علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره پانزدهم، شماره دو، تابستان ۹۲

بررسی تداوم روزهای همراه با آلاینده مونوکسیدکربن (CO) در هوای شهر تهران با استفاده از مدل زنجیره مارکف

جابر رحیمی[۱ *]
jaberrahimy@ut.ac.ir
علی رحیمی[۲]
جواد بذرافشان[۳]

تاریخ دریافت:۸۹/۲/۱۱ **تاریخ پذیرش:۸۹/۹/۱۸**

چکیده

آلودگی هوا یکی از نشانه‌های رشد شهرنشینی، افزایش جمعیت، استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی، عدم به‌کارگیری فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست و از همه مهم‌تر فقدان مدیریت صحیح زیست محیطی است. استقرار بیش از ده میلیون نفر و تمرکز بیش از حد صنایع و کارخانجات در محدوده جغرافیایی شهر تهران، همراه با اوضاع جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیمی خاص منطقه، سبب شده است تهران از نظر آلودگی هوا در زمره آلوده‌ترین شهرهای جهان قرار گیرد. در بین آلاینده‌های مختلف، غلظت و دوام گاز مونواکسیدکربن (CO) از اهمیت زیادی در ارزیابی کیفیت هوا برخوردار است.

در این تحقیق، احتمال تداوم‌های دو تا هفت روزهٔ مقادیر غیر مجاز آلاینده CO در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، اطلاعات ۵ ساله (۸۵-۱۳۸۱) پنج ایستگاه سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران گردآوری و با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول دوحالته مدل‌سازی گردید.

نتایج نشان داد که بیشترین احتمال وقوع تداوم آلاینده CO به ترتیب در ایستگاه‌های فاطمی، بازار و اقدسیه وجود دارد. در اکثر ماه‌های سال، ایستگاه فاطمی بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO را دارد و ایستگاه بازار و اقدسیه در رده‌های بعدی قرار می‌گیرد. این در حالی است که احتمال وقوع تداوم آلاینده CO در ایستگاه شهرری در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های بررسی شده کم‌ترین میزان را دارد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، مونواکسیدکربن (CO)، تداوم، زنجیره مارکف، تهران.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج *(مسئول مکاتبات).
۲ - کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران
۳ - استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

مقدمه

گسترش بی‌رویه شهرها و شهرنشینی و نیز رشد بخش صنعت به خصوص در مجاورت شهرهای بزرگ و پر جمعیت و ترکیب آن‌ها با مجموعه عوامل طبیعی و اقلیمی نه‌تنها باعث افزایش آلودگی هوای شهرها شده، بلکه تغییراتی را در اقلیم جهانی به‌وجود آورده که در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه محققان و برنامه‌ریزان قرار گرفته است.

رشد بدون برنامه‌ریزی شهرنشینی در دهه‌های اخیر در کشور سبب شد تا تعداد شهرهای بالای یک میلیون نفر جمعیت، از یک شهر در سال ۱۳۵۵ به ۶ شهر در سال ۱۳۸۵ افزایش یابد (۱). یکی از بارزترین نمونه‌های این افزایش جمعیت، توسعه فضایی و فیزیکی اکثر شهرها به‌خصوص شهرهای بزرگ است که در بیشتر آن‌ها مسایل و مشکلات زیست‌محیطی و انسانی ظاهر شده است. مسأله آلودگی هوا تنها یکی از مسایل محیطی است که بر اثر ازدیاد جمعیت و توسعه شهری به‌وجود می‌آید. بدیهی است به علت نامناسب بودن بافت شهری و عدم گنجایش شهرها، مسایل مختلف و متعددی نظیر آنچه در شهرهای پر ازدحام کشور به‌خصوص تهران وجود دارد، گریبان‌گیر دیگر شهرهای کشور نیز شود.

در راستای کنترل و کاهش آلودگی هوا در شهرها، قوانینی در کشور وضع گردید. نخستین‌بار آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی هوا، در ۲۹ تیرماه ۱۳۵۴، از تصویب مجلس شورای ملی وقت گذشت (۲). با پیروزی انقلاب اسلامی اصل پنجاهم قانون اساسی به حفاظت از محیط‌زیست اختصاص یافت. جهت تحقق این اصل در دوم خرداد ۱۳۷۴، قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا به تصویب مجلس شورای اسلامی و تأیید شورای نگهبان رسید. به موجب این قانون کلیه دستگاه‌ها و مؤسسات و کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی موظف به رعایت مقررات و سیاست‌های مقرر در این قانون شدند (۳).

در حال حاضر چند شهر کشور در شرایط بحرانی آلودگی هوا قرار دارند که در این میان، شهر تهران دارای حادترین وضع و اصفهان در جایگاه دوم می‌باشد. با توجه به این‌که در این مقاله اوضاع آلودگی شهر تهران بررسی می شود، در ادامه در مورد علل و عوامل آلودگی هوا در این شهر بحث خواهد شد. وجود تعداد تخمینی ۳ میلیون دستگاه وسیله نقلیه موتوری که ۷۰٪ آلودگی هوا را تولید می‌کنند، همراه با سوخت خانگی و صنعتی، از عوامل این آلودگی‌ها به‌شمار می‌روند (۴). علاوه بر عوامل فوق، عوامل طبیعی و اقلیمی شهر تهران نیز سبب افزایش آلودگی آن شده است، به طوری‌که فشار زیاد جوی، وقوع اینورژن و اثر محصورکننده کوه‌ها از عوامل تشدید کننده آلودگی هوای تهران می باشد. فراوانی وقوع اینورژن مجاور زمین در شهر تهران، سالانه بین ۲۱۱ تا ۲۷۱ روز در نوسان بوده است که این میزان تقریباً دوسوم تا سه‌چهارم روزهای سال را شامل می‌شود (۵).

