

## Prediction of Greenhouse Gases and Global Warming Potential in Agricultural Lands of Khuzestan Province Using DAYCENT Model

NASRIN MORADIMAJD<sup>1</sup>, GHOLAM ABBAS FALLAHGHALHARI<sup>\*1</sup>, MANSOUR CHATERNOUR<sup>2</sup>

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

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

(Received: Apr. 29, 2020- Revised: July. 10, 2020- Accepted: July. 13, 2020)

### ABSTRACT

In the current years, increase of greenhouse gas emissions such as methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and nitric oxide (NO) from soils to atmosphere is a global concern. Tillage and agricultural lands deveopment have been the main sources of greenhouse gases production. The aim of this study is to determine the rate of greenhouse gas emissions in agricultural lands of Khuzestan province using DAYCENT model. For this purpose, the rate of gas emission from the soil surface was measured in each agricultural unit. Also, the emission of methane, nitrous oxide and nitric oxide gases were estimated in agricultural ecosystems of Khuzestan province, using DAYCENT software. The global warming potential was determined for all the study areas. The highest methane emission (1.369 tons/ha) was estimated by DAYCENT model which corresponded to the paddy fields of Baghmalek. Also, the highest emission of nitrous oxide and nitric oxide were corresponded to Shush wheat fields with 0.101 and 0.111 tons per hectare per year, respectively. The maximum global warming potential (66.664 tones equivalent to carbon dioxide) was determined based on DAYCENT data which was corresponded to Shush wheat fields. The results showed a lower gas emissions and heating potential in sugarcane fields as compared to the other cultivars. Also, according to the statistical indicators of determination coefficient (0.98, 0.99 and 0.77), root means square Error (0.05, 0.31and 0.03) and model efficiency (0.61, 0.85 and 0.76), respectively for three gases of nitrous oxide, methane and nitric oxide, DAYCENT model showed an acceptable accuracy.

**Keywords:** Nitrous Oxide, Nitric Oxide, Agricultural Ecosystems, Methane.

## استفاده از مدل DAYCENT در تخمین گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی اراضی کشاورزی استان خوزستان

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

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

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۴/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۴/۲۳)

### چکیده

در سال‌های اخیر افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای از خاک‌ها به اتمسفر از مسائل عمده‌ای به‌شمار می‌رود. از مهم‌ترین این گازها می‌توان به متان ( $CH_4$ )، نیتروس اکسید ( $N_2O$ ) و نیتریک اکسید ( $NO$ ) اشاره کرد. از منابع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای در زمین‌های زراعی، خاک‌ورزی و بالا رفتن سطح زیر کشت بوده است. هدف از پژوهش حاضر تعیین میزان تصاعد گازهای گلخانه‌ای در اراضی زراعی استان خوزستان با استفاده از مدل DAYCENT است. در ابتدا نمونه‌برداری و تعیین غلظت گاز خروجی از هر واحد زراعی انجام شد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار DAYCENT انتشار گازهای متان، نیتروس اکسید و نیتریک اکسید در اکوسیستم‌های کشاورزی استان خوزستان برآورد شد. پتانسیل گرمایش جهانی برای هر چهار منطقه مورد مطالعه تعیین شد. بر اساس مدل DAYCENT، بیش‌ترین انتشار متان از شالیزارهای باغملک به مقدار ۱/۳۶۹ تن در هکتار در سال بوده 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. بیش‌ترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس داده‌های مدل مربوط به گندمزارهای شوش (۶۶/۶۱۴ تن معادل دی‌اکسید کربن) بود. نتایج نشان داد که نیشکر، انتشار گاز و پتانسیل گرمایش کمتری نسبت به سایر کشت‌های مورد بررسی داشته است. همچنین با توجه به شاخص‌های آماری ضریب تعیین (۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۷۷)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (۰/۰۵، ۰/۳۱ و ۰/۰۳) و کارایی مدل (۰/۶۱، ۰/۸۵ و ۰/۷۶) به ترتیب برای سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک، مدل دقت قابل قبولی را نشان داده است.

