرداختند.

رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴، ۶۲) به مطالعه‌ی تغییرات ناشی از آثار شهرنشینی بر وضع هوا و اقلیم محلی در کلانشهر تهران پرداختند و برای این کار، روند سری‌های زمانی کمیت‌های دمای کمینه، بیشینه و باد شهر تهران (ناحیه‌ی توسعه‌یافته‌ی شهری) و ورامین (ناحیه‌ی کم توسعه‌یافته‌ی شهری) را در یک دوره‌ی چهل‌ساله (۹۵ - ۱۹۵۶) بررسی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر افزایش چشمگیر روند دمای کمینه در مقایسه با بیشینه آن و همچنین شدت جزیره‌ی حرارتی شهر تهران در مقایسه با شهرهای بزرگ و صنعتی جهان است. صادقی (۱۳۸۷، ۳۸) با

1. Atkinson

2. Jaurequi &amp; et al.

3. Tayanc and Toros

4. Dettwiller and Landsberg

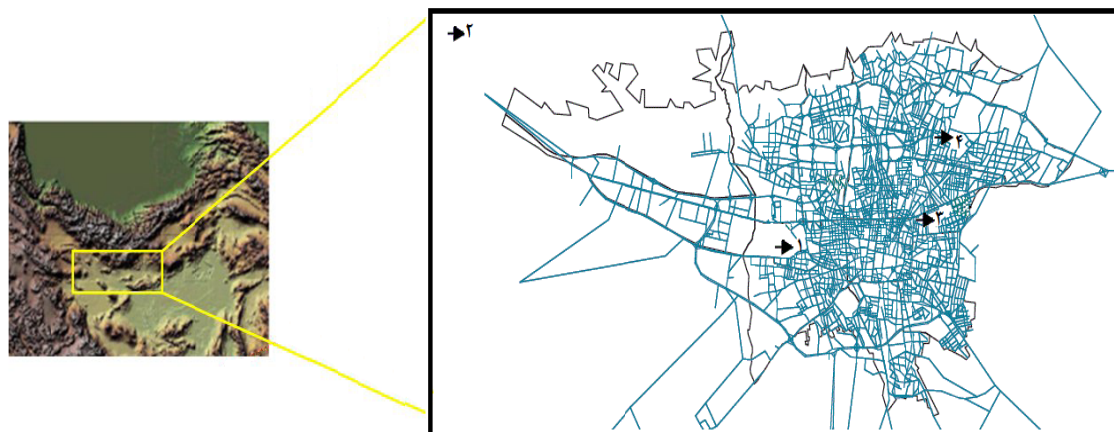
مطالعه‌ی ارتباط فرایند بارش با آلودگی ذره‌ای، روند بارندگی را در پنج ایستگاه منتخب، تحت غلظت‌های مختلف آلودگی‌های ذره‌ای، مورد بررسی قرار داد.

با توجه به اهمیت آثار خرد اقلیم شهری بر پارامترهای مختلف هواشناختی، این پژوهش تلاش دارد تا به بررسی آثار خرد اقلیم شهری بر تعداد روزهای بارشی و پراکندگی آن در میان روزهای هفته در کلانشهر تهران بپردازد.

## مواد و روش‌ها

کلانشهر تهران، در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز گسترده شده و فاصله‌ای میان طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی، به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر را دربرگرفته است. ارتفاع این شهر، در شمالی‌ترین نقطه، حدود ۱۸۰۰ متر و جنوبی‌ترین نقطه، ۹۵۰ متر از سطح دریا است. در واقع، تهران میان مناطق کوهستانی از سمت شمال و نواحی کویری از سمت جنوب فراگرفته شده است. در طی دوره‌ی سی‌ساله (۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵) در این شهر، میانگین بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر و میانگین تعداد روزهای یخبندان ۴۸ روز در سال بوده است (بختیاری، ۱۳۸۵). جمعیت این شهر نیز بر اساس آخرین آمارگیری سال ۱۳۸۵، حدود ۸ میلیون نفر برآورد شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵).

برای بررسی آثار خرد اقلیم شهری بر فرایند هواشناختی بارش از داده‌های بلندمدت بارش روزانه در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۱ استفاده شده است. برای این کار، دو ایستگاهی که داده‌های درازمدت و معتبری دارند، انتخاب شدند. یکی از این ایستگاه‌ها، ایستگاه هواشناسی مهرآباد است که در داخل کلانشهر تهران قرار داشته و بسیاری از ویژگی‌های اقلیمی آن تحت تأثیر مشخصات خرد اقلیم شهری این کلانشهر قرار دارد و دیگری، ایستگاه باران‌سنجی بیلقان است که در حاشیه‌ی غربی کلانشهر تهران و به دور از آثار خرد اقلیم شهری کلانشهر تهران قرار دارد. علاوه‌براین، برای بررسی درستی نتایج بررسی روند بارش در ایستگاه مهرآباد طی سال‌های گذشته از داده‌های دو ایستگاه دوشان تپه و شمال تهران نیز استفاده شد. در شکل و جدول شماره‌ی ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی و موقعیت جغرافیایی آنها در شهر تهران نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت شهر تهران و ایستگاه‌های مطالعاتی در داخل و خارج شهر تهران

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های منتخب و موقعیت جغرافیایی آنها در شهر تهران

| شماره | ایستگاه    | نوع ایستگاه | مرجع                 | مشخصات جغرافیایی |               |
|-------|------------|-------------|----------------------|------------------|---------------|
|       |            |             |                      | طول جغرافیایی    | عرض جغرافیایی |
| ۱     | مهرآباد    | همدیدی      | سازمان هواشناسی کشور | ۵۱° - ۱۹'        | ۳۵° - ۴۱'     |
| ۲     | بیلقان     | باران سنجی  | وزارت نیرو           | ۵۱° - ۰۴'        | ۳۵° - ۵۰'     |
| ۳     | دوشان تپه  | همدیدی      | سازمان هواشناسی کشور | ۵۱° - ۲۰'        | ۳۵° - ۴۲'     |
| ۴     | شمال تهران | همدیدی      | سازمان هواشناسی کشور | ۵۱° - ۳۷'        | ۳۵° - ۴۷'     |

### آزمون‌های آماری تعیین روند

معمولاً، بارندگی در طول زمان نوسان‌هایی دارد که اگر تنها ناشی از تغییرات اقلیمی باشد، همگن فرض می‌شود (لازارو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱، ۳۷۳). مهم‌ترین عوامل ناهمگنی داده‌های بارندگی، تغییر در وسایل اندازه‌گیری، تغییر در محل ایستگاه و تغییرات محیطی، مانند توسعه‌ی شهری هستند (جونز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵، ۳۳۴).

