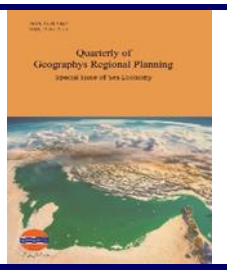
Iranian Association of Geopolitical

# Geography(Regional Planning)

**Special Issue, Number 2, Winter 2024**

ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



**Research Paper**

# Investigation of health, environmental and economic effects of air pollution from Shiraz Petrochemical Complex (Case study: Marvdasht city and historical site of Persepolis)

**Abozar Ahmadi[1], Fazel Amiri[*2], Tayebeh Tabatabaie[3]**

1. Ph.D. Student of Environment, Environmental pollution, Islamic Azad University, Bushehr, IRAN.
2. Associate Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Bushehr, IRAN.
3. Assistant Professor, Department of Environment, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, IRAN.

**ARTICLEINFO**

**PP:** 438-449

**Use your device to scan and read the article online**

**Keywords:** *Shiraz Petrochemical Complex, Air pollution, AERMOD, SIMAPRO, AIRQ+.*

**Abstract**

Petrochemical industries are among the basic-heavy industries which produce variety of important products. They have significant potential to affect air, soil and water quality. This paper studied a number of air pollutants in Shiraz Petrochemical Complex in order to determine their potential adverse health, environmental and costs effects. Methods and Materials: Dispersion of air pollutants from Shiraz Petrochemical Complex has been studied in area of 50×50km. Inhalation risk and environmental impact assessment have been evaluated with AIRQ and SIMAPRO software. Economic costs related to air pollution also investigated with BENMAP software. The results show that Shiraz Petrochemical Complex could contributes to a wide variety of long and short term adverse health effects. It also has a significant contribution (about 39%) to PM2.5 concentration in MARVDASHT city. The healthcare costs related to air pollution could be rise to 750 thousand dollars per year. Emission of gaseous pollutants in Shiraz Petrochemical Complex are low, however it needs more control over particulate matter PM2.5 specially in Ammonia and Urea units. Even if air pollution will disperse throughout the Persepolis area, but characteristics of their adverse effects needs wider discussion.

**Citation**: Ahmadi , A., Amiri, F., & Tabatabaie, T. (2024). **Investigation of health, environmental and economic effects of air pollution from Shiraz Petrochemical Complex (Case study: Marvdasht city and historical site of Persepolis)**. Geography(Regional Planning), Special Issue, Number 2, 438-449.

**DOI:** 10.22034/JGEOQ.2024.462896.4118

[*] **Corresponding author:** Fazel Amiri, **Email:** amiri_fazel@yahoo.com

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## Extended Abstract

### Introduction

Air pollution has been one of the most important urban problems in recent years, which, in addition to harming citizens' health, has imposed many social and economic effects on human societies. Many factors play a role in the air pollution of big cities, one of the most important of which is pollution from big industries. Oil, gas and petrochemical industries are one of the basic and fundamental pillars in the economic policies and development of any country. These industries cause some short-term and long-term environmental consequences, consequences and concerns. Many researches have been conducted on the health effects of oil, gas and petrochemical industry pollutants, all of which confirm the existence of adverse health effects, including asthma symptoms, acute respiratory problems, headaches, migraine headaches and fatigue, eye irritation, bronchitis, cardiovascular diseases, and eczema. and increased risk of cancer and mortality.

At present, petrochemical industries are growing in the world, especially in developing countries, including Iran, both as downstream industries of oil and gas, as well as as suppliers of raw materials needed by many industries. The two products of ammonia and urea are the most important petrochemical products in Iran, among which nitrogen fertilizers are the most important uses of nitrogen in the world. The global consumption statistics of these types of fertilizers show the increasing growth of their consumption and the increasing demand of international markets for this product. One of the most important challenges in the petrochemical industry is the evaluation, control and management of air pollution, which should be given special attention both from the economic and public health aspects. Oil and gas industries, especially petrochemical industries, are among the industries that pollute the environment by nature, and they introduce various types of pollutants, which are sometimes very dangerous, into the air, water, and soil.

### Methodology

Conducting this research has included various steps such as data collection, modeling and data analysis. In the zero phase, information on the sources of Shiraz petrochemical pollution, the amount and type of products produced, the climate and topography of the area, and other necessary information were collected after visiting the petrochemical plant. Meteorological information for the 10-year period between 2012 and 2021 has been collected and used together with topographical information with a resolution of 90x90 m (Figure 3). Shiraz's petrochemical pollutant sources include 11 chimneys, which are accurately measured by a reliable laboratory. According to the collected information and after refining the data, the modeling of the spread and distribution of pollutants up to a radius of 50 km from Shiraz Petrochemical has been done by the AERMOD model. PM, SO2, NO2 and CO pollutants have been modeled in this research. CO2 pollutant and other global warming pollutants were also investigated in the discussion of environmental effects assessment by SIMAPRO model.

### Results and Discussion

In order to model the spread and dispersion, the chimney measurement data has been used for many years along with the long-term 10-year meteorological data. Considering that the amount of SO2 pollutant in all chimneys was zero, therefore this pollutant was not modeled. Considering the wide range of outputs of AERMOD software, in this article to summarize the results, only the results of the maximum one-hour concentration of gaseous pollutants and the results of the maximum concentration of 24 hours for the PM10 pollutant have been presented. Figure 4 shows the maximum 24-hour concentration of PM10 pollutant. As can be seen, the maximum concentration was 44.5 micrograms per cubic meter. Figure 5 shows the values of the maximum one-hour concentration of CO caused by the Shiraz petrochemical activity. As can be seen, the maximum concentration was 531 micrograms per cubic meter. Figure 6 shows the values of the maximum

concentration of NO2 in one hour caused by Shiraz petrochemical activity. As can be seen, the maximum concentration was 2.06 micrograms per cubic meter.

Considering the distance of 15 kilometers from Shiraz Petrochemical to the historical monuments of Persepolis, in this article, in addition to discussing the health, environmental and economic effects of Shiraz Petrochemical activity on the residents of the nearby city of Morvdasht, we have also investigated the amount of concentration that reached Persepolis from petrochemicals. There are reports that show the possible destructive effects of air pollutants on these historical monuments. The presence of lichen in the works of Persepolis is one of the most important reasons for this claim. The results of AERMOD modeling indicated that the maximum concentration occurred in Persepolis for PM10, PM2.5, SO2, NO2 and CO pollutants were 3.9, 0.6, 0.0, 0.3 and respectively. It was 280 micrograms per cubic meter.

