



## Journal of Environmental Research

Vol. 13, No. 25, Spring & Summer 2022

Journal Homepage: [www.iraneiap.ir](http://www.iraneiap.ir)  
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

### Consequences of Climate Change on Greenhouse Gas Emissions in Citrus Orchards and Groves (Case Study: Khuzestan Province)

Document Type  
Research Paper

Nasrin Moradimajd<sup>1</sup>, Gholam Abbas Fallahghalhari<sup>\*2</sup>, Mansour Chaternour<sup>3</sup>

Received  
2021/03/06

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

Accepted  
2022/07/11

2 Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

3 Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

DOI: [10.22034/eiap.2022.158587](https://doi.org/10.22034/eiap.2022.158587)

#### Abstract

Methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and nitric oxide (NO) are considered to be the most important greenhouse gases. Present study is a practical-analytical study conducted with help of DAYCENT software to study flux of methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions in citrus orchards of Dezful and Abadan groves in Khuzestan province. DAYCENT model program is written in FORTRAN and C programming languages and runs with Unix / Linux platform. Results of methane flux simulation at Dezful station show release of 0.448 tons of methane per square meter per year, 0.111 tons of nitrous oxide per square meter per year and 0.152 tons of nitric oxide per square meter per year. Results of simulation of methane flux in Abadan station indicate release of 0.398 tons of methane per square meter per year, 0.014 tons of nitrous oxide per square meter per year and 0.129 tons of nitric oxide per square meter per year. Potential for global warming was then calculated for both study areas. Also, in order to evaluate accuracy of the model were used, statistical characteristics of maximum error, root of mean error squares, determination coefficient, model efficiency and remaining mass coefficient. According to statistics, DAYCENT provides acceptable results and has a good accuracy range in all three gases. Results showed that trend of increasing flux of methane, nitrous oxide and nitric oxide gases in Abadan groves is slower than Dezful citrus orchards.

**Keywords:** Khuzestan, Methane gas, Nitrous oxide gas, Nitric oxide gas, DAYCENT software

\* Corresponding author

Email: [g.fallah@hsu.ac.ir](mailto:g.fallah@hsu.ac.ir)

**Expanded Abstract****Introduction**

Atmosphere around the earth plays a very important role in preventing its temperature from decreasing. Changes in greenhouse gas (GHG) concentrations have occurred over the past few years and are also associated with rising global temperatures. Climate change and global warming have caused widespread concern in national and international communities due to rising greenhouse gas emissions. Iran has a small share of the world economy and population, but in terms of per capita emissions of greenhouse gases, it is ranked 30th among the countries in the world. The rate of greenhouse gas emissions in Iran's agricultural sector through the use of fertilizers (chemical and animal fertilizers), animal waste management and incineration of agricultural waste on the farm, is higher than many developed countries such as Canada, Japan, Italy. Methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and nitric oxide (NO) are considered to be the most important greenhouse gases. Present study is a practical-analytical study conducted with help of DAYCENT software to study flux of methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions in citrus orchards of Dezful and Abadan groves in Khuzestan province.

**Materials and Methods**

**DAYCENT Model:** This model was used in the early 1970s to simulate changes in soil organic matter (SOM), plant productivity, nutrient availability, and other ecosystem parameters in response to changes in land and climate management. This model showed that it can be used to stimulate plant growth and changes in soil organic matter in most terrestrial ecosystems around the world. Increased attention to greenhouse gas analysis led to the development of DAYCENT in 1994. DAYCENT model includes a sub-model in the plant production stage and a sub-model for the step-by-step dynamics of daily scarce gases flow, nutrient circulation, water flow and soil organic matter (SOM). DAYCENT model program is written in the FORTRAN and C programming languages and can use a DOS window or a Linux platform. DAYCENT model inputs include observed daily precipitation and daily maximum and minimum temperature; 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 on crop production, soil organic matter, nutrient circulation and scarce gases.

**Global Warming Potential (GWP):** To calculate this index, calculated methane, nitrous oxide, and nitric oxide emissions for the product were considered. The effect of each of the gases on global warming is different so that each unit of methane and nitrous oxide contribute about 28 and 265 times more carbon dioxide to global warming, respectively. Therefore, the unit of this index was expressed as the equivalent of carbon dioxide. Finally, the amount of global warming potential was calculated based on Equation 2:

$$\text{GWP} = (\text{N}_2\text{O FLUX} \times 265) + (\text{CO}_2 \text{ FLUX} \times 1) + (\text{CH}_4 \text{ FLUX} \times 28) \quad (1)$$

In this equation, GWP is global warming potential (kg equivalent of carbon dioxide per hectare), N<sub>2</sub>O FLUX is nitrous oxide emission, NO FLUX is nitric oxide emission, and CH<sub>4</sub> FLUX is methane emission.

**Statistical indices:** To evaluate the accuracy of modeling, statistical indices such as Maximum Error (ME), Root Means Square Error (RMSE), coefficient of determination (R<sup>2</sup>), modeling efficiency, and coefficient of residual mass were used. The coefficient of determination (R<sup>2</sup>) is used to investigate the difference between observed and predicted values. In statistics, this coefficient is defined in two ways.

The first definition is  $R^2 = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$  and the other definition is  $R^2 = \frac{\sum(P_i - \bar{O})^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$ . In the quantitative examination of models, CD index is the inverse of the second definition and EF index is same as the first definition of R<sup>2</sup>. The first definition always changes between zero and one, and the second definition can be greater than 1. High ME values indicate the worst model prediction. The higher the RMSE values, the lower the model accuracy. Generally, RMSE values indicate the model error in estimating data. In this study, Marquardt's nearest neighbour method was used to calculate RMSE. CD values also represent the ratio between scattering of predicted values and measured values. The lower limit for ME, RMSE and CD is zero. The closer the EF index is to 1, the higher the accuracy of the model in estimating the

data. The CRM index shows the tendency of the model to overestimate and underestimate. Negative CRM values mean that the model predicts values more than the observed data, and positive CRM means that the model predicts values less than the observed data. The Residual Prediction Deviation (RPD) index is also obtained by dividing the standard deviation by the Root Mean Squared Error. Ideal prediction models should have  $R^2$  above 0.75, RPD index above 2.0 and RMSE lower than its standard deviation (SD). If observed and predicted values of model are equal, ME = 0, RMSE = 0, CD = 1, EF = 1 and CRM = 0.

### Results and discussion

Results of methane flux simulation at Dezful station show release of 0.448 tons of methane per square meter per year, 0.111 tons of nitrous oxide per square meter per year and 0.152 tons of nitric oxide per square meter per year. Results of simulation of methane flux in Abadan station indicate release of 0.398 tons of methane per square meter per year, 0.014 tons of nitrous oxide per square meter per year and 0.129 tons of nitric oxide per square meter per year. Potential for global warming was then calculated for both study areas. Also, in order to evaluate accuracy of the model were used, statistical characteristics of maximum error, root of mean error squares, determination coefficient, model efficiency and remaining mass coefficient. According to statistics, DAYCENT provides acceptable results and has a good accuracy range in all three gases. Results showed that trend of increasing flux of methane, nitrous oxide and nitric oxide gases in Abadan groves is slower than Dezful citrus orchards.

