فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۷۵-۶۴
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 69-80

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

Analysis of the Impact of Physical Land Use Parameters on the Dispersion of Air Pollution Case Study: Sirjan Steel Industrial Area

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

[1] *Department of environmental Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Isfahan, Isfahan, Iran.*
[2] *Department of Natural Resources Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

**Corresponding Author: r.peykanpour@na.iut.ac.ir*

Original Paper

Received: 4.27.2024
Accepted: 11.21.2024

Keywords:
Physical parameters of land,
albedo,
surface roughness,
pollutant dispersion,
AERMOD modeling.

Abstract

Air pollution in industrial areas is recognized as one of the major environmental challenges, and land use and its physical characteristics play a key role in the dispersion of pollutants. The present study was aimed at investigating the impact of physical land use parameters such as albedo, surface roughness, and surface moisture on the dispersion of air pollutants in the Sirjan industrial area. The AERMOD model, a validated dispersion model, was employed to model the dispersion of pollutants using five years of meteorological data and relevant land use physical parameters as input. Based on the results, albedo and surface roughness significantly affected the dispersion of pollutants such as NOx, CO, and PM_{10}. Areas with lower albedo (such as barren and industrial zones) exhibited greater pollutant dispersion due to higher solar energy absorption and the creation of air currents. In contrast, regions with higher surface roughness (areas with vegetation cover) demonstrated increased accumulation of pollutants, as the wind speed was reduced. Besides, the concentration levels of pollutants in the study area were found to be within environmental standards. This study revealed that the physical parameters of land use may effectively influence pollutant dispersion and can serve as useful tools in environmental management and air pollution reduction. Finally, it is recommended that greater attention be given to these parameters in the design and development of industrial areas in order to improve air quality and decline the negative effects of pollutants.

https://doi.org/10.30486/JEML.2024.140307081185471

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

تحلیل تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری‌های زمین بر پراکنش آلودگی هوا: مطالعه موردی منطقه صنعتی فولاد سیرجان

مریم نصری نصرآبادی[۱]، رضا پیکانپورفرد[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

[*] پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r.peykanpour@na.iut.ac.ir

نوع مقاله:

علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:

ارسال: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

کلمات کلیدی:

پارامتر های فیزیکی زمین، آلبیدو، زبری سطح، پراکنش آلاینده‌ها، مدلسازی AERMOD.

چکیده

آلودگی هوا در مناطق صنعتی به‌عنوان یکی از معضلات مهم محیط زیستی شناخته می‌شود و کاربری زمین و ویژگی‌های فیزیکی آن نقشی کلیدی در پراکنش آلاینده‌ها ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی بر پراکنش آلاینده‌های هوا در منطقه صنعتی سیرجان انجام شده است. برای مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها از مدل معتبر AERMOD استفاده شده که داده‌های هواشناسی پنج ساله و اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی زمین به‌عنوان ورودی در این مدل لحاظ گردید. نتایج نشان داد که آلبیدو و زبری سطح تأثیر قابل‌توجهی بر نحوه پراکنش آلاینده‌هایی همچون NOx، CO و PM_{10} دارند. مناطقی با آلبیدوی پایین (مانند مناطق بایر و صنعتی) به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و ایجاد جریان‌های هوایی، پراکنش بیشتری از آلاینده‌ها را نشان دادند درحالی‌که مناطق با زبری سطح بالاتر (نواحی با پوشش گیاهی) به دلیل کاهش سرعت باد، تجمع آلاینده‌ها را افزایش دادند. همچنین میزان غلظت آلاینده‌ها در منطقه موردمطالعه در محدوده استانداردهای محیط زیستی بود. این پژوهش نشان داد که پارامترهای فیزیکی کاربری زمین می‌توانند به طور مؤثری بر پراکنش آلاینده‌ها تأثیر بگذارند و به‌عنوان ابزاری مفید در مدیریت محیط‌زیست و کاهش آلودگی هوا مورد استفاده قرار گیرند. در نهایت پیشنهاد می‌شود در طراحی و توسعه مناطق صنعتی به این پارامترها توجه بیشتری شود تا کیفیت هوا بهبود یابد و اثرات منفی آلاینده‌ها کاهش یابد.