بادهای شدید غربی هم که قادر به خارج کردن هوای آلوده می باشند، در آسمان شهر تهران خیلی کم می‌وزند و تنها ۳۰٪ بادها که معمولاً در اوایل بهار و اواخر تابستان می‌وزند سرعتی بیش از ۵ متر بر ثانیه دارند و قادرند هوا را پاک کنند (۶). البته موقعیت جغرافیایی شهر تهران نیز سبب وزش بادهای محلی می‌گردد. این بادها حدود ۶۶/۲٪ از تمام بادهای تهران را تشکیل می‌دهد، ولی چون سرعت و قدرت کافی نداشته و از طرف دیگر ارتفاع وزش آن‌ها بین ۱۵۰ تا ۸۰۰ متر است، لذا قادر به خارج کردن آلودگی‌های هوای تهران نمی‌باشند. تأثیر جریان‌های اخیر آن است که در طی روز، آلودگی‌های نواحی جنوبی را به‌طرف شمال شهر و شمیرانات برده و در شب به نواحی جنوبی برمی‌گرداند (۷). در هر حال مشکل این است که بادهای عمده از سوی غرب، جنوب و جنوب‌شرق که محل استقرار بیشتر صنایع است، می‌وزند. این بادها به جای پاک کردن هوا ممکن است بیش از پیش هوا را آلوده کنند (۸).

توپوگرافی تهران نیز موجب توزیع نابرابر آلودگی در مناطق مختلف آن شده است. میزان تأثیر آلودگی بر درختان و بیماری‌های ناشی از آن را می‌توان به‌عنوان شاخص نابرابری بین شمال و جنوب در سراسر شهر ردیابی کرد (۴). رابطه عامل‌های اقلیم و آلودگی هوا و تعداد مراجعه‌کنندگان بیماری سکته قلبی در تهران، در دورهٔ آماری ۷۳-۱۳۶۹ نشان از وجود یک همبستگی مستقیم و کامل می‌دهد. به عبارت دیگر، افزایش تعداد

مراجعه‌کنندگان به بیمارستان‌ها در برخی نواحی رابطه مستقیمی با میزان برخی از عامل‌های آلودگی هوا به‌ویژه مونواکسیدکربن (CO)، دی‌اکسیدنیتروژن (NO2) و دی‌اکسیدگوگرد (SO2) داشته است (۹).

مطالعات (۱۰) در زمینه آلودگی هوای تهران بر مبنای آمار هفت ایستگاه سازمان محیط‌زیست نشان داد که آلودگی هوا تا سال ۱۳۸۱ از یک روند کاهشی برخوردار بوده، لیکن در سال ۱۳۸۲ روند افزایشی را داشته است. بررسی‌های بیشتر نشان داد که بیشترین روزهای آلوده، به ایستگاه قلهک (۵۳٪) و کمترین آن به ایستگاه سرخه حصار (۱۰/۴٪) در شرق تهران مربوط است. مهم‌ترین آلاینده جوی در این شهر، گاز مونواکسیدکربن با تغییرپذیری ۳/۶٪ و آلوده‌ترین فصل، پاییز و پس از آن زمستان و آلوده‌ترین ماه سال، مهر (۳۴/۲٪) و بهترین شرایط کیفی هوا به فروردین ماه اختصاص داشته است.

مونواکسیدکربن به عنوان مهم‌ترین آلاینده جوی تهران، گازی بی‌رنگ و بدون بو است. میزان انتشار مونواکسیدکربن در جهان ۳۵۰ میلیون تن در سال تخمین زده می‌شود که ۲۰٪ آن توسط مصنوعات بشری تولید می‌گردد و بدین ترتیب سالانه ۰/۰۳ قسمت در میلیون (p.p.m) به غلظت CO افزوده می‌شود (۱۱).

گونگ یو لین و همکاران منطقه‌بندی سواحل جنوبی کالیفرنیا را بر مبنای تداوم روزهای توام با پدیده مه-دود از طریق روش زنجیره مارکف مرتبه اول انجام دادند و بر اساس آن نواحی مختلف این منطقه را تقسیم‌بندی کردند (۱۲). کایزر و همکاران با بهره گیری از مدل زنجیره مارکف به پیش بینی غلظت ذرات معلق در ایالت پنسیلوانیای آمریکا پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشانگر توانایی این مدل در پیش بینی غلظت ذرات معلق بوده است (۱۳). یاهایا و همکاران به کمک زنجیره مارکف مرتبه اول، احتمال آلودگی‌های شدید، متوسط و کم گاز مونواکسیدکربن را در سه کلانشهر مالزی محاسبه نمودند (۱۴). مینگ دونگ و همکاران با بهره‌گیری از مدل نیمه مارکف پنهان (HSMMs) به پیش بینی غلظت ذرات معلق با قطر کم‌تر از ۲/۵ میکرون در شیکاگو پرداختند که نتایج آن‌ها مبین آن است که این مدل در پیش بینی کوتاه‌مدت آلودگی هوا کارایی بالایی دارد (۱۵). با توجه به اهمیت گاز مونواکسیدکربن به عنوان مهم‌ترین آلاینده جوی شهر تهران و با توجه به این‌که تا کنون هیچ نوع مطالعه آماری در زمینه بررسی وضعیت تداوم روزهای آلوده به آلاینده CO در هوای این شهر انجام نشده است، این تحقیق سعی بر آن دارد تا به بررسی احتمال تداوم‌های دو تا هفت روزهٔ مقادیر غیر مجاز آلاینده CO در شهر تهران بپردازد.

روش بررسی

۱. داده‌های مورد استفاده

در حال حاضر سنجش آلاینده‌های شهر تهران توسط دو نهاد "سازمان محیط زیست" و "شرکت کنترل کیفیت هوای تهران" انجام می‌گیرد. جهت انجام این پژوهش در اولین گام، با مراجعه به سازمان‌های ذیربط، تعداد و نحوه استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای تهران مورد بررسی قرار گرفت. در گام دوم، وضعیت آماری و همچنین نوع وسایل و ادوات مورد استفاده در دو گروه ایستگاه‌های فوق بررسی شد و به‌دلیل پراکنش مناسب ایستگاه های کنترل کیفیت و کامل بودن نسبی سری داده‌ها از داده‌های ساعتی آلاینده CO در شبکه ایستگاه های سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و در بازه زمانی پنج‌ساله ۸۵-۱۳۸۱ استفاده گردید. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شهر تهران نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران.

