

## تحلیل عددی انتشار آلاینده PM10 در هوای شهر تهران با استفاده از مدل TAPM

حسین قنبری<sup>۱</sup>

### چکیده

در این پژوهش با استفاده از یک مدل میان مقیاس موسوم به TAPM<sup>۲</sup> نحوه انتشار آلاینده PM10 در هوای شهر تهران به صورت ناحیه‌ای<sup>۳</sup> در مدل و برای تمام سال ۲۰۰۶ شبیه‌سازی شده است. در این راستا سه دامنه با تفکیک افقی ۳۰، ۱۰ و ۳ کیلومتر در نظر گرفته شده و خروجی‌های آن با درجه تفکیک ۳ کیلومتر لحاظ شده است. شرایط همدیدی در این مدل لحاظ نشده است. داده‌های pm10 از ده ایستگاه مختلف سطح شهر وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران و همچنین سازمان محیط زیست گردآوری شده‌اند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی حاکی از آن است غلظت عنصر آلاینده PM10 از شمال به جنوب و از شرق به غرب در شهر تهران افزایش می‌یابد. حداکثر غلظت در مناطق شهری یازده و دوازده و حداقل آن در مناطق چهار و بیست و یک مشاهده شده است. که این مسئله با جهت باد چه در مدل و چه از طریق رسم گلباد، همخوانی دارد. خروجی مدل نشان می‌دهد که در رابطه با سطح اطمینان یا شاخص IOA مدل تا ۶۱ درصد شبیه‌سازی را بدرستی انجام داده است که این میزان بر اساس استاندارد طراحان مدل خوب و معنی‌دار تلقی می‌شود. لازم است در اینجا یادآور شویم که مدل برای یک سطح (ناحیه) شبیه‌سازی انجام می‌دهد در صورتی که اندازه‌گیری‌های واقعی به صورت نقطه‌ای هستند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، PM10، شبیه‌سازی عددی، مدل TAPM، تهران.

۱. استادیار دانشگاه پیام‌نور گیلان

2. The Air Pollution Model  
3. Area Source

## مقدمه

تهران در دوره‌ای به شهر درختان چنار مشهور بود به طوری که مسافران از تراکم بیش از حد درختان و باغ‌های اطراف آن گله و شکایت داشتند (مدنی‌پور، ۱۳۸۱: ۵). اکنون تهران یک کلان‌شهر بزرگ است که ضمن نابود کردن فضای سبز شهری، دنیای اطراف خود را نیز متحول ساخته است. شهر تهران به‌عنوان بزرگترین شهر ایران با جمعیتی حدود ۷/۷ میلیون نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵) یکی از کلان‌شهرهای دنیا است. عوامل طبیعی، فرم ساخت شهری وجود بیش از ۲ میلیون خودرو فعال (شهرداری تهران ۱۳۸۴) و ۵۰۰ هزار موتور سیکلت، ۵۰۰۰ واحد صنعتی (۲۵ درصد از کل صنایع کشور) با مصرف حدود ۲۰ درصد کل انرژی کشور، تمرکز ۷۰ درصد خدمات و ۸۰ درصد متخصصین، این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است (سازمان محیط زیست ۱۳۷۶). به‌طوریکه در برهه‌ای از زمان بعنوان آلوده‌ترین شهر نیز بعد از دهلی نو شناخته شد. مسئله پیچیده آلودگی هوای تهران که بر اثر عوامل ذکر شده در طی چند دهه اخیر به شکل حاضر در آمده است، نیازمند شناختی دقیق و مؤثر از منابع و عواملی است که سبب انتشار و توزیع آلاینده‌ها در سطح این شهر گردیده است.

به‌طور کلی آلودگی هوا در سطح شهری چون تهران دارای سه مرحله است

۱. منابع آلودگی یا آلاینده‌ها که مواد مضر برای سلامتی انسان را وارد اتمسفر می‌کنند.
  ۲. انتشارات که از طریق جواز طریق فرآیند پخش و انتشار انجام می‌شود. در میان شرایط جوی عامل باد، جهت و سرعت آن بسیار تعیین‌کننده است.
  ۳. پتانسیل آلوده شدن که وابسته به محیط و موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی است.
- در مورد آلودگی هوای تهران شاید اولین کار بوسیله رولف آلیسن در سال ۱۹۷۱ انجام گرفته است. وی عناصر آلاینده موجود در هوای تهران را مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌دهد و رابطه این عناصر را با برخی بیماریها بیان می‌کند.
- شبیه‌سازی عددی آلودگی هوا از دهه ۷۰ میلادی با وارد شدن رایانه به عرصه زندگی بشر مورد توجه قرار گرفت. اما تا نیل به مقصود تا دو دهه زمان نیاز بود. امروزه اکثر شبیه‌سازی‌ها در مورد آلودگی هوا حداکثر به دهه نود برمی‌گردند

رنجبر و بیدختی (۲۰۰۳) شبیه‌سازی عددی از جزیره گرمایی در تهران را انجام داده و نتیجه آن ضعیف بودن جزیره گرمایی در شب بعلا گوهای باد حاکم در شهر بوده است. آنها

شبیه‌سازی خود را برای دو روز مختلف یکی حاکمیت توده هوای قاره‌ای قطبی و دیگری بر اساس حاکمیت توده هوای گرم حاره‌ای انجام دادند. در زمان حضور توده هوای سرد قطبی جزیره گرمایی در نیمه شمالی تهران تشکیل شده و از شدت خوبی برخوردار است در صورتی که در زمان حاکمیت توده هوای حاره‌ای جزیره حرارتی از شدت کمی برخوردار است.

