



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

۲۱-۴۰

مقاله پژوهشی

## بررسی تأثیر صنایع موجود و در دست احداث شهر اراک بر کیفیت هوای شهر با استفاده از مدل ADMS

جلیل بادام فیروز<sup>۱\*</sup>، علیرضا رحمتی<sup>۲</sup>، نوشین دانش پژوه<sup>۳</sup>، رویا موسی زاده<sup>۱</sup> و رضا میرزایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> گروه علمی اقتصاد محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> گروه علمی ارزیابی و مخاطرات محیط زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران  
<sup>۴</sup> گروه نظارت و پایش، بخش محیط زیست انسانی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان مرکزی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

بادام فیروز، ج.، ع.ر. رحمتی، ن. دانش پژوه، ر. موسی زاده و ر. میرزایی. ۱۴۰۱. بررسی تأثیر صنایع موجود و در دست احداث شهر اراک بر کیفیت هوای شهر با استفاده از مدل ADMS. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۱): ۲۱-۴۰.

**سابقه و هدف:** اراک یکی از هشت کلان شهر آلوده ایران به حساب می آید که آلودگی آن به طور عمده تحت تأثیر فعالیت صنایع مختلف مستقر در شهر یا حومه آن می باشد. با استفاده از مدل سازی آلودگی هوا می توان اثر انتشار ذرات معلق و گازهای ناشی از فعالیت های صنایع مختلف را بر محیط زیست منطقه برآورد نمود. این تحقیق سعی در بررسی تأثیر صنایع موجود و در دست احداث شهر اراک بر کیفیت هوای این شهر با استفاده از مدل ADMS به عنوان مدل پر کاربرد و مورد وثوق سازمان حفاظت محیط زیست دارد.

**مواد و روش ها:** با توجه به اینکه در شهر اراک منابع کانونی از منابع اصلی آلودگی هوا می باشند، برای مدل سازی آلودگی هوای این شهر از مدل ADMS-5.2 استفاده و ۱۷ صنعت بزرگ (شامل ۹۸ دودکش) واقع در محدوده شهر به عنوان نقاط آلاینده در نظر گرفته شدند. افزون بر اطلاعات انتشار، اطلاعات هندسی دودکش شامل ارتفاع و قطر دهانه آن و درجه حرارت هوای خروجی نیز وارد مدل شد. به منظور صحت سنجی نتایج به دست آمده از مدل سازی، نتایج اندازه گیری های ایستگاه های محیطی با مقادیر برآورد شده از مدل سازی با استفاده از ضریب همبستگی خطی پیرسون مورد مقایسه قرار گرفت.

**نتایج و بحث:** نتایج به دست آمده گویای آن بود که غلظت گازهای CO، SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub> در همه ایستگاه ها در حد مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست است. پراکنش ذرات معلق (خطوط هم مقدار) در شهر اراک به سمت غرب و جنوب غربی تا شعاع ۳ کیلومتری در جهت باد غالب و در محدوده شازند به سمت غرب تا شعاع ۱ کیلومتری در جهت باد غالب و به سمت جنوب غرب تا ۵

\*Corresponding Author: Email Address. badam@rcesd.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1022>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.1.2.1>

کیلومتری در جهت باد نیمه غالب صورت گرفته است. سپس به غلظت زمینه منطقه یعنی ۱۹/۱ میکروگرم رسیده است. تجمع خطوط هم مقدار گاز SO<sub>2</sub> در کانون آلودگی شازند تا شعاع ۷ کیلومتری در جهت غرب و تا شعاع ۱۰ کیلومتری در جهت جنوب غرب مشاهده می‌شود. تجمع خطوط هم مقدار گاز NO<sub>2</sub> مشابه گاز SO<sub>2</sub> می‌باشد. شعاع تأثیر گاز CO از اراک به سمت شازند کشیده شده است. تجمع خطوط هم مقدار گاز CO در اراک تا شعاع ۵ کیلومتری در جهت غرب و جنوب غرب صورت گرفته است. تجمع خطوط هم مقدار گاز H<sub>2</sub>S در شازند تا شعاع ۵ کیلومتری در جهت غرب و جنوب شرق و غربی می‌باشد. به‌طور کلی بخشی از اختلاف بین نتایج نمونه‌برداری و مدل‌سازی نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده‌ای است که در مدل دیده نشده و خارج از منابع آلاینده کارخانه‌ها است. در بیشتر ایستگاه‌ها نتایج مدل‌سازی و اندازه‌گیری گاز SO<sub>2</sub> اختلاف زیادی نداشت و ضریب همبستگی داده‌ها بالاست که بیانگر دقت محاسبات و نقش پررنگ صنایع در نظر گرفته شده بر غلظت این آلاینده‌ها است. همچنین، در بیشتر ایستگاه‌ها نتایج اندازه‌گیری محیطی گاز NO<sub>2</sub> نسبت به مدل‌سازی کمتر بود که نشان می‌داد صنایع، سهم بیشتری در انتشار این گاز در آن نقاط داشته است. احتمالاً به دلیل در نظر گرفتن صنایع در دست احداث، انتشار این آلاینده بیشتر از مقدار موجود تخمین زده شده است. غلظت اندازه‌گیری محیطی گاز CO در همه ایستگاه‌ها بیشتر از نتایج مدل‌سازی است. صنایع، سهم کمی در بار آلودگی این آلاینده دارند و در منطقه‌های شهری غلظت گاز مونوکسیدکربن به منابع متحرک و بار ترافیکی وابسته است.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، منحنی میزان‌های آلاینده‌های شهر نشان داد که کانون آلودگی در جنوب شرقی اراک و در مجموعه پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی قرار گرفته است. با توجه به اورلی کانتور پراکنش گاز و ذرات، تعدادی از نقاط که در تمام کانتورها در نزدیکترین فاصله به کانون آلودگی بوده است، به‌عنوان نقاط حساس و دو نقطه به‌عنوان ایستگاه شاهد و ۴ نقطه نیز به‌عنوان ایستگاه‌های در معرض آلودگی در هر دوره پیشنهاد شد.

**واژه‌های کلیدی:** پایش، اراک، مدل‌سازی، کیفیت هوا.

## مقدمه

کشور فعالیت واحدهای صنعتی با تکنولوژی‌های فرسوده و تردد خودروهای با سن بالا و فرسوده و نیز آلودگی ناشی از مصرف‌های بالای انرژی در بخش‌های خانگی و تجاری است، گرچه تأثیر آلودگی این منابع در بروز آلودگی هوا در شهرهای کشور متفاوت می‌باشد. با استفاده از مدل‌سازی آلودگی هوا می‌توان اثر انتشار ذرات معلق و گازهای ناشی از منابع آلاینده و فعالیت‌های صنایع مختلف بر محیط زیست منطقه را برآورد نمود. افزون بر این با مدل‌سازی می‌توان خلأهای اطلاعاتی موجود در اندازه‌گیری‌های محیطی را با روش آسان و انعطاف پذیر برطرف نمود و یا شرایط را پیش‌بینی کرد. در این مطالعه، آلودگی هوای شهر اراک و نقش صنایع مستقر و در دست احداث در ایجاد این آلودگی با استفاده از مدل ADMS-5.2 بررسی شده است.

## پیشینه تحقیق و مطالعات

کلانشهر اراک به دلیل وجود منابع زیاد انتشار آلودگی هوا

مسئله پیچیده آلودگی هوای کلان شهرها که بر اثر عامل‌های مختلفی در چند دهه اخیر به شکل کنونی درآمده است، نیازمند شناختی دقیق و مؤثر از منابع و عامل‌هایی است که موجب انتشار در سطح این شهرها گردیده است. کلان شهرها که به‌طور معمول به شهرهای با جمعیت بیشتر از یک میلیون نفر اطلاق می‌شود، دارای منابع آلوده کننده شهری زیاد هستند که به صورت‌های نقطه‌ای و متحرک می‌باشند. این شهرها وسایل نقلیه زیادی را در خود جای داده‌اند و از طرفی دارای واحدهای صنعتی کوچک و بزرگی هستند که سهم بسزایی در آلوده کردن هوای این شهرها را دارند (Rouhi and Khezri, 2014). از سال ۱۳۷۹ برنامه جامع کاهش آلودگی هوای کلان شهرها شکل گرفت و به دلیل اهمیت موضوع، در ماده ۶۲ قانون برنامه چهارم توسعه، به‌طور مشخص به موضوع آلودگی هوای شهر تهران و سایر کلان شهرها توجه شده است. اصلی‌ترین عامل‌های بروز آلودگی هوا در کلان شهرهای

حاصل از مدل ADMS را با نتایج پایش‌های مستقیم برای ارزیابی کیفیت هوای شهر کاوناس در لیتوانی مقایسه کردند. بنابر نتایج آن‌ها، تطبیق قابل قبولی بین خروجی‌های مدل و مشاهده‌های مستقیم وجود داشته و دقت مدل در پیش‌بینی این آلاینده مورد قبول گزارش شد. (Smith *et al.* (2017) نیز غلظت NO<sub>2</sub> محاسبه شده در مدل پراکندگی جوی ADMS را با استفاده از داده‌های دو سایت در آلاسکا ارزیابی کرد. در این بررسی دو طرح مخلوط شدن آبی و تدریجی ازون با پلوم آلاینده و اثر آن بر غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> بررسی شده است. هر دو طرح به لحاظ آماری عملکرد خوبی داشته‌اند و در حالت اختلاط آبی غلظت‌های بالاتر NO<sub>2</sub> به دست آمده است. افزون بر مدل ADMS، مدل AERMOD نیز از مدل‌های پراکنش پرکاربرد است که در تحقیق‌های مختلفی عملکرد این دو مدل با هم مقایسه و بررسی شده است. (Neshuku (2012 کاربرد دو مدل جوی AERMOD و ADMS در مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوای ناشی از معدنکاوای معدن‌های روباز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده گویای آن بود که مدل ADMS خروجی‌های قابل اعتمادتری نسبت به مدل AERMOD دارد. (Fawole *et al.* (2018) نیز با استفاده از دو مدل حساسیت پراکنش و غلظت آلاینده‌ها نسبت به شرایط هواشناسی غالب، ترکیب سوخت، اندازه دودکش را با استفاده از دو مدل AERMOD و ADMS بررسی کردند. در این مطالعه که در منطقه دلتای نیجر (نیجریه) انجام شده، غلظت آلاینده‌های مدل‌سازی شده توسط ADMS بیشتر از مقادیر مدل‌سازی شده AERMOD گزارش شده اما هر دو مدل الگوی پراکنش مشابهی در اطراف دودکش محاسبه کرده‌اند. (Ghaemifar and Moghanlo (2017) نیز عملکرد دو مدل AERMOD و ADMS در مدل‌سازی مواد رادیواکتیو را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که نرم افزار ADMS کاربری تخصصی و در عین حال آسان تری برای مدل‌سازی مواد رادیواکتیو دارد.