از آنجاکه در فصول گرم، پذیرش بخار آب ابرها برای اشباع شدن خیلی بیشتر از فصول سرد است، بنابراین ضخامت و آب قابل بارش ابر و در نتیجه، شدت بارش افزایش می‌یابد. به این معنا که نقاط بیشینه‌ی تغییرات روند بارش در فصول گرم، اغلب بیشتر از فصول سرد سال است؛ بنابراین، در این مطالعه، داده‌های بارندگی روزانه‌ی ماه‌های فروردین تا شهریور در ایستگاه‌های منتخب طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۶ مورد بررسی قرار گرفت.

پیش از اجرای آزمون‌های آماری تحلیل روند، مقادیر بارندگی روزانه در ایستگاه‌های منتخب، بر اساس طبقه‌بندی روزنبرگ و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۸۹، ۷۵) به گروه‌های زیر تقسیم شدند:

(الف) بارندگی سبک: بارندگی‌های بزرگتر از ۰/۲ و کمتر از ۱۲/۵ میلی‌متر در روز؛

(ب) بارش متوسط: بارندگی‌های بزرگتر از ۱۲/۵ و کمتر از ۲۵ میلی‌متر در روز؛

(ج) بارش سنگین: بارندگی‌های بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر در روز.

با توجه به تعاریف گفته‌شده، روزهای با بارش بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر بر روز، به‌عنوان روز بارشی در نظر گرفته شده است.

آزمون‌های آماری به دو دسته‌ی پارامتری و ناپارامتری دسته‌بندی می‌شوند. پیش‌فرض آزمون‌های پارامتری، داده‌های تصادفی و برآمدهای یک توزیع نرمال است. فرض نرمال بودن داده‌ها در آزمون‌های ناپارامتری وجود ندارد؛ بنابراین، چنانچه به نرمال بودن داده‌ها اطمینان نداریم (مانند داده‌های بارش) به‌کارگیری آزمون‌های ناپارامتری محتاطانه‌تر به نظر می‌رسد (اسنیرز<sup>۴</sup>، ۱۹۹۰؛ سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۹۶). با این وجود، برخی پژوهشگران نشان

1. Lazaro et al.

2. Jones

3. Rosenberger et al.

4. Sneyers

داده‌اند که تفاوت نتایج دو روش در مورد بسیاری از عناصر اقلیمی معنادار نیست (وینیکوف<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲، ۱۴۱). در روش‌های غیرپارامتری به جای در نظر گرفتن مقدار واقعی متغیر از ترتیب قرارگیری متغیرها به دنبال هم استفاده می‌شود (مک‌کویین<sup>۲</sup>، ۱۹۷۲، ۹۶۵).

در پژوهش پیش رو، برای تعیین اینکه "آیا در سری داده‌های آب‌وهوایی، بین بازه‌های زمانی تفاوتی وجود دارد یا خیر" از آزمون آماری کروسکال والیس<sup>۳</sup> استفاده شده است. فرضیه‌ی صفر آزمون، به صورت "هیچ تغییری در مقادیر بارندگی و تعداد بارش‌های روزانه در طول سال‌ها وجود ندارد" تعریف شد. برای اجرای این آزمون، پس از مرتب‌کردن نمونه‌های گرفته‌شده، رتبه‌بندی آنها و محاسبه‌ی مجموع رتبه‌ها برای هر نمونه، مقدار آماره‌ی آزمون از فرمول زیر به دست می‌آید (کن جی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶):

$$H = \left\{ \frac{12}{N(N-1)} \times \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} \right\} - 3(N+1) \quad (1)$$

که در آن  $R_j$  مجموع رتبه‌های نمونه‌ی  $j$  ام و  $n_j$  حجم نمونه‌ی  $j$  ام و  $N$  حجم تمام نمونه‌های ترکیب شده و  $k$  تعداد نمونه‌های مورد بررسی است. آماره‌ی  $H$  از توزیع  $\chi^2$  با درجه آزادی  $(k-1)$  پیروی می‌کند. زمانی که آماره‌ی  $H$  بیشتر از مقدار بحرانی باشد، فرضیه‌ی صفر (تساوی میانگین‌ها) رد می‌شود. در این مطالعه، حجم هر یک از نمونه‌ها در دوره‌ی آماری مورد نظر، پانزده سال در نظر گرفته شد و فرضیه‌ی صفر آزمون در سطح معناداری ۹۰٪ و ۹۵٪ بررسی شده است.

