



Sensitivity Assessment of Nitrous oxide Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Lands of Khuzestan Province with Linear and Non-linear Models

Document Type
Research Paper

Nasrin Moradimajd¹, Gholam Abbas Fallahghalhari^{*2}, Mansour Chatrenour³

Received
2021/11/15

Accepted
2023/06/11

1. Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
2. Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
3. Department of Land Evaluation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.179285

Abstract

The aim of this study is to estimate emission of nitrous oxide gas in rice, wheat and sugarcane fields of Khuzestan using four models: DAYCENT, DNDC, YLRM and IPCC_EF. For this purpose, nitrous oxide gas precipitation was first measured. Then, using models was estimated nitrous oxide gas expansion rate. To evaluate and compare accuracy of models, statistical characteristics were used, coefficient of determination, maximum error, root mean squares error, modeling efficiency and remaining coefficient of residual mass. Release of nitrous oxide in rice cultivation in four models was estimated to be between 0.17 and 0.171. Rate of nitrous oxide emission from wheat cultivation was between 0.5-0.049 and from Shushtar station sugarcane cultivation was between -0.0371 and from Abadan station sugarcane cultivation was between 0.03-0.85. In linear regression model of rice cultivation (1.17), in IPCC_EF model, wheat cultivation (0.5) and sugarcane (3) obtained the highest amount of nitrous oxide gas per ton per hectare per year. According to results of statistical indicators for four models DAYCENT, DNDC, YLRM and IPCC_EF to estimate nitrous oxide gas were determined, respectively, the coefficient of determination (0.86, 0.94, 0.99 and 0.82), root mean squares error (0.03, 0.01, 0.85 and 0.26) and modeling efficiency (0.55, 0.94, -4.87 and -30.63). Compared to observed values, DAYCENT model for corn, DNDC model for rice, linear regression model for sugarcane cultivation of Abadan station showed good performance. Based on results of coefficient of determination, YLRM and DNDC models received the highest accuracy based on modeling efficiency of DNDC model.

Keywords: Nitrous oxide, Greenhouse gas, DNDC model, IPCC_EF model, YLRM linear regression model

Introduction

Among the greenhouse gases, nitrous oxide gas is considered one of the most important greenhouse gases due to its longevity in the atmosphere and its global warming potential (Signor & Cerri, 2013). Nitrogen oxide (N_2O) has a global warming potential (GWP) approximately 265-310 times that of carbon dioxide (CO_2) (Watson et al., 1996; IPCC, 1997; IPCC, 2007; IPCC, 2007) with an atmospheric lifetime of approximately 120 years. (Prather, 1998). N_2O is involved in the formation of secondary mineral aerosol and therefore causes air pollution in addition to climate change (Liu et al., 2017; Lu & Tian, 2013; Tian et al., 2011; Tian et al., 2012). The main sources of nitrous oxide emissions include nitrogen fertilizers, the use of human and animal waste, deforestation, fossil fuel combustion, and natural mechanisms in the soil and water ecosystem (Denman et al., 2007). Which, in addition to the mentioned sources of agricultural land, also causes the production of nitrous oxide, which is one of the important greenhouse gases in the agricultural sector and the biggest source of its emission (Reay et al., 2012). So that agricultural activities and the increase in cultivated areas have caused the release of nitrous oxide during the past centuries (Akbarzadeh, 2013; Smith et al., 2012). The purpose of this study is to estimate the emission of nitrous oxide in several rice, wheat and sugarcane fields in Khuzestan using four models DAYCENT, DNDC, YLRM and IPCC_EF.

Methodology/ Experimental Design

A sampling of nitrous oxide gas released from the soil: The current research was carried out in the form of random sampling with two factors, the type of cultivation and the date of measurement on the level of nitrous oxide emission. It was used to measure the nitrous oxide gas produced from the soil surface, using the closed chamber method and gas chromatography. Closed static chambers were used to collect gas samples. The temperature inside the chambers was measured by a mercury thermometer that was embedded in a part of the chambers. Immediately after collection, the samples were placed in special injection vials and the caps of the vials were covered with parafilm and placed in containers containing ice to prevent the escape of gases from the vials. After that, the samples were immediately transferred to the laboratory and read with a gas chromatography (GC) model APNA-370. During the research period, six samplings of selected agricultural lands were carried out in three repetitions. These obtained values were generalized to the whole year. Then, the amount of nitrous oxide greenhouse gas emission in wheat, rice and sugarcane farming was investigated with DAYCENT and DNDC models as well as linear regression models and IPCC_EF to study the flux of nitrous oxide gas in Khuzestan province. To evaluate the accuracy of the model, were used statistical indicators of maximum error, root mean square error, coefficient of determination, modeling efficiency and coefficient of residual mass.

Results and Discussion

The results obtained from the measured amounts of nitrous oxide greenhouse gas in sugarcane, rice and wheat crops showed that the maximum release is in the stages of stemming and going into clusters. The release of the mentioned gas in the first phase is related to entering the three-leaf stage, the second in the tillering stage, the third in the stalking stage and going to the cluster, the fourth in the yellowing and hardening of the grain, the fifth after harvesting and the sixth phase during the fallow period.

Based on the sampling results and the measured values in the time stages T_1 to T_2 when there was an increase in rooting and intensification of plant activities in these stages of plant growth, an increase in release was observed. It was also observed from T_2 to T_3 , according to the increase of plant activity (in the stages of stem formation and clustering, there was maximum plant activity, and any stress during this period can have a significant effect on yield and biomass, and the increase of release. It was observed in the T_4 stage due to a large decrease in root and plant activity (due to the plant reaching the end of growth and activity and entering the ripening stage) decreased release was observed. On the other hand, in the T_5 stage and the beginning of plant residue decomposition, the release increased compared to T_4 . In the time stage T_6 and During the fallow period of the field, there were no plant remains and cold air, which showed a decrease in release, indicating that temperature has an important effect on the release of gas from the soil. The measurement of nitrous oxide gas concentration in Baghmalek paddy fields was determined to be different from other studied crops. Because in the flooded state, nitrous oxide is very small and at zero level. Baghmalek rice paddies prevent the release of nitrous oxide because they are flooded. In these fields, because the water content in the soil is higher than the soil capacity, nitrous oxide is regenerated in the form of N_2 .

Performance comparison of four models DAYCENT, DNDC, YLRM and IPCC_EF: Based on the results obtained in rice cultivation, the highest amount of nitrous oxide was obtained from the linear regression method (1.17). Also, in the cultivation of wheat and sugarcane at Shushtar station and Abadan station, the maximum amount was determined by the DAYCENT model (0.106), (0.160) and (0.120) tons per hectare per year, respectively. Shows the rate of nitrous oxide flux in tons per hectare per year in four stations based on DAYCENT and DNDC models, as well as YLRM and IPCC_EF linear regression models. Considering that the shelf life of nitrous oxide gas is very long. Therefore, minor changes in nitrous oxide emissions from agricultural soil can have a relatively large effect on the greenhouse gas contribution of the cultivation system. The highest amount of nitrous oxide measured was in wheat cultivation (0.104) and also using DAYCENT and DNDC models in sugarcane at Shushtar station, it was determined to be 0.160 and 0.115 tons per hectare per year, respectively. The highest amount of nitrous oxide was obtained using the YLRM linear regression model in rice cultivation (1.17) and the IPCC_EF model in sugarcane cultivation in both stations with the amount of 3 tons per hectare per year. The amount of nitrous oxide emission from rice cultivation varies between 1.17-0.001 in a total of four models. Nitrous oxide emissions from wheat cultivation varied between 0.5-0.049, from sugarcane cultivation at Shushtar station between 0.3-0.071 and sugarcane cultivation at Abadan station between 0.3-0.085. Compared to the observed values, DAYCENT in corn cultivation, DNDC in rice cultivation, and linear regression in sugarcane cultivation at Abadan station showed good performance.

