فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۱): بهار ۱۴۰۳: ۷۳-۶۰
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 1, 60-73

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Modeling Dispersion of PM_{10} for a Steel Billet and Pipe Production Plant Using AERMOD: (A Case Study: Ashtian County)

Zahra Johari[1], Reza Peykanpour Fard[2], Maryam Nasri Nasrabadi[3*]

[1] *Department of Environmental Sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.*

[2] *Department of Natural Resources Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

[3] *Department of environmental Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Isfahan, Isfahan, Iran.*

**Corresponding Author: Maryamnasr4556@gmail.com*

Original Paper

Received: 4.7.2024
Accepted: 8.31.2024

Keywords:
Quantification,
Air pollution,
Particulate Matter,
AERMOD.

Abstract

Air pollution, a complex and multidimensional phenomenon, has increasingly affected industrial and urban communities. Particulate matter (PM), as a primary air pollutant, significantly affect quality of life in urban areas. These particles, due to their ability to penetrate deep into the lungs and enter the bloodstream, are responsible for numerous acute and chronic respiratory and cardiovascular diseases. The aim of this research is to model the dispersion of air pollutants resulting from the construction and operation of the proposed project. In this study, the AERMOD software was used to model air pollutants. This software evaluates and quantifies the level of air pollution related to pollutants at a specific location using meteorological data, a digital elevation model, and information related to pollution sources. The results of the dispersion modeling of pollutants showed a maximum concentration of PM10 of 47.9 micrograms per cubic meter, which was lower than the maximum 24-hour standard. Therefore, the proposed project, in terms of the maximum 24-hour concentration of suspended particles, excluding the background, is below the standard limit and does not pose a threat to air quality.

https://doi.org/10.30486/JEML.2024.140306271184213

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

مدلسازی پراکندگی ذرات معلق PM_{10} در اثر احداث و بهره‌برداری از طرح تولید بیلت و لوله‌های فولادی با استفاده از نرم‌افزار AERMOD (مطالعه موردی: شهرستان آشتیان)

زهرا جوهری[۱]، رضا پیکانپور فرد[۲]، مریم نصری نصرآبادی[۳*]

۱- *مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان(خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.*
۲- *دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.*
۳- *دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان(خوراسگان)، اصفهان، ایران.*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Maryamnasr4556@gmail.com

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/10

کلمات کلیدی:
کمی‌سازی،
آلودگی هوا،
ذرات معلق،
AERMOD.

چکیده

آلودگی هوا به عنوان یک پدیده پیچیده و چند وجهی، به طور فزاینده‌ای جوامع صنعتی و شهری را تحت تأثیر قرار داده است. ذرات معلق (PM) به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی هوا، کیفیت زندگی شهری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. این ذرات به دلیل قابلیت نفوذ به عمق ریه‌ها و ورود به جریان خون، عامل بسیاری از بیماری‌های حاد و مزمن تنفسی و قلبی عروقی هستند. هدف از این پژوهش مدلسازی پراکندگی و غلظت آلاینده‌های هوا در اثر احداث و بهره‌برداری از طرح مورد نظر است. در این مطالعه به جهت مدلسازی آلاینده‌های هوا از نرم‌افزار AERMOD استفاده گردید. این نرم‌افزار میزان آلودگی هوای مربوط به آلاینده‌ها را در یک مکان مشخص با استفاده از داده‌های هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع و اطلاعات مربوط به منابع آلاینده، ارزیابی و کمی‌سازی می‌کند. نتایج مدلسازی پراکندگی آلاینده‌ها، حداکثر غلظت PM_{10}، به میزان ۹/۴۷ میکروگرم بر مترمکعب را نشان داد که کمتر از استاندارد حداکثر غلظت ۲۴ ساعته بود. بنابراین طرح مورد نظر از لحاظ حداکثر غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق بدون در نظرگرفتن پس زمینه کمتر از حد استاندارد است و تهدیدی برای کیفیت هوا محسوب نمی‌شود.

