فصلنامه علمی تخصصی مطالعات طراحی شهری و پژوهش‌های شهری
سال پنجم، شماره ۳ (پیاپی: ۲۰)، پاییز ۱۴۰۱
ISSN: 2645-4424

مدلسازی و تحلیل نحوه پراکنش آلاینده‌ها در هوای شهر جدید شهریار*

پریسا قبادی[۱]، قاسم مطلبی[۲]، آیدا ملکی*[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲
کد مقاله: ۹۵۷۲۰

چکـیده

آلودگی محیط زیست از مسائل قرن حاضر محسوب می‌شود. تلاش به منظور حل این مسائل، متخصصین شهری را با مفاهیم تازه ای نظیر : بررسی میزان آلاینده ها ، مدلسازی های خرد و کلان اقلیمی روبرو کرده است. با توجه به هزینه‌های کلانی که برای احداث یک شهر جدید صرف می‌شود بهتر است قبل از اجرای هر طرحی ، تمام جوانب و مشکلات احتمالی که بعدها ممکن است شهر جدید با آن روبرو شود پیش‌بینی سپس درصدد حل آن برآمد. هدف این پژوهش، بررسی نحوه پراکنش آلاینده‌ها ، انتشار آن‌ها و مدلسازی در هوای شهر جدید شهریار تبریز بود. برای این منظور از GIS و AERMOD و IVE (مدل بین المللی انتشار از وسایل نقلیه) استفاده شد. بررسی کیفیت هوا در محدوده مطالعاتی مورد نظر نشـان داد مـدل انتشار AERMOD یک مدل مناسب برای تعیین متوسط غلظت ساعتی و سالانه آلاینده‌های مورد مطالعه منابع انتشار نقطه‌ای ـ خطی می‌باشد و صحت سنجی نتایج مدل برای ۵ آلاینده این امر را تصدیق کرد. با توجه به این که شبیه‌سازی و تحلیل پراکنش آلاینده‌ها مکان محور بوده، در ارتباط با شهر جدید شهریار خروجی‌ها را می‌توان در دو مقیاس شهر و محدوده ۱۰ کیلومتری آن تحلیل کرد. نتایج مطالعه نشان داد که میزان حداکثر غلظت سالانه آلاینده‌ها شامل: کربن مونوکسید، ازن، دی اکسید نیتروژن، گوگرد دی اکسید و ذرات معلق به ترتیب ۷/۹۳، ۸/۷۵، ۱۲/۱، ۲/۶۴ و ۵/۱۱ است. نتایج حاکی از آن است که در مقیاس شهر با توجه به باد غالب محدوده، تمرکز آلاینده‌ها در مرکز بوده (با رنگ قرمز) و در بخش شمال شرقی و جنوب غربی از تمرکز کمتری(رنگ نارنجی) برخوردار است و در محدوده ۱۰ کیلومتری در جنوب غربی با وجود توپوگرافی و رشته کوه ها، باد غالب آلاینده‌ها را به بخش شمالی سوق دهد.

واژگـان کلـیدی: آلاینده، شهریار، مدلسازی، AERMOD

*- مقاله مستخرج از کلاس درسی دوره دکتری با عنوان "مسائل شهرسازی معاصر" می‌باشد که توسط استاد دکتر قاسم مطلبی در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است

۱- دانشجوی دکتری شهرسازی اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)، *motalebi@ut.ac.ir*
۳- استادیار، مهندسی معماری/انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز ، تبریز، ایران