سبحان اردکانی و همکاران (۱۳۸۳) شاخص کیفیت هوا از طریق درون‌یابی بین غلظت آلاینده‌ها برای پنج آلاینده اصلی  $NO_2$  و  $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  هوای شهر تهران در سال ۱۳۸۳ را محاسبه کرده و کیفیت بهداشتی هوا در گروه‌های خوب، متوسط، غیربهداشتی برای گروه‌های حساس، غیربهداشتی، خیلی غیربهداشتی و خطرناک را طبقه‌بندی کرده‌اند. نتایج بدست آمده از شاخص کیفیت هوا مبین این است که در سال ۱۳۸۳، ۲۶۲ روز کیفیت هوای تهران از حد استاندارد تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده ( $AQL=100$ ) تجاوز کرده، در ۱۲ درصد از روزهای سال خیلی غیربهداشتی و در ۵۰ درصد از روزها خطرناک - که در موارد تجاوز کیفیت هوا از حد استاندارد در ۸۳ درصد از موارد آلاینده مسئول منواکسیدکربن بوده است. همچنین ماه‌های مرداد، شهریور و مهر ۱۳۸۳، با میانگین شاخص‌های ۱۹۰، ۱۸۵ و ۱۸۸ آلوده‌ترین ماه‌های سال بوده‌اند. در مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با تحقیقاتی که در سنوات گذشته انجام شده است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۳ نسبت به آن سال‌ها از بهبود چندانی برخوردار نبوده، و در وضعیت بسیار وخیمی از نظر حفظ سلامتی اعضای جامعه به ویژه گروه‌های حساس قرار دارد، که یکی از مهمترین دلایل آن افزایش روزافزون ورود خودروها به ناوگان حمل و نقل شهری و عدم خروج خودروهای فرسوده از این چرخه است.

در رابطه با آلودگی هوا برزوسکی (۲۰۰۵) شبیه‌سازی عددی را بر اساس میزان انتشارات خارج شده از آگروز هواییماها در یک منطقه نظامی در لهستان انجام داده است. هدف وی پیش‌بینی میزان مونواکسید کربن  $CO$  در یک منطقه نظامی به منظور سلامت کارکنان آن بوده است

مدل‌سازی عددی آلدردین (۲۰۰۵) بدنبال یافتن راهی برای برآورد رابطه بین متغیرهای آلودگی مانند ذرات معلق  $PM_{10}$  و  $NO_x$  با حجم ترافیک و متغیرهای هواشناسی است. مدل وی بر مبنای داده‌های ساعتی و درازمدت و محدوده آن شهر اسلو در نروژ است.

آشک (۲۰۰۶) به مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از انتشارات  $PM_{10}$  در لانستون استرالیا در

دوره زمستانه می‌پردازد. وی از مدل TAPM استفاده کرده و هدف وی مشخص نمودن ظرفیت شهر در پذیرش آلاینده با سوختهای جنگلی است. نتیجه این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زمانی که ۲۰ درصد از ساکنان شهر به استفاده از سوختهای جنگلی بپردازند، آلودگی PM10 در شهر خودنمایی می‌کند. همین نویسنده در مقاله دیگری به ارزیابی مدل TAPM پرداخته و ضمن مقایسه یک منطقه شهری و روستایی از نظر آلودگی، و سنجش آن با داده‌های واقعی کارآیی آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

### مواد و روش‌ها

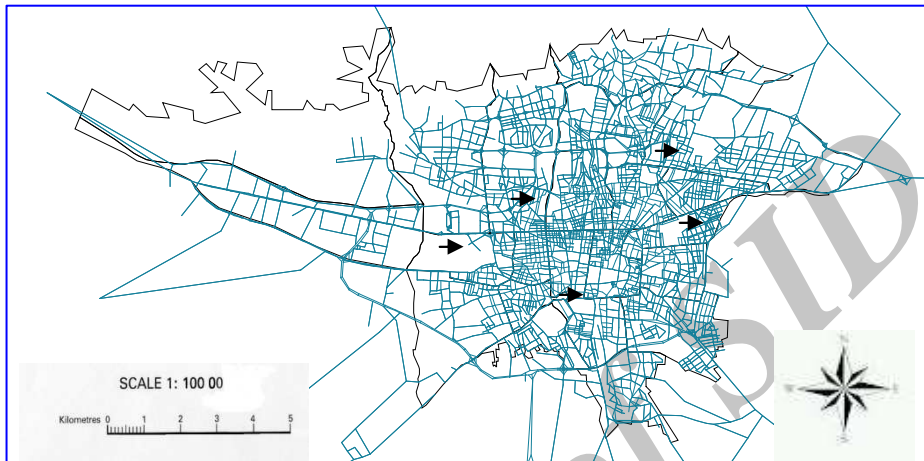
داده‌های موردنیاز در مدل TAPM به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- داده‌های سطح زمین (Terrain) مثل توپوگرافی، پوشش گیاهی، آب و خاک. این داده‌ها با قدرت تفکیک (Resolution) یک کیلومتر در یک کیلومتر بوسیله شرکت ارائه‌دهنده مدل تهیه شده و سالانه بروز می‌شود. این داده‌ها برای همه نقاط جهان از جمله تمام نقاط ایران تهیه می‌شود اما کاربر می‌تواند این داده‌ها را تغییر داده و اطلاعات موردنظر خود را به مدل بدهد.

- داده‌های نوع دوم بسته به نوع تحقیق به کار گرفته شده دارد. مثلاً اگر پژوهش بر روی آلودگی هوا متمرکز شود، در این قسمت از داده‌های آلاینده استفاده می‌شود. در واقع نوع دوم از داده‌ها برعهده پژوهشگر می‌باشد به طوری که وی می‌تواند داده‌های شرکتی مدل را تغییر داده و از داده‌های خودش در آن جایگزین نماید. داده‌هایی که به مدل داده می‌شوند باید از نوع ASCII باشند، هر چند که مدل قابلیت تبدیل فرمت‌های مختلف داده‌ها را دارد.