## Conclusion

From the collection of information, it can be argued that the petrochemical chimneys of Shiraz are generally in a good condition in terms of clean air environmental standards, and there is only concern about the concentration of PM2.5 pollutants. The modeling results showed that Shiraz Petrochemical has the potential to pollute the environment due to the wide range of processes and products produced, and due to its proximity to population centers (Morodasht city, villages and historical monuments), extensive study and measurement of the pollutant is needed. Environmental factors are essential in air, water and soil phases.

The pollutants released from Shiraz Petrochemical have the ability to reach the ancient monuments of Persepolis and have the potential to affect these monuments. Regarding the destruction of ancient monuments, in addition to the discussion of acid rains and the negative effects of gaseous and particulate pollutants, the humidity parameter is of primary importance, and it is suggested that the area's drainage status be reviewed in order to control the destruction of these monuments. If the humidity is controlled, the possibility of destruction due to the formation of acidic compounds or capillarity and expansion and contraction of the stones will be eliminated.

The results showed that PM2.5 particles are the most important pollutant in terms of health effects, so it is necessary to think about measures to control particles, especially in nitrate and urea granulation units. Considering that the main contribution of polluting gas production in petrochemicals is related to the power plant unit, measures should be taken to control CO and NO2 from the chimney of this unit. The high level of CO is a sign that the amount of air to fuel is not adjusted, which can be placed in the ideal range with simple measures.

## References

1. Adeniran, JA., Yusuf, RO., and Fakinle, BS., Sonibare, JA. 2019. Air quality assessment and modelling of pollutants emission from a majorcement plant complex in Nigeria. Atmospheric Pollution Research, Atmospheric Pollution Research. Vol. 10, pp. 257-266.
2. Adu, P., Pobee, R., Awuah, A. 2018. Reduced Haematopoietic Output in Automobile Mechanics and Sprayers with Chronic Exposure to Petrochemicals: A Case-Control Study in Cape Coast, Ghana. J Environ Public Health. Vol. 2018, pp. 358-365.
3. Axelsson, G., Stockfelt, L., Andersson, E. 2013. Annoyance and worry in a petrochemical industrial area Prevalence, time trends and risk indicators. Int J Environ Res Public Health, vol. 10, pp. 1418-1438.
4. Blett, T., Geiser, L., Porter, E. 2003. Air pollution – related Lichen monitoring in national Park, Forest and Refuges: Guideline forstudies intended for regulatory management purpose. Tech. Rep. NPS-D2292.
5. Calderón, GL., Mora, TA., Fordham, LA. 2003. Respiratory damage in

children exposed to urban pollution. Pediatr Pulmonol, vol. 36, pp. 148-161.
6. Chiang, TY., Yuan, TH., Shie, RH. 2016. Increased incidence of allergic rhinitis, bronchitis and asthma, in children living near a petrochemical complex with SO2 pollution. Environ Int, vol. 7, pp. 325-338.
7. Hwang, BF., Jaakkola, JJ., Lee, YL. 2006. Relation between air pollution and allergic rhinitis in Taiwanese schoolchildren. Respir Res, vol. 9, pp. 145-154.
8. Li, J., Lu, Y., Shi, Y. 2011. Environmental pollution by persistent toxic substances and health risk in an industrial area of China. J Environ Sci (China), vol. 23, pp. 1359-1367.
9. Mannocci, A., Pignalosa, S., Nicosia, V. 2016. Cardiovascular Diseases Risk Factors in oil and gas workers: a ten years observational retrospective cohort. Ann Ig, vol. 28, pp. 122-132.
10. Moraes, AC., Ignotti, E., Netto, PA. 2010. Wheezing in children and adolescents living next to a petrochemical plant in Rio Grande do Norte, Brazil. J Pediatr (Rio J), vol 44, pp. 337-344.
11. Pascal, L., Pascal, M., Stempfelet, M. 2013. Ecological Study on Hospitalizations for Cancer, Cardiovascular, and Respiratory Diseases in the Industrial Area of Etang-de-Berre in the South of France. J Environ Public Health, vol. 2013, pp. 900-913.
12. PRE. SIMAPRO 7. 2004. Introduction to LCA with SIMAPRO, PRé Consultants, The Netherlands. see information in: https://pre-sustainability.com.
13. Pulster, EL. Assessment of Public Health Risks Associated with Petrochemical Emissions Surrounding an Oil Refinery. Ph.D. University of South Florida. 2015.182.
14. Ragothaman, A., Anderson, WA. 2017. Air Quality Impacts of Petroleum Refining and Petrochemical Industries. Environments, vol. 66, pp. 821-835.
15. Sadeghieh, A., Rezaie. Dispersion CO and NO2 from ammonia and acid nitric units in shiraz petrochemical complex with MERCURE-SATURNE model. Second international conference on industrial engineering & management. 2016 May 9. Tehran. Iran. (Persian).
16. Sharma, A., Sharma, P., Sharma, A. 2017. Hazardous Effects of Petrochemical Industries:A Review. RAPSCI, vol. 3, pp. 555-607.
17. Tustin, AW., Hirsch, AG., Rasmussen, SG. 2017. Associations between unconventional natural gas development and nasal and sinus, migraine headache, and fatigue symptoms in Pennsylvania. Environ Health Perspect, vol. 125, pp. 189-197.
18. USEPA. 2018. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (Version 1.4). see information in:http://www.epa.gov/BENMAP.
19. Wichmann, FA., Müller, A., Busi, LE. 2009. Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution. J Allergy Clin Immunol, vol. 123, pp. 632-638.
20. Yang, CY., Wang, JD., Chan, CC. 1997. Respiratory and irritant health effects of a population living in a petrochemical-polluted area in Taiwan. Environ Res, vol. 2, pp. 145-149.

فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

ویژه نامه، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران


مقاله پژوهشی

# بررسی اثرات بهداشتی، محیطزیستی و اقتصادی آلودگی هوای پتروشیمی شیراز (مطالعهٔ موردی: شهر مرودشت و آثار باستانی تخت جمشید)


**ابوذر احمدی:** دانشجوی دکترای محیطزیست – گرایش آلودگی محیطزیست، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.

**فاضل امیری*:** دانشیار، گروه محیطزیست، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.

**طیبه طباطبایی:** استادیار، گروه محیطزیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران.



**اطلاعات مقاله**

**شماره صفحات:** ۴۴۹-۴۳۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

**واژه‌های کلیدی:**

*پتروشیمی شیراز، مدل AERMOD، مدل SIMAPRO، مدل BENMAP، مدل AIRQ+*



**چکیده**

**زمینه و هدف:** صنایع پتروشیمی از جمله صنایع مادر محسوب شده و با توجه به اهمیت و تنوع محصولات تولیدی در این صنایع، انتظار ایجاد آلودگی وسیع در فازهای هوا، خاک و آب از این واحدها می‌رود. در این مقاله به بررسی آلودگی هوای ناشی از پتروشیمی شیراز و اثرات سلامتی، محیطزیستی و اقتصادی آن پرداخته‌ایم. **روش بررسی:** پخش و پراکنش آلاینده‌ها از پتروشیمی شیراز تا شعاع ۵۰ کیلومتری توسط نرم‌افزار AERMOD مدل‌سازی شده‌است. سپس اثرات سلامتی، محیطزیستی و خسارات اقتصادی ناشی از این آلودگی بر شهر مرودشت و آثار باستانی تخت جمشید توسط نرم‌افزارهای AIRQ، SIMAPRO و BENMAP تخمین زده شده‌است. یافته‌ها: نتایج نشان دهندهٔ آن بود که آلودگی هوای پتروشیمی شیراز قابلیت ایجاد انواع بیماری‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را خواهد داشت. همچنین پتروشیمی شیراز سهم قابل توجه‌ای در غلظت ذرات PM2.5 نواحی اطراف داشته طوریکه سهم این پتروشیمی در غلظت PM2.5 شهر مرودشت در حدود ۳۹ درصد می‌باشد. هزینه‌های درمانی ناشی از آلودگی هوای ایجاد شده در شهر مرودشت در حدود ۷۵۰ هزار دلار در سال برآورد شد. **بحث و نتیجه گیری:** اگرچه پتروشیمی شیراز از نظر آلودگی گازها در شرایط مطلوبی می‌باشد اما در مورد آلودگی ذرات نیازمند اقدامات کنترلی به خصوص در واحدهای اوره و آمونیاک می‌باشد. هرچند آلودگی هوای پتروشیمی شیراز به منطقهٔ تخت جمشید می‌رسد اما قضاوت در مورد چگونگی اثرات منفی آن روی آثار باستانی نیازمند تحقیقات بیشتری است.



**استناد:** احمدی، ابوذر؛ امیری، فاضل؛ طباطبایی، طیبه. (۱۴۰۲). **بررسی اثرات بهداشتی، محیطزیستی و اقتصادی آلودگی هوای پتروشیمی شیراز (مطالعهٔ موردی: شهر مرودشت و آثار باستانی تخت جمشید).** فصلنامه جغرافیا(برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ویژه‌نامه، شماره ۲، صص ۴۴۹-۴۳۸.

**DOI:** 10.22034/JGEOQ.2024.462896.4118



* **Corresponding author:** Fazel Amiri, **Email:** amiri_fazel@yahoo.com



Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



* **نویسنده مسئول:** فاضل امیری **پست الکترونیکی:** amiri_fazel@yahoo.com

## مقدمه

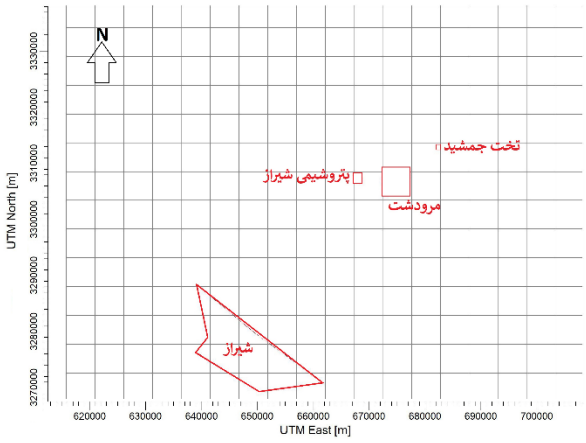
آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین معضلات شهری در سال‌های اخیر بوده که علاوه بر ضررهای وارده بر سلامت شهروندان، تأثیرات اجتماعی و اقتصادی فراوانی را بر جوامع انسانی تحمیل کرده است (Pascal & et al,. 2013:913-; Pulster, EL, 2015:182 900). عوامل زیادی در آلودگی هوای شهرهای بزرگ نقش دارند که یکی از مهم‌ترین آنها آلودگی صنایع بزرگ می‌باشد. صنایع نفت، گاز و پتروشیمی یکی از ارکان اساسی و زیربنایی در سیاست‌های اقتصادی و توسعهٔ هر کشوری به شمار می‌رود. این صنایع باعث ایجاد برخی پیامدها، تبعات و نگرانی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت زیست محیطی می‌گردد ( Ragothaman & Anderson, Tustin & et al,. ; Axelsson & et al,. 2013:1438-1418 ; Chiang & et al,. 2016:338-325; 2017:835-821 2017:197-189). تحقیقات زیادی روی اثرات بهداشتی آلاینده‌های صنایع نفت، گاز و پتروشیمی صورت گرفته که همگی مؤید وجود اثرات سوء بهداشتی اعم از علائم آسم، مشکلات حاد تنفسی، سردرد، سردردهای میگرنی و خستگی، تحریک چشم، برونشیت، بیماری‌های قلبی و عروقی، اگزما و افزایش ریسک سرطان و مرگ و میر بوده است ( Wichmann & et al,. Moraes & et al,. ; Li & et al,. 2011:1367-1359 ; Mannocci & et al,. 2016:132-122; 2009:638-632 Calderón & et al,. ; Adeniran & et al,. 2019:266-257 ; Hwang & et al,. 2006:154-145;2010:344-337 Yang & et al,. 1997:149-145;2003:161-148 ).