همچنین، برای بررسی وجود یا نبود روند در سری داده‌ها از آزمون تاو<sup>۵</sup> - کندال<sup>۵</sup> استفاده شد. در این آزمون فرض صفر بر تصادفی بودن داده‌ها و عدم وجود روند دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه‌ی آماره، برای سری زمانی مربوط به فراوانی وقوع بارش‌های روزانه در طی سال‌ها به شرح زیر است:

نخست، سری آماری به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. برای میزان تغییر یا روند از رابطه‌ی زیر استفاده

می‌شود:

$$T = \frac{4P}{n(n-1)} \quad (2)$$

که در آن  $T$  آماره‌ی کندال و  $n$  تعداد کل سال‌های آماری و  $p$  حاصل جمع تعداد رتبه‌های بزرگتر از هر رده  $n_i$  که پس از آن قرار دارد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

1. Vinnikov
2. McCuen
3. Kruskal-Wallis
4. Kanji
5. tau statistic of Kendall test

$$P = \sum_{i=1}^n n_i \quad (3)$$

برای سنجش معناداری  $T$  از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$(T)t = \pm t_g \sqrt{\frac{4N + 10}{9N(N - 1)}} \quad (4)$$

که در آن  $N$  برابر تعداد سال‌های سری آماری مورد بررسی و  $t_g$  سطح احتمال معنادار بودن آزمون که برای فاصله‌ی اطمینان ۹۵ درصدی برابر ۱/۹۶ است و  $(T)t$  مقدار ناحیه‌ی بحرانی کندال برای سری زمانی مورد بررسی است. اگر  $(T)t < T < (T)t$  باشد، هیچ‌گونه روند مهمی در سری داده‌ها دیده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. همچنین، اگر  $(T)t > T$  باشد نشان‌دهنده‌ی روند منفی در سری و چنانچه  $(T)t < T$  باشد، روند مثبت در سری داده غالب خواهد بود.

برای بررسی روند تغییرات در تعداد روزهای بارانی از روش آماری - گرافیکی "من - کندال" استفاده شد. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود و با استفاده از آن، علاوه‌بر تعیین وجود روند، می‌توان زمان شروع آن را نیز مشخص کرد. (اسنیرز، ۱۹۹۰؛ سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۹۶).

سری زمانی  $x_i$  را در نظر بگیرید که در آن  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  باشد، برای هر عنصر  $x_i$  مقدار  $c_i$  که عبارت است از تعداد داده‌هایی که قبل از داده  $i$  ام قرار داشته و کوچکتر از آن است، محاسبه می‌شود. با داشتن  $c_i$  برای هر یک از عناصر سری زمانی، آماره‌ی  $t$  از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$t_i = \sum_{i=1}^n c_i \quad (5)$$

آماره‌ی آزمون کمابیش توزیع نرمالی دارد، بنابراین امید ریاضی  $E(t_i)$  و واریانس  $var(t_i)$  توزیع به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$E(t_i) = \frac{n(n - 1)}{4} \quad (6)$$

$$var(t_i) = \frac{n(n - 1)(2n + 5)}{72} \quad (7)$$

که در آنها  $n$  مربوط به ترتیب زمانی داده‌ها است.

آماره‌ی آزمون من - کندال  $u(t_i)$  هم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u(t_i) = \frac{t - E(t_i)}{\sqrt{var(t_i)}} \quad (8)$$

در این آزمون وجود روند دو طرفه صحیح است؛ از این رو فرض صفر برای مقادیر بالای  $|u(t_i)|$  رد می‌شود.

برای شناسایی روندهایی جزئی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر  $u(t_i)$  و  $u'(t_i)$  استفاده می‌شود. برای کشیدن نمودار سری زمانی مقادیر متوالی و تعیین زمان وقوع تغییرات، باید نه تنها  $u(t_i)$ ، بلکه  $u'_i = -u(t'_i)$  نیز، محاسبه شود. روش کار برای محاسبه  $u'(t_i)$  مشابه  $u(t_i)$  است با این تفاوت که این بار در بررسی داده‌ها از انتهای سری شروع می‌کنیم.

در این روش مقادیر حاصل از آزمون من - کندال به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود. در این نمایش، اگر منحنی‌ها چندین بار روی هم قرار بگیرند، روند یا تغییری وجود نخواهد داشت؛ ولی در جایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند، منحنی‌ها محلّ شروع روند یا تغییرات را به صورت تقریبی نشان می‌دهند. اگر این خطوط در داخل محدوده‌ی بحرانی  $(\pm 1/96)$  همدیگر را قطع کنند، نشانه‌ی زمان آغاز تغییر ناگهانی و چنانچه خارج از محدوده‌ی بحرانی همدیگر را قطع کنند، بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (اسنیرز<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰). رفتار پس از محلّ تلاقی، وضعیت روند (افزایشی یا کاهش) سری را نشان می‌دهد. تلاقی نداشتن دو شاخص، نشان‌دهنده‌ی این است که سری زمانی تغییری نکرده است (تورکیش<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶، ۱۰۵۷). گفتنی است واگرایی این منحنی‌ها از یکدیگر، نشان از وجود تمایل معنادار است.

## یافته‌های تحقیق

برای بررسی و تعیین آثار شهرنشینی بر فرایند بارش در کلانشهر تهران، ابتدا داده‌های بلندمدت بارش در دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان، در یک دوره‌ی آماری چهار ساله (از ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، روش تشریح شده در قسمت بالا مورد استفاده قرار گرفت. جدول شماره ۲، تناوب طبقات روزهای همراه با بارش را در طول دوره‌ی آماری برای دو ایستگاه مورد بررسی نمایش می‌دهد.

جدول ۲. تناوب طبقات روزهای همراه با بارش در دو ایستگاه مورد بررسی

| ایستگاه بیلقان |           | ایستگاه مهرآباد |           | پارامتر بارش                                     |
|----------------|-----------|-----------------|-----------|--|
| درصد           | تعداد روز | درصد            | تعداد روز |  |
| ۸۵/۷۲٪         | ۱۷۷۸      | ۹۲/۱۱٪          | ۲۰۲۱      | بارش سبک ( $0/2 \leq x \leq 12/5$ )              |
| ۱۱/۱۳٪         | ۲۲۸       | ۶/۷۹٪           | ۱۴۹       | بارش متوسط ( $12/5 < x \leq 25$ )                |
| ۲٪             | ۴۱        | ۱/۰۹٪           | ۲۴        | بارش سنگین ( $x > 25$ )                          |
| ۱۰۰٪           | ۲۰۴۷      | ۱۰۰٪            | ۲۱۹۴      | مجموع روزهای بارشی با آستانه ۰/۲ میلی‌متر در روز |
| ۱۲۹۱۳/۸        |           | ۹۲۷۴/۶          |           | مجموع مقدار بارش طی دوره‌ی آماری (mm)            |