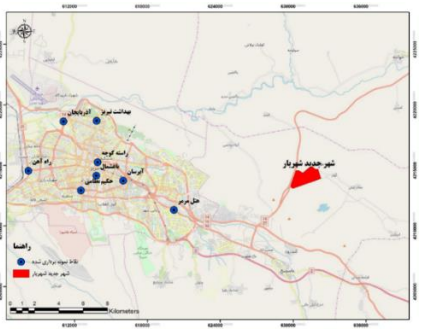
۱- مقدمه

آلودگی هوای ناشی از رشد سریع ترافیک، صنعتی شدن و شهرنشینی منجر به نگرانی عمومی زیادی شده است Tang *et al.*, (2012). تأثیر منفی سطح بالای ذرات موجود در هوا بر سلامت انسان در بسیاری از مطالعات اولیه مشهود است .(Mohan *et al.*, 2011) قـوانین وضع شده به منظور بهبود کیفیت هوا، محدودیت‌های متعددی را در دو بخش منطقه ای و جهانی برای انتشـار پارامترهای آلاینده و زیان آور هوا، از جمله انتشار هیدروکربن‌ها، مونواکسید کربن، دی اکسید کربن اعمال می‌کنند. مدلسازی فضایی انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک در کلان شهر کرج توسط Moeen al-Dini و همکاران در سال 2017 انجام شد. نتایج آن نشان داد که انتشار ذرات معلق و اکسیدهای نیتروژن مرتبط با وسایل نقلیه سنگین و در معابر بزرگراهی و انتشار مونوکسید کربن و آلاینده‌های آلی فرار مرتبط با وسائل نقلیه سبک و در معابر شریانی هستند. Chao و همکاران[1] در مقاله-ای به بررسی بهبود کیفیت هوا در شهرهای پرتراکم و ارتباط بین پراکندگی آلودگی و مورفولوژی شهری با شبیه ساز CFD پرداخته‌اند. این مقاله در هنگ کنگ با روش پارامتریک به بررسی تاثیر نفوذ پذیری و هندسه ساخت و سازهای شهری در میزان پراکندگی آلودگی در مناطق پرتراکم است. نتایج نشان می‌دهد که تمرکز آلاینده‌ها در دره‌های عمیق شهری بسیار زیاد است و این شرایط در آینده رو به وخامت می‌رود. از سوی دیگر غلظت آلاینده در سطح عابر پیاده بستگی به نفوذپذیری دره عمیق و باریک خیابان دارد. اگرچه تخلخل ساختمان‌ها، سرعت باد در سطح عابر پیاده را افزایش نمی‌دهد، اما می‌تواند در کاهش سطح غلظت آلاینده‌ها موثر باشد. (Chao *et al.*, 2013). توزیع فضایی و زمانی ویژگی های آلودگی هوا در استان جیانگ سو ، چین نیز که توسط Song و همکاران در سال 2019 انجام شده نشان می‌دهد که شاخص کیفیت هوا (AQI) در استان جیانگ سو از سال 2013-2017 کاهش یافته و بالاترین AQI در زمستان و کمترین میزان در تابستان است. با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در ایران و مسئله آلودگی هوا، در مطالعه حاضر به مدلسازی نحوه پراکنش آلاینده‌های مختلف در هوای فاز اول شهر جدید شهریار پرداخته شد. هدف از مدلسازی، کمی‌سازی و تحلیل و ارزیابی کیفیت هوا به عنوان یکی از فاکتورهای کلیماتولوژی در مقیاس کلان با توجه به نحوه توزیع مکانی منطقه است که در نهایت میتوان راهکارهایی را در راستای کاهش آلاینده‌ها ارائه داد. در انجام این فرآیند از طرح آماده سازی، تفضیلی و توپوگرافی منطقه نیز استفاده شده است.

۲- مواد وروش‌ها

۲-۱- معرفی کلی سایت انتخابی مورد پژوهش

شهر جدید شهریار (با افق نگاه ۲۵ ساله و با پیش بینی جمعیت ۱۷۰ هزار نفر)، یک شهر مسکونی(ویلایی- آپارتمانی- توریستی) در حال احداث، در استان آذربایجان شرقی است که در ۱۰ کیلومتری شمال شرق تبریز (در کیلومتر ۵ جاده تبریز- اهر) و در قرینگی شهر جدید سهند (شهر سهند در جنوب غربی و شهریار در شمال شرقی) واقع شده است. هدف از اجرای این شهر ، اسکان سرریز جمعیت شهر تبریز است و پیش‌بینی می‌شود نزدیکی آن به شهر مادر عملا آن را به یک محیط مطلوب شهری در میان شهرهای جدید تبدیل خواهد کرد. برای ساخت شهر مذکور، حدود یک هزار و ۵۰۰ هکتار زمین تملک شده که بخشی از آن، زمین‌های دولتی است. طرح احداث شهر شهریار تبریز، در ۴ فاز خواهد بود که از سال ۱۳۹۴ شروع شده و فاز اول آن در پایان سال ۱۳۹۵، آماده بهره‌برداری شده و مابقی تا سال ۱۴۰۶ مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. در مجموع در منطقه مورد نظر دو باد غالب مطلوب زمستانه و تابستانه به نام های مه و آغویل می‌وزد در شکل شماره ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه برداری شده ارائه شده است. در ادامه جهت باد و موقعیت توپوگرافی منطقه در غالب اشکال به اختصار بیان شده است.

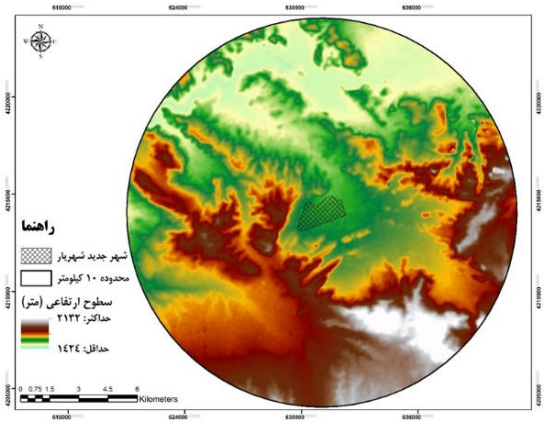


شکل شماره۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری شده

1 Chao Yuan

الف- جهت باد در منطقه: باد غالب در منطقه که بر مبنای سه نوبت دیدبانی (صبح، ظهر و عصر) محاسبه گردیده است، در جهت شمال شرقی ـ جنوب غربی بوده و متوسط آن ۳/۷۵ متر بر ثانیه می‌باشد. اگرچه تبریز به شدت از بادهای محلی متاثر است و خیلی از اقلیم شناسان اعتقاد دارند باد غالب تبریز شرقی- غربی است. بر اساس قاعده کلی در این تحقیق از نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک (ایستگاه تبریز) استفاده شده است. بیشترین سرعت باد در این منطقه، ۱۹ متر بر ثانیه از سمت شرق به غرب ثبت رسیده است.