**واژه‌های کلیدی:** اکسید نیتروس، اکسید نیتریک، اکوسیستم‌های کشاورزی، متان.

### مقدمه

اکسید نیتروس و اکسید نیتریک ناشی از فعالیت‌های مختلف کشاورزی به ترتیب حدود ۱/۷ تا ۴/۸ و ۱/۶ تراگرم در سال گزارش شده است (Yao *et al.*, 2009). طی دو قرن گذشته، غلظت جهانی اکسید نیتروژن در اثر فعالیت‌های انسانی حدود ۱۳ درصد افزایش یافته است (MAJ, 2012). افزون بر این، انسان‌ها با کشت غیراصولی برخی محصولات، سبب افزایش ۲۰ درصدی تولید متان در سال شده‌اند و پیش‌بینی می‌شود که این مقدار تا سال ۲۰۲۵ به میزان ۵ تا ۳۵ درصد و تا سال ۲۱۰۰ به مقدار ۵۰ درصد افزایش یابد (Bozarjomhari *et al.*, 2013). استان خوزستان مهم‌ترین قطب کشاورزی کشور است که نه‌تنها در حال حاضر نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی دارد، بلکه با توجه به ظرفیت‌ها و استعدادهای بالقوه نقشی بی‌بدیل در توسعه آینده کشاورزی

اکوسیستم‌های کشاورزی حدود ۳۶ درصد اراضی کره زمین را تشکیل می‌دهند که سبب تولید گازهای گلخانه‌ای مانند متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک می‌شوند (Paustian, 2002). از مهم‌ترین منابع اصلی تولید این گازها، سوخت‌های فسیلی استفاده‌شده در فعالیت‌های کشاورزی، تلفات کربن خاک با خاک‌ورزی، سوزاندن بقایای گیاهی و درختان جنگلی، دامداری، استفاده از کودهای دامی و نیز کود نیتروژن هستند (Kochaki & Kamali, 2010). سهم کشاورزی در پدیده تغییر اقلیم حدود ۱۳/۵ درصد است (IPCC, 2001). در حالی که پتانسیل گرمایش جهانی در بخش کشاورزی ناشی از انتشار گازها متغیر است و حدود ۶۰ درصد مربوط به اکسید نیتروژن، ۳۹ درصد متان و یک درصد دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. میزان انتشار جهانی

داده‌ها، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین انرژی ورودی و خروجی گلخانه‌ها به ترتیب ۳۲۳۲/۵ و ۱۶۶/۱ گیگا ژول در هکتار بود. *Weiler et al.* (۲۰۱۸) به شبیه‌سازی سالانه میزان انتشار متان و کربن آلی خاک در سیستم کشت برنج نیمه گرمسیری با روش DAYCENT پرداختند. مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی جریان متان روزانه نشان داد که DAYCENT الگوهای کلی شار متان را با اختلاف کمی برآورد می‌کند. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل DAYCENT عملکرد کلی قابل قبولی داشته است. *Yue et al.* (۲۰۱۹)، چهار روش مدل‌سازی شامل: DAYCENT، DNDC، رگرسیون خطی (YLRM) و عوامل انتشار اولویت IPCC را برای ارزیابی انتشار اکسید نیتروژن در حوزه کشاورزی مورد مقایسه قرار دادند. ارزیابی دقت مدل‌های مورد استفاده نشان داد که مدل‌های DAYCENT و DNDC الگوهای زمانی روزانه اکسید نیتروس را به‌طور مؤثری شبیه‌سازی می‌کنند، اما هر دو مدل در شبیه‌سازی زمان‌بندی شار اکسید نیتروس پس از برخی رخدادها نظیر کوددهی و رژیم آب مشکل داشتند. *Fitton et al.* (۲۰۱۹) مدل‌سازی ضریب بیولوژیکی نیتروژن و پویایی علف‌زار مبتنی بر فرآیند بیوژئوشیمیایی را با دو روش APSIM و DAYCENT، در مقایسه با مجموعه داده‌های تجربی انجام دادند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که هر دو مدل، وابستگی به مفروضات خاصی را دارا بوده و می‌توانند جنبه‌های کلیدی رشد علف‌های هرز، از جمله تولید زیست‌توده را به دست آورند و به‌درستی شبیه‌سازی تعاملات بین تغییر دانه و علف، به‌ویژه مخلوط با کسر شبدر بالا را محاسبه کنند.

