



Journal of Environmental Research

Vol. 15, No. 29, Spring & Summer 2024

Journal Homepage: www.iraneiap.ir

Print ISSN: 2008-9597

Online ISSN 2008-9590

Air Dispersion Simulation Due to Non- Urban Road Traffic Using CALPUFF: A Case Study in Lorestan, Iran

Document Type
Research Paper

Received
2020/03/14

Accepted
2024/05/26

Hossein Madadi^{*1}, Hossein Moradi², Alireza Soffianian³, Rassoul Salman Mahiny⁴

1. Assistant Professor, Dept. of the Environmental Sciences, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahab, Iran
2. Associate Professor, Dept. of the Environmental Sciences, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3. Professor, Dept. of the Environmental Sciences, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4. Professor, Dept. of the Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2024.182735.1952



Abstract

Roads as main infrastructure of development in spite of their social and economic advantages would lead to increase of air pollutants due to vehicles traffic. The main of this study is to estimate of suburban road networks impacts based on air pollution modeling approach. For this purpose, dispersion limits of CO, NO₂, PM₁₀ and SO₂ pollutants emitted from Lorestan road network's traffic have been investigated. The CALPUFF model were used to simulate pollutants in four seasons. Traffic volume and velocity, pollutants emission rate, synoptic meteorological data, land cover map, digital elevation model and slope map were used as input data. The result of modeling for 2461 km of road showed that maximum concentration of pollutants is in autumn and located in distance about 2 km from the roads. Based on the modeling outputs, SO₂ gas has most distribution than the rest of pollutants. The most rate of rural population exposed to the air pollution of road networks are 11/5 percentage of all population of Lorestan province. This occurs in autumn. Although the mainly studies on air pollution have been focused in urban areas, but the results of this study in a province with natural regions showed even these regions are not in safe from the air pollution. Therefore, it is essential to attention of environmental consideration in road design and routing phase as well as decrease of vehicle's age of suburban road transportation.

Keywords: Air Pollution, Road, Lorestan, Simulation, Pollutant Dispersion

* Corresponding author:

Email: madadi@bkatu.ac.ir

Introduction

A major cause of air pollution, vehicles especially impact areas near roads. In numerous developing countries, air pollution continues to be a major environmental issue despite efforts at management (Batterman et al., 2014). While emissions from mobile sources like vehicles have grown with economic development, industrial pollution emissions have dropped recently (Nagendra et al., 2016). For those in research and decision-making, tracking air quality and measuring it using several criteria has grown to be a focus. Pollution sources and dispersion modeling help to forecast consequences; pollution concentrations are measured using air quality monitoring models (Ruggieri & Plaia, 2012). Given urban areas increased densities of people, several studies have looked at traffic-related air pollution in suburban and metropolitan settings. Certain studies have looked at suburban road-induced air pollution since minor population centers along these roads come into contact with vehicle traffic (Abdul-Wahab & Fadlallah, 2014; Hatzopoulou & Miller, 2010; Yu & Stuart, 2013). This study aims to ascertain the spread of air pollutants resulting from vehicle traffic in Lorestan province's suburban road network. This province is a major route of transportation in Iran, thus researching air quality in the towns close to the road network will assist to estimate the environmental influence. The study intends to address issues about the dispersion of air pollutants, the locations with the highest pollution levels, the quality of the air in villages, and the population exposed to road traffic pollution.

Methodology

- Study area

Lorestan province is part of western Iran. At 1760,649, its proportion was 2.3% of Iran's total population. Regarding road infrastructure, the province had a notable rise in products transported. The province offers an extensive road network as well, with 489km of four-lane roads, 924km of main roads, 617km of subsidiary roads, and 5177km of rural roads.

- Research Method

Road traffic volume depends much on the annual average daily traffic (AADT), which is expressed by 1AADT. It is calculated by 365 days divided by the total traffic volume traversing a given segment or point of a road annually. Data from the Road Transportation Organization was collected for twelve months and five vehicle types in this study: cars and vans, trucks and small vehicles, minibuses, less regular trucks, buses, and trailers and carriers. Google Earth satellite images helped to produce a digital map of Lorestan province's road system. After that, the QGIS system handled this map for analysis. The study included roads with daily traffic counts of more than 1000 automobiles daily. Obtained and analyzed were meteorological data from nine synoptic stations and land use maps from the General Department of Natural Resources. The Aster digital elevation model offered by the USGS was the source of the digital elevation model, which included height data for every point in a range. Additionally included were demographic data for the province's villages, derived from the Iran Statistics Center's 2015 general population and housing census. In This study, the CALPUFF version 7 model, well-known for dependability and global acceptance, was used (Scire et al., 2000). The presence of several meteorological stations in the research area, the necessity of integrated modeling of meteorological conditions in the entire province, and the model's great accuracy in hilly areas affected this decision. Appropriate for modeling non-uniform complex flows, the CALPUFF model can replicate several kinds of pollution sources. There were three primary phases to the modeling: CALMET, CALPUFF, and CALPOST. Using more accurate topography and land use data, CALMET, a meteorological model, modifies wind zoning data from a prediction model. This improved accuracy of meteorological data applied in air pollution dispersion models, hence especially relevant in areas with complex terrain. Given the large extent and the computational time needed, the modeling procedure split the area into one-kilometer cells. A specified equation was used to determine emission rates of SO₂, NO₂, CO, and PM₁₀ (BARLOW et al., 2009). The amount of pollution produced by automobiles was computed using the handbook for estimating automobile emissions. Given Lorestan's complex terrain, road slope and their aspects were considered while determining the emission rates. CALPOST processed the model's output to get suitable time intervals. Combining the concentrations of the four pollutants were involved to determine the air quality index. The classification of pollution concentrations into consideration the guidelines offered by the American EPA and the Iranian guidance for computing the air quality index. Simulated pollution concentrations were analyzed and categorized using these guidelines.

Results and Discussion

The implementation of the CALPUFF model to simulate the dispersion of CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀ gases caused by traffic in the Lorestan province road network resulted in the following findings. Classified maps of pollutant concentration were generated to present the results. One notable finding was the identification of three spots with the highest concentration of CO gas pollution in parts of the road network. These spots were located in Garneh Zagheh, Zahid Shir, and the 100th kilometer of the Azad Khorramabad-Andimshek road. Another important spot was found at kilometer 20 of the Borujerd-Arak highway. In the summer season, the number of spots with high CO concentration decreased compared to spring, but increased in the 20th kilometer of the Khorram Abad-Arak highway. In autumn and winter, additional spots were observed, including one at km 20 of the Kohdasht-Khorramabad road. The highest concentration of carbon monoxide gas was observed in the autumn season, with a concentration of 49.5 mg/m³. The maximum concentrations in spring, summer, and winter were 30.8 mg, 24.2 mg, and 25.9 mg, respectively. The areas affected by carbon monoxide gas were highest in autumn, followed by spring, winter, and summer. The distribution of NO₂ gas differed from that of CO gas. High concentrations of NO₂ were observed on routes such as the Durood T-road on the Borujerd-Khorramabad highway as well as near the city of Khorramabad. The concentrations were high in passes like the Zagheh pass and the Razan pass. In summer, concentrations decreased, but remained high in certain areas. Similar patterns were observed in autumn and winter, with the addition of high concentrations on the Durood-Azna-Shazand route in fall. The highest concentration of NO₂ gas was observed in the autumn season. The concentration of PM₁₀ followed a similar pattern to NO₂ gas. High concentrations of PM₁₀ were observed from Durood T-way to Khorram Abad, particularly in pass areas. Continuous concentrations of PM₁₀ were observed in most roads in medium and unhealthy quality classes. The highest concentration of PM₁₀ was observed in autumn, followed by spring, winter, and summer. The area affected by PM₁₀ gas in the unhealthy quality class was highest in winter. The areas affected in spring, summer, and autumn were lower but still significant. Overall, the study revealed the distribution and levels of CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀ gases in the Lorestan province road network. The findings can help inform measures to reduce pollution and improve air quality in the region. The air quality index maps for the four seasons in Lorestan province indicate that the air quality on the Azna-Dorud, Azna-Shazand, Durud-Khorramabad, Khorramabad-Pol Zal, Borujerd-Arak, and Dokhtar-Andimshek roads is unhealthy throughout the year. Heavy vehicles emit an increased quantity of traffic pollutants due to the topographic conditions of passes and the gradients of uphill roads. It is feasible for pollutants to accumulate in the region as a result of both high and low altitudes. Khorramabad-Poldakhter, Borujerd-Eshtrinan, and Poldakhtar-Islamabad. The air quality of the highways in the west is relatively worse. Figure 4 suggests that the air quality is considered unhealthy beyond a distance of 2 kilometers from roads. The province area is either 4.5% or 1.4% affected by unhealthy air quality in the autumn or winter, depending on the concentration of pollutants. During the summer, 2.8% of the province experiences unhealthy air quality. The adverse consequences of air pollution on human societies are frequently investigated in relation to population centers and expressed as a percentage of the residential areas that are impacted. Nevertheless, a lack of accurate maps of rural spatial extent results in evaluation errors in this specific study, which concentrates on rural areas and non-urban population centers. Consequently, the development of a population distribution map for these regions provides an opportunity to ascertain the effects of various pollutants on these communities. SO₂ and NO₂ gases have the most significant impact on human societies in all seasons when the population distribution is compared to the pollution distribution caused by road traffic in Lorestan province. About 25,700 individuals are impacted by NO₂ gas in the winter, while over 63,000 individuals are influenced by SO₂ gas in the autumn. In the autumn and winter, approximately 9,400 individuals are affected by PM₁₀. The rural population is the least affected by carbon monoxide. Similar research was conducted in Pakistan by Ali & Athar (2008), who discovered that air quality is superior in rural areas as a result of road speed reduction obstacles. The autumn season in Lorestan province is the period during which the most individuals are exposed to unhealthy air quality, which accounts for 11.5% of the rural population. Additionally, a significant portion of the rural population is subjected to unhealthy air during other seasons. The following areas are the most significantly impacted by air pollutants from the road network: Zainali, Kaboterlan, Dareh Teng, Jahanabad, Zagheh, and Tal Muradkhan.