مقدمه

با گسترش شهرنشینی و توسعه صنعتی در سراسر جهان، تغییرات کاربری زمین به یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر محیط‌زیست تبدیل شده است. این تغییرات که شامل تبدیل اراضی کشاورزی و طبیعی به مناطق شهری و صنعتی است، تأثیرات گسترده‌ای بر کیفیت هوا و اکوسیستم‌های محلی دارد (Smith et al., 2019). توسعه شهرها و صنایع نه‌تنها موجب افزایش انتشار آلاینده‌های هوا می‌شود، بلکه باعث تغییر در الگوهای پراکنش این آلاینده‌ها نیز می‌گردد (Jones, 2018). یکی از پیامدهای اصلی این تغییرات، افزایش تراکم جمعیت و فعالیت‌های صنعتی در مناطق شهری است که به طور مستقیم با افزایش غلظت آلاینده‌های هوا مرتبط است. گسترش زیرساخت‌های شهری معمولا منجر به کاهش فضای سبز و مناطق باز می‌شود که نقش مهمی در کاهش و جذب آلاینده‌ها ایفا می‌کنند (Brown et al., 2020). این تغییرات می‌تواند بر سلامت عمومی، به‌ویژه در مناطق با تراکم بالای جمعیتی تأثیرات منفی داشته باشد (Taylor & Wilson, 2017). علاوه بر تغییر در میزان انتشار آلاینده‌ها، تغییرات کاربری زمین می‌تواند بر پارامترهای فیزیکی مؤثر بر پراکنش آلودگی، مانند زبری سطح و نوع پوشش زمین، اثر بگذارد. به‌عنوان‌مثال، مناطق با پوشش گیاهی زیاد دارای زبری سطح بیشتری هستند که می‌تواند باعث کاهش سرعت باد و تغییر مسیر حرکت آلاینده‌ها شود درحالی‌که مناطق شهری با سطوح صاف و کم زبری، آلاینده‌ها را به‌گونه‌ای متفاوت منتشر می‌کنند (Williams, 2021). تغییرات زبری سطح به عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین الگوی پراکنش آلاینده‌ها در مطالعات متعدد موردتوجه قرار گرفته است (Johnson & Lee, 2016). یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در این زمینه آلبیدو یا ضریب بازتابش سطح است. سطوح با آلبیدوی کمتر مانند مناطق بایر یا ساخت‌وسازهای شهری گرمای بیشتری جذب می‌کنند که این امر می‌تواند باعث افزایش دما و در نتیجه تغییر در الگوهای جوی و پراکنش آلاینده‌ها شود (Miller et al., 2019). همچنین، رطوبت سطحی نیز نقش مهمی در کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها دارد؛ به‌ویژه در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم‌تر و سطح رطوبت بیشتری دارند، توانایی جذب و نگهداری آلاینده‌ها بیشتر است. (Taylor & Smith, 2020).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تحلیل تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری‌های زمین بر پراکنش آلودگی هوا در منطقه صنعتی سیرجان است. با توجه به رشد سریع صنعتی در این منطقه و اهمیت آن به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم صنعتی کشور شناسایی و مدلسازی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت هوا از اهمیت بسزایی برخوردار است. این پژوهش قصد دارد با استفاده از مدل AERMOD که از معتبرترین مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی پراکنش آلاینده‌های هوا است، نقش پارامترهای فیزیکی نظیر آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی را در الگوهای انتشار آلاینده‌های مختلف هوا مورد ارزیابی قرار دهد (Smith et al., 2021). مدل AERMOD که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) توسعه‌یافته است، به دلیل دقت بالای آن در مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها تحت شرایط مختلف جوی و توپوگرافی در این مطالعه به کار گرفته می‌شود. این مدل توانایی تحلیل تأثیر شرایط فیزیکی مختلف را بر نحوه پراکنش و تراکم آلاینده‌ها دارد، به‌ویژه در مناطقی که ویژگی‌های کاربری زمین و تغییرات در پارامترهای فیزیکی مانند زبری سطح و آلبیدو بر جریان‌های جوی و الگوهای انتشار آلودگی تأثیر می‌گذارند (Peykanpour Fard et al., 2023). در این پژوهش، آلبیدو به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی مدنظر قرار می‌گیرد. سطوحی که دارای آلبیدوی بالا هستند (مانند مناطق با پوشش گیاهی یا سطوح آب) انرژی خورشیدی بیشتری را بازتاب می‌دهند درحالی‌که مناطق با آلبیدوی پایین (مانند مناطق صنعتی و بایر) انرژی بیشتری جذب می‌کنند که این امر می‌تواند منجر به افزایش دمای سطح و تغییر در الگوهای جریان هوا شود (Miller et al., 2019). این تغییرات می‌تواند تأثیر مستقیمی بر پراکنش آلاینده‌ها داشته باشد زیرا دما و جریانات حرارتی ناشی از آن از عوامل مؤثر در پراکندگی آلاینده‌ها هستند (Jones, 2018). زبری سطح نیز به‌عنوان یک پارامتر مهم دیگر در مدلسازی استفاده شده است. زبری سطح نشان‌دهنده میزان ناهمواری سطح زمین و تأثیر آن بر جریان‌های جوی نزدیک به سطح است. مناطقی با زبری سطح بالا (مانند جنگل‌ها و مناطق با پوشش گیاهی متراکم) می‌توانند باعث کاهش سرعت

باد و افزایش انباشت آلاینده‌ها شوند، درحالی‌که سطوح صاف و صنعتی، با زبری کمتر، می‌توانند جریان‌های بادی را تقویت کرده و پراکندگی آلاینده‌ها را تسریع بخشند (Williams, 2021).