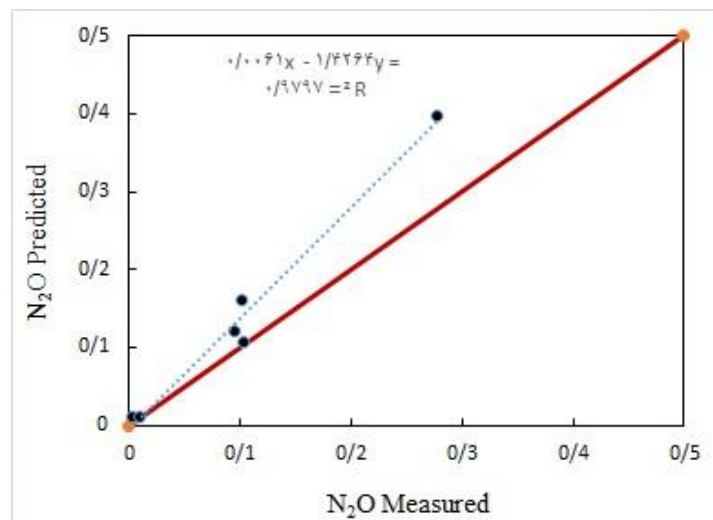


Figure (2): Diagrams of estimation of nitrous oxide emission curves based on DAYCENT model

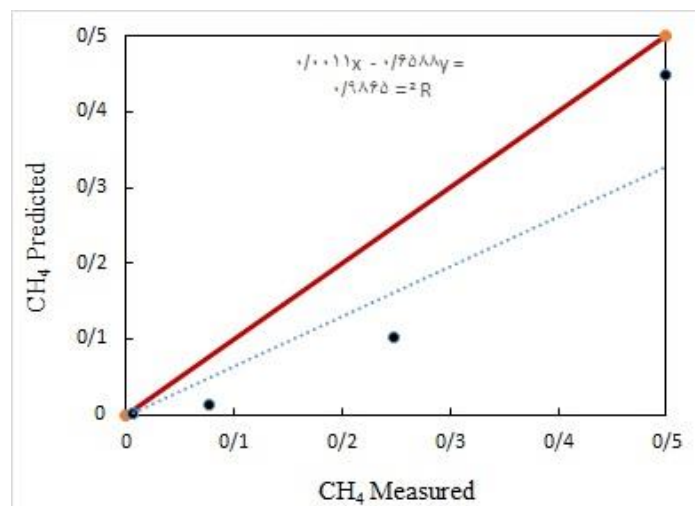


Figure (3): Diagrams of estimation methane emission curves based on DAYCENT model

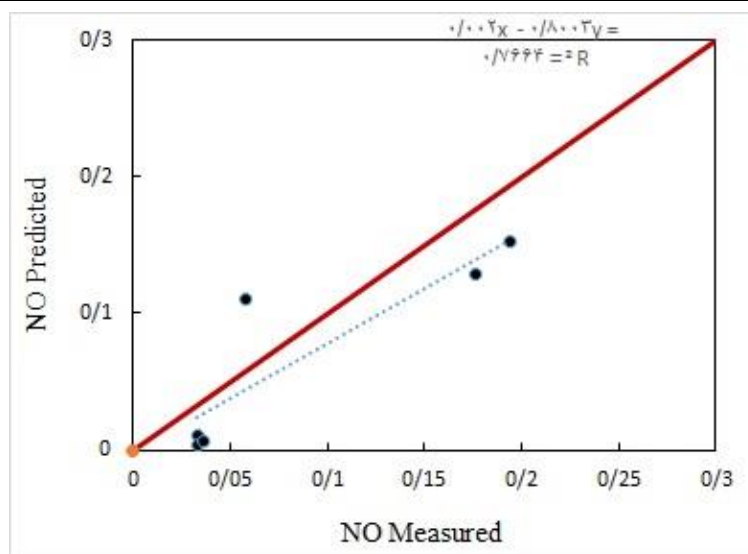


Figure (4): Diagrams of estimation of nitric oxide gas emission curves based on DAYCENT model

#### Conclusion:

Based on the results obtained from DAYCENT model, methane gas had the highest rate of increase in Dezful station (citrus), the highest rate of nitrous oxide increase in Abadan station (dates) and nitric oxide from Dezful station (citrus). The high growth of methane gas in Dezful station is due to the type of cultivation. While the high flux of nitrous oxide in Abadan station and nitric oxide in Dezful station due to the lack of principled use of chemical fertilizers and non-compliance with expert principles in farms has caused high flux of these gases. The potential for global warming in the Dezful region was greater because more dense cultivation and more fertilizer use was expected. Also in citrus orchards, the changes in global warming potential are very high as a result of changes in rainfall. In summary, nitrogen oxide is the largest contributor to global warming potential.

## پیامدهای تغییر اقلیم بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در نخلستان‌ها و باغات مرکبات (مطالعه موردی: استان خوزستان)

نسرین مرادی مجد<sup>۱</sup>، غلامعباس فلاح قاهری<sup>۲\*</sup>، منصور چترنور<sup>۳</sup>

۱ دکتری اقلیم شناسی کشاورزی، گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲ دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳ دکتری فیزیک و آلودگی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

### چکیده

گازهای متان ( $CH_4$ )، نیتروس اکسید ( $N_2O$ ) و نیتریک اکسید ( $NO$ ) به عنوان مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند. پژوهش حاضر یک بررسی کاربردی-تحلیلی است که با کمک نرم‌افزار DAYCENT جهت مطالعه شار انتشار گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در باغات مرکبات دزفول و نخلستان‌های آبادان در استان خوزستان انجام شده است. برنامه مدل DAYCENT در زبان برنامه‌نویسی FORTRAN و C نوشته شده و با پلت فرم یونیکس/لینوکس اجرا می‌شود. در ادامه نیز محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی برای هر دو منطقه مورد مطالعه انجام شد. همچنین به منظور ارزیابی دقت مدل، از شاخص‌های آماری خطای حداکثر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ضریب تعیین، کارایی مدل و ضریب جرم باقیمانده استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی در ایستگاه دزفول نشان‌دهنده انتشار متان  $۰/۴۴۸$ ، نیتروس اکسید  $۰/۰۱۱$  و نیتریک اکسید  $۰/۱۵۲$  تن در هکتار در سال است. نتایج شبیه‌سازی شار متان در ایستگاه آبادان حاکی از انتشار متان  $۰/۳۹۸$ ، نیتروس اکسید  $۰/۰۱۴$  و نیتریک اکسید  $۰/۱۲۹$  تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از میانگین محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در باغات مرکبات دزفول  $۵۹/۱۵۰$  و در نخلستان‌های آبادان  $۴۷/۲۰۰$  تن معادل دی‌اکسید کربن به دست آمد. با توجه به آماره‌ها DAYCENT نتایج قابل قبولی را ارائه داده و در هر سه گاز دامنه دقتی مناسبی دارد. نتایج نشان داد روند افزایش شار گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در نخلستان‌های آبادان نسبت به باغات مرکبات دزفول کندتر است.