Conclusion

The effect of road networks on air quality in Lorestan province was analyzed using the CALPUFF model. The study simulated 2461 km of existing roads in 10 cities for vehicle emissions of CO, NO₂, PM₁₀, and SO₂ gases. Results showed highest concentrations in autumn, with the largest affected area in autumn and winter. SO₂ had the greatest impact, primarily from heavy vehicle emissions. NO₂ affected a larger area than CO and PM₁₀. Emissions were observed up to 2 km from roads. Autumn and winter had the highest air quality index, with non-urban areas most affected. Heavy vehicles were identified as the main source, contributing to 24% of traffic volume. Even natural areas are not immune to air pollution.

References

- Abdul-Wahab, S. A. & Fadlallah, S. O. 2014. A study of the effects of vehicle emissions on the atmosphere of Sultan Qaboos University in Oman. *Atmospheric environment*, 98: 158–167.
- BARLOW, T. J.; Latham, S.; McCrae, I. & Boulter, P. 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. TRL Published Project Report.
- Batterman, S.; Burke, J.; Isakov, V.; Lewis, T.; Mukherjee, B. & Robins, T. 2014. A comparison of exposure metrics for traffic-related air pollutants: Application to epidemiology studies in Detroit, Michigan. *International journal of environmental research and public health*, 11(9): 9553–9577.
- Hatzopoulou, M. & Miller, E. J. 2010. Linking an activity-based travel demand model with traffic emission and dispersion models: transport's contribution to air pollution in Toronto. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(6):315–325.
- Nagendra, S. S.; Diya, M.; Chithra, V.; Menon, J. S. & Peter, A. E. 2016. Characteristics of air pollutants at near and far field regions of a national highway located at an industrial complex. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48: 1–13.
- Ruggieri, M. & Plaia, A. 2012. An aggregate AQI: comparing different standardizations and introducing a variability index. *Science of the Total Environment*, 420: 263–272.
- Scire, J. S.; Strimaitis, D. G.; Yamartino, R. J. & others. 2000. A user's guide for the CALPUFF dispersion model. Earth Tech, Inc. Concord, MA.
- Yu, H. & Stuart, A. L. 2013. Spatiotemporal distributions of ambient oxides of nitrogen, with implications for exposure inequality and urban design. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(8): 943–955
- Ali, M. & Athar M. 2008. Air pollution due to traffic, air quality monitoring along three sections of National Highway N-5, Pakistan. *Environmental monitoring and Assessment*, 136(3):219-26.

شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا ناشی از ترافیک جاده‌ای برون‌شهری با استفاده از مدل CALPUFF (مطالعه موردی: استان لرستان)

حسین مددی^۱، حسین مرادی^۲، علیرضا سفیانیان^۳، عبدالرسول سلمان ماهینی^۴

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۴. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴

چکیده

جاده‌ها به عنوان مهمترین زیرساخت توسعه با وجود ارایه خدمات اقتصادی و اجتماعی سودمند، به دلیل افزایش حجم تردد خودروها در افزایش آلودگی هوا موثر است. این تحقیق با هدف بررسی میزان اثر آلودگی هوا ناشی از جاده‌های برون‌شهری با رویکرد مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها انجام شده است. برای این منظور میزان و محدوده انتشار گازهای CO، NO₂، PM₁₀ و SO₂ ناشی از شبکه جاده‌ای استان لرستان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق از مدل CALPUFF برای مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها در چهار فصل سال استفاده شده است. حجم و سرعت متوسط ترافیک شبکه جاده‌ای، نرخ انتشار آلاینده‌های هوا، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی، نقشه کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع و نقشه شیب، اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش بوده است. نتایج مدل‌سازی برای ۲۴۶۱ کیلومتر از جاده‌های استان نشان داد که بیشترین غلظت آلاینده‌های مورد بررسی در فصل پاییز و در فاصله تقریبی دو کیلومتر از جاده قابل مشاهده است. گاز SO₂ ناشی از ترافیک جاده‌ای نسبت به دیگر گازها دارای بیشترین گستره اثر است. همچنین در حدود ۱۱/۵ درصد از کل جمعیت روستایی استان لرستان در فصل پاییز در معرض کیفیت هوای ناسالم قرار می‌گیرند که نسبت به سایر فصول سال بیشترین تعداد را شامل می‌شود. انجام این تحقیق در یکی از استان‌های با مناطق طبیعی و بکر کشور نشان داد که حتی چنین مناطقی هم از آلودگی هوا در امان نیستند.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، جاده، لرستان، CALPUFF، روستا

سرآغاز

در این مطالعه خودروهایی که در محدوده دانشگاه تردد می‌کردند به عنوان منبع آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت آلاینده مونوکسیدکربن بر اساس استاندارد EPA در محدوده مجاز و دو گاز دیگر در محدوده غیرمجاز قرار دارند. همچنین (MacIntosh et al., 2010)، از مدل CALPUFF برای شبیه‌سازی انتشار و نشست ذرات کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و روی (Zn) ناشی از کارخانه فرآوری این فلزات در ویرجینیای غربی استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان داد که مدل CALPUFF در شبیه‌سازی پراکنش و نشست ذرات در مناطق کوهستانی به خوبی عمل کرده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. با وجود مطالعات اندک در خصوص آلودگی هوا ناشی از جاده‌های برون شهری، به دلیل وجود مراکز جمعیتی کوچک اما متعدد در امتداد جاده‌های برون‌شهری اهمیت این موضوع کمتر از مطالعات درون‌شهری نیست. به همین منظور (Redling et al., 2013) انتشار گاز NO_x ناشی از تردد خودروها در جاده برون‌شهری که از ذخیره‌گاه طبیعی Powdermill عبور می‌کند را شبیه‌سازی نمودند. آنها برای بررسی میزان نشست نیتروژن خشک ناشی از گاز NO_x از مدل CALPUFF استفاده کردند. همچنین (Lee et al., 2012) غلظت ذرات معلق ناشی از کامیون‌های حمل بار بین دو شهر Los Angeles را با استفاده از مدل CALPUFF مورد بررسی قرار دادند. آنها در بررسی خود هزینه ناشی از بهبود سوخت در کامیون‌های حمل بار را برای بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هزینه سلامت از حذف ذرات معلق ناشی از این نوع وسایل نقلیه بیش از ۴۴۰ میلیون دلار می‌باشد. در جاده‌های برون شهری، مراکز جمعیتی حاشیه جاده‌ها به‌ویژه روستاها، در معرض انواع آلودگی‌های ناشی از تردد خودروها قرار دارند. آلودگی هوا به‌عنوان یکی از این اثرات می‌تواند این مراکز جمعیتی را تحت تاثیر قرار دهد. این مطالعه با هدف تعیین محدوده‌های پراکنش آلاینده‌های هوا ناشی از عبور و مرور خودروها در شبکه جاده‌ای برون‌شهری استان لرستان انجام پذیرفته است. استان لرستان به دلیل موقعیت جغرافیایی خود نقش مهمی در ترانزیت کالا و مسافر از شمال به جنوب و غرب به شرق ایران دارد. به دلیل حجم بالای ترافیک جاده‌ای این استان و قرار داشتن بخش عمده این شبکه جاده‌ای در مناطق کوهستانی و ناهموار، بررسی وضعیت کیفیت هوا در محدوده روستاها در اطراف

امروزه وسایل نقلیه به عنوان یکی از منابع اصلی انتشار آلاینده‌های هوا به شمار رفته و افراد ساکن در نزدیکی جاده‌ها بیشترین آسیب را از آلاینده‌های ترافیک جاده دریافت می‌کنند (Batterman et al., 2014). با وجود تلاش‌های فراوان در خصوص کنترل آلودگی هوا، این مشکل همچنان در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌عنوان اصلی‌ترین دغدغه محیط‌زیستی به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر انتشار آلاینده‌ها از منابع صنعتی روند کاهشی را نشان می‌دهد و این درحالی است که میزان انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک افزایش یافته است. مهمترین دلیل این امر افزایش تعداد وسایل نقلیه به‌دنبال رشد اقتصادی عنوان می‌شود (Nagendra et al., 2016). امروزه توجه به ارزیابی کیفیت هوا و کمی‌سازی آن از طریق ارزیابی شاخص‌های مختلف هم در بین پژوهشگران و هم در بین تصمیم‌گیران، علاقه‌مندان زیادی پیدا کرده است (Ruggieri & Plaia, 2012). مطالعات مربوط به پهنه‌بندی پراکنش آلاینده‌های هوا، تلاشی در جهت دستیابی به اطلاعات مفیدی است که از یک سو وضعیت موجود در خصوص گستره پراکنش آلودگی هوا و شدت و ضعف آن را نشان می‌دهد و از سوی دیگر این اطلاعات برای اجرای برنامه‌های آتی کنترل آلودگی هوا نقش کلیدی را ایفا می‌کنند. به همین منظور مدل‌های بررسی کیفیت هوا برای پیشگویی آثار پیچیده منابع آلاینده به کار می‌روند (Scire et al., 2000). هدف از مدل‌سازی پراکنش، سنجش غلظت آلاینده‌های مرتبط با منبع مورد بررسی در محل پذیرنده‌های آلودگی هوا می‌باشد (Demirarslan et al., 2017). چنین مدل‌هایی به شکل گسترده برای درک پویایی آلاینده‌های هوا در فواصل نزدیک و دور از منبع مورد استفاده قرار می‌گیرند (Nagendra et al., 2016). بررسی وضعیت آلودگی هوا ناشی از ترافیک در محیط‌های شهری در مقایسه با مناطق برون‌شهری در مطالعات زیادی مورد توجه بوده است (Abdul-Wahab & Fadlallah, 2014; Hatzopoulou & Miller, 2010; Yu & Stuart, 2013)، که مهمترین دلیل آن حضور جمعیت‌های انسانی به صورت متمرکز در مناطق شهری می‌باشد. این مطالعات معمولاً در دو مقیاس محلی و منطقه‌ای صورت پذیرفته‌اند. برای مثال (Abdul-Wahab & Fadlallah, 2014)، از مدل CALPUFF برای مدل‌سازی پراکنش سه گاز مونوکسیدکربن (CO)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در محدوده دانشگاه سلطان قابوس مسقط در کشور عمان استفاده شده است.