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات جدی محیط زیستی است که به ویژه در مناطق صنعتی و شهری پرجمعیت، تاثیرات قابل توجهی بر سلامت انسان‌ها، اکوسیستم‌ها و تغییرات اقلیمی دارد. تنوع منابع آلودگی و افزایش غلظت آلاینده‌ها، مدیریت و کنترل این پدیده را به یک چالش اساسی تبدیل کرده است. پیچیدگی این مسئله، ناشی از عوامل متعددی از جمله منابع متحرک، صنایع، پدیده‌های طبیعی و تنوع آلاینده‌ها است (Esmaeilzadeh et al., 2013). عناصری چون مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها، اکسیدهای سولفور و ذرات معلق، به عنوان آلوده‌کننده‌های اصلی هوا شناخته شده‌اند و سبب به وجود آمدن بیش از ۹۰ درصد آلودگی هوا می‌شوند (Abbaspour, 2012). منابع مختلفی از جمله حمل‌ونقل، صنایع، و نیروگاه‌ها نقش عمده‌ای در افزایش غلظت آلاینده‌ها در جو ایفا می‌کنند. در این میان، انتشارات صنعتی به‌خصوص از دودکش‌ها، یکی از منابع اصلی آلودگی هوا در مناطق صنعتی به شمار می‌آید (Prasad et al., 2024). این آلاینده‌ها می‌توانند به‌صورت گسترده‌ای در فضا منتشر شده و اثرات منفی بر کیفیت هوا و سلامت عمومی داشته باشند (Manisalidis et al., 2020). آلودگی هوا با بیش از هفت میلیون مرگ زودهنگام در سراسر جهان مرتبط است و محققان بسیاری تلاش می‌کنند تا تأثیر آلاینده‌های هوا بر انسان‌ها و محیط زیست را کشف کنند. طبق آخرین دستورالعمل‌های سازمان جهانی بهداشت (WHO) در مورد آلودگی هوا، حتی مقادیر کم می‌تواند بر سلامت انسان تأثیر بگذارد. آلودگی هوا باعث بیماری‌های مختلفی مانند سرطان، بیماری‌های تنفسی و قلبی، بیماری‌های عصبی-تخریب کننده و سایر شرایط نگران‌کننده در تمام گروه‌های سنی می‌شود (WHO, 2022). ذرات معلق (PM) به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی هوا، کیفیت زندگی شهری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. این ذرات به دلیل قابلیت نفوذ به عمق ریه‌ها و ورود به جریان خون، عامل بسیاری از بیماری‌های حاد و مزمن تنفسی و قلبی عروقی هستند. به همین دلیل، افزایش آگاهی عمومی در مورد خطرات ناشی از آلودگی ذرات معلق از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعدد بر روی پیش‌بینی دقیق غلظت ذرات معلق و ارزیابی اثرات بهداشتی آن‌ها متمرکز شده است که به تصمیم‌گیرندگان و مقامات اجازه می‌دهند تا اقدامات پیشگیرانه انجام دهند و واکنش‌های به موقع داشته باشند. برای مثال، مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۸) به طور جامع به بررسی تأثیرات منفی آلودگی هوا بر سلامت انسان پرداخته و با استفاده از روش‌های آماری، امکان پیش‌بینی کیفیت هوا و برآورد اثرات بهداشتی آن را فراهم کرده است. Bayat و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تأثیر عوارض آلودگی هوا ناشی از ذرات $PM_{2.5}$بر سلامتی و هزینه‌های مربوط به آن را در شهر تهران در سال ۲۰۱۷ بررسی کردند، علاوه بر میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا، تأثیر اقتصادی مرتبط با این اثرات را نیز مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج بیش از ۷۰۰۰ کشته یا ۱۰۰۰۰۰ سال زندگی از دست رفته وجود داشت و هزینه اقتصادی مربوط به آن حدود ۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ بود. استراتژی‌های قاطع و پایدار کاهش آلودگی هوا قادرند صرفه‌جویی چشمگیری را در دو بخش سلامت و اقتصاد به همراه داشته باشد که بدون همکاری دولت و سیاست‌گذاران مسئول قابل دستیابی نیست. Bayraktar & Mutlu (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی هوا و ریسک‌های سلامت درازمدت با استفاده از مدل‌های پراکندگی مختلف و پارامترهای فیزیکی WRF پرداخته، حداکثر غلظت‌های PM_{10} براساس مدل‌های پراکندگی مختلف و با در نظر گرفتن پارامترهای جوی گوناگون ارزیابی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در برخی شرایط، غلظت PM_{10} می‌تواند به سطوح نزدیک به ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب برسد، اما همچنان زیر حد استاندارد ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب باقی می‌ماند.

مدلسازی پراکندگی آلاینده‌های هوا ابزاری مؤثر برای پیش‌بینی و ارزیابی تاثیرات محیط زیستی این انتشارات است. AERMOD یکی از پیشرفته‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های پراکندگی هوا است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) توسعه یافته است. این مدل براساس شرایط جوی محلی، توپوگرافی و ویژگی‌های منبع آلاینده، الگوی پراکندگی و غلظت آلاینده‌ها را پیش‌بینی می‌کند (USEPA, 2022). AERMOD به دلیل توانایی بالا در شبیه‌سازی دقیق شرایط واقعی، به‌طور گسترده در مطالعات محیط زیستی و مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Prasad et al., 2024). Salahi & Behrouzi (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای، پراکندگی آلاینده‌های خروجی

از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز را با استفاده از مدل AERMOD بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر غلظت آلاینده‌ها مانند SO_2 و PM_{10} بسته به شرایط جوی و حجم انتشار در مناطق مختلف متغیر است. حداکثر غلظت PM_{10}، ۹۰ میکروگرم بر مترمکعب بدست آمده است. که پایین‌تر از استاندارد ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است. شهرستان آشتیان با وجود فعالیت‌های صنعتی متعدد، از مناطقی است که تحت تأثیر آلودگی‌های هوا قرار دارد. بنابراین، بررسی و مدلسازی پراکندگی آلاینده‌های ناشی از این صنایع، به‌منظور ارائه راهکارهای مدیریتی و کاهش اثرات محیط زیستی ضروری است. این مطالعه با هدف مدلسازی پراکندگی و غلظت آلاینده‌های هوا در اثر احداث و بهره‌برداری از طرح تولید بیلت و لوله‌های فولادی با استفاده از نرم‌افزار AERMOD در شهرستان آشتیان انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران محیط زیستی در اتخاذ تدابیر لازم برای کنترل و کاهش آلودگی هوا کمک کند.