در بیشتر سال‌ها بیش از ۵۰ درصد روزها ناسالم می‌باشد و هم اکنون جزء ۸ شهر آلوده کشور است (Ansari, 2015). قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک و مجاورت با کانون‌های مهم فرسایش بادی بویژه تالاب کویری میقان نیز بر مشکل آلودگی هوای این کلانشهر افزوده است (Ansari and Jamshidi, 2018). فعالیت صنایع مختلف در اراک می‌تواند بر محیط زیست اطراف خود اثر گذار باشد. (Karam *et al.* (2014 گزارش دادند قرارگیری صنایع در مسیر بادهای غالب و بادهای محلی شرق سبب ورود آلودگی هوا به داخل شهر شده و وارونگی هوا سبب انباشت و تشدید این آلاینده‌ها می‌گردد. (Hadipour and Naderi (2017 نیز ضمن نقد جانمایی فعلی شهری اراک، پیشنهاد جابجایی صنایع آلاینده مستقر در حومه شهر را مورد تأکید قرار داده است. (RezaieAshtiani and Hadi (2005 در نتیجه‌گیری مشابه اعلام کرده‌اند بیشتر صنایع مستقر در شهر اراک، در افزایش آلودگی هوای شهر مشارکت دارند. این مشارکت در افزایش آلودگی شهر هم به جهت فعالیت صنایع و هم از جنبه تبدیل باغ‌ها و مزرعه‌ها به کارخانجات و فضاهای شهری مطرح است.

تاکنون روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای برآورد غلظت و پراکنش آلاینده‌های هوا ارائه شده است. از بین مدل‌های ارائه شده، سیستم مدل‌سازی پراکنش اتمسفر (ADMS) که توسط مؤسسه تحقیقات محیط زیستی کمبریج توسعه یافته است، یکی از مدل‌های مورد تأیید سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا است. این مدل در مطالعات زیادی به کار رفته و دقت قابل قبولی در پیش‌بینی آلاینده‌های جوی دارد. (Nagendra *et al.* (2012 کاربرد مدل ADMS را در بررسی پخش آلاینده‌های منتشر شده از وسایل نقلیه در کلانشهرهای هند و انگلستان مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که این مدل قادر به پیش‌بینی آلاینده‌های هوا با دقتی قابل قبول است. (Dédélè and Miškinytė (2015) دقت داده‌های پیش‌بینی NO<sub>2</sub>

گونگونی محصول‌های صنعتی، نخستین، از لحاظ وجود صنایع مادر، دومین و به‌طور کلی چهارمین قطب صنعتی کشور محسوب می‌شود. این شهر به‌واسطه وجود صنایع مادر و بزرگ و کوچک در مجموع با تولید ۶۵ درصد تجهیزات انرژی کشور، وجود بزرگترین کارخانه تولیدکننده آلومینیوم کشور و وجود بزرگترین معدن سدیم سولفات کشور، به‌عنوان پایتخت صنعتی ایران شناخته شده است. از آنجایی که صنایع روزانه مقادیر فراوانی مواد آلاینده به هوا منتشر می‌سازند، بنابراین استقرار نامناسب این صنایع می‌تواند موجب تشدید پدیده آلودگی هوا در این شهر شود. در این مطالعه، آلودگی هوای شهر اراک و نقش صنایع مستقر و در دست احداث در ایجاد این آلودگی با استفاده از مدل ADMS-5.2 بررسی شده است. بنابر مطالعات ارائه شده، مدل ADMS-5.2 یکی از بهترین مدل‌های پراکنش گاوسی موجود است که عملکرد مناسبی در مقیاس محلی دارد. در مدل‌سازی انجام شده، با توجه به اهمیت منابع کانونی، میزان انتشار منابع آلاینده نقطه‌ای در کارخانه‌ها، صنایع و بخش تبدیل انرژی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری دودکش‌ها محاسبه و وارد مدل شده است. افزون بر اطلاعات انتشار، اطلاعات هندسی دودکش شامل ارتفاع و قطر دهانه آن و درجه حرارت هوای خروجی نیز وارد مدل شد. برای صحت‌سنجی نتایج مدل، غلظت‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سنجش محیطی با نتایج مدل‌سازی مقایسه شده است. پس از آن، نتایج مدل‌سازی به‌صورت کانتورهای پراکنش آلاینده‌ها در شعاع تأثیر کارخانه‌ها محاسبه و شعاع تأثیر منبع آلودگی بررسی شده است. در نهایت براساس این کانتورها نقاطی به‌عنوان ایستگاه‌های در معرض آلودگی پیشنهاد شده است.

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر اراک، مرکز استان مرکزی است که در طول جغرافیای ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه ۰۶ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این شهر در

مدل ADMS در مطالعات مختلفی در داخل کشور به‌کار رفته که تعدادی از آن‌ها در ادامه به‌صورت مختصر آمده است. (Semnani (2014) در تحقیقی ضمن استفاده از مدل ADMS اقدام به مدل‌سازی آلاینده‌های منتشر شده از هواپیماها در فرودگاه امام خمینی (ره) و مهرآباد نمود و براساس داده‌های سال‌های ۸۹ تا ۹۲ (۴سال)، فاکتور آلاینده‌گی این دو فرودگاه را طی این چهار سال به تفکیک مهرآباد ۹۰/۳۳۷۲۰ تن و فرودگاه امام (ره) ۷/۶۹۳۲ تن گزارش کرد. (Kalhor and Ghaemifar (2017) پراکنش آلودگی از مجتمع مس خاتون آباد را با استفاده از مدل ADMS مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مدل‌سازی گویای انطباق ماکزیمم غلظت در سطح زمین با نتایج نمونه برداری خاک و میزان همبستگی بالای نتایج برای آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ،  $H_2S$ ،  $CO$ ،  $NO_2$  و  $SO_2$  بوده است. (Anabi et al. (2007) از مدل ADMS برای مدل‌سازی ذرات در منطقه ۲۲ شهر تهران استفاده کردند. نتایج این مطالعه بیانگر عملکرد مناسب مدل در منطقه‌های شهری (با لحاظ نمودن اثر زبری سطح، موانع و ساختمان‌ها) و همخوانی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته است. (Agrawal et al. (2021) روند آلودگی ذرات معلق را در طی یک سال در سه شهر کوچک هند مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که سطح‌های آلودگی در بیشتر شهرهای مورد بررسی از حد استاندارد توصیه شده، فراتر رفته است و غلظت ذرات معلق در هوای محیط، الگوی روزانه متمایزی از دمای هوای محیط را نشان می‌دهد. (Lee et al. (2020) ضمن بررسی ارتباط بین عامل‌های محیطی و شدت آلاینده‌ها در شهر سانوی<sup>۲</sup> مالزی به این نتیجه دست یافتند که غلظت  $CO_2$  در صبح و  $NO_2$  در عصر، افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. غلظت  $CO_2$  با دمای هوا و سرعت باد و غلظت  $NO_2$  با دمای هوا ارتباط معناداری دارند.

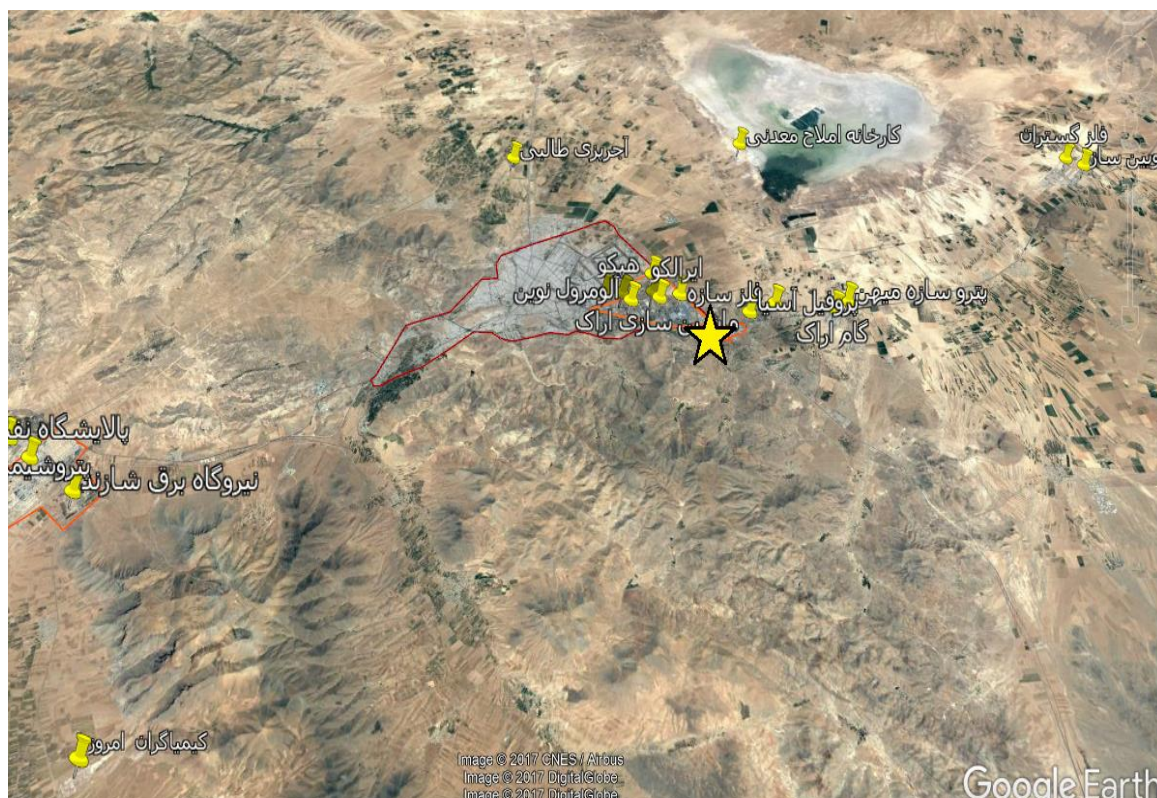
#### طرح مسئله و ضرورت تحقیق

اراک یکی از شهرهای صنعتی ایران است که از لحاظ

بوده که جهت وزش بادهای غالب مانع از رسیدن آلودگی آلومینیوم به شهر می‌شد و کمابیش معادل میزان آلودگی را با درختکاری اطراف آن جبران نمودند و بعدها که ماشین سازی سایر کارخانجات در شهر استقرار یافتند گرچه فضای سبز شهر با ایجاد پارک افزایش یافت ولی طی سال‌ها این صنعتی شدن سریع، اراک را جزء ۷ شهر با هوای آلوده تبدیل کرد (RezaieAshtiani and Hadi, 2005).