It was used to evaluate the accuracy of DAYCENT, DNDC, YLRM and IPCC_EF models for nitrous oxide gas from various statistical indicators. The results showed that according to the statistical index of the coefficient of determination (R^2), YLRM linear regression (0.99) has the most accuracy, however, all three models have a suitable range of accuracy above 0.50. After that, the coefficient of determination (R^2) was based on DNDC. The RPD index of the highest efficiency based on the DNDC model was determined with a value of 4.29. While based on the linear regression models of YLRM and IPCC-EF, it showed a weakness in estimating the accuracy of the model based on this statistical index. Based on the statistical index SD, the DNDC model was determined to have the highest accuracy (0.04) and then the DAYCENT model (0.06). But all the models were in the appropriate accuracy range. CRM index in DAYCENT, YLRM and IPCC_EF models indicates overestimation and based on the DNDC model it indicates an underestimation of the model. Based on the EF statistical index, DAYCENT and DNDC models were determined in the appropriate accuracy range. While the efficiency based on the YLRM and IPCC_EF model is considered very weak and part of outlier data in the accuracy range. Based on the statistical index of CD in the DNDC model with a rate of 0.91, it obtained the highest value and in the YLRM linear regression method with the lowest value. In the YLRM linear regression, the RMSE value was the highest (0.58) and in the DNDC model, the lowest value (0.01). But in all cases, this statistic was below one and it was obtained in a suitable accuracy range. The value of ME in the YLRM linear regression model was determined with the highest value of 1.14 and the lowest value in the DNDC model with a value of 0.01, followed by the DAYCENT model with a value of 0.05 (the worst case).

Conclusion

In rice cultivation, the highest amount of nitrous oxide was obtained with the linear regression method, in wheat and sugarcane cultivation, the highest amount was obtained with the DAYCENT model. Based on the statistical index of the coefficient of determination (R^2), all three models have a suitable range of accuracy above 0.50. The highest index value of RPD, SD and CD were determined based on the DNDC model. CRM index was overestimated in DAYCENT, YLRM and IPCC_EF models and underestimated in the DNDC model. Based on EF statistical index, DAYCENT and the DNDC models were in the appropriate accuracy range. RMSE value and ME value in YLRM linear regression obtained the highest value and the DNDC model obtained the lowest value. Compared to the observed values, the DAYCENT model for corn, the DNDC model for rice, and the linear regression model for sugarcane cultivation at Abadan station showed good performance. According to the results of the coefficient of determination, YLRM and DNDC models and based on the efficiency of the DNDC model obtained the most accuracy.

References

Akbarzadeh, M. 2013. Methane and its role in global warming, *Transplant Science Journal*. 2 (2): 37- 41. (In

persian)

- Denman, K.L.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P.M.; Dickinson, R.E.; Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; Lohmann, U.; Ramachandran, S.; Da Silva Dias, P.L.; Wofsy, S.C. & Zhang, X. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. 499-588.
- IPCC. 1997. IPCC (Revised 1996) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook, Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.
- IPCC. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, Cambridge University Press, UK and New York USA
- Liu, X.; Xu, W.; Duan, L.; Du, E.; Pan, Y. & Lu, X. 2017. Atmospheric nitrogen emission, deposition, and air quality impacts in China: an overview, *Curr. Pollut. Rep.* 3 (2), 65–77
- Lu, C. & Tian, H. 2013. Net greenhouse gas balance in response to nitrogen enrichment: perspectives from a coupled biogeochemical model, *Glob. Chang. Biol.* 19, 571–588.
- Prather, M.J. 1998. Time scales in atmospheric chemistry: coupled perturbations to N₂O, NO_x, and O₃, *Science* 279, 1339–1341.
- Reay, D.S.; Davidson, E.A.; Smith, K.A.; Smith, P.; Melillo, J.M.; Dentener, F. & Crutzen, P.J. 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions, *Nature climate change*, 2, 410-416.
- Signor, D. & Cerri, C.E.P. 2013. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, 43(3): 322-338.
- Smith, K.A.; Mosier, A.R.; Crutzen, P.J. & Winiwarter, W. 2012. The role of N₂O derived from crop-based biofuels, and from Agriculture in general in earth's climate, *Philosophical transactions of the royal society*, 367: 1169–1174.
- Tian, H.; Xu, X.; Lu, C.; Liu, M.; Ren, W.; Chen, G.; Melillo, J. & Liu, J. 2011. Net exchanges of CO₂, CH₄, and N₂O between China's terrestrial ecosystems and the atmosphere and their contributions to global climate warming, *J. Geophys. Res.*, <https://doi.org/10.1029/2010JG001393>.
- Tian, H.; Lu, C.; Melillo, J.; Ren, W.; Huang, Y.; Xu, X.; Liu, M.; Zhang, C.; Chen, G.; Pan, S.; Liu, J. & Reilly, J. 2012. Food benefit and climate warming potential of nitrogen fertilizer use in China, *Environ. Res. Lett.* 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044020>.
- Watson, R.T.; Zinyowera, M. C.; Moss, R. H. & Dokken, D.J. 1996. Climate change 1995, impacts, adaptation and mitigation of climate change. Scientific technical report analysis, In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 880 (Cambridge, New York).

ارزیابی حساسیت‌سنجی تصاعد گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس در برخی اراضی زراعی استان خوزستان با مدل‌های خطی و غیر خطی

نسرین مرادی مجد^۱، غلامعباس فلاح قاهری^{۲*}، منصور چترنور^۳

۱. دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲. دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳. پژوهشگر موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱

چکیده

هدف مطالعه حاضر برآورد انتشار گاز اکسید نیتروس در تعدادی از مزارع برنج، گندم و نیشکر خوزستان با استفاده از چهار مدل DAYCENT، YLRM، DNDC و IPCC_EF است. برای این منظور در ابتدا میزان تصاعد گاز اکسید نیتروس در اراضی زراعی اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از مدل‌ها میزان تصاعد گاز اکسید نیتروس برآورد گردید. برای ارزیابی و مقایسه دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه میانگین مربعات خطا، کارایی مدل و ضریب جرم باقی‌مانده استفاده شد. انتشار اکسید نیتروس کشت برنج در چهار مدل بین ۰/۰۰۱-۱/۱۷ برآورد گردید. میزان انتشار اکسید نیتروس از کشت گندم بین ۰/۰۴۹-۰/۵ و از کشت نیشکر ایستگاه شوشتر بین ۰/۰۷۱-۳ و از کشت نیشکر ایستگاه آبادان بین ۰/۰۸۵-۳ متغیر تعیین شد. در مدل رگرسیون خطی کشت برنج (۱/۱۷)، در مدل IPCC_EF کشت‌های گندم (۰/۵)، و نیشکر (۳) بیش‌ترین مقدار تصاعد گاز اکسید نیتروس تن در هکتار در سال به دست آوردند. با توجه به نتایج شاخص‌های آماری برای چهار مدل DAYCENT، YLRM، DNDC و IPCC_EF جهت برآورد گاز اکسید نیتروس، به ترتیب، ضریب تعیین (۰/۸۶، ۰/۹۴، ۰/۹۹ و ۰/۸۲)، ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۳، ۰/۰۱، ۰/۵۸ و ۰/۲۶) و کارایی مدل (۰/۵۵، ۰/۹۴، ۰/۸۷-۱۴۷/۶۳-) تعیین شد. در مقایسه با مقادیر مشاهده شده، مدل DAYCENT برای ذرت، مدل DNDC برای برنج، مدل رگرسیون خطی برای کشت نیشکر ایستگاه آبادان عملکرد خوبی را نشان دادند. با توجه به نتایج شاخص ضریب تعیین، مدل‌های YLRM و DNDC و بر اساس کارایی مدل DNDC بیش‌ترین دقت را به دست آوردند.

کلید واژه‌ها: اکسید نیتروس، گاز گلخانه‌ای، مدل DNDC، مدل IPCC_EF، مدل رگرسیون خطی YLRM.