استان با ارتفاع ۲۳۹ متر در دشت‌های استان و بلندترین قله آن اشترانکوه با ارتفاع ۴۰۸۰ متر از سطح دریا در میان رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. بر اساس سرشماری مرکز آمار ایران، جمعیت استان لرستان در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۷۶۰۶۴۹ نفر بوده است که ۲/۳ درصد از جمعیت ایران را تشکیل می‌دهد. این استان سیزدهمین استان کشور از نظر جمعیت بوده و تراکم جمعیت آن در همین سال برابر با ۶۲ نفر در هر کیلومتر مربع بوده است. از نظر زیرساخت حمل و نقل جاده‌ای، در شش ماهه نخست سال ۱۳۹۶ بالغ بر ۲ میلیون و ۸۳۹ هزار و ۱۶۴ تن انواع کالا از طریق ناوگان حمل بار استان جابه‌جا شده که نسبت به شش ماهه سال ۱۳۹۵ با ۲ میلیون و ۳۹۶ هزار و ۱۲۱ تن جابجایی کالا از افزایش ۱۸ درصدی برخوردار بوده است. در حال حاضر تعداد ۹ هزار و ۶۱۷ دستگاه خودروی حمل بار در ناوگان استان فعال هستند که نسبت به شش ماهه سال ۱۳۹۵ با ۹ هزار و ۲۴۷ دستگاه از افزایشی برابر چهار درصد برخوردار شده است (مرکز آمار ۱۳۹۵). طول راه‌های چهارخطه (آزاد راه و بزرگراه) در این استان ۴۸۹ کیلومتر، راه‌های اصلی ۹۲۴ کیلومتر، فرعی ۶۱۷ کیلومتر و روستایی ۵۱۷۷ کیلومتر می‌باشد (سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ۱۳۹۵).

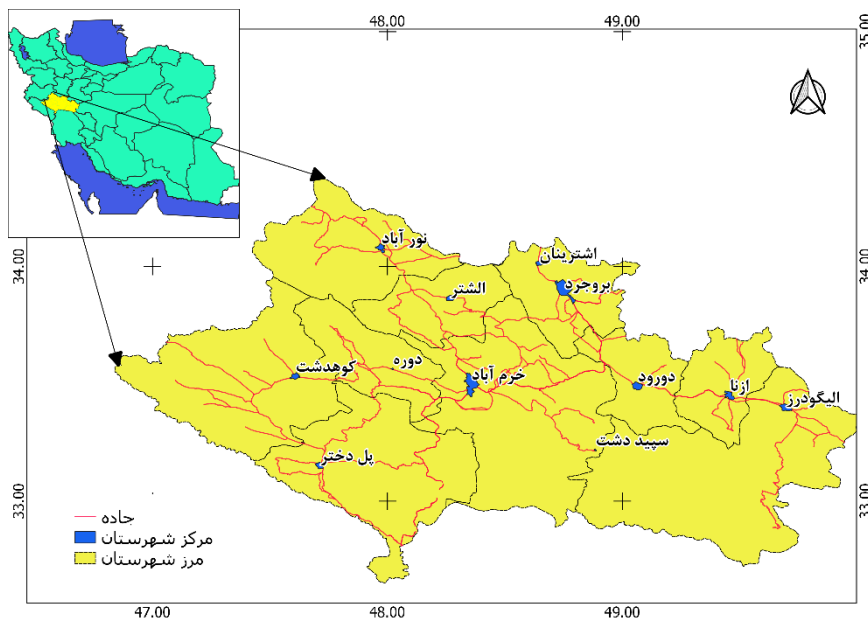
این شبکه جاده‌ای نقش مهمی در کمی‌سازی میزان اثرات محیط‌زیستی آن خواهد داشت. بر این اساس این مطالعه سعی دارد تا به سوال‌های زیر پاسخ دهد.

۱. نحوه توزیع غلظت آلاینده‌های گازی CO، NO₂، PM₁₀ و SO₂ ناشی از تردد خودروها در اطراف شبکه جاده‌ای استان لرستان چگونه است؟
۲. حداکثر غلظت آلاینده‌های گازی ترافیک برون‌شهری در چه بخش‌هایی از استان وجود دارد؟
۳. وضعیت کیفیت هوا در محدوده روستاهای حاشیه شبکه جاده‌ای چگونه است؟
۴. چه بخشی از جمعیت روستایی استان در معرض آلودگی هوای ناشی از ترافیک جاده‌ای قرار دارد؟

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در ناحیه غربی ایران بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است. پست‌ترین نقطه



شکل (۱): نقشه استان لرستان (تقسیمات شهرستان و شبکه جاده‌ای)

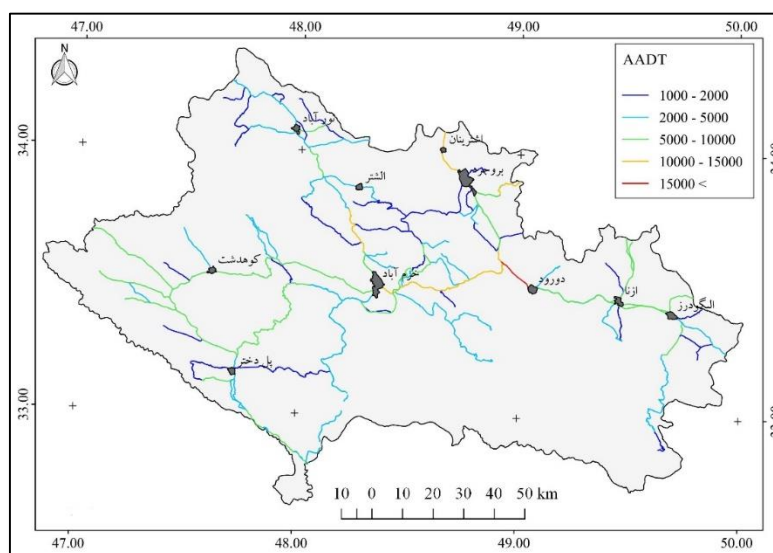
شاخص عبارت است از حجم کل ترافیک عبوری از قطعه یا نقطه معین یک راه در یک سال تقسیم بر ۳۶۵ روز است. بر این اساس داده‌های به‌دست آمده از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای

• داده‌های مورد نیاز

یکی از مهمترین پارامترهای حجم ترافیک جاده، متوسط ترافیک روزانه‌ی سالیانه است که با AADT^(۱) نمایش داده می‌شود. این

مسیر مورد نظر به صورت یک لایه اطلاعاتی و با فرمت KML وارد محیط QGIS شد و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که آستانه اثرگذاری جاده‌ها با حجم ترافیک بیش از ۱۰۰۰ خودرو در روز است (Etyemezian et al., 2003; Helldin et al., 2013) بر همین اساس در این مطالعه نیز از جاده‌های با حجم ترافیک بیش از ۱۰۰۰ خودرو در روز استفاده شده است. شکل (۲) نشان‌دهنده توزیع جاده‌ها و حجم ترافیک روزانه در طول سال در استان است.

برای ۱۲ ماه از سال برای ۵ نوع کلاس خودرویی شامل: ۱. سواری و وانت، ۲. کامیونت و کامیون‌های کوچک و مینی‌بوس، ۳. کامیون‌های معمولی کمتر از ۱۰ متر و سه محوره‌ها، ۴. اتوبوس و ۵. تریلرها و باربرهای بالاتر از سه محور، پردازش شده و مقدار AADT برای هر جاده استان لرستان به دست آمد. تهیه نقشه رقمی جاده‌های استان لرستان براساس محورهای ترددشمار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث یکی از مراحل زمان‌بر در مرحله آماده‌سازی داده‌ها بود. پس از استخراج مسیرهای ارتباطی،



شکل (۲): نقشه شبکه جاده‌ای با حجم ترافیک بیش از ۱۰۰۰ خودرو در روز در طول سال

(Iran, 2016).

• مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا

مدل‌سازی با استفاده از یکی از مدل‌های معتبر و ارجح در سطح بین‌المللی به نام CALPUFF نسخه ۷ انجام پذیرفت. وجود ایستگاه‌های هواشناسی متعدد در منطقه مطالعاتی و لزوم مدل‌سازی یکپارچه برای شرایط هواشناسی در کل استان، از یک سو و صحت بالاتر نتایج مدل در مناطق کوهستانی نسبت به دیگر مدل‌های موجود (Dresser & Huizer, 2011; Tartakovsky et al., 2013) از سوی دیگر دو عامل مهم در انتخاب این مدل بوده است. مدل CALPUFF قادر به شبیه‌سازی چهار نوع منبع نقطه‌ای، خطی، حجمی و سطحی می‌باشد. این مدل به عنوان یک مدل مناسب جهت مدل‌سازی جریان‌های غیریکنواخت و پیچیده از جمله حالت‌هایی که عوارض پیچیده زمین وجود دارد (همانند

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه برای ۹ ایستگاه سینوپتیک شامل ایستگاه‌های الشتر، الیگودرز، ازنا، بروجرد، دورود، خرم‌آباد، کوهدشت، نورآباد، پلدختر و دوره از اداره کل هواشناسی استان دریافت و پس از پردازش مورد استفاده قرار گرفت. نقشه کاربری اراضی مورد نیاز از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه گردید. مدل رقمی ارتفاع، نقشه رقمی رستری است که حاوی اطلاعات ارتفاعی تمامی نقاط یک محدوده است. یکی از منابع معتبر با اندازه تفکیک مکانی مناسب ۳۰ متر و مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مدل رقمی ارتفاع نوع Aster می‌باشد که توسط USGS تهیه شده و به صورت رایگان در اختیار عموم قرار گرفته است (Fujisada et al., 2005). در این پژوهش از این مدل رقمی ارتفاع استفاده شده است. داده‌های جمعیتی روستاهای استان نیز براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران تهیه و مورد استفاده قرار گرفت (Statistical center of

(۲)

$$as_{i,j,k} = A6_{i,j,k} \cdot V^6 + A5_{i,j,k} \cdot V^5 + A4_{i,j,k} \cdot V^3 + A2_{i,j,k} \cdot V + A0$$

در این رابطه $as_{i,j,k}$ عبارت از ضریب اصلاح شیب، V برابر با متوسط سرعت خودرو، و $A0$ تا $A6_{i,j,k}$ مقادیر ثابت بر حسب کلاس خودرو و شیب جاده می‌باشند. پس از مشخص شدن نرخ انتشار گازهای مختلف براساس حجم ترافیک و کلاس خودرو شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها با استفاده از ۷۷ عدد CPU با قدرت ۲/۲ گیگاهرتز در ابررایانه اجرا گردید.