ب- وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه: بالاترین نقطه در این گستره در حدود ۲۳۴۶ متر از سطح دریا و زاویه متوسط شیب بین ۵ تا ۱۵ درجه است. کمترین ارتفاع در این محدوده برابر با ۱۳۲۷ متر از سطح دریا می‌باشد. موقعیت شهر جدید شهریار از طریق یک رشته ناهمواری با جهت شمال غربی ـ جنوب شرقی از نواحی داخلی شهر تبریز جدا شده است. توپوگرافی محور ارتباطی تبریز ـ اهر موقعیتی را فراهم کرده است که کریدور شهر جدید شهریار را به تبریز متصل کرده است.



شکل شماره۲: وضعیت توپوگرافیکی نسبت به شعاع ۱۰ کیلومتری مرکز شبیه‌سازی

۲-۲- روش تحقیق

روش به کار رفته در این پژوهش تجربی است و جهت تحلیل از یکی از مدل‌های بررسی کیفیت هوا AERMOD- در ترکیب با GIS به عنوان ابزار استفاده شده است. امتیاز اصلی این مدلسازی آن است که فعل و انفعالات اصلی جو را که بر اساس قوانین فیزیکی نظیر قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک برکلان اقلیم تاثیر می‌گذارند را شبیه سازی و تحلیل می‌کند. از امتیازهای دیگر این روش، کمی شدن اثر هر یک از عوامل کالبدی شهر و متغیرهای اقلیمی در مقیاس زمانی و وضوح مکانی است. از آنجا که بررسی کامل و جامع به دلیل کمبود داده‌ها و اطلاعات منسجم و کامل از وضعیت هوا به ویژه در مقیاس های شهری با دشواری‌هایی همراه می‌باشد استفاده از روش مدل‌سازی تا حد بسیار زیادی مشکلات مربوطه را هموار می‌نماید. AERMOD، یکی از مدل‌های مورد تایید آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا می‌باشد که در دسته مدل‌های ارجح توصیه شده‌ی این سازمان قرار دارد. مدل AERMOD یک مدل پراکنشی حالت دائمی است که برای تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف، در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشارسطحی و در ارتفاع از منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی قابل استفاده می‌باشد، که بیشتر برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها در محدوده‌های تا ۵۰ کیلومتر پیشنهاد می‌شود. (Atabi *et al.*, 2014).

ایرومد یک مدل پلوم گوسی برای حالت پایدار و برای موارد نزدیک به سایت است که بر مبنای ساختار و مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره‌ای استوار می‌باشد. در این مدل از توزیع گوس در جهت عمودی و افقی در شرایط ثابت و در جهات افقی در شرایط جابجایی استفاده می‌شود(Eamid, 2009). این مدل با الگوریتم نسبتا پیچیده‌ای، با در نظر گرفتن مشخصات سطح زمین مثل سپیدایی[1]، طول زبری[2]، نسبت بون[3] و همینطور نقطه شبنم، رطوبت نسبی و فشار در ارتفاعات بالا، ارتفاع اختلاط و ارتفاع لایه مرزی و در نهایت از طریق معادله گوس میانگین غلظت در هرگیرنده را تخمین می‌زند. . این مدل علاوه بر پردازشگر اصلی AERMODاز یک پیش پردازنده هواشناسی به نام AERMET و یک پیش پردازنده عوارض زمین به نام AERMAP

1 Albedo
2 Roughness Length
3 Bowen Ratio

تشکیل شده است. پیش پردازنده AERMET، داده های هواشناسی را پردازش کرده و پارامترهای لایه مرزی جو را به منظور استفاده در مدل تخمین می زند و پیش پردازنده AERMAP اطلاعات توپوگرافی منطقه را تجزیه و تحلیل می کند و در نهایت مدل با استفاده از نتایج این دو پیش پردازنده و اطلاعات تکمیلی در مورد منابع انتشار و شبکه پذیرنده محاسبات خود را انجام داده و نتایج نهایی را ارائه می دهد(Khabari *et al.*, 2016).

۲-۲-۱- پیش‌پردازنده AERMET

پیش پردازنده AERMET به عنوان یک پیش پردازنده هواشناسی و به منظور سازماندهی پردازش داده‌های هواشناسی موجود طراحی شده است. مشاهدات ساعتی سطحی، داده‌های هواشناسی جو بالا و نیز اطلاعات هواشناسی در ایستگاه‌های مجاور محل مورد مطالعه از جمله داده‌های ورودی به مدل است. از پارامترهای ویژگی سطحی منطقه می‌توان به سه فاکتور در زبری سطح (Z0) ، آلبدو و نرخ بوون ، به علاوه مشاهدات هواشناسی استاندارد نظیر: سرعت باد، جهت باد، دما و پوشش ابر را نام برد .زبری سطح معرف ارتفاع موانع روی سطح زمین در مقابل جریان باد است. ضریب آلبدو کسری از میزان انعکاس نور خورشید است که به فضا بازتاب می‌شود. نرخ بوون نشانگر میزان رطوبت سطحی است. (Jampana *et al.*, 2004). در این تحقیق میزان بارندگی، پوشش ابری، فشار جوی و فشار نسبت به سطح دریاهای آزاد به عنوان مشخصه‌های سطحی، و دمای نقطه شبنم، درجه حرارت، جهت و سرعت باد و همچنین درصد رطوبت به عنوان مشخصه‌های هواشناسی درنظر گرفته شده است. همچنین برای مشخص کردن مقادیر زبری سطح، نسبت بوآن و ضریب آلبدو. لازم است تا منطقه مورد مطالعه برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف و پوشش گیاهی آن‌ها، در جهت عقربه‌های ساعت به قطاع‌های مناسب تقسیم شود.