سرآغاز

نیترژن در آب و خاک به صورت نترات و نیتریت درآمده و وارد چرخه نیترژن می‌شود. اگر چه همه این اشکال نیترژن با یکدیگر در ارتباط هستند ولی خصوصیات نترات و نیتریت طبیعی تغییر یافته است. این تغییرات به ویژه در کودهای شیمیایی نیترژن‌دار وجود دارد (Bavarsad, 2018). حدود ۷۰ درصد گاز اکسید نیتروس آزاد شده به جو زمین، از خاک حاصل می‌شود (Bouwman, 1990) لذا برای شناسایی عوامل موثر در انتشار آن می‌بایست به چرخه نیترژن در واحدهای کشاورزی توجه نمود (Muharri, 2003). در میان گازهای گلخانه‌ای، گاز اکسید نیتروس با توجه به طول عمر ماندگاری در جو و پتانسیل گرمایش جهانی آن از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بشمار می‌رود (Signor & Cerri, 2013). اکسید نیترژن (N_2O) دارای پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) تقریباً ۲۶۵-۳۱۰ برابر دی اکسید کربن (CO_2) (Watson et al., 1996; IPCC, 1997; IPCC, 2007; IPCC, 2007) با طول عمر جوی تقریباً ۱۲۰ سال است (Prather, 1998). میزان جهانی انتشار N_2O در سال ۱۹۷۰ از ۵/۴ به ۹/۲ گرم در مترمربع در سال ۲۰۱۲ افزایش یافته است. N_2O در تشکیل آئروسول معدنی ثانویه دخیل است و بنابراین علاوه بر تغییرات آب و هوایی، باعث آلودگی هوا نیز می‌شود (Tian et al., Tian et al., 2017; Lu & Tian, 2013; Liu et al., 2012; 2011). منابع اصلی انتشار گاز اکسید نیتروس شامل کودهای شیمیایی ازته، کاربرد پسماندهای انسانی و حیوانی، جنگل‌زدایی، احتراق سوخت‌های فسیلی و مواردی از ساز و کارهای طبیعی که در اکوسیستم‌های آبی است (Denman et al., 2007). که علاوه بر منابع ذکر شده اراضی کشاورزی نیز سبب تولید اکسید نیتروس که از گازهای گلخانه‌ای مهم در بخش کشاورزی و بزرگ‌ترین منبع منتشرکننده آن است (Reay et al., 2012). به طوری که فعالیت‌های کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت سبب انتشار اکسید نیتروس در طول قرون گذشته شده است (Akbarzadeh, 2013; Smith et al., 2012). از رایج‌ترین کشت‌ها می‌توان به گندم، برنج و نیشکر اشاره کرد که در کشور ایران و به ویژه استان خوزستان به فراوانی کشت می‌شود. سطح زیر کشت گندمزارهای شوش در این استان در حدود ۶۲ هزار هکتار، سطح زیر کشت شالیزارهای شهرستان باغملک بیش از ۳ هزار هکتار، سطح زیر کشت مزارع نیشکر آبادان

۶۲ هزار هکتار و مزارع نیشکر شوشتر ۴۸ هزار هکتار می‌باشد (Statistical Center of Iran, 2018). در زمینه بررسی وضعیت تولید گازهای گلخانه‌ای، Rajabi et al., (2012) به ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش کشت گندم استان گرگان پرداختند و اطلاعات مربوط به روش‌های تولیدی و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌های تولید برای ۳ سال زراعی از ۶ مزرعه گندم بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار پتانسیل گرمایش جهانی GWP ناشی از تولید گندم بین ۲۶۸-۹۲۳ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار متغیر بود که معادل ۱۰۳/۸-۲۷۱/۵ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای هر تن گندم بود. Elhami et al., (2016) در پژوهشی به بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با روش تحلیل پوششی داده‌ها عدس آبی پرداختند. بر اساس دو مدل «بازگشت به مقیاس ثابت» و «بازگشت به مقیاس متغیر»، مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب برابر با ۰/۹۶۰، ۰/۹۶۱ و ۰/۹۶۱ محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که آب آبیاری و کود نیترژن به ترتیب با ۲۸٪ و ۲۰٪ دارای بیش‌ترین سهم از کل انرژی ذخیره‌شده بودند. مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به ترتیب ۹۳۰/۴۵ و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن (۱۸/۵٪ کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای) محاسبه شدند. Mousavi et al., (2017) تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن و متان در ارتباط با متغیرهای محیطی در ایران را انجام دادند. از داده‌های ماهواره‌ای GOSAT، MOD13Q1 و MOD11C3 و همچنین روش رگرسیون خطی چند متغیره برای تعیین غلظت گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن و متان با متغیرهای دما، رطوبت و ارتفاع و شاخص‌های NDVI و LST، پرداختند. مطابق با نتایج، ارتباط منفی بین گازهای دی اکسید کربن و متان با متغیرهای HUM، HIG، NDVI و ارتباط مثبت با متغیرهای LST و TEM در فصول مختلف سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. این روابط بیان می‌کنند که با افزایش رطوبت، ارتفاع و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی و کاهش دمای هوا غلظت گازهای دی اکسید کربن و متان جو کاهش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج، پوشش گیاهی در فصل بهار مهم‌ترین عامل در تغییرات گاز دی اکسید کربن و متان است در صورتی که در سایر فصول

تاثیرگذار بر انتشار اکسیدنیتروس از زمین‌های کشاورزی را با مدل‌های DAYCENT، SWAT و DNDC شبیه‌سازی کردند. نتیجه‌گیری شد که هر دو مدل برای شبیه‌سازی مقیاس کوچک پویایی نیتروژن در خاک مناسب هستند.

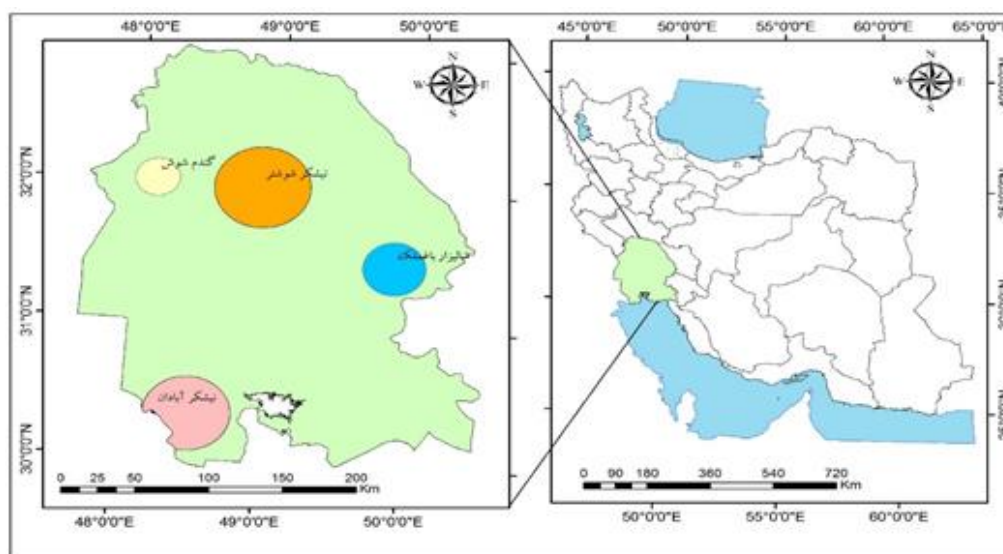
استان خوزستان از مهم‌ترین مراکز تولید گندم، برنج و نیشکر در کشور می‌باشد از این رو میزان انتشار گاز اکسید نیتروس برای این سه کشت در استان قابل توجه به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت کشت‌های مذکور و پتانسیل ۲۶۵ برابری اکسیدنیتروس نسبت به دی‌اکسیدکربن در گرمایش جهانی و با نظر به این که برآورد تصاعد اکسید نیتروس در شبیه‌سازی اکوسیستم‌های کشاورزی در ایران صورت نگرفته است، هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان انتشار گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس در زراعت گندم، برنج و نیشکر با مدل‌های DAYCENT و DNDC و همچنین مدل‌های رگرسیون خطی و IPCC_EF جهت مطالعه شار گاز اکسید نیتروس در استان خوزستان است.