پس از این مرحله خروجی حاصل از مدل با استفاده از CALPOST برای بازه‌های زمانی موردنظر ۸ ساعته برای گاز CO و به شکل روزانه برای دیگر گازها مورد پردازش قرار گرفت. در مرحله بعد برای تجمیع چهار آلاینده مورد بررسی با استفاده از رابطه (۳) شاخص کیفیت هوا محاسبه گردید (Kyrkilis et al., 2007).

$$AQI_T = (\sum_{i=1}^n (AQI_i)^p)^{\frac{1}{p}} \quad (3)$$

در این رابطه AQI_T برابر با مجموع شاخص کیفیت هوا، AQI_i برابر با شاخص کیفیت هوا برای آلاینده i ام و p مقدار ثابت بین ۲ تا ۳ می‌باشد. مقدار AQI برای هر آلاینده در رابطه (۳) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$AQI_i = 100 * \left(\frac{q_i}{q_s}\right) \quad (4)$$

در این رابطه q_i مقدار آلاینده i ام و q_s مقدار استاندارد برای آلاینده i ام می‌باشد (Toro et al., 2012). پس از بررسی میزان استانداردهای ارایه شده توسط EPA آمریکا، و راهنمای محاسبه و تعیین شاخص کیفیت هوا در ایران، در نهایت طبقه‌بندی غلظت چهار گاز مورد بررسی به صورت جدول (۱) تهیه و از این جدول و رنگ‌بندی آن برای طبقه‌بندی میزان غلظت آلاینده‌های شبیه‌سازی شده در تجزیه و تحلیل استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اجرای مدل CALPUFF برای شبیه‌سازی پراکنش گازهای CO، NO₂، SO₂ و PM₁₀ ناشی از ترافیک شبکه جاده‌ای استان لرستان به صورت فصلی در ادامه ارایه شده است. نتایج حاصل به صورت نقشه‌های طبقه‌بندی شده غلظت آلاینده‌ها می‌باشند. شکل (۲) نشان‌دهنده نتیجه شبیه‌سازی پراکنش گاز CO به صورت غلظت ۸ ساعته در فصل بهار می‌باشد.

آنچه که در استان لرستان وجود دارد) مورد تایید قرار گرفته است. سیستم مدل‌سازی به ترتیب شامل سه مرحله اصلی CALMET، CALPUFF و CALPOST می‌باشد. CALMET یک مدل هواشناسی می‌باشد که به عنوان یک پیش‌پردازش، اصلاح‌کننده و وفق‌دهنده داده‌های پهنه‌بندی باد به دست آمده از مدل پیش‌یابی با شبکه‌بندی جدید در مقیاس ریزتر و با استفاده از داده‌های با دقت بالاتر عوارض توپوگرافی و کاربری زمین عمل می‌کند. این عملیات منجر به افزایش دقت و بهبود شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی مورد استفاده در مدل پخش و پراکنش آلودگی هوا می‌شود. این موضوع بیشتر در مناطقی با عوارض پیچیده زمین‌حایز اهمیت است. همچنین با توجه به وسعت زیاد منطقه و زمان‌بر بودن انجام محاسبات، سلول‌بندی صورت گرفته برای مدل‌سازی شرایط هواشناسی به صورت سلول‌بندی یک کیلومتر در یک کیلومتر در نظر گرفته شد. داده‌های هواشناسی نه ایستگاه سینوپتیک استان لرستان شامل دما (درجه سانتی‌گراد)، فشار هوا (mb)، رطوبت نسبی (%، جهت باد (درجه)، سرعت باد (متر بر ثانیه) و ابرناکی (طبقه‌بندی ۱۰ گانه) برای مدل‌سازی هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد مقدار نرخ انتشار آلاینده‌های SO₂، NO₂، CO و PM₁₀ با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

$$E_{hot} = e * m \quad (1)$$

$$m = n * l$$

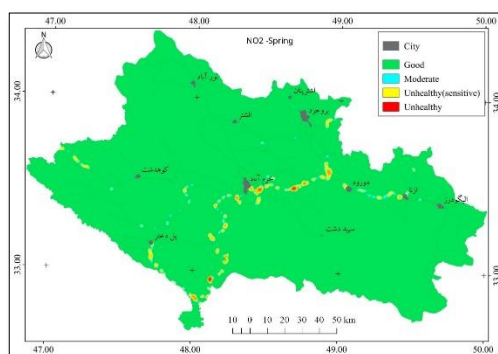
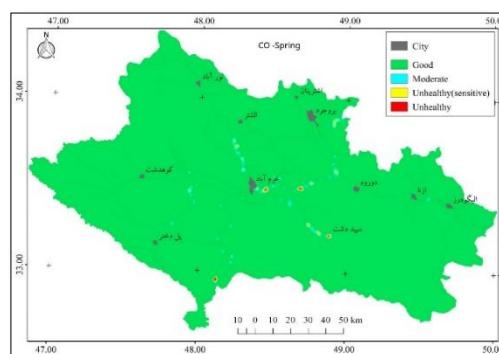
در این رابطه E_{hot} برابر با نرخ انتشار آلاینده خروجی در واحد زمان (گرم بر ساعت)، e برابر با فاکتور انتشار بر حسب گرم بر کیلومتر و m عبارت از مسافت طی شده در واحد زمان (کیلومتر بر ساعت) می‌باشد. برای محاسبه مقدار آلاینده خروجی خودروها، از راهنمای تعیین میزان انتشار خروجی خودروها (Barlow et al., 2009)، استفاده گردید. با توجه با این که منطقه لرستان کوهستانی می‌باشد، لذا شیب جاده در مقدار گاز خروجی آگروز تاثیرگذار خواهد بود، برای این منظور باید شیب هر جاده و جهت شیب جاده مثبت (سربالایی) یا منفی (سربالایی) تعیین گردد. به همین منظور بر اساس رابطه (۲) مقدار ضریب اصلاح شیب (as) بر حسب نوع آلاینده و نوع خودرو در مقدار E_{hot} ضرب می‌شود تا مقدار اصلاح شده نرخ خروجی از آگروز برای هر آلاینده و در هر کلاس خودرو به دست آید (Barlow et al., 2009).

جدول (۱): طبقه‌بندی غلظت آلاینده‌های هوا (Mintz, 2009، مرکز سلامت و محیط کار، ۱۳۹۰)

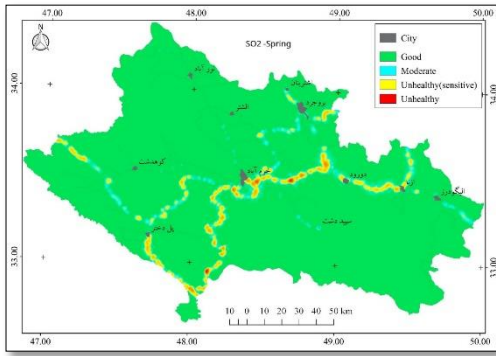
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Daily	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hr-۸	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Daily	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Daily	AQI	کیفیت هوا
۵۴-۰	۰ - ۵/۴	۹۵-۰	۱۵۲-۰	۵۰-۰	خوب
۱۵۴-۵۴	۵/۴ - ۱۱/۶	۴۰۶-۹۵	۲۰۰-۱۵۲	۱۰۰-۵۰	متوسط
۲۵۴-۱۵۴	۱۱/۶ - ۱۵/۳	۶۳۲-۴۰۶	۲۶۲-۲۰۰	۱۵۰-۱۰۰	ناسالم (برای گروه‌های حساس)
۲۵۴ <	۱۵/۳ <	۶۳۲ <	۲۶۲ <	۱۵۰ <	ناسالم

فصل زمستان علاوه بر موقعیت لکه‌های با غلظت بالا در سه فصل قبلی لکه جدیدی در کیلومتر ۲۰ جاده کوه‌دشت- خرم‌آباد در گردنه‌ای نزدیک به روستای والی‌آباد مشاهده می‌شود (شکل ۱۴). هر چند مناطق دیگری از محدوده شبکه جاده‌ای لرستان وجود دارد که غلظت گاز CO در این بازه زمانی بالاتر از استاندارد می‌باشد اما غلظت گاز در آنها کمتر از این لکه‌هایی است که به وضوح قابل مشاهده است. بیشترین غلظت گاز منوکسیدکربن مربوط به فصل پاییز شکل (۱۰) با غلظت ۴۹/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد. حداکثر غلظت گاز CO در فصل بهار شکل (۲) برابر ۳۰/۸، در فصل تابستان شکل (۶) برابر ۲۴/۲ و در زمستان شکل (۱۴) برابر ۲۵/۹ میلی‌گرم می‌باشد. بیشترین مساحت تحت تاثیر گاز منوکسیدکربن (در طبقه کیفی ناسالم) در فصل پاییز می‌باشد به طوری که در این فصل ۳۷۶۴ هکتار تحت تاثیر غلظت بالای CO قرار دارد. این مقدار تنها ۰/۱۳ درصد از کل مساحت استان را شامل می‌شود. فصل بهار با ۳۴۱۸ هکتار (۰/۱۲ درصد کل استان)، فصل زمستان با ۲۱۵۳ هکتار (۰/۰۸ درصد کل استان) و فصل تابستان با ۱۹۶۹ هکتار (۰/۰۷ درصد کل استان) در رتبه‌های بعدی سطح اثر گاز منوکسیدکربن قرار دارند.

