



**Estimation of Air Pollutants Emissions From Burning Agricultural Crop Residues in Khuzestan Province Based on Annual Statistics and MODIS Satellite Images**

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
2022/02/21

**Accepted**  
2023/06/12

**Eisa Bougari<sup>1\*</sup>, Mohammad Amin Asoodar<sup>2</sup>, Afshin Marzban<sup>3</sup>, Navab Kazemi<sup>4</sup>**

1. Ph.D, Graduate of Agricultural Mechanization Eng, Agriculture Science and Natural Resources University of Khuzestan
2. Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agriculture Science and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agriculture Science and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
4. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agriculture Science and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.179284

**Abstract**

One of the most common and inappropriate crop residue management practices methods is burning them in fields. In Khuzestan province as one of the major agricultural regions in Iran, many farmers burn the crop residue after harvesting which results in the emissions of pollutants and greenhouse gases to the air, soil depletion, reduction of inputs productivity, and other adverse consequences. In this study, the total crop residue being annually burned was estimated based on Modis satellite images, annual statistics, field surveys, and interview with farmers. The results obtained from the process and correction of Modis satellite images in Khuzestan province indicated that the minimum area of farms in which crop residue was burned during 2017, 2018, and 2019 were 137102, 119705, and 195635 ha/yr, respectively. In 2019, burning 1259005 tonnes of dried crop residue emitted 1525760 t CO<sub>2</sub>, 54560 t CO and 6953 t particles less than 2.5 ppm. The amounts of other air pollutants such as CH<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOC, BC, and OC were 2146, 3747, 91, 1213, 466, 4920, 2139, and 1293 t, respectively. Preservation of crop residue on the surface can mitigate the air pollutant emissions as well as reducing soil erosion and water use, improving soil fertility and compaction, and finally increasing crop yield. A proper crop residue management practice is achievable by developing agricultural mechanization and adopting conservation agriculture principles.

**Keywords:** Agricultural mechanization development, Particulate Matter, Conservation agriculture, Greenhouse gases, MODIS satellite

\* Corresponding author

Email: bougarieisa@yahoo.com

## Introduction

One of the important factors affecting air pollution and climate changes on a regional and global scale is biomass burning (Shi et al., 2020). Open biomass burning, which includes forest, shrubland, grassland and agricultural residue burning, is an important factor that affects ecosystem processes and dynamics and a major cause of disturbance and change in a wide range of biomes at regional and global scales. These cases releases large amounts of trace gases (CO, NOX, NMVOC, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.), particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), and greenhouse gases (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) (van der Werf., 2017). These emissions affect interannual variations in atmospheric components, biomes, climate, and regional air quality, thereby posing a serious threat to human health and the environment.

A significant part of the total biomass burned in the world is the remains of agricultural products (van der Werf., 2017). Annually, about 730 million tons of biomass are burned in Asia by nature and human factors, which include fires in forests, pastures, and crop residues (Ravindra et al., 2018). In Iran, about 0.06% of the country's forests decrease due to fires, so that in a period of 30 years, about 225 million cubic meters of forests were destroyed (Dalir et al., 1400). In the agricultural sector, residues of agricultural products are often burned. In a study, Fallah et al (2013) stated that the total crop residue in the country is about 29.5 million tons, nearly 85% of it is burning. Also, In a descriptive analytical study conducted in Khuzestan province, it was reported that the amount of sugarcane residue is around 1.26 million tons and almost all of it is burning (Monjezi., 2019).

## Materials and methods

In this study, the total crop residue being annually burned was estimated based on Modis satellite images, annual statistics, field surveys, and interview with farmers. In many fields, shortly after burning residue tillage and planting operations begins. So, we used Modis satellite for this study because this satellite is recording daily. For this purpose, first monthly products of this satellite was taken and prepared from the website <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>. Then, corrections and processing required for these products was applied by Using ArcGIS 10.5 software. In the next step, the coordinate system of the products changed to World Geodetic System of 1984. Then, since the range of changes in the value of each layer shows the day of the fire, the layers were converted into binary (0 and 1). In other words, areas that had at least one day of fire have a value of 1, and zero values in each layer indicate areas without fire. After these steps, the maps were created and the burnt crop residue areas in the province were estimated monthly and finally annually for the three years of 2017, 2018 and 2019.

As the residues are burned on cloudy days in the province, the experts suggested that the error be estimated. The average number of cloudy days without rain was estimated to be 35.2 days per year, and accordingly, the error rate was considered to get 10%. To determine the burned area of each crop in the farms of Khuzestan province, agricultural calendar of products, time of residues burning of different crops and also a questionnaire were applied. In order to get reliable help from the agricultural calendar, at first, the agricultural and industrial fields (having a recognizable area of cultivation) were separated. The area under sugarcane cultivation is about 9.9% of the total land of the province, which usually starts from the beginning of autumn, and in some cases it continues until the end of spring. Then, according to the agricultural calendar, the burning time of the fields with different crops was determined. The wheat, barley and rape are considered to be the most important products of Khuzestan province, so they have a share of 49.1, 6.8 and 2% of the total cultivated area of the province, respectively. Some farmers gradually begin burning the remains in the fields from May, which sometimes continues until mid-autumn. The residues of paddy and corn are also burned after harvesting from mid-autumn, these two crops comprise 7.7 and 5.6% of the total cultivated area of the province, respectively (Statistics, 2018). Also, in a questionnaire, 100 farmers were asked to answer questions related to the burning of agricultural crop residues including the burning time and the amount of burnt residues in the field in recent years. Then, according to the cultivated area of the crop and the total area of burned fields, the amount of burned residues of each crop in the province was calculated.

## Results and Discussion

The results obtained from the process and correction of Modis satellite images in Khuzestan province

indicated that the minimum area of farms in which crop residue was burned during 2017, 2018, and 2019 were 137102, 119705, and 195635 ha/yr, respectively. The reason for this difference in the level of burned fields is the severe drought in 2018 and significant rainfall in 2019. The severe drought reduced the area under rice and rainfed crops, and as result increased the gap between the sugarcane crop and other crops in 2018.

Therefore, significant rains in 2019 led to the production of more products, including rice, which increased the amount of fuel consumption with the increase in cultivated area. The reasons for this are the lack of sufficient information from farmers about its harms, the lack of conservative agricultural equipments and the lack of implementation of preventive laws to prevent the burning of residues. Wheat, sugarcane and rice crops accounted for the highest amount of the burned residues, which is given in figure (1).

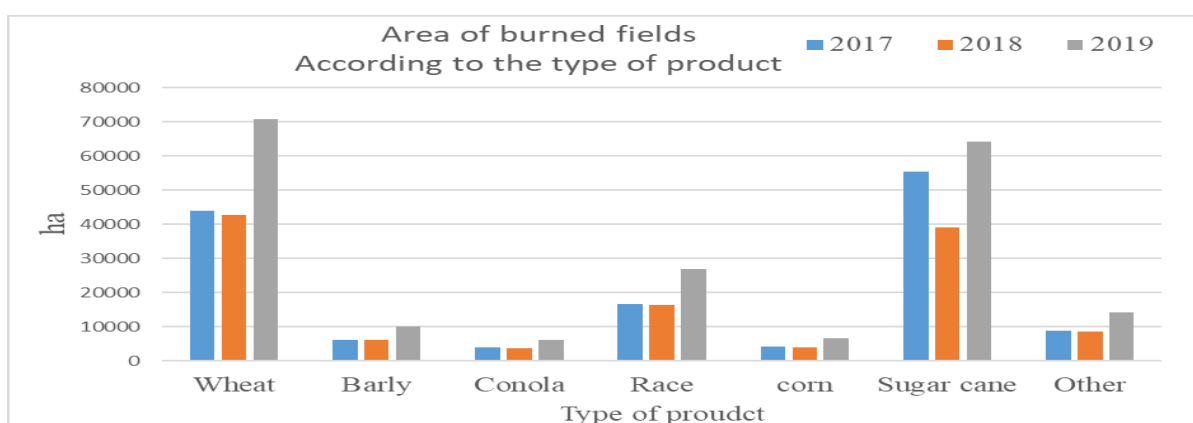


Figure 1: Area of the burned fields by type of crop production in Khuzestan province, 2017, 2018 and 2019

Figure (2) shows the area of burning fields in different months of the year. As shown in the figure, most fields are burned in autumn and spring, according to the results of this research. It can be said that the peak of burning fields occurs in December, April, and May. In the autumn season of Khuzestan province, with the beginning of sugarcane and rice harvesting, the burning of fibrous materials in sugarcane and rice residues in the field begins.