مواد و روش بررسی منطقه مطالعاتی

شهرستان‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ ایستگاه شوش، باغملک، شوشتر و آبادان است. موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مورد مطالعه در شکل (۱) و جدول (۱) آورده شده است.

سال پارامترهای اقلیمی نقش پررنگ تری در ارتباط با این گازها نشان می‌دهد.

Olivas et al., (2017) پیش‌بینی تغییرات خاک در تغییر شکل‌گیری نیشکر در برزیل با استفاده از مدل DayCent را انجام دادند. مدل DayCent برآورد کرد که تبدیل در منطقه NV-PA باعث کاهش تلفات SOC از ۰/۰۳ به ۰/۳۴ میلی‌گرم در هکتار در سال می‌شود، درحالی‌که تبدیل در منطقه PA-SG باعث افزایش بهره‌وری SOC ۰/۰۴ به ۰/۱۶ میلی‌گرم در هکتار در سال می‌شود. (Gaillard et al., (2017) مقادیر نیتروژن N_2O را با استفاده از مدل‌های DayCent، DNDC و EPIC برآورد کردند. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که مدل‌ها مقدار روزانه و شار N_2O تجمعی را کم نشان داده است. (Lai et al., (2017) پیش‌بینی اثرات مرتبط خاک و محیط‌زیست برای تولید انرژی زیستی را با روش مدل‌سازی DAYCENT در مزارع تولید زنجبیل انجام دادند. در این تحقیق، کود دهی متوسط نیتروژن به عنوان شاخص بهینه برای افزایش عملکرد و کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست بود. این نرخ باعث کاهش جریان N_2O و CO_2 در سال‌های آبی پیش‌بینی شده که باعث بهبود خاک بدون تاثیر منفی بر محیط‌زیست در درازمدت می‌باشد. (Fuchs et al., (2021) ارزیابی پتانسیل کاهش انتشار اکسیدنیتروس در کشت حبوبات با مدل‌های APSIM و DAYCENT انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که حدود ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال از این مزارع منتشر می‌شود. (Wang et al., (2021) عوامل



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مورد مطالعه

جدول (۱): اطلاعات ایستگاه‌های انتخاب‌شده برای شبیه‌سازی روزانه گاز اکسید نیتروس خروجی

ایستگاه	منطقه در خوزستان	موقعیت جغرافیایی	سیستم کشت	میزان کود نیتروژن (kg N ha ⁻¹)
باغملک	شمال شرقی	بین ۳۳ تا ۵۰ و ۱۵ طول شرقی و ۳۱ و ۳۱ تا ۴۳ عرض شمالی	برنج	۱۵۰
شوش	مرکز	بین ۳۲ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی	گندم	۵۰
شوشتر	مرکز	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 عرض شمالی	نیشکر	۳۰۰
آبادان	جنوب غربی	طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه	نیشکر	۳۰۰

نمونه‌برداری از گاز اکسید نیتروس انتشار یافته از خاک

پژوهش حاضر در قالب نمونه‌گیری تصادفی با دو عامل نوع کشت و تاریخ اندازه‌گیری بر میزان تصاعد اکسید نیتروس اجرا شد. جهت اندازه‌گیری گاز اکسید نیتروس تولید شده از سطح خاک، از روش اتاقلک بسته و کروماتوگرافی گازی استفاده شد. جهت برداشت نمونه‌های گازی متصاعد شده، از اتاقلک‌های بسته ساکن استفاده گردید. دمای داخل اتاقلک‌ها به وسیله دماسنج جیوه‌ای که در قسمتی از بدنه اتاقلک‌ها تعبیه شده بود، اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در ویال‌های مخصوص تزریق و درپوش ویال‌ها بوسیله پارافیلیم پوشانده شدند و در ظروف حاوی یخ قرار داده شدند تا از خروج گازها از ویال‌ها جلوگیری به عمل آید. پس از آن، بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و با دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مدل APNA-370 قرائت شدند. در طول دوره تحقیق شش نمونه‌برداری از اراضی زراعی منتخب در سه تکرار انجام شد. این مقادیر به دست آمده به کل سال تعمیم داده شدند.

مدل DAYCENT

این مدل نسخه زمان‌بندی روزانه CENTURY، یک مدل پردازش شده برای شبیه‌سازی پویایی کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد در سیستم‌های خاک-گیاه است (Del Grosso et al., 2001). این مدل در ابتدا در دهه ۱۹۷۰ به منظور 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 به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که جهت شبیه‌سازی رشد گیاه و تغییرات مواد

آلی خاک برای اکثر اکوسیستم‌های زمینی در سراسر جهان قابل استفاده است (Moradi-Majd et al., 2020). 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، پوشه برنامه، پوشه وضعیت آب و هوا و بسیاری از فایل‌های خروجی است. پوشه‌های پارامتر ورودی با یک پسوند "۱۰۰۰" استفاده می‌شود. پوشه‌های پارامتر ورودی منحصر به DAYCENT دارای فرمت "in" است. پوشه‌های آب و هوای روزانه دارای پسوند "wth" هستند. همه پوشه‌های پارامتر ورودی (* .in، * .dat)، پوشه‌های هواشناسی (* .wth) و پوشه برنامه (* .sch) پوشه‌های متنی هستند که می‌توانند با هر ویرایشگر متن به روز شوند. پوشه‌های باینری خروجی با "bin"، "out" و "csv" هستند. برنامه List100 برای استخراج مقادیر از پوشه باینری استفاده می‌شود و آن‌ها را به یک پوشه 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 اشباع شده 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 گندم در معادله (۱)، برنج در معادله (۲) و نیشکر در معادله (۳) آورده شده است.

(۱) 1 279 CULT P 1 303 CULT S 1 304 FERT 5N 1 314 PLTM 1 354 FERT 5N 1 19 FERT 5N 1 49 FERT 5N 1 93 LAST

(۲) 1 141 OMAD M2 1 150 CULT P 1 154 CULT H 1 155 FERT 5N 1 170 IRR1 A100 1 172 PLTM 1 173 OMAD M1 1 177 IRR1 A0 1 203 FERT 5N 1 314 LAST

(۳) 1 50 CULT P 1 98 FERT 3N 1 129 FERT 4N 1 180 FERT 3N 1 206 PLTM 1 211 IRR1 A60 1 254 IRR1 A0 1 284 LAST

مدل DNDC

بخش گیاه و خاک امکان واسنجی دارد. برای واسنجی مدل در این منطقه مقادیر خصوصیات فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی، درصد تخلخل، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و قابلیت نفوذ آب در خاک تعیین شد و مدل با استفاده از این داده‌ها کالیبره گردید. در بخش گیاه مدل جهت نسبت C/N اجزای مختلف گیاه و مقدار محصول بهینه منطقه کالیبره شد. با استفاده از داده‌های ورودی در جدول (۲) مدل DNDC v.9.5 در حال حاضر استفاده شده است.