ایستگاه	آدرس تابلوها	مشخصات جغرافیایی	
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
فاطمی	تقاطع خیابان فاطمی و ولیعصر	۵۱° ۲۴'۲۴"	۳۵° ۳۱'۲۰"
بازار	بازار تهران، سبزه میدان	۵۱° ۲۵'۲۳"	۳۵° ۴۰'۳۸"
مهرآباد	خیابان معراج، سازمان هواشناسی کشور	۵۱° ۱۹'۴۹"	۳۵° ۴۱'۴۸"
شهرری	میدان نماز، فرهنگسرای ولاء	۵۱° ۲۵'۳۲"	۳۵° ۳۶'۱۶"
اقدسیه	میدان نوبنیاد خیابان شهید لنگری، روبروی صاایران، سازمان هواشناسی و علوم جو	۵۱° ۲۹'۰۶"	۳۵° ۴۸'۰۰"

برای انجام این تحقیق، ابتدا کنترل کیفی داده‌های آلاینده CO در پنج ایستگاه مورد مطالعه انجام یافت. سپس، بر اساس استاندارد آلودگی هوای موسسه حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا، روزهای پاک و آلوده از نظر غلظت و دوام گاز CO مشخص گردید. بر اساس خطوط راهنمای استاندارد آلودگی موسسه حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا، توقف بیش از ۸ ساعت در غلظت ۹ قسمت در میلیون (p.p.m) گاز CO مجاز نیست و چنانچه غلظت مونواکسید کربن به ۳۵ p.p.m برسد حداکثر توقف انسان در چنین هوایی نباید از ۱ ساعت تجاوز کند (۱۶).

۲. مدل زنجیره مارکف

روش‌های زیادی برای بررسی غلظت آلاینده‌های هوا وجود دارد که در میان آن‌ها مدل‌های مبتنی بر زنجیره مارکف از کارایی بیشتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار می‌باشد (۱۷). در تحقیق حاضر برای تعیین احتمال عبور از استاندارد مجاز CO تعیین شده توسط موسسه حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا در روزهای متوالی (۲ تا ۷ روز) از مدل زنجیره مارکف(Markov Chain) استفاده شد. زنجیره مارکف روشی است ریاضی برای مدل‌بندی فرآیندهای احتمالاتی. یک زنجیره مارکف با دو ویژگی شناخته می‌شود: الف- فضای حالت ب- مرتبه (۱۸). اگر سیستم را در این‌جا هوای شهر تهران تعریف کنیم، فضای حالت (S) آن در یک روز معین یکی از دو وضعیت زیر خواهد بود:

$$S = \{c, d\} \qquad (۱)$$

که در آن، c معرف روز پاک (غلظت گاز CO در مدت ۸ ساعت متوالی کم‌تر از ۹ p.p.m است) و d معرف روز آلوده (غلظت گاز CO در مدت ۸ ساعت متوالی مساوی یا بیشتر از ۹ p.p.m می‌باشد) است. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی آن وابستگی دارد. در این مطالعه، زنجیره مارکف از مرتبه نخست تعریف گردید که بیان ریاضی آن به صورت زیر است (۱۹):

$$\Pr\{X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, ..., X_1\} = \Pr\{X_t | X_{t-1}\} \qquad (۲)$$

$$\Pr\{X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, ..., X_1\} = \Pr\{X_t | X_{t-1}\} \qquad (۲)$$

رابطه فوق بیان می‌کند که حالت یک متغیر در زمان t (یعنی Xt) صرفاً به حالت آن در زمان t-۱ (یعنی X t-۱) وابسته است نه به مسیری که سیستم از طریق آن به حالت فعلی (یعنی زمان t) رسیده است.

نخستین قدم در استفاده از یک زنجیره مارکف تبدیل سری مقادیر پیوسته داده‌های CO به دنباله‌ای از حالات «آلوده» و «پاک» یا به عبارت دیگر، گسسته‌سازی سری داده‌ها است. رفتار یک زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالته را می‌توان در قالب یک ماتریس احتمالات انتقال خلاصه نمود که هر یک از درایه‌های آن معرف مقدار احتمال انتقال از یک حالت در زمان قبل به حالت دیگر در زمان بعد است. فرم ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف مرتبه نخست دو حالته به صورت زیر است:

$$P = \begin{bmatrix} p_{dd} & p_{dc} \\ p_{cd} & p_{cc} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

که در آن زیرنویس c و d به ترتیب معرف روز پاک و آلوده است و اولین زیرنویس مربوط به زمان t-۱ و دومین زیرنویس مربوط به زمان t است. به عنوان مثال، p_{dd} معرف احتمال وقوع دو روز متوالی با آلودگی غیر مجاز است و الی آخر.

برای به‌دست آوردن ماتریس احتمال انتقال می‌بایست ماتریس فراوانی انتقال را به صورت زیر از روی سری داده‌های گسسته تعیین نمود:

$$N = \begin{bmatrix} n_{dd} & n_{dc} \\ n_{cd} & n_{cc} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

که در آن برای مثال، n_{cd} معرف تعداد روزهایی است که یک روز با آلودگی غیر مجاز به دنبال یک روز پاک اتفاق افتاده است و الی آخر. با تشکیل ماتریس (۴)، هر یک از درایه‌های ماتریس (۳) از روابط زیر بدست می‌آید:

$$p_{dd} = \frac{n_{dd}}{n_{dd} + n_{dc}} \quad , \quad p_{dc} = \frac{n_{dc}}{n_{dd} + n_{dc}} \quad (۵)$$

$$p_{cd} = \frac{n_{cd}}{n_{cd} + n_{cc}} \quad , \quad p_{cc} = \frac{n_{cc}}{n_{cd} + n_{cc}}$$