بررسی طبقات بارش در دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان نشان می‌دهد که درصد تعداد روزهای همراه با بارش سبک ( $0/2 \leq x \leq 12/5$ ) میلی‌متر در روز) در ایستگاه مهرآباد از آنچه در ایستگاه بیلقان روی می‌دهد، بزرگتر است. این در حالی

1. Sneyers

2. Turkes



است که درصد تعداد روزهای همراه با بارش متوسط ( $25 \leq x < 12/5$  میلی متر در روز) و سنگین ( $> 25$  میلی متر در روز) در ایستگاه بیلقان، بزرگتر از این میزان در ایستگاه مهرآباد است. در بررسی روزهای همراه با بارش بالاتر از ۵۰ میلی متر در روز، مشاهده شد که ایستگاه بیلقان سه روز بارشی با این ویژگی‌ها داشته ولی در ایستگاه مهرآباد هیچ بارشی با این شدت مشاهده نشده است. بیشینه بارش روزانه در ایستگاه بیلقان به میزان ۵۳/۵ میلی متر در تاریخ ۱۹۹۰/۳/۲۵ میلادی و بیشینه بارش روزانه در طول دوره مورد بررسی در ایستگاه مهرآباد به میزان ۴۹ میلی متر و در تاریخ ۱۹۹۶/۳/۲ میلادی رخ داده است. موارد گفته شده نشان می‌دهد که رشد شهرنشینی، سبب افزایش نسبی بارش‌های سبک و کاهش شمار روزهای همراه با بارش متوسط و سنگین در کلانشهر تهران شده است. مطالعه‌ی جکلین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) که در کلانشهر سیدنی استرالیا انجام شد نیز، نتایج مشابهی را نشان می‌دهد.

در گام بعدی، بررسی تأثیر روزهای تعطیل بر مقدار غلظت آلاینده‌های شهر تهران با استفاده از داده‌های سه ایستگاه سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (فاطمی، اقدسیه، بازار) طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۵ نشان داد که مقادیر غلظت آلاینده‌ها در روزهای تعطیل آخر هفته، کمتر از اواسط هفته است. برای نمونه، تنها ۹ درصد از روزهای آلوده به آلاینده‌های CO و PM10 در آخرین روز هفته رخ می‌دهد که این امر، به علت کاهش رفت‌وآمد در روزهای آخر هفته و در نتیجه، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است (جو و پارک، ۲۰۰۵، ۱۵۵۷). جدول شماره ۳، نتایج به دست آمده از بررسی سری زمانی مربوط به میانگین غلظت روزانه را برای بررسی پراکندگی روزهای آلوده در میان روزهای هفته، نشان می‌دهد.

جدول ۳. پراکندگی تعداد روزهای آلوده به آلاینده‌های CO و PM10 (حسب خطوط راهنمای استاندارد آلودگی مؤسسه حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا<sup>۲</sup> (۱۹۸۱) در طول هفته، در سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۵

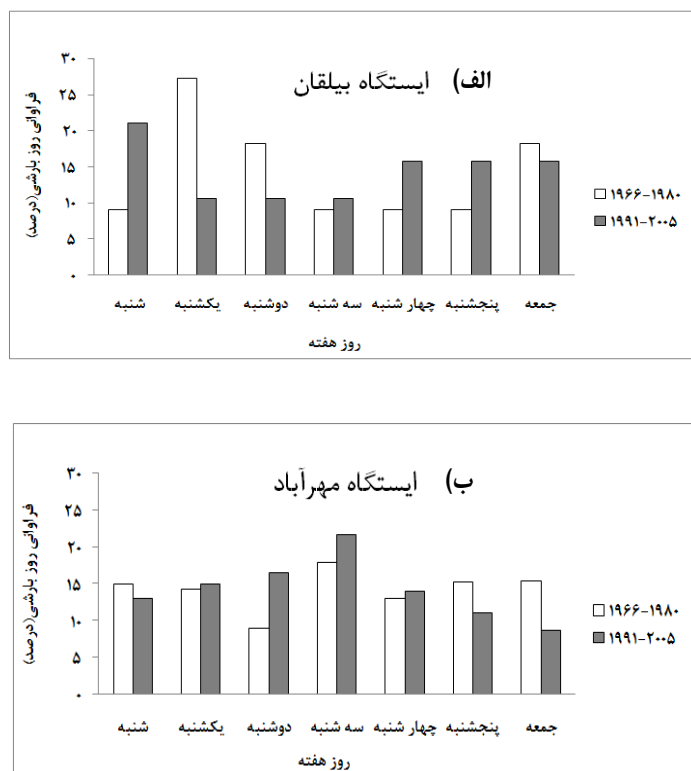
| مجموع | روز هفته |         |          |         |        |        |      | آلاینده | ایستگاه |
|-------|----------|---------|----------|---------|--------|--------|------|---------|---------|
|       | جمعه     | پنجشنبه | چهارشنبه | سه‌شنبه | دوشنبه | یکشنبه | شنبه |         |         |
| ۹۷۸   | ۱۰۴      | ۱۳۲     | ۱۳۸      | ۱۵۱     | ۱۵۴    | ۱۵۱    | ۱۴۸  | CO      | فاطمی   |
| ۱۹۱   | ۲۱       | ۲۸      | ۲۴       | ۲۷      | ۳۴     | ۳۱     | ۲۶   | PM 10   |         |
| ۱۷۰   | ۱۸       | ۲۴      | ۲۷       | ۲۷      | ۲۵     | ۲۸     | ۲۱   | CO      | اقدسیه  |
| ۱۰۴   | ۹        | ۱۶      | ۱۳       | ۹       | ۱۲     | ۲۳     | ۲۲   | PM 10   |         |
| ۵۴۳   | ۵۰       | ۷۸      | ۷۵       | ۸۴      | ۸۹     | ۸۹     | ۷۸   | CO      | بازار   |
| ۴۰۳   | ۴۱       | ۶۱      | ۵۰       | ۶۳      | ۶۸     | ۶۳     | ۵۷   | PM 10   |         |