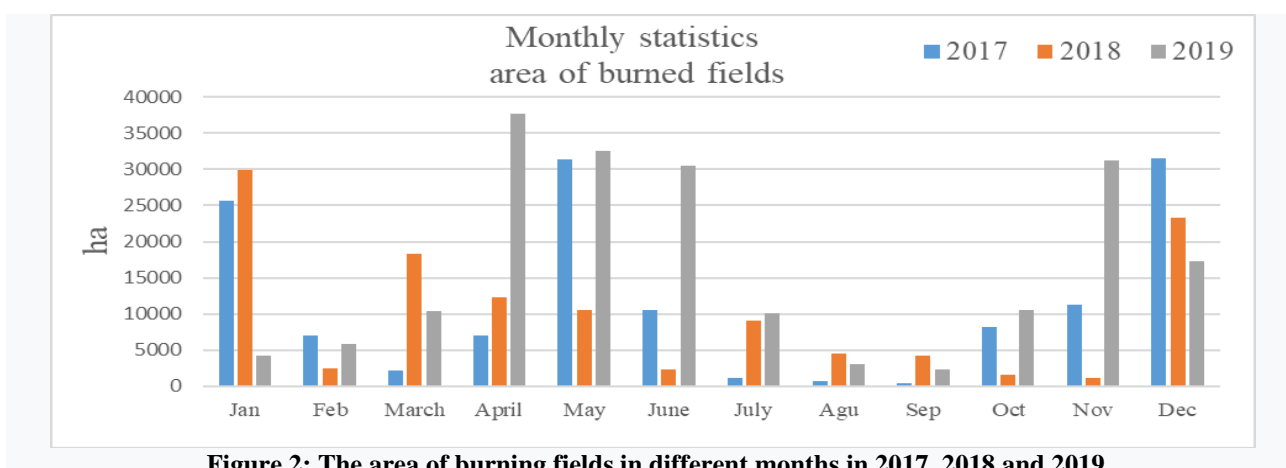


Figure 2: The area of burning fields in different months in 2017, 2018 and 2019

The total amount of greenhouse gas emissions in the result of the burning of agricultural residues in 2017, 2018 and 2019 were estimated to be 58326, 50975 and 84099 tons CO<sub>2</sub> equivalent per year, respectively. In 2019, Sugarcane, wheat and rice with 25042, 23181 and 20068 tons of CO<sub>2</sub> equivalent per year had the highest amount of greenhouse gas emissions, respectively. In 2019, burning 1259005 tons of the crop residues emitted 1525760 t CO<sub>2</sub>, 54560 t CO and 6953 t particles less than 2.5 ppm. The amounts of other air pollutants such as CH<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NMVOC, BC, and OC were 2146, 3747, 91, 1213, 466, 4920, 2139, and 1293 t, respectively.

## Conclusions

One of the most common and inappropriate crop residue management practices methods is burning them in fields. In Khuzestan province as one of the major agricultural regions in Iran, many farmers burn the crop residue after harvesting which results in the emissions of pollutants and greenhouse gases to the air, soil depletion, reduction of inputs productivity, and other adverse consequences. Preservation of crop residue on the surface can mitigate the air pollutant emissions as well as reducing soil erosion and water use, improving soil fertility and compaction, and finally increasing crop yield. A proper crop residue management practice is achievable by developing agricultural mechanization and adopting conservation agriculture principles.

## References

- Anonymous. 2018. Agricultural statistics. The first volume of crops for the crop year 2017-2018. Ministry of Agriculture Jihad, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. P. 87.
- Anonymous. 2017. Geographical and climatic features of Khuzestan province. Meteorological Organization of the country, General Department of Meteorology of Khuzestan province. P. 16.
- Falah, S., Pourazizi, M. & Rostami, S. 2013. The necessity and potential of biofuel production from cereal residues in the country. *Iranian Journal of Energy*, 17(2): 65-74.
- Ravindra. K., Singh. T & Mor. S. 2018. Emissions of air pollutants from primary crop residue burning in India and their mitigation strategies for cleaner emissions. *Journal of Cleaner Production*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.031>.
- Shi. Y., Zang. S., Matsunaga. T. & Yamaguchi. Y. 2020. A multi-year and high-resolution inventory of biomass burning emissions in tropical continents from 2001–2017 based on satellite observations, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122511>.
- Manjezi, N. 2019. Comparison of green and burnt sugarcane harvesting methods and environmental effects of field burning in burnt sugarcane harvesting in Khuzestan province. *Journal of Natural Environment, natural resources of Iran*. Round 73(2), pp. 396-383.
- Van der Werf. G.R., Randerson. J.T., Giglio. L., van Leeuwen. T.T., Chen. Y., Rogers. B.M., Mu. M., van Marle. M.J.E., Morton. D.C., James Collatz. G., Yokelson. R.J. & Kasibhatla, P.S., 2017. Global fire emissions estimate during 1997–2016. *Earth Syst. Sci. Data* (9): 697–720.

## برآورد انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از سوزاندن بقایای کشاورزی در استان خوزستان بر اساس آمار و تصاویر ماهواره مودیس

عیسی بوگری<sup>۱\*</sup>، محمدامین آسودار<sup>۲</sup>، افشین مرزبان<sup>۳</sup>، نواب کاظمی<sup>۴</sup>

۱. دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۲. استاد گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۳. دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۴. استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

### چکیده

یکی از روش‌های متداول و نادرست مدیریت بقایای محصولات کشاورزی در مزارع، حذف بقایا از طریق سوزاندن است. بسیاری از کشاورزان استان خوزستان که یکی از قطب‌های کشاورزی ایران می‌باشد بقایای محصولات خود را در فصل برداشت می‌سوزانند، این امر منجر به انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، فقیر شدن خاک، کاهش بازدهی نهاده‌ها و پیامدهای منفی دیگری می‌شود. در این پژوهش برای برآورد میزان سوزاندن بقایای سالانه محصولات کشاورزی، از تصاویر ماهواره‌ای مودیس، آمارنامه‌های موجود، بررسی‌های مزرعه‌ای و کسب اطلاعات از کشاورزان استفاده شد. نتایج حاصل از پردازش و تصحیح تصاویر ماهواره‌ای مودیس سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استان خوزستان نشان داد که حداقل سطح مزارع سوخته شده در این سال‌ها به ترتیب برابر ۱۳۷۱۰۲، ۱۱۹۷۰۵ و ۱۹۵۶۳۵ هکتار در سال است. در سال ۲۰۱۹ سوختن ۱۲۵۹۰۰۵ تن بقایای خشک، سبب تولید ۱۵۲۵۷۶۰ تن  $\text{CO}_2$ ، ۵۴۵۶۰ تن CO و همچنین انتشار حدود ۶۹۵۳ تن ذرات معلق کمتر از  $\text{PM}_{2.5}$  در هوا گردید. انتشار سایر آلاینده‌ها از قبیل  $\text{CH}_2$ ،  $\text{NO}_x$ ،  $\text{N}_2\text{O}$ ،  $\text{NH}_3$ ،  $\text{SO}_2$ ، NMVOC، BC و OC به ترتیب ۲۱۴۶، ۳۷۴۷، ۹۱، ۱۲۱۳، ۴۶۶، ۴۹۲۰، ۲۱۳۹ و ۱۲۹۳ تن در سال ۲۰۱۹ برآورد گردید. حفظ بقایا در سطح مزرعه علاوه بر کاهش آلاینده‌های هوا سبب کاهش پتانسیل فرسایش خاک، کاهش مصرف آب، افزایش مواد آلی خاک، کاهش فشردگی و در نهایت افزایش عملکرد خواهد شد. مدیریت صحیح بقایای محصولات کشاورزی در سطح مزرعه با توسعه مکانیزاسیون کشاورزی و به کارگیری اصول کشاورزی حفاظتی امکان پذیر می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** توسعه مکانیزاسیون کشاورزی، ذرات معلق، کشاورزی حفاظتی، گازهای گلخانه‌ای، ماهواره مودیس

## سرآغاز

یکی از عوامل مهم تاثیرگذار بر آلودگی هوا و تغییرات آب و هوایی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی سوزاندن زیست‌توده می‌باشد (Shi et al., 2020). بخش قابل توجهی از کل زیست‌توده سوزانده شده در جهان را بقایای محصولات کشاورزی تشکیل می‌دهد (van der Werf, 2017). سالانه حدود ۷۳۰ میلیون تن زیست‌توده در آسیا به وسیله طبیعت و عوامل انسانی سوزانده می‌شود، که شامل آتش‌سوزی جنگل‌ها، مراتع و بقایای محصولات کشاورزی است (Ravindra et al., 2018). در ایران نیز سالانه حدود ۰/۰۶ درصد از جنگل‌های کشور به علت آتش‌سوزی کاهش می‌یابد به طوری که در یک دوره ۳۰ ساله حدود ۲۲۵ میلیون متر مکعب از جنگل‌ها تخریب شدند (Dalir et al., 2021). در بخش کشاورزی نیز اغلب بقایای محصولات کشاورزی سوزانده می‌شود، (Falah et al., 2013) در مطالعه‌ای کل بقایای تولیدی از غلات در کشور را ۲۹/۵ میلیون تن بیان نمودند حدود ۸۵ درصد آن سوزانده می‌شود، در در یک مطالعه تحلیلی توصیفی که در استان خوزستان انجام گرفت میزان بقایای حاصل از برداشت نیشکر را ۱/۲۶ میلیون تن عنوان شد تقریباً کل آن سوزانده می‌شود (Monjezi, 2019). سوزاندن یکی از روش‌های متداول برای حذف بقایای محصولات کشاورزی است که منجر به انتشار آلاینده‌های هوا از جمله گازهای گلخانه‌ای شده و سبب تغییرات جدی در جو محلی و منطقه‌ای می‌گردد (Ravindra et al., 2016). این عمل یک تهدید جدی برای سلامت انسان و کیفیت هوا می‌باشد (Marlier et al., 2013). سوزاندن زیست‌توده یکی از مهمترین عوامل آلودگی هوا بعد از صنعت و وسایل نقلیه می‌باشد (Gurjar et al., 2016). در مطالعه‌ای (Zhang et al., 2016) گزارش دادند دود حاصل از سوختن بقایای کشاورزی در مزارع، به تمام مناطق چین انتقال پیدا کرده و در برخی موارد سبب تشدید تجمع آلاینده‌های هوا در مناطق شهری می‌گردد. در کشور چین سوزاندن بقایای کشاورزی در طول فصل برداشت تابستانه و برداشت پاییزه در سطح مزارع، بسیار زیاد است (Hi et al., 2015). در کشورهای در حال توسعه، سوزاندن بقایای امری متداول و یک پدیده جهانی است (Cheng et al., 2014)، که به افزایش غلظت ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون منجر می‌شود (Li et al. 2010). آتش زدن بقایا