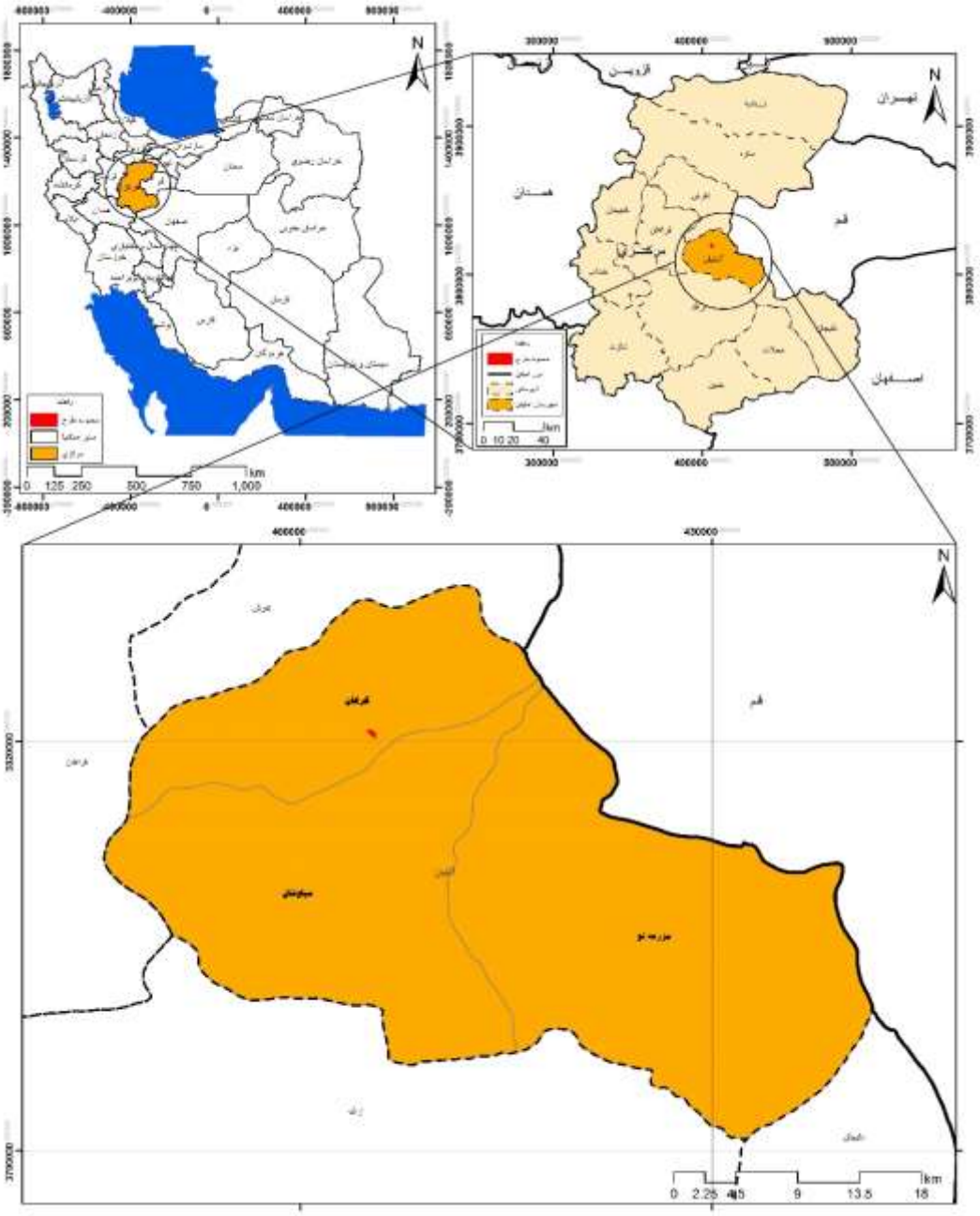
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده بلافصل طرح تولید بیلت فولاد ساده کربنی و کم آلیاژی و لوله‌های فولادی بدون درز و اتصالات جوشی، در زمینی به مساحت ۲۰۰۶۸۴/۸۲۴متر مربع (۲۰ هکتار) در محدوده استان مرکزی، شهرستان آشتیان، بخش مرکزی، دهستان گرکان واقع شده است (Statistical Yearbook of Markazi Province, 2016). شهر آشتیان نزدیکترین شهر به محدوده طرح در فاصله ۲ کیلومتری غرب و شمال غربی محدوده طرح واقع شده است. پس از آن روستای نادرآباد در فاصله ۲/۴ کیلومتری جنوبی و روستای شوره بالا در فاصله ۳/۷ کیلومتری جنوبی و روستای گرکان در فاصله ۲/۵ کیلومتری شمال غربی محدوده واقع گردیده‌اند. فاصله محل طرح تا شهر اراک به عنوان مرکز استان ۵۳ کیلومتر، جنوبی است. شهرک صنعتی فرمهین (فراهان) در فاصله ۲۱/۴ کیلومتری غربی محدوده طرح واقع شده است. فاصله سایت مورد نظر از دانشگاه آزاد اسلامی آشتیان ۳/۵ کیلومتر است.

شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی بر روی تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 1- Location of the study area on satellite imagery



شکل ۲- تقسیمات سیاسی

Fig.2- Political divisions

روش پژوهش

مدلسازی پراکندگی آلاینده‌ها، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی اثرات محیط زیستی صنایع و پیش‌بینی کیفیت هوا در مناطق مختلف است. هدف از مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی شناسایی و پیش‌بینی اثرات مثبت و منفی ناشی از احداث یک پروژه و ارائه راهکارهای کاهشی برای اثرات منفی و راهکارهای افزایشی برای اثرات مثبت است. نرم‌افزار AERMOD یکی از پرکاربردترین ابزارها در این زمینه است. به همین خاطر در این مطالعه به منظور پیش‌بینی دامنه پراکنش و غلظت آلاینده‌های هوای منتشره در صورت احداث و بهره برداری از طرح پیش‌رو در مساحتی حدود ۲۱۱۶ کیلومترمربع و همچنین شناسایی جمعیت‌های تحت تاثیر غلظت‌های بالاتر از حد

استاندارد، با استفاده از نرم افزار AERMOD که مورد تایید آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا (EPA)، صورت می‌گیرد. AERMOD به دلیل دقت و کارایی بالا در مدلسازی پراکنش آلاینده‌های هوا، جزو مدل‌های ارجح برای این منظور به شمار می‌آید. این نرم‌افزار از ترکیبی از روش‌های گوسی و گوسی دوگانه در مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها استفاده می‌کند و الگوریتم‌های متنوعی را براساس ویژگی‌های هواشناسی غالب منطقه به کار می‌گیرد. AERMOD قابلیت مدلسازی غلظت آلاینده‌ها را در بازه‌های زمانی مختلف از جمله روزانه، ماهانه و سالانه دارد و برای منابع آلاینده مختلف در مناطق شهری و روستایی، هموار و ناهموار قابل استفاده است (EPA, 2012).

