

تأثیر توسعه شهرنشینی بر روی فرایند بارش در تهران

سید علیرضا صادقی حسینی* و جواد راحلی سلیمی*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۴-۱۴۱۵۵

دریافت مقاله: ۸۱/۴/۱۵ پذیرش مقاله: ۸۱/۸/۱۳

چکیده

در چند دهه اخیر افزایش آلودگی‌های ذره‌ای برای مردم شهرهای بزرگ از جمله تهران مشکلاتی به وجود آورده است. در این پژوهش با دیدی متفاوت، ارتباط فرایند بارش با آلودگی در شهرهای بزرگ به صورت علمی بررسی شده است. این بررسی‌ها از دیدگاه پژوهشگران هواشناسی و محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات اقلیم در تهران بزرگ و حومه (کرج - ورامین) در مدت ۵۰ ساله اخیر از دو جنبه بررسی شده است که این تغییرات متأثر از دو عامل، موقعیت جغرافیایی از یک سو و صنعتی شدن و توسعه شهرنشینی از سوی دیگر است.

متوسط سالانه دمای بیشینه و کمینه تهران از کرج بیشتر و دمای کمینه تهران از ورامین بیشتر است. سال ۱۹۷۵ و حدود آن به عنوان بازه صنعتی شدن تهران در نظر گرفته شده است. دید افقی قبل از این بازه با روند صنعتی شدن به تدریج کاهش یافته و پس از این بازه نیز با روند جزئی کاهشی همراه بوده است. تعداد رویدادهای غبار دود مه قبل از صنعتی شدن تهران ناچیز بوده ولی پس از بازه صنعتی شدن به شدت افزایش داشته است. همچنین میانگین بارش سالانه تهران نسبتاً از کرج بیشتر و از ورامین خیلی بیشتر است و روند بارش کلی سالانه در تهران و ورامین افزایشی بوده است ولی در کرج کاهش است. تعداد رویداد بارش‌های محلی (بر اساس افزایش ناگهانی رطوبت نسبی محلی) روی تهران بزرگ کاهش یافته است که این خود دلیلی بر افزایش شدید آلودگی در مرکز شهر و احتمالاً رویداد فرایند فراباروری است.

کلیدواژه: آلودگی‌های ذره‌ای، فرایند بارش، توسعه شهرنشینی، غبار دودمه، فرابارورسازی ابر

۱ مقدمه

بررسی ساختار هوای شهری و مقایسه آن با حومه در دهه‌های اخیر به سرعت گسترش یافته است به گونه‌ای که مقاله‌های زیادی در این مورد در مجله‌ها و کتاب‌ها به چشم می‌خورد و اغلب آنها این موضوع را از زمان صنعتی شدن ابرشهرها بررسی می‌کنند. در همه این مقاله‌ها و نوشته‌ها تأثیر انسان بر محیط زندگی کاملاً آشکار است. اولین کتابی که در این مورد توسط کراتزر در سال ۱۹۳۷ انتشار یافت شامل ۲۲۵ مقاله بود. در این باره چاندلر نیز در ۱۹۷۰ یافته‌هایی با ۱۸۰۰ عنوان به سازمان جهانی هواشناسی ارائه نمود. این کار ادامه یافت و در این مورد مقالات و کتاب‌های زیادی نوشته شد و تحقیقات زیادی در مورد عناصر هواشناختی متأثر از توسعه شهرنشینی از جمله دما (کمینه، بیشینه و متوسط)، دید افقی، غبار دودمه، افزایش آلاینده‌های هوا، بارش و غیره

انجام شد.

این تحقیقات اکثراً در امریکا و اروپای غربی و مناطق صنعتی جهان صورت گرفته است که از جمله آنها پروژه جهانی مترومکس در سنت‌لوئیز امریکا است که توسط چانگنون (۱۹۷۹)، اکرمین و همکارانش (۱۹۷۸) و هیلبرگ (۱۹۷۸)، انجام شد. نتایج این بررسی‌ها در مجله هواشناسی کاربردی آورده شده است.