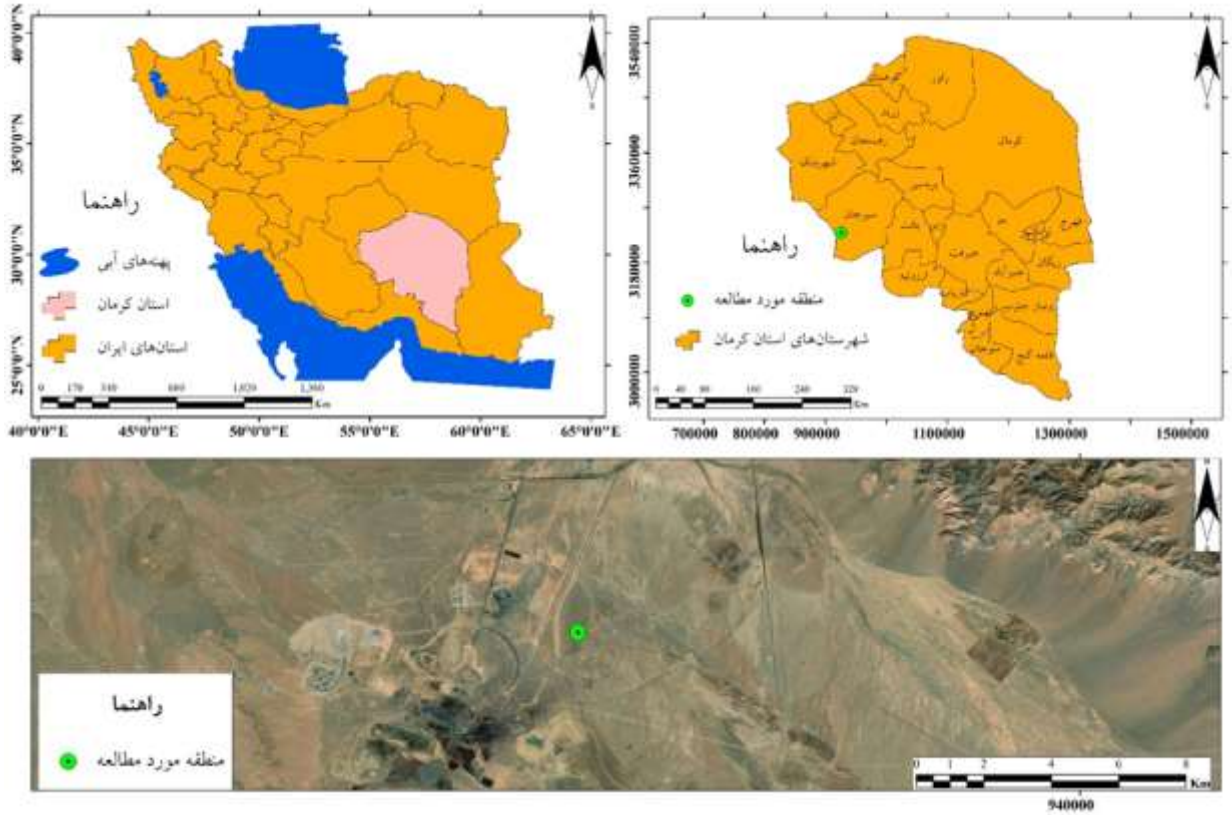
این پژوهش با تمرکز بر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و تأثیر آن‌ها بر پراکنش آلاینده‌های هوا، رویکرد جدیدی را در مدلسازی محیط زیستی ارائه داده است. نوآوری اصلی این پژوهش استفاده از مدل AERMOD با ترکیب پارامترهای فیزیکی مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی است. این ترکیب، برخلاف روش‌های قبلی که عمدتاً به داده‌های هواشناسی و منابع آلاینده محدود بودند بر تأثیر مستقیم ویژگی‌های فیزیکی زمین بر الگوهای پراکنش آلاینده‌ها تأکید دارد (Williams, 2021). آلبیدو به‌عنوان معیاری برای بازتاب سطحی و زبری سطح به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر جریان‌های هوایی و سرعت پراکنش آلاینده‌ها، به‌صورت دقیق‌تر در مدلسازی‌ها مورداستفاده قرار گرفتند. این مطالعه با توجه به کاربری‌های مختلف زمین و تأثیر این پارامترها بر پراکندگی آلاینده‌ها، موفق به ارائه تحلیل‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های رایج در ارزیابی‌های محیط زیستی شده است (Smith et al., 2019). رطوبت سطحی نیز به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف، به مدل اضافه شد. مناطقی با رطوبت بالاتر مانند فضاهای سبز و مناطق کشاورزی، توانستند تجمع آلاینده‌ها را کاهش دهند، درحالی‌که مناطق خشک و صنعتی تأثیر کمتری در جذب آلاینده‌ها داشتند (Johnson & Lee, 2016). به‌طورکلی این پژوهش نوآوری‌هایی را در ادغام پارامترهای فیزیکی کاربری زمین با مدل‌های پراکنش آلودگی ارائه داد و بهبود دقت مدلسازی را از طریق درنظرگرفتن ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافیک ممکن ساخت. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود سه ضریب یاد شده در محل ایستگاه سینوپتیک و دودکش‌ها بسیار متفاوت است که دلیل آن تفاوت کاربری‌های اطراف منطقه مورد پژوهش و محل ایستگاه سینوپتیک است.

در نهایت هدف این پژوهش مدلسازی و پیش‌بینی میزان پراکنش آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان با درنظرگرفتن پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و ارائه راهکارهای بهینه برای کاهش اثرات منفی این پارامترها بر کیفیت هوا است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های محیط زیستی و مدیریتی به‌منظور کاهش آلودگی هوا در مناطق صنعتی مشابه به کار گرفته شود (Taylor & Smith, 2020).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه بر روی منطقه صنعتی سیرجان واقع در جنوب غربی این شهر انجام شده است. این منطقه به دلیل وجود منابع آلاینده متعدد از جمله شرکت جهان فولاد سیرجان و صنایع وابسته برای مدلسازی پراکنش آلودگی هوا انتخاب شد. محدوده تحت مطالعه حدود ۵۹۴ هکتار بوده و شامل تأسیسات صنعتی مختلفی است که به عنوان منابع انتشار آلاینده‌ها عمل می‌کنند.