مدلسازی آلودگی هوای ناشی از طرح

اطلاعات هواشناسی مورد استفاده

داده‌های هواشناسی و بررسی‌ها بیانگر این است که از نظر موقعیت اقلیمی، نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک به محدوده مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک آشتیان بوده که در شهر آشتیان واقع شده است. در این گزارش از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شهر آشتیان استفاده شد.

ماژول AERMET به عنوان یک ورودی برای ماژول اصلی AERMOD استفاده می‌شود که با استفاده از آیکون WRPLOT می‌توان گلباد یک ایستگاه هواشناسی را استخراج کرد. در این پروژه با استفاده از داده‌های پنج ساله (۷ مهر ۱۳۹۷ الی ۶ مهر ۱۴۰۲) سایت irimo و ایستگاه سینوپتیک آشتیان و همچنین ایجاد دو سکتور شهری و زمین بایر با شعاع سه کیلومتر در اطراف ایستگاه سینوپتیک، اطلاعات لازم برای ماژول AERMOD تهیه شد.

شکل ۳- سکتور بندی ایستگاه سینوپتیک آشتیان

Table 3- Sectorization of Ashtian Synoptic Station

جدول۲- مشخصات ایستگاه سینوپتیک دریایی دیر و ایستگاه باران‌سنجی بردخون

Table 2- Characteristics of Dir Maritime Synoptic Station and Bardkhun Rain Gauge Station.

ایستگاه هواشناسی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
ایستگاه سینوپتیک آشتیان	۵۰ درجه و ۰۱ دقیقه طول شرقی	۳۴ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی	۲۰۶۵ متر از سطح دریا

براساس اطلاعات آماری بلندمدت، حداقل و حداکثر دمای مطلق در ایستگاه آشتیان به ترتیب ۱۵- و ۳۷/۸ درجه سانتیگراد، میانگین دمای حداکثر ۱۸/۳ درجه سانتیگراد و میانگین دمای حداقل ۷/۵ درجه سانتیگراد است. میانگین دمای سالانه آشتیان ۱۲/۹ درجه سانتیگراد ثبت شده است که ماه تیر با میانگین ۲۴/۷ درجه سانتیگراد، گرمترین ماه و ماه بهمن با میانگین ۰/۶- درجه سانتیگراد سردترین ماه سال است. همچنین میانگین رطوبت در زمستان ۵۳ درصد و در تابستان ۲۶ درصد است. میانگین رطوبت سالانه ایستگاه آشتیان، ۴۰ درصد، میانگین ماکزیمم رطوبت ۵۴ درصد و میانگین مینیمم رطوبت ۲۵ درصد ثبت شده است. میانگین تعداد روزهای بارندگی بیش از ۱۰ میلیمتر ۷ روز، میانگین تعداد روزهای همراه با بارندگی ۶۷ روز، حداکثر و حداقل بارندگی سالانه به ترتیب ۳۰۴ و ۲۴۵ روز و حداکثر بارندگی ماهانه ۹۵ روز ثبت گردیده است. بیشتر بادها از سمت شمال غربی و شرقی می‌وزند که شامل بادهای منظم و فصلی و بادهای محلی است.

تعیین شعاع مدلسازی

نرم افزار AERMOD قابلیت مدلسازی پخش و پراکنش آلاینده‌ها تا شعاع ۵۰ کیلومتری را دارا است. در این مطالعه شعاع مدلسازی حدود ۲۳ کیلومتر از مرز بلافصل پروژه مطابق شکل ۴، در نظر گرفته شد زیرا اکثر مناطق جمعیتی در این محدوده وجود داشت. در نتیجه مدلسازی آلودگی هوا حدودا ۲۱۱۶ کیلومترمربع ایجاد شد.

تعیین مقیاس مدلسازی

به منظور تعیین مقیاس مدلسازی، با توجه با شعاع حدودا ۲۳ کیلومتری در نظر گرفته شده از یک شبکه با سلول‌هایی به ابعاد ۱۵۰ متر در ۱۵۰ متر استفاده گردید. در نتیجه هر پیکسل فقط ۲۲۵۰۰ متر مربع مساحت دارد.

شکل ۴- محدوده مدلسازی آلودگی هوا به محوریت دودکش

Fig. 4- Modeling Domain of Air Pollution with a Focus on the Stack

نوع آلاینده هوای مورد بررسی

براساس طرح پیشنهادی، منابع انتشار آلاینده عبارت است از یک دودکش به ارتفاع ۲۰ متر و قطر دهانه ۲۱۰ سانتیمتر.

با توجه به این که پروژه مورد نظر هنوز احداث نگردیده و در مرحله مطالعات محیط زیستی پیش از احداث قرار دارد، برای تعیین نوع و نرخ خروجی آلاینده‌ها از اطلاعات مربوط به خوداظهاری واحد مشابه و مقالات و سایت EPA-AP42 استفاده گردید. مهمترین آلاینده‌های

پروژه پیش‌رو ذرات معلق هستند. همچنین برای این مطالعه بالاترین غلظت، دما و سرعت خروجی مربوط به دودکش برای کل سال به صورت زیر در نظر گرفته شد.

E=Q*C
Q=A*S

در این رابطه:

E: نرخ انتشار براساس واحد (g/s)

Q: دبی حجمی براساس واحد (مترمکعب در ثانیه)

C: غلظت جرمی آلاینده براساس واحد (گرم بر مترمکعب)

A: سطح مقطع بر حسب مترمربع

S: خروجی بر حسب متر بر ثانیه است.

