

Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Cultivation and Industry in Khuzestan Province

N. Moradimajd¹, G.A. Fallah Ghalhari^{2*} and M. Chatrenour³

1- Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

2* - Corresponding Author, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. (g.fallah@hsu.ac.ir).

3- Department of land evaluation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREE), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

TO CITE THIS ARTICLE :

Article history:

Received: 10 September 2021

Revised: 16 September 2022

Accepted: 19 September 2022

Keywords:

Nitrous oxide, Nitric oxide,
Methane, DAYCENT software,
Khuzestan sugarcane.

Moradimajd, N., Fallahghalhari, G. A., Chaternour, M. (2023). 'Modeling of Greenhouse Gas Emissions in Sugarcane Cultivation and Industry in Khuzestan Province', *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(2), pp. 45-57. doi: 10.22055/jise.2022.38525.1990.

Introduction

During the last few decades, greenhouse gases have affected the earth's radiation balance by keeping long-wavelength radiation in the atmosphere and increasing the air temperature (Bakht Firouz and Raeini Sarajaz, 2013). The agricultural sector has played an important role in emitting greenhouse gases through using fossil fuels, carbon losses through tillage operations, incineration of crop and forest trees, livestock, the use of livestock manure and construction, and the use of chemical fertilizers. So, the share of this sector in climate change is about 13.5%, of which 60% is related to nitrogen oxide, 39% to methane, and 1% to nitrogen dioxide (IPCC, 2007).

Considering the vast area under cultivation of sugarcane in Khuzestan province and the use of chemical fertilizers as well as the burning of its residues every year, it is necessary to determine the amount of greenhouse gas production in these areas. Therefore, the purpose of this study was to use the DAYCENT model to determine the amount of gas flux emitted in sugarcane cultivation in Khuzestan province and to determine the efficiency of this model with statistics of coefficient of determination, maximum error, root mean square error, model efficiency, and residual mass coefficient. The other purpose of this study is to compare the amount of global warming potential and production of methane, nitrous oxide, and nitric oxide emissions between Shustar and Abadan agro-industrial stations.

Materials and methods

The present study was conducted in the form of random sampling with two factors of culture type and sampling date on the rate of methane emission, nitrous oxide, and nitric oxide. It was used to measure the gas produced from the soil surface by the closed chamber method and gas chromatography. Three chambers were set up in each field. Three hours after the installation of the chambers, they were sampled from inside with the help of a syringe. The samples were immediately transferred to the laboratory to read the amount of gas and measured by a gas chromatograph (GC)

model UNICAM Series 610 equipped with ECD and FID sensors. This device reads the volume of gas accurately in millions. By investing the volume of the chamber and the installation time of the chambers, finally, the amount of gas expansion was calculated based on the amount of gas expansion in terms of mass per unit area per unit time. Six samplings were performed in two-season sugarcane crops in three replications during the research period. In the next step, greenhouse gases were estimated using the DAYCENT model. DAYCENT model inputs include observed daily rainfall and maximum and minimum daily temperature. The input of soil variables includes texture, density, thickness, field capacity, wilting point, pH, saturated hydraulics, and conductivity for 14 soil layers. This model has been validated using observed data related to crop production, soil organic matter, nutrient circulation, and trace gases (Hartman *et al.*, 2011). To calculate the global warming potential, the unit of this index was expressed as the equivalent of carbon dioxide. For this purpose, the amount of nitrous oxide gas with a coefficient of 310, methane with a coefficient of 21, and nitric oxide with a coefficient of 298 were entered into the calculations. Finally, the statistical indicators of maximum error, root mean square error, coefficient of determination, model efficiency, and residual mass coefficient were used to evaluate the modeling accuracy (Ewert *et al.*, 2005; Dashtaki *et al.*, 2010).

Results and discussion

The results of the average methane gas flux in Shushtar station (160 kg per hectare per year) were higher than in Abadan station (120 kg per hectare per year). Shushtar sugarcane cultivation with higher average rainfall had higher methane flux than Abadan sugarcane cultivation. For Shushtar and Abadan stations, the average nitrous oxide gas flux was approximately equal (2 kg per hectare per year). The average flux of nitric oxide gas modeled at the Abadan site was 6 kg per hectare per year. The flux outputs of nitrous oxide and nitric oxide were obtained due to the same fertilization in both similar stations, with a slight difference.

Based on the results of calculations of a global warming potential coefficient of methane, nitrous oxide, and nitric oxide, Shushtar station obtained an average global warming potential (5172 kg equivalent of carbon dioxide) higher than the average global warming potential of Abadan station (4928 kg equivalent of Carbon dioxide). The higher average global warming potential at Shushtar station is due to more methane emissions in this station than at Abadan station. In low and medium temperature changes, this station had a higher global warming potential than Abadan station, but in high-temperature changes, Abadan station showed more global warming potential. In global precipitation changes of negative 2, positive 7, and 14% at Shushtar station, more global warming potential was obtained. Different statistical indicators were used to evaluate the accuracy of the DAYCENT model. The results showed that the statistical index's coefficient of determination (R^2) of nitrous oxide has the highest accuracy. However, all three gases have a suitable accuracy range above 0.50. The RPD (efficiency deviation ratio) index showed that the value for nitrous oxide was 2.6, but in all, they had a good accuracy range.

Conclusion

Shushtar station, with a higher average rainfall level, had a higher methane flux than Abadan station. The results of nitrous oxide and nitric oxide flux rates were similar. The Shushtar sugarcane industry had a higher global warming potential than the Abadan sugarcane industry, which was determined to be the main cause of high nitric and nitrous oxide emissions. The average output of environmental emission costs also showed the largest share of nitric oxide gas emissions. Based on statistical indicators, three greenhouse gases of nitrous oxide, methane, and nitric oxide were in the appropriate accuracy range. The DAYCENT modeling program showed that it is an integrated model that facilitates the interconnection of ecosystem processes.