**کلید واژه‌ها:** خوزستان، گاز متان، گاز نیتروس اکسید، گاز نیتریک اکسید، نرم افزار DAYCENT.

## سرآغاز

گلخانه‌ای مهم بشری است که بخش کشاورزی، بزرگترین منبع منتشرکننده آن است (et al., 2012 Reay). فعالیت‌های کشاورزی و گسترش زمین‌های زراعی قابل کشت برای توسعه‌ی آن، عهده دار انتشار اکسید نیتروس در طول قرون گذشته بوده است (et al., 2012 Smith). در میان گازهای گلخانه‌ای، گاز اکسید نیتروس با توجه به طول عمر ماندگاری در جو (۱۱۴ سال) و پتانسیل گرمایش جهانی آن (۲۹۸ برابر بیشتر از گاز دی‌اکسیدکربن) از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود (Signor and Cerri, 2013). یکی از عوامل بالقوه تخریب لایه ازن، گاز نیتریک اکسید است که تاکنون صدمات جبران‌ناپذیری را به لایه ازن وارد کرده است. افزایش شدت تابش فرابنفش خورشید ناشی از تخریب ازن، مشکلات محیط‌زیست بسیاری را به همراه داشته و به نوبه خود یک بحران جهانی به حساب می‌آید، تا آنجا که تاکنون چندین پروتکل و قرارداد جهانی در زمینه حفظ لایه ازن و کاهش مخرب‌های لایه ازن شکل گرفته است (Vijui and Taheri, 2008). متان همچنین یکی از گازهای گلخانه‌ای است که سبب گرمایش زمین می‌شود. نیمی از متان پخش شده توسط انسان مربوط به بخش کشاورزی است (Akbarzadeh, 2013). برآورد نشان می‌دهد که انسان‌ها با کشت غیراصولی برخی محصولات سبب آزاد شدن ۲۰٪ تولید متان در یک سال می‌شود و پیش‌بینی می‌شود که این مقدار متان سال ۲۰۲۵ به میزان ۳۵-۵ درصد و تا سال ۲۱۰۰ به مقدار ۵۰ درصد افزایش نشان دهد (Bozarjomhari et al., 2013).

در زمینه بررسی وضعیت تولید گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلف، تاکنون مطالعات داخلی و خارجی متعددی صورت گرفته است (Mozaffari & Parhizgari, 2016) به ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در حوزه‌های آبخیز استان قزوین با بهره‌گیری از مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS تحت سناریوهای مختلف در پرداختند. نتایج نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای A، B و C متغیرهای اقلیمی دما و بارش را به میزان ۰/۴۳ تا ۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد و ۱۴/۱- تا ۱/۳۱ میلی‌متر متأثر می‌سازد که این امر عملکرد محصولات منتخب را در سطح حوزه‌های آبخیز استان قزوین تغییر می‌دهد. (Shakarian et al., 2017) تاثیر بهبود کارایی انرژی بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌های تولید خیار را در مقاله‌ای بررسی کردند. داده‌های

جو اطراف کره زمین نقش بسیار مهمی در جلوگیری از کاهش دمای آن ایفا می‌کند. تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای (GHG) در طول چند سال گذشته اتفاق افتاده و با افزایش دمای جهانی نیز در ارتباط می‌باشد (Signor and Cerri, 2013). اقلیم به عنوان مهم‌ترین فاکتور تولیدات کشاورزی شمرده می‌شود و تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و دام، تعادل هیدرولوژیک و سایر اجزای سیستم‌های کشاورزی تاثیر می‌گذارد. بخش کشاورزی هم بر تغییر اقلیم تاثیر می‌گذارد و هم از تغییر اقلیم تاثیر می‌پذیرد (Maleki mardashti, 2017). تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به دلیل افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای سبب به وجود آمدن نگرانی‌های گسترده‌ای در جوامع ملی و بین‌المللی شده‌اند (Mosavi et al., 2018). افزایش دمای زمین آثار و پیامدهای مختلفی از جمله عواقب گرم شدن کره زمین، بروز مشکلات محیط‌زیستی و افزایش حوادث و بلایای طبیعی مانند طوفان‌ها و گردبادها، آتش سوزی‌های شدید در جنگل‌ها، جزر و مد و حرکت افقی آب دریا، سیل، قحطی و خشکسالی، هجوم حشرات و غیره دارد که در چند دهه اخیر افزایش چشمگیری داشته است. اثرات گرمایش زمین در خاورمیانه نیز به صورت خشکسالی و افزایش قابل توجه میزان آلودگی هوا بر اثر طوفان‌های خاکی و خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، در سال‌های اخیر نمود پیدا کرده است. ایران در حالی که سهم کوچکی از اقتصاد و جمعیت جهان را داراست، اما از نظر انتشار سرانه‌ی گازهای گلخانه‌ای، رتبه سی‌ام را در میان کشورهای جهان داراست. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش کشاورزی ایران از طریق مصرف کود (کود شیمیایی و حیوانی)، مدیریت فضولات حیوانی و سوزاندن ضایعات کشاورزی در مزرعه، از بسیاری از کشورهای پیشرفته مانند کانادا، ژاپن، ایتالیا بالاتر است (The Balance Sheet of Energy, 2014). انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر گرمایش جهانی یکی از چالش‌های جدی کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه محسوب می‌شود. بر اساس پیمان کیوتو کشورهای مختلف موظف به محاسبه و اعلام میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شدند. بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کشورهای مختلف این امکان را فراهم می‌آورد تا ضمن ارایه تصویری از سهم کشورها در تولید گازهای گلخانه‌ای جایگاه ایران نیز در این مجموعه مشخص شود (Jamalipour et al., 2017). اکسید نیتروس یکی از گازهای

است. همچنین بیش‌ترین میزان انتشار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک از خاک گندمزارهای شوش به ترتیب با مقدار ۰/۱۰۱ و ۰/۱۱۱ تن در هکتار در سال بوده است.

پژوهش حاضر با کمک نرم‌افزار DAYCENT جهت مطالعه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در نهایت بررسی پتانسیل گرمایش جهانی و هزینه محیط‌زیستی این سه گاز در باغات مرکبات دزفول و نخلستان‌های آبادان در استان خوزستان استفاده شده است. تعداد کمی از گونه‌های گیاهی به‌عنوان محصول کشاورزی با زندگی انسان در آمیخته‌اند که نخل خرما یکی از آن‌ها و شاید منحصربه‌فردترین آنهاست. با وجود قدمت کشت زیاد این گیاه در ایران (حدود ۴۰۰۰ سال)، وجود غنی‌ترین منبع تنوع ژنتیکی خرماي جهان (حدود ۴۰۰ رقم) و بالا بودن میزان سطح زیرکشت، تولید و صادرات این محصول در کشور، هنوز اطلاعات جامعی در مورد آن وجود ندارد. استان خوزستان که یکی از شش استان اصلی خرماخیز کشور می‌باشد و خرما ۷۰٪ تولید محصولات باغی آن را تشکیل می‌دهد. از حدود یک میلیون تن تولیدات خرماي کشور حدود ۱۷۳ هزارتن (۲/۱۵ درصد) متعلق به نخلستان‌های این استان می‌باشد و مقام اول را در کشور داراست. شهرستان آبادان به‌عنوان اصلی‌ترین مرکز نخیلات در استان خوزستان با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه و دارای ۱۳ هزار نخیلات و سه میلیون و پانصد هزار اصله نخل می‌باشد. مرکبات نیز یکی از مهم‌ترین میوه‌های نیمه‌گرمسیری هستند، که کشور ایران مقام هفتم را در میان کشورهای تولیدکننده مرکبات کسب کرده، در این میان استان‌های گیلان و مازندران بیشترین سهم در تولید مرکبات را دارا می‌باشند و پس از آن استان‌هایی نظیر خوزستان، فارس، کرمان و هرمزگان از دیگر تولیدکنندگان مهم مرکبات می‌باشند. شهرستان دزفول در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی مهم‌ترین مرکز باغات مرکبات استان خوزستان، با انواع گونه‌های مرکبات شامل پرتقال، والنسیا، انواع نارنگی، لیموشیرین، نارنج، گریپ فروت و لیمو ترش می‌باشد. مجموع باغ‌های مرکبات دزفول ۶ هزار و ۶۵۰ هکتار است که پنج هزار و ۳۰۰ هکتار از این باغات بارور است (Ashtari et al., 2014).