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی دودکش

Table 3- Geographic Location of the Stack

	مختصات جغرافیایی
X	۵۰/۰۱۲۲۳۴
Y	۳۴/۵۱۸۳۶۳

جدول ٤- اطلاعات خروجی دودکش

Table 4- Flue Gas Emission Data

ردیف	**عنوان**	**مقدار**
۱	سرعت انتشار گاز خروجی	۱۸ m/s (max)
۲	ارتفاع دودکش	۲۰ m
۳	قطر دهانه دودکش	۲۱۰ cm
۴	دمای گاز خروجی	۱۵۰ °C
۵	دبی خروجی	۶۲/۳۴ m^3/s

جدول ۵- نرخ انتشار

Table 5- Emission Rate

ردیف	**عنوان**	**گرم بر ساعت**	**گرم بر ثانیه**	**ضریب برای کل سال**
۱	PM_{10}	۳۲۱	۳/۱۱	۱

جدول۱٦- تعیین نرخ انتشار برحسب EPA:AP42

Table 16: Emission Rates Determined According to EPA:AP42

آلاینده	**نرخ انتشار (EPA) برحسب گرم بر ثانیه**	**ضریب برای کل سال‌ها**
PM_{10}	۱۱/۳	۱

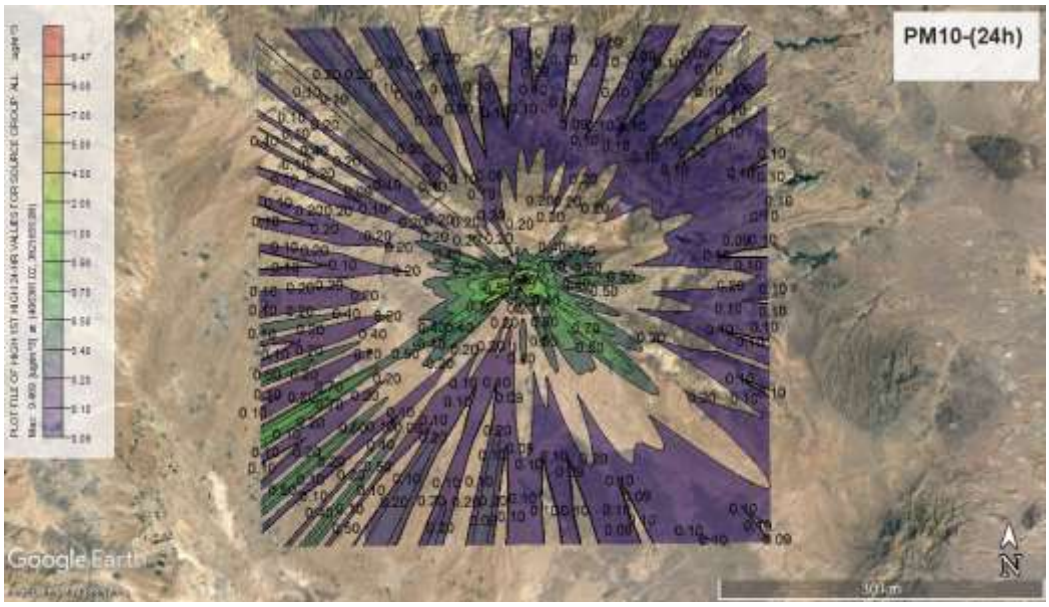
براساس گزارش Compilation of Air Emissions Factors (AP-42) منتشر شده در وبسایت آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)و با فرض جایگزینی برق به جای گاز در این مجموعه، نرخ انتشار ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM10) برابر ۳/۱۱ گرم بر ثانیه محاسبه شده است.

به منظور تعیین دامنه زمانی مدلسازی پخش و پراکنش و غلظت آلاینده‌های مختلف، براساس استانداردهای هوای آزاد ایران عمل شد. به همین منظور نقشه غلظت حداکثر ۲۴ ساعته برای آلاینده PM_{10} تهیه گردید.

صحت سنجی مدل: با توجه به این که پروژه مورد نظر هنوز احداث نشده، امکان صحت سنجی نقشه‌های تولید شده از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی وجود ندارد.

نتایج

این تحقیق به‌طور جامع مدلسازی پراکندگی و غلظت آلاینده‌های هوا، به‌ویژه ذرات معلق (PM10) را برای پروژه تولید فولاد در شهرستان آشتیان انجام داده است. می‌توان گفت که این آلاینده یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی هوا است که به‌ویژه در فعالیت‌های صنعتی مانند تولید فولاد اهمیت زیادی دارد. تمرکز بر این آلاینده در پروژه شهرستان آشتیان به دلیل اثرات منفی آن بر سلامت انسان و محیط زیست ضروری است.این مدلسازی با استفاده از داده‌های پنج‌ساله ایستگاه سینوپتیک آشتیان و سایر منابع معتبر، پراکنش آلاینده‌ها در شعاع ۲۳ کیلومتری از مرز پروژه را بررسی کرد.