Acknowledgments

The authors of the article thank the officials of the Soil Laboratory of the Shahid Chamran University of Ahvaz for their assistance in the various stages of this research. The authors also thank the Meteorological Agency for providing the required meteorological data.

- 1- Bakht Firouz, A., and Raeini Sarajaz, M. 2013. Effect of paddy field drainage systems on methane greenhouse gas emission reduction. *Iranian Water and Soil Research*; 44 (1): 1-10. (In Persian).
- 2- Dashtaki, S. G., Homaei, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*; 26(1): 68-74.
- 3- Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. G., and Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agricultura Ecosystem Environmental*; 107:101–116.
- 4- Hartman, M., Merchant, E. R., Parton, W. J., Gutmann, M. P., Lutz, S., and Williams, S. A. 2011. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883–2003, *Ecological applications*; 21(4):1105–1119.
- 5- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. The physical science basis. Cambridge University. Press; 165-177.



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مدل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و صنعت نیشکر استان خوزستان

نسرین مرادی مجد^۱، غلامعباس فلاح قاهری^۲ و منصور چترنور^۳

- ۱- دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
 ۲- نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
 g.fallah@hsu.ac.ir
 ۳- پژوهشگر بخش ارزیابی اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹

چکیده

در سال‌های اخیر، خاک ورزی بیش از حد، سوء مصرف کودهای شیمیایی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی، سبب تولید گازهایی مانند اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک و غیره شده است. پژوهش حاضر، با هدف تعیین نرخ تصاعد گازهای مذکور در اراضی تحت کشت نیشکر انجام شده است. با استفاده از نرم‌افزار DAYCENT، انتشار گازهای مذکور در ایستگاه‌های کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبل خزایی، سلمان فارسی، امام خمینی، دهخدا، کارون و هفت‌تپه شبیه‌سازی و سپس پتانسیل گرمایش جهانی، به‌دست آمد. به‌منظور بررسی دقت شبیه‌سازی، از آماره‌های ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و ضریب جرم باقی‌مانده استفاده شد. نتایج داده‌های مشاهده شده در ایستگاه شوشتر، میانگین متان ۱۰۲، اکسید نیتروس هفت و اکسید نیتریک ۳۳ کیلوگرم در هکتار و برای ایستگاه آبادان شار متان مدل شده ۹۵، اکسید نیتروس هفت و اکسید نیتریک ۳۶ کیلوگرم در هکتار در سال به‌دست آمد. نتایج مدل شده در ایستگاه شوشتر، میانگین متان ۱۶۰، اکسید نیتروس دو و اکسید نیتریک چهار کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و برای ایستگاه آبادان شار متان مدل شده ۱۲۰، اکسید نیتروس دو و اکسید نیتریک شش کیلوگرم در هکتار در سال به‌دست آمد. با توجه به نتایج شاخص‌های آماری در هر سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک به‌ترتیب، ضریب تعیین (۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۷۷)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (۰/۰۵۵۸۰۸، ۰/۳۱۰۲۱۸ و ۰/۰۳۸۸۴۲) و کارایی مدل (۰/۶۱۹۰۰۲، ۰/۸۵۴۵۴۳ و ۰/۷۶۷۲۰۵) مدل DAYCENT دقت قابل‌قبولی را برای هر سه گاز نشان داده است.

کلید واژه‌ها: اکسید نیتروس، اکسید نیتریک، متان، نرم‌افزار DAYCENT، نیشکر خوزستان.

مقدمه

داشته است IPCC (2001) که ۶۰ درصد آن مربوط به اکسید نیتروژن، ۳۹ درصد متان و یک درصد دی اکسید نیتروژن در گرمایش جهانی مربوط به بخش کشاورزی است (IPCC, 2007). نیشکر گیاهی از جنس تباشیر (Saccharum.L)، از تیره غلات و بومی مناطق معتدل، گرم تا حاره است. کشت این گیاه در خوزستان ۷۰۰ تا ۸۰۰ سال قبل از میلاد رواج داشته و کلمه خوزستان به معنی شکرستان است. آغاز فعالیت برای کشت نیشکر در خوزستان در سال ۱۳۱۶ - ۱۳۱۸ بوده ولی شروع جنگ جهانی و کارشکنی شرکت نفتی سابق ایران و انگلیس باعث عدم رسیدگی به این فعالیت شد. با همکاری فائو در سال ۱۳۳۰ برنامه کشت نیشکر در خوزستان پایه‌گذاری و تا امروز ادامه داشته به‌طوری که در حال حاضر برنامه توسعه نیشکر یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های ملی ایران است.

در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. در این رابطه Moradi و

گازهای گلخانه‌ای پدیده‌ای است که روی تعادل تابشی کره زمین اثر گذاشته و در طی چند دهه اخیر سبب بالا رفتن دمای هوا در کره زمین و همچنین اختلال در محیط‌زیست شده است (Pourkhabaz, 2002). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر، مانند دی اکسید کربن، متان و اکسیدهای ازت سبب گیر افتادن انرژی تابش طول موج‌های بلند در جو زمین می‌شود (Bakht Firouz and Raeini, Sarajaz, 2013). در این بین زمین‌های کشاورزی سهم مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند که منابع اصلی آن شامل سوخت‌های فسیلی استفاده‌شده در فعالیت‌های کشاورزی، تلفات کربن خاک به‌دلیل عملیات خاک ورزی، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی و درختان جنگلی، دامداری، استفاده از کودهای دامی و ساخت و بهره‌برداری از کودهای شیمیایی است (Kochaki and Kamali, 2010). سهم بخش کشاورزی در پدیده تغییر اقلیم حدود ۱۳/۵ درصد

جاده اهواز- شوشتر بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه فرض شمالی انجام شد.