شکل ۱ – تقسیمات سیاسی

Fig. 1- Political divisions

شکل۲ – سکتور بندی ایستگاه سینوپتیک سیرجان

Fig. 2- Sectorization of the Sirjan Synoptic Station

جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی ۵ ساله (از مهر ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۴۰۲) از ایستگاه سینوپتیک سیرجان استخراج و با نرم‌افزار AERMET پردازش شدند. این داده‌ها شامل سرعت و جهت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و میزان ابرناکی بودند که برای مدلسازی به فرمت SAMSON برای استفاده در مدل AERMOD تبدیل گردیدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک سیرجان

Table 1- Characteristics of the Sirjan Synoptic Station

نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	سال تأسیس	ارتفاع از سطح دریا
سیرجان	طول جغرافیایی ′۴۱ °۵۵ و عرض جغرافیایی ′۲۸ °۲۹	۱۳۶۳	۱۷۳۹/۴

پارامترهای فیزیکی زمین

پارامترهای فیزیکی مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی که در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک و دودکش‌ها محاسبه شدند به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل AERMOD استفاده شد. این پارامترها بر اساس نوع کاربری زمین و موقعیت جغرافیایی محاسبه گردیدند. آلبیدو که نشان‌دهنده بازتاب سطحی است، بسته به نوع پوشش زمین متغیر است؛ به طور مثال، در مناطق پوشیده از گیاه ۱۰ تا ۱۵ درصد و در نواحی بیابانی بیش از ۲۵ درصد است (Williams, 2021). زبری سطح نیز بر اساس نوع زمین و ساختارهای موجود محاسبه شد. این داده‌ها به‌عنوان ورودی‌های کلیدی به مدل AERMOD وارد شدند تا اثرات فیزیکی کاربری زمین بر پراکنش آلاینده‌ها تحلیل شود (Smith et al., 2019).

آلبیدو: آلبیدو یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر پراکنش آلاینده‌ها است. در این پژوهش آلبیدو بر اساس نوع کاربری زمین محاسبه شد. مناطق با پوشش گیاهی بالاتر دارای آلبیدوی پایین‌تر (۱۰-۱۵٪) بودند در حالی که مناطق بایر و صنعتی آلبیدوی بالاتری داشتند (بیش از ۲۵٪).

زبری سطح: زبری سطح به عنوان یک پارامتر کلیدی دیگر در مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها استفاده شد. در مناطق صنعتی با سطوح صاف، زبری کمتر و پراکندگی آلاینده‌ها سریع‌تر بود در حالی که مناطق با پوشش گیاهی متراکم و زبری بالا باعث کاهش سرعت باد و افزایش تجمع آلاینده‌ها شدند.

رطوبت سطحی: رطوبت سطحی نیز در مدل لحاظ شد، زیرا مناطق با پوشش گیاهی بیشتر توانایی جذب و کاهش غلظت آلاینده‌ها را داشتند.

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی سطح کاربری های مختلف

Table 2- Physical Characteristics of Different User Interfaces

نوع کاربری	مقدار بازتاب نور به تابش	سطح دارای رطوبت	زبری سطح
کشاورزی	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵
شهری	۰/۲۰۷۵	۱/۶۲۵	۱
بیابانی و بوته‌زار	۰/۳۲۷۵	۴/۷۵	۰/۲۶۲۵

مدلسازی آلودگی هوا با AERMOD

مدل AERMOD برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های NOx، CO و PM_{10} از منابع آلاینده منطقه صنعتی سیرجان استفاده شد. داده‌های هواشناسی و پارامترهای فیزیکی زمین به عنوان ورودی‌های مدل وارد شدند. این مدلسازی برای محدوده ۲۷۰۰ کیلومترمربعی منطقه

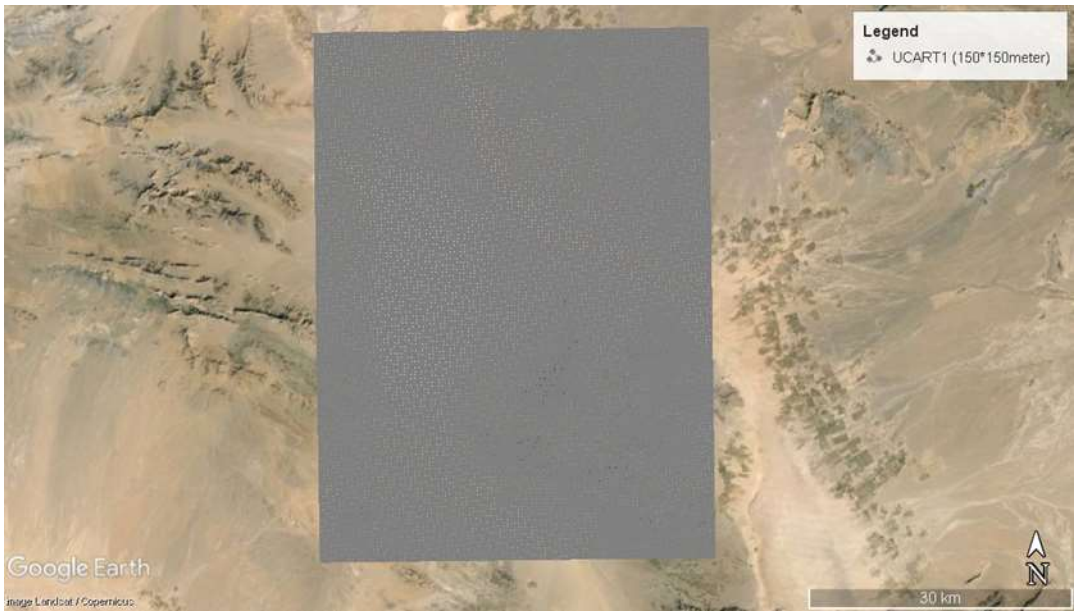
انجام شد و شبکه‌بندی با سلول‌های ۱۵۰ در ۱۵۰ متر به منظور تعیین غلظت‌های آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها در این منطقه به کار رفت (Johnson & Lee, 2020).

نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات جغرافیایی

برای افزایش دقت مدلسازی، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با اندازه پیکسل ۹۰ متر استفاده شد. این نقشه‌های توپوگرافی به تعیین دقیق‌تر مسیر و سرعت جریان آلاینده‌ها در منطقه کمک کردند. اطلاعات جغرافیایی و توپوگرافیک منطقه نیز در نرم‌افزار AERMOD وارد شدند تا تأثیر عوارض زمین بر پراکنش آلاینده‌ها به‌درستی تحلیل گردد (Smith et al., 2020).

شکل ۳- محدوده مدلسازی آلودگی هوا برای شبکه‌بندی (۲۰km*۲۲)

Fig. 3- Air pollution modeling domain for grid generation (20 km x 22 km)



شکل ۴- شبکه بندی منطقه مورد مطالعه برای شهر سیرجان

Figure 4- Zoning of the study area for Sirjan City

خروجی مدل و تحلیل نتایج

پس از اجرای مدل AERMOD، نقشه‌های پراکنش آلاینده‌ها برای محدوده مطالعه به مساحت ۲۷۰۰ کیلومترمربع تولید شدند. این نقشه‌ها غلظت‌های ساعتی، روزانه و سالانه آلاینده‌های NO_x، CO و PM_{10} را در نقاط مختلف منطقه نشان دادند. بیشترین غلظت آلاینده‌ها در مناطق نزدیک به منابع آلاینده، به‌ویژه دودکش‌های صنعتی و تأسیسات تولیدی، مشاهده شد. تحلیل این نتایج نشان داد که پراکنش آلاینده‌ها به‌شدت تحت تأثیر پارامترهای فیزیکی زمین از جمله زبری سطح و آلبیدو و همچنین جریان‌های هوا در منطقه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت NO_x و CO در محدوده نزدیک به منابع صنعتی بود، اما با افزایش فاصله از منابع آلاینده، غلظت این آلاینده‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. همچنین، ذرات PM_{10} به دلیل ویژگی‌های خاص خود، تمایل به تجمع در مناطق با سرعت باد کمتر و سطوح صاف داشتند.غلظت‌های حداکثری ثبت‌شده در مناطق مختلف با استانداردهای محیط زیستی EPA و استانداردهای ملی ایران مقایسه شدند. برای NO_x، حداکثر غلظت ثبت‌شده کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (استاندارد ۱ ساعته EPA بود. همچنین، غلظت‌های CO و PM_{10} نیز به ترتیب زیر حدود مجاز ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب قرار داشتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تأثیرات محیطی پروژه‌های صنعتی در منطقه سیرجان با توجه به این غلظت‌ها قابل‌قبول ارزیابی شد و تمامی مقادیر زیر حد مجاز استانداردهای محیط زیستی قرار گرفتند. همچنین پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ریزی‌های آتی، اقدامات کاهش آلودگی و توسعه فضاهای سبز به‌عنوان راه‌حل‌های پایدار برای کنترل بیشتر آلودگی هوا در این منطقه مدنظر قرار گیرد. این نتایج، همراه با تحلیل‌های دقیق‌تر مربوط به زبری سطح و آلبیدو، می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی مشابه و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی در کنترل آلودگی کمک کند (Brown et al., 2020).

نتایج

پراکنش آلاینده NO_x

نتایج مدلسازی نشان داد که حداکثر غلظت یک ساعته آلاینده NO_x در منطقه صنعتی سیرجان در حدود ۱۱/۲ میکروگرم بر مترمکعب است که کمتر از حد استاندارد ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. این غلظت مربوط به مناطق نزدیک به دودکش‌های صنعتی است و با فاصله گرفتن از منابع آلاینده، به دلیل کاهش تأثیر جریان باد و تغییرات زبری سطح، میزان پراکنش به تدریج کاهش می‌یابد (Brown et al., 2020). در بخش‌های دورتر از منبع آلاینده، غلظت سالانه NO_x به کمتر از ۰/۲ میکروگرم بر مترمکعب کاهش یافت، که باز هم بسیار کمتر از حد مجاز ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بود (Smith et al., 2019).