در چند دهه اخیر افزایش جمعیت از یک طرف و نیاز به تولید و افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از طرف دیگر سبب افزایش تولید محصولات کشاورزی و مسائل زیست‌محیطی مانند آلودگی‌های آب و خاک شده است. کشاورزی یکی از مسائل موجود در تولید گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین است. استان خوزستان یکی از قطب‌های فعال کشور در زمینه تنوع محصولات کشاورزی بوده، به‌طوری که در یک سال چند کشت انجام شده و فشار مضاعفی را بر منابع آب و خاک و محیط زیستی متحمل می‌کند. در زمینه بررسی آلودگی‌های آب و خاک در این استان پژوهش‌های زیادی انجام شده است اما در بررسی تولید گازهای گلخانه‌ای با وجود اهمیت مسئله، فعالیت‌های محدودی انجام پذیرفته است و از مدل DAYCENT نیز در ایران استفاده نشده است. در این راستا پژوهش حاضر یک

کشور خواهد داشت. گندم از مهم‌ترین گیاهانی است که به‌وسیله‌ی انسان زراعت شده و دارای ویژگی مهم تطابق با شرایط آب و هوایی مختلف و از طرف دیگر غذای اولیه و اصلی اغلب مردم جهان را تشکیل می‌دهد. شهرستان شوش واقع در استان خوزستان با تولید ۲۷۰ هزار تن گندم همچنان رتبه نخست کشور را در تولید این محصول استراتژیک در اختیار دارد. پس از گندم، برنج دومین غله مهم در دنیا به‌حساب می‌آید. مزارع کشت برنج از جمله منابع انسانی مؤثر در تولید متان می‌باشند. کشت برنج در ایران در نواحی شمالی استان خوزستان تاریخچه طولانی دارد. هر ساله با آغاز فصل کشت برنج، بیش از ۳ هزار هکتار از شالیزارهای این شهرستان زیر کشت برنج می‌رود. خوزستان پس از گیلان و مازندران با تأمین ۹ درصد برنج کشور، سومین استان کشور از نظر تولید برنج با کیفیت است. نیشکر گیاهی بلند و از جنس تباشیر بوده و از تیره غلات و بومی مناطق معتدل گرم تا مناطق حاره است. کشت این گیاه در خوزستان ۷۰۰ تا ۸۰۰ سال قبل از میلاد رواج داشته و کلمه خوزستان به معنی شکرستان است. با همکاری سازمان FAO در سال ۱۳۳۰ برنامه کشت نیشکر در خوزستان پایه‌گذاری و تا امروز ادامه داشته به‌طوری که در حال حاضر برنامه توسعه نیشکر یکی از بزرگ‌ترین طرح‌های ملی ایران است (*Ashtari et al.*, 2014).