با توجه به اینکه مدل فقط داده‌های انتشارات (Emissions) را قبول می‌کند، نخستین قدم گردآوری این نوع از داده‌ها می‌باشد. انتشارات PM10 به صورت ساعتی و روزانه از دو سازمان محیط زیست و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران انتخاب شدند. دوره زمانی برای انتشارات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ در نظر گرفته شدند و ایستگاه‌های تأمین‌کننده آن فاطمی (عرض ۳۵/۴۵ و طول ۵۱/۰۸)، اقدسیه (عرض ۳۵/۴۷ و طول ۵۱/۳۷)، بازار (عرض ۳۵/۳۲ و

طول (۵۱/۱۱) و آزادی (عرض ۳۵/۴۱ و طول ۵۱/۰۵) و سرخه حصار (عرض ۳۵/۴۲ و طول ۵۱/۲۰) هستند. در شکل یک شهر تهران به همراه شبکه ارتباطی موقعیت ایستگاههای فوق نشان داده شده است.

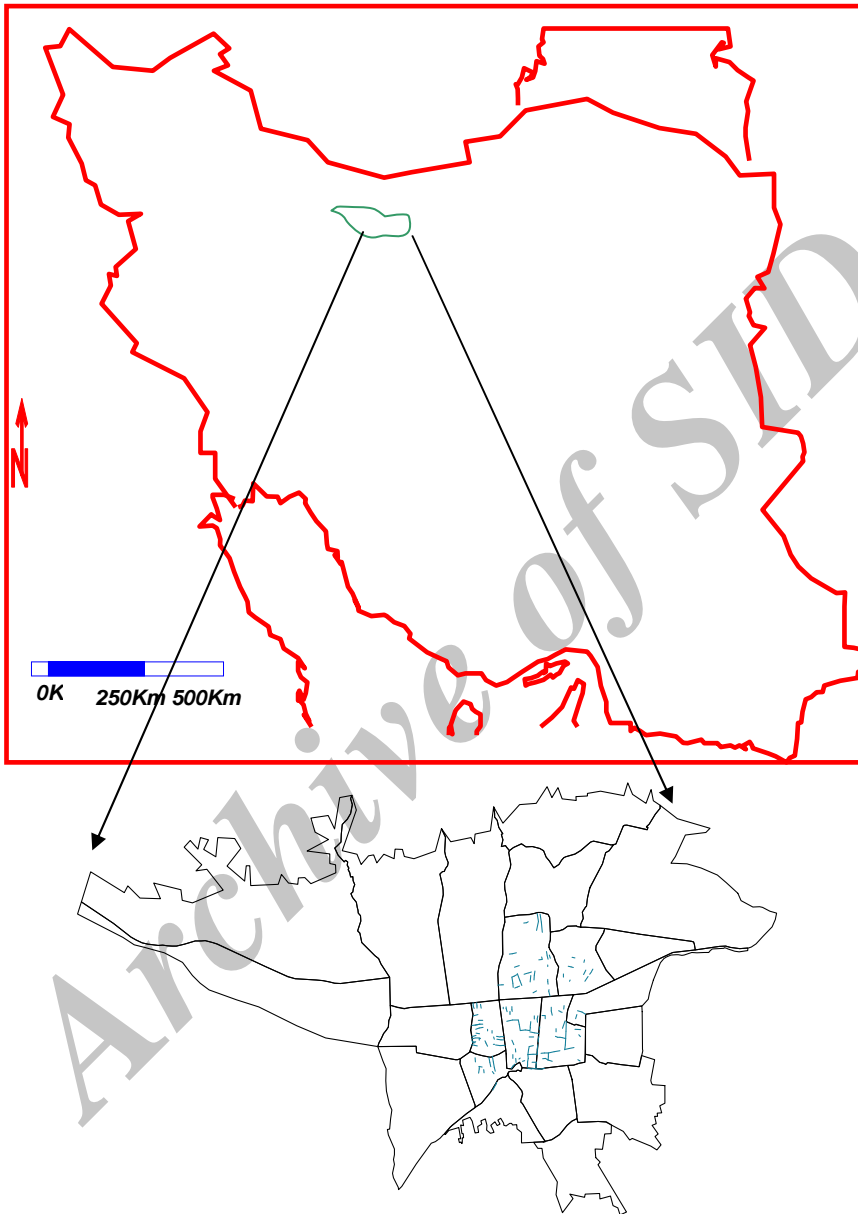


شکل ۱: شبکه ارتباطی شهر تهران و موقعیت ایستگاههای سنجش آلودگی  
پیکان‌ها موقعیت تقریبی ایستگاهها را نشان می‌دهند

در پژوهش پیش‌رو از مدل آلودگی هوا (TAPM) استفاده شده است. این مدل توسط دانشمندان سازمان پژوهش صنعتی و علمی مشترک‌المنافع (CSIRO) در استرالیا گسترش یافت. TAPM یک مدل خیلی ساده (منابع محاسباتی کمی نیاز دارد) و سریع (حدوداً ۱۰ دقیقه‌ای) است (زواررضا و همکاران، ۲۰۰۷). برد این مدل در حد منطقه‌ای و در حد متوسط مقیاس (Mesoscale) است. همان‌طور که از نام آن پیداست، بیشتر برای شبیه‌سازی عددی و مدل‌سازی برای آلودگی هوا بکار برده می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این مدل، همان محدوده سینوپتیکی به ابعاد هزار کیلومتر و ارتفاع هشت کیلومتر از جو می‌باشد. پژوهشگر بسته به نوع تحقیق ابعاد منطقه مورد مطالعه را تعیین می‌کند. مثلاً بزرگترین منطقه آن ۳۰ کیلومتر، که به شبکه مادر موسوم است و کوچکترین آن می‌تواند به صورت ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر لحاظ شود. کوچکترین منطقه می‌تواند دوباره شبکه‌بندی شود. در این مدل مناطق بیست و دو گانه تهران به صورت شبکه‌های مساوی با تفکیک‌پذیری پانصد متر در پانصد متر تقسیم شده‌اند.