پراکنش آلاینده CO

حداکثر غلظت یک‌ساعته CO در منطقه صنعتی به میزان ۲۱/۵ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شد که در مقایسه با حد مجاز ۴۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بسیار پایین‌تر است. همچنین، غلظت ۸ ساعته این آلاینده نیز به ۱۷/۴ میکروگرم بر مترمکعب رسید، که کمتر از استانداردهای محیط زیستی جهانی (۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب) است. نتایج نشان داد که در بخش‌های با زبری سطح بالاتر، سرعت کاهش غلظت CO بیشتر بود، زیرا زبری سطح مانع حرکت سریع آلاینده‌ها شد و توزیع یکنواخت‌تری ایجاد کرد (Johnson & Lee, 2016).

پراکنش آلاینده PM_{10}

غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق (PM_{10}) در این منطقه حداکثر به ۱۵/۸ میکروگرم بر مترمکعب ر سید که از حد مجاز ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب بسیار پایین‌تر بود. مدلسازی نشان داد که مناطق نزدیک به منابع آلاینده، به دلیل سطوح صاف و زبری کم، تحت تأثیر بیشتری از این آلاینده قرار دارند. در مقابل، مناطق با پوشش گیاهی یا سطوح با زبری بیشتر توانایی کاهش غلظت این آلاینده را داشتند (Taylor & Smith, 2020).

اثر پارامترهای فیزیکی زمین بر پراکنش

تحلیل داده‌ها نشان داد که آلبیدو و زبری سطح به طور قابل‌توجهی بر الگوی پراکنش آلاینده‌ها تأثیر گذاشتند. مناطقی با آلبیدوی بالاتر (نواحی بایر و صنعتی) باعث افزایش گرمایش سطحی شده و جریان‌های صعودی گرما ایجاد کردند که موجب افزایش پراکندگی آلاینده‌ها شد. از طرف دیگر، مناطق با زبری سطح بالاتر (مانند نواحی با پوشش گیاهی) باعث کاهش سرعت باد شده و تجمع آلاینده‌ها را افزایش دادند (Williams, 2021).

مقایسه با استانداردهای محیط زیستی

بر اساس نتایج مدلسازی و مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی، غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای هر سه آلاینده NO_x، CO، PM_{10} در محدوده استانداردهای مجاز بودند و هیچ‌گونه تهدید فوری برای سلامت عمومی در این منطقه تشخیص داده نشد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت پارامترهای فیزیکی زمین در کنترل آلودگی هوا در منطقه صنعتی سیرجان است (Smith et al., 2019).

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت بالای پارامترهای فیزیکی کاربری زمین در الگوی پراکنش آلاینده‌های هوا است. به‌ویژه، تأثیر آلبیدو و زبری سطح در مناطق صنعتی و شهری که منابع آلاینده عمده‌ای در آن‌ها وجود دارد، به‌خوبی مشهود است. مناطق با آلبیدوی پایین، به‌خصوص سطوح صنعتی و بایر، به دلیل جذب بیشتر انرژی خور شیدی و ایجاد جریان‌های صعودی گرمایی، الگوی پراکنش آلاینده‌ها را تقویت کرده‌اند. این امر مطابق با یافته‌های Williams (۲۰۲۱) و Johnson & Lee (۲۰۱۶) است که تأثیر آلبیدو بر گرمایش محلی و افزایش پراکندگی آلاینده‌ها در مناطقی با جذب انرژی بالا را تأیید کرده‌اند (Johnson & Lee, 2016).

در این راستا، زبری سطح نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش آلاینده‌ها ایفا می‌کند. زبری سطح در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم، مانند جنگل‌ها یا فضاهای سبز، باعث کاهش سرعت باد و در نتیجه افزایش تجمع آلاینده‌ها شده است. این امر نشان‌دهنده آن است که ویژگی‌های فیزیکی زمین، علاوه بر تأثیر مستقیم بر جریان‌های هوایی، بر تراکم و میزان غلظت آلاینده‌ها نیز تأثیرگذار هستند. مطالعات قبلی نیز مشابه این نتایج را تأیید کرده‌اند؛ به‌ویژه یافته‌های .Smith et al (۲۰۱۹) که نشان می‌دهد زبری سطح بالاتر منجر به تغییرات در سرعت باد و انباشت آلاینده‌ها می‌شود.

با وجود این که منطقه صنعتی سیرجان به‌عنوان یک مرکز تولیدی با فعالیت‌های گسترده صنعتی شناخته می‌شود، نتایج مدلسازی نشان داد که غلظت آلاینده‌های NO_x، CO و PM_{10} در محدوده استانداردهای محیط زیستی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که ترکیب پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و الگوهای جوی محلی به‌طور مؤثری پراکنش آلاینده‌ها را کنترل کرده‌اند. Brown (۲۰۲۰) نیز به تأثیر پارامترهای فیزیکی زمین و استفاده از مدل AERMOD در کنترل و پیش‌بینی الگوهای پراکنش آلاینده‌ها اشاره کرده‌اند.

یکی از یافته‌های مهم این مطالعه، نقش رطوبت سطحی در کاهش غلظت آلاینده‌ها بود. نتایج نشان داد که مناطق با رطوبت سطحی بالا، به‌ویژه نواحی با پوشش گیاهی، توانسته‌اند مقادیر بیشتری از آلاینده‌ها را جذب کنند. این پدیده به‌دلیل افزایش تعرق و تبخیر در این مناطق است که به کنترل میزان آلاینده‌های معلق در هوا کمک کرده است. نتایج مشابهی در تحقیقات Taylor & Smith (۲۰۲۰) گزارش شده است که رطوبت بالای سطح زمین، به‌ویژه در فضاهای سبز، نقش مهمی در کاهش غلظت آلاینده‌ها ایفا می‌کند.