جدول شماره۱: پارامترهای سطحی مورد استفاده در این مطالعه

	زبری سطح(متر)	نسبت بوان(بی‌بعد)	ضریب آلبدو(بی‌بعد)
میانگین	۱	۱/۶۲۵	۰/۲۷۰
بهار	۱	۱/۵	۰/۳۵
تابستان	۱	۱	۰/۱۴
پاییز	۱	۲	۰/۱۶
زمستان	۱	۲	۰/۱۸

۲-۲-۲- پیش‌پردازنده AERMAP

مدل AERMOD برای تعیین غلظت آلاینده های هوا در انواع مختلف زمین ها، از دشت های صاف و هموار گرفته تا شرایط کوهستانی و ناهموار طراحی شده است. پیش پردازنده AERMAP به منظور پردازش اطلاعات توپوگرافی منطقه مورد نظر و آماده‌سازی داده ها برای استفاده در مدل AERMOD طراحی شده است. این پیش پردازنده ارتفاع زمین زیر تمامی پذیرنده ها و منابع، همچنین مقیاس ارتفاعی هر پذیرنده را که بیشترین تأثیر را در پراکنش آلاینده در آن پذیرنده دارد تعیین می کند. چنانچه ارتفاع نقاط گیرنده پائین‌تر از ارتفاع خروجی‌های دودکش باشد، مدل غلظت‌هایی کمتر از فرض حالت مسطح را پیش‌بینی خواهد کرد. اگر منبع نقطه‌ای در پائین دست مناطق مرتفع قرار گرفته باشد، مدل تخمینی غلظتی بیشتر از حالت مسطح را پیش‌بینی خواهد نمود. اگر مناطق اطراف ناهمواری خاصی نداشته باشد، می‌توان از قابلیت AERMAP استفاده نکرد و با فرض مسطح بودن مدل را اجرا کرد. ولی برای مواقعی که شیب تغییرات ارتفاع از ۱۰ درصد بیشتر باشد، بایستی از پیش پردازنده AERMAPاستفاده کرد که بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی USGS طراحی شده است (Rahman, 2014). پردازنده AERMAPبه یک فایل ورودی نیاز دارد که علاوه بر محل قرارگیری پذیرنده ها و منابع، چگونگی عملکرد پیش پردازنده نیز از طریق مجموعه ای از دستورات کنترل می شود. علاوه‌براین فایل ورودی، AERMAPبه فایل یا فایل‌هایی با فرمت DEM از داده های توپوگرافی منطقه نیاز دارد. هر فایل DEM متناسب با طول و عرض جغرافیایی می تواند بخشی از منطقه مورد مطالعه را پوشش دهد. این فایل در دو فرمت ۱ درجه و ۷/۵ قابل پردازش می باشد. فایل ورودی از ۴ مسیر تشکیل می شود که نام هر مسیر با دو کاراکتر که در ابتدای هر قسمت از فایل ورودی می آید، مشخص می گردد. در ذیل این مسیرها به اختصار شرح داده می شوند:

CO ← برای مشخص کردن گزینه های کنترلی پیش پردازنده استفاده می شود.
SO ← برای مشخص کردن اطلاعات مربوط به محل قرار گیری منابع انتشار آلاینده ها استفاده می شود.
RE ← برای مشخص کردن اطلاعات مربوط به پذیرنده ها استفاده می شود.
OU ← برای مشخص کردن اطلاعات مربوط به فایل‌های خروجی های پیش پردازنده استفاده می شود.

خروجی های این پیش پردازنده دو فایل است که به عنوان ورودی در پردازشگر AERMOD استفاده می شود. در یکی از آنها اطلاعات پذیرنده ها و در دیگری اطلاعات مربوط به منابع قرار دارد (Salimian,2011). از دیگر نیازمندی‌های مدل AERMOD، فایل ورودی حاوی اطلاعات منابع انتشار آلاینده، موقعیت پذیرنده‌ها، مشخصات فایل‌های هواشناسی، و نحوه دریافت خروجی از مدل است.

۲-۲-۳- تقسیم‌بندی منابع آلوده کننده هوای شهر جدید شهریار تبریز

با توجه به برنامه‌ریزی پراکنش کاربری ها و پیش‌بینی میزان استقرار جمعیت در شهر جدید شهریار می‌توان منابع آلوده کننده هوا در این شهر را، به شرح زیر تقسیم بندی کرد:

۱) وسایل نقلیه موتوری ۶۵-۶۰
۲) نیرو گاه‌های حرارتی و کارخانجات حومه شهر ۵ درصد
۳) وسایل گرمایش و سرمایش خانگی و اماکن اداری و تجاری ۱۵ درصد
۴) منابع آلاینده‌های شهر تبریز حدود ۱۰ درصد
۵) سایر موارد ۵ درصد

تحقیقات نشان داده است که بخش بزرگتری از آلودگی هوا به علت آلاینده‌های منتشر شده از وسایل نقلیه موتوری است. در مقایسه با آلودگی‌های ناشی از صنایع (منابع ثابت) منابع سطحی، آلودگی منتشر شده از وسایل نقلیه بیشتر افزایش می‌یابد و اثرات آن بر محیط بسیار بیشتر است (Mansouri *et al.*, 2016). در ارتباط با این شهر نیز این موضوع کاملا مشهود است.