پس از تعیین ماتریس احتمال انتقال لازم است برازش مدل زنجیره مارکف را بر سری داده‌ها بررسی نمود. برای این منظور از آزمون کای مربع (χ^2) استفاده می‌شود. فرضیه صفر (H_0) این آزمون دال بر استقلال داده‌ها و فرضیه مخالف (H_1) حاکی از وابستگی زمانی متوالی (یا تبعیت از زنجیره مارکف مرتبه نخست) داده‌ها است. به عبارت دیگر بایستی آزمون نمود که آیا بین داده‌های متوالی همبستگی معنی داری وجود دارد یا خیر. آماره این آزمون به صورت زیر است:

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (۶)$$

که در آن n_{ij} و e_{ij} به ترتیب فراوانی‌های انتقال مشاهده شده و مورد انتظار در گذر از حالت i به حالت j است. χ^2 محاسبه شده از فرمول فوق با χ^2 جدول با درجه آزادی df=(r-1)(c-1) و سطح معنی‌داری α مقایسه می شود. اگر χ^2 محاسبه شده از χ^2 جدول بزرگ‌تر باشد فرضیه صفر (H_0) رد می‌شود.

با تعیین ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف می‌توان تحلیل‌های مختلفی انجام داد که مهم‌ترین آن‌ها تداوم روزهای با آلودگی غیر مجاز CO است. برای این منظور، درایه واقع بر سطر و ستون نخست ماتریس (۳) یا p_{dd} ، احتمال دو روز متوالی با آلودگی غیر مجاز CO را نشان می‌دهد. اگر بپذیریم که برای وقوع یک تداوم دو روزه آلودگی، در روز سوم بایستی حتماً یک روز پاک اتفاق افتد، بنابراین احتمال تداوم دو روزه آلودگی ($P_{(2)}$) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{(2)} = p_{dd} \times p_{dc} \quad (۷)$$

رابطه (۷) را می‌توان برای هر تداومی به طول n به صورت زیر تعمیم داد:

$$P_{(n)} = p_{dd}^{n-1} \times p_{dc} \quad (۸)$$

یافته ها

۱. ارزیابی برازش زنجیره مارکف بر داده‌ها

نتایج برازش مدل زنجیره مارکف مرتبه نخست دو حالته بر داده‌های پنج ایستگاه منتخب شهر تهران در جدول ۲ آورده شده است. بررسی جدول مذکور نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها آزمون کای مربع برازش مدل مارکف را بر داده‌های آلودگی هوا در سطح ۵٪ تایید می‌کند زیرا مقدار χ^2 محاسبه شده بسیار بزرگ‌تر از χ^2 نظری در سطح معنی‌داری ۵٪ است.

جدول ۲- آزمون Z^2 برای ارزیابی برازش مدل زنجیره مارکف مرتبه نخست بر داده‌های آلاینده CO در شهر تهران.

ایستگاه	ماتریس فراوانی انتقال مشاهده شده				ماتریس فراوانی انتقال مورد انتظار				χ^2 محاسبه شده	χ^2 نظری
	n_{cc}	n_{cd}	n_{dc}	n_{dd}	e_{cc}	e_{cd}	e_{dc}	e_{dd}		
اقدسیه	۱۲۹۱	۷۶	۷۶	۹۹	۱۲۱۱/۸	۱۵۵/۱	۱۵۵/۱	۱۹/۸	۴۰۱/۲	۳/۸
بازار	۱۰۰۳	۱۵۰	۱۴۸	۳۷۶	۷۹۱/۳	۳۶۱/۶	۳۵۹/۶	۱۶۴/۳	۵۷۷/۵	۳/۸
فاطمی	۵۵۳	۲۱۳	۲۱۱	۷۵۵	۳۳۷/۹	۴۲۸/۱	۴۲۶/۱	۵۳۹/۹	۴۳۹/۳	۳/۸
مهرآباد	۱۲۳۶	۱۰۳	۹۸	۱۳۰	۱۱۳۹/۹	۱۹۹/۱	۱۹۴/۱	۳۹/۹	۳۷۴/۵	۳/۸
شهر ری	۲۵۸	۱۱	۱۰	۸	۲۵۱/۲	۱۷/۸	۱۶/۸	۱/۲	۴۴/۴	۳/۸

۲. تحلیل احتمالاتی تداوم روزهای همراه با آلاینده CO

نتایج تحلیل تداوم‌های مختلف روزهای همراه با آلاینده CO در ایستگاه‌های منتخب سنجش آلودگی هوای شهر تهران برای هر یک از فصول سال در شکل‌های ۱ الی ۴ نشان داده شده است. در ادامه این نتایج برای هریک از فصول سال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل بهار (شکل ۱) : بیشترین احتمال وقوع تداوم CO مربوط به ایستگاه فاطمی و شهری است، به‌طوری که در ایستگاه فاطمی، احتمال وقوع تداوم دو روزه CO در ماه فروردین ۱۵٪، اردیبهشت ۲۱٪ و در ماه خرداد ۲۱٪، و در ایستگاه شهری، احتمال وقوع این تداوم در ماه فروردین ۲۲٪، اردیبهشت ۸٪ و در ماه خرداد ۲۰٪ است. در این فصل ایستگاه مهرآباد کم‌ترین میزان تداوم دو تا هفت روز را دارد. به طوری که احتمال وقوع تداوم دو روزه در سه ماه این فصل برای این ایستگاه به ترتیب برابر ۴، ۶ و ۷٪ می باشد.

فصل تابستان (شکل ۲) : در ماه تیر، بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه مربوط به ایستگاه فاطمی می‌باشد. ولی در تداوم سه تا پنج روزه، بالاترین احتمال مربوط به ایستگاه بازار می‌باشد. در ماه مرداد بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه همچون ماه قبل، مربوط به ایستگاه‌های فاطمی و بازار است. بعد از این ایستگاه، ایستگاه اقدسیه، مهرآباد و شهری دارای احتمال وقوع این تداوم هستند. در ماه شهریور بالاترین احتمال تداوم دو روزه آلاینده CO با ۲۱٪ مربوط به ایستگاه بازار می باشد. این در حالی است که احتمال وقوع تداوم سه تا هفت روزه در ایستگاه شهرری از سایر ایستگاه های مورد مطالعه بیشتر است.