در این پژوهش شهر تهران به عنوان یکی از شهرهای آلوده جهان با جمعیتی بالغ بر ۱۰ میلیون نفر انتخاب شده است و بعضی از عناصر هواشناختی آن از جمله دما، دید افقی، غبار دودمه، و بارندگی مورد بررسی قرار گرفته است و با ایستگاه‌های حومه از جمله کرج و ورامین مقایسه شده است. در این تحقیق از داده‌های

موجود برای ۵۰ سال اخیر استفاده شد، و گاهی در صورت ناقص بودن آمار، میانگین‌های پایدار ۳۰ ساله به جای آنها به کار برده شد.

۲ مبانی نظری

در جو شهری جدا از ذرات گرد و غبار، ذرات دود ناشی از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی و خانگی و ذرات آلی حاصل از هیدروکربن‌های سوخته نشده و مواد شیمیایی معدنی ناشی از فرایندهای فتوشیمیایی، بنیان‌های SO_2 ، CO ، NO_2 ، با بخار آب دودمه یا غباردودمه فتوشیمیایی ایجاد می‌کنند. این امر در اغلب شهرهای بزرگ صنعتی موضوعی شناخته شده است (لندزبرگ، ۱۹۸۱).

افزایش ذرات هومیز غباردودمه به همراه پدیده وارونگی دما به ویژه در فصل پاییز و زمستان که جو دارای رطوبت بیشتری است، باعث کاهش شدید دید افقی به ویژه به هنگام صبح و عصر می‌شود (این اثر اغلب در تهران بزرگ به چشم می‌خورد).

دمای شهرهای آلوده نیز به دلایل مختلف از جمله مصرف بالای انرژی و همچنین در دام افتادن آلودگی‌های موجود در سطح شهر و به علت وارونگی دما و ایجاد جزیره گرمایی شهری، در مقایسه با دمای حومه، خود افزایشی را نشان داده است، به طوری که هر چه رشد شهری و افزایش جمعیت آن همراه با مصرف بالای انرژی بیشتر باشد این اختلاف دما حائز اهمیت بیشتری است و اغلب بیشینه آن در مراکز شهری دیده می‌شود (چندلر، ۱۹۶۵).

به دلیل تغییر سطوح طبیعی خاکی و جنگلی به سطوح آسفالتی و سیمانی شهر، میزان رطوبت در شهرها در مقایسه با حومه به طور نسبی پایین تر است. عامل دیگر کاهش رطوبت در شهرها وجود جزیره گرمایی است. اغلب به دلیل آلودگی زیاد، گرادبانی از اندازه ذرات از سمت بادسو به سمت بادپناه به وجود می‌آید که در تشکیل ابر و بارش در منطقه بادپناه حائز اهمیت است.

عوامل زیادی بر تغییرات بارندگی در مناطق شهری حاکم هستند که علت اصلی آن کاملاً مشخص نیست ولی در اینجا سه عامل مهم و اصلی آورده می‌شود:

اولین و آشکارترین عامل جزیره گرمایی است. افزایش محلی دما در شهرها در نهایت به صعود قائم هوا روی شهرها و در کل حرکت‌های قائم منجر می‌شود که همراه با شرایط خاص جوی می‌تواند در تشکیل و یا افزایش بارش نقش مهمی داشته باشد.

دومین عامل تغییر بارش را می‌توان متأثر از ناهمواری‌ها و موقعیت جغرافیایی منطقه شهری قلمداد کرد. ناهمواری‌های سطح شهر باعث صعود واداشته هوا شده و مراحل پیشرفت سامانه‌های جوی شهری را کند می‌کند، در این حال اگر در منطقه رطوبت کافی موجود باشد، ممکن است زمان بارش را طولانی‌تر کرده یا میزان بارش محلی را افزایش دهد. در حالت‌های زیادی اثر موانع با اثر جزیره گرمایی ترکیب می‌شود و میزان بارش را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