موقعیت ریاضی شهر تهران عبارت است از  $35^{\circ}34'$  تا  $35^{\circ}50'$  عرض شمالی و  $2^{\circ}51'$  تا  $36'$

۵۱° طول شرقی که در شکل دو به همراه نقشه ایران به نمایش گذاشته است.



شکل ۲: شهر تهران و مناطق ۲۲ گانه شهرداری و موقعیت آن در ایران

### یافته‌های پژوهش

تهران از نظر میزان آلودگی به ذرات معلق در هوا دومین شهر آلوده جهان محسوب می‌شود. این مواد که عمدتاً گرد و غبار و دوده هستند از مصرف سوخت در منازل؛ صنایع؛ عملیات ساختمانی؛ خروجی وسائط نقلیه موتوری؛ کارخانجات سیمان و غیره منشأ گرفته و خطر آن برای انسان‌ها کمتر از گازها نیست.

داده‌های انتشارات آلودگی هوا که به صورت ساعتی و برای هر روز برای شهر تهران تهیه می‌شود، نیاز به کار آماری دارند. به این صورت که داده‌ها باید بر اساس تاریخ دسته‌بندی شده تا تاریخ موردنظر در پژوهش بدست آید. این عمل به کمک نرم‌افزار Excell انجام شد. برای داده‌های مختلف آلاینده نمودارهای مختلف به کمک این نرم‌افزار ترسیم شد. جدول یک ایستگاههایی که داده‌های آلاینده از آنها انتخاب شدند ارائه شده است.

بخش بعدی کار بر روی داده‌ها، عبارتست از یافتن رابطه همبستگی بین آلاینده‌ها و داده‌های مدل که این عمل برای آلاینده PM-10 انجام شد. برای هر کدام جدول و نمودار جداگانه‌ای تهیه شد. ابتدا شبیه‌سازی از pm10 توسط مدل انجام شد سپس خروجی مدل با داده‌های واقعی مقایسه شده و سطح معنی‌داری آن مورد بررسی قرار گرفته است.

در بخش بعدی در این پژوهش، میزان تغییرات عناصر آلاینده در واحد حجم، به صورت ماهانه، روزانه و ساعتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در واقع در این بخش می‌خواهیم دامنه تغییرات این عنصر آلاینده را مورد بررسی قرار دهیم. برای عنصر آلاینده نمودارهای مختلفی ترسیم شده است. این عمل برای ایستگاه‌های مختلف در سطح شهر تهران انجام شده است. هدف از انتخاب ایستگاه‌های مختلف، پوشش دادن گستره بیشتری از شهر به منظور تأمین نتیجه بهتر از پژوهش می‌باشد.

جدول ۱: ایستگاههای سنجش آلودگی هوا و موقعیت آنها در شهر

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	آزادی	۱۲۰۰	۳۵-۴۲	۵۱-۲۰
۲	تجریش	۱۵۲۰	۳۵-۴۹	۵۱-۲۹
۳	بهمن	۱۱۵۰	۳۵-۳۹	۵۱-۲۴
۴	ویلا	۱۲۰۰	۳۵-۴۳	۵۱-۲۵
۵	قلهک	۱۵۰۰	۳۵-۴۷	۵۱-۲۶
۶	ژئوفیزیک	۱۳۶۰	۳۵-۴۴	۵۱-۲۳
۷	فاطمی	۱۳۲۰	۳۵-۴۵	۵۱-۲۴
۸	بازار	۱۰۵۲	۳۵-۳۸	۵۱-۲۲
۹	سرخه حصار	۱۱۰۰	۳۵-۴۰	۵۱-۳۵



شکل ب: جهت و غلظت آلاینده‌ها در صبح روز سوم شبیه‌سازی

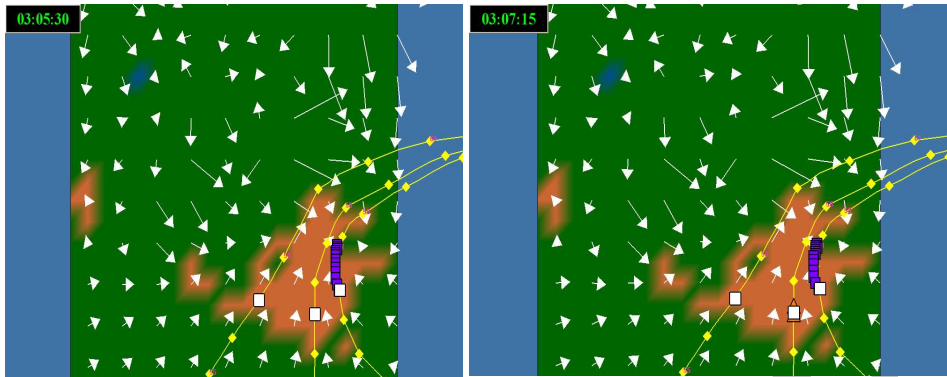
شکل الف: جهت و غلظت آلاینده‌ها در صبح روز سوم شبیه‌سازی