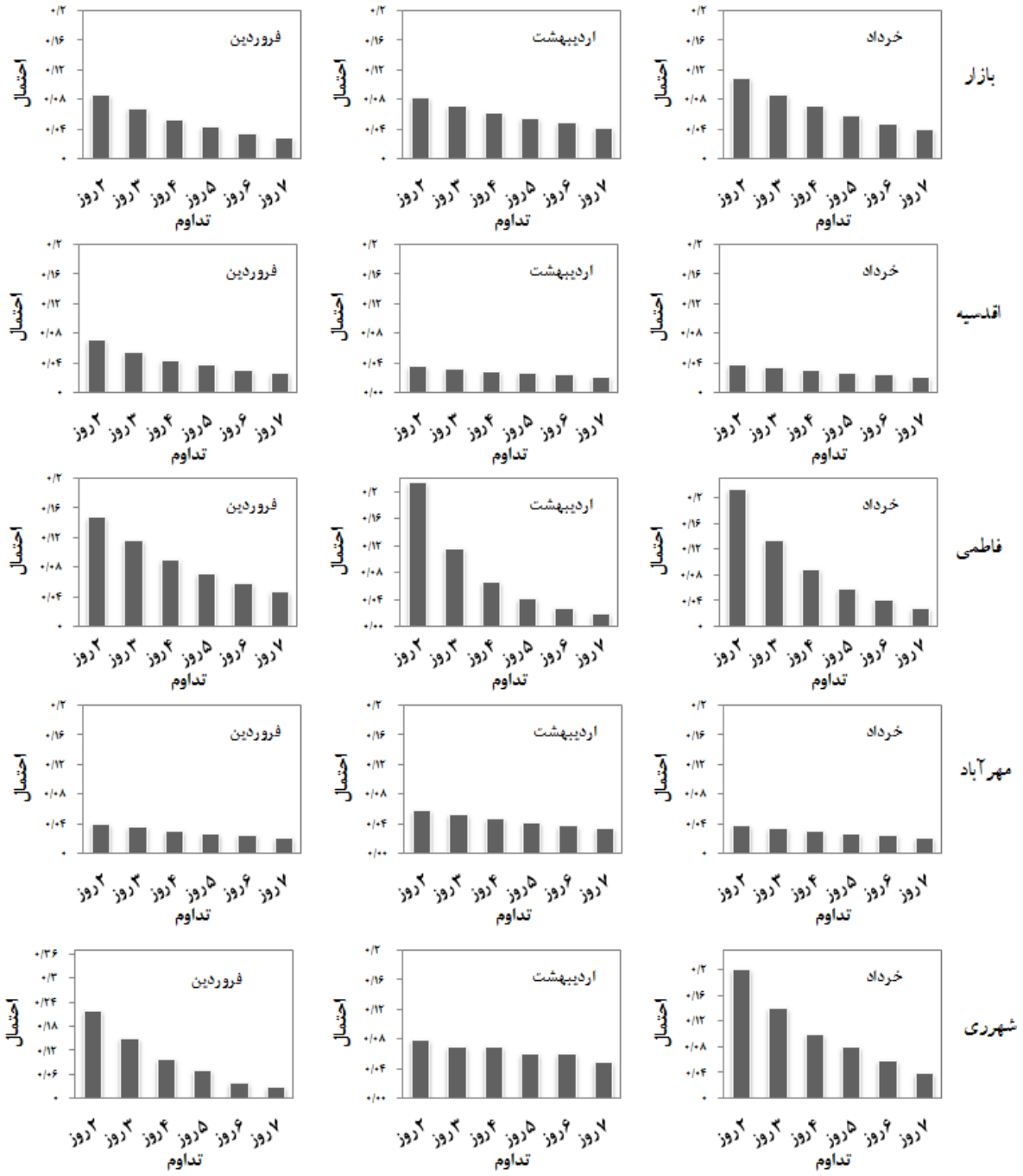
فصل پاییز (شکل ۳) : ایستگاه مهرآباد در میان ایستگاه‌های مورد بررسی در ماه مهر در تمامی تداوم‌ها بالاترین احتمال وقوع را دارد. به طوری‌که احتمال وقوع تداوم دو روزه این ایستگاه در ماه مهر ۱۵٪ است و پس از آن، ایستگاه های بازار و فاطمی هر دو با ۱۳٪ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. در ماه آبان بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO، با ۲۰٪ به ایستگاه فاطمی اختصاص دارد. اما در تداوم‌های سه تا هفت روزه این ماه وضع به گونه ای دیگر است و ایستگاه مهرآباد بر دیگر ایستگاه ها سبقت می‌گیرد. در ماه آذر ایستگاه فاطمی همچون ماه قبل بالاترین احتمال وقوع تداوم دو روزه را دارد.

فصل زمستان (شکل ۴) : بالاترین احتمال وقوع تداوم دو تا هفت روزه CO در ماه دی مربوط به ایستگاه اقدسیه است. در این ماه احتمال وقوع تداوم دو روزه این ایستگاه برابر ۱۲٪ می‌باشد. اما در ماه بهمن و اسفند ایستگاه فاطمی به‌ترتیب با ۱۰ و ۱۵٪ احتمال وقوع تداوم دو روزه، بالاتر از دیگر ایستگاه ها قرار می‌گیرد.