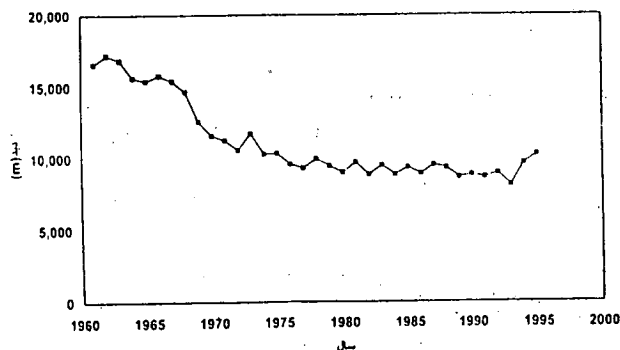
سومین عامل مهم مؤثر روی بارش، آلودگی هوا است. وجود آلودگی‌های ذره‌ای در تشکیل ابر دخالت دارد و اندازه قطرات باران را برحسب اندازه هسته میعان حاصل از آلودگی تغییر می‌دهد و اغلب منجر به افزایش بارش می‌شود (لندزبرگ، ۱۹۷۴) ولی در مواقع نادر (زمانی که غلظت آلاینده‌ها خیلی بیشتر از غلظت بهینه هسته‌های میعان موجود در هوا باشد) در کاهش یا جلوگیری از شکل‌گیری بارش به وسیله فرایند فراباروری می‌تواند نقش داشته باشد (صادقی حسینی، ۱۹۹۸).

بارش بیشینه در اغلب موارد در مرکز شهر اتفاق نمی‌افتد بلکه بیشتر در جهت بادپناه شهر، بیشینه مقدار خود را نشان داده است. این مسئله توسط چانگنون در سال ۱۹۶۲ برای شهر ایلینویز آمریکا نشان داده شده است (شکل ۱). همچنین در پروژه مترومکس برای شهر سنت لونی در سال ۱۹۷۹ توسط چانگنون این مسئله برای ۳۰۲ رخدادهای بارش بررسی شد که در نتیجه بیشتر بارش‌ها در سمت بادپناه مشاهده شد (شکل ۲).

۳ اقلیم تهران

از آنجا که تهران بزرگ پایتختی کاملاً صنعتی و پرجمعیت است، انتظار می‌رود که میزان آلاینده‌ها در این شهر با رشد جمعیت

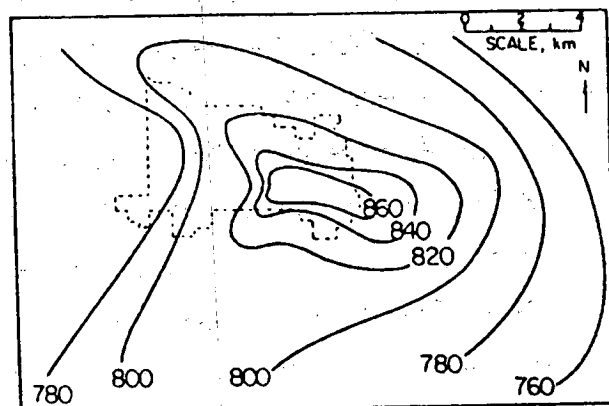
مشاهده می‌شود که دید افقی در ابتدا روند کاهشی داشته و حتی به حدود زیر ۱۰ کیلومتر نیز رسیده است. ولی از سال‌های حدود ۱۹۷۵ روند کاهشی آن کم‌تر شده و تقریباً ثابت باقی مانده است.



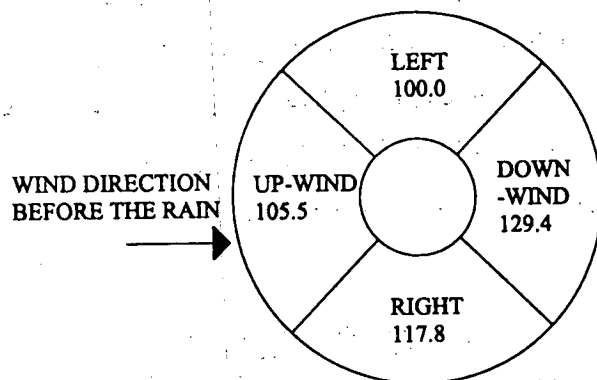
شکل ۳. متوسط دید افقی تهران از ماه نوامبر تا ماه مه (از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۷).