کشاورزی در مزرعه و استفاده از آن به عنوان سوخت خانگی، سبب انتشار اولیه ذرات ریز کمتر از ۲/۵ میکرون و انتشار ثانویه (انتشار گازها در فرآیند سوختن شامل:  $\text{SO}_2$ ،  $\text{NH}_3$ ،  $\text{NO}_x$  و VOCs) می‌شود، در این راستا، (Dhammapala et al., 2006) در مطالعه‌ای در شرق واشنگتن و شمال آیداهو نشان دادند که ۴ درصد ذرات ریز کمتر از ۲/۵ میکرون و ۳۴/۵ درصد از انتشار کربن، مرتبط با سوزاندن بقایا در بخش کشاورزی است. از مهمترین مسائلی که توجه دانشمندان سراسر جهان را به خود جلب کرده است افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است. بیش از ۱۴ درصد از گازهای گلخانه‌ای تولید شده در جهان به بخش کشاورزی اختصاص دارد (Sohili-fard et al., 2018). سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی یکی از عوامل مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی است. (Jing et al., 2016) در مطالعه‌ای بر اساس آمار و محصول سنجنده مودیس، انتشار سالانه  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{CH}_4$ ، ترکیبات عالی فرار (NMVOCs)،  $\text{N}_2\text{O}$ ،  $\text{NO}_x$ ،  $\text{NH}_3$ ،  $\text{SO}_2$ ، ذرات معلق ( $\text{PM}_{2.5}$ )، کربن آلی (CO)، کربن سیاه (BC) حاصل از سوختن بقایای کشاورزی در کشور چین را به ترتیب ۱۵۰/۴۰، ۶/۷، ۰/۵۱، ۰/۸۸، ۰/۰۱، ۰/۱۳، ۰/۰۷، ۰/۴۳، ۱/۰۹، ۰/۳۴ و ۰/۰۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ تخمین زدند. کشور هندوستان بعد از چین بیشترین بقایای کشاورزی را تولید می‌کند، در این کشور بیش از ۱۵/۹ درصد بقایای کشاورزی در مزرعه سوزانده می‌شود (Jain et al., 2014). در سال ۲۰۱۷ بیش از ۱۱۷ میلیون تن از بقایای محصولات کشاورزی در هندوستان سوزانده شد که منجر به تولید ۲۱۱ میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای ( $\text{CO}_2$ ،  $\text{NO}_2$ ،  $\text{CH}_4$ )، ۸۲۴ هزارتن ذرات معلق ( $\text{PM}_{2.5}$ )، ۸۱۲ هزار تن ذرات معلق ( $\text{PM}_{10}$ )، ۵۸ هزار تن کربن اولیه (EC) و ۲۳۹ هزارتن کربن آلی (CO) در سال گردید (Ravindra et al., 2018). در مطالعه‌ای میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برداشت سوخته‌ی و برداشت سبز نیشکر، در مناطقی از برزیل بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد در مزارع با برداشت سوخته نیشکر، ۳۰۱۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن بر هکتار در سال (این مقادیر بدون در نظر گرفتن کربن انتشار یافته از خاک می‌باشد) انتشار می‌یابد، در حالی که برداشت سبز نیشکر با حذف عملیات سوزاندن، سبب کاهش ۳۴۷ تا ۱۴۸۴ کیلوگرم انتشار

اقتصاد کشاورزی به همراه دارد (Sayre & Govarts, 2011). هدف از این مطالعه تخمین میزان آلاینده‌های ناشی از سوختن بقایای کشاورزی در استان خوزستان به عنوان قطب کشاورزی ایران می‌باشد. برآورد این آلاینده‌ها می‌تواند کشاورزان و مسئولان بخش کشاورزی را به سمت حفظ بقایا در مزرعه و اجرای کشاورزی حفاظتی سوق دهد تا علاوه بر مزایای فراوان کشاورزی حفاظتی، به حفظ محیط زیست کمک گردد.

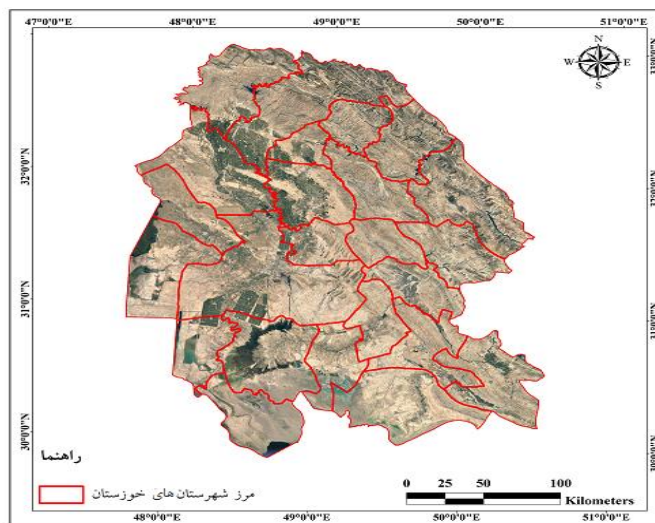
### مواد و روش

استان خوزستان با دارا بودن دشتهای فراوان و رودخانه‌های پر آب یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی ایران می‌باشد. استان خوزستان ۴ درصد از کل وسعت کشور را به خود اختصاص می‌دهد. حدود ۱۹ درصد از کل وسعت استان را اراضی کشاورزی در بر می‌گیرد و سالانه بیش از ۹۰۰ هزار هکتار از این اراضی تحت کشت محصولات زراعی قرار می‌گیرد. این پژوهش برای تعیین سطح سالانه مزارع سوخته شده و میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از آن در استان خوزستان انجام گرفت (شکل ۱). محققان از سنجنده‌های مختلفی از قبیل سنجنده Landsat، ASTER<sup>(۲)</sup>، AWiFS<sup>(۳)</sup>، WorldView، SPOT<sup>(۴)</sup>، MODIS<sup>(۵)</sup> و غیره برای بررسی سطح سوخته شده‌ی مزارع استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از تصاویر سنجنده‌ی MODIS برای امکان‌سنجی تعیین شاخص تمایز برای مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده شده و تخمین سطح این مزارع استفاده شد. سنجنده‌ی MODIS دارای قدرت تفکیک‌پذیری مناسب، در دسترس بودن تصاویر و همچنین ثبت تصاویر به صورت روزانه برای این پژوهش انتخاب گردید. بسیاری از کشاورزان با فاصله اندکی پس از سوزاندن بقایا در مزارع اقدام به خاک‌ورزی و کاشت محصول می‌کنند به همین علت ماهواره‌های دیگر به دلیل فاصله زمانی بیشتر در ثبت تصاویر ممکن است ثبت تصاویر برخی مزارع سوخته شده از دسترس آنها خارج شود در حالی که تصاویر سنجنده‌ی مودیس به صورت روزانه ثبت می‌گردد.

سنجنده‌های MODIS که بر روی ماهواره‌های ترا و آکوا قرار گرفته‌اند، در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ برای داده‌برداری به فضا پرتاب شده‌اند. این سنجنده‌ها دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و دارای ۳۶ باند طیفی می‌باشند. دامنه طیفی این سنجنده‌ها در طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. قدرت

دی‌اکسیدکربن بر هکتار در سال می‌شود. در این تحقیق میزان انتشار مستقیم دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته نشد و تنها انتشار دی‌اکسیدکربن معادل N<sub>2</sub>O و CH<sub>4</sub> لحاظ گردید (De Figueiredo & Scala Jr. 2011). هرچند سوزاندن بقایای منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) مانند کربن دی‌اکسید (CO<sub>2</sub>)، متان (CH<sub>4</sub>) و اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O) می‌شود (IPCC, 2013). اما فرض بر این است که دی‌اکسیدکربن آزاد شده در طول فصل بعدی رشد قابل جذب گیاه می‌شود (IPCC, 2006; Romasanta, 2017). در ایران نیز در مطالعاتی با استفاده از داده‌های فرستنده GOSAT<sup>(۱)</sup> در یک بازه زمانی هفت ساله (۲۰۰۹-۲۰۱۵) میزان تغییرات انتشار در اکسیدکربن (Mousavi et al., 2017) و گاز متان (Mousavi et al., 2020) بررسی شد. نتایج این مطالعات نشان از افزایش میزان غلظت این آلاینده‌ها در این بازه‌ی زمانی در ایران داشت به طوری که میزان آن از ۱۷۷۸/۳۶ ppb به ۱۸۲۳/۴۵ ppb پی‌پی‌ام برای گاز متان و از ۳۸۴/۸۹ ppb به ۴۰۰/۳۹ ppb پی‌پی‌ام برای گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافت. بیشترین غلظت گاز متان در در ماه‌های اکتبر و سپتامبر و حداقل آن در ماه‌های مارس و آوریل مشاهده شد، از سوی دیگر بیشترین میزان غلظت دی‌اکسیدکربن در ماه‌های آوریل و مه و کمترین میزان در ماه‌های اوت و سپتامبر بیان گردید.