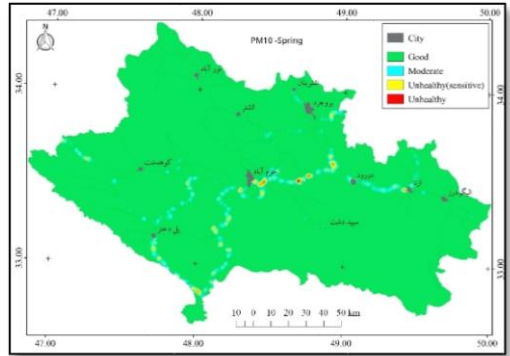
این غلظت بر حسب میلی‌گرم بر مترمکعب ارایه شده است. آن چه که در این نقشه به خوبی مشهود است وجود سه لکه با بیشترین غلظت آلاینده‌گی گاز CO در بخش‌هایی از شبکه جاده‌ای استان لرستان می‌باشد. یکی از این لکه‌های با طبقه کیفی ناسالم در محل گردنه زاغه در فاصله ۳ کیلومتری از شهر کوچک زاغه از توابع شهرستان خرم‌آباد می‌باشد. این گردنه در کیلومتر ۳۰ بزرگراه خرم‌آباد- بروجرد قرار دارد. موقعیت لکه دیگر که دارای غلظت بالاتر از استاندارد می‌باشد در محلی به نام زاهدشیر در کیلومتر ۱۰ بزرگراه خرم‌آباد- بروجرد قرار دارد. موقعیت فیزیوگرافی این لکه نیز همانند لکه قبلی به صورت یک گردنه کوهستانی می‌باشد. سومین لکه مهم با بیشترین غلظت در کیلومتر ۱۰۰ آزاد راه خرم‌آباد- اندیمشک است که در محل دره‌ای در منطقه کوهستانی در مرز استان لرستان و خوزستان مشاهده می‌شود. لکه مهم دیگری که قابل مشاهده است در کیلومتر ۲۰ بزرگراه بروجرد- اراک قرار دارد. سطح این لکه نسبت به لکه‌های قبلی کمتر می‌باشد. در فصل تابستان تعداد لکه‌های با غلظت بالای CO نسبت به فصل بهار در گردنه‌های مسیر بروجرد- خرم‌آباد کاهش می‌یابد. اما در کیلومتر ۲۰ بزرگراه خرم‌آباد- اراک مقدار آن بیشتر می‌شود. در فصل پاییز شرایط تقریباً همانند فصل بهار می‌باشد. در

شکل (۳): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز NO₂ در فصل بهار

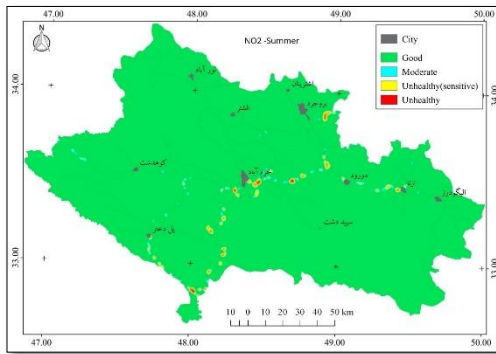
شکل (۲): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز CO در فصل بهار



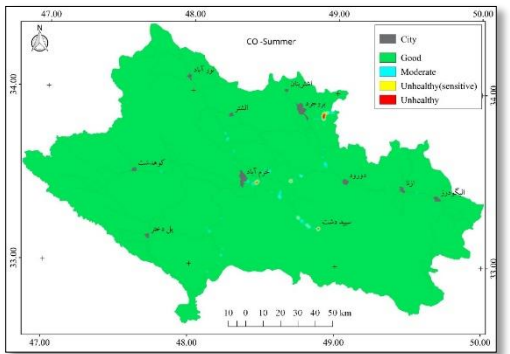
شکل (۵): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز SO_2 در فصل بهار



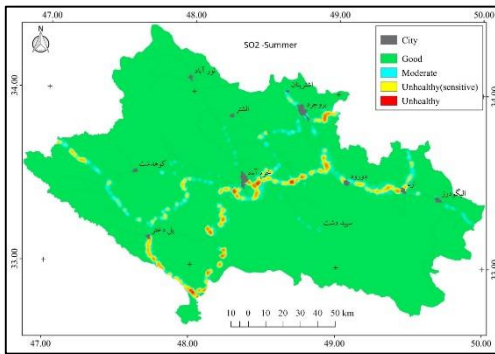
شکل (۴): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز PM_{10} در فصل بهار



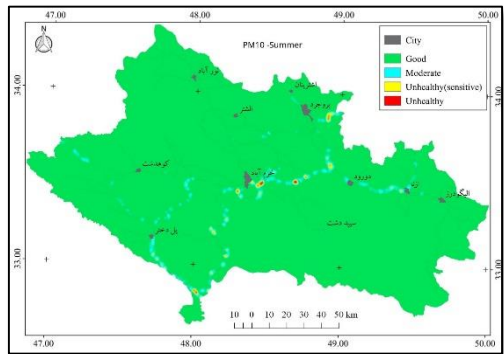
شکل (۷): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز NO_2 در فصل تابستان



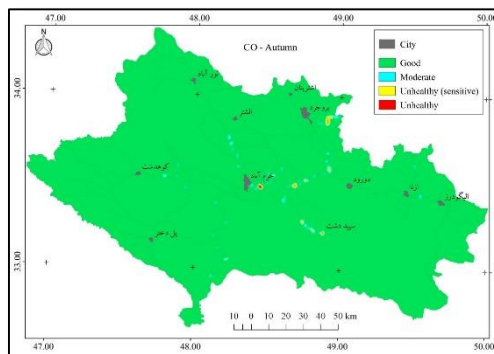
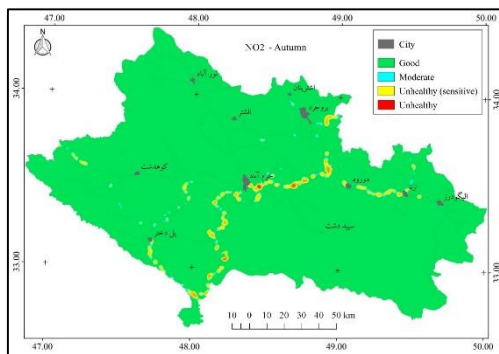
شکل (۶): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز CO در فصل تابستان



شکل (۹): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز SO_2 در فصل تابستان

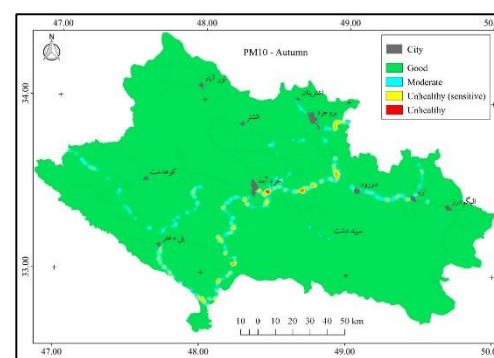
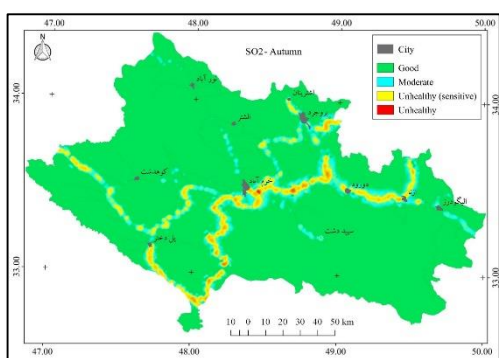


شکل (۸): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز PM_{10} در فصل تابستان



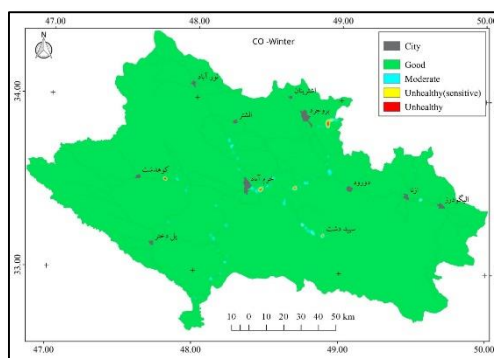
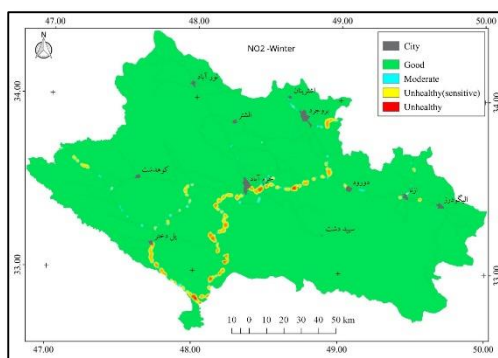
شکل (۱۱): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز NO₂ در فصل پاییز

شکل (۱۰): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز CO در فصل پاییز



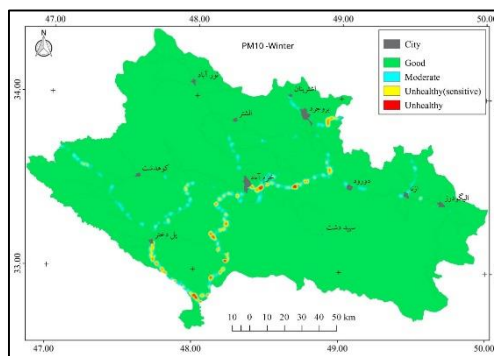
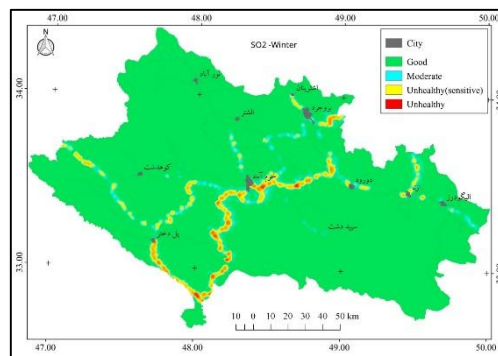
شکل (۱۳): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز SO₂ در فصل پاییز

شکل (۱۲): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز PM₁₀ در فصل پاییز



شکل (۱۵): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز NO₂ در فصل زمستان

شکل (۱۴): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز CO در فصل زمستان



شکل (۱۷): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز SO₂ در فصل زمستان

شکل (۱۶): نقشه طبقه‌بندی شده غلظت گاز PM₁₀ در فصل زمستان

کمتر از ۱۰ میکرون نشان می‌دهد که نحوه پراکنش این گاز نیز تقریباً شبیه به گاز دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. در این حالت از سه راهی دورود تا خرم‌آباد در محل گردنه‌ها غلظت بالای PM_{10} مشاهده می‌شود. علاوه بر این در کیلومتر سه بزرگراه ازنا- دورود ($AADT = ۹۶۶۸$) نیز غلظت این گاز در طبقه ناسالم قرار می‌گیرد. اما آنچه که در نقشه‌های غلظت PM_{10} نسبت به دو گاز قبلی مشاهده می‌شود وجود غلظت پیوسته از این گاز در اکثر جاده‌ها در دو کلاس کیفی متوسط و ناسالم می‌باشد. این موضوع برای PM_{10} در هر چهار فصل به خوبی دیده می‌شود. بیشترین غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون در فصل پاییز (شکل ۱۲) می‌باشد. (Lee et al., 2012) نیز در شبیه‌سازی انتشار ذرات معلق ناشی از کامیون‌ها در کالیفرنیا برای چهار سال میلادی ۲۰۰۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ بیشترین غلظت را در فصل پاییز به دست آوردند. در این فصل حداکثر غلظت PM_{10} برابر با ۱۲۲۳ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است. حداکثر غلظت این گاز برای فصل بهار، تابستان و زمستان به ترتیب برابر با ۷۰۷، ۴۸۰ و ۶۸۷ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق در فصل تابستان همانند گاز منوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن کمترین مقدار را نسبت به سایر فصل‌ها دارد. مساحت تحت تاثیر گاز PM_{10} در کلاس کیفی ناسالم در فصل زمستان (شکل ۱۶) بیشترین مقدار می‌باشد. این مساحت برابر با ۱۸۰۰۹ هکتار (۰/۶ درصد سطح استان) می‌باشد. همچنین مساحتی که طبقه ناسالم ذرات معلق در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز تحت تاثیر قرار می‌دهند به ترتیب ۸۹۰۵ هکتار (۰/۳ درصد سطح استان)، ۴۷۱۷ هکتار (۰/۲ درصد سطح استان) و ۱۴۴۵۳ هکتار (۰/۵ درصد سطح استان) می‌باشد.