همان‌گونه که دیدیم، مقادیر غلظت آلاینده‌ها در روزهای تعطیل آخر هفته، کمتر از اواسط هفته است که این امر به دلیل کاهش رفت‌وآمد در این روزها و همچنین رفتن شهروندان به مناطق خارج از شهر است که در اثر آن، آلودگی خودروها و آلودگی ناشی از آن کاهش می‌یابد. هرچه تعداد ذرات بیشتر باشد، تراکم سریع‌تر انجام می‌شود، به همین

1. Jacqueline et al.

2. NAAQS

دلیل تراکم در هوای آلوده‌ی روی شهرها زودتر آغاز می‌شود (لندزبرگ، ۱۹۸۱، ۲۷۵). وجود آلودگی‌های ذره‌ای در تشکیل ابر دخالت دارند و اغلب موجب افزایش بارش می‌شوند (لندزبرگ، ۱۹۷۰، ۱۲۵۶) و این یکی دیگر از آثار مهم شهرنشینی بر پراکنش روزهای بارشی در طول هفته است. در مطالعات مختلف مشاهده شده که روزهای کاری هفته در مقایسه با آخر هفته از بارش بیشتری برخوردارند. معمولاً روزهای آغازین هفته، حداقل میزان بارش را در میان روزهای کاری هفته به خود اختصاص می‌دهند و هرچه به پایان هفته‌ی کاری نزدیک می‌شویم، میزان بارش افزایش می‌یابد (دت‌ویلر و لنزبرگ، ۱۹۷۴، ۷۵۵). در بررسی پراکنش روزهای بارشی در طول هفته، دو زیردوره‌ی آماری در دوره‌ی گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) از اولین و آخرین پانزده سال دوره‌ی آماری بررسی شده برای هر یک از دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شکل شماره ۲ پراکنش روزهای بارشی در طول هفته برای این دو ایستگاه را نمایش می‌دهد.

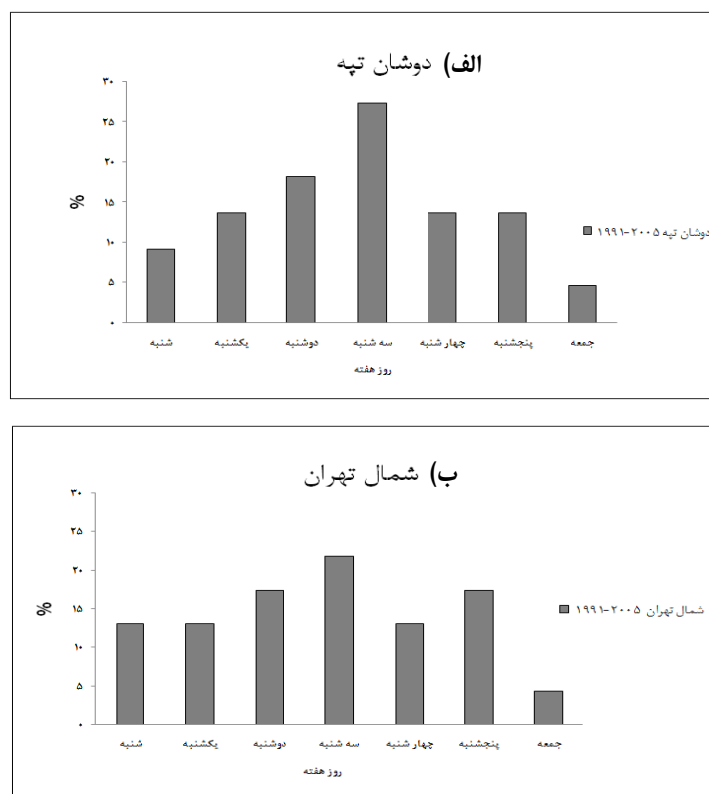


شکل ۲. نمودارهای پراکنش روزهای بارشی در طول هفته، در دو ایستگاه بیلقان و مهرآباد

پراکنش روزهای بارشی در طول هفته‌ی پانزده سال نخست (۱۹۶۶ تا ۱۹۸۰) و پایانی (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵) در ایستگاه بیلقان نشان می‌دهد که توزیع روزهای بارشی در این ایستگاه از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. به‌گونه‌ای که در دوره‌ی نخست، یکشنبه‌ها بالاترین و در دوره‌ی پایانی، پایین‌ترین میزان روزهای بارشی در طول هفته را داشته‌اند. نبود الگوی خاص در پراکنش روزهای بارشی در طول هفته در ایستگاه بیلقان، ممکن است به دلیل قرارگیری این ایستگاه در خارج از محدوده‌ی شهری و دوری از آثار اقلیمی آن باشد. با توجه به شکل شماره (۲-ب) به نظر می‌رسد که ایستگاه مهرآباد در دوره‌ی پانزده‌ساله‌ی نخست (۱۹۶۶ تا ۱۹۸۰)، وضعیتی مشابهی با ایستگاه بیلقان داشته و پراکنش روزهای بارشی در

طول هفته در این ایستگاه نیز، از هیچ‌گونه الگویی پیروی نمی‌کند، اما در دوره‌ی پانزده‌ساله‌ی پایانی که شهرنشینی در اطراف این ایستگاه نفوذ و قدرت زیادی داشته، تعداد روزهای بارشی در روزهای کاری و انتهای هفته، نسبت به پانزده سال نخست تغییراتی داشته است، به‌گونه‌ای که تعداد روزهای بارشی در پنجشنبه‌ها و جمعه‌ها نسبت به سال‌های آغازین کاهش یافته است، این در حالی است که توزیع بارش در میان روزهای کاری هفته در سال‌های پایانی نسبت به سال‌های آغازین یک افزایش نسبی داشته است.

برای بررسی بیشتر آثار شهرنشینی بر پراکنش روزهای بارشی در طول هفته، پراکندگی روزهای بارشی در دو ایستگاه دوشان تپه و شمال تهران در کلانشهر تهران مورد بررسی قرار گرفت (شکل شماره ۳). نتایج به‌دست آمده، مشابه نتایج ایستگاه مهرآباد است.