در حال حاضر صنایع پتروشیمی هم به عنوان صنایع پایین دست نفت و گاز و همچنین به عنوان تأمین کنندهٔ مواد اولیهٔ مورد نیاز بسیاری از صنایع دارای گسترش رو به رشدی در دنیا، به خصوص در کشورهای در حال توسعه و از جمله ایران می‌باشد. دو محصول آمونیاک و اوره مهم‌ترین تولیدات پتروشیمی در ایران هستند که در این میان کودهای شیمیایی ازته عمده‌ترین مصارف نیتروژن در جهان محسوب می‌شوند. آمارهای مصرف جهانی این نوع کودها نشان دهندهٔ رشد روز افزون مصرف آنها و افزایش تقاضای بازارهای بین‌المللی برای این محصول است. از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در صنایع پتروشیمی، ارزیابی، کنترل و مدیریت آلودگی هوا می‌باشد که هم از جنبهٔ اقتصادی و هم از نظر سلامت عمومی باید مورد توجه ویژه قرار گیرد ( Sharma & et al,. 2017:607-555). صنایع نفت و گاز خصوصاً صنایع پتروشیمی ذاتاً جزو صنایع آلوده کنندهٔ محیطزیست هستند و انواع آلاینده‌ها را که بعضاً بسیار خطرناک هستند وارد هوا، آب و خاک می‌کنند (Adu & et al,. 2018:365-358).

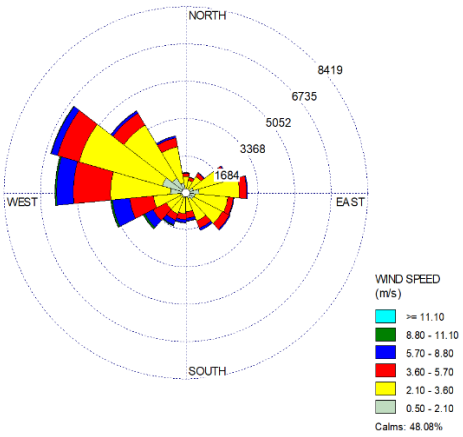
## منطقهٔ مورد مطالعه

مجتمع پتروشیمی شیراز در استان فارس، شهرستان مرودشت و در مجاورت رودخانهٔ کر به عنوان نخستین واحد صنایع پتروشیمی ایران از سال ۱۳۴۲ با هدف تولید کودهای شیمیایی ازته شروع به فعالیت نموده است. این مجتمع فعالیت خود را با بهره‌برداری از چهار واحد تولید آمونیاک، اوره، اسیدنیتریک و نیترات آمونیوم و همچنین واحد تأمین سرویس‌های جانبی آغاز کرد. در حال حاضر ظرفیت اسمی واحدهای تولیدی این صنعت برابر با ۸۲۳،۳،۲۷۴ تن در سال می‌باشد. وسعت شرکت ۳۳۳ هکتار بوده که از این مقدار ۸۲ هکتار آن را محوطهٔ صنعتی تشکیل می‌دهد. ارتفاع شرکت از سطح دریا حدود ۱۶۳۳ متر می‌باشد.

این مجتمع از همان ابتدای تأسیس به دلیل افزایش ظرفیت‌های صورت گرفته با پدیدهٔ آلودگی هوا مواجه بوده‌است. در سال‌های اخیر این معضل بخش عمده‌ای از سرمایه و توان فنی مجموعه را نیز به خود اختصاص داده است. به دلیل بلندمدت نبودن اهداف کنترلی و برخورد موضعی با این پدیده در هر بخش، به رغم تلاش‌های گسترده ثمرات چندانی در کاهش آلودگی حاصل نشده است. شکل ۱و۲ محل مطالعه را در مقیاس واقعی همراه با گلباد شهر مرودشت نشان می‌دهد.




**شکل ۱. جانمایی محل مورد مطالعه در مقیاس واقعی**
**Figure 1. The area of study in full scale**




**شکل ۲. گلباد مرودشت برای سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱**
**Figure 2. Windrose of Marvdasht for 2012-2021**

## روش پژوهش

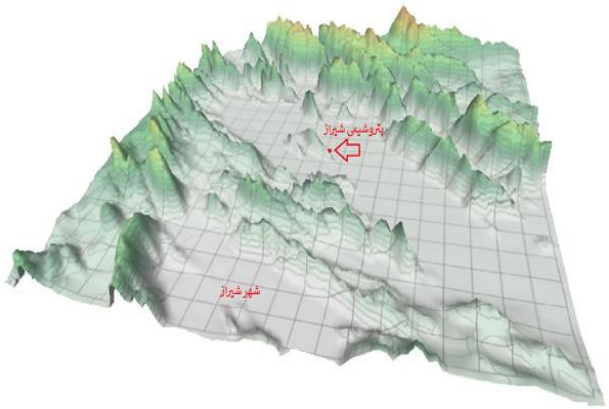
انجام این تحقیق شامل مراحل مختلفی از جمله جمع‌آوری اطلاعات، مدل‌سازی و آنالیز داده‌ها بوده است. در فاز صفر اطلاعات منابع آلودگی پتروشیمی شیراز، میزان و نوع محصولات تولیدی، وضعیت اقلیم و توپوگرافی محدوده و سایر اطلاعات لازم پس از بازدید از پتروشیمی جمع‌آوری شد. اطلاعات هواشناسی برای بازهٔ ۱۰ ساله بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ جمع‌آوری و همراه با اطلاعات توپوگرافی با رزولوشن ۹۰×۹۰m (شکل ۳) مورد استفاده قرار گرفته است. منابع آلایندهٔ پتروشیمی شیراز شامل ۱۱ دودکش بوده که دارای اندازه‌گیری دقیق توسط آزمایشگاه معتمد می‌باشد. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و پس از پالایش داده‌ها، مدل‌سازی پخش و پراکنش آلاینده‌ها تا شعاع ۵۰ کیلومتری از پتروشیمی شیراز توسط مدل AERMOD صورت گرفته است. آلاینده‌های PM، $SO_2$، $NO_2$ و CO در این تحقیق مورد مدل‌سازی قرار گرفته است. آلایندهٔ $CO_2$ و سایر آلاینده‌های گرمایش جهانی نیز در بحث ارزیابی اثرات محیطزیستی توسط مدل SIMAPRO مورد بررسی قرار گرفتند.