نمونه برداری از گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته از خاک

پژوهش حاضر در قالب نمونه‌گیری تصادفی با دو عامل نوع کشت و تاریخ نمونه‌برداری بر میزان تصاعد متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک اجرا شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری گاز متان تولیدشده از سطح خاک، از روش اتاقک بسته و کروماتوگرافی گازی استفاده شد. در هر کشتزار سه اتاقک قرار داده شد. پس از گذشت سه ساعت از نصب اتاقک‌ها، از درون آن‌ها به کمک سرنگ نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها بلافاصله برای قرائت میزان گاز متان به آزمایشگاه منتقل و توسط دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) مدل UNICAM سری ۶۱۰ مجهز به حسگرهای ECD و FID اندازه‌گیری شد. این دستگاه مقدار حجمی گاز را با دقت بخش در میلیون قرائت می‌کند. با دخالت حجم اتاقک و مدت زمان نصب اتاقک‌ها در نهایت مقدار تصاعد گازها، بر اساس میزان تصاعد گاز مورد نظر بر حسب جرم از واحد سطح در واحد زمان محاسبه شد. برای اندازه‌گیری گازهای اکسید نیتروس و اکسید نیتریک از اندازه‌گیری اکسیدهای نیتروژن در دستگاه آنالایزر مدل-APNA 370 استفاده شد. این آنالایزر غلظت اکسیدهای نیتروژن را در هوای محیطی اندازه‌گیری می‌کند. در طول دوره تحقیق شش نمونه‌برداری در دو فصل از کشت‌های زراعی نیشکر در سه تکرار انجام شد. (Moradi-Majd et al., 2022). این مقادیر به‌دست آمده به کل سال تعمیم داده شدند.

مدل DAYCENT: این مدل در ابتدا در دهه ۱۹۷۰ به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات مواد آلی خاک (SOM)، بهره‌وری گیاهان، دسترسی به مواد مغذی و دیگر پارامترهای اکوسیستم در پاسخ به تغییر در مدیریت زمین و آب و هوا به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که به‌منظور شبیه‌سازی رشد گیاه و تغییرات مواد آلی خاک برای اکثر اکوسیستم‌های زمینی در سراسر جهان قابل استفاده است. افزایش توجه به انجام تجزیه و تحلیل گازهای گلخانه‌ای، به توسعه DAYCENT در سال ۱۹۹۴ منجر شد. مدل DAYCENT شامل زیر مدلی در مرحله تولید گیاهان و زیر مدلی برای پویایی مرحله به مرحله روزانه جریان گاز کمیاب، گردش مواد مغذی، جریان آب و مواد آلی خاک (SOM) است. برنامه مدل DAYCENT در زبان برنامه‌نویسی FORTRAN و C نوشته شده و می‌تواند از پنجره DOS یا یک پلت فرم لینوکس استفاده شود. DAYCENT شامل تعدادی از فایل‌های پارامتری، فایل

Pour Ghasemian (2018) در پژوهشی به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی در زراعت سیب‌زمینی و پیاز و هندوانه در استان کرمان پرداختند، و مشاهده کردند میزان انتشار گاز گلخانه‌ای اثر مصرف کود نیتروژن بیش از سایر نهاده‌های شیمیایی بود (Safari و Abdi (2016) از بقایای کلزا و گندم در ترکیب با کود دامی میزان تولید گاز گلخانه‌ای را بررسی کرده و مشاهده کردند متوسط تولید جمعی گاز متان در بقایای کلزا بیشتر بوده است. Weiler et al. (2018) شبیه‌سازی سالانه میزان انتشار متان و کربن آلی خاک در سیستم کشت برنج نیمه گرمسیری با روش DAYCENT انجام دادند. در پژوهش آن‌ها مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی جریان متان روزانه نشان داد که مدل DAYCENT الگوهای کلی شار متان را با اختلاف کمی محاسبه نموده و عملکرد کلی قابل قبولی داشته است. Fitton et al. (2019) مدل‌سازی ضریب بیولوژیکی نیتروژن و پویایی علفزار مبتنی بر فرآیند بیوژئوشیمیایی، با دو روش APSIM و DAYCENT، در مقایسه با مجموعه داده‌های تجربی انجام دادند. و مشاهده کردند که هر دو مدل جنبه‌های کلیدی رشد علف‌های هرز، از جمله تولید زیست توده، تعاملات بین تغییر دانه و علف، به ویژه مخلوط با کسر شدید بالا را محاسبه کردند.

با توجه با اثرات زیان‌بار گازهای گلخانه‌ای و سطح زیر کشت و غالب بودن گیاه نیشکر در استان خوزستان و استفاده از کودهای شیمیایی و همچنین آتش‌سوزی بقایای آن در هر سال، نیاز است که میزان تولید گاز گلخانه‌ای در این مناطق تعیین شود بنابراین هدف از این پژوهش استفاده از مدل DAYCENT در تعیین میزان شار گاز متصاعد شده در کشت نیشکر در استان خوزستان و تعیین کارایی این مدل با آماره‌های ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، کارایی مدل و ضریب جرم باقیمانده بود. هدف دیگر این پژوهش مقایسه مقدار پتانسیل گرمایش جهانی و تولید گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید خروجی در بین دو ایستگاه کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این پژوهش در مزارع نیشکر استان خوزستان و در دو منطقه با مدیریت متفاوت که منطقه اول شامل کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبیل خزایی و سلمان فارسی با مساحت تقریبی ۶۲ هزار هکتار واقع در جاده اهواز- آبادان با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه و همچنین منطقه دیگر کشت و صنعت امام خمینی، دهخدا، کارون و هفت‌تپه با مساحت تقریبی ۴۸ هزار هکتار و واقع در

محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP: محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس گزارش‌ها Robertson et al. (2000) و Thelen et al. (2010) انجام شد. به‌منظور محاسبه این شاخص، میزان انتشار متان، اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک محاسبه شده برای محصول در نظر گرفته شد. اثر هر کدام از گازها بر گرمایش زمین متفاوت است، به‌طوری که هر واحد متان و اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک به‌ترتیب حدود ۲۱ و ۳۱۰ و ۲۹۸ برابر دی‌اکسیدکربن در گرمایش زمین نقش دارند (IPCC, 2007). بنابراین، واحد این شاخص به‌صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان گردید. برای این منظور، میزان گاز اکسیدنیتروس با ضریب ۳۱۰ و متان با ضریب ۲۱ و اکسید نیتریک ۲۹۸ در محاسبات وارد شد. در نهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد.

$$GWP = (N_2O \text{ FLUX} \times 310) + (NO \text{ FLUX} \times 298) + (CH_4 \text{ FLUX} \times 21) \quad (2)$$

در این رابطه، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار)، $N_2O \text{ FLUX}$: انتشار اکسید نیتروژن، $NO \text{ FLUX}$: انتشار اکسیدنیتریک و $CH_4 \text{ FLUX}$: انتشار متان می‌باشند.

برنامه، فایل وضعیت آب و هوا و بسیاری از فایل‌های خروجی است. فایل‌های پارامتر ورودی با یک پسوند "۱۰۰" استفاده می‌شود. فایل‌های پارامتر ورودی منحصر به DAYCENT دارای فرمت ".in" است. فایل‌های آب و هوای روزانه دارای پسوند ".wth" هستند. همه فایل‌های پارامتر ورودی (*، *.in، *.dat)، فایل‌های هواشناسی (*، *.wth) و فایل برنامه (*، *.sch) فایل‌های متنی هستند که می‌توانند با هر ویرایشگر متن به روز شوند. فایل‌های باینری خروجی با ".bin"، ".out" و ".csv" هستند. برنامه List100 برای استخراج مقادیر از فایل باینری استفاده می‌شود و آن‌ها را به یک فایل متنی با پسوند ".lis" ارسال می‌کند (Hartman et al., 2016). ورودی‌های مدل DAYCENT شامل بارش روزانه مشاهده شده و حداکثر و حداقل دما روزانه؛ ورودی متغیرهای خاک شامل بافت، چگالی تراکم، ضخامت، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی، pH، هیدرولیک اشباع‌شده و رسانایی برای ۱۴ لایه خاک می‌باشد. این مدل با استفاده از داده‌های مشاهده شده مربوط به تولید گیاهان، ماده آلی خاک، گردش مواد مغذی و گازهای کمیاب اعتبارسنجی شده است (Hartman et al., 2011). برنامه نوشته‌شده در محیط DAYCENT جهت کشت نیشکر در رابطه (۱) آورده شده است.

1 50 CULT P 1 98 FERT 3N 1 129 FERT
4N 1 180 FERT 3N 1 206 PLTM 1 211
IRRI A60 1 254 IRRI A0 1 284 LAST (۱)

جدول ۱- برنامه نمونه برداری از گازها در کشت و صنعت‌های مورد مطالعه

Table 1- Gas samplings schedule in studied agro-industries

Abadan	Farabi	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Mirza Kuchak Khan	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Amir Kabir	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Dabal Khazaei	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
	Salman Farsi	spring	15 Apr	28 May	24 Jun	19 Jul	10 Sep	15 Sep
		autumn	12 Oct	17 Nov	14 Dec	24 Jan	11 Mar	20 Mar
Shushtar	Imam Khomeini	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Dehkhoda	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Karoon	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar
	Haft Tappeh	spring	15 Apr	25 May	24 Jun	16 Jul	7 Sep	10 Sep
		autumn	18 Oct	21 Nov	19 Dec	21 Jan	17 Mar	25 Mar

$$ME = \text{MAX } |Pi - Oi|_{i=1}^n \quad (۳)$$

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{(Pi - Oi)^2/n} \quad (۴)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (Pi - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2} \quad (۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Oi - \sum_{i=1}^n Pi}{\sum_{i=1}^n Oi} \quad (۷)$$

که در روابط فوق، Pi مقادیر شبیه‌سازی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کاررفته است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT

بر اساس میانگین سالانه دما و بارش

نتایج آماری گازهای برآورد شده مدل DAYCENT در جدول (۲) آورده شده است. نتایج میانگین شار گاز متان در ایستگاه شوشتر (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در سال) بیشتر از ایستگاه آبادان (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال) به دست آمد. کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر با سطح متوسط بارش بیشتر، شار متان بالاتری را در مقابل کشت و صنعت نیشکر آبادان داشتند. برای دو ایستگاه شوشتر و آبادان میانگین شار گاز اکسید نیتروس تقریباً برابری (دو کیلوگرم در هکتار در سال) تعیین شد. میانگین شار گاز اکسید نیتریک مدل شده در سایت آبادان نیز شش کیلوگرم در هکتار در سال به دست آمد. خروجی شار دو گاز اکسید نیتروس و اکسید نیتریک به دلیل کود دهی یکسان در هر دو ایستگاه مشابه و با اختلاف ناچیز تعیین شد.