آتش زدن بقایا یکی از روش‌های متداول برای کنترل علف‌های هرز، کنترل آفات و آماده کردن مزرعه برای کشت است. آتش زدن یک روش سریع، آسان و ارزان برای حذف مواد اضافی پس از برداشت است که کشت بعدی را با مشکل مواجه می‌کند. حذف بقایا به روش سوزاندن، یک روش معمول برای بقایای برنج، گندم، پنبه، ذرت و برخی دیگر از محصولات کشاورزی است. (McCarty et al., 2009). مطالعات نشان می‌دهد کشاورزی حفاظتی شامل تسطیح لیزری، کم خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، کشت مستقیم، کشت روی پشته‌های دائمی، تناوب زراعی با نوآوری، می‌تواند جهت اجتناب از سوزاندن بقایا، بهبود خاک، افزایش کارایی نهاده‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسعه داده شود (Pathak et al., 2011). در صورتی که اصول کشاورزی حفاظتی به درستی رعایت شود، سبب افزایش بازده نهاده‌ها، بهره‌وری آب و کاهش چالش‌های اقلیمی از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب می‌شود و از همه مهم‌تر کشاورزی حفاظتی جنبه‌های تازه‌ای برای دوام و بقای



شکل (۱): نقشه منطقه مورد مطالعه

نهایت سالانه برآورد گردید. برای برآورد دقیق‌تر اعداد سطوح سوخته شده علاوه بر مساحت برآورد شده تصاویر مودیس، تصحیح دیگری برای خطای احتمالی روزهای ابری انجام گرفت. و ارقام تصاویر ماهواره‌ای خصوصا در روزهای ابری با خطا مواجه می‌شود و عملا تغییرات ایجاد شده در سطح زمین را به خوبی در تصاویر نشان نمی‌دهد. در حقیقت مساحت تصاویر دریافتی از ماهواره کمتر از مقدار واقعی آن می‌باشد. به عنوان مثال در آمازون برزیل (Schroeder et al., 2008) تعداد نقاط حذف شده در برآورد مزارع سوخته شده توسط یکی از محصولات مشتق شده از ماهواره مودیس (MOD14) را تا ۷۵ درصد نیز عنوان نمودند. دلیل آن روزهای ابری فراوان در این منطقه می‌باشد. (Jing et al., 2016) با توجه به روزهای ابری، برخی از مناطق مختلف چین را به سه گروه ابری-کوهستانی، کم‌ابری-مناطق صاف و سایر نقاط تقسیم کردند و به ترتیب ضرایب ۰، ۱ و ۰/۵ را برای دریافت تصاویر (بدون دریافت تصویر، ۱۰۰ درصد دریافت و ۵۰ درصد دریافت) عنوان نمودند. در این مطالعه با توجه به آمار هواشناسی تعداد روزهای ابری به استثنای تعداد روزهای بارانی (در روزهای بارانی امکان سوزاندن مزارع بسیار پایین است) میزان خطا در دریافت تصاویر برآورد شد. میانگین تعداد روزهای ابری و نیمه ابری برای یک دوره ۱۵ ساله در استان خوزستان از ۱۳ شهرستان ۲/۲۴ روز بود (Khoshakhlagh et al., 2015). در یک مطالعه‌ی دیگر مطابق با داده‌های هواشناسی در یک دوره ۲۶ ساله متوسط تعداد روزهای بارانی ۳۹ روز عنوان شد

تفکیک مکانی این ماهواره از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر متغیر بوده و پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد که به صورت روزانه سطح زمین را تصویربرداری می‌کنند. از این سنجنده که بر روی دو ماهواره قرار گرفته است محصولات زیادی برای ارزیابی دریا، اتمسفر و سطح زمین استخراج می‌شود. یکی از این محصولات حاصل از این سنجنده با نام MCD64A1، که دارای اندازه پیکسل ۵۰۰ متر در سطح ۳ می‌باشد حاوی اطلاعاتی در رابطه با مناطق سوخته شده ناشی از آتش در سطح جهانی می‌باشد. از آنجایی که نسخه ۶ این محصول جدید و دقیق‌تر بوده و الگوریتم استخراج نواحی سوخته بهبود داده شده است؛ بنابراین در این مطالعه از این نسخه استفاده گردیده است. برای این منظور ابتدا محصولات ماهانه این سنجنده از پایگاه اینترنتی <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> تهیه گردید، سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.5 تصحیحات و پردازش‌های مورد نیاز بر روی این محصولات اعمال گردید. محصولات پس از دریافت سیستم مختصات آنها به WGS<sup>5</sup> 1984 تغییر پیدا کرد. سپس از آنجایی که دامنه تغییرات ارزش هر لایه، روز آتش‌سوزی را نشان می‌دهد لایه‌ها به صورت باینری (۰ و ۱) تبدیل شد به عبارتی مناطقی که بیش از یک روز آتش‌سوزی داشته باشند ارزش یک، به معنی وجود آتش‌سوزی به آنها اختصاص داده شد و ارزش‌های صفر در هر لایه نشان‌دهنده مناطق فاقد آتش‌سوزی می‌باشد. پس از این پردازش، نقشه‌ها و مساحت نواحی سوخته در استان برای سه سال ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به صورت ماهانه و در



برداشت از اواسط پاییز سوزانده می‌شود، این دو محصول به ترتیب ۷/۷ و ۵/۶ درصد از کل سطح زیر کشت استان را شامل می‌شوند (Anonymous, 2018). همچنین در پرسشنامه ای از ۱۰۰ کشاورز خواسته شده به سوالاتی در ارتباط با سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی، زمان سوزاندن و میزان بقایایی سوخته شده در مزرعه که در سال‌های اخیر سوزانده‌اند پاسخ دهند. سپس با توجه به سطح زیر کشت محصول و سطح کل مزارع سوخته شده از رابطه (۱) میزان بقایای سوخته شده هر محصول در سطح استان محاسبه شد.

$$AB_j = BF_j * AC_j * TAB \quad (1)$$

که در این رابطه  $AB_j$  کل سطح سوخته شده از محصول  $j$  بر حسب هکتار،  $BF_j$  درصد سوزاندن بقایای محصول  $j$ ،  $AC_j$  درصد سطح زیر کشت محصول  $j$  از کل سطح زیر کشت محصولات استان (Anonymous, 2018) و  $TAB$  کل سطح سوخته شده مزارع استان (استخراج شده از تصاویر ماهواره ای مودیس و نرم افزار ArcGIS) بر حسب هکتار می‌باشد. سطح زیر کشت محصولات اصلی، سهم هر کدام از کل سطح زیر کشت و درصد سوزاندن بقایای محصول پرسش‌شوندگان در جدول (۱) آورده شده است.

(Anonymous, 2017). در پژوهش حاضر نظر کارشناسان و کشاورزان بر این بود که در روزهای بارانی معمولاً سوزاندن بقایا اتفاق نمی‌افتد اما در روزهای ابری تفاوتی با روزهای دیگر ندارد. بدین‌صورت، با توجه به اطلاعات مذکور متوسط روزهای ابری بدون باران ۳۵/۲ روز در سال برآورد گردید و متناسب با آن میزان خطا برای دریافت ۱۰ درصد لحاظ گردید.

برای تعیین میزان سطح سوخته شده هر محصول در مزارع استان خوزستان از تقویم زراعی محصولات، زمان سوزاندن بقایای محصولات مختلف و همچنین یک پرسشنامه استفاده شد. برای کمک گرفتن از تقویم زراعی، ابتدا مزارع کشت و صنعت را که دارای محدوده مشخص بود جدا گردید. سطح زیر کشت نیشکر حدود ۹/۹ درصد از کل اراضی استان بوده که معمولاً از ابتدای پاییز برداشت شروع می‌شود و در برخی موارد تا اواخر بهار ادامه دارد. سپس با توجه به تقویم زراعی زمان سوزاندن سایر مزارع تعیین شد. بقایای گندم، جو و کلزا از مهمترین محصولات استان خوزستان محسوب شده به طوری که به ترتیب ۴۹/۱، ۶/۸ و ۲ درصد کل سطح زیر کشت استان را به خود اختصاص می‌دهد. برخی کشاورزان، از اردیبهشت ماه به مرور شروع به سوزاندن بقایا در مزارع می‌کنند که گاهی تا اواسط پاییز نیز ادامه دارد. بقایای شلتوک و ذرت نیز پس از

جدول (۱): اطلاعات آماری میزان و درصد سطح زیر کشت محصولات اصلی استان خوزستان (Anonymous, 2018) و درصد سوزاندن مزارع از نظر کشاورزان (research findings)

محصول	سطح زیر کشت	درصد از کل کشت	درصد سوزاندن از نظر کشاورزان
گندم	۴۲۵۰۱۹	۴۸/۱	۱۷
جو	۶۰۰۲۳	۶/۸	
کلزا	۱۸۰۰۶	۲	
شلتوک	۶۸۱۴۸	۷/۷	۳۸
ذرت دانه ای	۵۰۹۲۹	۵/۸	۱۲/۵
نیشکر	۸۸۲۸۴	۹/۹	۸۰
سایر	۱۷۳۲۲۷	۱۹/۷	۳/۲

که در این رابطه  $E_i$  میزان تولید آلاینده  $i$  بر حسب تن (Ton) ناشی از سوزاندن بقایا محصولات کشاورزی در سطح استان خوزستان،  $EF_{i,j}$  ضریب انتشار ابرای محصول  $j$  بر حسب گرم بر کیلوگرم (g/kg) و  $M_j$  میزان بقایای سوخته شده محصول  $j$  در مزارع استان بر حسب کیلوگرم که از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$M_j = Q_j * DR * EB \quad (3)$$

پس از تعیین سطح مزارع سوخته شده از رابطه (۲) برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های مختلف ناشی از سوختن بقایا استفاده شد.

$$E_i = \frac{(\sum_j EF_{i,j} * M_j)}{10^6} \quad (2)$$

میدانی، تحقیق‌های گذشته و خروجی پرسشنامه بدست آمد. درصد بقایای سوخته شده در مزرعه بر حسب میزان بقایا استفاده شده برای مصرف (کاه) و ارتفاع برش بقایای باقی مانده و همچنین میزان کاه رها شده در مزرعه بدست آمد که در جدول (۲) آورده شده است. نیشکر در ایران اغلب قبل از برداشت سوزانده می‌شود، حدود ۳۷ درصد از کل ساقه گیاه خشک نیشکر را مواد لیفی تشکیل می‌دهند و با آتش زدن مزرعه قبل از برداشت حدود ۸۰ درصد از سوخته می‌شود (Omrani, 2015). در مطالعه‌ای دیگر، پس از نمونه برداری از مزارع نیشکر کشت و صنعت امام خمینی مشخص شد به طور متوسط ۲۳۲۵۱ کیلوگرم در هکتار پوشال وجود دارد (Yaghoubi et al, 2018)، که حداقل ۸۰ درصد آن در هنگام آتش زدن سوزانده می‌شود، ارقام این مطالعه مبنی بر سوختن بقایا نیشکر قبل از برداشت در این مطالعه قرار گرفت.