## یافته‌های تحقیق

نتایج این تحقیق در سه بخش ارائه شده که شامل نتایج خروجی مدل AERMOD، نتایج خروجی مدل‌های AIRQ و BENMAP و نتایج خروجی مدل SIMAPRO می‌باشد که مجموعاً دربرگیرندهٔ اثرات بهداشتی، اقتصادی و محیطزیستی خواهند بود.

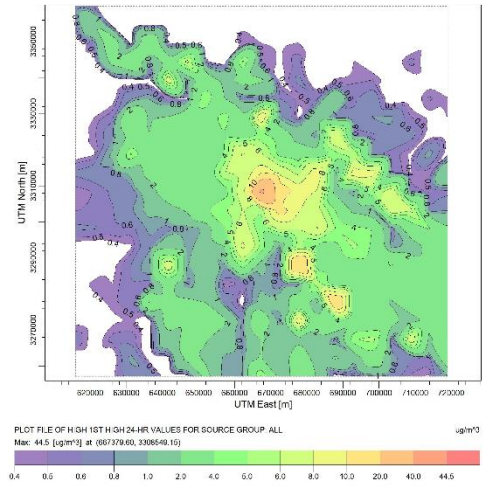
### نتایج خروجی مدل AERMOD:

در این بخش خروجی‌های حاصل از مدل‌سازی منابع آلاینده به کمک AERMOD بیان شده است. جهت مدل‌سازی پخش و پراکنش از داده‌های اندازه‌گیری دودکش در سال‌های متمادی در کنار اطلاعات بلندمدت ۱۰ سالهٔ هواشناسی استفاده شده است. با توجه به اینکه مقدار آلایندهٔ $SO_2$ در تمامی دودکش‌ها صفر بود، لذا این آلاینده مورد مدل‌سازی قرار نگرفته است. با توجه به طیف گستردهٔ خروجی‌های نرم‌افزار AERMOD در این مقاله جهت خلاصه سازی نتایج، تنها به ارائهٔ نتایج ماکزیمم غلظت یک ساعتهٔ آلاینده‌های گازی و نتایج ماکزیمم غلظت ۲۴ساعته برای آلایندهٔ $PM_{10}$ اکتفا شده‌است. شکل ۴ غلظت ماکزیمم ۲۴ساعتهٔ آلایندهٔ $PM_{10}$ را نشان داده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد ماکزیمم غلظت ۴۴.۵ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. شکل ۵ مقادیر غلظت ماکزیمم یک ساعتهٔ CO ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد ماکزیمم غلظت ۵۳۱ میکروگرم بر مترمکعب بوده‌است. شکل ۶ مقادیر غلظت ماکزیمم یک ساعتهٔ $NO_2$ ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد ماکزیمم غلظت 2/06 میکروگرم بر مترمکعب بوده‌است.



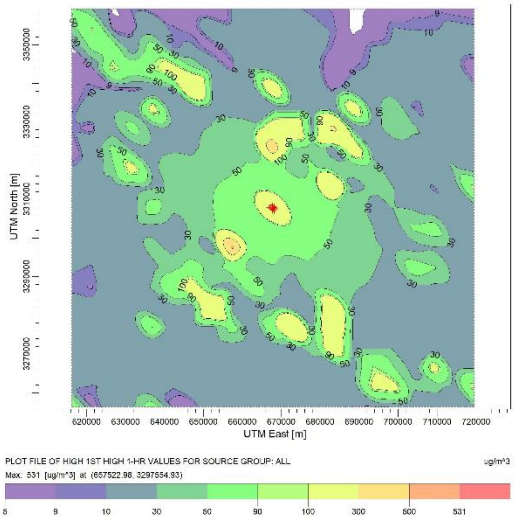

**شکل ۳. توپوگرافی محل مورد مطالعه**

**Figure 3. Topography of the area of interest**



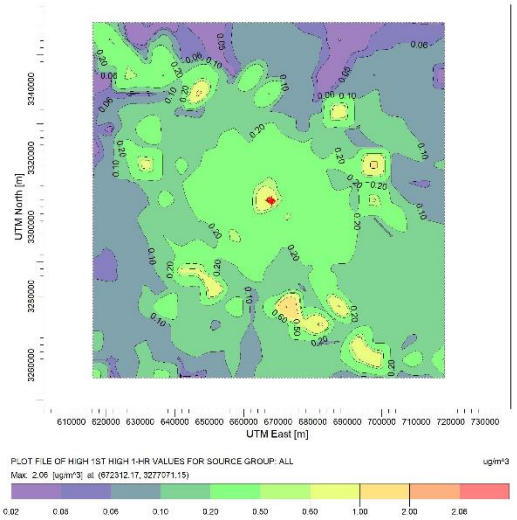

**شکل ٤. مقادیر غلظت ماکزیمم ۲٤ ساعتهٔ ذرات $PM_{10}$ ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز تا شعاع ۵۰ کیلومتری**

**Figure 4. 24-hour maximum concentrations of $PM_{10}$ from shiraz petrochemical complex in radius of 50km**




**شکل ۵. مقادیر غلظت ماکزیمم ۱ ساعتهٔ CO ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز تا شعاع ۵۰ کیلومتری**

**Figure 5. 1-hour maximum concentrations of CO from shiraz petrochemical complex in radius of 50km**




**شکل ٦. مقادیر غلظت ماکزیمم ۱ ساعتهٔ $NO_2$ ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز تا شعاع ۵۰ کیلومتری**

**Figure 6. 1-hour maximum concentrations of $NO_2$ from shiraz petrochemical complex in radius of 50km**

## تأثیر فعالیت پتروشیمی شیراز بر تخت جمشید:

با توجه به فاصلهٔ ۱۵ کیلومتری پتروشیمی شیراز تا آثار تاریخی تخت جمشید، در این مقاله علاوه بر بحث اثرات بهداشتی، محیط‌زیستی و اقتصادی فعالیت پتروشیمی شیراز بر ساکنین شهر مجاور مرودشت، به بررسی میزان غلظت رسیده از پتروشیمی به تخت جمشید نیز پرداخته‌ایم. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان دهندهٔ آثار تخریبی احتمالی آلاینده‌های هوا بر این آثار تاریخی می‌باشد. وجود گلسنگ در آثار تخت جمشید از مهم‌ترین دلایل این ادعا می‌باشد. نتایج حاصل از مدل‌سازی AERMOD بیانگر آن بود که میزان حداکثر غلظت رخداده در محل تخت جمشید برای آلاینده‌های $PM_{10}$، $PM_{2.5}$، $SO_2$، $NO_2$ و CO به ترتیب 9/3، 6/0، 0/0، 0/3 و ۲۸۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده است.