شاخص‌های آماری

به منظور ارزیابی دقت مدل‌سازی، از شاخص‌های آماری خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ضریب تعیین، کارایی مدل و ضریب جرم باقی‌مانده استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده از ضریبی به نام ضریب تبیین R^2 استفاده می‌شود (Ewert et al., 2005). در علم آمار این ضریب به دو صورت تعریف می‌شود. تعریف اول عبارت است از $R^2 = 1 - \frac{\sum (Pi - \bar{O})^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$ و تعریف دیگر $R^2 = \frac{\sum (Pi - \bar{O})^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$ است. در بررسی کمی مدل‌ها شاخص CD در حقیقت معکوس تعریف دوم و شاخص EF همان تعریف اول از R^2 است. تعریف اول همواره بین صفر و یک تغییر می‌کند و تعریف دوم، می‌تواند از یک بزرگ‌تر شود. مقادیر بالای ME نشانگر بدترین پیش‌بینی مدل است. مقادیر RMSE بالا نشان می‌دهد که چه مقدار پیش‌بینی‌ها دست پایین یا دست بالا بوده‌اند و به طور کلی میزان خطای مدل را در برآورد داده‌ها عنوان می‌کند (Dashtaki et al., 2010). در این پژوهش برای محاسبه RMSE از روش نزدیک‌ترین همسایه مارکوارت استفاده شد. مقادیر CD نیز معرف نسبت بین پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر است. مقایسه‌ی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و متوسط مقادیر مشاهده شده توسط شاخص EF انجام می‌گیرد. هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد مدل پیش‌بینی بهتری داشته است. شاخص CRM میل مدل به پیش برآوردی و کم برآوردی را نشان می‌دهد (Khodaverdiloo et al., 2011). میزان CRM منفی یعنی مدل مقادیر را بیشتر و CRM مثبت یعنی مدل داده‌ها را کمتر از داده‌های مشاهده شده پیش‌بینی کرده است. اگر مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل برابر باشند، $ME = 0$ ، $RMSE = 0$ ، $CD = 1$ ، $EF = 1$ و $CRM = 0$ است. تفسیر ریاضی شاخص‌های آماری بالا به صورت زیر است (Kottegoda and Rosso, 2008).

جدول ۲- میانگین، کمینه و بیشینه گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در هکتار در سال در ایستگاه‌های مورد نظر

Table 2- Average, minimum and maximum gases of methane, nitrous oxide and nitric oxide per hectare per year in desired stations

site	Variable	CV (%)	max	Min	mean
Shushtar	CH4 Flux	3.8	600	100	160
	N2O Flux	48.2	39	1	2
	Flux NO	53.5	154	1	4
Abadan	CH4 Flux	4.2	570	82	120
	N2O Flux	59.3	44	2	2
	Flux NO	78.5	165	3	6

جدول ۳- پارامترهای آماری شار گاز با افزایش میانگین سالانه دما ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در ایستگاه‌های مورد نظر
Table 3 - Statistical parameters of gas flux with increasing annual average temperature 1, 2.5 and 4.2 °C in desired stations

Low temperature changes (1°C)								
Variable	site	max	min	mea n	site	max	min	Mean
CH ₄ Flux	Abada	576	88	124	Shushtar	608	108	165
N ₂ O Flux	n	48	4	4		41	2	4
Flux NO		170	4	7		158	1	5
Medium temperature changes (2.5°C)								
Variable		max	min	mea n		max	min	mean
CH ₄ Flux		585	94	132		610	112	171
N ₂ O Flux		52	7	9		50	6	9
Flux NO		172	5	7		161	2	6
High temperature changes (4.5°C)								
Variable		max	min	mea n		max	min	Mean
CH ₄ Flux		592	103	138		622	118	179
N ₂ O Flux		59	10	14		58	9	13
Flux NO		179	7	10		168	3	8

میزان بارندگی و دما منطقه متغیر است که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش هم‌خوانی دارد.

نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش:

در مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه بارش و تغییرات بارش منفی دو، مثبت و ۱۴ درصد در کشت و صنعت شوشتر، با تغییر منفی دو درصد، کاهش شار متان را داریم ولی با افزایش بارش به میزان هفت و ۱۴ درصد شار متان افزایش زیادی می‌یابد و روند نمودار حالت صعودی بدست آمد. شار اکسید نیتروس با افزایش بارش روند بسیار سریع افزایشی به صورت نمایی را نشان داد. شار گاز اکسید نیتریک نیز با افزایش بارش روند صعودی داشت. با مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه بارش و با تغییرات بارش در کشت و صنعت آبادان، در تغییر منفی دو درصد، کاهش جذب متان بدست آمد. با افزایش بارش به میزان مثبت هفت و ۱۴ درصد این روند افزایش نشان داد و شار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با افزایش چشمگیر تعیین شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس میانگین سالانه دما و بارش:

بر اساس نتایج به‌دست آمده از محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک، ایستگاه

نتایج حاصل از شار گازهای برآورد شده مدل DAYCENT بر اساس تغییرات میانگین سالانه دما:

همچنین مدل DAYCENT بر اساس متوسط دمای سالانه هوا (۱، ۲/۵ و ۴/۲)، نرخ شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک را در هر دو ایستگاه شوشتر و آبادان شبیه‌سازی کرد (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس میانگین سالانه دما و با افزایش میانگین سالانه دمایی ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در کشت و صنعت‌های شوشتر، روند شار متان تقریباً به صورت ثابت به‌دست آمد. همچنین روند شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش نشان می‌دهد. این روند در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتی‌گراد شتاب می‌گیرد که نشان‌دهنده وابستگی شار اکسید نیتروس به دمای خاک است. روند شار اکسید نیتریک روند تغییرات بسیار ناچیزی را به‌دست آورده است. در مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک مدل شده و با افزایش میانگین سالانه دما ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در کشت و صنعت‌های آبادان، روند شار متان تقریباً به‌صورت ثابت تعیین شد. ولی روند شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش می‌یابد. این روند در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد و روند افزایشی دارد و همچنین روند شار اکسید نیتریک تقریباً ثابت به‌دست آمد. Nikbakht Shahbazi (2018) نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره دارد که تغییرات بارش و دما بر رشد و نمو گیاه نیشکر و تاثیرات متقابل خاک و گیاه و اکولوژی مزارع نیشکر موثر است. Dastan et al. (2016) نیز نشان دادند انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع با توجه به

نیترژن) بیشترین اثر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی داشته است.

نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس تغییرات میانگین سالانه دما:

پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان بر اساس تغییرات متوسط دمای سالانه هوا (1°C ، $2/5$ و $4/2$) شکل‌های (۱) و (۲) محاسبه شد. در تغییرات دمایی پایین و متوسط نیز این ایستگاه نسبت به ایستگاه آبادان پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری داشت ولی در تغییرات دمایی بالا ایستگاه آبادان پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری را نشان داد. در تغییرات بارش منفی دو، مثبت هفت و ۱۴ درصد ایستگاه شوشتر پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری را به دست آورد.

شوشتر میانگین پتانسیل گرمایش جهانی (۵۱۷۲) کیلوگرم معادل دی اکسید کربن) بیشتری نسبت به میانگین پتانسیل گرمایش جهانی ایستگاه آبادان (۴۹۲۸) کیلوگرم معادل دی اکسید کربن) را به دست آورد. بیشتر بودن میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در ایستگاه شوشتر به دلیل انتشار بیشتر متان در این ایستگاه نسبت به ایستگاه آبادان می باشد. Dastan et al. (2016) نیز نشان دادند انتشار گازهای ناشی از کاربرد کود شیمیایی نیترژن، استفاده از علف کش‌ها، قارچ کش‌ها و حشره کش‌ها بخش قابل توجهی در پتانسیل گرمایش جهانی مزارع دارد. علاوه بر این، نتایج پژوهش‌های Lal (2004) و Tzilivakis et al. (2005) در سایر محصولات زراعی نیاز نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود

جدول ۴- پارامترهای آماری شار گاز با افزایش میانگین سالانه بارش ۲- و ۷+ و ۱۴+ درصد در ایستگاه‌های مورد نظر

Table 4- Statistical parameters of gas flux with increasing annual average precipitation -2 , +7 and +14% in desired stations

Low precipitation changes (- 2%)								
Variable	site	max	min	mea	site	max	min	Mean
				n				
CH ₄ Flux	Abada	555	57	107	Shushtar	587	96	142
N ₂ O Flux	n	20	0	1		18	0	1
Flux NO		152	2	4		132	0	3
Medium precipitation changes (+7%)								
Variable		max	min	mea		max	min	mean
CH ₄ Flux				n		660	175	200
		617	155	180		18	9	14
N ₂ O Flux		16	9	14		188	8	42
Flux NO		194	10	56		660	175	200
High precipitation changes (+14%)								
Variable		max	min	mea		max	min	Mean
				n		679	197	409
CH ₄ Flux		640	168	196		53	18	30
N ₂ O Flux		52	18	30		207	53	62
Flux NO		218	56	60		679	197	409

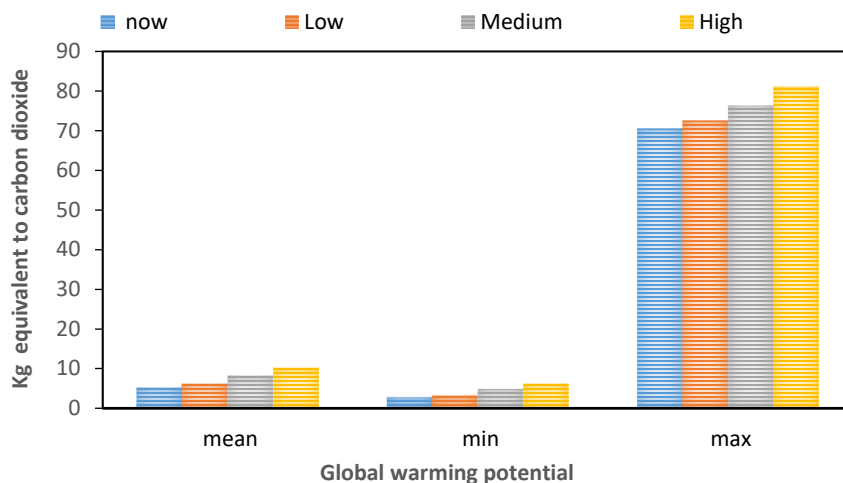


Fig. 1- Global warming potential of three gases with temperature changes in Shushtar agro-industries

شکل ۱- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات دمایی از کشت و صنعت‌های شوشتر

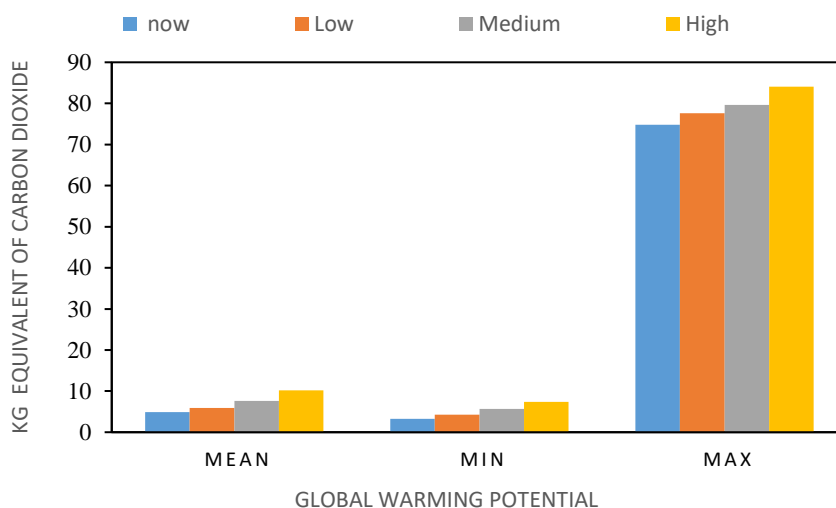


Fig. 2- Global warming potential of three gases with temperature changes in Abadan agro-industries

شکل ۲- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات دمایی از کشت و صنعت‌های آبادان

ایستگاه نیز مشخص است و کاهش بارش باعث کم شدن مختصر از پتانسیل گرمایش جهانی و افزایش آن باعث زیاد شدن این پتانسیل می‌گردد. در ایستگاه آبادان همان طور که در شکل (۴) مشخص است تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با کاهش و افزایش بارش در این ایستگاه مشخص است و کاهش بارش باعث کم شدن مختصر از پتانسیل گرمایش جهانی و افزایش آن باعث زیاد شدن این پتانسیل می‌گردد. فاصله عددی بین کمینه‌ها و بیشینه‌های پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات بارش زیاد است.

نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش:

پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در کشت و صنعت‌های شوشتر و آبادان بر اساس تغییرات میانگین سالانه بارش (منفی دو، مثبت هفت و ۱۴ درصد) شکل‌های (۳) و (۴) محاسبه گردید. در ایستگاه شوشتر تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با تغییرات بارش بسیار بیشتر به دست آمد. فاصله عددی بین کمینه‌ها و بیشینه‌های پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات بارش زیاد است. تأثیر کاهش و افزایش بارش در این

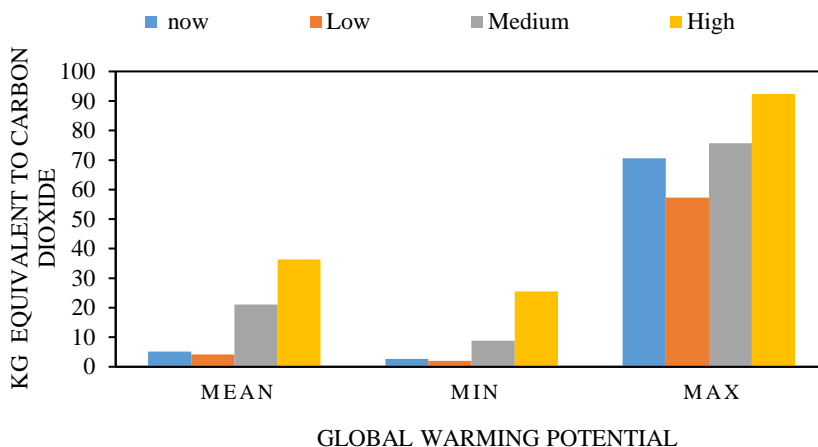


Fig. 3- Global warming potential of three gases with precipitation changes in Shushtar agro-industries

شکل ۳- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات بارش از کشت و صنعت‌های شوشتر

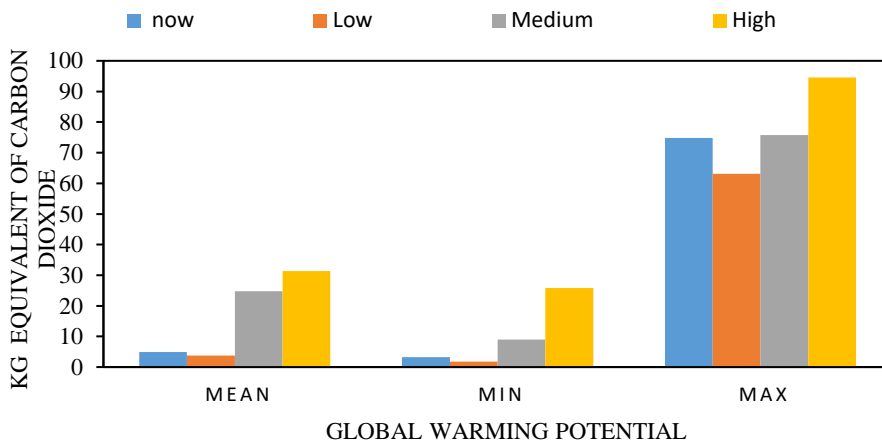


Fig. 4- Global warming potential of three gases with precipitation changes in Abadan agro-industries

شکل ۴- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر با تغییرات بارش از کشت و صنعت‌های آبادان

جدول ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک بر مبنای مدل DAYCENT

Table 5 - Comparison of measured and estimated values of three gases, nitrous oxide, methane and nitric oxide based on DAYCENT model

gas	R ²	RPD	SD	CRM	EF	CD	RMSE	ME
N ₂ O Flux	0.98	2.557502	0.142728	0.36441	0.619002	0.44796533	0.055808	0.121
CH ₄ Flux	0.99	1.742253	0.540479	0.343506	0.854543	2.458733391	0.310218	0.741
NO Flux	0.77	1.781006	0.069177	0.222642	0.767205	1.453933593	0.038842	0.053

آماري ضريب تعيين (R^2) اکسید نیتروس بیش‌ترین دقت را داشته با این وجود هر سه گاز دامنه دقتی مناسب و بالاتر از ۰/۵۰ را دارند. شاخص RPD (نسبت انحراف کارایی) نشان داد که برای اکسید نیتروس، مقدار ۲/۶ است ولی در تمامی در دامنه دقتی مناسبی دارند. بر اساس شاخص آماري SD (انحراف معیار) در متان با ۰/۵۴ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۶ کمترین مقدار

نتایج حاصل از شاخص‌های آماری در بررسی کارایی مدل DAYCENT:

به‌منظور ارزیابی دقت مدل DAYCENT از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. در جدول (۵) نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده به تفکیک سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک آورده شده است. نتایج جدول (۵) نشان داد که بر اساس شاخص

نرخ شار اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک نیز دو منطقه مشابه بود. کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر ضریب پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری را نسبت به کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان داشتند که انتشار زیاد اکسید نیتریک و اکسیدنیتروس عامل اصلی آن تعیین شد. میانگین خروجی هزینه انتشار محیط‌زیستی نیز نشان‌دهنده بیش‌ترین سهم از تصاعد گاز اکسید نیتریک بود. بر اساس شاخص‌های آماری، سه گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک در دامنه دقتی مناسبی قرار گرفتند. برنامه مدل‌سازی DAYCENT نشان داد که مدلی یکپارچه بوده و اتصال فرآیندهای اکوسیستم را تسهیل می‌کند همچنین این مدل بررسی عوامل محیطی اضافی که ممکن است بر عملکرد بلندمدت و تولید گازهای گلخانه‌ای نادیده گرفته شوند، ممکن می‌سازد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مسئولین آزمایشگاه خاک دانشگاه شهید چمران اهواز برای مساعدت در مراحل مختلف این تحقیق قدردانی می‌کنند. نویسندگان همچنین از سازمان هواشناسی کشور برای ارائه داده‌های هواشناسی مورد نیاز تشکر می‌نمایند.