که در این رابطه  $Q_j$  جرم محصول سوخته شده  $Z$  بر حسب کیلوگرم (Kg)، DR درصد ماده خشک بقایا و EB بازده سوختن بقایا در مزرعه می‌باشد. مقدار  $Q_j$  نمی‌تواند مستقیم از تصاویر ماهواره‌ای بدست آید، برای این منظور بایستی میزان بقایای موجود در مزرعه در هکتار نیز برآورد گردد. مقدار  $Q_j$  از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$Q_j = AB_j * P_j * C_j * RB_j \quad (4)$$

در این رابطه  $AB_j$  کل سطح سوخته شده محصول  $Z$  در استان،  $P_j$  کل بقایای تولید شده محصول  $Z$  بر حسب کیلوگرم بر هکتار،  $C_j$  نسبت کاه به دانه محصول  $Z$  و  $RB_j$  نسبت بقایای سوخته شده به کل بقایای تولید شده محصول در هکتار (برحسب درصد) می‌باشد. مقادیر میزان ماده خشک، بازده سوزاندن و درصد بقایای سوخته شده در مزرعه از طریق اندازه‌گیری، بازدیدهای

جدول (۲): اطلاعات مورد نیاز بقایای محصولات مختلف جهت محاسبه آلاینده‌های هوا (research findings)

نسبت کاه به دانه (R)	نسبت ماده ی خشک بقایا (DR)	نسبت بقایای سوخته شده به کل بقایای محصول (RB)	بازده سوختن EB	
۰/۹	۰/۹۲	۰/۴۶	۰/۸۸	گندم - جو - کلزا
۱/۳	۰/۸۵	۱	۰/۷۸	سلتوک
۱/۲	۰/۸۰	۱	۰/۸۳	ذرت دانه ای
-	۰/۷	۱	۰/۸	نیشکر

گردد. برای بر آورد انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتشار مستقیم دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته نشد و تنها انتشار دی‌اکسیدکربن معادل  $CH_4$  و  $N_2O$  لحاظ گردید. فرض بر این گرفته شد که دی‌اکسیدکربن آزاد شده مستقیم، در طول فصل بعدی رشد، جذب گیاهان می‌شود (IPCC, 2006; Romasanta, 2017).

پس از این که سطح مزارع سوزانده شده مشخص گردید، میزان بیومس سوخته در سطح مزارع به تفکیک نوع محصول به‌دست آورده شد، از جدول (۳) برای محاسبه میزان کل انتشار آلاینده‌ها حاصل از سوزاندن مزارع در سطح استان خوزستان برای یک‌سال استفاده گردید. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برآورد

جدول (۳): ضریب انتشار برای آلاینده‌ها حاصل از سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی (گرم بر کیلوگرم)

آلاینده	کاه گندم	کاه ذرت	کاه برنج	کاه نیشکر	کاه سایر محصولات
CO <sub>2</sub>	۱۴۷۰ <sup>۱</sup>	۱۲۵۰ <sup>۱</sup>	۱۱۰۵ <sup>۲</sup>	۱۱۳۰ <sup>۲</sup>	۱۵۸۴ <sup>۴</sup>
CO	۶۰ <sup>۱</sup>	۵۳ <sup>۱</sup>	۵۳/۲ <sup>۲</sup>	۳۴/۶۶ <sup>۳</sup>	۱۰۳ <sup>۴</sup>
CH <sub>4</sub>	۳/۳۶ <sup>۱</sup>	۴/۴۱	۵/۸۳ <sup>۸</sup>	۰/۴۱ <sup>۶</sup>	۵/۸۳ <sup>۴</sup>
NO <sub>x</sub>	۳/۳ <sup>۱</sup>	۴/۳ <sup>۱</sup>	۳/۸۳ <sup>۲</sup>	۲/۶۳ <sup>۶</sup>	۵/۳ <sup>۴</sup>

ادامه جدول (۳): ضریب انتشار برای آلاینده‌ها حاصل از سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی (گرم بر کیلوگرم)

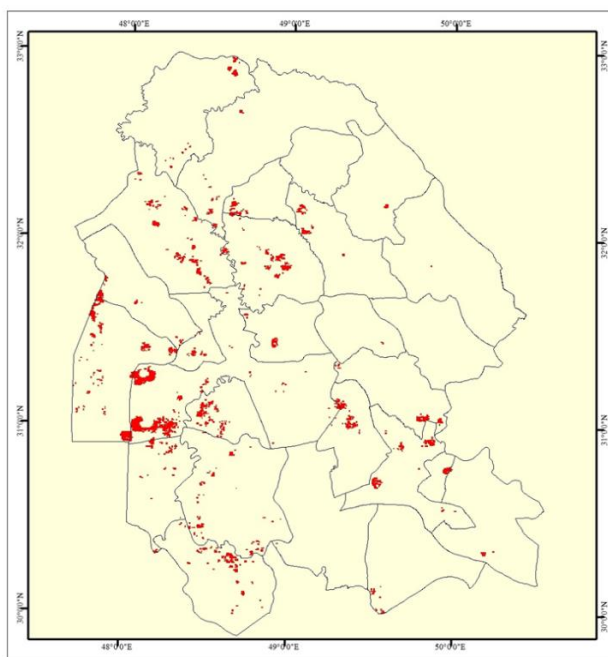
آلاینده	کاه گندم	کاه ذرت	کاه برنج	کاه نیشکر	کاه سایر محصولات
N <sub>2</sub> O	۰/۰۷ <sup>۱</sup>	۰/۱۴ <sup>۱</sup>	۰/۰۷ <sup>۶</sup>	۰/۰۷ <sup>۲۳</sup>	۰/۰۷ <sup>۷</sup>
NH <sub>3</sub>	۰/۳۷ <sup>۱</sup>	۰/۶۸ <sup>۱</sup>	۲/۳ <sup>۹</sup>	۰/۹۵ <sup>۶۳</sup>	۲/۳ <sup>۴</sup>
SO <sub>2</sub>	۰/۸۵ <sup>۱</sup>	۰/۴۴ <sup>۱</sup>	۰/۴	۲/۱۶ <sup>۶</sup>	۰/۴۷
NMVOC	۷/۴۸ <sup>۱</sup>	۱۰/۴۰ <sup>۱</sup>	۶/۰۵ <sup>۲</sup>	۲/۱۸ <sup>۳۶</sup>	۹/۴۳ <sup>۹</sup>
PM <sub>2.5</sub>	۷/۵۸ <sup>۱</sup>	۱۱/۷ <sup>۱</sup>	۱۲/۱ <sup>۲</sup>	۳/۷۷ <sup>۳۶</sup>	۶/۳ <sup>۴</sup>
BC	۵/۳ <sup>۲</sup>	۰/۹۵ <sup>۵</sup>	۰/۵۱ <sup>۸</sup>	۰/۷۷ <sup>۶</sup>	۲/۳ <sup>۴</sup>
OC	۰/۴۷	۲/۲۵ <sup>۵</sup>	۲/۹۹ <sup>۸</sup>	۰/۹۱ <sup>۶</sup>	۰/۸ <sup>۴</sup>

1- Li et al., 2007  
2- Zhang et al., 2000  
3- Akagi et al., 2011  
4- Cao et al., 2008  
5. Dennis et al., 2002  
6. Andreae & Merle., 2001  
7. Oanh et al., 2011  
8. Kudo et al., 2014

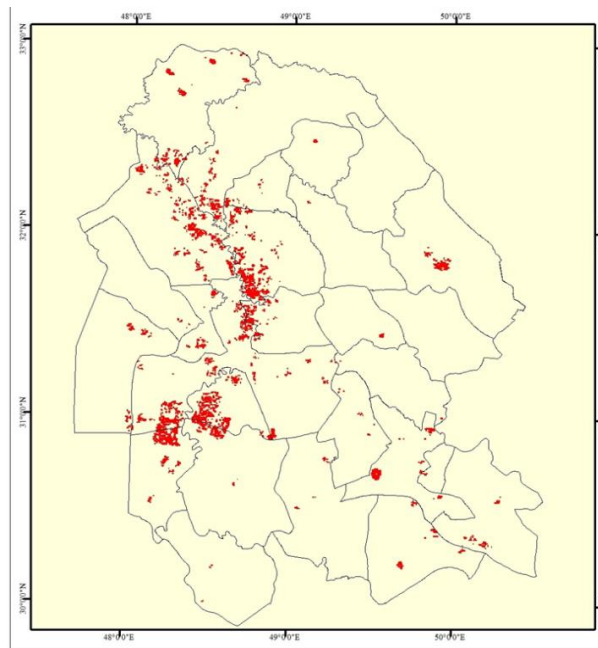
## نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ سطح مزارع سوخته شده استان خوزستان به ترتیب برابر ۱۳۷۱۰۲، ۱۱۹۷۰۵ و ۱۹۵۶۳۵ هکتار در سال است. این میزان سطح سوخته شده در سال‌های ذکر شده به ترتیب ۱۵/۵، ۱۳/۵ و ۲۱/۱ درصد از کل سطح مزارع استان را شامل می‌شود. اگر این مقادیر را با کشوری مانند هند که سوزاندن بقایای کشاورزی در آن بسیار زیاد است مقایسه شود این نتیجه گرفته می‌شود که در سال ۲۰۱۹ درصد سوزاندن مزارع در استان خوزستان بیشتر از