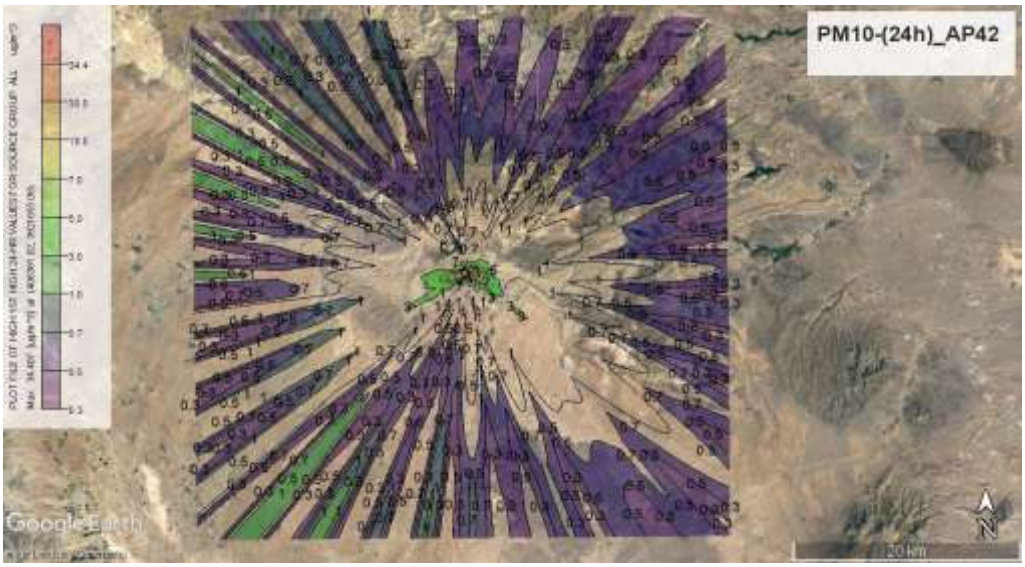


شکل ۶- غلظت حداکثر ۲۴ ساعته PM_{10}

Fig. 6- 24-hour Maximum PM10 Concentration

شکل ۶ مربوط به پراکنش ذرات معلق (PM_{10}) در دوره ۲۴ ساعته است که از مدلسازی AERMOD به دست آمده و با استفاده از Google Earth بر روی نقشه‌ای از منطقه پیاده‌سازی شده است. مدلسازی انجام شده برای آلاینده PM_{10} نشان می‌دهد که حداکثر غلظت ۲۴ ساعته بدون در نظر گرفتن غلظت پس‌زمینه در محدوده نزدیک به مرز بلافصل پروژه به مقدار ۹/۴۷ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است. این مقدار در مقایسه با حداکثر مجاز تعیین شده در استاندارد هوای پاک ایران (۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب)، بسیار پایین‌تر است و نشان می‌دهد که آلاینده PM_{10} در شرایط فعالیت پروژه به طور عمده از محدوده‌های مجاز فراتر نمی‌رود و کمتر از حد استاندارد است.

رنگ‌های مختلف در نقشه نشان‌دهنده غلظت‌های مختلف PM_{10} بر حسب میکروگرم بر مترمکعب هستند. محدوده‌ای با غلظت‌های بالا (حدود ۹/۴۷ میکروگرم بر مترمکعب) در نزدیکی منبع انتشار متمرکز است که با رنگ‌های سبز تیره و روشن نشان داده شده است. با فاصله گرفتن از منبع انتشار، غلظت PM_{10} کاهش یافته و به رنگ‌های بنفش و زرد کم‌رنگ تغییر می‌کند، که نشان‌دهنده غلظت‌های بسیار کمتر است (۰/۰۹ میکروگرم بر مترمکعب). الگوی باد غالب و شرایط هواشناسی باعث شده است که پراکنش آلاینده‌ها به‌طور ناهمگن در جهات مختلف پخش شود که نشان‌دهنده تأثیر باد غالب منطقه بر پراکنش آلاینده‌ها است.



شکل ۷- غلظت حداکثر سالانه NO_x

Table 7- Annual Maximum NOx Concentration

نتایج مدلسازی برای دامنه پراکنش و حداکثر غلظت سالیانه PM_{10} طبق فرمت AP42 در حالت حداکثر بدون در نظرگرفتن پس زمینه در شکل ۷ نمایش داده شده است. بالاترین غلظت PM_{10} در نزدیکی منبع انتشار به مقدار ۳۴/۴ میکروگرم بر مترمکعب ثبت شده است که با رنگ‌های سبز و زرد مشخص شده است. با افزایش فاصله از منبع، غلظت آلاینده‌ها به سرعت کاهش یافته و به مقادیر زیر ۰/۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد که با رنگ‌های بنفش و زرد کم‌رنگ نشان داده شده است. مانند شکل قبلی، الگوی باد و شرایط هواشناسی منطقه تأثیر مستقیمی بر پراکنش آلاینده‌ها داشته است. براساس این شکل حداکثر غلظت سالانه به ۳۴/۴میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد. این مقدار باز هم به طور قابل توجهی پایین‌تر از حد مجاز سالانه ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است. این امر نشان داد که پروژه نه تنها در کوتاه مدت بلکه در بلند مدت نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر غلظت ذرات معلق نخواهد داشت.

در مدلسازی جهت بررسی هواشناسی و توپوگرافی منطقه، از داده‌های هواشناسی پنج ساله ایستگاه سینوپتیک آشتیان استفاده شده است. این داده‌ها شامل اطلاعات دما، رطوبت، باد و بارش است. به علاوه، تحلیل‌های توپوگرافی نیز به کمک نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌های ماهواره‌ای صورت گرفته است که تمامی شرایط محیطی تأثیرگذار بر پراکنش آلاینده‌ها را پوشش داد. پروژه در نزدیکی شهر آشتیان و روستاهای اطراف آن واقع شده است. مدلسازی‌ها نشان داده‌اند که پراکنش آلاینده‌ها به شعاع حداکثر ۲۳ کیلومتر از مرز بلافصل پروژه گسترش می‌یابد. با این حال با توجه به غلظت‌های به دست آمده، آلاینده‌ها در فاصله‌های نزدیک نیز از استانداردهای مجاز تجاوز نمی‌کنند. این نتایج نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی بدون در نظر گرفتن پس‌زمینه، تأثیر قابل توجهی در

افزایش سطح آلودگی PM_{10} نخواهد داشت و از نظر انتشار این نوع آلاینده در محدوده امن و قابل قبولی قرار دارد و مناطق مسکونی اطراف مانند شهر آشتیان و روستاهای مجاور، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر آلاینده‌های پروژه قرار نمی‌گیرند.

با توجه به این که پروژه هنوز احداث نشده است، امکان صحت‌سنجی نتایج از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی وجود نداشت. نتایج این مطالعه صرفاً براساس مدلسازی نرم‌افزاری و بدون اعتبارسنجی میدانی است. با این حال، استفاده از داده‌های هواشناسی معتبر و استانداردهای بین‌المللی، دقت نتایج مدلسازی را تا حدی تضمین می‌کند.