شکل د: جهت و غلظت آلاینده‌ها در عصر روز سوم شبیه‌سازی

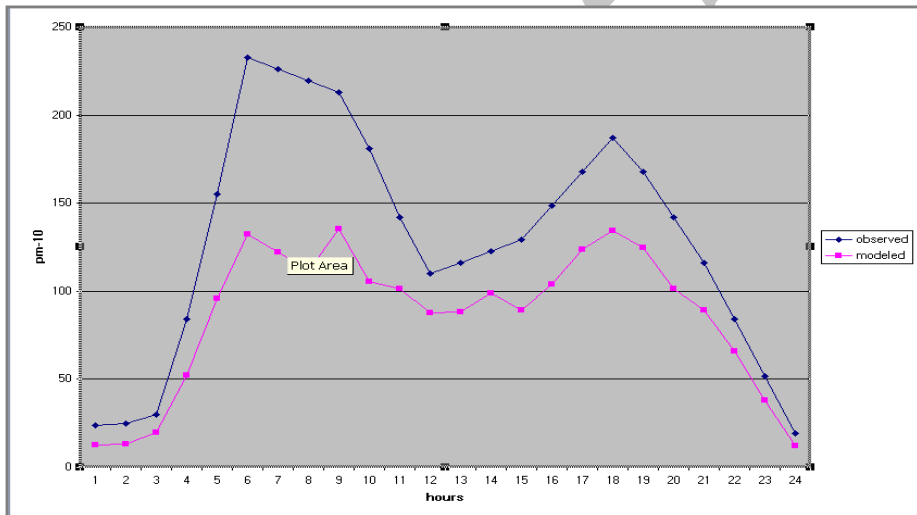
شکل ج: جهت و غلظت آلاینده‌ها در عصر روز سوم شبیه‌سازی





شکل ۳: جهت و غلظت آلاینده‌ها در بعد از ظهر روز سوم شبیه‌سازی

شکل ۳ خروجی مدل برای انتشار pm10 برای سطح شهر تهران مربع غلظت و مثلث جهت حرکت آلاینده را نشان می‌دهد. ساعت GMT



شکل ۳: نمودار مقایسه انتشار ذرات معلق خروجی از مدل و داده‌های واقعی

نتایج حاصله از شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که انتشار pm10 در سطح شهر تهران دارای چرخه ثابت نیست (شکل 3) و اگر ۲۴ ساعت شبانه‌روز تقسیم شوند، شاهد رفتارهای متفاوتی از الگوی آن خواهیم بود. بنابر یافته‌های بدست آمده از شکل ۳، جریان در شب دارای الگوی تقریباً یکسانی است. از ساعت ۱۸ عصر تا ۱۰ صبح روز بعد، جریان انتشار عمدتاً شمال شرقی و شرقی است. اما از ۱۰ صبح الگوی انتشار دستخوش دگرگونی شده و بتدریج جریان جنوب

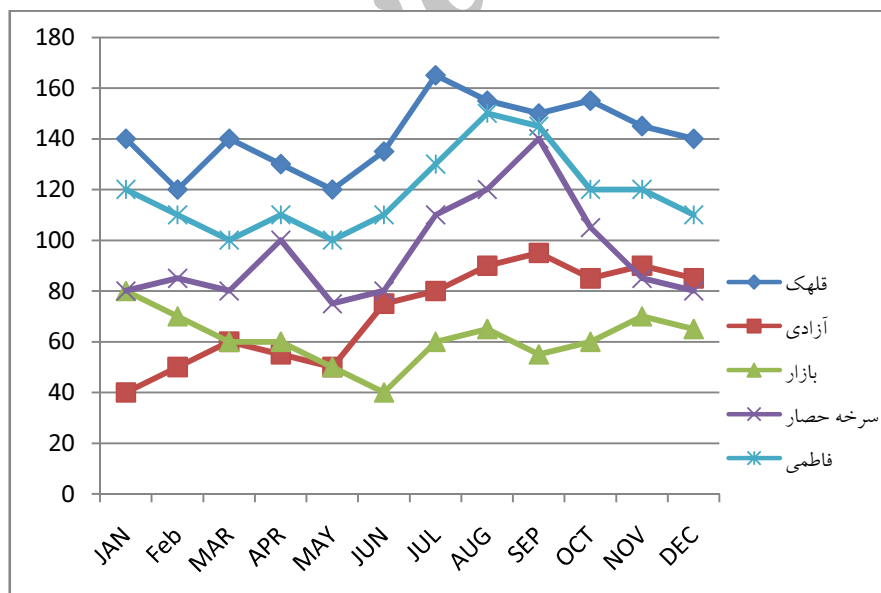
غربی در سطح شهر غالب می‌شود. تصاویری که در شکل سه بر مبنای ساعت در یک ۲۴ ساعت مرتب شده‌اند، مؤید این مطلب هستند که در ساعت صفر یا نیمه شب حرکت انتشارات جهت‌های شمالی و شرقی در سطح شهر است. ارتفاعات قرار گرفته در این جهات توجیه‌کننده این رفتار هستند. در ادامه ساعات شب که به دلیل مشابه بودن تصاویر در شبیه‌سازی، تصاویر ساعت ۳ و ۶ بامداد قرار داده شدند، تغییر چندانی را نشان نمی‌دهند. این روند تا ۹ صبح همچنان ادامه می‌یابد. اما از این ساعت بویژه در ۱۰ صبح الگوی انتشار بتدریج جهت شمال پیدا کرده و این روند در ساعت ۱۲ کامل می‌شود. از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۶ عصر جهت جنوب‌غربی غالب می‌شود و از این ساعت بتدریج جریان ذرات بر خلاف گردش عقربه‌های ساعت، دوباره به جهت شبانهگاهی خود باز می‌گردد. از ساعت ۱۸ جریان شمالی و شرقی در سطح شهر غالب می‌شود. شبیه‌سازی برای روزهای زمستان و تابستان ۲۰۰۶ انجام شد و در هر دو فصل الگوی انتشارات رفتار مشابهی را نشان داد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های واقعی مقایسه شد. (شکل ۴) از لحاظ روند شبیه‌سازی خوب بوده اما از لحاظ کمیت میزان خروجی مدل از داده‌های واقعی کمتر است. این حالت برای بیشتر مدل‌ها رخ می‌دهد. زیرا داده‌های واقعی به‌صورت نقطه‌ای جمع‌آوری می‌شوند اما داده‌های مدل بر روی یک سطح پخش می‌شوند بنابراین مدل‌ها معمولاً در شبیه‌سازی کمتر از داده‌های واقعی خروجی دارند.