تعیین شد. در شاخص CRM (ضریب جرم باقی‌مانده) برای اکسیدنیتروس با ۰/۳۱ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۲۲ کمترین مقدار به‌دست آمد. بر اساس شاخص آماری EF (کارایی مدل) در تمامی موارد مورد بررسی در تمامی دامنه دقتی مناسب تعیین شد. از این میان اکسید نیتروس با میزان ۰/۶۲ مناسب‌ترین مقدار را نشان داد. بر اساس شاخص آماری CD (ضریب تبیین) اکسید نیتروس با میزان ۰/۴۴ مناسب‌ترین مقدار تعیین شد. طبق CD بیش‌ترین پراکندگی مربوط به گاز متان به دست آمد. در تمامی موارد مقدار RMSE قابل‌قبول و از میانگین مقادیر واقعی کمتر به‌دست آمد. در گاز متان با مقادیر ۰/۳۱ دارای بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۳ کمترین مقدار تعیین شد. در همه موارد این آماره زیر یک بوده و در دامنه دقتی مناسب به‌دست آمد. مقدار ME (بیشترین خطا) در متان با ۰/۷۴ بیش‌ترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۵ کمترین مقدار (بدترین حالت) تعیین شد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ایستگاه شوشتر با سطح متوسط بارش بیشتر، شار متان بالاتری را نسبت به ایستگاه آبادان داشته و نتایج

References

- 1- Bakht Firouz, A., and Raeini Sarajaz, M. 2013. Effect of paddy field drainage systems on methane greenhouse gas emission reduction. *Iranian Water and Soil Research*; 44 (1): 1-10. (In Persian).
- 2- Dashtaki, S. G., Homaei, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*; 26(1): 68-74.
- 3- Dastan, S. , Soltani, A. , Noormohamadi, Gh. , Madani, H. , and Yadi, R. 2016. Estimation of carbon footprint and global warming potential in rice production systems, *Journal of Environmental Sciences*, 14 (1): 19-28. (In Persian).
- 4- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. and Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), pp.101-116.
- 5- Fitton, N., Bindi, M., Brilli, L., Chicota, R., Dibari, C., Fuchs, K., Huguenin-Elie, O., Klumpp, K., Liefvering, M., Lüscher, A., Martin, R., McAuliffe, R., Merbold, L., Newton, P., Rees, R. M., Smith, P., Topp, C.F. E., and Snow, V. 2019. Modelling biological N fixation and grass-legume dynamics with process-based biogeochemical models of varying complexity. *European Journal of Agronomy*; 106:58-66.
- 6- Hartman, M., Merchant, E. R., Parton, W. J., Gutmann, M. P., Lutz, S., and Williams, S. A. 2011. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883–2003, *Ecological Applications*; 21(4):1105–1119.

- 7- Hartman, M. D., Parton, W. J., Del Grosso, S. J., Easter, M., Hendryx, J., Hilinski, T., Kelly, R., Keough, C. A., Killian, K., Lutz, S., Marx, E., McKeown, R., Ogle, S., Ojima, D. S., Paustian, K., Swan, A., and Williams, S. 2016. DayCent ecosystem model, Colorado state university.
- 8- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. 2001. (Eds J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White) 1032 pp. Cambridge university press, Cambridge, UK.
- 9- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. The physical science basis. Cambridge University. Press; 165-177.
- 10- Khodaverdiloo, H., Homaei, M., Genuchten, M. T., and Dashtaki, S. G. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*; 399(1): 93-99.
- 11- Koocheki, A. and Kamali, G.H., 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), pp.508-520. (In Persian)
- 12- Kottogoda, N. T., and Rosso, R. 2008. *Applied statistics for civil and environmental engineers*: Wiley-Blackwell.
- 13- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment international*, 30(7), pp.981-990.
- 14- Moradi-Majd, N., Fallah-Ghalhari, G. and Chatrenor, M., 2022. Estimation of greenhouse gas emission flux from agricultural lands of Khuzestan province in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), p.811.
- 15- Moradi, R., and Pour Ghasemian, N. 2018. Investigation of greenhouse gas emissions and global warming potential due to the use of chemical inputs in agriculture of important crops in Kerman province: *Journal of Agricultural Ecology*; 9 (2): 405 -389. (In Persian).
- 16- Nikbakht Shahbazi, A. R. , 2018. Investigation of changes in precipitation and evapotranspiration of agricultural products in Khuzestan province under the influence of climate change, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 25 (6): 123- 139. (In Persian).
- 17- Pourkhabaz, A. 2002. *The major environmental disturbances of the present age (acid rain, ozone layer, global warming)*, compilation and translation. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).
- 18- Safari, M., and Abdi, R. 2016. Comparison of biogas production from canola and wheat residues in combination with animal manure, *Journal of Agricultural Machinery*; 6 (2): 476-487. (In Persian).
- 19- Robertson, G. P., Paul, E. A., and Harwood, R. R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*; 289: 1922-1935.
- 20- Tzilivakis, J. , Jaggard, K. , Lewis, K. A. , May, M. , and Warner, D. J. 2005. Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*; 2005;107:341-358.
- 21- Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H. and Robertson, G.P., 2010. Integrating livestock manure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass and Bioenergy*, 34(7), pp.960-966.
- 22- Weiler, D.A., Tornquist, C.G., Zschornack, T., Ogle, S.M., Carlos, F.S. and Bayer, C., 2018. Daycent simulation of methane emissions, grain yield, and soil organic carbon in a subtropical paddy rice system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42. Pp.1-12. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170251>