نتایج خروجی شبیه‌سازی پراکنش گاز SO_2 نشان می‌دهد که این گاز رفتاری مشابه گازهای قبلی اما با شدت و سطح اثرگذاری بالاتر دارد. انتشار این گاز علاوه بر مسیرهای قبلی که در مورد انتشار گازهای CO ، NO_2 و PM_{10} بیان شده بود، در راه‌های ارتباطی دیگر شامل جاده پل دختر- اسلام آباد غرب ($۵۱۲۳ = AADT$)، جاده خرم‌آباد- پلدختر ($۷۳۱۷ = AADT$)، جاده خرم‌آباد- الشتر ($۱۱۱۰۲ = AADT$)، جاده بروجرد- اشترینان ($۱۱۴۴۲ = AADT$) و جاده ازنا- شازند نیز دیده می‌شود. اما غلظت انتشار گاز دی‌اکسید گوگرد در این جاده‌ها نسبت به جاده‌های بروجرد- اراک ($۱۲۷۴۹ = AADT$)، بروجرد-

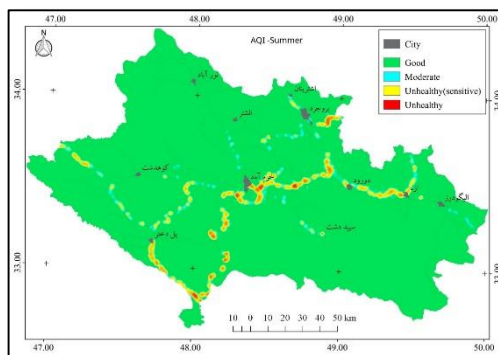
نحوه پراکنش گاز NO_2 در فصل بهار کاملاً متفاوت از گاز CO می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، سطح تاثیر این گاز به مراتب بیشتر بوده به گونه‌ای که بیشترین غلظت‌ها از سه راهی دورود در مسیر بزرگراه بروجرد- خرم‌آباد شروع و تا نزدیکی شهر خرم‌آباد مشاهده می‌شود ($۱۹۹۴۷ = AADT$). غلظت‌ها در محل گردنه‌ها مانند گردنه زاغه و گردنه رازان پس از سه راهی دورود بالا می‌باشد. همچنین در مسیر آزادراه پل زال- خرم‌آباد ($۷۲۸۷ = AADT$) نیز در محل گردنه‌ها غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن بالا می‌باشد. علاوه بر این، در دو مسیر دیگر دورود- سه راهی دورود ($۲۱۰۸۱ = AADT$) و پلدختر- اندیمشک ($۵۶۲۷ = AADT$) غلظت بالای گاز دی‌اکسید نیتروژن مشاهده می‌شود. در فصل تابستان (شکل ۷) غلظت‌ها کاهش یافته و لکه‌های با غلظت بالا با فواصل بیشتری از هم در مسیر سه راهی دورود- خرم‌آباد، خرم‌آباد- پل زال و پل دختر- اندیمشک دیده می‌شود. همین مسیرها در دو فصل پاییز (شکل ۱۱) و زمستان (شکل ۱۵) با شدت بیشتری تحت تاثیر گاز دی‌اکسید نیتروژن قرار دارند. اما در فصل پاییز مسیر دورود- ازنا- شازند ($۷۷۲۰ = AADT$) نیز غلظت بالای گاز دی‌اکسید نیتروژن را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت گاز NO_2 دوباره در فصل پاییز به میزان ۱۶۰۲ میکروگرم بر مترمکعب مشاهده می‌شود. Fallah-Shorshani et al., 2017 نیز در بررسی میزان انتشار گاز NO_2 ناشی از ترافیک شبکه جاده‌ای در منطقه مونتال کانادا با استفاده از مدل CALPUFF بیشترین غلظت این گاز را برای دو ماه آگوست و اکتبر به دست آورده‌اند. هر چند آنها نتیجه گرفتند که به دلیل سکون باد در ماه آگوست کمترین همبستگی را بین غلظت مقادیر شبیه‌سازی شده در این ماه با مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. با این حال به نظر می‌رسد در فصل پاییز بیشترین غلظت این آلاینده را می‌توان انتظار داشت. حداکثر غلظت این گاز در بهار، تابستان و زمستان به ترتیب برابر با ۱۱۷۲، ۷۱۴ و ۱۲۰۶ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. اما بیشترین وسعت تحت تاثیر از گاز دی‌اکسید نیتروژن در زمستان اتفاق می‌افتد. در فصل زمستان مساحت کلاس ناسالم این گاز برابر با ۴۲۸۳۳ هکتار (۱/۵ درصد کل استان) می‌باشد. مساحت تحت تاثیر این گاز برای فصول بهار، تابستان و زمستان به ترتیب ۲۶۳۶۱ هکتار (۰/۹ درصد کل استان)، ۱۵۵۹۰ هکتار (۰/۶ درصد کل استان) و ۴۰۸۹۶ هکتار (۱/۴ درصد کل استان) می‌باشد. نقشه طبقه‌بندی شده غلظت ذرات معلق

(۳/۴ درصد سطح استان) است. این نتایج نشان می‌دهند که بیشترین تا کمترین مساحت تحت تاثیر ناشی از تردد خودروها در جاده‌های با حجم ترافیک بیش از ۱۰۰۰ خودرو در روز به ترتیب مربوط به انتشار گاز SO_2 ، NO_2 ، PM_{10} و CO می‌باشد. این مساحت مربوط به غلظت این گازها در کلاس کیفی ناسالم می‌باشد.

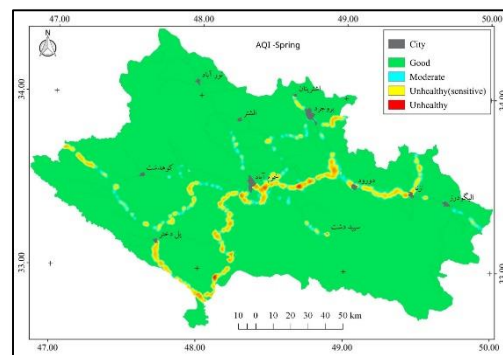
• شاخص کیفیت هوا

شکل‌های (۱۸ تا ۲۱) نشان‌دهنده وضعیت شاخص کیفیت هوا ناشی از آلاینده‌های شبکه جاده‌ای استان لرستان برای چهار فصل سال می‌باشد. این نقشه‌ها در واقع برآیندی از چهار آلاینده CO ، NO_2 ، PM_{10} و SO_2 می‌باشند.

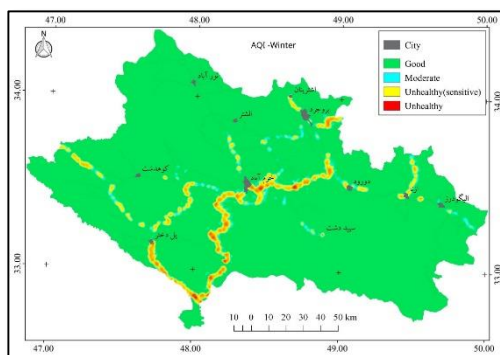
خرم‌آباد ($AADT = 16325$)، خرم‌آباد- پل زال ($7286 = AADT$) و پلدختر- اندیمشک ($5626 = AADT$) کمتر می‌باشد. بیشترین غلظت گاز دی اکسید گوگرد ناشی از ترافیک شبکه جاده‌ای در فصل پاییز (شکل ۱۳) با غلظت ۷۱۹۳ میکروگرم بر مترمکعب اتفاق می‌افتد. در فصل‌های بهار (شکل ۵)، تابستان (شکل ۹) و زمستان (شکل ۱۷) غلظت این گاز به ترتیب ۴۷۸۸، ۳۰۴۲ و ۴۵۶۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. بیشترین مساحت تحت تاثیر ناشی از انتشار گاز دی اکسید گوگرد در فصل پاییز و به میزان 105031 هکتار (۳/۷ درصد سطح استان) می‌باشد. این وسعت بیشترین میزان اثرگذاری در بین گازهای مختلف می‌باشد. همچنین سطح متأثر از گاز دی اکسید گوگرد در فصول بهار، تابستان و زمستان به ترتیب ۷۹۱۷۸ هکتار (۲/۸ درصد سطح استان)، ۶۰۷۵۳ هکتار (۲/۱ درصد سطح استان) و ۹۵۴۵۳ هکتار



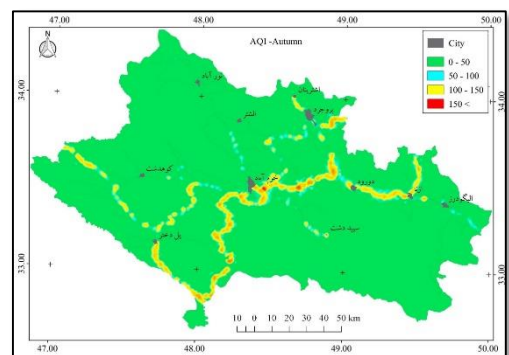
شکل (۱۹): نقشه طبقه‌بندی شده شاخص کیفیت هوا در فصل تابستان