یک مدل شبیه‌ساز روزانه، مزرعه مقیاس، و قابلیت استفاده در زمینه تجزیه و دینتریفیکاسیون است (Li et al., 2006) و برای واکنش‌های بیوشیمیایی کربن و نیتروژن در اکوسیستم‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل دارای دو حالت قابل شبیه‌سازی ۱. حالت محلی ۲. حالت منطقه‌ای. در حالت محلی ورودی‌های مدل در سه دسته تقسیم می‌شوند ۱. ورودی‌های اقلیم ۲. ورودی‌های خاک ۳. ورودی‌های مدیریت زراعی. مدل در دو

جدول (۲): داده‌های ورودی برای مدل‌های شبیه‌سازی

آیتم داده‌ها	DAYCENT	DNDC	YLRM	IPCC
موقعیت جغرافیایی	طول و عرض جغرافیایی	عرض جغرافیایی	-	-
عوامل اقلیمی	حداکثر دمای روزانه؛ حداقل دمای روزانه؛ بارش روزانه؛ نشست نیتروژن	مشابه موارد DAYCENT	میانگین سالانه دما	-
عوامل خاکشناسی	کسر رس خاک، سیلت و شن خاک، چگالی تراکم خاک؛ pH	SOC؛ بافت خاک؛ مقدار رس خاک؛ چگالی تراکم خاک؛ pH	مقدار خاک رس	-
زمان رشد	نوع محصول؛ تاریخ کاشت؛ تاریخ برداشت	مشابه موارد DAYCENT	نوع محصول	-
عملیات مدیریتی	میزان کود نیتروژن، تاریخ کوددهی و نوع کود، مقدار و تاریخ آبیاری؛ شدت و تاریخ خاکورزی و مقدار بازگشت کاه	مشابه موارد DAYCENT	میزان کود نیتروژن؛ نوع کود نیتروژن	میزان کود نیتروژن

سانتی‌گراد)، Clay میزان کسر رس خاک بر حسب درصد را نشان می‌دهد. داده‌های مورد نیاز عبارتند از: میزان کاربرد کود نیتروژن، میانگین دمای سالانه هوا، مقدار رس خاک، نوع محصول و نوع کود (Yue et al., 2019) (جدول ۱).

روش IPCC_EF

در آخر، از روش ضریب انتشار IPCC درجه ۱ (IPCC_EF)، انتشار سالانه اکسید نیتروس تجمعی (مجموع اکسید نیتروس) در کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

مدل رگرسیون خطی YLRM

در این تحقیق مدل رگرسیون خطی نیز استفاده شد (Yue et al., 2018). این روش مجموع اکسید نیتروس انتشار یافته (Cum N₂O) در کیلوگرم در هکتار در فصل بر اساس معادله زیر محاسبه می‌کند:

(۴)

$$\text{CumN}_2\text{O} = \text{Exp}(-2.709+0.004 \times \text{Nrate}+0.074 \times \text{Temp}+0.013 \times \text{Clay}+\beta_1 \times \text{croptype}+\beta_2 \times \text{Nrate} \otimes \text{fert type}+\varepsilon)$$

که در آن نرخ N بیانگر میزان کاربرد کود نیتروژن در کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ Temp دمای متوسط سالانه هوا (درجه

(Rosso, 2008).

$$ME = \text{MAX } |Pi - Oi|_{i=1}^n \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2 / n} \quad (۶)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (Pi - \bar{O})^2} \quad (۷)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2} \quad (۸)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Oi - \sum_{i=1}^n Pi}{\sum_{i=1}^n Oi} \quad (۹)$$

که در روابط فوق، Pi مقادیر شبیه‌سازی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد.

نتایج و بحث

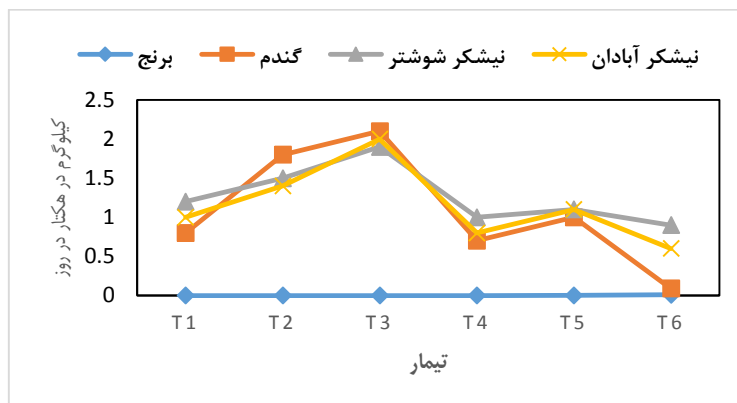
نتایج به دست آمده از مقادیر اندازه‌گیری شده گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس در کشت‌های زراعی نیشکر، برنج و گندم در شکل (۱) نشان داد که حداکثر آزادسازی در مراحل ساقه‌دهی و به خوشه رفتن است. آزادسازی گاز مذکور در فاز اول مربوط به وارد شدن به مرحله سه برگی، دوم در مرحله پنجه زنی، سوم در مرحله ساقه‌دهی و به خوشه رفتن، چهارم در مرحله زرد شدن و سخت شدن دانه، پنجم پس از برداشت و فاز ششم در زمان آیش مزرعه بود. بر اساس نتایج نمونه‌برداری و مقادیر اندازه‌گیری شده در مراحل زمانی T₁ به T₂ که در این مراحل رشد گیاه و افزایش ریشه‌دهی و تشدید فعالیت‌های گیاه وجود داشت، افزایش آزادسازی مشاهده گردید. از تاریخ T₂ به T₃ نیز مطابق با افزایش فعالیت گیاه (در مراحل ساقه‌دهی و خوشه‌دهی حداکثر فعالیت گیاه وجود داشته و هرگونه تنشی در این دوران می‌تواند بر عملکرد و بیوماس اثر معناداری داشته باشد و افزایش آزادسازی مشاهده شد. در مرحله T₄ به دلیل کاهش زیاد فعالیت ریشه و گیاه (به دلیل رسیدن گیاه به پایان رشد و فعالیت و وارد شدن به مرحله رسیدگی) کاهش آزادسازی مشاهده شد. از طرفی دیگر در مرحله T₅ و شروع تجزیه بقایای گیاهی افزایش آزادسازی نسبت به T₄ مشاهده شد. در مرحله زمانی T₆ و زمان آیش مزرعه، عدم وجود بقایای گیاهی و سردی هوا وجود داشت که روند کاهش در آزادسازی را نشان داده بیانگر این است که دما اثر مهمی بر آزادسازی گاز از خاک دارد (شکل ۲).

$$\text{Cum N}_2\text{O} = \text{Nrate} \times \text{EF} \quad (۵)$$

که در آن نرخ N بیانگر میزان کاربرد کود نیتروژن در کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ و مقادیر EF برای محصولات مرتفع ۰/۰۱ و برای کشت برنج ۰/۰۳ است. تنها داده‌های مورد نیاز میزان کود نیتروژن برای این مدل است (Yue et al., 2019) (جدول ۲).

شاخص‌های آماری

به منظور ارزیابی دقت مدل، از شاخص‌های آماری خطای حداکثر، ریشه 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 R² استفاده می‌شود (Ewert et al., 2005). در علم آمار این ضریب به دو صورت تعریف می‌شود. تعریف اول عبارت است از $R^2 = 1 - \frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$ و تعریف دیگر $R^2 = \frac{\sum (Pi - \bar{O})^2}{\sum (Oi - \bar{O})^2}$ می‌باشد. در بررسی کمی مدل‌ها شاخص CD در حقیقت معکوس تعریف دوم و شاخص EF همان تعریف اول از R² است. تعریف اول همواره بین صفر و یک تغییر می‌کند و تعریف دوم، می‌تواند از ۱ 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 مارکواردت (Marquardt, 1963) استفاده شد. مقادیر CD نیز معرف نسبت بین پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر می‌باشد. مقایسه 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 (Homaei & Kottegoda et al., 2002; Moradi-Majd et al., 2022).