۲-۲-۴- مدل IVE

مدلIVE به عنوان یک مدل شناخته شده بر اساس تعداد وسایل نقلیه در یک سکونتگاه ضرایبی جهت برآورد میزان آلودگی بدست می‌آورد که برای مدل AERMOD ورودی محسوب می‌شود. نرم‌افزار IVE در سال 2007 با حمایت سازمان حفاظت سازمان محیط زیست آمریکا طراحی شد. هدف اصلی این نرم‌افزار ارایه مدلی مناسب برای تخمین مقادیر انتشار آلاینده‌ها متناسب با وضعیت کشورهای در حال توسعه بوده است. ضرایب انتشار این نرم‌افزار برای وسایل نقلیه مختلف بر مبنای مدل‌های EMFAC2007، MOBIE6 و COPERT IV بدست آمده است(Faraz,2012)(ISSRC,2008).

مدل IVE نسبت به نرم‌افزارهای مشابه و رایج مانند COPERT و MOBILE دارای مزیت‌های بسیاری است. اول آنکه این نرم‌افزار مشخصات انواع بیشتری از خودروهای سواری را در پایگاه داده‌های خود دارد. همچنین محاسبه ضرایب انتشار در این نرم‌افزار بر اساس سرعت لحظه‌ای است نه سرعت متوسط که این خود از مزیت‌های بزرگ این نرم‌افزار به شمار می‌آید(Faraz *et al.*, 2012).

IVE برای انجام محاسبات خود شامل چهار گروه اطلاعات است:

۱- نرخ انتشار خودروها در شرایط پایه
عملکرد خودروها (شتاب، سرعت و مسافت طی شده)
ترکیب ناوگان
شرایط محیطی و سوخت (دما، رطوبت، نوع سوخت مصرفی)

در این مدل با استفاده از این داده‌ها برای یک منطقه خاص نرخ انتشار آلاینده‌های مختلف بدست می‌آید.

پیش‌بینی انتشار در IVE بر اساس نرخ انتشار پایه (B) و تعدادی ضرایب تصحیح (K) است.

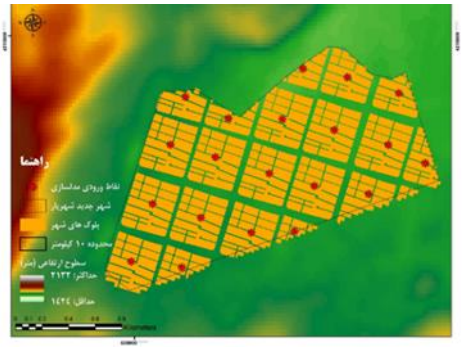
رابطه (۱) $Q_t = B_{1-t} * K_{2-t} * \ldots * K_{x-t}$

پارامتر Q_t، نرخ انتشار خودرو بر اساس واحد جرم در واحد زمان یا مسافت است.

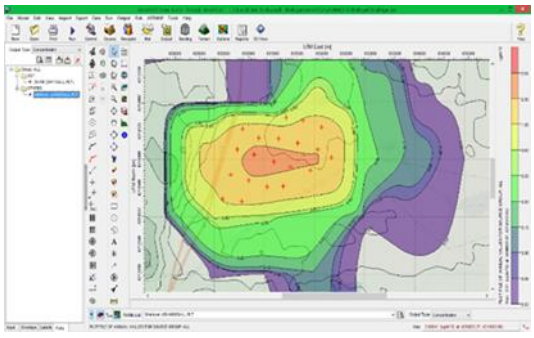
۳- یافته‌ها

شکل شماره ۵ پراکنش نقاط در محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. این نقاط به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است در این مدلسازی سهم وسایل نقلیه موتوری ۶۵-۶۰، نیروگاه‌های حرارتی و کارخانجات حومه شهر ۵ درصد، وسایل گرمایش و سرمایش خانگی و اماکن اداری و تجاری ۱۵ درصد و منابع آلاینده‌های شهر تبریز حدود ۱۰ درصد و سایر موارد ۵ درصد در نظر گرفته شده است. نقاط ورودی مدلسازی به طور کلی میانگین از وضعیت هر بلوک را نشان می‌دهد. در مدلسازی انجام شده یک شهر کوچک با شرایط همگن در نظر گرفته شده است. معمولا مدلسازی در برخی فواصل پیشنهادی

سازنده AERMOD از فواصل ۱۰، ۳۰ یا ۵۰ کیلومتر استفاده می‌شود که در پژوهش حاضر به خاطر حضور مهم شهر تبریز فاصله ۱۰ کیلومتری ترجیح داده شد.