در حال حاضر بیش از ۱۰۶۵ واحد صنعتی در محدوده ۳۰ کیلومتری شهر اراک وجود دارد که در این مطالعه، ۱۷ صنعت بزرگ (۹۸ دودکش) واقع در محدوده شهر اراک مورد ارزیابی قرار گرفته است. بخش عمده این صنایع در ناحیه جنوب شرقی شهر قرار دارد و مجموعه پالایشگاهی شازند نیز به‌عنوان یکی از منابع آلاینده اصلی در جنوب غرب شهر اراک واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت منابع انتشار نشان داده شده است.

ارتفاع ۱۷۵۵ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد و شرایط اقلیمی آن به‌گونه‌ای است که از سه سمت به ارتفاعات و از یک سو به کویر میقان محدود شده است. این شرایط جغرافیایی در فصل پاییز و زمستان که همراه با وقوع شرایط آب و هوایی پایدار و پدیده وارونگی است، سبب ایجاد مکرر شرایط ناسالم آب و هوایی می‌شود. اراک به‌عنوان پایتخت صنعتی ایران شناخته می‌شود که به لحاظ آلاینده‌های هوایی یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور است. از سال ۱۳۵۰ روند صنعتی شدن اراک آغاز شد و به مرور صنایع جدید و صناعی که ملزم جابه جایی شده بودند وارد این شهر شدند. اولین صنعت بزرگ که در این شهر مستقر شد، تولید آلومینیوم بود که مقداری از مزرعه‌ها و زمین‌های بایر را به کارخانه تبدیل نمود. ایجاد این صنعت که بدون ارزیابی محیط زیستی بوده شاید برای شرایط آن زمان به‌نسبت مناسب بوده زیرا به فاصله کمابیش ۵ کیلومتری شمال شرقی به گونه‌ای مستقر



☆ ایستگاه سینوپتیک اراک

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت صنایع اصلی مورد بررسی  
Fig. 1- Study area and location of the main industries under study

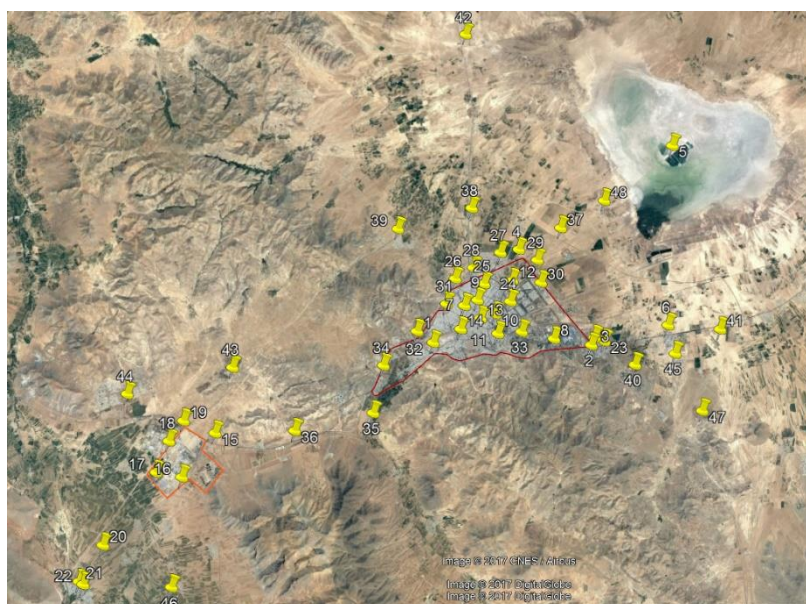
## مواد و روش‌ها

مدل ADMS-5.2 یک مدل پراکنش کاربردی و کوچک مقیاس است که طیف وسیعی از منابع شناور و ساکن در اتمسفر را مدل می‌کند. نسل جدید مدل پراکنش از دو پارامتر برای توصیف لایه مرزی اتمسفر به نام‌های ارتفاع لایه و طول لایه مومین ابوخف و پراکنش غلظت گوسی در شرایط همرفتی استفاده می‌نماید. الگوریتم‌های به کار رفته در این مدل مواردی مانند اثرهای ساختمان اصلی سایت، توپوگرافی زمین، نشست خشک و تر، واکنش‌های شیمیایی بین ازون و NO و NO<sub>2</sub> را در محاسبات در نظر می‌گیرد. واکنش فتولیز NO<sub>2</sub> و اکسیداسیون NO توسط O<sub>3</sub> مهمترین واکنش فوتوشیمیایی محلی است. مطالعات انجام شده در مدل‌های مقیاس محلی بیانگر دقت مناسب این مکانیزم در پیش‌بینی غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> است. اگرچه ساده سازی مکانیزم‌های شیمیایی اتمسفر سبب تخمین بیشتر مقدار این آلاینده نسبت به مقادیر مشاهداتی می‌شود (Smith *et al.*, 2017). این مدل تا شعاع ۶۰ کیلومتری پایین دست منبع معتبر می‌باشد. افزون بر این تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از منبع نیز می‌تواند نتایجی با دقت کمتر ولی کاربردی ارائه دهد. کاربرد معمول این مدل در برنامه‌ریزی، ارزیابی ارتفاع دودکش، مدل‌سازی بو، ارزیابی اثرهای محیط زیستی و برنامه ایمنی برای قانون‌گذاران، دپارتمان‌های دولتی، مشاوران، کارخانجات و صنایع است.

در شهر اراک منابع کانونی از منابع اصلی آلودگی است. در نتیجه مدل‌سازی صحیح پراکنش ذرات و گازهای شهر اراک، مستلزم برآوردی صحیح از میزان آلاینده منتشر شده از صنایع آلاینده است. در این بررسی، دودکش‌های صنایع مختلف به صورت منبع نقطه‌ای در نظر گرفته شده است و افزون بر اطلاعات

انتشار، اطلاعات هندسی دودکش شامل ارتفاع و قطر دهانه آن و درجه حرارت هوای خروجی نیز وارد مدل شده است. پس از آن مدل براساس داده‌های هواشناسی و توپوگرافی ورودی، غلظت نهایی آلاینده‌ها در سطح زمین را برای منابع انتشار ورودی در منطقه مورد مطالعه محاسبه کرده است. آلاینده‌های مدل‌سازی شده شامل دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق TSP، مونوکسید کربن و سولفید هیدروژن هستند. برای بررسی صحت نتایج مدل‌سازی، غلظت‌های محاسبه شده توسط مدل با غلظت‌های اندازه‌گیری شده، مقایسه شده‌اند. در شکل موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری غلظت آلاینده آمده است. پالایش آلاینده‌ها به مدت یکسال در سال ۱۳۹۶ انجام شده است. لازم به بیان است از آنجا که در فرایند مدل‌سازی، منابع با جزئیات در مدل تعریف شده، غلظت تخمینی فقط تحت تأثیر منابع انتشار تعریف شده است. در چنین حالتی میزان اختلاف در نتایج نمونه‌برداری و مدل‌سازی نشان دهنده وجود منابع خواهد بود که در مدل دیده نشده و خارج از منابع آلاینده کارخانه است. چراکه در فرایند اندازه‌گیری محیطی با تمام تمهیدات جانمایی ایستگاه، احتمال اثرپذیری برخی ایستگاه‌ها تحت تأثیر سایر عامل‌های محیطی از جمله وجود منابع انتشار مستقل از کارخانه در آن محدوده وجود دارد. بنابراین احتمال اینکه غلظت سنجش شده فقط از مجتمع نباشد، وجود دارد. از طرف دیگر افزایش تعداد نقاط و تواتر پایش در این محدوده توجیه اقتصادی ندارد. مدل‌سازی هوا می‌تواند با برطرف کردن خلأهای اطلاعاتی و محاسبه نقاط بحرانی در منطقه، کمک زیادی به تعیین محل پیشنهادی برای نمونه‌برداری کند.





شکل ۲- ایستگاه‌های اندازه‌گیری محیطی وارد شده در مدل‌سازی آلودگی هوای شهر اراک و حومه

Fig. 2 - Environmental measurement stations included in the air pollution modeling of Arak and its suburbs

### منابع انتشار آلاینده

شده از دودکش‌های نیروگاه، پالایشگاه و پتروشیمی از طریق سازمان حفاظت محیط زیست اراک تهیه شده است. افزون بر میزان انتشار آلاینده‌ها، برای تحلیل و مدل‌سازی نحوه پراکنش گازهای آلاینده از صنایع اطلاعاتی نظیر مشخصات صنعت، ارتفاع و قطر دودکش، سرعت و دمای گاز نیز اندازه‌گیری شده و در مدل‌سازی بکار رفته است.