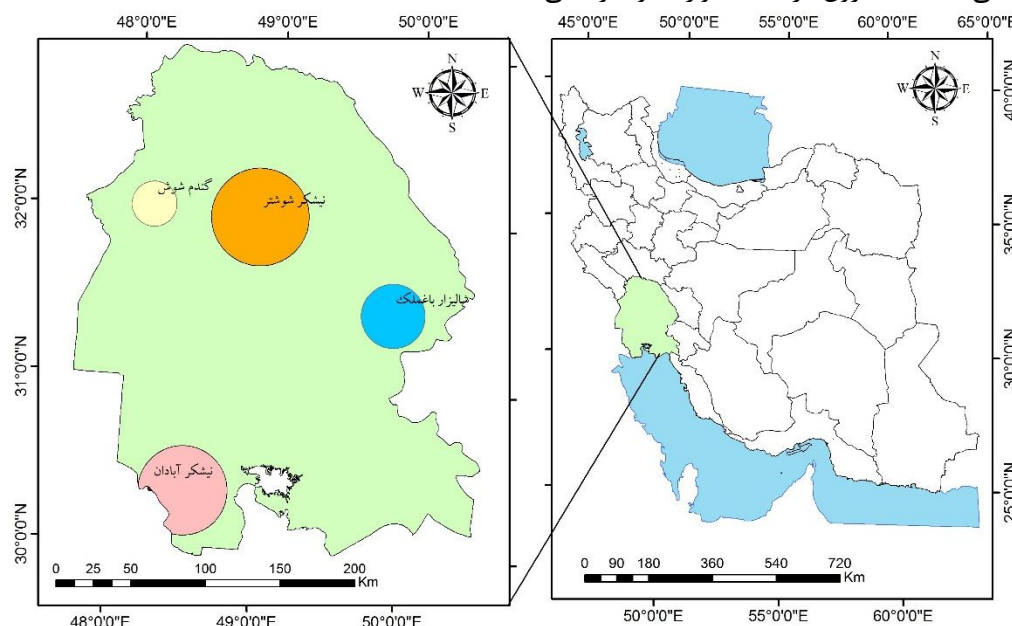
در زمینه بررسی وضعیت تولید گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلف، تاکنون مطالعات داخلی و خارجی متعددی صورت گرفته است. طی پژوهشی *Mozaffari* و *Parhizgari* (2016) به ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی در زمینه عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در حوضه‌های آبخیز استان قزوین پرداختند و از مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS تحت سناریوهای مختلف استفاده کردند. این پژوهشگران در بررسی اثرگذاری متغیرهای دما و بارش بر روی عملکرد محصولات کشاورزی از روش حداقل مربعات معمولی ۱ و تحلیل‌های رگرسیونی استفاده کرده و تغییرات به وجود آمده در عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات بخش کشاورزی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی دما و بارش قرار گرفته و سبب تغییر عملکرد محصولات در استان قزوین شده است. در پژوهشی دیگر *Shakarian et al.* (2017) به بررسی تولید گاز دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌های تولید خیار پرداختند. داده‌های موردنیاز را از طریق پرسشنامه دومرحله‌ای و استفاده از نمونه‌برداری انتساب متناسب طبقه‌ای جمع‌آوری کردند و با استفاده از روش تحلیل پوششی

باشند (شکل ۱). گندمزارهای شهرستان شوش با مساحتی حدود ۶۲ هزار هکتار در شمال غربی اهواز بین ۳۲ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی قرار گرفته‌اند. شالیزارهای شهرستان باغملک نیز در فاصله ۱۴۰ کیلومتری اهواز بین ۴۹ و ۳۳ تا ۵۰ و ۱۵ طول شرقی و ۳۱ و ۱۳ تا ۳۱ و ۴۳ عرض شمالی قرار دارند که هر ساله با آغاز فصل کشت برنج، بیش از ۳ هزار هکتار از این شالیزارها، زیر کشت برنج می‌رود. مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبل خزایی و سلمان فارسی با مساحت تقریبی ۶۲ هزار هکتار در جاده اهواز-آبادان با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه و شرکت کشت و صنعت امام خمینی، دهخدا، کارون و هفت‌تپه با مساحت تقریبی ۴۸ هزار هکتار در جاده اهواز-شوشتر بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی است.

بررسی کاربردی- تحلیلی است که از منابع کتابخانه‌ای اسنادی، مقالات علمی- پژوهشی و یافته‌های آماری استفاده کرده و با کمک نرم‌افزار DAYCENT به برآورد شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در اکوسیستم‌های کشاورزی استان خوزستان پرداخته است. در ادامه پتانسیل گرمایش جهانی و هزینه محیط‌زیستی این سه گاز در اکوسیستم‌های کشاورزی جهت کشت گندم (گندمزارهای شوش)، نیشکر (مزارع شوشتر و آبادان) و برنج (شالیزارهای باغملک) با توجه به اهمیت آنها انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مطالعاتی:** منطقه مورد مطالعه گندمزارهای شهرستان شوش، شالیزارهای شهرستان باغملک، مزارع نیشکر (شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی، میرزا کوچک خان، امیرکبیر، دعبل خزایی و سلمان فارسی در جاده اهواز-آبادان و شرکت کشت و صنعت امام خمینی، دهخدا، کارون در جاده اهواز- شوشتر) می