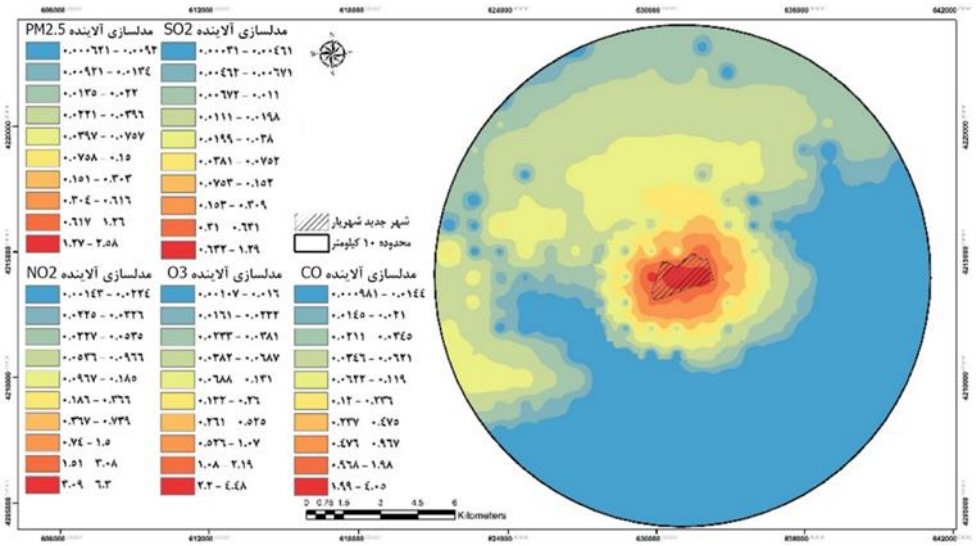


تصویر۵: وضعیت نقاط جهت مدلسازی در AERMOD

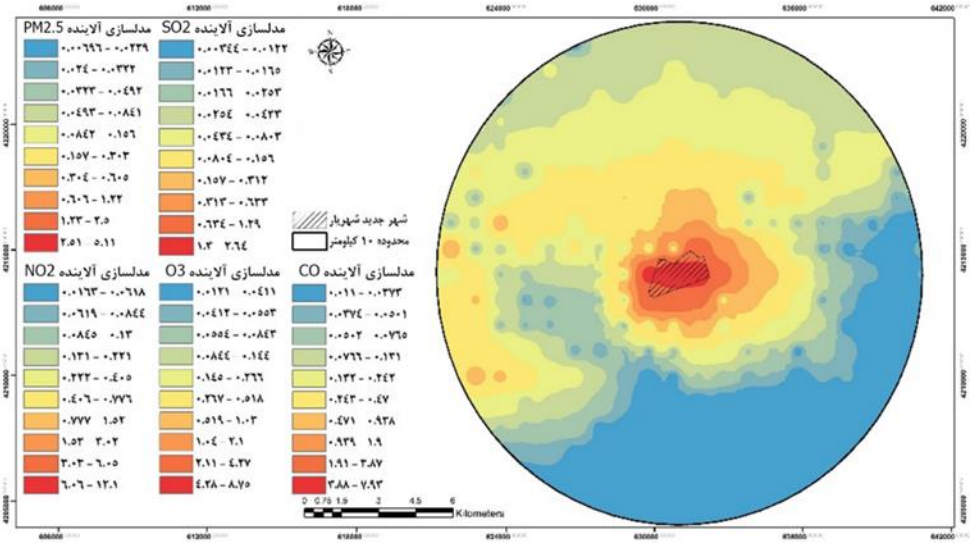


تصویر ٦: مدلسازی آلاینده CO در محیط AERMOD

شبیه‌سازی آلاینده‌ها بر اساس میانگین سالیانه و ۲۴ ساعته برآورد شده است. در ادامه، نتایج مدلسازی برای آلاینده‌های CO، O_3، NO_2، SO_2، PM2.5 آورده شده است. به جهت اینکه خروجی مدل سازی آلاینده ها از لحاظ گرافیکی مشابه یکدیگر هستند و با یک تقریبی، میتوان خروجی شکلی یکی را به بقیه تعمیم داد ، به جهت پرهیز از تکرار تصاویر، خروجی شبیه سازی آلاینده CO در قالب تصاویر۷ و ۸ به عنوان نمونه آورده شده است و برای مابقی آلاینده‌ها، محدوده غلظت های سالیانه و ۲۴ ساعته در قالب اعداد راهنما آورده شده است.



شکل شماره۷: شبیه‌سازی آلاینده CO در حالت سالیانه (غلظت = میکروگرم بر متر مکعب) و محدوده عددی مابقی آلاینده‌ها



شکل شماره۸: شبیه‌سازی آلاینده CO در حالت ۲۴ ساعته (غلظت = میکروگرم بر متر مکعب) و محدوده عددی مابقی آلاینده‌ها

۳-۱- صحت‌سنجی مدل

در این مطالعه، تعداد ۸ پذیرنده، به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌سازی توسط مدل AERMOD با مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین شده و ارزیابی با استفاده از پارامترهای آماری پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شده است. این پارامترها عبارتند از

ضریب همبستگی (CCOF)[1]

پارامترCCOF، مطابق رابطه ۲، ارتباط بین نتایج خروجی مدل و داده‌های اندازه‌گیری میدانی را نشان می‌دهد و هر چقدر مقدار آن به ۱ نزدیکتر باشد، نشان دهنده وضعیت مطلوب دقت نتایج مدل می‌باشد.

رابطه (۲)

$$CCOF = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\left(\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})^2 \sum_{i=1}^{N}(Y_i-\bar{Y})^2\right)^{1/2}}$$

که در آن:

X_i: داده‌های خروجی مدل،

Y_i: داده‌های میدانی (پایش)،

N: تعداد کل اندازه‌گیری شده و دامنه تغییرات آن (۱~−۱) می‌باشد.

پارامترهای NMB و NME به منظور ارزیابی عملکرد مدل برای مدل‌سازی آلاینده‌ها بوده و مقادیر معیار سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا NMB، ٪۱۵≤ و برای NME ٪۳۰≤ می‌باشد.