شکل (۱۸): نقشه طبقه‌بندی شده شاخص کیفیت هوا در فصل بهار



شکل (۲۱): نقشه طبقه‌بندی شده شاخص کیفیت هوا در فصل زمستان



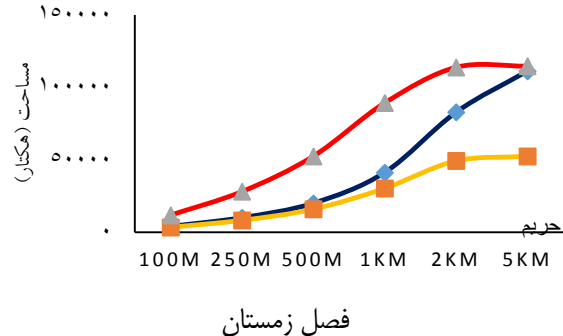
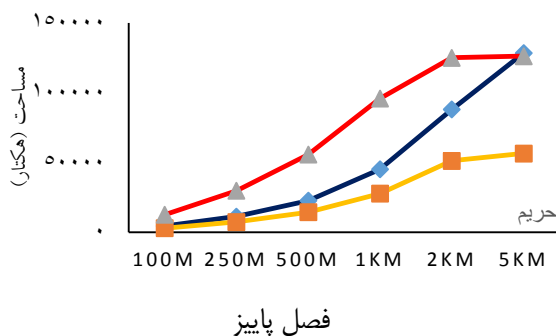
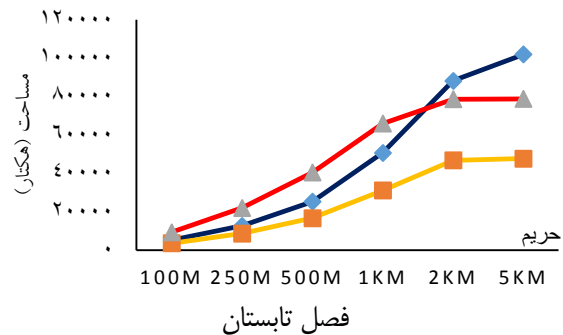
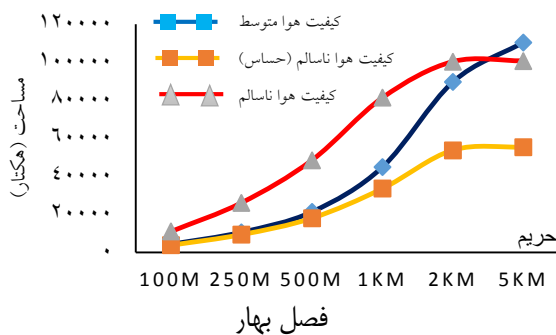
شکل (۲۰): نقشه طبقه‌بندی شده شاخص کیفیت هوا در فصل پاییز

شرایط توپوگرافی شدید در محل گردنه‌ها و شیب نامتعارف در مسیرهای سربالایی باعث می‌شود تا وسایل نقلیه سنگین با سرعت کمتر و مصرف سوخت بیشتر گازوئیل حجم انتشار آلاینده‌های

مطابق این نتایج، جاده‌های ازنا- دورود، ازنا- شازند، دورود- خرم‌آباد، خرم‌آباد- پل زال، بروجرد- اراک و پلدختر- اندیمشک در هر چهار فصل سال دارای کیفیت هوای ناسالمی می‌باشند.

اساس نمودارهای شکل ۲۲ در فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۱۲۶۱۹۵ هکتار (۴/۵ درصد مساحت استان) و ۱۱۴۶۸۲ هکتار (۴/۱ درصد مساحت استان) از منطقه مورد بررسی در معرض هوای با کیفیت ناسالم قرار دارد که ناشی از اثر دما بر غلظت آلاینده‌ها می‌باشد. در فصل تابستان نیز کمترین میزان سطح اثر به میزان ۷۸۷۷۸ هکتار (۲/۸ درصد مساحت استان) در طبقه ناسالم کیفیت هوا مشاهده می‌شود.

ترافیک را افزایش دهد. از سوی دیگر به دلیل وضعیت پستی و بلندی شدید در منطقه امکان تجمع این آلاینده‌ها در محدوده گردنه‌های متعدد در امتداد جاده‌ها را فراهم می‌آورد. همچنین جاده‌های بروجرد- اشترینان، خرم‌آباد- پلدختر و پلدختر- اسلام‌آباد غرب به نسبت کمتری نسبت به جاده‌های قبلی دارای شرایط کیفی نامطلوبی هستند. شکل (۴) نشان می‌دهد که حریم ۲ کیلومتری از جاده‌های محدوده مطالعاتی را می‌توان حد بالای کیفیت هوای ناسالم برای مجموعه آلاینده‌ها در نظر گرفت. بر



شکل (۲۲): نمودار مساحت طبقات شاخص کیفیت هوا در حریم‌های ۱۰۰ متر، ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر، ۱ کیلومتر، ۲ کیلومتر و ۵ کیلومتر از جاده در چهار فصل سال

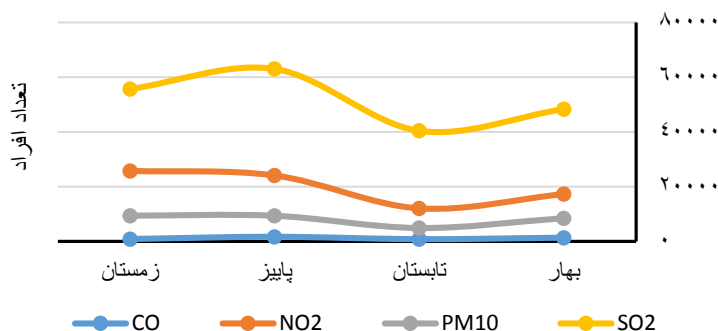
مناطق روستایی، دارای خطای بسیاری می‌باشد. از این رو تهیه نقشه پراکندگی جمعیت در این مطالعه فرصت بسیار مناسبی جهت تعیین میزان تاثیر انواع آلاینده‌ها بر این جوامع انسانی و تعداد افراد تحت تاثیر می‌باشد. با این توصیف از روی هم‌گذاری لایه پراکنش جمعیت با هر یک از لایه‌های پراکنش آلاینده‌های ناشی از ترافیک جاده‌ای استان لرستان نتایج زیر حاصل شد. به‌طور کلی بیشترین تاثیر بر جوامع انسانی بر اثر انتشار گاز SO₂ و سپس گاز NO₂ در تمامی فصول می‌باشد (شکل ۲۳). در فصل پاییز بیش از ۶۳۰۰۰ نفر (۹/۶ درصد از جمعیت روستایی استان لرستان) تحت

• جمعیت تحت تاثیر

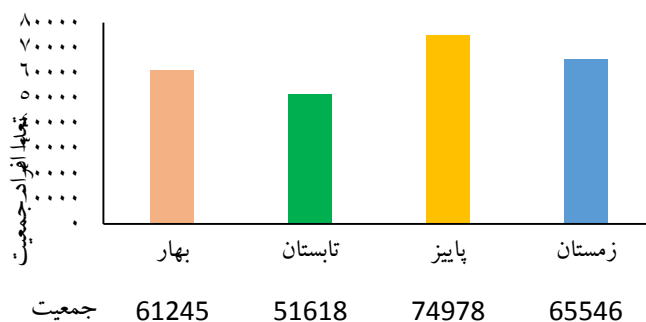
در بیشتر مطالعات مدل‌سازی آلودگی هوا و ترافیک مخاطب اصلی آثار منفی آلاینده‌ها، جوامع انسانی می‌باشند. علاوه بر این در بررسی آثار محیط‌زیستی نیز مراکز جمعیتی همواره مورد توجه می‌باشند. اما در غالب این مطالعات نحوه ارایه میزان آثار آلودگی هوا به صورت درصد مساحت مناطق مسکونی متأثر از انواع آلاینده‌ها می‌باشد. با توجه به این که در این مطالعه مراکز جمعیتی هدف، مناطق روستایی و مراکز جمعیتی غیر شهری می‌باشد، انجام ارزیابی اثر به دلیل عدم وجود نقشه‌های مناسب از گستره مکانی

(۱/۴ درصد از جمعیت روستایی) در دو فصل پاییز و زمستان صورت می‌پذیرد. جمعیت روستایی کمترین تاثیر را از انتشار گاز مونوکسیدکربن شبکه جاده‌ای دریافت می‌کند. در فصل پاییز حداکثر جمعیتی که در معرض این گاز قرار می‌گیرد در حدود ۱۷۰۰ نفر (۰/۳ درصد جمعیت روستایی) می‌باشد.

تاثیر گاز SO_2 ناشی از ترافیک جاده‌های بیش از ۱۰۰۰ خودرو در روز می‌باشند. اما بیشترین اثر گاز دی‌اکسید نیتروژن با تاثیر بر حدود ۲۵۷۰۰ نفر (۳/۹ درصد از جمعیت روستایی استان) در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. در خصوص ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون بیشترین تاثیر این آلاینده بر جمعیت حدوداً ۹۴۰۰ نفری



شکل (۲۳): تعداد افراد تحت تاثیر از انواع آلاینده‌های هوا در فصول مختلف



شکل (۲۴): تعداد افراد روستایی تحت تاثیر از هوای ناسالم در فصول مختلف

دیگر نیز به ترتیب زمستان با ۱۰/۱ درصد، بهار با ۹/۴ درصد و تابستان با ۷/۹ درصد از مجموع جمعیت روستایی در معرض هوای ناسالم می‌باشد (شکل ۲۴). روستاهای زینعلی و کبوترلان در مسیر بزرگراه بروجرد-اراک، روستاهای دره‌تنگ و جهان‌آباد در سهراهی دورد، روستاهای زاغه، فره‌کش سفلی، دولتشاهی و زاهدشیر در مسیر خرم‌آباد- سهراهی دورد و روستای تل مرادخان در مسیر خرم‌آباد- پل زال مهمترین مراکز جمعیتی هستند که تحت تاثیر آلاینده‌های هوا ناشی از شبکه جاده‌ای قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر شبکه جاده‌های استان لرستان بر کیفیت هوا شبیه‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفت. شبیه‌سازی با استفاده از مدل CALPUFF انجام شد. ۲۴۶۱ کیلومتر از جاده‌های موجود در ۱۰

Ali & Athar (2008) در کار مشابهی کیفیت هوا در امتداد آزادراه N-5 در پاکستان را با استفاده از نمونه‌های به‌دست آمده از CO ، NO_2 و PM_{10} انجام دادند. آنها نیز در امتداد جاده مقادیر مختلفی از شاخص کیفیت هوا را به‌دست آورده و نتیجه‌گیری کردند که به دلیل وجود موانع موجود در جاده برای کاهش سرعت در نزدیکی مناطق روستایی شاخص کیفیت هوا بالاتر می‌باشد. هر چند این موضوع در برخی از مناطق روستایی استان را می‌توان شاهد بود اما وضعیت توپوگرافی در منطقه را مهمترین عامل در بالا بودن میزان شاخص کیفیت هوا در نزدیکی مناطق مسکونی می‌توان دانست.