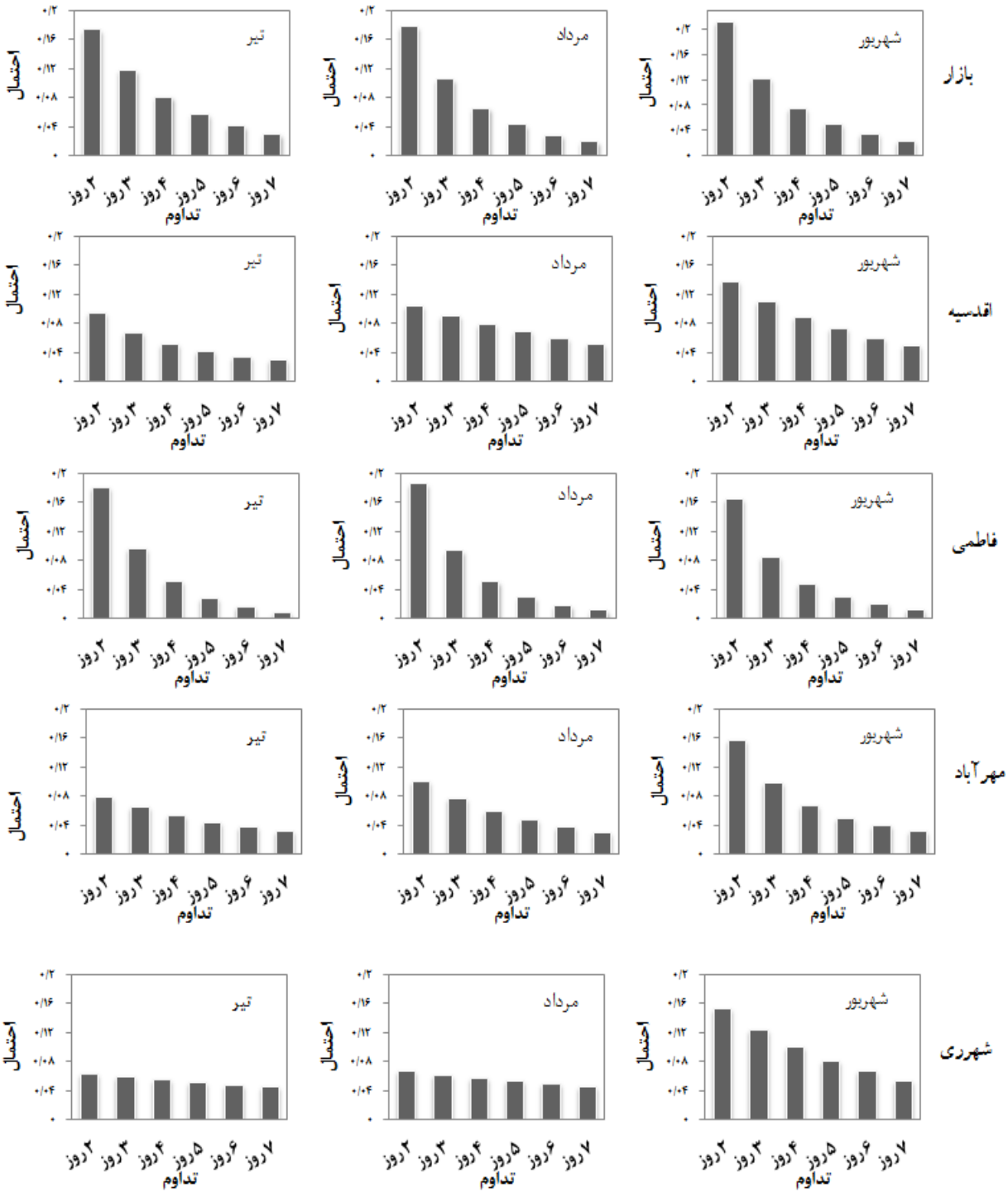
با توجه به آنچه که در بالا بیان شد، می‌توان نتیجه گرفت که طی ماه‌های دو فصل بهار و تابستان و همچنین در اکثر ماه‌های فصول پاییز و زمستان ایستگاه فاطمی بالاترین درصد تداوم آلودگی را دارد. البته می‌بایست درصد بالای تداوم آلودگی برخی از ماه‌های سال در ایستگاه‌های بازار و اقدسیه را نیز در نظر گرفت. نکته قابل

توجه در تمامی شکل‌ها روند کاهشی احتمال با افزایش تداوم از ۲ تا ۷ روز است.