#### تغییرات ماهانه آلاینده PM<sub>۱۰</sub> برای ایستگاه‌های مختلف مقایسه مدل و داده‌های واقعی

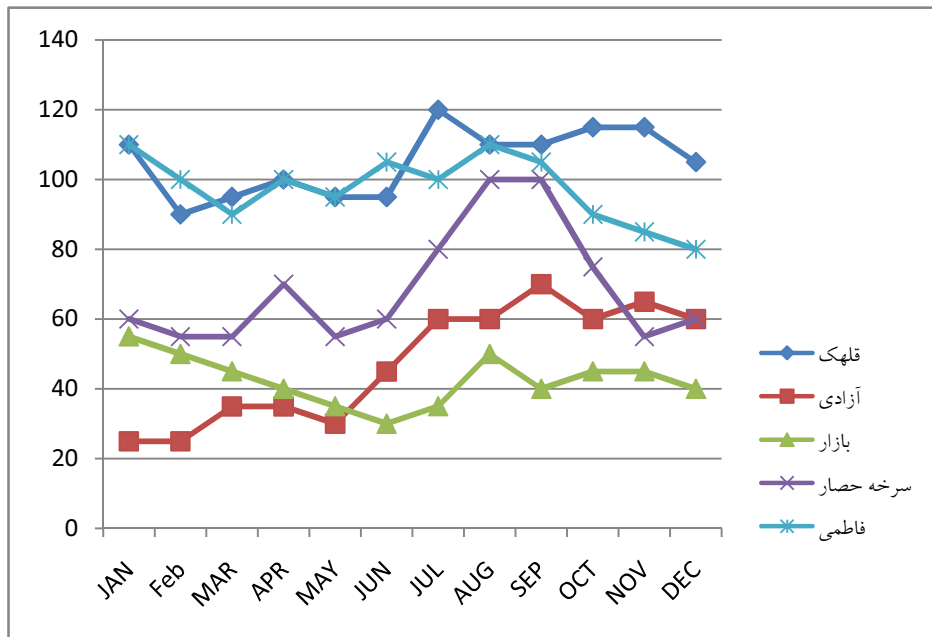
برای ارزیابی بهتر مدل داده‌های پنج ایستگاه در سطح شهر با خروجی مدل مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. این پنج ایستگاه عبارتند از قلهک، بازار، آزادی، فاطمی و سرخه‌حصار. این داده‌ها در قالب شکل‌های ۵ و ۶ برای سال ۲۰۰۶ ارائه شده‌اند زیرا داده‌های پایه‌ای مدل برای این سال در اختیار بوده است. شکل (۵) چگونگی تغییرات میانگین ماهانه PM<sub>۱۰</sub> را برای ایستگاه‌های مختلف بر اساس داده‌های واقعی نشان می‌دهد. بررسی آلاینده ذره‌ای PM<sub>۱۰</sub> نشان می‌دهد که بین مناطق مختلف در سطح شهر تهران، ایستگاه قلهک و فاطمی بیشترین آلودگی و ایستگاه بازار کمترین آلودگی را دارد. همچنین در بیشتر موارد وضعیت ایستگاه‌ها به ترتیب آلودگی عبارتند از قلهک، فاطمی، آزادی، سرخه‌حصار و بازار. به طور کلی تغییرات PM<sub>۱۰</sub> بین حدود  $30 \mu\text{g}/\text{M}^3$  تا  $170 \mu\text{g}/\text{M}^3$  در نوسان بوده است. در اکثر موارد، مقدار حداکثر اصلی PM<sub>۱۰</sub> مربوط به تیر ماه

بوده ولی مقدار حداکثر ثانویه‌ای هم در آذر ماه وجود دارد. همچنین معمولاً کمینه مقدار PM در اسفند ماه رخ می‌دهد. به طور کلی مقدار PM در تابستان افزایش یافته و در زمستان کاهش می‌یابد. اما شکل ۶ خروجی مدل TAPM را برای همان ایستگاهها و برای همان سال نشان می‌دهد.

نتایج حاصله از این مقایسه حاکی از آن است که مدل در شبیه‌سازی به‌صورت کلی و جهت موفق عمل کرده است اما مشکل مدل در برآورد کمتر داده‌ها نسبت به ایستگاههای واقعی می‌باشد. اگر دو نمودار در کنار هم قرار بگیرند تفاوت چندانی از لحاظ روند مشاهده نمی‌شود اما در ایستگاهها و بصورت مجزا آمار پایین‌تر از داده‌های ثبت شده واقعی می‌باشد. دلیل اصلی این رویداد ناحیه‌ای عمل کردن مدل می‌باشد. در ایستگاه دستگاه داده‌ها را به‌صورت نقطه‌ای ثبت می‌کند حال آنکه مدل همان داده‌ها را در سطح ناحیه پخش کرده و برای نقطه‌ای خاص در آن ناحیه برآورد می‌کند. تفاوت در داده‌های واقعی با داده‌های مدل علاوه بر دلیل یاد شده می‌تواند ناشی از شرایط توپوگرافی و محلی نیز باشد که آنرا نیز مدل بر اساس داده‌های پایه‌ای که از ماهواره دریافت کرده برآورد می‌کند که ممکن است بر اساس زمان و مکان و شرایط اقلیمی تفاوت نشان دهد بویژه اینکه شرایط همدیدی یا سینوپتیک در این پژوهش لحاظ نشده است.