دودکش‌های ۱۷ صنعت بزرگ واقع در محدوده شهر اراک به‌عنوان منابع انتشار در مدل وارد شده که در جدول ۱ فهرست شده است. میزان آلودگی ناشی از منابع به‌صورت بار آلودگی وارد مدل شده که برای تخمین آن، مقدار غلظت متوسط داکت در دبی گاز خروجی از دودکش ضرب شد. اطلاعات مربوط به غلظت آلاینده‌های منتشر

جدول ۱- منابع انتشار آلودگی در محدوده شهر اراک

Table 1. Emission sources in Arak City

No.	نام صنعت Name of the industry	تعداد دودکش‌ها Number of chimneys
1	آذر آب Azarab	3
2	پالایشگاه نفت شازند Shazand Oil Refinery	38
3	نیروگاه حرارتی Thermal Power Plant	4
4	پتروشیمی شازند Shazand Petrochemical Company	11
5	روئین ساز Roueensaz	1
6	فلزگستران نور Felez Gostaran-e Noor	2
7	کارخانه املاح معدنی ایران Iran Salts Mining Company	5
8	ماشین سازی اراک Machine Sazi Arak	13

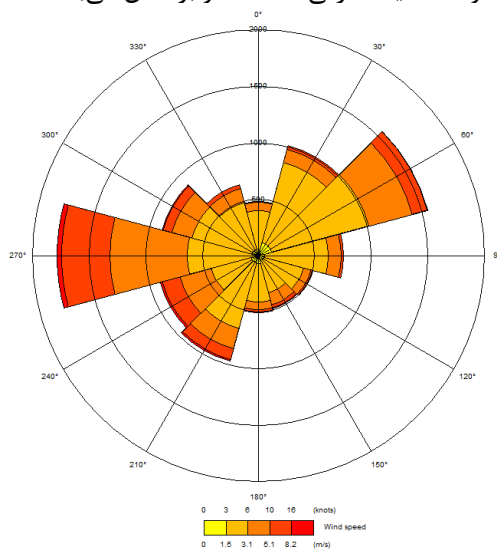
ادامه جدول ۱- منابع انتشار آلودگی در محدوده شهر اراک  
Table 1. Cont. Emission sources in Arak City

No.	نام صنعت Name of the industry	تعداد دودکش‌ها Number of chimneys
9	هیپکو HEPCO	2
10	واگن پارس Wagon Pars	4
11	ایرالکو Iranian Aluminium Company	8
12	پترو سازه مهین Petro Sazeh Mihan	1
13	شرکت صنعتی گام اراک Gam Arak Industrial Company	2
14	صنایع شیمیایی کیمیاگران Kimyagaran Chemical Industries	1
15	آجر پزی طالبی Talebi Brickyard	1
16	نورد آلومینیوم Aluminum Rolling Mills	1
17	پروفیل آسیا .Asia Profile Co	1

### داده‌های هواشناسی و جغرافیایی

مهمترین داده‌های هواشناسی که در مدل‌سازی بکار رفته سرعت و جهت باد، میزان بارندگی، رطوبت، دما و میزان ابرینگی هستند. این اطلاعات برای ایستگاه سینوپتیک اراک تهیه و در محل مربوطه به نرم افزار وارد گردید. این ایستگاه در نیش قطب صنعتی بخش شرقی شهر اراک در موقعیتی به طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی

و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۰۶ دقیقه شمالی قرار دارد. محدوده ایستگاه هواشناسی در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی اطلاعات هواشناسی مربوط به سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ و گلباد ایستگاه سینوپتیک شهر اراک (شکل ۳) نشان می‌دهد که جهت باد غالب برای شهر اراک از غرب به شرق و باد نیمه غالب از شمال شرقی به جنوب غربی و برعکس می‌باشد.



شکل ۳- گلباد شهر اراک برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶  
Fig. 3- Wind rose chart of Arak for the years 2011-2016



جدول ۲- استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان حفاظت محیط زیست

Table 2. Outdoor air quality standard of the Department of Environment

آلاینده Pollutant	غلظت (ppm) Concentration	دوره Period
مونوکسید کربن Carbon monoxide	35	ساعتی Hourly
	9	۸ ساعته 8 hours
دی اکسید نیتروژن Nitrogen dioxide	0.1	ساعتی Hourly
	0.053	سالانه Annually
دی اکسید سولفور Sulfur dioxide	0.075	ساعتی Hourly
	0.14	۲۴ ساعته 24 hours

بررسی غلظت متوسط گازهای CO، SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub> در کلیه ایستگاه‌ها و مقایسه آن با حد مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست نشان می‌دهد، میزان آلاینده مشاهداتی و مدل‌سازی کمتر از مقادیر استاندارد سازمان محیط زیست است. در مطالعه‌ای که (Mostafavi et al., 2019) با در نظر گرفتن منبع انتشار صنایع و حمل و نقل انجام دادند، غلظت آلاینده NO<sub>x</sub>، CO و SO<sub>2</sub> به ترتیب ۷/۷ برابر، ۲/۲ برابر و ۱۷/۵ برابر حد مجاز به دست آمده است.

در بیشتر ایستگاه‌ها، نتایج مدل‌سازی و اندازه‌گیری گاز SO<sub>2</sub> اختلاف زیادی ندارد. تنها در چند ایستگاه با کد St18، St19 (محدوده پتروشیمی) نتایج اندازه‌گیری بیشتر از غلظت مدل‌سازی است. وجود این اختلاف بین نتایج نمونه‌برداری و مدل‌سازی نشان‌دهنده تخمین انتشار کمتر از واقعیت و یا وجود منابعی است که در مدل دیده نشده و خارج از منابع آلاینده کارخانه است. در مورد گاز NO<sub>2</sub> نتایج اندازه‌گیری محیطی گاز در بیشتر ایستگاه‌ها کمتر از مقادیر مدل‌سازی است. این مسئله نشان‌دهنده سهم بالای صنایع در انتشار این گاز است که کمابیش با نتایج گزارش شده توسط (Mostafavi et al., 2021) همخوانی دارد که سهم صنایع را در انتشار NO<sub>2</sub> بیش از ۵۰ درصد می‌داند. کمتر بودن غلظت مشاهداتی نسبت به مدل‌سازی را می‌توان به مواردی مانند وجود خطای احتمالی در تخمین انتشار این گاز و یا منطبق

ورودی توپوگرافی مدل شامل اطلاعات عوارض زمینی شهر اراک و منطقه‌های اطراف آن بود. فایل ورودی مدل دارای ۴ ستون شامل شماره سطر، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع بر حسب مختصات جغرافیایی UTM بود و در قسمت عوارض زمینی با استفاده از گزینه توپوگرافی پیچیده به مدل معرفی شده است. نتایج به دست آمده از مدل‌سازی، توسط نرم افزار Surfer به صورت منحنی میزان‌های توزیع مقادیر، بر محدوده مورد مطالعه انطباق داده شد. در این قسمت از کار، از نرم افزار Google Earth و نیز سایت Google Map نیز استفاده شد.

## نتایج و بحث

در این بخش، غلظت‌های متوسط روزانه شبیه‌سازی شده در سطح زمین برای آلاینده‌های مختلف ارائه و با مقادیر اندازه‌گیری آن مقایسه شده است. پس از آن، تأثیر انتشار آلاینده از صنایع مفروض بر سطح آلودگی منطقه با استفاده از توزیع پراکنش آلاینده‌ها بررسی شده است. در نهایت بر مبنای کانتور پراکنش گاز و ذرات، نقاطی به‌عنوان نقاط حساس، ایستگاه شاهد و ایستگاه‌های در معرض آلودگی برای پایش آلاینده‌ها پیشنهاد شده است.

## صحت‌سنجی

نمودارهای مقایسه نتایج مدل‌سازی با پایش‌های محیطی در ادامه شکل آمده و با مقادیر استاندارد هر آلاینده مقایسه شده است. مقادیر استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان حفاظت محیط زیست برای غلظت آلاینده گازهای مونوکسید کربن، دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن در جدول آمده است. برای گاز H<sub>2</sub>S در هوای آزاد استاندارد تدوین نشده است. افزون بر این میزان آلاینده گزارش شده در حد صفر بوده که نشان‌دهنده سهم ناچیز صنایع در ورود گاز H<sub>2</sub>S به محیط شهری است.

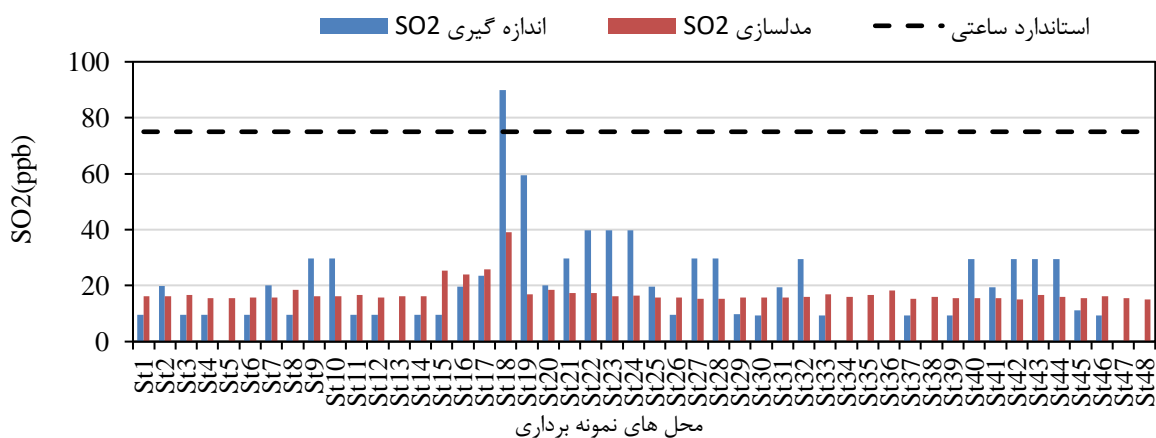
خوب و از ۰/۸۱ تا ۱ خیلی خوب است. برای آلاینده SO<sub>2</sub>، ۲۷ درصد داده‌ها از طریق معادلات خطی قابل تعریف است. ضریب همبستگی پیرسون داده‌ها برای این آلاینده ۰/۵۲ است که بیانگر رابطه نسبتاً قوی می‌باشد. این مقدار در حد قابل قبولی است و نشان دهنده دقت مدل‌سازی انجام شده و انتشار تخمینی است. می‌توان گفت صنایع در نظر گرفته شده نقش عمده‌ای در غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> دارند. در مورد آلاینده NO<sub>2</sub>، ضریب تعیین بسیار پایین است و بیشتر داده‌ها از طریق معادلات خطی قابل تعریف نمی‌باشند. اکسیدهای نیتروژن به‌همراه ترکیبات آلی فرار در فرایندهای شیمی اتمسفر مداخله دارند که این فرایندها به‌طور کامل در مدل تعریف نشده است. این موضوع می‌تواند سبب ایجاد خطا در مدل‌سازی این آلاینده شود. اگرچه ضریب همبستگی محاسبه شده برای این آلاینده حدود ۰/۸۲ است که بیانگر همبستگی مثبت و رابطه بسیار قوی می‌باشد. برای آلاینده مونوکسیدکربن نمودار پراکنش، نشانگر رابطه ضعیف بین مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی است. برای این آلاینده ضریب همبستگی ۰/۱۷ به‌دست آمده که نشان دهنده همبستگی ضعیف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهدات است. همانطور که اشاره شد در منطقه‌های شهری غلظت گاز مونوکسیدکربن به بار ترافیکی وابستگی زیادی دارد و این همبستگی ضعیف نشان دهنده سهم پایین و نقش کم‌رنگ این صنایع در روند تغییرات غلظت این آلاینده است (شکل ۴).