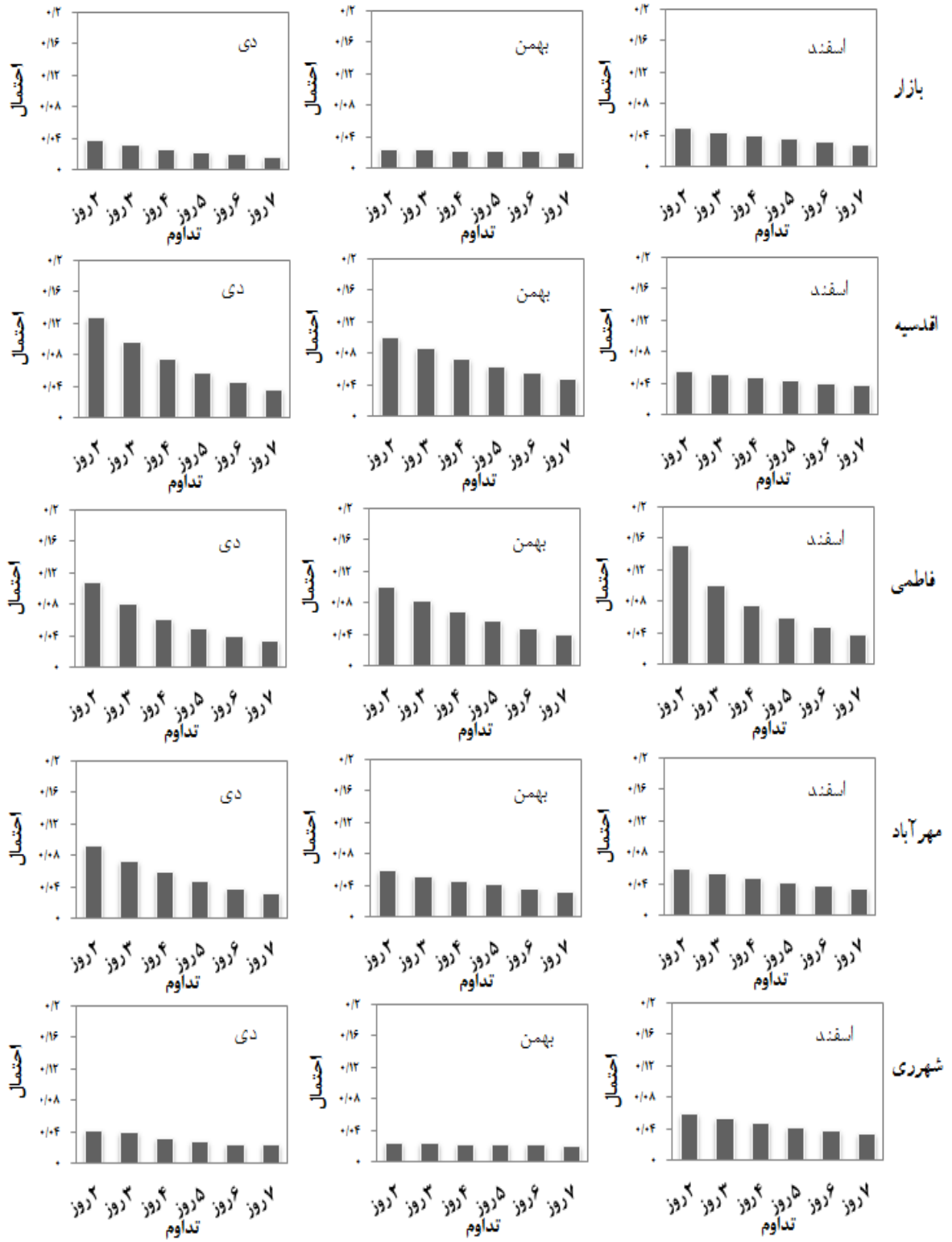
به منظور داشتن یک ایده کلّی در مورد مکان تمرکز آلودگی در شهر تهران یک بررسی در سرجمع سال نیز صورت گرفت که نتیجه آن در شکل ۵ نشان داده شده است. بررسی شکل ۵ نشان می‌دهد که حداکثر احتمال تداوم دو روزه آلودگی با مقداری معادل ۷۸٪ در ایستگاه فاطمی اتفاق می‌افتد و پس از آن ایستگاه‌های بازار، مهرآباد، اقدسیه و شهر ری به ترتیب با ۷۱، ۵۷، ۵۶ و ۴۴٪ در مکان‌های بعدی قرار می‌گیرند.



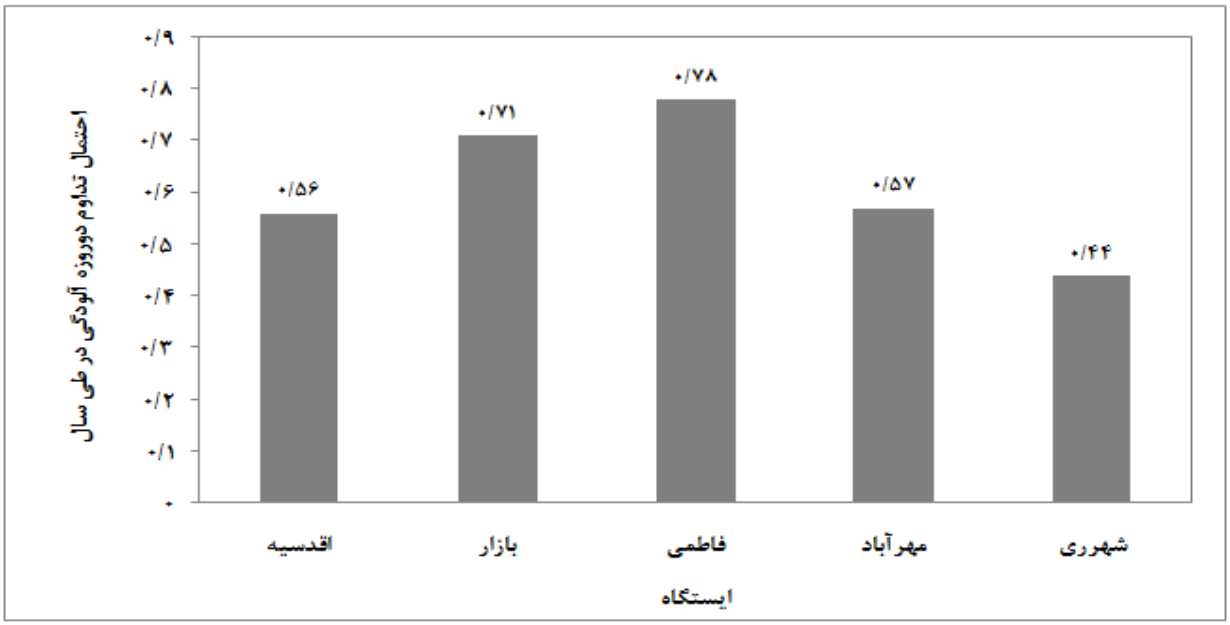
شکل ۱- تداوم روزهای همراه آلاینده CO در ماه های فصل بهار در ایستگاه‌های مطالعاتی.



شکل ۲- تداوم روزهای همراه با آلاینده CO در ماه های فصل تابستان در ایستگاه‌های مطالعاتی.



شکل۴- تداوم روزهای همراه با آلاینده CO در ماه های فصل زمستان در ایستگاه‌های مطالعاتی .