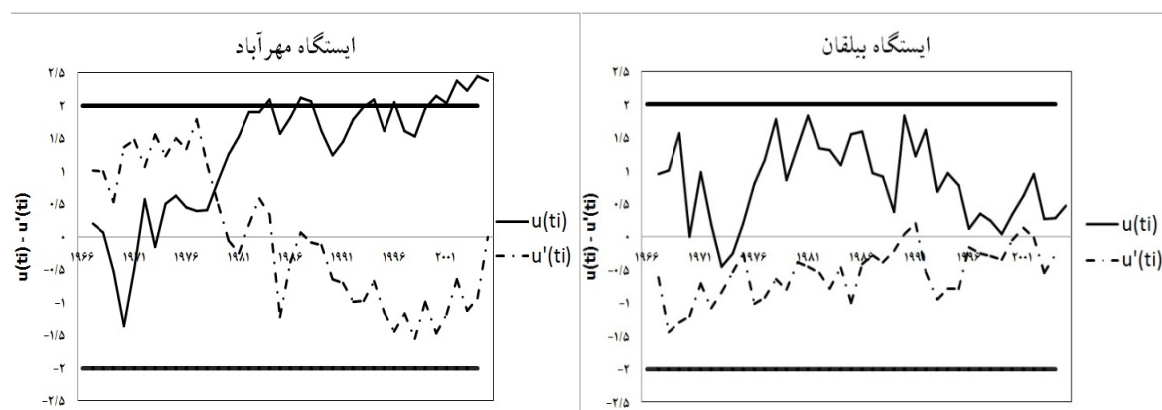
شکل ۳. نمودارهای پراکنش روزهای بارشی در میان روزهای هفته، در دو ایستگاه دوشان تپه و شمال تهران

همان‌گونه که از نمودارهای فوق برمی‌آید، در هر سه ایستگاه مورد بررسی که تحت تأثیر توسعه‌ی شهری کلانشهر تهران قرار دارند، درصد روزهای بارشی در روزهای کاری هفته، بیشتر از این مقدار در روزهای آخر هفته است. این امر شاید به‌دلیل تأثیرپذیری فرایند بارش در این ایستگاه‌ها از تشکیل جزیره‌ی گرمایی و به‌دنبال آن، افزایش صعود قائم هوا در خرد اقلیم شهری یا به‌دلیل افزایش آلودگی ذره‌ای است که سبب افزایش تعداد دفعات بارش می‌شود. یکی از فرض‌های اساسی در بیشتر پردازش‌های آماری، تصادفی بودن مشاهدات است. برای تعیین اینکه آیا در

سری داده‌های بارش، تغییری در تعداد بارش‌های روزانه با شدت‌های گوناگون در طی سال‌ها وجود دارد یا خیر، از آزمون آماری کروسکال والیس و آزمون تاو - کندال استفاده شده است. با توجه به آزمون H، فرض صفر در تعداد بارش روزانه (بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر در روز) در ایستگاه مهرآباد در سطح معناداری ۹۵٪ رد و تغییرات معناداری، به‌ویژه در سال‌های بعد از ۱۹۷۵ دیده شد که این امر را می‌توان به افزایش هسته‌های میعان ابری حاصل از آلودگی‌های ذره‌ای ناشی از توسعه‌ی صنعت و افزایش جمعیت، نسبت داد. به‌طور مشابه، فرض صفر برای بارش دسته‌ی روزهای همراه با بارش سبک (بین ۰/۲ تا ۱۲/۵ میلی‌متر در روز) در سطح احتمال ۹۵٪ رد شد و تغییرات معناداری در این دسته در سال‌های پس از ۱۹۹۰ دیده شد. گفتنی است که در بقیه‌ی طبقات روزهای بارشی در ایستگاه مهرآباد، هیچ تغییر آماری معناداری دیده نشد. از سوی دیگر، بررسی فرض صفر در سطح معناداری ۹۰ و ۹۵ درصد، هیچ تفاوت معناداری را در بارش ایستگاه بیلقان نشان نمی‌دهد.

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون آماره‌ی  $T$  و آماره‌ی بحرانی  $(T)_t$  نیز، نتایج مشابهی را نشان داد. آماره‌ی کندال برای ایستگاه مهرآباد در دوره‌ی آماری مورد بررسی برای بارش‌های دسته‌ی روزهای همراه با بارش سبک، برابر با ۱/۲۶ به‌دست آمد؛ ولی، آماره‌ی بحرانی  $(T)_t$  در سطح معناداری ۹۵٪ برای سری زمانی مربوط به تعداد روزهای همراه با بارش سبک در طی سال‌های مورد بررسی، برابر با  $\pm 0/21$  محاسبه شد. اینک با توجه به اصول مربوط به این آزمون، به‌دلیل اینکه شرط  $(T)_t < T$  برقرار است، روند مثبت در سری داده‌ها در سطح احتمال ۹۵٪ تأیید شد. از سوی دیگر، بررسی آزمون تاو - کندال و آماره‌ی  $T$  و آماره‌ی بحرانی  $(T)_t$  به‌دست‌آمده در سطح معناداری ۹۰ و ۹۵ درصد، هیچ تفاوت معناداری را در بارش ایستگاه بیلقان نشان نمی‌دهد.