شکل ۱- موقعیت قرارگیری محدوده‌های مطالعاتی در استان خوزستان

سه ساعت از نصب اتاقک‌ها، از درون آن‌ها به کمک سرنگ نمونه‌برداری شد. پس از طی این زمان توسط سرنگ ۶۰ میلی‌لیتری که نوک آن سراهی مخصوص نمونه‌گیری نصب گردیده بود، نمونه‌برداری از هوای درون اتاقک نمونه‌برداری صورت گرفت و به قسمت آنژکتور دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق شد. نمونه‌ها بلافاصله برای قرائت میزان گاز متان به آزمایشگاه منتقل و توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) مدل UNICAM سری ۶۱۰ مجهز به حسگرهای ECD و FID اندازه‌گیری شد. با

**روش تحقیق:** جهت نیل به اهداف پژوهش، شش دوره نمونه‌برداری متناسب با وضعیت رشد گیاه از کشت‌های زراعی (نیشکر، برنج و گندم) در قالب طرح بلوک‌های تصادفی با دو عامل (نوع کشت و تاریخ نمونه‌برداری) اجرا شد که جهت افزایش ضریب اطمینان در هر دوره، نمونه‌برداری با سه تکرار انجام پذیرفت. سپس به منظور اندازه‌گیری میزان آزاد شدن گازها از سطح خاک از روش اتاقک بسته و کروماتوگرافی گازی استفاده شد. در هر کشتزار سه اتاقک قرار داده شد. پس از گذشت

هر واحد متان و اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک به ترتیب حدود ۲۱ و ۳۱۰ و ۲۹۸ برابر دی‌اکسیدکربن در گرمایش زمین نقش دارند (IPCC, 2007). بنابراین، واحد این شاخص به صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان گردید. برای این منظور، میزان گاز اکسیدنیتروس با ضریب ۳۱۰ و متان با ضریب ۲۱ و اکسید نیتریک با ضریب ۲۹۸ در محاسبات وارد شد. در نهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادله (۴) محاسبه شد.

$$GWP = (N_2O \text{ FLUX} \times 310) + (NO \text{ FLUX} \times 298) + (CH_4 \text{ FLUX} \times 21) \quad (\text{رابطه ۴})$$

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

#### شاخص‌های ارزیابی مدل: به منظور ارزیابی دقت مدل، از

شاخص‌های آماری خطای حداکثر<sup>۱</sup>، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup>، ضریب تعیین<sup>۳</sup>، کارایی مدل<sup>۴</sup> و ضریب جرم باقیمانده<sup>۵</sup> استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده 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  $R^2 = \frac{\sum(P_i - \bar{O})^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$  است. در بررسی کمی مدل‌ها شاخص CD در حقیقت معکوس تعریف دوم و شاخص EF همان تعریف اول از  $R^2$  است. تعریف اول همواره بین صفر و یک تغییر می‌کند و تعریف دوم، می‌تواند از 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 به‌طور کلی میزان خطای مدل را در برآورد داده‌ها عنوان می‌کنند (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 پیش‌بینی‌شده و مقادیر اندازه‌گیری شده است. حد پایینی ME، RMSE و CD صفر است. مقایسه‌ی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر مشاهده‌شده توسط شاخص EF انجام می‌گیرد. هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد مدل پیش‌بینی بهتری داشته است. شاخص CRM میل مدل به بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی را نشان می‌دهد (Khodaverdiloo *et al.*, 2011). میزان CRM

دخالت حجم اتافک و مدت زمان نصب اتافک‌ها، در نهایت مقدار میلی‌لیتر در لیتر حجم گازها بر اساس میزان تصاعد گاز موردنظر بر حسب جرم از واحد سطح در واحد زمان به‌وسیله نرم‌افزار Excel محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری گازهای اکسید نیتروس و اکسید نیتریک از دستگاه اندازه‌گیر اکسیدهای نیتروژن مدل APNA-370 استفاده شد. در طول دوره تحقیق (سال ۱۳۹۸) این مقادیر به دست آمده به کل سال تعمیم داده شد.