در شکل ۴، فراوانی تجمعی غباردودمه‌های گزارش شده در ۵۰ سال اخیر برای تهران ترسیم شده است که این نمودار نیز حاکی از افزایش تعداد غباردودمه‌های رخ داده در تهران از سال‌های ۱۹۷۵ به بعد است. در این نمودار مقدار غباردودمه‌های سنگین اتفاق افتاده در تهران از سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۵ تقریباً ثابت بوده و کمی افزایش داشته است. اما از حدود سال ۱۹۷۵ به صورت واضحی شروع به افزایش نموده و روند افزایشی آن تقریباً به میزان دو برابر در سال است. این امر بیانگر بازه صنعتی شدن تهران است. در بررسی رطوبت تهران در ماه‌های اوایل پاییز (اکتبر) تا اواسط بهار (مه) نتایج به دست آمده به این شرح است: کم‌ترین میزان رطوبت در روزها معمولاً در بعدازظهر، حوالی ساعت ۳ رخ می‌دهد که اوج تابش رسیده از خورشید نیز در این هنگام است و با بیشینه‌های دمایی تهران نیز مطابقت می‌کند. بیشترین میزان رطوبت اغلب در ساعت ۶/۵ صبح مشاهده شده که با کمینه دمایی رخ داده همخوانی دارد. البته در صبح هنگام کم‌ترین میزان دید افقی نیز رخ می‌دهد. در بررسی‌های سال به سال رطوبت نیز این نتیجه حاصل شده که در ماه‌های نسبتاً گرم مثل مارس در تمام ساعت‌های شبانه روز در دو دهه اخیر رطوبت نسبت به قبل

افزایش یافته باشد. این تحول باعث ایجاد تغییراتی در عناصر هواشناختی همچون دید افقی، میزان غبار دودمه، دما، رطوبت و بارندگی می‌شود. عوامل یاد شده، در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱. خطوط هم‌باران سالانه بر حسب میلی‌متر در شهر ایلی‌نویز امریکا. خط چین نشان‌دهنده محدوده شهر است (چانگنون، ۱۹۶۲).

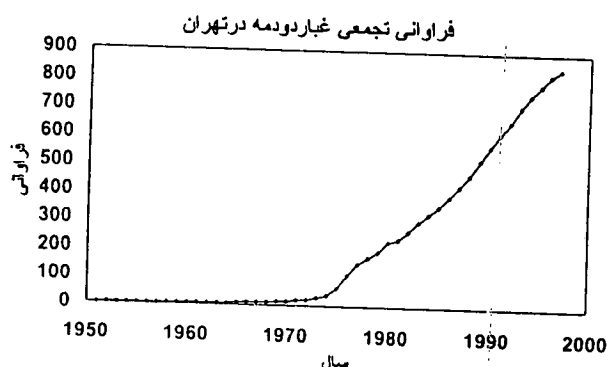


شکل ۲. درصد رخداد بارش‌های تابستانی در منطقه سنت‌لوئیز بر اساس مشاهدات پروژه مترومکس (چانگنون، ۱۹۷۹).

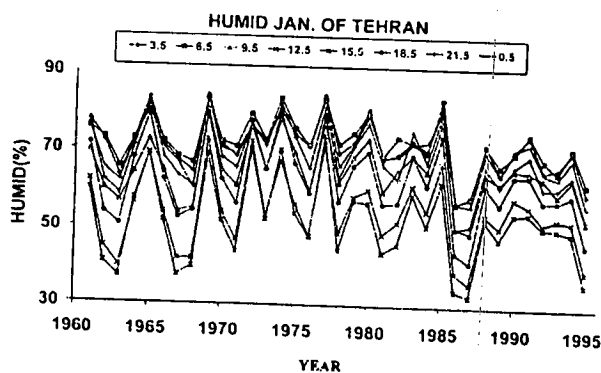
روند افزایش دمای بیشینه و کمینه تهران در ماه‌های مختلف نشانگر مصرف زیاد انرژی در شهر و تولید گازهای گلخانه‌ای و وجود جزیره گرمایی (البته در مقایسه با حومه) است که می‌تواند باعث کاهش رطوبت منطقه و دید افقی و افزایش آلودگی شود. در شکل ۳ میزان متوسط دید افقی از ماه نوامبر تا مه برای شهر تهران در طول حدود ۴۰ سال اخیر ترسیم شده است. در این شکل