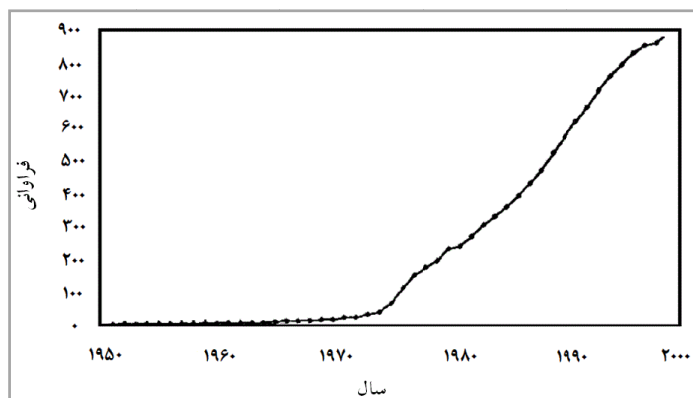
در انتها برای تعیین وجود یا نبود روند و تعیین نوع تغییرات و زمان آن، از آزمون گرافیکی من - کندال استفاده شده است. برای این کار، نخست، مؤلفه‌های  $u(t_i)$  و  $u'(t_i)$  برای سری زمانی مربوط به تعداد بارش‌های روزانه‌ی سبک در طی سال‌های مورد بررسی کشیده شد (شکل شماره ۴)، سپس با توجه به ویژگی‌های آزمون گرافیکی من - کندال نوع و زمان تغییر مشخص شد.



شکل ۴. مؤلفه‌های  $u(t_i)$  و  $u'(t_i)$  و حدود اعتماد ۹۵٪ مربوط به تعداد روزهای همراه با بارش سبک، در طی سال‌های مورد بررسی در دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان

چنانچه از نمودار تغییرات رفتار مؤلفه‌های  $u(t_i)$  و  $u'(t_i)$  برای سری زمانی داده‌های تعداد روزهای همراه با بارش سبک ( $12/5 \leq x \leq 0/2$  میلی‌متر در روز)، در طی سال‌های مورد بررسی برای ایستگاه مهرآباد پیداست، منحنی‌های مربوطه، در داخل محدوده‌ی بحرانی مورد نظر ( $\pm 1/96$ ) نقطه‌ی برخوردی در اواسط دهه‌ی ۷۰ میلادی دارند و این وضعیت بیانگر آغاز تغییرات در طبقه‌ی روزهای همراه با بارش سبک، در ایستگاه مهرآباد است و روند فزاینده‌ی موجود بر آن، به‌ویژه در سال‌های پیش در سطح ۹۵٪ معنادار است. از سوی دیگر، در شکل ۵ فراوانی تجمعی غبار دودمه‌های گزارش شده در ۵۰ سال آخر قرن بیستم، برای تهران ترسیم شده است که این نمودار حاکی از افزایش غبار دودمه‌های رخ داده در تهران از سال ۱۹۷۵ به بعد است (صادقی، ۱۳۸۲). در این نمودار مقدار غبار دودمه‌های سنگین روی داده در تهران از سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۵ کمابیش ثابت بوده یا افزایش کمی داشته است، اما از حدود سال ۱۹۷۵ آشکارا رو به افزایش گذاشته که روند آن به میزان دو برابر در سال است.

این در حالی است که با توجه به نمودار تغییرات رفتار مؤلفه‌های  $u(t_i)$  و  $u'(t_i)$  در ایستگاه بیلقان چنین برداشت می‌شود که سری مربوطه، بدون هیچ‌گونه جهش و تغییر معنادار، روندی طبیعی و تصادفی را دنبال می‌کند.



شکل ۵. فراوانی تجمعی غبار دودمه در تهران (از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰)

## بحث و نتیجه‌گیری

گفتمان اصلی خرد اقلیم‌شناسی شهری، طبیعت انسان‌زده است. بافت فیزیکی شهر در مقایسه با فضای خارج شهر مانند روستاهای اطراف و پیرامونی تفاوت‌های زیادی دارد. مقایسه‌ی شاخص‌های اقلیمی شهر با نواحی پیرامونی، نشانه‌ی بارزی از تأثیرپذیری خرد اقلیم شهری از مناطق شهری است. یکی از شاخص‌های تأثیرپذیر اقلیمی از نواحی شهری فرآیند هواشناختی بارش است. از آنجاکه کلانشهر تهران، پایتختی با بافت به‌نسبت صنعتی و پُرجمعیت است، انتظار می‌رود که این تحوّل سبب ایجاد تغییراتی در عنصر هواشناختی بارش شود. مهم‌ترین نتایج بررسی آثار خرد اقلیم شهری بر تعداد روزهای بارشی و پراکندگی آن در میان روزهای هفته در کلانشهر تهران، طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- رشد شهرنشینی سبب افزایش نسبی بارش‌های سبک و کاهش شمار روزهای همراه با بارش متوسط و سنگین طی دوره‌ی گرم سال در کلانشهر تهران گشته است.
- روند افزایش روز بارشی در تهران، به‌ویژه از سال‌های ۱۹۷۵ به بعد، ممکن است به‌دلیل افزایش آلاینده‌های ذره‌ای ناشی از توسعه‌ی صنعت، افزایش جمعیت و در کُل، به‌دلیل افزایش مصرف بالای انرژی باشد.
- در هر سه ایستگاه مورد بررسی که تحت تأثیر توسعه‌ی شهری کلانشهر تهران قرار دارند، درصد روزهای بارشی در روزهای کاری هفته، بیشتر از این مقدار در روزهای آخر هفته است. این امر شاید به‌دلیل تأثیرپذیری فرایند بارش در این ایستگاه‌ها از تشکیل جزیره‌ی گرمایی و به‌دنبال آن، افزایش صعود قائم هوا در خرد اقلیم شهری یا به‌دلیل افزایش آلودگی ذره‌ای است که سبب افزایش تعداد دفعات بارش می‌شود.
- این اختلاف‌های چشمگیر در روند طبقات روزهای بارشی بین دو ایستگاه مهرآباد و بیلقان را نمی‌توان تنها ناشی از فرایند تغییر اقلیم در سال‌های پیش دانست، بلکه به نظر می‌رسد این اختلاف‌ها، بیشتر ناشی از تأثیرپذیری فرایند بارش از خرد اقلیم شهری کلانشهر تهران در دهه‌های گذشته باشد.