رابطه (۳)

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-Y_i)}{\sum_{i=1}^{N}Y_i}$$

دامنه تغییرات NMB (∞+~1−) می‌باشد.

رابطه (۴)

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^{N}|X_i-Y_i|}{\sum_{i=1}^{N}Y_i}$$

دامنه تغییرات NME (∞+~0) می‌باشد.

مقایسه غلظت‌های پیشبینی شده در سطح زمین، از منابع با نتایج اندازه‌گیری از ایستگاه‌های پایش برای سال 2019 نشان داد که مدل‌سازی می‌تواند بطور مفید برای تعیین پراکندگی آلاینده ها در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

1 - Correlation Coefficient

جدول شماره۲: صحت‌سنجی نتایج مدل برای آلاینده‌ها

پارامترهای آماری	آلاینده‌ها				
	CO	O_3	NO_2	SO_2	PM2.5
CCOF	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۹۰
NMB (%)	−۰/۳۲	−۰/۳۸	−۰/۴۱	−۰/۳۶	−۰/۴۱
NME (%)	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۹

۴- بحث و نتیجه گیری

نرم‌افزارهای به‌روز به ویژه در شهرهایی که در حال برنامه‌ریزی هستند از این جهت می‌تواند کمک کننده باشد تا ببینیم برنامه‌ریزی صورت گرفته مناسب و کارا هست و یا بایستی تغییرات و تمهیدات دیگری در مقیاس کلان و خرد اتخاذ گردد. ارزیابی‌های آماری نشان می‌دهند، پیشبینی‌های مدل در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری در نواحی اطراف آن مطابقت داشته است و هنگامی که عملکرد کلی مدل مورد بررسی قرار گرفت، کلیه نتایج محاسبه شده برای پارامترهای آماری نشان دهنده موفق بودن مدل‌سازی می‌باشد. بررسی کیفیت هوا در محدوده مطالعاتی مورد نظر نیز نشان داد مدل انتشار AERMOD یک مدل مناسب برای تعیین متوسط غلظت ساعتی و سالانه آلاینده‌های مورد مطالعه منابع انتشار نقطه‌ای ـ خطی می‌باشد. در مجموع با توجه به ارزیابی پیشبینی‌های صورت گرفته، می‌توان عملکرد نرم‌افزار AERMOD را در پیشبینی غلظت آلاینده‌ها قابل قبول دانست، به طوری که می‌توان از مدل پراکندگیAERMOD به عنوان یک ابزار علمی مناسب برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های کنترل و سیاست‌گذاری برای کاهش و پیشگیری از آلودگی هوا استفاده نمود. در پژوهش حاضر نیز مدلسازی انجام شده به منظور کنترل عوامل متعدد، شهر شهریار با شرایط همگن مدنظر قرار گرفت و نحوه پراکنش ۵ آلاینده در دو مقیاس شهر و محدوده ۱۰ کیلومتری در آن بررسی شد. توزیع فضایی غلظت ۵ آلاینده تقریبا مشابه یکدیگر هستند . همانگونه که در مطالعه Mou و همکاران در سال 2018 که PM2.5 و O_3 آلاینده اصلی هوا بودند. در نتایج این پژوهش نیز ازن بعد از دی اکسید نیتروژن بالاترین میانگین غلظت را داراست.

جدول شماره۳: میانگین غلظت آلاینده‌ها در ۲۴ ساعت و سالیانه

آلاینده‌ها	در حالت میانگین سالیانه (غلظت = میکروگرم بر متر مکعب)	در حالت میانگین ۲۴ ساعته (غلظت = میکروگرم بر متر مکعب)
CO (کربن مونوکسید)	۱/۹۹–۴/۰۵	۳/۸۸–۷/۹۳
O_3 (ازن)	۲/۲–۴/۴۸	۴/۲۸–۸/۷۵
NO_2 (دی اکسید نیتروژن)	۳/۰۹–۶/۳	۶/۰۶–۱۲/۱
SO_2 (گوگرد دی اکسید)	۰/۶۳۲–۱/۲۹	۱/۳–۲/۶۴
ذرات PM2.5 (ذرات معلق)	۱/۲۷–۲/۵۸	۲/۵۱–۵/۱۱

در پژوهش Bani Naeemah و همکاران در سال 2017 الگوی انتشار آلاینده CO و PM10 ناشی از خودروها که به وسیله مدل محاسبه شد، نشان داد که بیشترین مقدار انتشار به مناطق مرکزی شهر و مراکز تجاری و اداری، اختصاص دارد و در نواحی حاشیه ای شهر بسیار کم و حتی صفر محاسبه شده است. در این پژوهش نیز در مقیاس شهر با توجه به باد غالب محدوده، تمرکز آلاینده‌ها در مرکز(با رنگ قرمز) و بخش شمال شرقی و جنوب غربی از تمرکز کمتری(رنگ نارنجی) برخوردار است و در محدوده ۱۰ کیلومتری با وجود باد غالب به سمت جنوب غربی اما وجود توپوگرافی و رشته کوه ها، آلاینده‌ها را به بخش شمالی سوق می‌دهند.