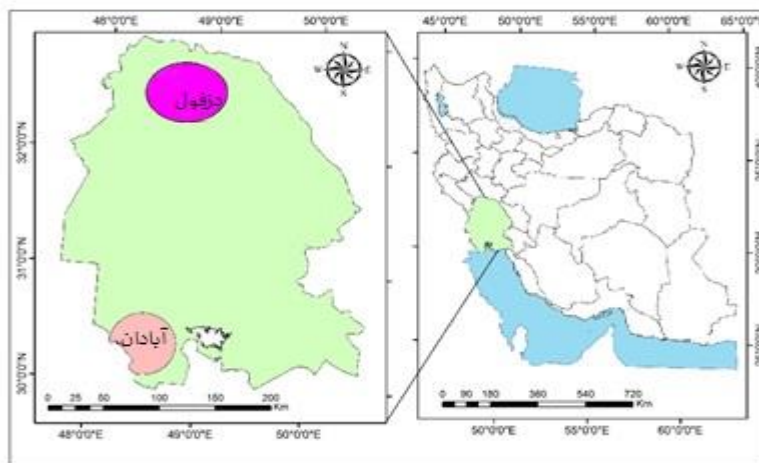
مورد نیاز از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۸۱ گلخانه‌دار، با شناسایی گلخانه‌داران همگن، از طریق خوشه‌بندی دومرحله‌ای و استفاده از نمونه‌گیری انتساب متناسب طبقه‌ای جمع‌آوری شد و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین انرژی ورودی و خروجی گلخانه‌ها به ترتیب ۳۲۳۲/۵ و ۱۶۶/۱ گیگاژول در هکتار است. از طرفی، میزان انتشار دی اکسید کربن ۷۴۹۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید (Gaillard et al., 2017). مقادیر اکسید نیتروس را با مدل‌های DAYCENT، DNDC و EPIC مقایسه کردند. تجزیه و تحلیل رگرسیون در این پژوهش نشان داد که مدل‌ها مقدار روزانه و شار اکسید نیتروس جمعی را کم نشان داده‌اند. (Guest et al., 2017) مقایسه مدل فرآیندهای خاک در شرق کانادا با استفاده از DAYCENT، DNDC و STICS انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که نیتروژن خاک فقط کمی کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد شد. (Yue et al., 2019) چهار روش مدل‌سازی DAYCENT، DNDC، رگرسیون خطی (YLRM) و عوامل انتشار اولویت IPCC را برای ارزیابی انتشار اکسیدنیتروژن در حوزه کشاورزی مقایسه کردند. ارزیابی دقت این مدل‌ها نشان داد که مدل‌های DAYCENT و DNDC الگوهای زمانی روزانه اکسیدنیتروس را به طور موثر شبیه‌سازی کرده اما هر دو مدل در شبیه‌سازی زمان‌بندی شار اکسید نیتروس پس از کود دهی و رژیم آب مشکل داشتند. (Gurung et al., 2021) مدل‌سازی تصاعد آمونیاک ناشی از کاربرد کود اوره به خاک‌های کشاورزی با مدل DayCent را انجام دادند. در این پژوهش نوسانات NH<sub>3</sub> با ریشه میانگین مربعات خطای ۱۵۸ و R<sup>2</sup> با مقدار ۰/۳۹ محاسبه شد. (Bilotto et al., 2021) روند معدنی‌سازی فصلی نیتروژن خاک برای افزایش رشد مرتع را با استفاده از سه مدل اکوسیستم زراعی APSIM، DayCent و DairyMod بررسی کردند. در این پژوهش تفاوت در دقت NH<sub>4</sub> و NO<sub>3</sub> شبیه‌سازی شده از مدل‌ها بیشتر بود و به طور کلی، همه مدل‌ها N<sub>2</sub>O جمعی را به خوبی شبیه‌سازی کردند. همچنین نشان داده شد که کانی‌سازی نیتروژن از DayCent نسبت به سایر مدل‌ها حساسیت بیشتری دارد. (Moradi majd et al., 2021) گازهای گلخانه‌ای در اراضی زراعی استان خوزستان را با استفاده از مدل DAYCENT سنجیدند. در این پژوهش بیش‌ترین انتشار متان از شالیزارهای باغملک به مقدار ۱/۳۶۹ تن در هکتار در سال بوده

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

نخیلات و سه میلیون و پانصد هزار اصله نخل و شهرستان دزفول در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی با عنوان مهم‌ترین مرکز باغات مرکبات در استان خوزستان انجام گرفت.

این مطالعه در شهرستان آبادان به عنوان اصلی‌ترین مرکز نخیلات در استان خوزستان با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه و دارای ۱۳ هزار



شکل (۱): موقعیت استان خوزستان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

می‌کند (Hartman et al., 2016).

**محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی GWP:** محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی نیز بر اساس گزارشات (Robertson et al., 2000) و (Thelen et al., 2010) انجام شد. به منظور محاسبه این شاخص، میزان انتشار اکسیدنیتریک، متان و اکسیدنیترژن محاسبه شده برای هر شهرستان و محصول در نظر گرفته شد. اثر هر کدام از گازها بر گرمایش زمین متفاوت می‌باشد (IPCC, 2007). بنابراین، واحد این شاخص به صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان گردید. برای این منظور، میزان گاز اکسیدنیترژن با ضریب ۳۱۰ و متان با ضریب ۲۱ و اکسیدنیتریک ۲۹۸ در محاسبات وارد شد. در نهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادله (۱) محاسبه شد.

(۱)

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

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

**مدل DAYCENT:** برنامه مدل DAYCENT در زبان برنامه‌نویسی FORTRAN و C نوشته شده است و می‌تواند از پنجره DOS بر روی کامپیوتر یا یک پلت فرم یونیکس / لینوکس استفاده شود. این مدل شبیه‌سازی روزانه C، P، N و S را با استفاده از چرخه سالانه در قرن‌ها و هزاره پردازش می‌کند. سیستم انتخاب می‌کند علفزار / کشتزار، جنگل یا ساوانا را به عنوان یک مدل فرعی تولید شده، برای تولید بالقوه منحنی اولیه که نماینده جامعه گیاهی خاص محسوب می‌شود. محیط DAYCENT شامل تعدادی از فایل‌های پارامتری، فایل 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 برنامه‌های برنامه (\* .sch) فایل‌های متنی هستند که می‌توانند با هر ویرایشگر متن به روز شوند. فایل‌های باینری خروجی با «.bin» ، «.out» و «.csv» هستند. فایل‌های باینری خروجی قابل خواندن نیستند و برنامه List100 برای استخراج مقادیر از فایل باینری استفاده می‌شود و آنها را به یک فایل متنی با پسوند «.lis» ارسال



که در روابط فوق،  $P_i$  مقادیر شبیه سازی شده،  $Q_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد.