## نتایج خروجی مدل‌های +AIRQ و BENMAP:

نرم‌افزار AIRQ+ به منظور بررسی اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا بر ساکنین شهر مرودشت مورد استفاده قرار گرفته است. پس از وارد کردن اطلاعات مربوطه اعم از میانگین غلظت خروجی از AERMOD، جمعیت شهر مرودشت، مساحت شهر مرودشت، طول و عرض جغرافیایی، نرخ بروز پایه و تعیین مواجههٔ بلندمدت و کوتاه‌مدت و سایر تنظیمات مدل، اقدام به اجرای نرم‌افزار جهت محاسبهٔ مقادیر مرگ و میر و انواع بیماری‌های ناشی از آلاینده‌های $NO_2$، $PM_{10}$ و $PM_{2.5}$ شده است. جهت تخمین هزینه‌های بهداشتی از نرم‌افزار BENMAP استفاده شده است (USEPA, 2018). نتایج حاصل از اجرای این دو نرم‌افزار در جدول ۱ ارائه شده است.

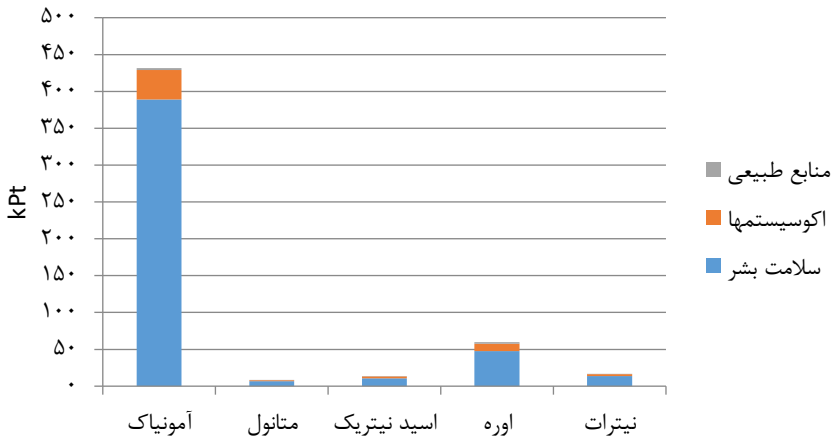
**جدول۱ : اثرات بهداشتی آلاینده‌های $NO_2$، $PM_{10}$ و $PM_{2.5}$ بر ساکنین شهر مرودشت و هزینه‌های درمانی مرتبط با آن**

**Table 1. Adverse health effects caused by NO2, PM10 & PM2.5 on Marvdasht residents and associated costs**

| آلاینده | غلظت متوسط آلاینده $\mu g/m^3$ | نوع مواجهه | بیماری یا مرگ و میر ناشی از فعالیت پتروشیمی شیراز | تعداد موارد رخداده در مرودشت | هزینهٔ سالانه در شهر مرودشت (دلار) |
|---|---|---|---|---|---|
| $PM_{10}$ | ۳ | بلندمدت | برونشیت مزمن در افراد بالغ | ۹۱ | 52,807 |
| | | | علائم برونشیت در کودکان | ۶۷ | 16,465 |
| | | | مرگ زودهنگام نوزادان تازه متولد شده | ۰ | ۰ |
| | | کوتاه‌مدت | بروز علائم آسم در کودکان آسمی | ۲۶ | 51,609 |
| $PM_{2.5}$ | 1/95 | کوتاه‌مدت | بستری در بیمارستان به دلیل بیماری تنفسی | ۱۰ | 8,535 |
| | | | مراجعه به بیمارستان به دلیل مشکلات قلبی عروقی | ۵ | 798 |
| | | | مرگ و میر افراد بالغ | ۰ | ۰ |
| | | | تعداد روزهای خانه‌نشینی کلیهٔ افراد | ۲۳ | ۸۱۸,۱۰۸ |
| | | | تعداد روزهای خانه‌نشینی افراد بالغ | ۲۲ | 509,920 |
| | | بلندمدت | مرگ در افراد بالغ | ۰ | ۰ |
| $NO_2$ | 0/45 | این آلاینده به دلیل غلظت بسیار پایین هیچ عارضه‌ای نداشت. | | | |
| جمع کل هزینه‌های سالانه بر حسب دلار | | | | | ۵۲,۹۷۴۸ |

## نتایج خروجی مدل SIMAPRO 9.0:

نرم‌افزار SIMAPRO به منظور ارزیابی اثرات محیطزیستی اعم از تخریب اکوسیستم آبی و خاکی، تخریب لایهٔ ازن، گرمایش جهانی، سمیت اکوسیستم‌ها و به طور کلی تمامی اثرات سوء محیطزیستی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و تولید محصول ارائه شده است (PRE. SIMAPRO, 2004). به منظور اجرای ارزیابی چرخهٔ حیات، نیازمند اطلاعات محصولات تولیدی در پتروشیمی شیراز هستیم که با توجه به آخرین اطلاعات ارائه شده در اسفند ۱۳۹۹ مقادیر محصولات تولیدی شامل اسیدنیتریک به میزان ۳۵،۰۰۰ تن، آمونیاک ۱،۱۰۰،۰۰۰ تن، اوره ۱،۶۷۰،۰۰۰ تن، متانول ۹۳،۰۰۰ تن، آرگون ۳،۱۰۰ تن و نیترات ۲۰۰،۰۰۰ تن بوده است. با داشتن اطلاعات فوق و کسب سایر اطلاعات فرآیندی اقدام به مدل‌سازی ارزیابی چرخهٔ حیات پتروشیمی شیراز با نرم‌افزار SIMAPRO 9.0 گردید که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است.




**شکل ۷. میزان تخریب ایجاد شده توسط هر محصول در بخش‌های اکوسیستم، سلامت و منابع طبیعی**

Figure 7. The magnitude of adverse effect associated with each products on resources, ecosystems and human health.