مقایسه نتایج مدلسازی با استانداردهای هوای پاک نشان می‌دهد که طرح مورد نظر از لحاظ حداکثر غلظت ۲۴ ساعته و سالانه ذرات معلقPM_{10} در حد استانداردها قرار دارد و تأثیر منفی چندانی بر کیفیت هوا نخواهد داشت. این موضوع حاکی از این است که می‌توان انتظار داشت عملیات احداث و بهره‌برداری از طرح و فعالیت‌های آن در محدوده‌ای ایمن و مطابق با استانداردهای محیط زیستی و بدون نگرانی از آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق صورت پذیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مدلسازی پراکندگی آلاینده‌های PM_{10} با استفاده از نرم‌افزار AERMOD، نشان‌دهنده تمرکز این آلاینده‌ها در نزدیکی مرز بلافصل منابع صنعتی است. براساس داده‌های ارائه شده در شکل ۸، حداکثر غلظت PM_{10} در شرایط حداکثر، بدون لحاظ پس‌زمینه، به میزان ۹/۴۷ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد. این مقدار، علیرغم وقوع آن در مناطق مجاور منابع انتشار، به‌طور چشمگیری کمتر از حد مجاز استاندارد برای غلظت ۲۴ ساعتهPM_{10}، که ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب تعیین شده، است. این یافته حاکی از آن است که طرح پیشنهادی از نظر حداکثر غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق، حتی بدون در نظر گرفتن پس‌زمینه، در محدوده‌ای ایمن و زیر استانداردهای زیست‌محیطی قرار دارد و بنابراین تهدیدی برای کیفیت هوا محسوب نمی‌شود.

افزون بر این، تحلیل پراکندگی و حداکثر غلظت سالیانه PM_{10} بر اساس فرمتAP42، که در شکل ۳۴ نمایش داده شده، نشان می‌دهد که حداکثر غلظت سالیانه ۳۴/۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده که در پیرامون مرز بلافصل رخ می‌دهد. این مقدار نیز به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از حد استاندارد سالانه ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است. بنابراین، حتی در شرایط حداکثر، غلظت سالانه PM_{10} به مراتب کمتر از استانداردهای مجاز بوده و از این رو، طرح صنعتی مورد نظر از حیث آلایندگی PM_{10} نگرانی خاصی ایجاد نمی‌کند. در مطالعه مشابهی که توسط Zehtab Yazdi و همکاران (۱۴۰۰) در منطقه جنوب غرب تهران انجام شده، مشخص شد که حداکثر غلظت PM_{10} خروجی از کارخانه‌های آسفالت در این منطقه به ۸۵ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است، که همچنان زیر حد استاندارد ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب است، اما به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از نتیجه حاصل از مطالعه حاضر در شهرستان آشتیان است. در مطالعه Bayraktar & Mutlu (۲۰۲۴) در مقایسه با مطالعه حاضر، نتایج مقاله مذکور حاکی از آن است که غلظت‌های PM_{10} در شرایط مختلف می‌تواند نوسانات بیشتری را تجربه کند و بسته به پارامترهای جوی و نوع مدل پراکندگی مورد استفاده، می‌تواند به مقادیر بالاتری نزدیک شود. با این حال، هر دو مطالعه نشان می‌دهند که غلظت‌های PM_{10} در محدوده‌ای پایین‌تر از استانداردهای مجاز باقی می‌مانند. نتایج هر دو مطالعه تأیید می‌کنند که طرح‌های صنعتی می‌توانند با رعایت استانداردهای محیط زیستی، غلظت آلاینده‌های هوا را در محدوده‌های ایمن حفظ کنند. در مطالعه Salahi & Behrouzi (۲۰۲۳)، حداکثر غلظت گزارش شده در پالایشگاه تبریز ۹۰ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شده است و در مطالعه حاضر حداکثر غلظت PM_{10}، ۹/۴۷ میکروگرم بر مترمکعب بدست آمده است که این نشان می‌دهد طرح صنعتی مورد بررسی در شهرستان آشتیان دارای سطح آلایندگی کمتری نسبت به پالایشگاه نفت تبریز است. تجاوز از حد مجاز غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} پیامدهای قابل‌توجهی برای سلامت انسان و محیط زیست دارد. آلودگی PM_{10}، با افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی مرتبط است (Seihei et al., 2024). قرار گرفتن در معرض کوتاه‌مدت PM_{10} بالا می‌تواند پاسخ‌های التهابی را تحریک کند (Deary

Kunt) PM_{10} آلودگی Griffiths 2021 &). بر دید، سلامت گیاهان و حیوانات تأثیر می‌گذارد و اکوسیستم‌های محلی را مختل می‌کند Erdoğan 2022 &). مدلسازی پراکندگی آلاینده‌ها با استفاده از AERMOD نشان می‌دهد که این مدل ابزار قدرتمندی برای ارزیابی تاثیرات محیط زیستی انتشارات صنعتی است. با این حال، دقت نتایج مدل به شدت به کیفیت داده‌های ورودی و تنظیمات مدل بستگی دارد. نتایج مدلسازی و تحلیل غلظت‌های PM_{10} حاصل از مدل AERMOD در شرایط حداکثر نشان داد که مقادیر غلظت‌های ۲۴ ساعته و سالیانه ذرات معلقPM_{10}، بدون لحاظ پس‌زمینه، به‌طور چشمگیری پایین‌تر از استانداردهای مجاز محیط زیستی هستند. این نتایج دلالت بر این دارد که طرح صنعتی مورد مطالعه، از منظر پراکندگی ذرات معلق PM_{10} و تأثیرات آن بر کیفیت هوا، در محدوده استانداردهای محیط زیستی قرار گرفته است. پایین بودن غلظت PM_{10} نسبت به استانداردها نشان می‌دهد که ریسک بهداشتی ناشی از قرار گرفتن افراد در معرض این آلاینده بسیار کم است. این امر به‌ویژه برای افراد حساس مانند کودکان و سالمندان که بیشتر در معرض خطر هستند، اهمیت دارد. همچنین عدم تجاوز غلظت‌های PM_{10} از حدود مجاز، تضمینی برای حفاظت از محیط زیست منطقه به‌ویژه گیاهان و جانوران است که در مجاورت پروژه قرار دارند.