## نتایج

### نتایج حاصل از DAYCENT

DAYCENT نرخ شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک را در هر دو ایستگاه دزفول و آبادان در سال شبیه‌سازی کرده است. نتایج نشان داد میانگین، کمینه و بیشینه شار متان شبیه‌سازی شده ایستگاه دزفول، به ترتیب ۰/۴۴۸، ۰/۳۷۸ و ۰/۵۰۱ تن در هکتار در سال می‌باشد. ضریب تغییرات (بر حسب درصد) برای شار متان در ایستگاه دزفول ۲/۴ درصد بود. میانگین، کمینه و بیشینه شار گاز اکسید نیتروس مدل‌سازی شده در ایستگاه دزفول، به ترتیب ۰/۰۱۱، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۴۸ تن در هکتار در سال به دست آمد. ضریب تغییرات برای شار اکسید نیتروس در این ایستگاه ۴۹/۳ درصد بود. میانگین، کمینه و بیشینه شبیه‌سازی شده شار گاز اکسید نیتریک در ایستگاه دزفول، به ترتیب ۰/۱۵۲، ۰/۰۳۰ و ۰/۶۷۴ تن در هکتار در سال تعیین شد. ضریب تغییرات برای شار اکسید نیتریک در این ایستگاه ۵۲/۱ درصد بود. نتایج نشان داد میانگین، کمینه و بیشینه شبیه‌سازی شده شار متان در ایستگاه آبادان به ترتیب ۰/۳۹۸، ۰/۳۳۱ و ۰/۴۳۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. ضریب تغییرات برای شار متان در ایستگاه آبادان ۵/۲ درصد بود. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۱۴، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۷۷ تن در هکتار در سال تعیین شد. ضریب تغییرات برای شار اکسید نیتروس در این ایستگاه ۷۸/۶ درصد بود. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۲۹، ۰/۰۳۶ و ۰/۶۳۷ تن در هکتار در سال به دست آمد. ضریب تغییرات برای شار اکسید نیتریک در ایستگاه آبادان ۸۰/۰ درصد بود. نتایج شبیه‌سازی DAYCENT نشان می‌دهد که وابستگی بین شار متان در خاک و سطح رطوبت وجود دارد. دزفول با سطح متوسط بارش بیشتر، انتشار جذب متان بالاتری را در مقابل نخلستان‌های آبادان دارد. نرخ شار اکسید نیتروس نیز در بین دو ایستگاه مدل شده مشابه بود. با این حال، تصاعد اکسید نیتروس در مقایسه با شار متان، در هر دو ایستگاه دزفول و آبادان تنوع بیشتری نشان داده است زیرا ضریب تغییرات در ایستگاه‌ها بیشتر از ۴۹٪ بود. این تنوع نشان‌دهنده ارتباط شار گاز و دمای خاک

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  $R^2$  استفاده می‌شود (Ewert et al., 2005). در علم آمار این ضریب به دو صورت تعریف می‌شود. تعریف اول عبارت است. از  $R^2 = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$  و تعریف دیگر  $R^2 = \frac{\sum(P_i - \bar{O})^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$  می‌باشد. 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 ۱ بزرگتر شود. مقادیر بالای ME نشانگر بدترین پیش‌بینی مدل است. مقادیر RMSE بالا نشان می‌دهد که چه مقدار پیش‌بینی‌ها دست پائین 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 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. مقایسه‌ی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و متوسط مقادیر مشاهده شده توسط شاخص EF انجام می‌گیرد. هر چه این شاخص به یک نزدیک تر 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 نمون داده‌ها را کمتر از داده‌های مشاهده شده پیش‌بینی کرده است. اگر مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل برابر باشند،  $ME = 0$ ،  $CD = 1$ ،  $EF = 1$  و  $CRM = 0$  است. تفسیر ریاضی شاخص‌های آماری بالا به صورت زیر است (Homaei et al., 2002; Kottegoda and Rosso, 2008).

$$ME = \text{MAX} |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (2)$$

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{(P_i - O_i)^2} / n \quad (3)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$RM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (6)$$

به ترتیب ۰/۰۲۲، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۸۷ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۳۷، ۰/۰۴۵ و ۰/۶۴۷ تن در هکتار در سال تعیین شد.

نتایج شار متان مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۶۹، ۰/۴۱۸ و ۰/۵۳۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۴۳، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۷۱ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۸۱، ۰/۰۶۰ و ۰/۷۱۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار متان مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۳۸، ۰/۳۶۳ و ۰/۴۵۲ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۳۴، ۰/۰۲۲ و ۰/۱۰۵ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی بالا ( $^{\circ}\text{C}$  ۴/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۷۳، ۰/۰۷۹ و ۰/۶۸۹ تن در هکتار در سال تعیین شد. در مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در شرایط میانگین سالانه و با افزایش میانگین سالانه دما  $^{\circ}\text{C}$  ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در باغات مرکبات دزفول روند تغییرات شار متان تقریباً به صورت ثابت می‌باشد. ولی روند تغییرات شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش می‌یابد. این روند تغییرات در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتیگراد شتاب می‌گیرد که نشان دهنده وابستگی شار اکسید نیتروس به دمای خاک می‌باشد. اما روند تغییرات شار اکسید نیتریک بسیار ناچیز می‌باشد.

مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در شرایط کنونی و با افزایش میانگین سالانه درجه حرارت  $^{\circ}\text{C}$  ۱، ۲/۵ و ۴/۲ در نخلستان‌های آبادان نشان می‌دهد که روند تغییرات شار متان تقریباً به صورت ثابت و ناچیز می‌باشد. اما روند تغییرات شار اکسید نیتروس با افزایش دما افزایش می‌یابد. این روند تغییرات در افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتیگراد به حداکثر می‌رسد و روند افزایشی دارد و همچنین روند تغییرات

می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی DAYCENT و ضرایب تغییرات برای شار اکسید نیتریک نیز از یک الگوی مشابه پیروی می‌کند. همچنین DAYCENT نرخ شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک را در هر دو ایستگاه دزفول و آبادان برای متوسط دمای سالانه هوا ( $^{\circ}\text{C}$  ۱، ۲/۵ و ۴/۲؛ IPCC, 2013) و بارش (۲- و ۷٪؛ IPCC, 2013) در بازه یک ساله شبیه‌سازی کرده است. نتایج انتشار متان مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۵۲، ۰/۳۸۱ و ۰/۵۰۵ تن در هکتار در سال می‌باشد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۱۵، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۵۱ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۶۱، ۰/۰۳۵ و ۰/۶۶۲ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج انتشار متان مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۰۶، ۰/۳۳۶ و ۰/۴۳۵ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۱۵، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۸۳ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی پایین ( $^{\circ}\text{C}$  ۱) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۳۴، ۰/۰۳۹ و ۰/۶۴۲ تن در هکتار در سال تعیین شد.

نتایج شار متان مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۵۸، ۰/۳۸۶ و ۰/۵۱۱ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۲۱، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۵۸ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۶۵، ۰/۰۳۹ و ۰/۶۸۴ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار متان مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۱۱، ۰/۳۴۱ و ۰/۴۳۹ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات دمایی متوسط ( $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه

آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۱۹، ۰/۰۹۴ و ۰/۱۸۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۲۴۷، ۰/۰۹۴ و ۰/۷۳۲ تن در هکتار در سال تعیین شد.

نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۷۶۹، ۰/۵۱۸ و ۰/۸۳۹ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۲۰۱، ۰/۲۴۲ و ۰/۲۹۶ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۳۴۲، ۰/۲۰۴ و ۰/۸۲۱ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۶۳۸، ۰/۵۶۴ و ۰/۶۸۳ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۲۷۸، ۰/۱۸۶ و ۰/۲۹۵ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش بالا (۱۴٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۳۴۲، ۰/۲۰۷ و ۰/۷۹۵ تن در هکتار در سال تعیین شد.

در ادامه مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با میانگین سالانه و با تغییرات بارش ۲- و ۷ و ۱۴٪ در باغات مرکبات دزفول نشان می‌دهد که با تغییر ۲- درصد، کاهش شار متان را داریم ولی با افزایش بارش به میزان ۷ و ۱۴٪ شار متان افزایش زیادی می‌یابد و روند تغییرات نمودار حالت صعودی دارد. این وضعیت نشان دهنده وابستگی شار متان به رطوبت خاک می‌باشد. همچنین شار اکسید نیتروس با افزایش بارش‌ها روند تغییرات بسیار سریعی را نشان می‌دهد و شار گاز اکسید نیتریک نیز با افزایش بارش روند تغییرات صعودی دارد.

مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با میانگین سالانه و تغییرات بارش ۲- و ۷ و ۱۴٪ در نخلستان‌های آبادان نشان می‌دهد که با تغییر ۲- درصد، کاهش انتشار متان را مخصوصاً در میانگین‌ها داریم. با افزایش بارش به

شار اکسید نیتریک به گونه‌ای است که روند تغییرات با افزایش دما افزایش می‌یابد. (Negassa et al., 2015) هم همبستگی مثبت و شدیدی بین دمای خاک و میزان انتشار گاز پیدا کردند. (Chen et al., 2019) نیز اعلام نمودند که دمای بالا و شرایط مناسب آب می‌تواند تنفس خاک را به شدت ارتقا بخشد و اعلام نمودند که آب زیاد در خاک و اشباع شدن آن سبب کاهش سرعت تنفس و کاهش میزان تصاعد از خاک می‌شود.

نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۴۲۷، ۰/۳۵۶ و ۰/۴۶۸ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۶۶، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۱۱ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۵۲، ۰/۰۳۰ و ۰/۶۷۴ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۳۳۷، ۰/۲۴۸ و ۰/۵۱۱ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۰۲۹، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۹۹ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش پایین (۲-٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۹۸، ۰/۰۵۸ و ۰/۶۹۴ تن در هکتار در سال تعیین شد.

نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۶۱۵، ۰/۴۴۱ و ۰/۶۶۳ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۱۱۴، ۰/۱۰۰ و ۰/۱۶۲ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتریک مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۲۷۳، ۰/۱۴۰ و ۰/۷۹۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. نتایج شار متان مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه به ترتیب ۰/۵۴۲، ۰/۴۴۶ و ۰/۵۵۲ تن در هکتار در سال تعیین شد. نتایج شار گاز اکسید نیتروس مدل شده تغییرات بارش متوسط (۷٪) ایستگاه

شد. همچنین بر اساس محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با در نظر گرفتن تغییرات بارش در باغات مرکبات دزفول میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش پایین (۲-٪) به ترتیب ۵۷/۶۷۳، ۱۷/۳۴۶ و ۲۳۱/۱۴، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش متوسط (۷٪) به ترتیب ۱۲۹/۶۰۹، ۸۱/۹۸۱ و ۳۰۰/۱۵۹، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش بالا (۱۴٪) به ترتیب ۱۸۰/۳۷۵، ۱۴۶/۶۹ و ۳۵۴/۰۳۷ به دست آمد. همان‌طور که مشخص است تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با تغییرات بارش نسبت به تغییرات دمایی بسیار بیشتر می‌باشد. ولی فاصله عددی بین کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات دمایی زیاد است. تاثیر کاهش و افزایش بارش در این سایت نیز کاملاً مشخص است و کاهش بارش سبب کم شدن پتانسیل گرمایش جهانی و افزایش آن سبب زیاد شدن این پتانسیل می‌گردد.

بر اساس نتایج به دست آمده از محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در نخلستان‌های آبادان، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه به ترتیب ۴۷/۲۳۴، ۱۸/۹۱۹ و ۲۲۲/۷۶۸ تعیین شد. همچنین بر اساس محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با در نظر گرفتن تغییرات دما در نخلستان‌های آبادان میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی پایین ( $1^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۵۳/۱۰۸، ۲۰/۸۴۸ و ۵۴/۱۸۱، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی متوسط ( $2/5^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۵۶/۲۷۷، ۲۳/۳۶۱ و ۲۲۸/۹۹۵، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی بالا ( $4/5^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۷۱/۲۹۲، ۳۷/۹۸۵ و ۲۴۷/۳۶۴ به دست آمد. همچنین بر اساس محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با در نظر گرفتن تغییرات بارش در نخلستان‌های آبادان میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش پایین (۲-٪) به ترتیب ۴۵/۹۵۶، ۲۳/۷۳۲ و ۲۴۸/۲۳۳، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش متوسط (۷٪) به ترتیب ۱۲۱/۵۷، ۶۶/۴۳۴ و ۲۸۶/۱۴۸، میانگین،

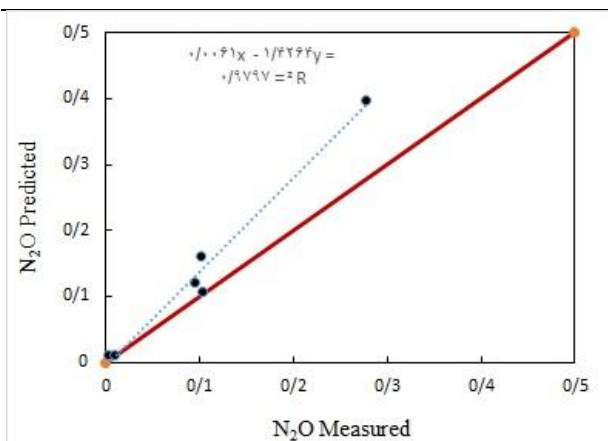
میزان ۷ و ۱۴٪ این روند تغییرات افزایش می‌یابد. همچنین شار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک افزایش چشمگیر دارد. این افزایش خصوصاً در نمودار شار اکسید نیتروس کاملاً مشهود است ولی روند تغییرات صعودی در شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک نخلستان‌های آبادان نسبت به باغات مرکبات دزفول کندتر است.

نتایج تحقیقات (Mousavi et al., 2017) نیز نشان دادند که میزان تصاعد گاز متان در اکتبر (اوایل مهر تا اوایل آبان) که خاک مرطوب است بیشتر از ماه مارس (اوایل اسفند تا اوایل فروردین) می‌باشد. در پژوهش (Shepherd et al., 2019) نتایج نشان داد که تفاوت در تصاعد گاز به عملکرد محصول، کودهای اعمال شده، آمونیوم خاک و نیترات در خاک و آب و رطوبت خاک بستگی دارد. همچنین در این تحقیق این تفاوت‌ها به دلیل محصول و سیستم آبیاری متفاوت است. همین‌طور مطابق با نتایج تحقیق (Del Grosso et al., 2005; 2008) نشان داده شد که نرخ شار گاز با فاکتور تنش آبی، همبستگی قوی دارد.

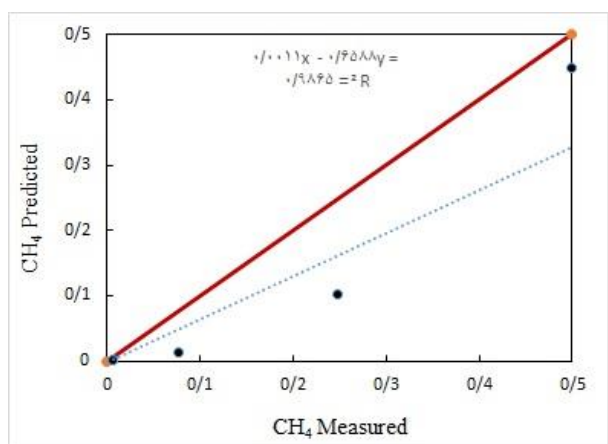
### نتایج حاصل از پتانسیل گرمایش جهانی GWP

در ادامه پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در باغات مرکبات دزفول و نخلستان‌های آبادان در شرایط کنونی و با تغییرات متوسط دمای سالانه هوا ( $1^{\circ}\text{C}$ ،  $2/5$  و  $4/2^{\circ}\text{C}$ ) (IPCC, 2013) و بارش (۲-، ۷ و  $1/4^{\circ}\text{C}$ ) (IPCC, 2013) محاسبه شد.