#### مدل DAYCENT: برنامه مدل DAYCENT در زبان

برنامه‌نویسی FORTRAN و C نوشته شده است و می‌تواند از پنجره DOS بر روی کامپیوتر یا یک پلت‌فرم یونیکس- لینوکس استفاده شود. این مدل شبیه‌سازی روزانه کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد را با استفاده از چرخه سالانه پردازش می‌کند. سیستم علف‌زار- کشتزار، جنگل یا ساوانا را به‌عنوان یک مدل فرعی تولیدشده، برای تولید بالقوه منحنی اولیه که نماینده جامعه گیاهی خاص محسوب می‌شود، انتخاب می‌کند. 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 ".lis" استفاده می‌شود. فایل‌های پارامتر ورودی منحصر به DAYCENT است. برنامه List100 برای استخراج مقادیر از فایل باینری استفاده می‌شود و آن‌ها را به یک فایل متنی با پسوند ".lis" ارسال می‌کند (Hartman *et al.*, 2016). برنامه نوشته‌شده در محیط DAYCENT جهت کشت گندم در معادله (۱)، برنج در معادله (۲) و نیشکر در معادله (۳) آورده شده است.

(رابطه ۱) 1 304 FERT 1 303 CULT S 1 279 CULT P  
1 19 1 354 FERT 5N 1 314 PLTM 5N  
1 93 LAST 1 49 FERT 5N FERT 5N  
(رابطه ۲) 1 154 1 150 CULT P 1 141 OMAD M2  
1 170 IIRRI A100 1 155 FERT 5N CULT H  
1 177 IIRRI 1 173 OMAD M1 1 172 PLTM  
1 314 LAST 1 203 FERT 5N A0  
(رابطه ۳) 1 129 FERT 4N 1 98 FERT 3N 1 50 CULT P  
1 211 IIRRI 1 206 PLTM 1 180 FERT 3N  
1 284 LAST 1 254 IIRRI A0 A60

#### پتانسیل گرمایش جهانی (GWP): محاسبه پتانسیل

گرمایش جهانی بر اساس گزارش‌های Robertson و همکاران (2000) و Thelen و همکاران (2010) انجام شد. به‌منظور محاسبه این شاخص، میزان انتشار متان، اکسیدنیتروس و اکسید نیتریک محاسبه‌شده برای محصول در نظر گرفته شد. اثر هر کدام از گازها بر گرمایش زمین متفاوت است، به‌طوری که

گازهای مذکور بار اول در حال وارد شدن به مرحله سه برگگی، بار دوم در مرحله پنجه‌زنی، بار سوم در مرحله ساقه‌دهی و به خوشه-رفتن، بار چهارم در مرحله زردشدن و سخت‌شدن دانه، بار پنجم پس از برداشت و بار ششم در زمان آیش مزرعه بود.

بر اساس نتایج نمونه‌برداری در مراحل زمانی T<sub>1</sub> به T<sub>2</sub> و با توجه به رشد گیاه و افزایش ریشه‌دهی و تشدید فعالیت‌های گیاه در این بازه زمانی افزایش آزادسازی مشاهده گردید. از تاریخ T<sub>2</sub> به T<sub>3</sub> 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)، افزایش آزادسازی مشاهده گردید. در مرحله T<sub>4</sub> به دلیل کاهش زیاد در 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 T<sub>5</sub> و شروع تجزیه بقایای گیاهی افزایش آزادسازی نسبت به T<sub>4</sub> مشاهده شد. نمونه‌برداری T<sub>6</sub> در زمان آیش مزرعه (عدم وجود بقایای گیاهی) و در زمان سردی هوا صورت گرفت که روند کاهشی را نشان داده و بیانگر این است که دما اثر مهمی بر آزادسازی گاز از خاک دارد.

منفی یعنی مدل مقادیر را بیشتر و CRM مثبت یعنی مدل داده ها را کمتر از داده‌های مشاهده‌شده پیش‌بینی کرده است. اگر مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده 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 et al., 2002; Kottegoda and Rosso, 2008).