شکل (۲): روند تغییرات آزادسازی اکسید نیتروس در تیمارهای زراعی نیشکر، برنج و گندم

با نظر به این که مدت ماندگاری گاز اکسید نیتروس بسیار زیاد است. بنابراین تغییرات جزئی در انتشار اکسید نیتروس از خاک کشاورزی می‌تواند تاثیر نسبتاً بزرگی در سهم گاز گلخانه‌ای سیستم کشت داشته باشد. بیش‌ترین مقدار اکسید نیتروس اندازه‌گیری شده در کشت گندم (۰/۱۰۴) بوده و همچنین استفاده از مدل DAYCENT و DNDC در نیشکر ایستگاه شوشتر به ترتیب ۰/۱۶۰ و ۰/۱۱۵ تن در هکتار در سال تعیین شد. بیش‌ترین مقدار اکسید نیتروس با استفاده از مدل رگرسیون خطی YLRM در کشت برنج (۱/۱۷) و مدل IPCC_EF در کشت نیشکر در هر دو ایستگاه با مقدار ۳ تن در هکتار در سال به دست آمد (شکل ۳). میزان انتشار اکسید نیتروس از کشت برنج در مجموع چهار مدل بین ۰/۰۰۱ - ۱/۱۷ متغیر است. میزان انتشار اکسید نیتروس از کشت گندم بین ۰/۰۴۹ - ۰/۵ و از کشت نیشکر ایستگاه شوشتر بین ۰/۰۷۱ - ۰/۳ و از کشت نیشکر ایستگاه آبادان بین ۰/۰۸۵ - ۳ متغیر تعیین شد. در مقایسه با مقادیر مشاهده شده، DAYCENT در کشت ذرت، DNDC در کشت برنج، رگرسیون خطی در کشت نیشکر ایستگاه آبادان عملکرد خوبی را نشان دادند.

اندازه‌گیری غلظت گاز اکسید نیتروس در شالیزارهای باغملک متفاوت با سایر کشت‌های مورد بررسی تعیین شد. زیرا، در حالت غرقابی اکسید نیتروس بسیار ناچیز و در حد صفر است. شالیزارهای برنج باغملک به دلیل این که حالت غرقابی دارند از انتشار اکسید نیتروس جلوگیری می‌کنند. در این مزارع چون محتوای آب موجود در خاک از ظرفیت خاک بیشتر است، اکسید نیتروس به شکل N_2 احیاء می‌شود.

مقایسه عملکرد چهار مدل DAYCENT، DNDC، IPCC_EF و YLRM

بر اساس نتایج به دست آمده در کشت برنج بیش‌ترین مقدار اکسید نیتروس از روش رگرسیون خطی (۱/۱۷) به دست آمده است. همچنین در کشت گندم، نیشکر ایستگاه شوشتر و ایستگاه آبادان، بیش‌ترین مقدار با مدل DAYCENT به ترتیب (۰/۱۰۶)، (۰/۱۶۰) و (۰/۱۲۰) تن در هکتار در سال تعیین شد. در جدول (۳) نرخ شار اکسید نیتروس تن در هکتار در سال در چهار ایستگاه بر اساس مدل‌های DAYCENT و DNDC و همچنین مدل‌های رگرسیون خطی IPCC_EF و YLRM آورده شده است.

جدول (۳): میزان تصاعد اکسید نیتروس (تن در هکتار در سال)

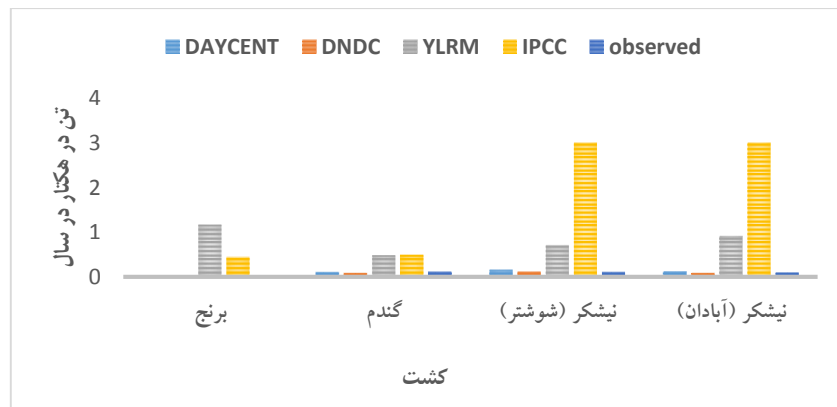
کشت	IPCC	YLRM	DNDC	DAYCENT	مشاهده شده
برنج	۰/۴۵	۱/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳
گندم	۰/۵	۰/۰۴۹	۰/۰۸۸	۰/۱۰۶	۰/۱۰۴
نیشکر (شوشتر)	۳	۰/۰۷۱	۰/۱۱۵	۰/۱۶۰	۰/۱۰۲
نیشکر (آبادان)	۳	۰/۰۹۲	۰/۰۸۵	۰/۱۲۰	۰/۰۹۵

نیتروفیکاسیون و تعیین میزان تغییرات ساختار جامعه میکروبی بر نیتروژن‌زدایی دارد ولی مقدار انتشار اکسید نیتروس شبیه‌سازی شده

(Del Grosso et al., 2008) در پژوهش خود بیان کردند که با وجود اینکه مدل DAYCENT کارایی لازم را در برآورد نرخ

نتایج خود اشاره کردند که مقادیر شبیه‌سازی DAYCENT در تخمین میانگین شار اکسید نیتروس در محدوده دامنه تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده گازها در محیط است.

نسبت به مقدار محاسبه شده از سطح مزرعه زیادتر است. در این تحقیق نیز مدل DAYCENT میزان گسیل گازها را کمی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده نشان داد ولی با توجه به شاخص‌های آماری نتایج قابل قبول است. (Gathany et al., 2012)



شکل (۳): مقایسه شار اکسید نیتروس در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

اساس شاخص آماری CD (ضریب تبیین) در مدل DNDC با میزان ۰/۹۱ بیش‌ترین مقدار و در روش رگرسیون خطی YLRM با میزان کم‌ترین مقدار را به دست آورد. در رگرسیون خطی YLRM مقدار RMSE بیش‌ترین مقدار (۰/۵۸) و در مدل DNDC کم‌ترین مقدار (۰/۰۱) را به دست آورد. ولی در همه موارد این آماره زیر یک بوده و در دامنه دقتی مناسب به دست آمد. مقدار ME (خطای ماکسیمم) در مدل رگرسیون خطی YLRM با ۱/۱۴ بیش‌ترین مقدار و در مدل DNDC با میزان ۰/۰۱ کم‌ترین مقدار و پس از آن مدل DAYCENT با میزان ۰/۰۵ (بدترین حالت) تعیین شدند. در اشکال (۴ تا ۷) شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل‌های DAYCENT، DNDC، YLRM و IPCC نشان داده شده است.

در پژوهش Yue et al., (2019) مدل‌های DAYCENT و DNDC مقادیر R^2 محصولات زراعی را برابر ۰/۶۰ و ۰/۶۶ به دست آوردند، اما در هر دو مدل تمام اندازه‌گیری‌ها به طور قابل توجهی کم برآوردی را نشان داد. همچنین میزان انتشار فصلی گاز اکسید نیتروس را برای DAYCENT، DNDC، YLRM و IPCC به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۳۰، ۰/۲۱ و ۰/۱۷ به دست آوردند. در این تحقیق مقادیر R^2 مدل DAYCENT و مدل DNDC برای سه گاز ۰/۸۶ و ۰/۹۴ قرار گرفت. R^2 برای دو مدل YLRM و IPCC نیز به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۸۲ به دست آمد. همچنین