نبودن شرایط دوره اندازه‌گیری با دوره مدل‌سازی مرتبط دانست. در همه ایستگاه‌ها نتایج اندازه‌گیری محیطی گاز CO نسبت به نتایج مدل‌سازی بسیار بالا است و صنایع، سهم خیلی کمی در تعیین بار این آلاینده شهری داشته‌اند. در منطقه‌های شهری غلظت گاز مونوکسیدکربن به بار ترافیکی وابسته است و با شرایط آب و هوایی مختلف نیز تغییر می‌کند (Mentese et al. 2020).

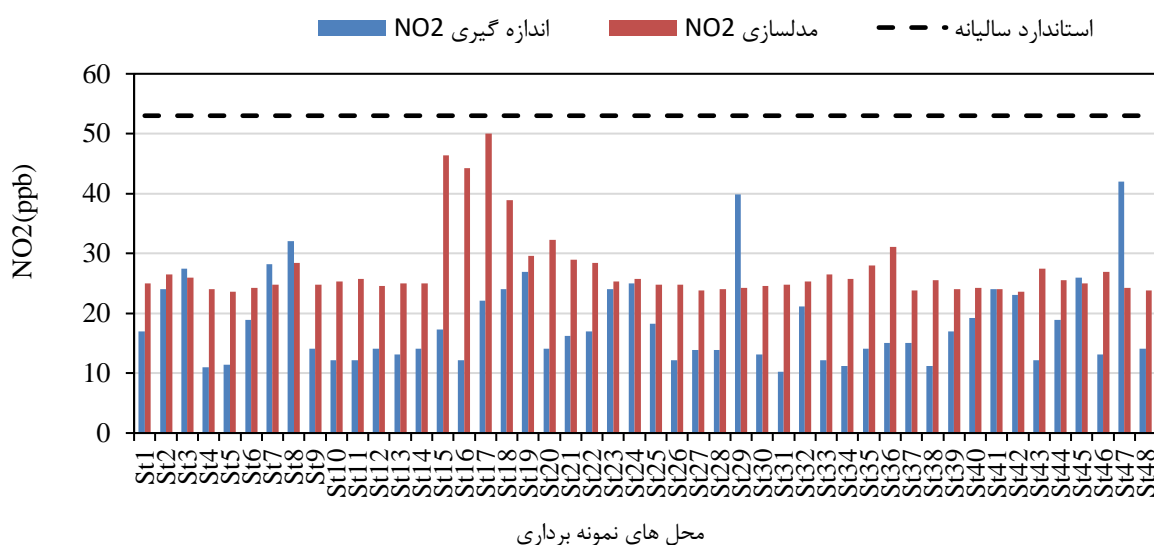
برای صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی، روند کلی داده‌ها با استفاده از نمودارهای پراکنش بررسی شده است. از این نمودار می‌توان برای شناسایی داده‌های پرت که به‌طور قابل ملاحظه با داده‌های دیگر تفاوت دارند، استفاده کرد. سپس ضریب همبستگی پیرسون نیز برای هر آلاینده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

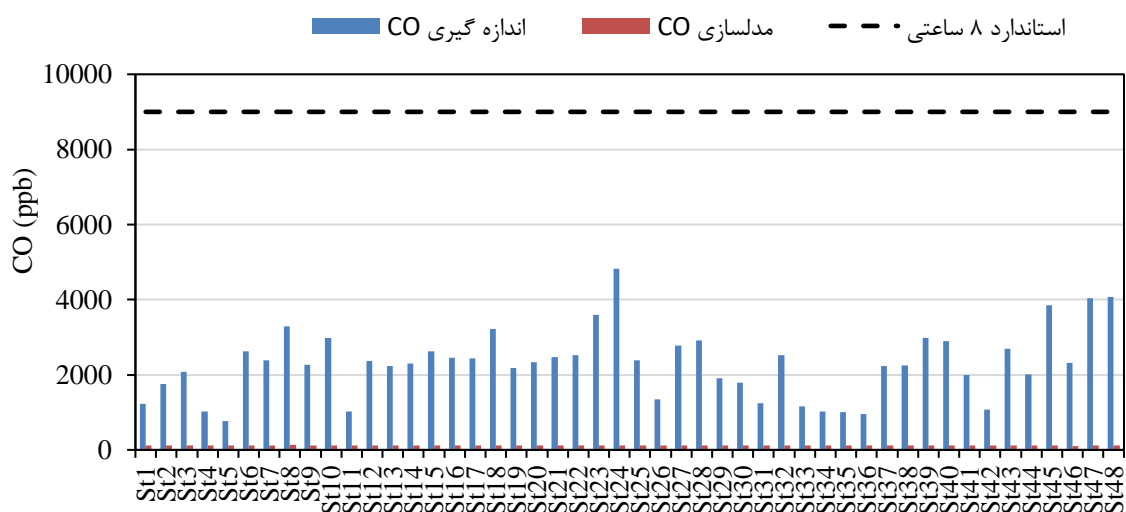
که در آن متغیرهای x و y به ترتیب غلظت اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده هستند. لازم به بیان است که این ضریب مستقل از واحد اندازه‌گیری متغیرهاست و مقادیر بین +۱ تا -۱ اختیار می‌کند. علامت ضریب همبستگی نشان‌دهنده نوع رابطه (مثبت یا منفی) است و مقدار آن بدون در نظر گرفتن علامت نشان‌دهنده شدت رابطه خطی است. به‌طور معمول رابطه برای مقادیر r که بین ۰ تا ۰/۲ است ضعیف، از ۰/۲۱ تا ۰/۴ تا حدودی، از ۰/۴۱ تا ۰/۶ نسبتاً مناسب، از ۰/۶۱ تا ۰/۸



شکل ۴- مقادیر غلظت متوسط اندازه‌گیری و مدل‌سازی شده برای آلاینده‌های گازی SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub> و CO در ایستگاه‌های مشاهداتی  
Fig. 4- Average concentration of measured and modeled SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO gaseous pollutants at the observation stations



محل های نمونه برداری



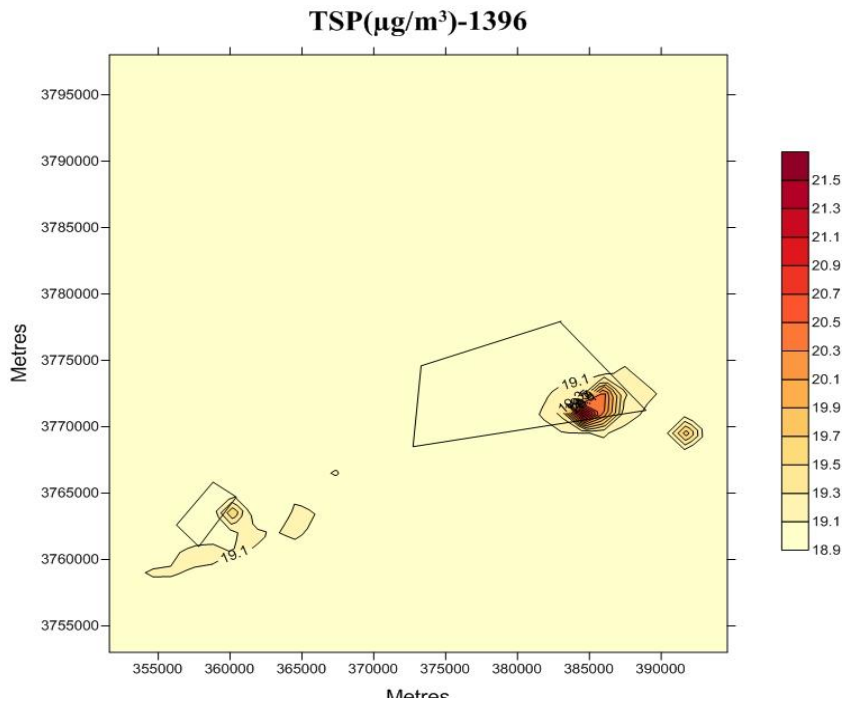
محل های نمونه برداری

ادامه شکل ۴- مقادیر غلظت متوسط اندازه‌گیری و مدل‌سازی شده برای آلاینده‌های گازی  $SO_2$ ،  $NO_2$  و  $CO$  در ایستگاه‌های مشاهداتی  
 Fig. 4 Cont.- Average concentration of measured and modeled  $SO_2$ ,  $NO_2$ , and  $CO$  gaseous pollutants at the observation stations

### منحنی پراکنش آلاینده‌ها

ناشی از نواحی صنعتی بر بخش‌ها و جهت‌های شمال، شمال غرب و شرق اثرگذار نیست. پراکنش ذرات معلق ناشی از صنایع محدوده شهر به سمت غرب و جنوب غربی تا شعاع ۳ کیلومتری در جهت باد غالب و نیمه غالب و در محدوده شازند به سمت غرب تا شعاع ۱ کیلومتری در جهت باد غالب و به سمت جنوب غرب تا ۵ کیلومتری در جهت باد نیمه غالب صورت گرفته است. سپس به غلظت زمینه منطقه که ۱۹/۱ میکروگرم در مترمکعب است، رسیده است.