## بحث و نتیجه‌گیری

امروزه سازمان ها در دنیایی متفاوت از آنچه در سال های گذشته بود، به سر می برند. رقابت فزاینده‌ای که در بین سازمان های مختلف در داخل مرزها و همچنین در سطح بین المللی وجود دارد سازمان‌ها را بر آن داشته تا با بهره‌گیری از شیوه‌های متفاوت و با توجه به استاندارد هوای پاک سال ۱۳۹۵ ایران، مقادیر غلظت حاصل از فعالیت پتروشیمی شیراز در تمام حالات همواره زیر حد استاندارد بوده است. برای آلاینده‌های گازی این میزان بسیار زیر حد استاندارد بود اما برای آلایندهٔ ذرات، نتایج مدل‌سازی قابل مقایسه با مقادیر استاندارد می‌باشد. در مورد آلایندهٔ $PM_{2.5}$ مقدار آلودگی ایجاد شده توسط پتروشیمی شیراز سهم بزرگی در آلودگی شهر مرودشت داشت که این سهم در حدود ۳۹ درصد تخمین زده شد. میزان تأثیرگذاری فعالیت پتروشیمی بر شهر شیراز ناچیز بوده و این میزان برای گازها در حد صفر و برای ذرات $PM_{10}$ در بدترین حالت ۲ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. نمونه‌برداری‌های محیطی متعددی جهت صحت سنجی نتایج مدل‌سازی اخذ گردید که مؤید صحت قابل قبول خروجی‌های AERMOD بود.

اثرات مخرب محیط‌زیستی حاصل از فعالیت پتروشیمی شیراز در سه گروه منابع طبیعی، اکوسیستم و سلامت انسان توسط نرم‌افزار SIMAPRO مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین اثرات منفی به ترتیب در گروه سلامت انسان (۱۱۷۱ امتیاز منفی)، اکوسیستم (۱۴۱ امتیاز منفی) و منابع طبیعی (۲۵ امتیاز منفی) رخ داد.

بررسی اثرات بهداشتی نیز مؤید انواع اثرات تنفسی، قلبی عروقی، خانه‌نشینی و... بر ساکنین شهر مرودشت بود. میزان خسارات اقتصادی ناشی از درمان، از کارافتادگی و مرگ و میر مجموعاً در حدود ۷۵ هزار دلار در سال تخمین زده شد. شایان ذکر است که نتایج ارائه شده در این مقاله بر اساس توابع هزینهٔ درمان کشور آمریکا بوده و برای تخمین دقیق هزینه‌های ریالی باید مطالعات مستقل در شهر مرودشت و ایران انجام گردد. محاسبات نرم‌افزار AIRQ+ نیز با توجه به نرخ بروز پایهٔ ۱۰۰ نفر در هر ۱۰۰ هزار نفر صورت گرفته و محاسبات دقیق‌تر منوط به مطالعات اپیدمیولوژی در شهر مرودشت می‌باشد.

با توجه به فاصلهٔ ۱۵ کیلومتری پتروشیمی تا تخت جمشید، اثرگذاری این پتروشیمی بر تخت جمشید کاملاً متصور می‌باشد و نتایج مدل‌سازی نیز مؤید این موضوع است. با توجه به وجود دودکش‌های بلند در پتروشیمی شیراز (بین ۳۵ تا ۶۰ متر) مقادیر آلودگی به راحتی تا شعاع ۱۵ کیلومتری گسترده خواهد شد.

مهم‌ترین عامل تخریب آثار باستانی، شکل‌گیری باران اسیدی حاصل از واکنش آب باران و گاز $SO_2$ می‌باشد که در این مورد بنا بر اظهارات آزمایشگاه معتمد و کارشناسان شرکت، مقادیر گاز $SO_2$ در دودکش‌های پتروشیمی شیراز صفر بوده و از این نظر مشکلی وجود نخواهد داشت. آلاینده‌هایی نظیر $CO_2$، $NO_2$ و ذرات نیز دارای اثرات تخریبی بر آثار باستانی هستند. تشکیل گچ و رشد گلسنگ روی دیواره‌های تخت جمشید (شکل ۸) به این آلاینده‌ها نسبت داده شده است که این موضوع به خصوص در

فصول سرد و مواقع ایجاد وارونگی حائز اهمیت خواهد بود (Blett, 2003). با توجه به وجود کوه‌های زیاد و محصور بودن منطقهٔ مرودشت، در صورت وقوع وارونگی احتمال ماندگاری آن و تشدید آلودگی و وقوع تأثیرات مخرب بر آثار تحت جمشید دور از ذهن نیست. لازم به ذکر است که علاوه بر پتروشیمی شیراز، صنایع دیگری از جمله کارخانهٔ قند، واحدهای رزین‌سازی و تولید لوله‌های PVC و... نیز در اطراف تخت جمشید قرار دارند که نیاز به بررسی بیشتری در این مورد احساس می‌شود.

هر چند از نظر استانداردهای محیط‌زیستی، پتروشیمی شیراز در وضعیت مطلوب قرار دارد اما این امر به معنای عدم تأثیر مخرب بر آثار باستانی نیست. در تحقیقی که در سال ۱۳۹۴ بر روی انتشار CO و $NO_2$ از واحد آمونیاک و اسید نیتریک پتروشیمی شیراز صورت گرفت به اثرات منفی این آلاینده‌ها بر آثار تخت جمشید اشاره شده است (Sadeghieh & Rezaie, 2016). در تحقیق فوق به مدل‌سازی دو دوکش از مجموع دودکش‌های پتروشیمی شیراز پرداخته شد و مقادیر غلظت این دو آلاینده در محوطهٔ تخت جمشید برای سرعت بادهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. این تحقیق نشان داد که امکان رسیدن آلودگی به محوطهٔ تخت جمشید وجود دارد.

**شکل ۸. رشد گلسنگ‌ها در سنگ نگاره‌های تخت جمشید (۲۰)**
**Figure 8. Lichens growing on Persepolis petroglyphs**

## جمع‌بندی و پیشنهادات:

از مجموعه اطلاعات و نتایج حاصله می‌توان استدلال کرد که که دودکش‌های پتروشیمی شیراز از نظر استانداردهای محیطزیستی هوای پاک به طور کلی در وضعیت مناسبی قرار دارند و تنها در مورد غلظت آلایندهٔ $PM_{2.5}$ نگرانی وجود دارد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که پتروشیمی شیراز با توجه به طیف گستردهٔ فرآیندها و محصولات تولیدی، پتانسیل آلوده‌سازی محیطزیست را داشته و با توجه به نزدیکی آن به مراکز جمعیتی (شهر مرودشت، روستاها و آثار تاریخی) نیاز به مطالعه و اندازه‌گیری گستردهٔ آلاینده‌های زیست محیطی در فازهای هوا، آب و خاک ضروری می‌باشد.