شکل ۴: تغییرات ماهانه PM10 سال ۲۰۰۶ بر اساس داده‌های واقعی

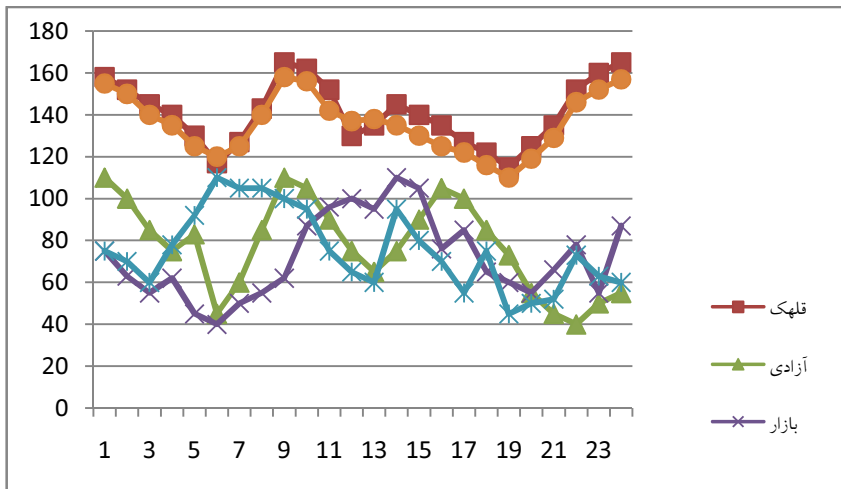


شکل ۵: تغییرات ماهانه  $pm_{10}$  خروجی مدل سال ۲۰۰۶

### تغییرات ساعتی در مدل و داده‌های واقعی

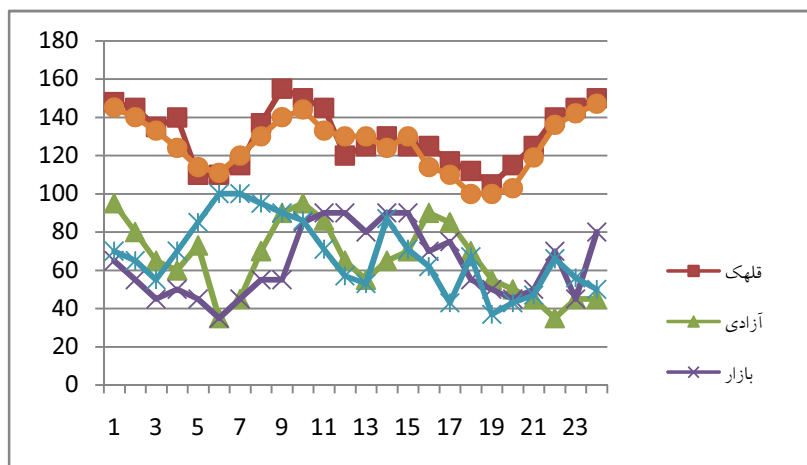
در ادامه تغییرات میانگین ساعتی  $PM_{10}$  در ماه جولای یا تیرماه محاسبه و بررسی شده و با داده‌های خروجی مدل مورد مقایسه قرار گرفته است. علت انتخاب ماه جولای بیشینه بودن میزان ذرات معلق بر اساس بررسی میانگین ماهانه است. نتایج این بررسی مطابق شکل (۶) که نمایانگر داده‌های واقعی است نشان می‌دهد که مقدار  $PM_{10}$  در طول شبانه روز دو بار بیشینه و دو بار کمینه می‌شود. مقادیر بیشینه یکی در ساعت ۸ صبح و دیگری در ساعت ۱۱ شب رخ می‌دهد که مقادیر آن حدود  $163 \mu g / M^3$  است. تنها ایستگاه سرخه‌حصار مقدار کمینه متفاوتی نشان می‌دهد. همچنین مقادیر کمینه یکی در ساعت ۶ صبح و دیگری در ساعت ۱۳ بعد از ظهر رخ می‌دهد اما کمینه اصلی مربوط به ساعت ۶ بعد از ظهر می‌باشد که از کمینه ۱۳ بیشتر است. به بیانی دیگر مقدار  $PM_{10}$  از ساعت ۷ بعد از ظهر شروع به افزایش می‌یابد و این افزایش تا ساعت ۱۲ شب ادامه دارد. ایستگاه‌های سرخه‌حصار و آزادی تفاوت معنی‌داری با بقیه بویژه با قلهک و فاطمی نشان می‌دهد. آنچه که بارز است دو ایستگاه فاطمی و قلهک شباهت و

همخوانی بیشتری را نشان می‌دهند و در ایستگاههای دیگر پراکندگی بیشتری مشاهده می‌شود. همانطور که اشاره شد ایستگاه سرخه‌حصار از لحاظ کمینه برعکس ایستگاههای دیگر است اما صرف‌نظر از این مورد از لحاظ روند کلی با ایستگاههای دیگر و ایستگاهها با یکدیگر در یک جهت هستند.



شکل ۶: میانگین تغییرات ساعتی برای تیر ماه (جولای) ۲۰۰۶ داده‌های واقعی

اما شکل (۷) همین تغییرات را نشان می‌دهد با این تفاوت که داده‌های شکل (۷) از خروجی مدل گرفته شده است. تفاوت چندانی بین مدل و داده‌های واقعی مشاهده نمی‌شود روندها درست مانند شکل (۶) برای ایستگاهها است. تنها تفاوت این است که مدل عددهای کوچکتری را نشان می‌دهد. اگر به‌صورت جزئی‌تر نگاه کنیم ایستگاه بازار در ساعات ۹ تا ۱۲ نسبت به داده‌های واقعی حالت یکنواختی را بخود می‌گیرد و در یک راستا قرار می‌گیرد.