در شکل نحوه پخش و پراکنش آلاینده ذرات معلق مورد مطالعه در محدوده شهر اراک نشان داده شده است. در منحنی میزان این آلاینده، تأثیر دو محدوده یکی در بخش شرقی شهر اراک و دیگری محدوده پالایشگاه و پتروشیمی مشخص است. کانون آلاینده‌گی در جنوب شرقی اراک و در مجموعه پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی قرار گرفته است. با توجه به توزیع غلظت این آلاینده، پراکنش ذرات معلق (خطوط هم مقدار) در شهر اراک ذرات معلق

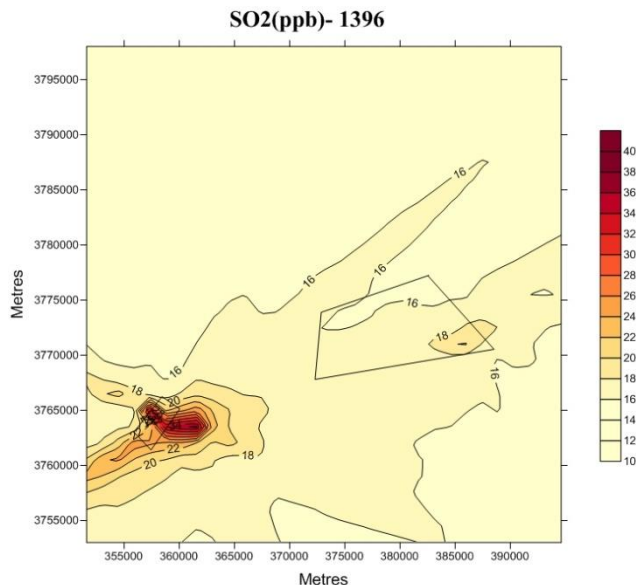


شکل ۵- پخش و پراکنش ذرات

Fig. 5 – Spatial distribution of particulate matter (PM)

کانون آلودگی با افزایش فاصله، اثر منبع بسیار کم می‌شود. در محدوده شازند شعاع تأثیر کانون آلودگی بیشتر از صنایع اراک بوده و شهر اراک را نیز تحت شعاع قرار داده است. در واقع پراکنش این گاز از محدوده شازند به سمت اراک ادامه داشته تا به غلظت زمینه منطقه که ۱۶ میکروگرم در لیتر است، رسیده است.

در شکل توزیع غلظت آلاینده  $\text{SO}_2$  در محدوده مدل - سازی آمده است. تجمع خطوط هم مقدار گاز  $\text{SO}_2$  در کانون آلودگی شازند تا شعاع ۷ کیلومتری در جهت غرب و تا شعاع ۱۰ کیلومتری در جهت جنوب غرب مشاهده می‌شود. در شهر اراک بیشتر شعاع پراکنش گاز  $\text{SO}_2$  کمتر از یک و در جهت غرب صورت گرفته است. در هر دو

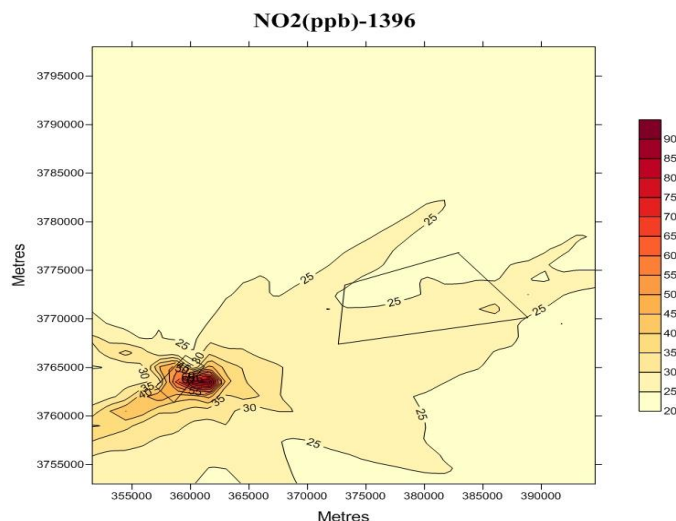


شکل ۶- پخش و پراکنش گاز  $\text{SO}_2$

Fig. 6 - Spatial distribution of  $\text{SO}_2$

غرب صورت گرفته است. در هر دو کانون آلودگی با افزایش فاصله، اثر منبع بسیار کم می‌شود. در محدوده شازند شعاع تأثیر کانون آلودگی بیشتر از صنایع شهر اراک است و شهر اراک را نیز تحت تأثیر قرار داده است. پراکنش این گاز از محدوده شازند به سمت اراک ادامه یافته تا به غلظت زمینه منطقه که ۲۵ میکروگرم در لیتر است، رسیده است.

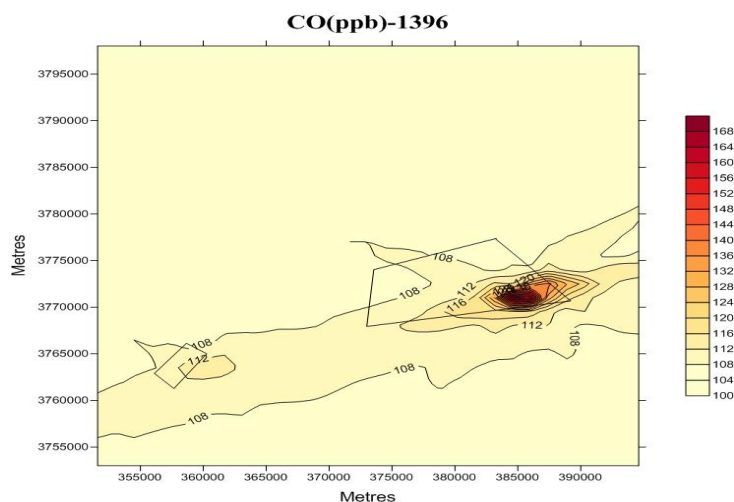
تجمع خطوط هم مقدار گاز  $\text{NO}_2$  در شکل نشان داده شده است. توزیع غلظت این آلاینده مشابه آلاینده  $\text{SO}_2$  می‌باشد. تنها تفاوت در مقدار غلظت است. پراکنش آلودگی شازند تا شعاع ۵ کیلومتری در جهت غرب و تا شعاع ۱۰ کیلومتری در جهت جنوب غرب مشاهده می‌شود. در شهر اراک بیشترین شعاع پراکنش گاز  $\text{NO}_2$  کمتر از یک و در جهت



شکل ۷- پخش و پراکنش گاز  $\text{NO}_2$   
Fig. 7 - Spatial distribution of  $\text{NO}_2$

کمتر از یک و در جهت غرب مشهود است. در هر دو کانون آلودگی با افزایش فاصله اثر منبع بسیار کم می‌شود. این پراکنش این گاز از محدوده اراک به سمت شازند ادامه داشته تا به غلظت زمینه منطقه که ۱۰ میکروگرم در لیتر است، رسیده است.

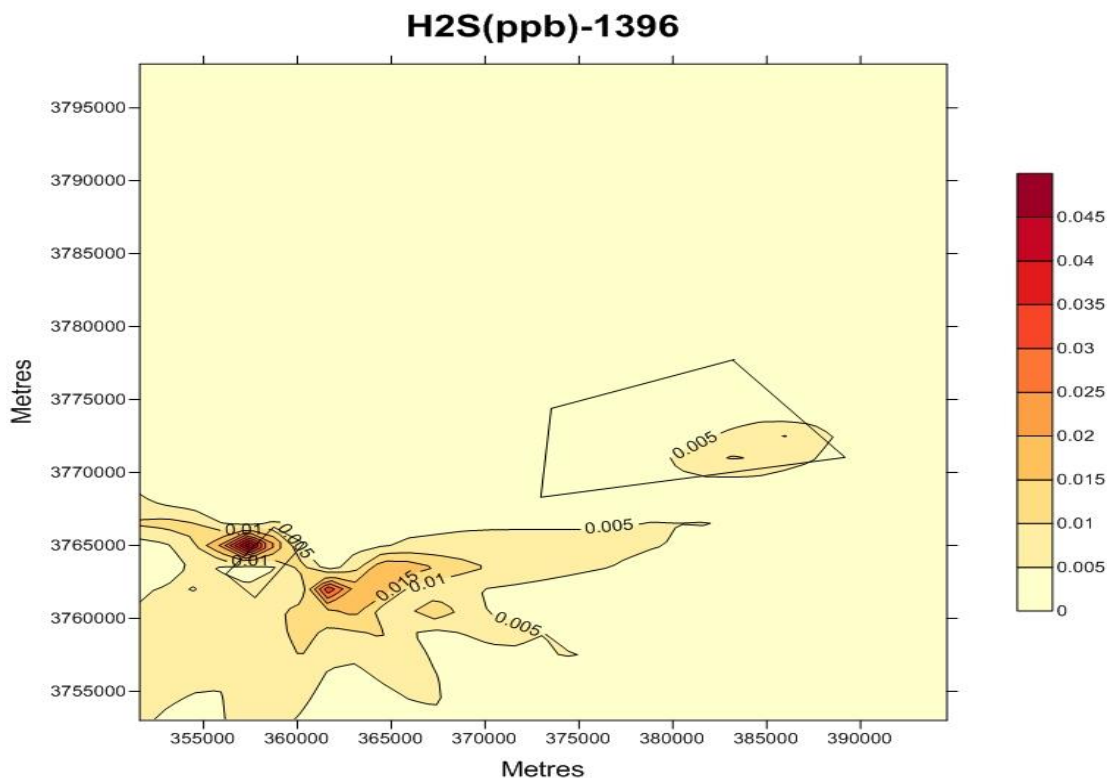
در شکل پراکنش آلاینده مونوکسیدکربن نشان داده شده است. شعاع تأثیر گاز CO از اراک به سمت شازند کشیده شده است. تجمع خطوط هم مقدار گاز CO در اراک تا شعاع ۵ کیلومتری در جهت غرب و جنوب غرب صورت گرفته است. در محدوده شازند شعاع پراکنش گاز  $\text{NO}_2$