در مجموع بیشترین تعداد افرادی که در معرض کیفیت هوای ناسالم قرار می‌گیرند در فصل پاییز می‌باشد که در حدود ۱۱/۵ درصد از کل جمعیت روستایی استان را شامل می‌شود. در فصول

بالای ۳۵ سال در کشور فعالیت می‌کنند که با توجه به مصرف بسیار بالای سوخت، علاوه بر انتشار آلاینده‌های هوا میزان بهره‌وری سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای را نیز کاهش می‌دهند. در استان لرستان بسیاری از جاده‌های اصلی و ترانزیت کالا و مسافر در مسیر خود از داخل و یا کنار روستاها و مراکز جمعیتی کوچک عبور می‌کنند که نتایج این بررسی نشان می‌دهد که مسیرهای خرم‌آباد- دورود، خرم‌آباد- بروجرد و دورود- بروجرد بیشترین حجم ترافیک و بیشترین بار آلودگی را بر منطقه وارد می‌کنند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل CALPUFF یک مدل مناسب برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا به دلیل ترافیک جاده‌های غیرشهری است و عملکرد آن تحت تاثیر عواملی مانند نزدیکی به منبع آلودگی، پیچیدگی زمین و شرایط هواشناسی می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش (Cordova et al., 2016) هم‌خوانی دارند. با توجه به تردد مداوم خودروها از جاده‌ها، جمعیت متاثر از این آلاینده‌ها نیز همواره در معرض آلودگی هوا قرار دارند. هر چند تمرکز بالایی از مطالعات و برنامه‌ریزی‌های آلودگی هوا در خصوص مناطق شهری و صنعتی می‌باشد اما این مطالعه در یکی از استان‌های با مناطق طبیعی و بکر کشور نشان داد که حتی چنین مناطقی نیز از آلودگی هوا در امان نمی‌باشند.

یادداشت‌ها

1. Average Annual Daily Traffic

شهرستان استان لرستان برای گازهای CO ، NO_2 ، PM_{10} و SO_2 ناشی از تردد خودروها شبیه‌سازی شد. این مطالعه برای چهار فصل از سال مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که این چهار گاز بیشترین غلظت را در فصل پاییز دارند. بیشترین مساحت آلاینده‌ها در دو فصل پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. در بین گازهای مدل‌سازی شده گاز SO_2 نسبت به دیگر گازها دارای بیشترین مساحت تحت تاثیر را نشان داد. با توجه به حجم بالای تردد خودروهای سنگین از تمامی محورهای ارتباطی و بزرگراه‌های موجود در استان، تنها منبع انتشار این گاز خودروهای سنگین می‌باشند. مساحت تحت تاثیر ناشی از NO_2 در فصول مختلف بیشتر از CO و PM_{10} می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی انتشار نشان داد که اثر انتشار تمامی گازها تا فاصله حدوداً ۲ کیلومتری از جاده مشاهده می‌شود. بیشترین سطح و بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا در دو فصل پاییز و زمستان در محدوده مطالعاتی اتفاق می‌افتد. بررسی‌ها همچنین نشان داد که بیشترین جمعیت مناطق غیرشهری در فصل پاییز تحت تاثیر می‌باشند که در این بین گاز SO_2 از بین چهار گاز مورد بررسی جمعیت بیشتری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این مطالعه نشان داد که تردد سالیانه ۲۲۷۱۰۰ خودرو سنگین و نیمه‌سنگین با مصرف سوخت گازوئیل مهمترین عامل انتشار آلاینده‌های هوا می‌باشند. این تعداد خودرو ۲۴ درصد از حجم تردد خودروها در شبکه جاده‌ای استان در طول یک سال می‌باشد. در حال حاضر بر اساس آمار اعلامی سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، بیش از ۱۲۰ هزار دستگاه کامیون با عمر

منابع

- Abdul-Wahab, S. A. & Fadlallah, S. O. 2014. A study of the effects of vehicle emissions on the atmosphere of Sultan Qaboos University in Oman. *Atmospheric environment*, 98: 158–167.
- Ali, M. & Athar M. 2008. Air pollution due to traffic, air quality monitoring along three sections of National Highway N-5, Pakistan. *Environmental monitoring and Assessment*, 136(3):219-26.
- BARLOW, T. J.; Latham, S.; McCrae, I. & Boulter, P. 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. TRL Published Project Report.
- Batterman, S.; Burke, J.; Isakov, V.; Lewis, T.; Mukherjee, B. & Robins, T. 2014. A comparison of exposure metrics for traffic-related air pollutants: Application to epidemiology studies in Detroit, Michigan. *International journal of environmental research and public health*, 11(9): 9553–9577.
- Cordova, A.M.; Arévalo, J.; Marín, J.C.; Baumgardner, D.; Raga, G.B.; Pozo, D.; Ochoa, C.A. & Rondanelli, R. 2016. On the Transport of Urban Pollution in an Andean Mountain Valley, *Aerosol Air Qual. Res.* 16, 593–605.
- Demirarslan, K.; Çetin Doğruparmak, Ş.; & Karademir, A. 2017. Evaluation of three pollutant dispersion models for the environmental assessment of a district in Kocaeli, Turkey. *GLOBAL NEST JOURNAL*, 19(1): 37–48.

- Dresser, A. L.; & Huizer, R. D. 2011. CALPUFF and AERMOD model validation study in the near field: Martins Creek revisited. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(6): 647–659.
- Etyemezian, V.; Kuhns, H.; Gillies, J.; Chow, J.; Hendrickson, K.; McGown, M.; & Pitchford, M. 2003. Vehicle based road dust emission measurement (III): effect of speed, traffic volume, location, and season on PM10 road dust emissions in the Treasure Valley, ID. *Atmospheric Environment*, 37(32): 4583–4593.
- Fallah-Shorshani, M.; Shekarzifard, M.; & Hatzopoulou, M. 2017. Evaluation of regional and local atmospheric dispersion models for the analysis of traffic-related air pollution in urban areas. *Atmospheric Environment*, 167: 270–282.
- Fujisada, H.; Bailey, G. B.; Kelly, G. G.; Hara, S. & Abrams, M. J. 2005. Aster dem performance. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(12): 2707–2714.
- Hatzopoulou, M. & Miller, E. J. 2010. Linking an activity-based travel demand model with traffic emission and dispersion models: transport's contribution to air pollution in Toronto. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(6):315–325.
- Helldin, J. O.; Collinder, P.; Bengtsson, D.; Karlberg, A. & Askling, J. 2013. Assessment of traffic noise impact in important bird sites in Sweden—A practical method for the regional scale. *Oecologia Australis*, 17(1): 48–62.
- Kyrkilis, G.; Chaloulakou, A. & Kassomenos, P. A. 2007. Development of an aggregate Air Quality Index for an urban Mediterranean agglomeration: Relation to potential health effects. *Environment International*, 33(5): 670–676.
- Lee, G.; Ritchie, S. G.; Saphores, J.-D.; Jayakrishnan, R.; Ogunseitan, O. & others. 2012. Assessing air quality and health benefits of the Clean Truck Program in the Alameda corridor, CA. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8): 1177–1193.
- MacIntosh, D. L.; Stewart, J. H.; Myatt, T. A.; Sabato, J. E.; Flowers, G. C.; Brown, K. W.; Hlinka, D. J. & Sullivan, D. A. 2010. Use of CALPUFF for exposure assessment in a near-field, complex terrain setting. *Atmospheric Environment*, 44(2): 262–270.
- Mintz, D. 2009. Technical assistance document for the reporting of daily air quality-the air quality index (AQI). Tech. Research Triangle Park, US Environmental Protection Agency.
- Nagendra, S. S.; Diya, M.; Chithra, V.; Menon, J. S. & Peter, A. E. 2016. Characteristics of air pollutants at near and far field regions of a national highway located at an industrial complex. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48: 1–13.
- Redling, K.; Elliott, E.; Bain, D. & Sherwell, J. 2013. Highway contributions to reactive nitrogen deposition: tracing the fate of vehicular NOx using stable isotopes and plant biomonitors. *Biogeochemistry*, 116(1–3): 261–274.
- Ruggieri, M. & Plaia, A. 2012. An aggregate AQI: comparing different standardizations and introducing a variability index. *Science of the Total Environment*, 420: 263–272.
- Scire, J. S.; Strimaitis, D. G.; Yamartino, R. J. & others. 2000. A user's guide for the CALPUFF dispersion model. Earth Tech, Inc. Concord, MA.
- Statistical center of Iran. 2016. Statistical data and information. Available at: www.amar.org.ir. (in Persian)
- Tartakovsky, D.; Broday, D. M. & Stern, E. 2013. Evaluation of AERMOD and CALPUFF for predicting ambient concentrations of total suspended particulate matter (TSP) emissions from a quarry in complex terrain. *Environmental pollution*, 179: 138–145.
- Toro, J.; Duarte, O.; Requena, I. & Zamorano, M. 2012. Determining vulnerability importance in environmental impact assessment: The case of Colombia. *Environmental impact assessment review*, 32(1): 107–117.
- Transportation and Road Ministry. 2007. Guidelines for environmental assessment of road transport projects. Transportation Research Institute. (in Persian)
- Yu, H. & Stuart, A. L. 2013. Spatiotemporal distributions of ambient oxides of nitrogen, with implications for exposure inequality and urban design. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(8): 943–955.