$$ME = \text{MAX } |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۷})$$

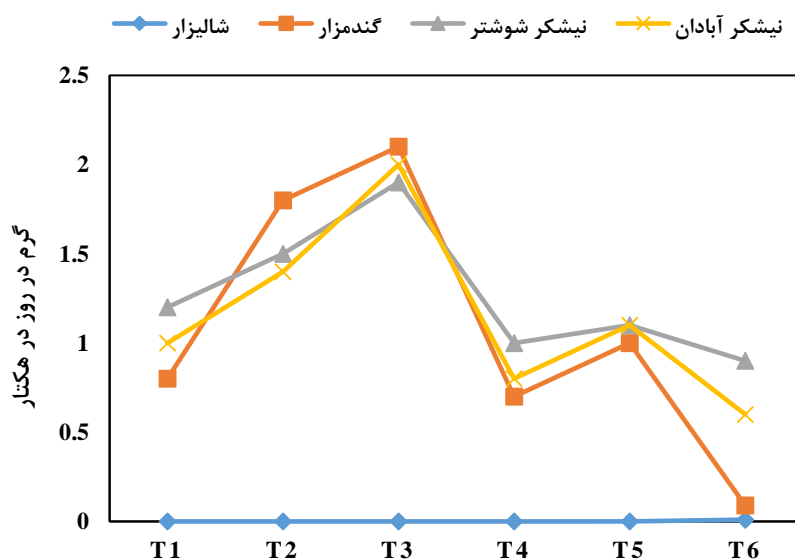
$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در روابط فوق، P<sub>i</sub> مقادیر شبیه‌سازی‌شده، O<sub>i</sub> مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کاررفته است.

## نتایج و بحث

نتایج نمونه‌برداری از گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته از خاک، روند تغییرات آزادسازی تصاعد اکسید نیتروس و اکسید نیتریک و متان از کشت‌های زراعی نیشکر، برنج و گندم در شکل‌های (۲ تا (۴ آورده شده است. حداکثر آزادسازی گاز در مراحل ساقه-دهی و به خوشه رفتن است. در زمان‌های نمونه‌برداری، آزادسازی



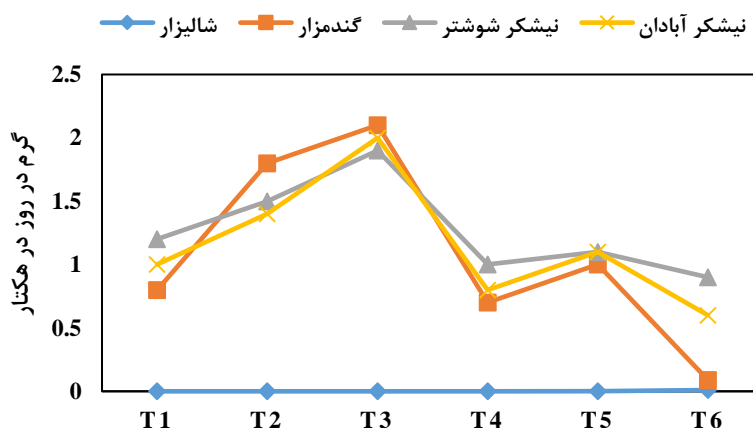
شکل ۲- روند تغییرات آزادسازی متان در کشت‌های زراعی نیشکر، برنج و گندم

حالت غرقابی دارند از انتشار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک جلوگیری می‌کنند. در این مزارع چون محتوای آب موجود در خاک از ظرفیت خاک بیشتر است، اکسید نیتروس به N<sub>2</sub> احیاء می‌شود. اکسید نیتریک نیز در شالیزارهای برنج به صورت

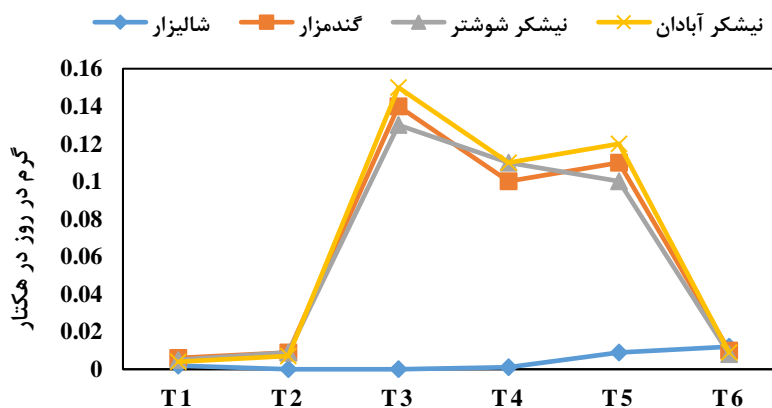
اندازه‌گیری غلظت گازهای اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در شالیزارهای باغملک متفاوت با سایر کشت‌های مورد بررسی بود زیرا در حالت غرقابی اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بسیار ناچیز و در حد صفر است. شالیزارهای برنج باغملک به دلیل اینکه

شوش برای کشت گندم با مقدار ۰/۱۰۱ تن در هکتار در سال و کمترین میزان از ایستگاه‌های شوشتر و آبادان برای کشت نیشکر با مقدار ۰/۰۰۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. بیشترین میزان تصاعد گاز اکسید نیتریک از ایستگاه شوش برای کشت گندم با مقدار ۰/۱۱۱ تن در هکتار در سال و کمترین میزان از ایستگاه شوشتر برای کشت نیشکر با مقدار ۰/۰۰۴ تن در هکتار در سال تعیین شد.