پرواضح است که خصوصیات شهرسازی یک بافت شهری، نظیر تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، کاربری‌ها و تراکم ترافیک بر روی مدلسازی تاثیر گذار است. در پژوهش Chao و همکاران در سال 2013 نتایج نشان داد که پراکندگی آلاینده هوا، در شهرستان‌های متراکم را می‌توان با تفکیک ساختمان‌ها و ایجاد تخلخل بهبود داد. همچنین نتایج نشان داد که در پراکندگی سطح آلاینده‌ها در شهرهای متراکم هم جهت باد غالب و هم نفوذپذیری شهری بسیار مهم است. در این پژوهش نیز از جمله پیشنهادات کلی که می‌توان در برنامه ریزی شهر جدید شهریار به کاربست تا از غلظت آلاینده‌های احتمالی کاست: توجه ویژه به توزیع فضایی از جمله تخصیص کاربری‌های فضای سبز به صورت افقی و عمودی به عنوان ایجاد فضای تنفس، اعمال پهنه‌های تراکمی این فاز به ویلایی و آپارتمانی با سطح اشغال کم‌تر از ۷۰ درصد و از دو تا سه طرف باز به ویژه در بخش مرکزی که غلظت

آلاینده‌ها در آن بالاست. به حداقل رسیدن کاربری‌های صنعتی در اطراف شهر و جهت گیری معابر و قطعات با زاویه ۱۵ درجه به جهت شرق به منظور کمک جریان باد به جلوگیری از حبس آلاینده‌ها است. امید است از نتایج این پژوهش می‌توان، در ارائه راهکارهای دقیق و راهگشا در برنامه‌ریزی فازهای بعدی این شهر استفاده نمود و گامی اندک در جهت ارتقاء طرح و موفقیت آن برداشت.

منابع

1. Atabi, F. et al., 2014. Modeling of CO Emission Distribution Modeling Using AERMOD Software at South Pars 4 Gas Refinery, Journal of Environmental Health Engineering, Vol. 1, No. 4.
2. Bani Naeemah, S., Rafiee, M., Karimi, S., Rasekh, A.R., 2017. Estimation of Distribution of Contaminants from Removable Air Pollution Sources (Study Area: Ahvaz). Journal of Environmental Science and Technology, 19 ((Special Issue 5)), 67-76. doi: 10.22034 / jest.2017.11218
3. Chao Y., Edward N., Leslie K., 2013. Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies.
4. Eamid, M., 2009. Modeling of emissions produced by BooAli Sina Petrochemical Complex. Master Thesis Civil-Environmental Engineering, Tehran university.pp1-15(in Persian)
5. Faraz, E., 2012. Comparison of Mobile Pollution Resource Production with Different Traffic Scenarios by IVE Software. BS Project. Faculty of Mechanical Engineering. Sharif University of Technology.
6. Faraz, E., Samira, M., Masoud, H., 2012. Estimation of the impact of traffic load on pollution distribution in a Tehran highway. National Conference on Air and Sound Pollution Management. Sharif University of Technology.
7. ISSRC, IVE Model User's Manual Version 2.0. 2008.
8. Jampana, S. S., Kumar, A., Varadarajan, C., 2004. "Application of the United States Environment Protection Agency's AERMOD Model to an Indusrial Area", Environmental Progress, Vol 23, pp.141-152.
9. Khabari, Z., Nejad Korki, F., Talebi, S., 2016. Development of Air Pollution Emission Model (AERMOD) in MATLAB software. Journal of Natural Environment, 69 (2), 377-399. doi: 10.22059 / jne.2016.59767
10. Mansouri, N., Biramipour, F., Abdollahi, A., 2016. Environmental Impact Assessment of High Capacity Vehicle Lines on Highways - Case Study of Shahid Hemmat Highway in Tehran. 12th International Conference on Transportation Engineering and Traffic.
11. Moeen al-Dini, M., Talashi A., Saleh M., Azimi Yancheshmeh, R., 2017. Spatial modeling of air pollutants emission from mobile sources in Karaj metropolis. Journal of Natural Environment, 70 (4), 935-947. doi: 10.22059 / jne.2017.226747.1334
12. Mou, J., Zhao, X., Fan, J., Yan, Z., Yan, Y., Zeng, D., ... & Fan, Z. 2018. Temporal and spatial distribution of air pollution in Shenzhen City during 2014-2016. Wei sheng yan jiu= Journal of hygiene research, 47(2), 270-276.
13. Mohan, M., Bhati, S., Sreenivas, A., & Marrapu, P., 2011. Performance evaluation of AERMOD and ADMS-urban for total suspended particulate matter concentrations in megacity Delhi. Aerosol and Air Quality Resarch, 11(7), 883-894.
14. Rahman, H., 2014. Monitoring and Modeling of Suspended Particulate Matter from Abyek Cement Factory and Risk Assessment of Suspended Particle Pollutants in Suburbs", M.Sc., University of Tehran.
15. Salimian, M., 2011. "Determination of Volatile Organic Compounds Emissions from Pars Oil and Gas Company's Phase 9 and 10 Fluid Storage Tanks with TANKS 4.0 Software and Modeling the Distribution of these Pollutants by AERMOD Model", MSc in Environmental Engineering, University of Tehran.
16. Song, R., Yang, L., Liu, M., Li, C., & Yang, Y., 2019. Spatiotemporal Distribution of Air Pollution Characteristics in Jiangsu Province, China. Advances in Meteorology.
17. Tang, X., Zhang, Y., Yi, H., Ma, J., Pu, L., 2012. Development a detailed inventory framework for estimating major pollutants emissions inventory for Yunnan Province, China. Atmospheric Environment 57, 116-125.