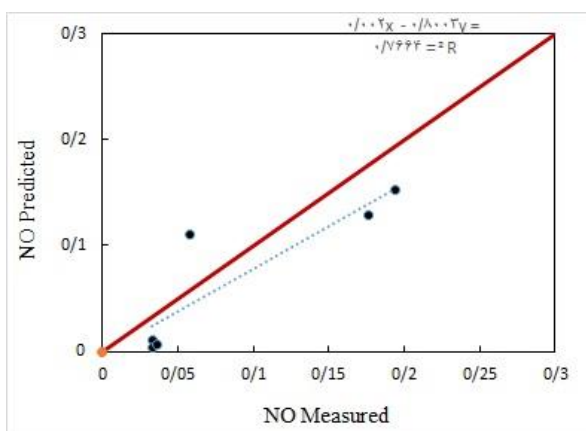
بر اساس نتایج به دست آمده از محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در باغات مرکبات دزفول، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه به ترتیب ۵۸/۱۱۴، ۱۷/۴۹۸ و ۲۲۶/۲۵۳ به دست آمد. همچنین بر اساس محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با در نظر گرفتن تغییرات دما در باغات مرکبات دزفول میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی پایین ( $1^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۶۲/۱۲، ۱۹/۶۷۱ و ۲۲۳/۶۹۱، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی متوسط ( $2/5^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۶۵/۲۹۸، ۲۱/۸۹۸ و ۲۳۲/۵۴۳، میانگین، کمینه و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات دمایی بالا ( $4/5^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب ۷۷/۱۱۷، ۳۳/۱۶۸ و ۲۴۵/۳۵۸ تعیین



شکل (۲): نمودار آماره‌های برآورد منحنی‌های انتشار گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل DAYCENT



شکل (۳): نمودار آماره‌های برآورد منحنی‌های انتشار گاز متان بر مبنای مدل DAYCENT



شکل (۴): نمودار آماره‌های برآورد منحنی‌های انتشار گاز اکسید نیتریک بر مبنای مدل DAYCENT

کمیته و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در این ایستگاه در تغییرات بارش بالا (۱۴٪) به ترتیب ۱۲۱/۱۵۲، ۱۳۱/۱۹ و ۳۴۲/۷۰۳ تعیین شد. همانطور که مشخص است تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی با تغییرات دما و بارش مطابق است. ولی افزایش بارش ۷ و ۱۴٪ افزایش چشمگیری را نشان نمی‌دهد. فاصله عددی بین کمیته و بیشینه پتانسیل گرمایش جهانی در تغییرات دمایی  $^{\circ}\text{C}$  ۲/۵ و ۴/۵ بسیار زیاد است.

### نتایج حاصل از شاخص‌های آماری

به منظور ارزیابی دقت مدل از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. با توجه به نتایج مقایسه آماره‌های سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک به صورت زیر می‌باشد:

$R^2$  (ضریب تبیین) در اکسید نیتروس بالاترین میزان را دارا می‌باشد ولی در هر سه گاز دامنه دقتی مناسب و از ۶۰ بالاتر است. RPD (نسبت انحراف کارایی) بهترین مقدار نسبت انحراف کارایی برای اکسید نیتروس با مقدار ۲/۵۵ است ولی در تمامی در دامنه دقتی مناسب می‌باشد. SD (انحراف معیار) در متان با ۰/۵۴ بیشترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۶ کمترین مقدار را داراست. CRM (ضریب جرم باقیمانده) در اکسید نیتروس با ۰/۳۱ بیشترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۲۲ کمترین مقدار را داراست. CRM در تمامی در دامنه دقتی مناسب می‌باشد. EF (کارایی مدل) در تمامی موارد مورد بررسی در تمامی در دامنه دقتی مناسب می‌باشد. از این میان اکسید نیتروس با میزان ۰/۶۱ مناسب‌ترین مقدار را داراست. CD (ضریب تبیین) از این میان اکسید نیتروس با میزان ۰/۴۴ مناسب‌ترین مقدار را داراست. بر اساس CD بیشترین پراکندگی مربوط به گاز متان می‌باشد. RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) در تمامی موارد مورد بررسی مقدار RMSE قابل قبول و از میانگین مقادیر واقعی کمتر می‌باشد. این آماره در متان با ۰/۳۱ بیشترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۳ کمترین مقدار را داراست. مقدار ME (خطای ماکزیمم) در متان با ۰/۷۴ بیشترین مقدار و در اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۵ کمترین مقدار (بدترین حالت) را داراست. در اشکال ۲ تا ۴ نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده به تفکیک سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک آورده شده است.

## بحث

در نتیجه تغییرات بارش بسیار زیاد می‌باشد. در جمع‌بندی کلی بیش‌ترین سهم پتانسیل گرمایش جهانی از تصاعد گاز اکسید نیتریک است.

محاسبه هزینه‌های محیط‌زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده فعالیت‌های کشاورزی می‌تواند در ایجاد احساس و هشدارهای لازم در برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و حفاظت محیط‌زیست برای توجه بیشتر و حمایت‌های مالی لازم، مؤثر واقع شوند. با توجه به این که مطالعه‌ای تاکنون در زمینه برآورد ارزش اقتصادی گازهای گلخانه‌ای بخش باغداری و محصولات منتخب صورت نگرفته است، لذا در این مطالعه برای برآورد هزینه محیط‌زیستی انتشار متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک درختان منتخب تولیدی کشور از مطالعات گذشته استفاده شده است. در واقع قیمت سایه‌ای گازهای گلخانه‌ای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با به روزرسانی آن، به ترتیب معادل ۱۱۶۶۱/۰۹ - ۳۰۲۹۹ - و ۲۹۹۴/۵ - ریال، تعیین گردید. هزینه محیط‌زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای انتشار متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک حاصل از نخلستان‌ها و باغات مرکبات مناطق مورد مطالعه محاسبه و در جدول (۱) گزارش شده است.

در این پژوهش انتشار گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در باغات مرکبات و نخلستان‌های خوزستان با استفاده از مدل DAYCENT با در نظر گرفتن میانگین سالانه دما و بارش و تغییرات آنها برآورد شده و سپس میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس خروجی مدل، در دو ایستگاه به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل DAYCENT، گاز متان بیش‌ترین میزان تصاعد را در ایستگاه دزفول (مرکبات)، بیش‌ترین میزان تصاعد اکسید نیتروس در ایستگاه آبادان (خرما) و اکسید نیتریک از ایستگاه دزفول (مرکبات) به دست آمد. بالا بودن تصاعد گاز متان در ایستگاه دزفول به دلیل نوع کشت می‌باشد. درحالی که بالا بودن شار اکسید نیتروس در ایستگاه آبادان و اکسید نیتریک در ایستگاه دزفول به دلیل عدم استفاده اصولی از کودهای شیمیایی و عدم رعایت اصول کارشناسی در مزارع سبب بالا بودن شار این گازها شده است. پتانسیل گرمایش جهانی در منطقه دزفول بیشتر بود چون کشت متراکم‌تر و مصرف کود بیشتری دارد قابل انتظار بود. همچنین در باغات مرکبات تغییرات پتانسیل گرمایش جهانی

جدول (۱): هزینه محیط‌زیستی سه گاز مورد نظر از نخلستان‌های آبادان و باغات مرکبات دزفول