شکل ۷: میانگین تغییرات ساعتی برای ماه جولای خروجی مدل سال ۲۰۰۶

این بررسی برای تمام ماههای سال انجام شده است و بدلیل مشابهت داده‌ها تنها ماه جولای در این پژوهش ارائه شده است. از لحاظ تغییرات ساعتی در تمام ماههای سال ۲۰۰۶ هم براساس خروجی مدل و هم بر اساس داده‌های واقعی، ابتدای صبح با کمینه مواجه می‌شویم و هر چه به سمت ظهر حرکت می‌کنیم بر مقدار ذرات هوا افزوده می‌شود دوباره از بعدازظهر روند منفی می‌شود و تا عصر که به حداقل می‌رسد و عصر تا شب روند صعودی می‌گیرد و به سمت انتهای شب افزایش می‌یابد. از پنج ایستگاه انتخابی دو ایستگاه قلهک و فاطمی همخوانی بیشتری نشان می‌دهند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش آلاینده ذرات معلق در سطح شهر تهران با استفاده از مدل استرالیایی TAPM که خاص مطالعه آلودگی هوا می باشد شبیه‌سازی شده است و با قرار دادن در کنار داده‌های واقعی راست‌آزمایی شده است. در این راستا شاخص IOA (index of agreement) بکار گرفته شده است که شاخصی است که میزان معنی‌داری مدل را نسبت به داده‌های واقعی نشان می‌دهد. برای این کار از مدل خروجی کمی استخراج شده و بر اساس فرمول راست‌آزمایی انجام شده است. برای پژوهش پیش رو نیز از این شاخص استفاده شده است. به‌طور میانگین میزان این شاخص برای تمام ایستگاهها ۶۱ درصد به ثبت رسیده است. بر اساس نظر طراحان مدل در استرالیا میزان ۵۰ درصد یا نیم از مدل سطح قابل قبول برای کارایی مدل محسوب می‌شود. خروجی مدل درباره pm10 حاکی از آن است که در شبها با توجه به جریانات باد شبانه‌گاهی، نحوه انتشار به سمت شرق و شمال شرقی شهر است. این حالت از ۱۸ عصر تا ۱۰ صبح روز بعد برقرار است اما از ۱۰ صبح به دلیل غالب شدن جریانات غربی در سطح شهر، انتشارات از سمت غرب به شرق رانده می‌شوند. با بررسی نهایی ایستگاهها و نگاهی به شبیه‌سازی (شکل ۳) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان انتشار از شرق به غرب و از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. بررسی ایستگاهی داده‌ها حاکی از آن است که ایستگاههای فاطمی و قلعهک بیشترین تراکم را در اختیار داشته‌اند. ایستگاههای بازار و سرخه‌حصار و همین‌طور آزادی پاک‌ترین ایستگاهها بوده‌اند. بدلیل غالب بودن جریانات شرق که از شرق شروع می‌شود و به سمت آزادی می‌وزد و عدم وجود باد با سرعت بالاتر از استانه در دو ایستگاه قبلی توجیه‌کننده این اتفاق است.

## منابع

۱. آمارنامه آلودگی هوای تهران؛ سازمان محیط زیست ؛ تا سال ۱۳۸۶؛
۱۰. محرم نژاد ناصر (۱۳۷۹)، آلودگی هوا و تأثیر آن بر انسان ؛ مجله محیط زیست شماره ۲۳ ؛
۲. آمارنامه آلودگی هوای تهران؛ شرکت کنترل کیفیت هوای تهران ؛ تا سال ۱۳۸۶؛
۳. بهرام سلطانی، کامبیز (۱۳۶۹)؛ فضای سبز تهران؛ مجله معماری و شهرسازی ؛ دوره دوم؛ شماره هشتم؛
۴. رنجبر ع. و عباس بیدختی (۱۳۸۴)، اثرات جزیره گرمایی بر وضع هوا و اقلیم کلانشهر تهران، نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۲، صفحه ۱۱-۲۲؛
۵. سازمان محیط زیست، (۱۳۷۶) طرح جامع کنترل آلودگی هوای تهران؛
۶. شهرداری تهران، آماری خودروهای فعال، (۱۳۸۴)، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران؛
۷. شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری (۱۳۷۱)، طرح جامع تهران؛
۸. شهرداری تهران، مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک، آبان ماه ۱۳۷۵؛
9. Aldrin M 2005. Generalized addictive modeling of air pollution traffic volume and meteorology, Oslo, Atmospheric Environment 37,649-66;
10. ۱۲. Ashok K. et al., (2006) Modelling PM10 concentrations and carrying capacity associated with woodheater emissions in Launceston, Tasmania, Atmospheric Environment 40 (2006) 5543-5557;
11. Han Z.,(2007) A regional air quality model: Evaluation and simulation of O3 and relevant gaseous species in East Asia during spring 2001, Environmental Modelling & Software 22 1328e1336;
12. Harrison M. et al, 2005. Measurement and modeling of air pollution and atmospheric chemistry in the U.K. West Midlands conurbation: Overview of the PUMA Consortium project, Department of Chemistry University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK;
13. Hurley, P. et al (2005), TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modeling, Environmental Modelling & Software 20 737e752;
14. Ionescu A.,(2007) Air pollutant emissions prediction by process modeling e Application in the iron and steel industry in the case of a re-heating furnace, Environmental Modelling & Software 22 1362e1371;
15. Zawar-Reza et al. (2005), 'Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM<sub>10</sub> using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand', Science of the Total Environment, vol. 349, pp. 249-259;
16. Zawar-Reza , P. Gaines Wilson, (2006) Intraurban-scale dispersion modelling of particulate matter concentrations: Applications for exposure estimates in cohort studies, Atmospheric Environment 40 1053-1063.