## منابع

- Alpert, P., Halfon, N., Levin, Z., 2008, **Does Air Pollution Really Suppress Precipitation in Israel?**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 47, No. 4, PP. 933-943.
- Atkinson, B.W., 1971, **The Effect of an Urban Area on the Precipitation from a Moving Thunderstorm**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 10, No. 1, PP. 47-55.
- Azizi, GH., 2004, **Climate Change**, Ghoomes Publications, Tehran.
- Bakhtiari, S., 2006, **Complete Atlas of Tehran**, Gitashenasi Geographical & Cartographic Institute, Tehran.
- Chandler, T., 1965, **The Climate of London**, Hutchinson, London.
- Changnon, S. A., Semonin, R. G., Huff, F. A., 1976, **A Hypothesis for Urban Rainfall Anomalies**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 15, No. 4, PP. 544-560.
- Changnon, S. A., 1978, **Urban Effects on Severe Local Storm at St Louis**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, No. 5, PP. 578-586.
- Changnon, S.A., Stanley, A., 1981, **METROMEX: A Review and Summary**. Meteorological Monographs, No. 40, American Meteorological Society, Boston, 181 pp.
- Changnon, S. A., 2001, **Assessment of Historical Thunderstorm Data for Urban Effects: The Chicago Case**, Climatic Change, Vol. 49, No. 1-2, PP. 161-169.
- Dettwiller, I., Landsberg, H. E., 1974, **Inadvertent Atmospheric Modification**, Weather and Climate Modification, Wilmot N. Hess, Ed. John Willy & Sons, New Jersey, 755 pp.
- USEPA., 1994, **National Ambient Air Quality Standards for Carbon Monoxide-Final Decision**, US Environmental Protection Agency, 59. 146, Federal Register, United States.
- Hejazizadeh, Z. B., Moghimi, SH., 2002, **Introductory Microclimatology**, Payame Noor University Publications, Tehran.
- IEC., 2005, **Iran's Statistical Year Book**, Iran Statistical Center, Tehran, Iran.

- Jacqueline, A., Crawshaw, P., Beggs, J., 2003, **Impacts of Urbanization on Rainfall in Sydney, Australia**, Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland.
- Jaurequi, E., Romales, E., 1996, **Urban Effects on Convective Precipitation in Mexico City**, Atmospheric Environment, Vol. 30, No. 20, PP. 3383-3389.
- Jo, W. K., Park, J. H., 2005, **Characteristics of Roadside Air Pollution in Korean Metropolitan City (Daegu) over Last 5 To 6 Years: Temporal Variations, Standard Exceedances and Dependence on Meteorological Conditions**, Chemosphere, Vol. 59, No. 11, PP. 1557-1573.
- Jones, P.D., 1995, **The Instrumental Record: Its Accuracy and Use in Attempts to Identify the Co2 Signals**. In: Von Storch, H. & Navarra, A. (eds), Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques, Springer-Verlag, 53-76.
- Kanji, G.K., 2006, **100 Statistical Tests**, 3rd edition, Sage Publications, Los Angeles & London, 242 pp.
- Landsberg, H.E., 1970, **Man-made Climate Changes**, Science, Vol. 170, PP. 1265-1274.
- Landsberg, H.E., 1981, **The Urban Climate**, International Geophysics Series, Vol. 28, Academic Press, New York.
- Lazaro, R., Rodrigo, F. S., Gutierrez, L., Domingo, F., Puigdefabregas, J., 2001, **Analysis of a 30-year Rainfall Record (1967-1997) in Semi-arid SE Spain for Implications on Vegetation**, Journal of Arid Environments, Vol. 48, No. 3, PP. 373-395.
- Lowry, W.P., 1998, **Urban Effects on Precipitation Amount**, Progress in Physical Geography, Vol. 22, PP. 477-520.
- McCuen, R.H., James, L.D., 1972, **Nonparametric Statistical Methods in Urban Hydrologic Research**, Water Resources Bulletin, Vol. 8, No. 5, PP. 965-975.
- Ranjbar-Saadatabadi, A., Azadi, M., Aliakbari-Bidokhti, A. A., Sadeghi-Hosseini, A. R., 2005, **Case Study of Tehran Heat Island and its Numerical Simulation**, Journal of the Earth & Space Physics. Vol. 31, No. 1, PP. 63-78.
- Rosenberger, M.S., Suckling, P.W., 1989, **Precipitation Climatology in the Pittsburgh Urban Area**, Southeastern Geographer, 29, PP. 75-91.
- Sadeghi-Hosseini, A. R., Raheli Salimi, J., 2003, **The Effect of SMAZE on Precipitation Process over Tehran**, IUGG 2003 Sapporo, Japan, Proceeding Journal, Vol. B, JSP11/08P/D-001, <http://geophysics.ut.ac.ir/En/Professor/Conf.asp?PersonID=17>.
- Sadeghi-Hosseini, A. R., Azojy, S., 2008, **Case Studies of the Impact of Particle Pollutants on Precipitation over the Tehran Area**, Journal of the Earth & Space Physics, Vol. 34, No. 3, PP. 107-117.
- Sneyers, R., 1990. **On the Statistical Analysis of Series of Observations**, WMO, Technical Note No. 143, Geneva, Switzerland.
- Tayanc, M., Toros, M., 1997, **Urbanization Effects on Regional Climate Change in the Case of Four Large Cities in Turkey**, Climatic Change, Vol. 35, No. 4, PP. 501-524.
- Turkes, M., 1996, **Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey**, International Journal of Climatology, Vol. 16, PP. 1057-1076.
- Vinnikov, K.Y., 2002, **Trends in Moments of Climatic Indices**, Geophysical Research Letters, Vol. 29, No. 2, PP. 141-144.

WMO, 1966, **Climatic Change**, WMO Technical Note 79, Geneva.

Yonetani, T., 1982, **Increase in Number of Days with Heavy Precipitation in Tokyo Urban Area**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 21, PP. 1466-1471.

Zheng, S.Y., Liu, S.H., 2008. **Influences of Urbanization on Air Temperature, Relative Humidity and Precipitation in Beijing Area (In Chinese)**, Clim Environ Res, Vol. 13, No. 2, PP. 123-133.