حد اکثر	حداقل	میانگین	سایت	هزینه انتشار (ریال)
۱۵۰۰۲۴۴۵	۱۱۳۱۹۲۱	۱۳۴۱۵۳۶	دزفول	شار متان
			آبادان	
۱۴۵۴۳۵۲	۶۰۵۹۸	۳۳۳۲۸۹	دزفول	شار اکسید نیتروس
			آبادان	
۲۳۳۳۰۲۳	۱۲۱۱۹۶	۴۲۴۱۸۶	دزفول	شار اکسید نیتریک
			آبادان	
۷۸۵۹۵۷۴۶۶	۳۴۹۸۳۲۷	۱۷۷۲۴۸۵۶۸	دزفول	مجموع هزینه ها در هکتار
			آبادان	
۱۰۸۱۴۱۷۱۱۶	۱۵۴۲۳۵۱۷	۳۴۴۷۳۱۰۶۸	دزفول	آبادان
			آبادان	
۱۱۰۵۴۷۶۱۳۳	۱۵۳۲۱۷۴۷۴	۳۱۲۰۲۷۷۶۱	دزفول	آبادان
			آبادان	

گلخانه‌ای و عدم وجود برآوردی از ارزش میزان انتشار این گازها و هزینه محیط‌زیستی آن در فرآیند آماده سازی، تولید و توزیع این محصولات، لازم است میزان انتشار این گازها در کشور محاسبه شود.

بر اساس میانگین خروجی، هزینه انتشار محیط‌زیستی سه گاز مورد نظر در دزفول بیشتر از آبادان می‌باشد، بیش‌ترین سهم از هزینه انتشار گاز گلخانه‌ای اکسید نیتریک است. در جمع‌بندی کلی توجه به جایگاه و اهمیت زیربخش باغداری در تولید گازهای گلخانه‌ای، تعهد ایران به پیمان کیوتو برای برآورد و اندازه گیری گازهای

## فهرست منابع

- Akbarzadeh, M. 2013. Methane and its role in global warming. *Transplant science journal*. 2 (2): 37-41. (In persian)
- Ashtari, F.; Sharififard, H.; Shabankari, M.; Kikavousi, A.; Hashemifard, A.; Afshan, A. & Darvishi, N. 2014. *Khuzestan provincial, Green book*. (in persian)
- Bilotto, F.; Harrison, M.T.; Migliorati, M.D.A.; Christie, K.M.; Rowlings, D.W.; Grace, P.R.; Smith, A.P.; Rawnsley, R.P.; Thorburn, P.J. & Eckard, R.J. 2021. Can seasonal soil N mineralisation trends be leveraged to enhance pasture growth?, *Science of the total environment*, Volume 772, 145031.
- Bozarjomhari, Kh.; Ismaili, S. & Vesal, S. 2013. Investigation of interaction between climate (greenhouse gas) and agriculture (rice product). *First national conference on climate change and food security*. (In persian)
- Chen, W.; Zheng, X.; Wolf, B.; Yao, Z.; Liu, C.; Butterbach-Bahl, K. & Brüggemann, N. 2019. Long-term grazing effects on soil-atmosphere exchanges of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O at different grasslands in Inner Mongolia: a soil core study. *Ecological indicators*, 105, 316-328.
- Dashtaki, S.G.; Homae, 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.; Holland, E.A.; Parton, W.J.; Mosier Pendall, E. A.; Schimel, D.S. & Ojima, D.S. 2005. Modeling soil CO<sub>2</sub> emissions from ecosystems, *Biogeochemistry*, 73(2005):71-91.
- Del Grosso, S.; Parton, W.J.; Stohlgren, T.; Zheng, D.; Bachelet, D.; Prince, S.; Hibbard, K. & Olson, R. 2008. Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature, *Ecology*, 89 (8):2117-2126.
- 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.
- 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 N<sub>2</sub>O emissions in a comparison of the DayCent, DNDC, and EPIC models, *Ecological applications*, 28(3):694-708.
- Guest, G.; Kröbel, R.; Grant, B.; Smith, W.; Sansoulet, J.; Pattey, E.; Desjardins, R.; Jégo, G.; Tremblay, N. & Tremblay, G. 2017. Model comparison of soil processes in eastern Canada using DayCent, DNDC and STICS, *Nutrient cycling in agroecosystems*, volume 109, pp 211-232.
- Gurung, R.B.; Ogle, S.M.; Breidt, F.J.; Williams, S.; Zhang, Y.; Del Grosso, S.J.; Parton, W.J. & Paustian, K. 2021. Modeling ammonia volatilization from urea application to agricultural soils in the DayCent model, *Nutrient cycling in agroecosystems*, <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10122-z>.
- 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.
- Homae, 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.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). 2007. Summary for policy makers. *The physical science basis*. Camb. Univ. Press. ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). 2013. *Climate change 2013: the physical science basis*. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge, UK.
- Jamalipour, M.; Ghorbani, M.; Kouchaki, A. & Shahnoushi, N. 2016. Estimating the economic cost of greenhouse gas emissions in Iran, *Iranian journal of cereal research*, 7 (2): 59-77. (In persian)

- Khodaverdilo, H.; Homae, 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.
- Maleki morsht, R. 2017. Assessing the effects of climate change on Iran's water and agricultural resources, Evin international conference and the fifth national conference on traditional agriculture, Mohaghegh Ardabili university. (In persian)
- Moradi majd, N.; Fallah ghalhari, G.A. & Chatrenour, M. 2021. Using DAYCENT model in estimating greenhouse gases and global warming potential of agricultural lands in Khuzestan province, *Iranian journal of soil and water research*, 15 (9): 2259-2273. (In persian)
- Mousavi, S.M.; Falahatkar, S. & Farajzadeh, M. 2017. Changes in carbon dioxide and methane greenhouse gas concentrations in relation to environmental variables in Iran, *Applied Ecology*, 6 (4): 65-78. (In persian)
- Negassa, W.; Price, R.F.; Basir, A.; Snapp, S.S. & Kravchenko, A. 2015. Cover crop and tillage systems effect on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in contrasting topographic positions. *Soil and tillage research*, 154: 64-74.
- Parhizgari, A. & Mozaffari, M. M. 2016. Assessing the impacts of greenhouse gas emissions and climate change on the supply and demand of irrigation water and agricultural production in Qazvin watersheds. *Journal of watershed management*. 7 (14): 141-151. (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.
- Robertson, G.P.; Paul, E.A. & Harwood, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289: 1922-1935
- Shakarian, M.; Yousefi, A. & Amini, A.M. 2017. The effect of improving energy efficiency on reducing carbon dioxide emissions in cucumber greenhouses. *Greenhouse culture science and technology*, 8 (3): 13-24. (In persian)
- Shepherd, A. & Cardenas, L.M. 2019. Metrics of biomass, live- weight gain and nitrogen loss of ryegrass sheep pasture in the 21<sup>st</sup> century, *Science of the total environment*, 685;428-441.
- 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 N<sub>2</sub>O derived from crop-based biofuels, and from Agriculture in general in earth's climate. *Philosophical transactions of the royal society*. 367: 1169-1174.
- The Balance sheet of energy. 2014. Department of Energy, Power and Energy Affairs.
- Thelen, K. D.; Fronning, B. E.; Kravchenko, A.; Min, D. H. & Robertson, G. P. 2010. Integrating livestockmanure with a corn-soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass Bioenergy* 34: 960-966
- Vijui, M. & Taheri, SH. 2008. Investigation of environmental impacts of ozone degradation by NO gas and methods of reducing its effects using catalytic converters. Second specialized conference on environmental Engineering, Tehran. University of Tehran. environment College. (In persian)
- 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.