شکل ۸- پخش و پراکنش گاز CO  
Fig. 8 - Spatial distribution of CO

جنوب شرق و غربی می‌باشد. در محدوده اراک شعاع پراکنش گاز  $H_2S$  کمتر از یک و در جهت غرب مشهود است. در هر دو کانون آلودگی با افزایش فاصله اثر منبع بسیار کم می‌شود. پراکنش این گاز به محدوده شهر اراک نرسیده است. پراکنش خطوط هم مقدار ادامه داشته تا به غلظت زمینه منطقه که  $0/005$  میکروگرم در لیتر است، رسیده است.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، پراکنش آلودگی گاز  $H_2S$  نسبت به بقیه گازها متفاوت است. تجمع خطوط هم مقدار این آلاینده در دو کانون آلودگی نیروگاه حرارتی و پتروشیمی می‌باشد. در پالایشگاه، غلظت  $H_2S$  بسیار ناچیز بوده است که بنابر توزیع غلظت محاسبه شده به این صورت دیده می‌شود. تجمع خطوط هم مقدار گاز  $H_2S$  در شازند تا شعاع ۵ کیلومتری در جهت غرب و



شکل ۹- پخش و پراکنش گاز  $H_2S$

Fig. 9 - Spatial distribution of  $H_2S$

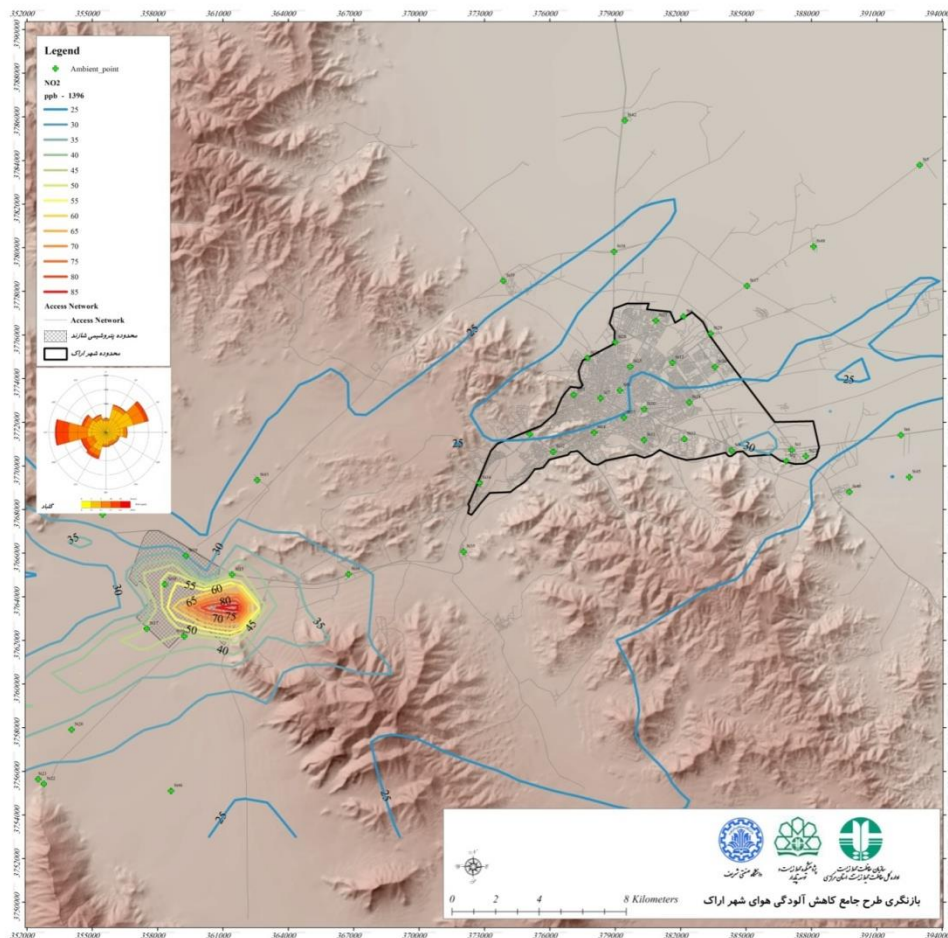
فاصله به کانون آلودگی بوده است، به عنوان نقاط حساس و دو نقطه به عنوان ایستگاه شاهد و ۴ نقطه نیز به عنوان ایستگاه‌های در معرض آلودگی پیشنهاد شده است. در جدول ۳ ایستگاه‌های پیشنهادی نشان داده شده است. شکل ۱۰ به عنوان نمونه اورلی کانتور مربوط به پراکنش گاز  $NO_2$  را در اراک و شازند نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد تجمع آلودگی در فاصله کمتر از ۵ کیلومتری در اطراف کانون آلودگی شازند و اراک می‌باشد.

در مجموع بررسی پراکنش آلاینده‌های شهر اراک نشان داد که کانون آلاینده‌ها در جنوب شرقی اراک و در مجموعه پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی قرار گرفته است. در پیشنهادی مشابه، (Seyed Khorami 2015) بر مبنای مدل تلفیقی پرومته و استنتاج فازی عصبی مکانیابی ایستگاه‌های جدید پایش کیفیت هوا را در ناحیه شرقی و مرکزی شهر اراک ارائه داد.

### جانمایی پیشنهادی برای نقاط نمونه برداری

با توجه به اورلی کانتور پراکنش گاز و ذرات، تعدادی از نقاط که در تمام کانتورها در نزدیکترین





شکل ۱۰- اورلی کانتور پراکنش گاز NO<sub>2</sub> در اراک و شازند  
 Fig. 10- Overlaid contour plot of NO<sub>2</sub> concentration in Arak and Shazand

جدول ۳- ایستگاه‌های نمونه برداری پیشنهادی در شهر اراک

Table 3. Proposed sampling stations in Arak

Classification of stations	نام ایستگاه Station name	کد ایستگاه		
		E متر Meter	N متر Meter	
ایستگاه‌های اصلی Main stations	شهرک صنعتی ۱ Industrial Estate 1	386852	3770217	St2
	سه راهی خمین Khomein 3-way	387095	3770719	St3
	کیلومتر ۵ از سه راهی خمین به سمت جاده تهران 5 km from Khomein 3-way towards Tehran road	392108	3771408	St6
	ایستگاه ترمینال اصلی شهر main terminal station of the city	384346	3770698	St8
	میدان پرستار-بیمارستان امیرکبیر Parastar (Nurse) Square - Amirkabir Hospital	380321	3771188	St11
	نیروگاه ۲ Power Plant 2	361423	3765018	St15
	نیروگاه ۱ Power Plant 1	359223	3762185	St16
پالایشگاه شازند Shazand Refinery	357499	3762535	St17	

ادامه جدول ۳- ایستگاه‌های نمونه برداری پیشنهادی در شهر اراک  
Table 3 Cont.- Proposed sampling stations in Arak

Classification of stations	نام ایستگاه Station name	E	N	کد ایستگاه Station code
		متر Meter		
ایستگاه‌های اصلی Main stations	ضلع جنوبی پتروشیمی شازند South side of Shazand Petrochemical	358338	3764569	St18
	پتروشیمی شازند Shazand Petrochemical	359293	3765881	St19
	بیمارستان شازند Shazand Hospital	354054	3757909	St20
	تقاطع قدس و جمهوری Intersection of Quds and the Jomhour	382399	3772910	St24
	شهرک صنعتی اراک Arak Industrial Estate	382167	3771228	St33
	شهرک صنعتی خیرآباد - جاده تهران (حاجی آباد) Kheirabad Industrial Estate - Tehran Road (Hajiabad)	392498	3769484	St45
	شهرک صنعتی شهید بابایی (قینار) Shahid Babaei Industrial Estate (Qinar)	358621	3755102	St46
	ایستگاه اتوبوس عمار یاسر Shahid Babaei Industrial Town (Qinar)	379222	3773463	St9
	ایستگاه‌های ثانویه Secondary stations	تقاطع غیرمسطح میدان شریعتی Shariati Square Interchange	378037	3771523
سنجان Sanjan		372774	3769214	St34
سمنگان Samangan		366765	3765030	St36
روستای نمک کوه - کنارگذرگاه شمالی Namak Kooh Village - North bypass		362568	3769348	St43
شاهد Control	تقاطع کنارگذر شمالی و جاده مرزیگران Intersection of North Bypass and Marzigaran Road	373860	3778483	St39

### نتیجه‌گیری

غلظت محیطی به‌دست آمده فقط تحت تأثیر منابع انتشار مدل‌سازی شده است. در این صورت، میزان اختلاف در نتایج نمونه‌برداری و مدل‌سازی نشان دهنده وجود منابعی خواهد بود که در مدل دیده نشده و خارج از آلاینده کارخانه است. این تحقیق با استفاده از مدل ADMS نشان داد، کانون آلودگی شهر اراک به‌طور عمده در نواحی شرقی و مرکزی است و در محل استقرار صنایع است. صنایع سهم خیلی کمی در انتشار CO دارند و غلظت این گاز به‌طور عمده به بار ترافیکی وابسته بوده و با شرایط آب و هوایی مختلف نیز تغییر می‌کند. یافته‌های تحقیق بر سهم بالای صنایع در نظر گرفته شده در غلظت آلاینده‌های NO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> شهر اراک تأیید کردند. براساس منحنی‌های پراکنش و با توجه به کانون آلودگی شهر اراک، استقرار ایستگاه‌های پایش در منطقه‌های پیشنهادی توصیه می‌گردد.