ژانویه و فوریه به همراه افزایش شدید آلودگی و کاهش نورآفتاب، رطوبت نیز کاهش می‌یابد و اغلب پدیده غبار دودمه که با کم شدن دید افقی همراه است رخ می‌دهد.

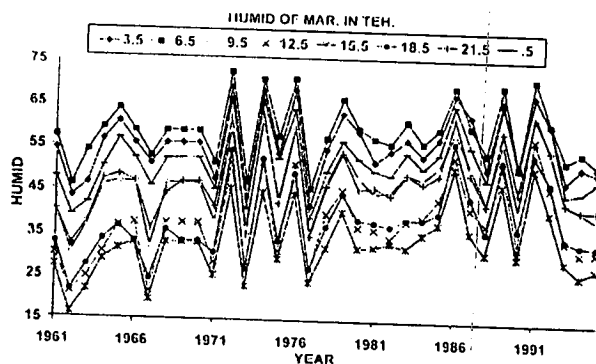
با توجه به نمودار بارندگی ماه‌های نوامبر تا مه برحسب زمان (شکل ۷)، مشاهده می‌شود که میزان بارش در تهران دارای شیب افزایشی ۱mm در سال است و میانگین پایدار بارش در حد ۲۳۰mm در هر سال است (میانگین پایدار برای بارش به توصیه سازمان هواشناسی جهانی در یک دوره حداقل سی ساله به دست می‌آید به ترتیبی که میانگین‌های متوالی مربوط به سال اول و سال دوم تا سال سی و یکم و سال سوم تا سال سی و دوم و به همین ترتیب محاسبه می‌شود. در این میان آن میانگین که بیشتر تکرار شده به عنوان میانگین پایدار انتخاب می‌شود). البته از حدود سال ۱۹۷۵ به بعد نابهنجاری در میزان بارش بسیار کم شده است. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش آلاینده‌ها در تهران اغلب از طریق فرایند بارورسازی غیر عمدی به پدیده بارندگی کمک کرده و میزان بارش را بالاتر برده است. البته در بررسی ماه به ماه پدیده بارش در ماه‌های به شدت آلوده همچون ماه ژانویه، روند بارش آنچنان افزایشی نبوده و این نشانگر این است که در این ماه‌ها احتمالاً پدیده فراباروری رخ داده است (صادقی حسینی، ۱۹۹۸).



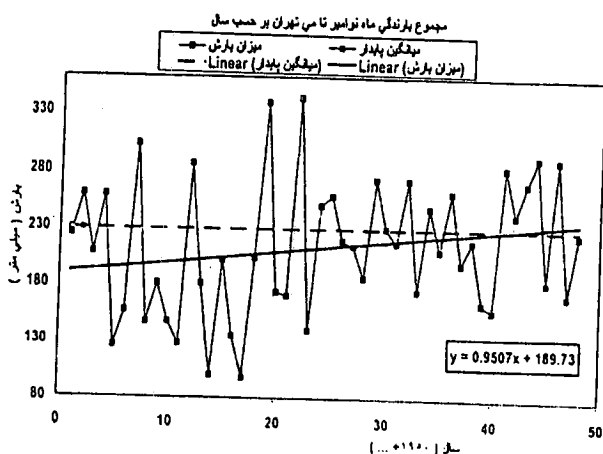
شکل ۴. فراوانی تجمع غبار دودمه در تهران (از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۷).



شکل ۵. رطوبت نسبی ماه ژانویه تهران در ساعت‌های مختلف (از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۵).