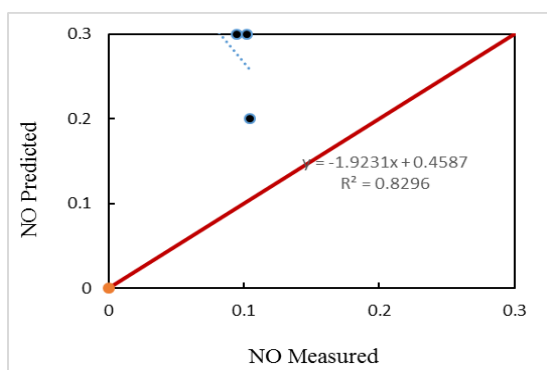
به منظور ارزیابی دقت مدل‌های DAYCENT، DNDC، YLRM و IPCC_EF برای گاز اکسید نیتروس از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. نتایج جدول (۴) نشان داد که بر اساس شاخص آماری ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی YLRM بیش‌ترین دقت را داشته با این وجود هر سه مدل دامنه دقتی مناسب و بالاتر از ۰/۵۰ را دارند. بعد از آن ضریب تبیین (R^2) بر مبنای DNDC قرار گرفت. شاخص RPD (نسبت انحراف کارایی) بالاترین کارایی بر مبنای مدل DNDC با مقدار ۴/۲۹ تعیین شد. در حالی که بر مبنای مدل‌های رگرسیون خطی YLRM و IPCC_EF ضعف برآورد دقت مدل را بر اساس این شاخص آماری نشان داد. بر اساس شاخص آماری SD (انحراف معیار) مدل DNDC بیش‌ترین دقت (۰/۰۴) و سپس مدل DAYCENT (۰/۰۶) تعیین شدند. ولی تمام مدل‌ها در دامنه دقتی مناسب قرار داشتند. شاخص CRM (ضریب جرم باقی‌مانده) در مدل‌های DAYCENT، YLRM و IPCC_EF نشان‌دهنده بیش برآوردی و بر مبنای مدل DNDC نشان‌دهنده کم برآوردی مدل است.

بر اساس شاخص آماری EF (کارایی مدل) مدل‌های DAYCENT و DNDC در دامنه دقتی مناسب تعیین شدند. در حالی که کارایی بر مبنای مدل YLRM و IPCC_EF در دامنه دقتی بسیار ضعیف و جزء داده‌های پرت محسوب می‌شود. بر

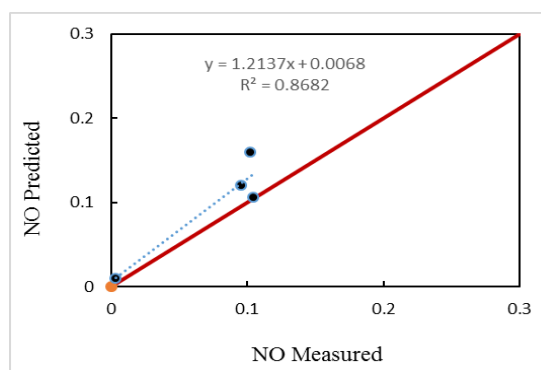
نتایج مدل DAYCENT مقادیر مدل‌سازی شده بیشتر از میزان اندازه‌گیری شده برآورد شد در حالی که نتایج مدل DNDC کمتر از میزان اندازه‌گیری شده برآورد شد. با این وجود هر دو مدل با توجه به شاخص‌های آماری دقت بالایی را داشتند.

جدول (۴): شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای چهار مدل DAYCENT، DNDC، YLRM و IPCC_EF

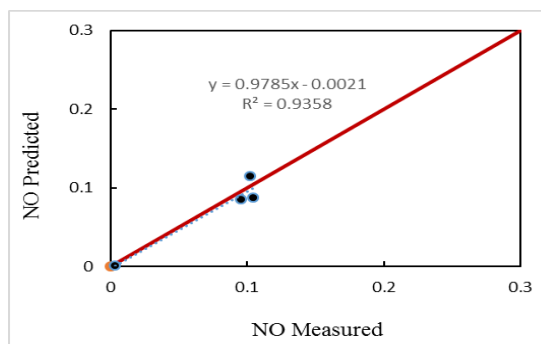
ME	RMSE	CD	EF	CRM	SD	RPD	R ²	مدل
۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۷۵	۰/۵۵	-۰/۳	۰/۰۶	۲	۰/۸۶	DAYCENT
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۴/۲۹	۰/۹۴	DNDC
۱/۱۶	۰/۵۸	۰	-۱۴۷/۸۷	-۳/۵۴	۰/۵۴	۰/۹۴	۰/۹۹	YLRM
۰/۴۴	۰/۲۶	۰/۰۴	-۳۰/۶۳	-۳/۱۱	۰/۱	۰/۳۸	۰/۸۲	IPCC_EF



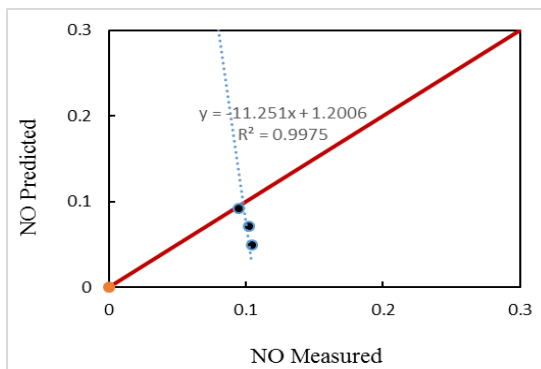
شکل (۷): شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل IPCC_EF



شکل (۴): شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل DAYCENT



شکل (۵): شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل DNDC



شکل (۶): شاخص‌های آماری برآورد گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل YLRM

نتیجه‌گیری

در این پژوهش انتشار گاز اکسید نیتروس در مزارع برنج، گندم و نیشکر خوزستان با استفاده از چهار مدل DAYCENT، DNDC، YLRM و IPCC_EF برآورد شده و سپس ارزیابی دقت مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تعیین، خطای حداکثر، ریشه میانگین مربعات خطا، کارایی مدل و ضریب جرم باقی‌مانده بررسی گردید. در کشت برنج بیش‌ترین مقدار اکسید نیتروس با روش رگرسیون خطی، در کشت گندم و نیشکر بیش‌ترین مقدار با مدل DAYCENT به‌دست آمد. بر اساس شاخص آماری ضریب تعیین (R²) هر سه مدل دامنه دقتی مناسب و بالاتر از ۰/۵۰ را دارند. بالاترین مقدار شاخص RPD (نسبت انحراف کارایی)، SD (انحراف معیار) و CD (ضریب تبیین) بر مبنای مدل DNDC تعیین شد. شاخص CRM (ضریب جرم باقی‌مانده) در مدل‌های DAYCENT، YLRM و IPCC_EF بیش‌برآوردی و در مدل DNDC کم‌برآوردی را نشان داد. بر اساس شاخص آماری EF (کارایی مدل) مدل‌های DAYCENT و DNDC در دامنه دقتی مناسب بودند. مقدار RMSE و مقدار ME (خطای ماکسیمم) در رگرسیون خطی YLRM بیش‌ترین مقدار و در مدل DNDC

کم‌ترین مقدار را به دست آورند.