این یافته‌ها اطمینان می‌دهند که اجرای طرح پیشنهادی تأثیری منفی بر کیفیت هوای منطقه نخواهد داشت و از این رو، نگرانی‌هایی بابت تجاوز از حدود مجاز استانداردها وجود ندارد. چنین نتایجی می‌تواند به تصمیم‌گیران و مدیران محیط زیستی در اتخاذ سیاست‌های مناسب برای اجرای پروژه‌های صنعتی مشابه کمک شایانی نماید.

با در نظر گرفتن نتایج مدلسازی، می‌توان تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسبی را جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های هوا اتخاذ کرد. به عنوان مثال، اگرچه غلظت‌های اندازه‌گیری شده پایین‌تر از حد مجاز هستند، اما اقدامات کنترلی نظیر نصب فیلترهای پیشرفته به منظور کاهش ذرات معلق و بهره‌گیری از تجهیزات کنترل آلودگی قادر است به بهبود بیشتر کیفیت هوا کمک کند علاوه بر آن ایجاد کمربندهای سبز در اطراف مناطق صنعتی می‌تواند به جذب و کاهش غلظت ذرات معلق کمک کند.

با توجه به تحلیل داده‌های هواشناسی، می‌توان اقدامات پیشگیرانه مانند تنظیم زمان‌های بهره‌برداری از تجهیزات صنعتی در ساعات و فصولی که شرایط جوی مناسب‌تر است، به کاهش پراکنش آلاینده‌ها کمک نماید. همچنین، ایجاد مناطق سبز و استفاده از درختان و گیاهان که به جذب آلاینده‌ها کمک می‌کنند، می‌تواند به عنوان یک اقدام مکمل در نظر گرفته شود.

اگرچه تمرکز اصلی این مدل‌سازی بر روی PM_{10} بوده است، اما استفاده از AERMOD برای مدلسازی آلاینده‌های گازی نظیر CO، NO_x، و SO_2 نیز توصیه می‌شود. این آلاینده‌ها می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر کیفیت هوا و سلامت انسان‌ها داشته باشند. در صورت انجام چنین مدلسازی‌هایی، می‌توان به تحلیل کامل‌تری از وضعیت آلودگی هوا دست یافت. برای اعتبارسنجی مدلسازی‌های انجام شده، انجام اندازه‌گیری‌های میدانی پس از شروع به کار پروژه پیشنهاد می‌گردد. این اندازه‌گیری‌ها قادرند به ارزیابی دقیق‌تری از صحت نتایج مدلسازی کمک نمایند و در صورت نیاز، اقدامات اصلاحی را نیز تسهیل کنند. علاوه بر AERMOD، استفاده از مدل‌های ترکیبی که بتوانند تأثیرات مختلف آلاینده‌ها را بر روی یکدیگر و بر روی محیط‌های مختلف به خوبی نشان دهند، می‌تواند به بهبود دقت مدلسازی‌ها کمک کند.

References

Abbaspour, M. (2012). *Air pollution modeling.* First. Sharif University of Technology, 9-1. [In Persian]

Bayat, R., Hassanvand, M. S., & Daroudi, R. (2020). Economic analysis of the cost of air pollution deaths in Tehran. *Urban Economics and Planning*, *1*(3), 188-197. [In Persian]

Bayraktar, O. M., & Mutlu, A. (2024). Analyses of industrial air pollution and long-term health risk using different dispersion models and WRF physics parameters. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-29.

Deary, M. E., & Griffiths, S. D. (2021). A novel approach to the development of 1-hour threshold concentrations for exposure to particulate matter during episodic air pollution events. *Journal of Hazardous Materials*, *418*, 126334.

EPA (2012). AERMOD User's Guide. Environmental Protection Agency.

Esmaeilzadeh, M., Bazrafshan, E., & Nasrabadi., M. (2013). Dispersion Modeling of NOX and SO2 Emissions from Tous Gas Power Plant. *Health & Environ*, 6(1), 77-90. [In Persian]

Liu, W., Xu, Z., & Yang, T. (2018). Health effects of air pollution in China. *International journal of environmental research and public health*, *15*(7), 1471.

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, *8*, 14.

Prasad, N., Mishra, A., Bhattacharya, T., Lal, B., Chandra Jha, P., & Kumar, A. (2024). Validation of AERMOD prediction accuracy for particulate matters (PM10, PM2. 5) for a large coal mine complex: A Multisource Perspective. *Aerosol Science and Engineering*, 1-15.

Salahi, B., & Behrouzi, M. (2023). Evaluation of the distribution of exhaust air pollution from the chimneys of Tabriz Oil Refinery using AERMOD model. *Researches in Earth Sciences*, *14*(1), 86-101. [In Persian]

Seihei, N., Farhadi, M., Takdastan, A., Asban, P., Kiani, F., & Mohammadi, M. J. (2024). Short-term and long-term effects of exposure to PM10. *Clinical Epidemiology and Global Health*, *27*, 101611.

Statistical Yearbook of Markazi Province. (2016). [In Persian]

USEPA. (2022). *AERMOD: Description of Model Formulation and Applications*. United States Environmental Protection Agency.

WHO. New WHO Global Air Quality Guidelines Aim to Save Millions of Lives from Air Pollution. 2022. Available online: https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution .

Zehtab Yazdi, Y., Mansouri, N., Atabi, F., & Aghamohammadi, H. (2021). Dispersion Modeling of Particulate Matters (PM2.5, PM10) from Asphalt Plants in the Southwest of Tehran. *Jehe*, 8(4), 375-390. [In Persian]

Kunt, F., & Erdoğan, Ş. (2022). Evaluation of Outdoor Environment PM10 Concentration in an Organized Industrial Zone Using Geographical Information System. *Atmosphere*, *13*(11), 1918.