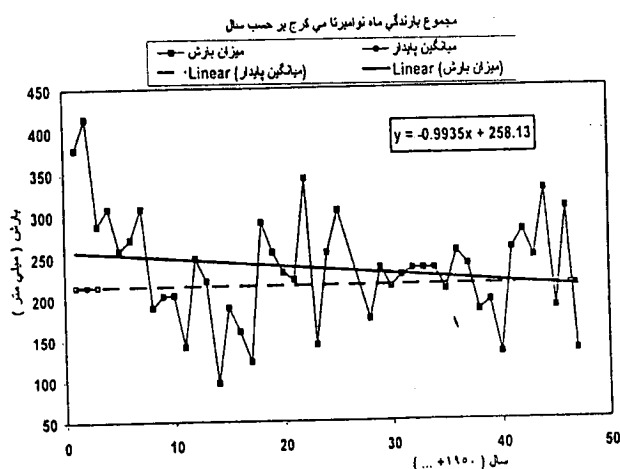
شکل ۶. رطوبت نسبی ماه مارس تهران در ساعت‌های مختلف (از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۵).



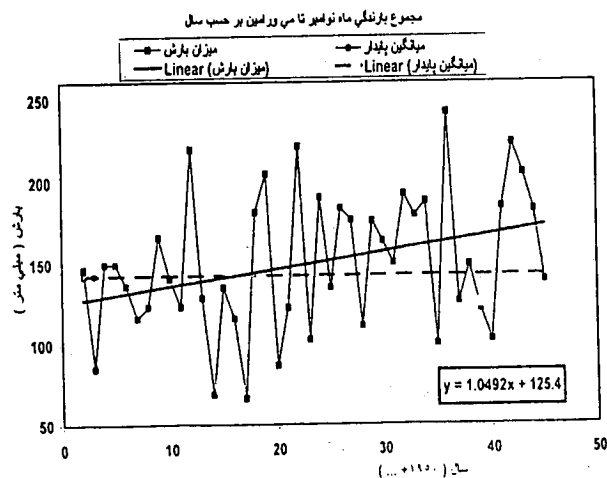
شکل ۷. مجموع بارندگی ماه‌های نوامبر تا مه تهران بر حسب سال (از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۷).

افزایش یافته است (شکل ۶) ولی هر چه به طرف ماه‌های سرد مثلاً ژانویه پیش می‌رویم رطوبت رفته رفته در شب هنگام و سپس در تمام شبانه روز در تهران کاهش یافته است (شکل ۵). در بررسی‌های انجام شده مشاهده شد که در ماه‌های خیلی سرد

می‌شود که چون این ایستگاه در حاشیه کویر است متوسط بارش خیلی کم‌تری از هر دو ایستگاه دارد ولی روند بارش در آن همچون تهران صعودی است که علت آن احتمالاً قرار داشتن این ایستگاه در سمت بادپناه تهران است، و با توجه به این که بیشتر اوقات آلودگی‌های ذره‌ای در این سمت تهران حضور بیشتری دارند، و به دلیل فرایند بارورسازی غیر عمدی و اثر جزیره گرمایی ایجاد شده در تهران که به سمت شرق کشیده می‌شود افزایش بارش در این منطقه قابل توجیه است (چانگتون، ۱۹۷۹).



شکل ۸. مجموع بارندگی ماه‌های نوامبر تا مه کرج بر حسب سال (از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۷).



شکل ۹. مجموع بارندگی ماه‌های نوامبر تا مه ورامین بر حسب سال (از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۷).