آلاینده‌های منتشر شده از پتروشیمی شیراز قابلیت رسیدن به محوطهٔ آثار باستانی تخت جمشید را داشته و پتانسیل اثرگذاری روی این آثار را دارند. در خصوص تخریب آثار باستانی علاوه بر بحث باران‌های اسیدی و اثرات منفی آلاینده‌های گازی و ذره‌ای، پارامتر رطوبت دارای اهمیت نخست می‌باشد و پیشنهاد می‌گردد جهت کنترل تخریب این آثار، وضعیت زهکشی محوطه مورد بازنگری قرار گیرد. در صورت کنترل رطوبت، امکان تخریب چه در اثر تشکیل ترکیبات اسیدی و چه در اثر موییننگی و انبساط و انقباض سنگ‌ها از بین خواهد رفت.

نتایج نشان دهندۀ آن بود که ذرات $PM_{2.5}$ مهم‌ترین آلاینده از نظر اثرات بهداشتی می‌باشد، بنابراین لازم است از نظر کنترل ذرات به خصوص در واحدهای دانه‌بندی نیترات و اوره تمهیداتی اندیشه شود. با توجه به اینکه سهم اصلی تولید گازهای آلاینده در پتروشیمی مربوط به واحد نیروگاه می‌باشد، می‌بایست اقداماتی جهت کنترل CO و $NO_2$ از دودکش این واحد صورت بگیرد. بالا بودن میزان CO نشانۀ تنظیم نبودن میزان هوا به سوخت است که با اقداماتی ساده می‌توان آن را در محدودۀ ایده‌آل قرار داد.

## منابع


1. Adeniran, JA., Yusuf, RO., and Fakinle, BS., Sonibare, JA. 2019. Air quality assessment and modelling of pollutants emission from a majorcement plant complex in Nigeria. Atmospheric Pollution Research, Atmospheric Pollution Research. Vol. 10, pp. 257-266.
2. Adu, P., Pobee, R., Awuah, A. 2018. Reduced Haematopoietic Output in Automobile Mechanics and Sprayers with Chronic Exposure to Petrochemicals: A Case-Control Study in Cape Coast, Ghana. J Environ Public Health. Vol. 2018, pp. 358-365.
3. Axelsson, G., Stockfelt, L., Andersson, E. 2013. Annoyance and worry in a petrochemical industrial area Prevalence, time trends and risk indicators. Int J Environ Res Public Health, vol. 10, pp. 1418-1438.
4. Blett, T., Geiser, L., Porter, E. 2003. Air pollution – related Lichen monitoring in national Park, Forest and Refuges: Guideline forstudies intended for regulatory management purpose. Tech. Rep. NPS-D2292.
5. Calderón, GL., Mora, TA., Fordham, LA. 2003. Respiratory damage in children exposed to urban pollution. Pediatr Pulmonol, vol. 36, pp. 148-161.
6. Chiang, TY., Yuan, TH., Shie, RH. 2016. Increased incidence of allergic rhinitis, bronchitis and asthma, in children living near a petrochemical complex with SO2 pollution. Environ Int, vol. 7, pp. 325-338.
7. Hwang, BF., Jaakkola, JJ., Lee, YL. 2006. Relation between air pollution and allergic rhinitis in Taiwanese schoolchildren. Respir Res, vol. 9, pp. 145-154.
8. Li, J., Lu, Y., Shi, Y. 2011. Environmental pollution by persistent toxic substances and health risk in an industrial area of China. J Environ Sci (China), vol. 23, pp. 1359-1367.
9. Mannocci, A., Pignalosa, S., Nicosia, V. 2016. Cardiovascular Diseases Risk Factors in oil and gas workers: a ten years observational retrospective cohort. Ann Ig, vol. 28, pp. 122-132.
10. Moraes, AC., Ignotti, E., Netto, PA. 2010. Wheezing in children and adolescents living next to a petrochemical plant in Rio Grande do Norte, Brazil. J Pediatr (Rio J), vol 44, pp. 337-344.
11. Pascal, L., Pascal, M., Stempfelet, M. 2013. Ecological Study on Hospitalizations for Cancer, Cardiovascular, and Respiratory Diseases in the Industrial Area of Etang-de-Berre in the South of France. J Environ Public Health, vol. 2013, pp. 900-913.
12. PRE. SIMAPRO 7. 2004. Introduction to LCA with SIMAPRO, PRé Consultants, The Netherlands. see information in: https://pre-sustainability.com.
13. Pulster, EL. Assessment of Public Health Risks Associated with Petrochemical Emissions Surrounding an Oil Refinery. Ph.D. University of South Florida. 2015.182.
14. Ragothaman, A., Anderson, WA. 2017. Air Quality Impacts of Petroleum Refining and Petrochemical Industries. Environments, vol. 66, pp. 821-835.
15. Sadeghieh, A., Rezaie. Dispersion CO and NO2 from ammonia and acid nitric units in shiraz petrochemical complex with MERCURE-SATURNE model. Second international conference on industrial engineering & management. 2016 May 9. Tehran. Iran. (Persian).
16. Sharma, A., Sharma, P., Sharma, A. 2017. Hazardous Effects of Petrochemical Industries:A Review. RAPSCI, vol. 3, pp. 555-607.
17. Tustin, AW., Hirsch, AG., Rasmussen, SG. 2017. Associations between unconventional natural gas development and nasal and sinus, migraine headache, and fatigue symptoms in Pennsylvania. Environ Health Perspect, vol. 125, pp. 189-197.
18. USEPA. 2018. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (Version 1.4). see information in:http://www.epa.gov/BENMAP.
19. Wichmann, FA., Müller, A., Busi, LE. 2009. Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution. J Allergy Clin Immunol, vol. 123, pp. 632-638.

20. Yang, CY., Wang, JD., Chan, CC. 1997. Respiratory and irritant health effects of a population living in a petrochemical-polluted area in Taiwan. Environ Res, vol. 2, pp. 145-149.