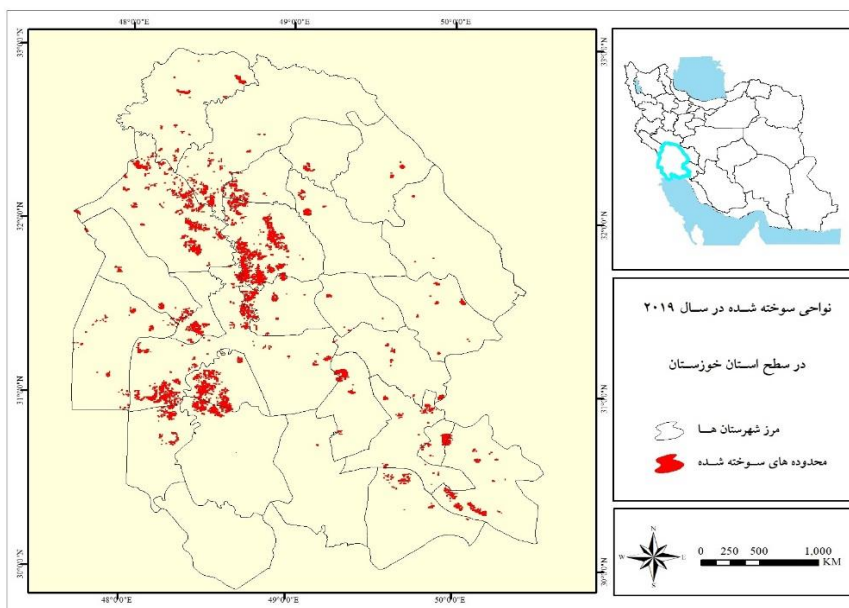
کشوری مانند هندوستان می‌باشد. کشور هند پس از چین بیشترین میزان بقایای کشاورزی را تولید می‌کند که حدود ۱۵/۹ درصد از این میزان را در سطح مزارع می‌سوزاند (Jain et al., 2014). با تفکیک سطح سوخته مزارع در استان خوزستان مشخص شد در طول سال‌های مورد بررسی، بیشترین سطح سوخته مزارع به ترتیب به مزارع گندم، نیشکر و برنج اختصاص دارد که به طور متوسط ۸۲ درصد از این مزارع را در بر می‌گیرد، ۱۸ درصد دیگر مربوط به مزارع جو، کلزا، ذرت و سایر محصولات کشاورزی می‌باشد.



ب



الف



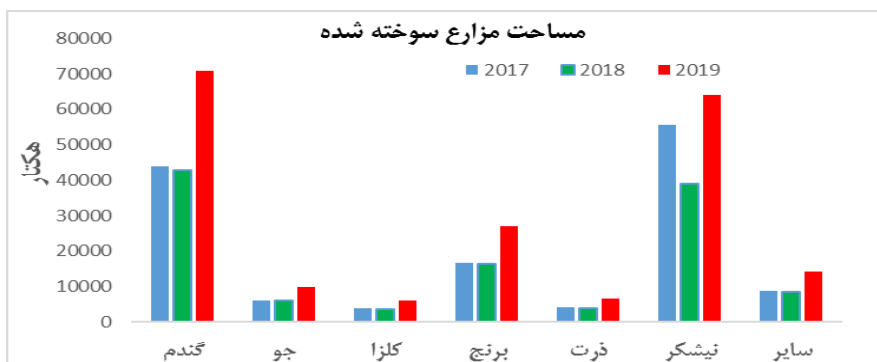
پ

شکل (۲): سطوح مزارع سوخته شده در سال ۲۰۱۷ (ف)، ۲۰۱۸ (ب) و ۲۰۱۹ (پ)

از جمله دلایل سوزاندن مزارع، عدم اطلاع کافی کشاورزان از مضرات آن، کمبود وسایل مناسب کشت‌های حفاظتی و عدم اجرای قوانین بازدارنده جهت جلوگیری از سوزاندن بقایا می‌باشد.

پس از مشخص شدن سطح سوخته کل مزارع استان، اقدام به برآورد سطح سوخته تفکیک شده مزارع محصولات گردید که در شکل (۳) برای سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ آورده شده است. محصولات گندم، نیشکر و برنج بیشترین سطح سوزاندن بقایا را به خود اختصاص دادند.

شکل (۲) نقشه نقاط سوخته شده در سال ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. علت این میزان اختلاف در سطح مزارع سوخته شده، وجود خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۸ و بارندگی بسیار خوب سال ۲۰۱۹ می‌باشد. خشکسالی شدید سبب کاهش سطح زیر کشت برنج و کشت‌های دیم شد، همچنین سبب از بین رفتن بخشی از محصول نیشکر و سایر محصولات در سال ۲۰۱۸ گردید. از سوی دیگر بارندگی‌های بسیار خوب در سال ۲۰۱۹ منجر به کشت بیشتر محصولات از جمله برنج شد که متناسب با افزایش سطح زیر کشت میزان مزارع سوخته شده افزایش یافت.



شکل (۳): سطح مزارع سوخته شده به تفکیک نوع محصول در استان خوزستان، سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹

آلاینده و محصول در جدول (۴) آورده شده است. همانطور که در جدول مشخص شده است بیشترین آلاینده‌ها از سوختن بقایای

با در نظر گرفتن متوسط میزان بقایای هر محصول، مقادیر آلاینده‌های متصاعد شده ناشی از سوختن بیومس به تفکیک نوع

چند دی‌اکسیدکربن انتشار یافته از سوزاندن بقایای کشاورزی را به عنوان گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و فرض بر این است که در فصل بعدی رشد جذب گیاهان می‌شود، اما به صورت مقطعی و فصلی سبب افزایش آلاینده‌های هوا گردد. همچنین سوختن بقایا سبب انتشار حدود ۶۹۵۳ تن ذرات معلق کمتر از ۲/۵ پی پی ام در هوا می‌شود. انتشار سایر آلاینده‌ها از قبیل CO، CH<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub>، N<sub>2</sub>O، NH<sub>3</sub>، SO<sub>2</sub>، NMVOC، BC و OC به ترتیب ۵۴۵۶۰، ۲۱۴۶، ۳۷۴۷، ۹۱، ۱۲۱۳، ۴۶۶، ۴۹۲۰، ۲۱۳۹ و ۱۲۹۳ تن در سال برآورد گردید.

نیشکر به دست آمد. تنها میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از این محصول ۹۴۲۳۳۱ تن در سال ۲۰۱۹ می‌باشد. نیشکر گیاه ارزشمندی است که میزان زیادی بیومس تولید می‌کند و در اکثر مواقع به بالای ۱۰۰ تن در هکتار در استان خوزستان می‌رسد. بخش قابل توجه‌ای از بیومس تولیدی را مواد لیفی نیشکر (حدود ۳۷ درصد) به خود اختصاص می‌دهد که حدود ۸۰ درصد آن قبل از برداشت سوزانده می‌شود. به طور کلی از سوزاندن بقایای کشاورزی در خوزستان حداقل ۱۵۲۵۷۶۰ تن دی‌اکسیدکربن در سال متصاعد می‌شود. این میزان تولید رقم بسیار بزرگی است هر

جدول (۴): میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از سوختن بیومس به تفکیک نوع آلاینده و محصول در استان خوزستان (سال ۲۰۱۹)

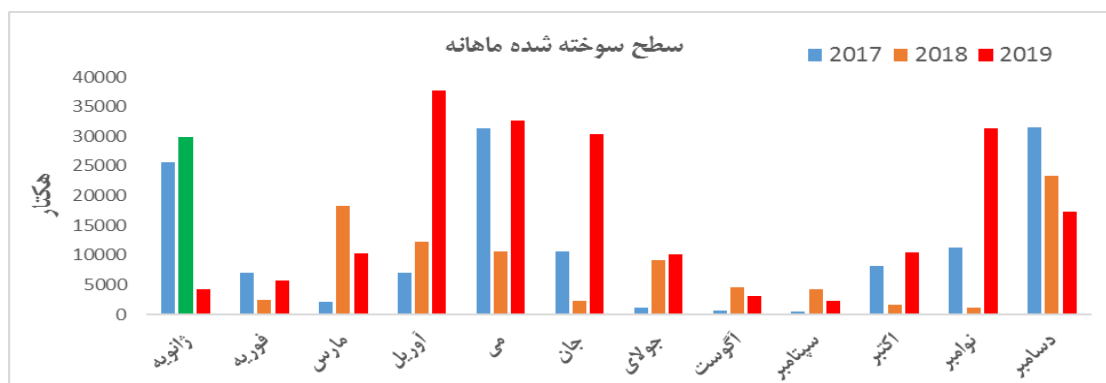
آلاینده	گندم	جو	کلزا	ذرت	برنج	نیشکر	سایر محصولات	کل
CO <sub>2</sub>	۳۰۲۵۶۱	۲۴۹۴۹	۴۳۱۱۹	۱۲۲۱۷۵	۴۷۳۰۸	۹۴۲۳۳۱	۴۳۳۱۴	۱۵۲۵۷۶۰
CO	۱۲۳۴۹	۱۰۱۸	۱۷۵۹	۵۸۸۲	۱۸۵۷	۲۸۹۰۳	۲۷۸۹	۵۴۵۶۰
CH <sub>4</sub>	۶۹۲	۵۷	۹۸	۶۴۳	۱۵۵	۳۴۲	۱۵۹	۲۱۴۶
NO <sub>x</sub>	۶۸۱	۵۶	۹۷	۴۲۳	۱۵۱	۲۱۹۳	۱۴۵	۳۷۴۷
N <sub>2</sub> O	۱۴	۱	۲	۸	۵	۵۸	۲	۹۱
NH <sub>3</sub>	۷۶	۶	۱۰	۲۴۳	۲۴	۷۹۲	۶۰	۱۲۱۳
SO <sub>2</sub>	۷۶	۶	۱۰	۴۱	۱۳	۳۰۱۹	۱۰	۴۶۶
NMVOC	۱۵۴۰	۱۲۶	۲۱۹	۶۶۹	۳۷۱	۱۸۱۸	۱۷۶	۴۹۲۰
PM <sub>2.5</sub>	۱۵۶۰	۱۲۹	۲۲۲	۱۳۳۸	۳۸۷	۳۱۴۴	۱۷۲	۶۹۵۳
BC	۱۰۷۰	۸۸	۱۵۳	۱۰۵	۱۸	۶۴۲	۶۳	۲۱۳۹
OC	۸۲	۷	۱۲	۳۳۱	۷۹	۷۵۹	۲۴	۱۲۹۳

کار نیز به دلیل عدم توانایی در مدیریت بقایای برنج جهت کشت محصول بعدی اقدام به سوزاندن بقایا در سطح مزارع می‌کنند. موج دوم سوزاندن مزارع پس از برداشت گندم آغاز می‌شود که سطح قابل توجهی از مزارع را به خود اختصاص می‌دهد.