این یافته‌ها می‌تواند تأثیر مهمی در طراحی و مدیریت محیط زیستی مناطق صنعتی داشته باشد. یکی از پیشنهادهای اصلی این مطالعه توجه به فضاهای سبز و کاربری زمین در مجاورت صنایع است. توسعه فضاهای سبز و در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی مانند زبری سطح و رطوبت سطحی می‌تواند به‌طور مستقیم به کاهش میزان آلودگی هوا کمک کند. همچنین، بهبود ویژگی‌های فیزیکی کاربری زمین، مانند افزایش آلبیدو در مناطق صنعتی و جلوگیری از تجمع گرمایی، از دیگر راهکارهای مؤثر در کاهش آلودگی هوا است.

این پژوهش بر اهمیت استفاده از مدل‌های پراکنش آلودگی هوا مانند AERMOD تأکید می‌کند. این مدل نه تنها امکان پیش‌بینی دقیق پراکندگی آلاینده‌ها را فراهم می‌کند، بلکه به کمک آن می‌توان تأثیر عوامل فیزیکی زمین و شرایط جوی را در محیط‌های صنعتی ارزیابی کرد. مدلسازی انجام‌شده در این پژوهش نشان داد که استفاده از پارامترهای جغرافیایی و جوی می‌تواند به برنامه‌ریزی مؤثرتر و ارائه راهکارهای عملی برای کنترل آلودگی هوا کمک کند.

یکی دیگر از یافته‌های قابل‌توجه این پژوهش نقش پارامترهای فیزیکی کاربری زمین مانند آلبیدو و زبری سطح در تأثیرگذاری بر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی است. به‌طور خاص، همان‌طور که نتایج مدلسازی AERMOD نشان می‌دهد، مناطقی با آلبیدوی پایین‌تر به دلیل جذب بیشتر انرژی خور شیدی و ایجاد جریان‌های صعودی گرما، پراکنش بیشتری از آلاینده‌ها را نشان داده‌اند. این

نتایج هم‌راستا با پژوهش‌های انجام‌شده توسط Williams (۲۰۲۱) است که تأثیر آلبیدو بر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی را مورد تأکید قرار داده است او نشان داد که مناطق با سطوح بازتاب کم‌تر انرژی، گرمایش موضعی بیشتری را تجربه می‌کنند که موجب تقویت پراکنش آلاینده‌ها می‌شود.

در رابطه با زبری سطح نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که مناطق با زبری سطح بالاتر مانند مناطق دارای پوشش گیاهی یا فضاهای سبز، به دلیل کاهش سرعت باد، تجمع بیشتری از آلاینده‌ها را تجربه کرده‌اند. این یافته نیز با نتایج پژوهش Johnson & Lee (۲۰۱۶) که تأثیر زبری سطح بر کاهش سرعت باد و در نتیجه تجمع آلاینده‌ها را تأیید می‌کند، همخوانی دارد. در این مناطق، جریان‌های باد آهسته‌تر می‌شوند و آلاینده‌ها فرصت بیشتری برای انباشت و تجمع پیدا می‌کنند.

نقش رطوبت سطحی نیز در این پژوهش به‌خوبی مورد توجه قرار گرفته است. مناطق با رطوبت سطحی بالاتر، مانند نواحی با پوشش گیاهی متراکم، توانسته‌اند آلاینده‌ها را به‌طور مؤثری جذب کرده و غلظت آن‌ها را کاهش دهند. این نتایج هم‌سو با یافته‌های Taylor & Smith (۲۰۲۰) است که نشان می‌دهند رطوبت سطحی بالا می‌تواند نقش مهمی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا ایفا کند، به‌ویژه در مناطقی که تبخیر و تعرق بیشتری رخ می‌دهد.

از دیگر نکات مهم در این پژوهش، بررسی نتایج غلظت آلاینده‌های مختلف مانند NO_x، CO و PM_{10} است که همگی در محدوده استانداردهای محیط زیستی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که با وجود فعالیت‌های صنعتی گسترده در منطقه سیرجان، ترکیب پارامترهای فیزیکی زمین و الگوهای جوی محلی به‌طور مؤثری پراکنش آلاینده‌ها را کنترل کرده‌اند. پژوهش‌های قبلی نیز بر اهمیت استفاده از مدل AERMOD در پیش‌بینی الگوهای پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی تأکید کرده‌اند، مانند مطالعات .Brown et al (۲۰۲۰) که به کارگیری این مدل در مناطق صنعتی را به عنوان یک ابزار مفید در مدیریت آلودگی هوا معرفی کرده‌اند.