شکل ۵- مقایسه احتمال تداوم دو روزه آلودگی CO در ایستگاه‌های منتخب.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه وضعیت احتمال تداوم‌های ۲ تا ۷ روزه همراه با آلاینده مونواکسید کربن (CO) در پنج ایستگاه پایتخت شامل فاطمی، بازار، مهرآباد، شهرری و اقدسیه با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه نخست دو حالته مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های اولیه نشان داد که وابستگی زمانی بالایی بین داده‌های متوالی غلظت آلاینده CO وجود دارد و برازش مدل زنجیره مارکف بر سری داده‌ها تایید شد. تحلیل احتمالاتی با استفاده از مدل مذکور در ایستگاه‌های منتخب طی ماه های مختلف سال و در سرجمع دوره آماری نشان داد:

- در اکثر ماه‌های سال، در ایستگاه‌های فاطمی و بازار احتمال وقوع تداوم دو روزه بالا است، از این منظر، ایستگاه‌های، اقدسیه، مهرآباد و شهرری بعد از این دو ایستگاه در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.
- در فصل بهار، بیشترین احتمال وقوع تداوم دو روزه به ترتیب در ایستگاه‌های فاطمی، شهرری و بازار وجود دارد. ایستگاه‌های اقدسیه و مهرآباد احتمال وقوع تداوم کم‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها دارند.
- در فصل تابستان، بیشترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO به ترتیب در ایستگاه‌های فاطمی، بازار و اقدسیه وجود دارد.
- در فصل پاییز بیشترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO به ترتیب در ایستگاه‌های فاطمی، اقدسیه و مهرآباد وجود دارد.
- در فصل زمستان نسبت به بقیه فصول میزان احتمال وقوع تداوم دو روزه کم‌تر است. با وجود این بیشترین احتمال وقوع تداوم دو روزه CO به ترتیب در ایستگاه-های فاطمی و اقدسیه وجود دارد.
- در سرجمع دوره آماری مشخص شد که بالاترین تمرکز دو روزه آلودگی در شهر تهران مربوط به ایستگاه‌های فاطمی و بازار است. از اینرو لازم است در این بخش‌ها تمهیدات خاصی از نظر ترافیکی به منظور کاهش آلودگی اندیشیده شود.

بدیهی است که به دلیل وجود نواقص و گپ‌های آماری در برداشت داده‌های ساعتی-روزانه آلودگی هوای شهر تهران، بررسی‌های کمی در این زمینه با مشکلاتی روبرو است و نتایج حاصل از آن کاستی-هایی را به دنبال خویش دارد، اما با این حال به نظر می‌رسد

تحقیقات اقلیمی بیشتر در زمینه شناخت آلودگی هوای شهر تهران در حل این معضل موثر واقع خواهد شد. حل مشکل آلودگی هوا در شهرهای کشور به ویژه تهران بدون عزمی جدی و تلاش بی‌وقفه از سوی سیاست‌گذاران، قانون‌گذاران، مدیران اجرایی و اساتید فن در جهت تدوین راهبردها، قوانین و راه‌کارهای صحیح و عملی برای حل این معضل ملی میسر نمی‌باشد.

منابع

۱. مرکز آمار ایران، آمارنامه جمعیتی ایران، تهران. مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵.

۲. ملکوتیان، م.، آلودگی هوا، تهران. انتشارات دانشگاه آزاد ایران، ۱۳۵۷.

۳. دفتر حقوقی سازمان حفاظت محیطزیست، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیطزیست، جلد اول، تهران، سازمان حفاظت محیطزیست، ۱۳۷۹.

۴. مدنی‌پور، ع.، تهران ظهور یک کلانشهر، تهران. انتشارات پردازش برنامه‌ریزی شهری، ۱۳۸۱.

5. Arakawa, H., 1969, World Survey of Climatology, Elsevier Publishing Company Amsterdam.

۶. واحدی، تهران و مسائل زیست محیطی، خلاصه مقاله سمینار داوم حیات در بافت شهرهای قدیمی، تهران. انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۶۷، ص: ۱۵۵-۱۷۶.

۷. پوراحمد، ا.، نقش اقلیم و ساختار جغرافیایی در آلودگی هوای شهر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره۳۴، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷، ص: ۳۸-۵۳.

۸. سلطانی، ب.، اندازه‌گیری آلودگی هوای شهر تهران، فصلنامه آبادی، شمارهٔ ۱۲، ۱۳۷۳، ص: ۷۲-۷۵.

۹. بیگدلی، آ.، تأثیر اقلیم و آلودگی هوای تهران بر بیماری سکتهٔ قلبی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۲، مشهد. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۸۰، ص: ۱۲۶-۱۴۰.

۱۰. انتظاری، ع.، مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران، رساله برای اخذ درجه دکتری، دانشگاه تر بیت معلم تهران، ۱۳۸۴.

۱۱. عباس‌پور، م.، مهندسی محیطزیست، تهران. مرکز انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۷۱.

12. Lin, Gong-Yuh., 1981, Simple Markov Chain Model of Smog Probability in the South Coast Air Basin of California, The Professional Geographer, 33(2). pp. 228 - 236.

13. Kaiser, M.S., Daniels, M.J., Furakawa, K. and Dixon, P., 2002, Analysis of Particulate Matter Air Pollution Using Markov Random Field Models of Spatial Dependence. Environmetrics, 13, pp. 615-628.

14. Yahaya, A.S., Ramli, N.A., Furakawa, K. and Dixon, P., 2008, Modelling Of Carbon Monoxide Concentration in Major Towns in Malaysia: A Case Study in Penang, Kuching and Kuala Lumpur. Project Report. Universiti Sains Malaysia.

15. Dong, M., Yang, D., Kuang, Y., He, D., Erdal, S. and Kenski, D., 2009, PM2.5 Concentration Prediction Using Hidden Semi-Markov Model-Based Times Series Data Mining, Expert Systems with Applications, 36, pp. 9046-9055.

16. U.S. Environmental Protection Agency., 1992, Review of the National Ambient Air Quality Standards for Carbon Monoxide: Assessment of Scientific and Technical Information, OAQPS Staff Paper. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. EPA/452/R-92-004

17. Gokhale, S., Khare, M., 2004, A Review of Deterministic, Stochastic and Hybrid Vehicular Exhaust

Emission Models, International Journal of Transport Management, 2, pp. 59-74.

۱۸. میامئی، ا.، نظریه مقدماتی احتمال و فرآیندهای تصادفی، ترجمه ، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۴،ص: ۲۷۷-۲۷۸.

۱۹. ارشقی، ع.، تئوری و مسائل احتمالات، ترجمه، انتشارات نی، ۱۳۶۷، ص: ۲۲۵-۲۲۸.