۴ مقایسه اقلیمی تهران با حومه

ایستگاه کرج در سمت بادسو و ورامین در سمت بادپناه تهران قرار دارند و چون تا حدودی از منابع آلوده کننده دور هستند تفاوت‌های اقلیمی مشخصی با تهران بزرگ صنعتی دارند که در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

متوسط کمینه دمای تهران از کمینه دمای کرج بالاتر است و دلیل عمده آن میزان ابرناکی بیشتر تهران از یک سو و همچنین مستقر شدن آلودگی در مرکز و جنوب شهر تهران به دلیل باد کوه دشت شبانه است. دمای بیشینه تهران نیز از کرج بالاتر است که این نیز بیشتر به دلیل در دام افتادن گرمای حاصل از تابش‌های خورشیدی در طول روز به وسیله دی‌اکسیدکربن و آلاینده‌های ناشی از احتراق مواد سوختنی حاصل از صنعت و ترافیک است. این تفاوت دمایی که نشانگر وجود جزیره گرمایی در سطح شهر است، همراه با آلوده‌کننده‌های ذره‌ای موجود در هوای شهری، بیانگر آن است که بارندگی احتمالاً در تهران نسبت به کرج به دلیل فرایند بارورسازی غیر عمدی باید روند بالاتری داشته باشد که این در مقایسه شکل ۷ با شکل ۸ مشخص می‌شود. از طرفی چون بلندترین قله البرز به تهران مشرف است صعود واداشته هوا موجب می‌شود تا متوسط بارش سالانه تهران نسبت به شهرهای حومه بیشتر باشد.

متوسط دمای کمینه تهران از ورامین تا حدودی بیشتر است. دلیل احتمالی این امر بیشتر به این جهت است که ورامین ایستگاهی در حومه کویر است که کمبود رطوبت و میزان ابرناکی و در نتیجه سرمایش شبانه باعث کاهش دمای کمینه این شهر نسبت به تهران می‌شود. برعکس متوسط دمای بیشینه تهران از ورامین کم‌تر است که این امر احتمالاً بیشتر به دلیل قرار گرفتن ورامین در حاشیه کویر است. یعنی در خلال روز به دلیل نبود رطوبت کافی و ابرناکی با تابش مستقیم آفتاب به شدت گرم می‌شود و در نتیجه تمام این عوامل که روی بارندگی در این ایستگاه تأثیر می‌گذارند در شکل ۹ نشان داده شده است. از بررسی این شکل نتیجه

۵ نتیجه گیری

تغییرات اقلیمی بررسی شده برای تهران و حومه (کرج - ورامین) متأثر از دو عامل موقعیت جغرافیایی و عامل صنعتی شدن و توسعه شهرنشینی است.

به علت قرار گرفتن تهران در دامنه قله توجال که مرتفع ترین قله رشته کوه البرز در این ناحیه است در مقایسه با کرج و ورامین که از دامنه های کم ارتفاع البرز نسبتاً دورند و در نتیجه صعود واداشته هوا روی توجال، بارش میانگین سالانه تهران نسبت به کرج و ورامین بیشتر است. در ضمن سامانه هایی که پس از بارش روی تهران به سمت شرق حرکت می کنند، پتانسیل بارش کمتری را روی ورامین که در جنوب شرق تهران قرار دارد خواهند داشت، بنابراین متوسط بارش سالانه تهران بیشتر از ورامین است.

- روند افزایش بارش در تهران به ویژه از سال های ۱۹۷۵ به بعد می تواند به دلیل افزایش هسته های میعان ابری حاصل از آلودگی های ذره ای ناشی از توسعه صنعت و افزایش جمعیت و در کل به دلیل مصرف بالای انرژی باشد. این روند افزایش بارش به دلیل انتقال آلودگی های هوای تهران به وسیله جریان های غربی روی ورامین نیز مشاهده می شود.

- بالا بودن دمای بیشینه تهران نسبت به کرج چنین توجیه می شود که: حضور دی اکسید کربن و آلاینده های ناشی از احتراق مواد سوختی حاصل از صنعت و ترافیک باعث ایجاد اثر گلخانه ای می شود که اگرگرم شدن هوای سطح شهر به وسیله تابش های ورودی خورشیدی را در پی داشته و متوسط دمای بیشینه تهران را نسبت به کرج که نسبتاً از آلاینده های گلخانه ای به دور است افزایش می دهد. برای دمای کمینه نیز چنین می توان گفت که آلودگی موجود در هوای سطح شهر که اغلب صبح هنگام در جنوب شهر استقرار یافته است و همچنین اثر ابرناکی باعث می شود که دمای کمینه به طور نسبی از کرج بالاتر باشد.