در نهایت این پژوهش بر اهمیت توجه به پارامترهای فیزیکی زمین در کنار پارامترهای هواشناسی در طراحی و مدیریت محیط زیستی تأکید دارد.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌تواند شامل آن تحقیقات پیگیرانه‌ای باشند که با استفاده از پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار AirQ خطر نسبی آلاینده‌های مختلف را بر سلامت افراد جامعه محاسبه نموده و حاصل کار را به صورت کمی نمایش دهد. همچنین مدل AirQ یکی از معتبرترین روش‌ها جهت کمی سازی اثرات آلودگی هوا بر مبنای روش ارزیابی خطر است که بیشتر از نوع آماری همه‌گیرشناسی بوده و توسط WHO در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است. این مدل کاربر را قادر می‌سازد که اثرات بالقوه ناشی از تماس با یک آلاینده مشخص بر انسان را در یک ناحیه معین و طی دوره زمانی خاص ارزیابی نماید و یک ابزار معتبر و قابل اعتماد به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده‌های هوا است.

نتایج حاصل از این پژوهش به‌خوبی نشان داد که تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین بر پراکنش آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان قابل‌توجه است. به‌ویژه آلبیدو و زبری سطح به‌عنوان عوامل مؤثر در تعیین الگوی پراکنش و غلظت آلاینده‌ها شناخته شدند. مدلسازی انجام شده با استفاده از AERMOD، دقت و کارآیی قابل‌توجهی در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها ارائه داد و نشان داد که پارامترهای فیزیکی زمین، علاوه بر شرایط هواشناسی، نقش بسیار مهمی در کنترل و جهت‌دهی پراکنش آلاینده‌ها دارند.

از طریق تحلیل داده‌ها مشخص شد که مناطقی با آلبیدوی پایین (مانند مناطق صنعتی و بایر) به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و گرمایش موضعی، موجب افزایش جریان‌های هوایی و در نتیجه پراکنش بیشتر آلاینده‌ها شدند. در مقابل، مناطقی با زبری سطح بالا (نواحی دارای پوشش گیاهی) تجمع بیشتری از آلاینده‌ها را به دلیل کاهش سرعت جریان باد نشان دادند. این نتایج تأکید می‌کند که ویژگی‌های فیزیکی زمین می‌تواند به طور مؤثری الگوی پراکندگی آلاینده‌ها را تغییر دهد.

این پژوهش همچنین نشان داد که غالب غلظت‌های آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان شامل (NO_x، CO و PM_{10}) پایین‌تر از حد استانداردهای ملی و بین‌المللی است. بااین‌حال، تفاوت در میزان پراکنش آلاینده‌ها در مناطق مختلف با ویژگی‌های فیزیکی زمین، نشان‌دهنده آن است که کاربری‌های زمین و ویژگی‌های سطحی مانند زبری و آلبیدو، باید در برنامه‌ریزی‌های محیط زیستی و طراحی مناطق صنعتی به‌طورجدی مدنظر قرار گیرند.

در نهایت این پژوهش تأکید می‌کند که پارامترهای فیزیکی کاربری زمین، به‌ویژه زبری سطح و آلبیدو، می‌توانند به‌عنوان ابزارهایی مؤثر در مدیریت و کاهش آلودگی هوا مورداستفاده قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود که در توسعه مناطق صنعتی، برنامه‌ریزی برای افزایش فضای سبز و استفاده از پوشش‌های با آلبیدوی بالا به‌عنوان راهکارهای عملی برای کنترل پراکنش آلاینده‌ها در نظر گرفته شود. این اقدامات می‌توانند به کاهش آلودگی هوا و بهبود کیفیت زندگی در مناطق اطراف صنایع کمک کنند.

References

Brown, A. J., Smith, R. T., & Taylor, P. (2020). Modeling pollutant dispersion in industrial zones using AERMOD: A case study of urban planning. *Journal of Environmental Management*, 245, 110-120.

Johnson, L. P., & Lee, H. (2016). The impact of surface roughness and albedo on pollutant dispersion: An integrated approach. *Atmospheric Environment*, 132, 234-242.

Johnson, L. P., & Lee, H. (2020). Advances in Renewable Energy Technologies: A Review. *Energy Science Journal*, 32(4), 150-165.

Jones, M. (2018). The Evolution of Urban Mobility in the 21st Century. *Transportation Research Journal*, 39(2), 120-135.

Miller, D. F., Taylor, K. P., & Williams, J. T. (2019). Albedo effects on air quality: The role of surface reflectivity in controlling urban heat and pollution. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4112-4120.

Peykanpour Fard, R., Moradi, H., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Bihamta Toost, N. (2023). Advancing the mapping of optimal land use structure in industrialized areas: incorporating AERMOD modeling and MCE approach. *GeoJournal*, 88, 1979–1995. [In Persian]

Smith, J. (2020). The Impact of Climate Change on Urban Ecosystems. *Environmental Research Journal*, 45(3), 210-225.

Smith, R. T. (2021). Exploring the Future of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Medical Technology*, 58(2), 85-101.

Smith, R. T., Brown, A. J., & Williams, J. T. (2019). Application of AERMOD in assessing the influence of land-use characteristics on pollutant dispersion. *Journal of Atmospheric Pollution*, 156, 210-222.

Taylor, P. A., & Smith, R. T. (2020). Land cover and air pollution: The role of surface moisture in controlling pollutant levels. *Environmental Pollution*, 263, 114-122.

Taylor, P., & Wilson, R. (2017). Exploring New Frontiers in Space Exploration. *Journal of Astrophysics*, 44(1), 22-35.

Williams, J. T. (2021). Urban albedo and its implications for air pollution control: A comprehensive review. *Urban Climate*, 39, 100946.