در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۱۱۷۷۸۸۹، ۹۲۶۹۶۱ و ۱۵۲۵۷۶۰ تن دی‌اکسیدکربن از سوختن بقایای کشاورزی در سطح مزارع استان خوزستان برآورد گردید. لازم به ذکر است که علاوه بر بقایای سوخته شده درون مزارع بیومس کشاورزی در برخی اوقات خارج از مزارع نیز سوزانده می‌شود. که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت. از مهمترین مسایل روز محیط‌زیستی افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش دما است. زمین می‌تواند به عنوان یک منبع بزرگ کربن را در خود ذخیره کرده و به کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک کند. در شکل (۴) معادل CO<sub>2</sub> حاصل از انتشار CH<sub>2</sub> و N<sub>2</sub>O برای سوزاندن بقایای

سوختن بقایا در مزرعه علاوه بر آلودگی هوا و افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب کاهش مواد آلی خاک، تغییر شرایط فیزیکی و میکروبیولوژی خاک، فرسایش خاک، کاهش نفوذپذیری و ذخیره آب، افزایش تبخیر و مصرف آب، پراکنده شدن سموم شیمیایی در هوا و غیره می‌گردد.

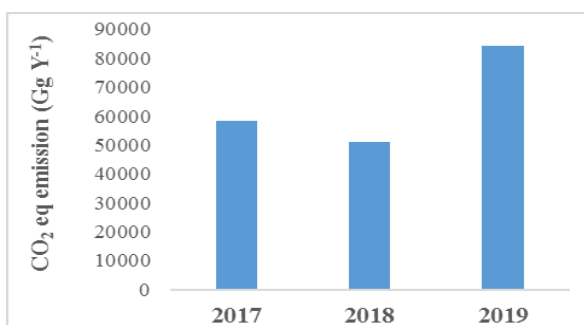
در شکل (۴) روند سوزاندن مزارع در ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص شده است بیشتر مزارع در دو فصل پاییز و بهار سوزاندن می‌شوند، با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت اوج سوزاندن مزارع در ماه‌های دسامبر، آوریل و می اتفاق می‌افتد. در فصل پاییز استان خوزستان با آغاز برداشت نیشکر و برنج، سوزاندن مواد لیفی در نیشکر و بقایای برنج در مزرعه شروع می‌شود. سوزاندن مواد لیفی نیشکر برای بالا بردن بازدهی ماشین‌های برداشت و کارخانه تصفیه شکر انجام می‌گیرد. بسیاری از کشاورزان برنج



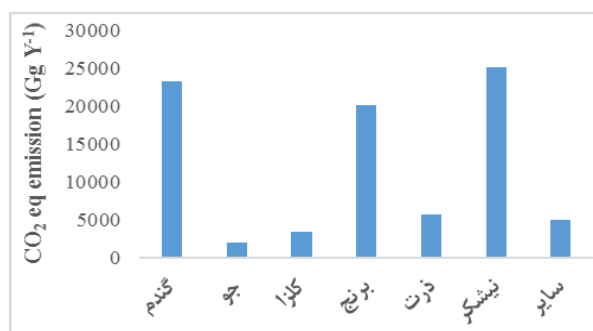
شکل (۴): روند سطح سوزاندن مزارع در ماه‌های مختلف در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹

ترغیب به سوزاندن بقایا در سطح مزرعه می‌کند مشکلاتی است که برای کشت بعدی جهت خاک‌ورزی و کاشت ایجاد می‌کند. یکی از بهترین راهکارها برای غلبه بر این مشکل استفاده از کشاورزی حفاظتی است. (Sayre & Govarts. 2011) کشاورزی حفاظتی به طور عمده تاکید بر حذف یا کاهش خاک‌ورزی را به عنوان یک مفهوم بهبود یافته از سیستم کشاورزی، توصیه می‌کند. فناوری‌های مناسب کشاورزی حفاظتی، شامل سیستم‌هایی برای تولید محصول است که به دنبال کاهش‌های قابل ملاحظه در خاک‌ورزی، حفظ سطوح مناسب بقایای محصول روی سطح خاک، استفاده از تناوب‌های زراعی، ترکیب پایداری و سودمندی تولید زراعی می‌باشند. در این روش کشت در بقایای محصول قبلی ممکن می‌شود. با استفاده از سیستم کشاورزی حفاظتی علاوه بر جلوگیری از آتش زدن بقایا، مزایای زیادی برای کشاورز به همراه دارد. از سوی دیگر با به‌کارگیری سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نیز به دلیل کاهش عملیات خاک‌ورزی و کاشت سوخت کمتری مصرف شده و به دنبال آن آلاینده‌گی ناشی از آن کاهش می‌یابد.

محصولات کشاورزی مختلف در سال ۲۰۱۹ آورده شده است. نیشکر، گندم و برنج با ۲۵۰۴۲، ۲۳۱۸۱ و ۲۰۰۶۸ تن انتشار معادل CO<sub>2</sub> بر سال بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. مجموع کل انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۵۸۳۲۶، ۵۰۹۷۵ و ۸۴۰۹۹ تن در سال برآورد گردید شکل (۴). اگر چه انتشار مستقیم گاز CO<sub>2</sub> به مطابق با (IPCC. 2006) به عنوان گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته نشد اما به صورت مقطع زمانی در برخی از ماه‌های سال سبب افزایش مقادیر میزان تولید CO<sub>2</sub> می‌شود که سبب کاهش کیفیت هوا بخصوص در برخی ماه‌های پاییز و بهار می‌گردد. (Hi et al., 2015) نیز گزارش دادند که سوزاندن مزارع در چین در طول فصل برداشت تابستانه (از اواخر ماه می و ابتدای ماه ژوئن) و برداشت پاییز (اواخر اکتبر تا اوایل نوامبر) منجر به افزایش میزان زیادی از آلاینده‌ها در مناطق شهری و مسکونی می‌گردد. همانطور که نتایج پژوهش نشان می‌دهد سوزاندن بقایا در مزارع آلودگی‌های زیادی ایجاد می‌کند، مهمترین دلیل که کشاورزان را



ب



الف

شکل (۴): میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (معادل دی‌اکسید کربن) به تفکیک محصول (الف) و کل انتشار گازهای گلخانه‌ای (معادل دی‌اکسید کربن) در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (ب)

## نتیجه‌گیری

مزرعه در راستای تقویت خاک و کشاورزی پایدار می‌باشد. بقایای کشاورزی بسیار ارزشمند هستند و حفظ آنها در مزرعه علاوه بر حذف آلاینده‌ها، به غنی‌سازی خاک و افزایش عملکرد محصول در دراز مدت منجر می‌شود. مدیریت صحیح بقایا در سطح مزرعه با توسعه مکانیزاسیون و به کارگیری اصول کشاورزی حفاظتی امکانپذیر می‌باشد. کشاورزان با استفاده از اصول کشاورزی حفاظتی بی نیاز از سوزاندن بقایا می‌شوند، مهمترین رکن کشاورزی حفاظتی نگهداری بقایا در سطح مزرعه می‌باشد. حفظ بقایا در سطح مزرعه علاوه بر کاهش آلاینده‌های هوا سبب کاهش مصرف آب، افزایش مواد آلی خاک، کاهش فشرده‌گی و در نهایت افزایش عملکرد خواهد شد.

## قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که بخشی از هزینه‌های این مطالعه را تامین نمود قدردانی می‌گردد.

## یادداشت‌ها

1. Greenhouse Gas Observatory Sattelite
2. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiomete
3. Advanced.Wide. Field. Sensor
4. Satellite Pour l'Observation de la Terre
5. MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer
6. World Geodetic System

استان خوزستان با حدود ۹۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات زراعی در سال‌های اخیر بالاترین میزان تولید در کشور را به خود اختصاص داده است. بخش قابل توجهی از بقایای محصولات در فصل برداشت توسط کشاورزان به دلایلی مانند عدم اطلاع کشاورزان از مضرات سوزاندن، عدم توانای مدیریت بقایا در کشت بالافاصله پس از برداشت محصول قبلی، کمبود وسایل کشت مستقیم در بقایا و غیره سوزانده می‌شود. بررسی‌های حاصل از پردازش و تصحیح تصاویر ماهواره‌ای مودیس سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استان خوزستان نشان داد که حداقل سطح مزارع سوخته شده در این سال‌ها به ترتیب برابر ۱۳۷۱۰۲، ۱۱۹۷۰۵ و ۱۹۵۶۳۵ هکتار در سال برآورد گردید. از زیست‌توده سوزانده شده در سطح مزارع در سال‌های ذکر شده به ترتیب ۵۸۳۲۶، ۵۰۹۷۵ و ۸۴۰۹۹ تن معادل CO<sub>2</sub> در سال، گازهای گلخانه‌ای ایجاد می‌گردد. سوختن بقایا منجر به تولید ۵۴۵۶۰ تن CO و همچنین انتشار حدود ۶۹۵۳ تن ذرات معلق کمتر از ۲/۵ پی پی ام در هوا در سال ۲۰۱۹ گردید. ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون به راحتی از مجاری تنفسی عبور کرده و وارد بدن می‌شوند. که سبب اختلال در سیستم تنفسی بدن انسان می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد سالانه حجم بسیار زیادی آلاینده‌های هوا از سوختن بقایای کشاورزی در استان خوزستان تولید می‌شود. راهکارهای زیادی برای مدیریت بقایای محصولات کشاورزی از جمله فرآوری جهت تولید خوراک دام، کمپوست، بیوپلاست، زیغال، کاغذ، ظروف یکبار مصرف، انرژی و غیره وجود دارد اما سودمندترین راهکار نگه داشتن بقایا در

## فهرست منابع

- Akagi. S.K., Yokelson. R.J., Wiedinmyer. C., Alvarado. M.J., Reid. J.S., Karl, T., Crounse. J.D. & Wennberg, P.O., 2011. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmos. Chem. Phys.* 11 (9): 4039–4072.
- Anonymous. 2017. Geographical and climatic features of Khuzestan province. Meteorological Organization of the country, General Department of Meteorology of Khuzestan province. P. 16. (in Persian).
- Anonymous. 2018. Agricultural statistics. The first volume of crops for the crop year 2017-2018. Ministry of Agriculture Jihad, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center. P. 87. (in Persian).
- Cao. G.L., Zhang. X.Y., Gong. S.L. & Zheng, F.C. 2008. Investigation on emission factors of particulate matter and gaseous pollutants from crop residue burning. *J. Environ. Sci.* 20 (1): 50–55.