- پایین بودن نسبی میانگین دمای کمینه و بالاتر بودن بیشینه ورامین نسبت به تهران، به طور عمده به دلیل قرار گرفتن ورامین

در حاشیه منطقه کویری است. در ضمن ابرناکی بیشینه تهران نیز می تواند بالا بودن میانگین دمای کمینه و پایین بودن دمای بیشینه را توجیه کند.

- دید افقی نیز پس از کاهش ناشی از رشد سریع صنعتی شدن تهران تا سال های ۱۹۷۵، در دو دهه اخیر به مقادیر نسبتاً ثابتی رسیده که دلیل آن احتمالاً کنترل بیشتر کارخانه ها و منابع آلوده کننده توسط مسئولین در سال های اخیر است. ولی اظهار نظر قطعی در این مورد به بررسی های بیشتری نیازمند است.

- تعداد رویداد غباردودمه های سنگین تهران در زمستان از سال های ۱۹۷۵ به بعد، روند افزایشی سریعی داشته که عمدتاً به دلیل دمای زیاد و نگهداری آلودگی های ذره ای ناشی از احتراق مواد سوختی در لایه مرزی با رطوبت همراه است.

- اثر جزیره گرمایی و گازهای گلخانه ای در گرم شدن کلی جو شهری به همراه افزایش و در دام انداختن غلظت زیاد آلاینده های ذره ای، به ویژه در مناطق مرکزی و جنوبی تهران بزرگ گاهی اوقات باعث کاهش پتانسیل بارش های محلی و در واقع افزایش احتمال فراباروری می شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک به دلیل حمایت مالی این پژوهش (طرح پژوهشی شماره ۶۵۱/۲/۵۵۸) و در اختیار گذاردن امکانات رایانه ای تشکر و قدردانی می شود.

منابع

راحی سلیمی، ج.، ۱۳۸۰، اثر غبار دودمه بر روی فرایند بارش در تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
واژه نامه ژئوفیزیک و هواشناسی، ۱۳۷۷، مرکز نشر دانشگاهی و پژوهشکده هواشناسی، ویرایش دوم.

- Ackerman, B., Changnon, S. A., Dzurisin, G., Gatz, D. F., Gatz, D. F., Grosh, R. C., Hilberg, S. D., Huff, F. A., Mansell, J. W., Ochs, III, H. T., Peden, M. E., Schickendanz, P. T., Semonin, R. G., and Vogel, J. L., 1978, Summary of METROMEX, Vol. 2, causes of Precipitation Anomalies: IU. State Water Surv. Bull. **63**, 395.
- Chandler, T. J., 1965, The climate of London: Hutchinson, London, **122**, 292.
- Chandler, T. J., 1970, Selected bibliography on urban climate: WMO Publ., **276**, 155, 383.
- Changnon, S. A., Jr., 1962, A Climatological evaluation of precipitation patterns over an urban area. In " Air over cities: SEC Tech. Rept. A 62-5. 37-66. U. S. public Health serv., Cincinnati, Ohio.
- Changnon, S. A., Jr, 1979, Rainfall changes in summer caused by St. Louis: Science, **205**, 402-404.
- Hilberg, S. D., 1978, Diurnal temperature and moisture cycles; in Summary of METROMEX, Vol, 2, III.: State Water survey, Bull. **63**, 25-42.
- Kratzer, A., 1937, Das Stadtklima, die Wissenschaft: Friedr, Vieweg & John, Braunschweig, **90**, 145.
- Landesberg, H., 1974, Inadvertent atmospheric modification through urbanization: in Hess, W. M., Ed. Weather and climate Modification, 754-755. Wiley, Newyork.
- Landesberg, H., 1981, The Urban climate, Institute for Physical Science and Technology Univ. of Maryland College Park, Maryland, International Geophysics Series, **28**, 275.
- Sadeghi Hosseini, S. A., 1998, Ice initiation in clouds: Ph.D. Thesis, Univ. of Manchester, Institute of Science and Technology (UMIST), 211.