اراک یکی از هشت کلان شهر آلوده ایران به حساب می‌آید. فعالیت صنایع مختلف در اراک می‌تواند بر محیط زیست اطراف خود اثر گذار باشد. با استفاده از مدل‌سازی آلودگی هوا می‌توان اثر انتشار ذرات معلق و گازهای ناشی از فعالیت‌های صنایع مختلف بر محیط زیست منطقه را برآورد نمود. در پایش‌های محیط زیستی شهر اراک هدف بررسی اثر آلاینده‌های منتشرشده از کارخانه بر محیط است. در حالیکه در اندازه‌گیری محیطی با تمام تمهیدات جانمایی ایستگاه، احتمال اثرپذیری برخی ایستگاه‌ها تحت تأثیر سایر عامل‌های محیطی از جمله وجود منابع انتشار مستقل از کارخانه در آن محدوده وجود دارد. بنابراین احتمال اینکه غلظت سنجش شده تنها از مجتمع نباشد وجود دارد. در فرایند مدل‌سازی، منابع با جزئیات در مدل تعریف شده و

<sup>2</sup> Sunway

پی‌نوشت‌ها

<sup>1</sup> Atmospheric Dispersion Modeling System

منابع

Agrawala, G., Mohanb, D., and Rahmanb H., 2021. Ambient air pollution in selected small cities in India: Observed trends and future challenges. IATSS Research. 45(1), 19-30.

11th March, Tehran, Iran. p. 12.

Ansari, A., 2015. Investigating the factors affecting the air pollution situation in Arak Metropolitan City. In Proceedings 1st National Conference on Maintenance of Environment, Water and Natural Resources, 22th May, Arak, Iran. p. 1.

Hadipour, M. and Naderi, M., 2017. Landuse Environmental location for Optimization of Urban Transportation Using GIS. Journal of Environmental Science and Technology. 19(3). 101-111. (In Persian)

Ansari, A. and Jamshidi, R., 2018. Identification of sources and tracking dust storm routes entering from domestic sources to Arak metropolitan using HYSPLIT model. Environmental Sciences. 16(1), 101-110. (In Persian)

Kalhor, M. and Ghaemifar, S. 2017. Modeling of pollutant distribution in copper smelting industries using ADMS model (Case study of Khatunabad copper complex), In Proceedings National Conference on Environmental Protection, 11th March, Tehran, Iran. p. 10.

Anabi, F., Abbaspour, M., Karbasi, A.R. and Haji SeyedmirzaHosseini, S.A., 2007. Modeling particulate matters using ADMS-Urban model. Journal of Environmental Science and Technology. 9(1), 1-16. (In Persian)

Karam, A., Ranjbar Barough, Z. and Mohammadian, E., 2014. Investigating the effect of topography on air pollution in Arak. In Proceedings 1st Iranian Conference of Geographical Sciences, 20th May, Tehran, Iran. p. 195-202.

Dédélé A. and Miškinytė A., 2015. The statistical evaluation and comparison of ADMS-Urban model for the prediction of nitrogen dioxide with air quality monitoring network. Environmental Monitoring and Assessment. 187(9). 1-12.

Lee, C.C., Tran, M.V., Choo, Ch.W., Tan, Ch.P. and Chiew, Y.Sh., 2020. Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors. Environmental Pollution. 265, 115058.

Fawole, O.G., Cai, X., Abiye, O.E. and MacKenzie, A.R., 2019. Dispersion of gas flaring emissions in the Niger delta: Impact of prevailing meteorological conditions and flare characteristics. Environmental Pollution. 246, 284-293.

Mentese, S., Mirici, N.A., Elbir, T., Tuygun, G.T., Bakar, C., Otkun, M.T. and Oymak, S., 2020. A comprehensive assessment of ambient air quality in anakkale city: emission inventory, air quality monitoring, source apportionment, and respiratory health indicators. Atmospheric Pollution Research. 11, 2282-2296.

Ghaemifar, S. and Moghanloo, M., 2017. Comparison of AERMOD and ADMS software in modeling of radioactive materials, In Proceedings National Conference on Environmental Protection,

Mostafavi, S.A., Dadsetan, A. And Safikhani, H., 2019. Investigation of Vehicles Air Pollution of NOx in Arak City, In proceedings 9th National Seminar on Chemistry and Environment of Iran,

2nd-4th September, Arak, Iran. p. 1.

Mostafavi, S.A., Safikhani, H. and Salehfard, S., 2021. Air pollution distribution in Arak city considering the effects of neighboring pollutant industries and urban traffics. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 12(2), 307-333.

Nagendra S., Khare M., Gulia S., Vijay P., Chithra V.S., Bell M. and Namdeo A., 2012. Application of ADMS and AERMOD models to study the dispersion of vehicular pollutants in urban areas of India and the United Kingdom. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 157, 3-12.

Neshuku, M.N., 2012. Comparison of the performance of two atmospheric dispersion models (AERMOD and ADMS) for open pit mining sources of air pollution. M.Sc. Thesis. University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

RezaieAshtiani, A.A. and Hadi, M.A., 2005. Investigating the role of industries on air pollution in Arak. In *Proceedings 1st Conference on Air Pollution and its Effects on Health, 5th-6th September, Tehran, Iran*. p. 6.

Rouhi, H. and Khezri, K., 2014. Air pollution in metropolitan areas and its impact on public health and the environment. In *Proceedings 1st National Conference on Architecture, Civil Engineering, and Urban Environment, 22th May, Hamedan, Iran*. p. 10.

Semnani, M., 2014. Modeling the emission of aircraft pollutants at Hazrat Imam International Airport and Mehrabad using ADMS software. M.Sc. Thesis. Semnan University, Semnan, Iran.

Seyed Khorami, S.H., 2015. Optimal prioritization of proposed air pollution monitoring stations in Arak using PROMETHEE II and ANFIS models. M.Sc. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.

Smith, S., Stocker, J., Seaton, M. and Carruthers, D., 2017. Model inter-comparison and validation of ADMS plume chemistry schemes. *International Journal of Environment and Pollution*. 62, 395-406.





Environmental Sciences Vol.20 / No.1 / Spring 2022

21-40

Original Article

## Investigating the impact of existing and under construction industries on the air quality of Arak City using ADMS model

Jalil Badamfirooz,<sup>1\*</sup> Ali Reza Rahmati,<sup>2</sup> Nooshin Daneshpajoo,<sup>3</sup> Roya Mousazadeh<sup>1</sup> and Reza Mirzaei<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Monitoring Group, Human Environment Sector, Department of Environment, Markazi Province, Arak, Iran

Received: 2021.02.28 Accepted: 2021.07.11

**Badamfirooz, J., Rahmati, A.R., Daneshpajoo, N., Mousazadeh, R. and Mirzaei, R., 2022.** Investigating the impact of existing and under construction industries on the air quality of Arak City using ADMS model. *Environmental Sciences*. 20(1): 21-40.

**Introduction:** Arak is one of the eight most polluted cities in Iran, whose pollution is mainly due to the activities of various industries located in the city or its suburbs. Using air pollution modeling it would be possible to estimate the effect of emissions of suspended particles and gases from the activities of various industries on the local environment. This study is an attempt to investigate the impact of existing and under construction industries in Arak on the air quality of the city using the ADMS model as a widely used and trusted model of the Department of Environment (DoE).

**Material and methods:** Because the main sources of air pollution in Arak are of focal type, in modeling air pollution, 17 large industries (including 98 chimneys) located in the city were considered as pollution points. In addition to the emission data, the geometrical data of the chimneys including the height and diameter of their opening and the temperature of the exhaust air were also included in the model. To validate the model outputs, the measurement values of the environmental stations were compared with the values estimated by the modeling using Pearson linear correlation coefficient.

---

\* Corresponding Author: *Email Address*. badam@rcesd.ac.ir

**Results and discussion:** The results showed that the concentration of CO, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub> in all stations was within the permissible level announced by the DoE. The dispersion of suspended particles (contour lines) in the city was to the west and southwest and up to a radius of 3 km in the prevailing and semi-prevailing wind direction. This for Shazand was to the west up to a radius of 1 km in the prevailing wind direction and to the southwest up to 5 km in the direction of semi-prevailing wind until reaching the background concentration of 19.1 µg. Accumulation of SO<sub>2</sub> contour lines in Shazand pollution center was observed up to a radius of 7 km in the west direction and up to a radius of 10 km in the southwest direction. The accumulation of NO<sub>2</sub> contour lines was the same as NO<sub>2</sub>. The radius of impact of CO gas was extended from Arak to Shazand. Accumulation of CO contour lines in Arak was up to a radius of 5 km in the direction of west and southwest. The accumulation of H<sub>2</sub>S contour lines in Shazand was up to a radius of 5 km towards the directions of west, southeast, and southwest. In general, the difference between the sampling and modeling results indicated the pollution sources that were not observed in the model and were beyond those emitted from the factories. In most stations, the modeled and directly monitored SO<sub>2</sub> concentrations were not much different and the correlation coefficient of the data was high, indicating the accuracy of the calculations and the prominent role of industries in the emission of this gaseous pollutant. Also, in most stations, the results of environmental measurement of NO<sub>2</sub> were less than the modeled values, revealing that the industries had a greater share in the emission of this gas. The overestimation of this emission may probably be due to the inclusion of the under-construction industries in the model. The environmental concentration of CO in all stations was higher than the modeled values. Industries have a small share in the pollution load of this pollutant while in urban areas, the concentration of CO depends on the mobile sources and traffic load.

**Conclusion:** In general, the pollution levels of the city showed that the center of pollution was in the southeast of Arak and in the complex of the refinery, petrochemical company, and thermal power plant. According to the overlaid contours of emissions, a number of points (14 points) that were closest to the pollution centers were proposed as critical stations, two points as control stations, and 4 points as the stations exposed to pollution in each period.

**Keywords:** Monitoring, Arak, Modeling, Air quality.