- Cheng, Z., Wang, S., Fu, X., Watson, J.G., Jiang, J., Fu, Q., Chen, C., Xu, B., Yu, J., Chow, J.C. & Hao, J. 2014. Impact of biomass burning on haze pollution in the Yangtze River delta, China: a case study in summer 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 14: 4573-4585.
- Delir, Z. Farajzadeh, Z. and Sabeti, M. 1400. Economic and environmental driving factors of fires in Iranian forests and the controlling strategies. *Agricultural economics and development*. 29 (113): 25-55. (in Persian).
- De Figueiredo. E. B. & Scala Jr. N. L. 2011. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 141: 77-85.
- Dhammapala. R., Claiborn. C., Corkill. J. & Gullett, B. 2006. Particulate emissions from wheat and Kentucky bluegrass stubble burning in western Washington and northern Idaho. *Atmos. Environ*. 40: 1007-1015.
- Falah, S., Pourazizi, M. and Rostami, S. 2013. The necessity and potential of biofuel production from cereal residues in the country. *Iranian Journal of Energy*, 17(2): 65-74. (in Persian).
- Gurjar, B.R., Ravindra, K. and Nagpure, A.S., 2016. Air pollution trends over Indian megacities and their local-to-global implications. *Atmospheric Environment*, 142. 475-495.
- Hao. J. 2014. Impact of biomass burning on haze pollution in the Yangtze River delta, China: a case study in summer 2011. *Atmos. Chem. Phys*. 14: 4573-4585.
- He. Q., Zhao. X., Lu, J., Zhou. G., Yang. H., Gao. W., Yu. W. & Cheng, T. 2015. Impacts of biomass-burning on aerosol properties of a severe haze event over Shanghai. *Particuology* 20: 52-60.
- Huang. R., Zhang. Y., Bozzetti. C., Ho. K., Cao. J., Han. Y., Daellenbach, K. R., Slowik. J. G., Platt. S. M., Cononaco. F., Zotter. P., Wolf. R., Pieber. S.M., Bruns. E. A., Crippa. M., Ciarelli. G., piazzalunga. A., Schwikowski. M., Abbaszade. G., Schnelle-kreis. J., Zimmermann. R., An. Z., Szidt. S. Baltensperger. U., El Haddad. I. & Pervot. A.S., 2014. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*. 7521: 218-222.
- IPCC. 2006. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- IPCC 2013. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Alexander, L.V., Allen, S.K., Bindoff, N.L.,
- Jing. L., Yu. B. & Shaodong, X., 2016. Estimating emissions from crop residue open burning in China based on statistics and MODIS fire products, *journal of environmental sciences*. 44.:158-170.
- Jain, N. Bhatia. A. & Pathak, H. 2014. Emission of air pollutants from crop residue burning in India. *Aerosol Air Qual. Res*. 14: 422-430.
- Khoshakhlagh, f. Moulai Pardeh, A. and Abadijo, M., M. 2015. Analysis and zoning of climatic potentials of Khuzestan province in order to use solar energy. *Journal of Academic and promotional of Nivar*. No. 92-93: 13-22. (in Persian).
- Kudo. S., Tanimoto. H., Inomata. S., Saito. S., Pan. X.L. Kanaya, Y., Taketani. F., Wang. Z., Chen. H., Dong. H., Zhang M. & Yamaji. K. Emissions of nonmethane volatile organic compounds from open crop residue burning in the Yangtze River Delta region, China. *J. Geophys. Res. -Atmos*. 119 (12): 7684-7698.
- Li. X.G., Wang. S.X., Duan. L., Hao. J.M., Li. C., Chen. Y.S. & Yang. L. 2007. Particulate and trace gas emissions from open burning of wheat straw and corn stover in China. *Environ. Sci. Technol*. 41 (17): 6052-6058.



- Li. H., Han. Z., Cheng. T., Du. H., Kong. L., Chen. J., Zhang. R. & Wang. W. 2010. Agricultural fire impacts on the air quality of Shanghai during summer harvesttime. *Aerosol Air Qual. Res.* 10: 95–101.
- McCarty, J. L., Korontzi, S., Justice C, O. And Loboda, T. 2009. The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Science of the Total Environment.* 407: 5701–5712.
- Marlier. M.E., DeFries. R.S., Voulgarakis. A., Kinney. P.L., Randerson. J.T., Shindell, D.T.Chen. Y & Faluvegi. 2013. El Niño and health risks from landscape fire emissions in Southeast Asia. *Nat. Clim. aChang.* 3 (2): 131–136.
- Manjezi, N., 2019. Comparison of green and burnt sugarcane harvesting methods and environmental effects of field burning in burnt sugarcane harvesting in Khuzestan province. *Journal of Natural Environment, natural resources of Iran.* Round 73(2), pp. 396-383. (in Persian).
- Mousavi, S. M., Falahatkar, S., & Farajzadeh, M. 2017. Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in I ran using GOSAT data. In *Natural Resources Forum.* 41(2). 83-91.
- Mousavi, S. M., & Falahatkar, S. 2020. Spatiotemporal distribution patterns of atmospheric methane using GOSAT data in Iran. *Environment, Development and Sustainability.* 22(5). 4191-4207
- Oanh. N. T. K., Bich. T. L., Tipayarom. D., Manadhar. B. R., Prapat. P. and Simpson, C. D. 2011 . Characterization of particulate matter emission from open burning of rice straw. *Atmos. Environ.* 45(2): 493–502.
- Omran, A. 2014. Harvesting green sugarcane, challenges and solutions. 8nd National Conference of Sugarcane Technologists.
- Pathak. H., Saharawat. Y, S., Gathala. M. and Ladha. J, K. 2011. Impact of resource-conserving technologies in the rice-wheat system. *Greenhouse Gas Science and Technology.* 1:261–277.
- Ravindra, K., Sidhu, M.K., Mor, S., John, S., Pyne, S., 2016. Air Pollution in India: Bridging the Gap between Science and Policy. *J. Hazardous, Toxic, Radioact. Waste* 20, A4015003. doi:10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000303
- Ravindra. K., Singh. T & Mor. S. 2018. Emissions of air pollutants from primary crop residue burning in India and their mitigation strategies for cleaner emissions. *Journal of Cleaner Production.* doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.031.
- Romasanta. R. R., Sander. B.O., Gaihre. Y. K., Carmelita Alberto. M. C., Quilty. M. G. J., Nguyen. V. H., Castalone. A. G., Balingbing. C., Sandro. J., Jr, T. C. & Wassmann. R. 2017. How does burning of rice straw affect CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions? A comparative experiment of different on-field straw management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 239: 143–153.
- Sayre. K.D. & Govaerts. B. 2011. Use of Conservation Agriculture to improve farming systems in developing countries. *Rainfed Farming Systems.* Report no. 1402091311.
- Schroeder. W., Prins. E., Giglio. L., Csiszar. I., Schmidt. C., Morisette. J., et al., 2008. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sens. Environ.* 112: 2711–2726.
- Shi. Y., Zang. S., Matsunaga. T. & Yamaguchi. Y. 2020. A multi-year and high-resolution inventory of biomass burning emissions in tropical continents from 2001–2017 based on satellite observations, *Journal of Cleaner Production,* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122511.
- Soheili-Fard. F., Kouchaki-Penchah. H., Raini M.G.N & Chen. G. 2018. Cradle to grave environmental-economic analysis of tea life cycle in Iran. *J Clean Prod.* 196:953–960.

- Van der Werf. G.R., Randerson. J.T., Giglio. L., van Leeuwen. T.T., Chen. Y., Rogers. B.M., Mu. M., van Marle. M.J.E., Morton. D.C., James Collatz. G., Yokelson. R.J. & Kasibhatla, P.S., 2017. Global fire emissions estimate during 1997–2016. *Earth Syst. Sci. Data* (9): 697–720.
- Yaqoubi, M. Ebadian, M. Parsai, R. Masoumi, M. and Bugari, E. 2018. Investigating some influencing factors on the amount of sugarcane waste in green harvesting (Cultivation and Industry of Imam Khomeini (RA)). 9nd National Conference of Sugarcane Technologists. (in Persian).
- Zhang. L., Liu. Y., Hao. L., 2016. Contributions of open crop straw burning emissions to PM2.5 concentrations in China. *Environ. Res. Lett.* 11, 014014.
- Zhang. J., Smith. K.R., Ma. Y., Ye. S., Jiang. F., Qi, W., Liu, P., Khalil. M.A.K. Rasmussen. R.A. & Thorneloe. S. A. 2000. Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. *Atmos. Environ.* 34: 4537–4549.
- Zhang. Y.S., Shao. M., Lin. Y., Luan. S.J., Mao. N., Chen. W.T Wang M. 2013. Emission inventory of carbonaceous pollutants from biomass burning in the Pearl River Delta Region. *China Atmos. Environ.* 76: 189–199.