فهرست منابع

- Akbarzadeh, M. 2013. Methane and its role in global warming, *Transplant Science Journal*. 2 (2): 37-41. (In persian)
- Bavarsad, J. 2018. The use of nitrogen gas and its effects on body health, *Encouraging Magazine*. (In Persian)
- Bouwman, A.F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, In: Bouwman AF (Ed) *Soils and the Greenhouse Effect*, 61-127, John Wiley & Sons, New York.
- Dashtaki, S.G.; Homaei, M. & 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.
- Del Grosso, S.J.; Parton, W.J.; Mosier, A.R.; Hartman, M.D.; Brenner, J.; Ojima, D.S. & Schimel, D.S. 2001. Simulated interaction of carbon dynamics and nitrogen trace gas fluxes using the DAYCENT model, In: Schaffer, M., Ma, L., Hansen, S. (Eds.), *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 303–332.
- Del Grosso, S. J.; Halvorson, A. D. & Parton, W. J. 2008. Testing DAYCENT model simulations of corn yields and nitrous oxide emissions in irrigated tillage systems in Colorado, *J. Environ. Qual.* 37:1383–1389.
- Denman, K.L.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P.M.; Dickinson, R.E.; Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; Lohmann, U.; Ramachandran, S.; Da Silva Dias, P.L.; Wofsy, S.C. & Zhang, X. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. 499-588.
- Elhami, B.; Karam, A. & Khanali, M. 2016. Optimizing energy consumption and reducing greenhouse gas emissions in the production of blue lentils using data envelopment analysis, *Iranian Biosystem Engineering*, 47 (4): 701-710. (In Persian)
- Ewert, F.; Rounsevell, M.D.A.; Reginster, I.; Metzger, M.G. & Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use, I. Estimating changes in crop productivity, *Agricultura Ecosystem Environmental*, 107:101–116.
- Fuchs, K.; Merbold, I.; Buchmann, N.; Bellocchi, G.; Bindi, M.; Klumpp, K.; Liebig, M.; Lieffering, M.; Martin, R.; McAuliffe, R.; Newton, P.C.D.; Rees, R.M.; Recous, S.; Smith, P.; Soussana, J.F.; Topp, C. F. E. & Snow, V. 2020. Evaluating the potential of legumes to mitigate N₂O emissions from permanent grassland using process-based models, *Global biogeochemical cycles*, Volume 34, Issue12, e2020GB006561.
- Gaillard, R. K.; Jones, C.D.; Ingraham, P.; Collier, S.; Izaurralde, R.C.; Jokela, W.; Osterholz, W.; Salas, W.; Vadas, P. & Ruark, M.D. 2017. Underestimation of N₂O emissions in a comparison of the DayCent, DNDC, and EPIC models, *Ecological applications*, 28(3):694-708.
- Gathany, M. A. & Burke, I.C. 2012. DAYCENT simulations to test the influence of fire regime and fire suppression on trace gas fluxes and nitrogen biogeochemistry of Colorado forests, *Forests*, 3, 506-527; doi:10.3390/f3030506.
- Hartman, M.; Merchant, E.R.; Parton, W.J.; Gutmann, M.P.; Lutz, S. & 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.
- 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.W.S. 2016. *DayCent Ecosystem Model*, Colorado State University.

- Homaee, M.; Dirksen, C. & Feddes, R. 2002. Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions, *Agricultural Water Management*, 57(2): 89-109.
- IPCC. 1997. IPCC (Revised 1996) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook, Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.
- IPCC. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, Cambridge University Press, UK and New York USA
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Summary for Policymakers, Emissions Scenarios, A Special Report of IPCC working Group3, ISBN: 92-9169-113-5.
- Khodaverdiloo, H.; Homaee, M.; Van Genuchten, M.T. & Dashtaki, S.G. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils, *Journal of Hydrology*, 399(1): 93-99.
- Kottegoda, N.T. & Rosso, R. 2008. Applied statistics for civil and environmental engineers: Wiley-Blackwell.
- Lai, L.; Kumar, S.; Folle, S. M. & Owens, V. N. 2017. Predicting soils and environmental impacts associated with switchgrass for bioenergy production: a DAYCENT modeling approach, *Global change biology bioenergy*, 10 (4): 287-302.
- Li, C.; Farahbakhshazad, N.; Jaynes, D.B.; Dinnes, D.L.; Salas, W. & McLaughlin, D. 2006. Modeling nitrate leaching with a biogeochemical model modified based on observations in a row-crop field in Iowa, *Ecol. Model*, 196 (1), 116–130.
- Liu, X.; Xu, W.; Duan, L.; Du, E.; Pan, Y. & Lu, X. 2017. Atmospheric nitrogen emission, deposition, and air quality impacts in China: an overview, *Curr. Pollut. Rep.* 3 (2), 65–77
- Lu, C. & Tian, H. 2013. Net greenhouse gas balance in response to nitrogen enrichment: perspectives from a coupled biogeochemical model, *Glob. Chang. Biol*, 19, 571–588.
- Moradi-Majd, N.; Fallah-Ghalhari, GH. A. & Chatrenor, M. 2022. Prediction of greenhouse gases and global warming potential in agricultural lands of Khuzestan province using DAYCENT model, *Iran water and soil research*, 51(9):2259-2273. DOI: 10.22059/ijswr.2020.301647.668590
- Moradi-Majd, N.; Fallah-Ghalhari, GH. A. & Chatrenor, M. 2022. Estimation of greenhouse gas emission flux from agricultural lands of Khuzestan province in Iran, *Environ Monit Assess* (2022) 194:811, <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10497-8>.
- Mousavi, S. M.; Falahtkar, S. & Farajzadeh, M. 2017. Changes in the concentration of carbon dioxide and methane greenhouse gases in relation to environmental variables in Iran, *Applied Ecology*, 6 (4): 65-78. (In Persian)
- Muharri, A. 2003. The role of domestic animals in N₂O gas production as one of the greenhouse gases, 3rd regional conference on climate change, Isfahan, Meteorological organization, Isfahan university. (In Persian)
- Olivas, P.; Oberbauer, S.F.; Schedlbauer, J. & Gregory, S. 2015. Ecosystem resistance in the face of climate change: a case study from the freshwater marshes of the Florida everglades, *Ecosphere*, 6(4):1-23.
- Prather, M.J. 1998. Time scales in atmospheric chemistry: coupled perturbations to N₂O, NO_x, and O₃, *Science* 279, 1339–1341.
- Rajabi, M. H.; Soltani, A.; Zeinali, E. & Soltani, E. 2012. Evaluation of greenhouse gas emissions and global warming potential due to wheat production in Gorgan, *Electronic Journal of Crop Production*, 5 (3): 23-44. (In Persian)
- Reay, D.S.; Davidson, E.A.; Smith, K.A.; Smith, P.; Melillo, J.M.; Dentener, F. & Crutzen, P.J. 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions, *Nature climate change*, 2, 410-416.
- Statistical Center of Iran. 2018. Country Plan and Budget Organization.

- Signor, D. & Cerri, C.E.P. 2013. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, 43(3): 322-338.
- Smith, K.A.; Mosier, A.R.; Crutzen, P.J. & Winiwarter, W. 2012. The role of N₂O derived from crop-based biofuels, and from Agriculture in general in earth's climate, *Philosophical transactions of the royal society*, 367: 1169–1174.
- Tian, H.; Xu, X.; Lu, C.; Liu, M.; Ren, W.; Chen, G.; Melillo, J. & Liu, J. 2011. Net exchanges of CO₂, CH₄, and N₂O between China's terrestrial ecosystems and the atmosphere and their contributions to global climate warming, *J. Geophys. Res.*, <https://doi.org/10.1029/2010JG001393>.
- Tian, H.; Lu, C.; Melillo, J.; Ren, W.; Huang, Y.; Xu, X.; Liu, M.; Zhang, C.; Chen, G.; Pan, S.; Liu, J. & Reilly, J. 2012. Food benefit and climate warming potential of nitrogen fertilizer use in China, *Environ. Res. Lett.* 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044020>.
- Wang, C.; Amon, B. & Mehdi, K. S. B. 2021. Factors that influence nitrous oxide emissions from agricultural soils as well as their representation in simulation models: a review, *Agronomy* 2021, 11(4), 770; <https://doi.org/10.3390/agronomy11040770>.
- Watson, R.T.; Zinyowera, M. C.; Moss, R. H. & Dokken, D.J. 1996. Climate change 1995, impacts, adaptation and mitigation of climate change. Scientific technical report analysis, In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p. 880 (Cambridge, New York).
- Yue, Q.; Ledo, A.; Cheng, K.; Albanito, F.; Lebender, U.; Sapkota, T.B.; Brentrup, F.; Stirling, C.M.; Smith, P.; Sun, J.; Pan, G. & Hillier, J. 2018. Re-assessing nitrous oxide emissions from croplands across mainland China, *Agric. Ecosyst. Environ.* 268, 70–78.
- Yue, Q.; Cheng, K.; Ogle, S.; Hillier, J.; Smith, P.; Abdalla, M.; Ledo, A.; Sun, J. & Pan, G. 2019. Evaluation of four modelling approaches to estimate nitrous oxide emissions in China's cropland, *Sci Total Environ.*, 20(652):1279-1289.