پالس‌هایی بعد از کوددهی و باران‌های سنگین خارج می‌شود. در جدول (۱) نرخ شار گازهای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در هکتار در سال در چهار ایستگاه بر اساس مدل DAYCENT آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تصاعد گاز متان در ایستگاه باغملک برای کشت برنج با مقدار ۱/۳۶۹ تن در هکتار در سال و کمترین میزان در ایستگاه شوش برای کشت گندم با مقدار ۰/۱۰۶ تن در هکتار در سال تعیین شد. بیشترین میزان تصاعد گاز اکسید نیتروس از ایستگاه



شکل ۳- روند تغییرات آزادسازی اکسید نیتروس در کشت‌های زراعی نیشکر، برنج و گندم



شکل ۴- روند تغییرات آزادسازی اکسید نیتریک در کشت‌های زراعی نیشکر، برنج و گندم

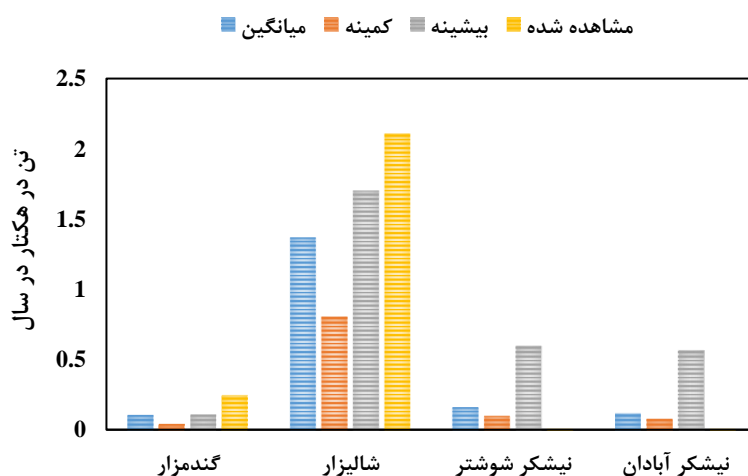
جدول ۱- میانگین، کمینه و بیشینه شار متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک (تن در هکتار در سال)

متغیر	ایستگاه	میانگین ( $\pm 2$ خطای استاندارد)	بیشینه	کمینه	ضریب تغییرات (درصد)
شار متان	باغملک	۱/۳۶۹	۰/۸۰۵	۱/۷۰۱	۳/۶
شار اکسید نیتروس		۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۱/۲
شار اکسید نیتریک		۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۵
شار متان	شوش	۰/۱۰۶	۰/۰۴۳	۰/۱۱۰	۳/۹
شار اکسید نیتروس		۰/۱۰۱	۰/۰۷۰	۰/۲۰	۶۷/۳
شار اکسید نیتریک		۰/۱۱۱	۰/۰۸۵	۰/۲۴۲	۵۶/۵
شار متان	شوشتر	۰/۱۶۰	۰/۱۰۰	۰/۶۰۰	۳/۸
شار اکسید نیتروس		۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳۹	۴۸/۲
شار اکسید نیتریک		۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۱۵۴	۵۳/۵

۴/۲	۰/۵۷۰	۰/۰۸۲	۰/۱۲۰	شار متان
۵۹/۳	۰/۰۴۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	شار اکسید نیتروس
۷۸/۵	۰/۱۶۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	شار اکسید نیتریک

نظر تصاعد متان می‌تواند با وضعیت هوازی بودن این خاک‌ها مرتبط باشد و افزایش تصاعد متان از شالیزارها مربوط به تداوم شرایط غرقاب در کشت برنج است. در مزرعه کشت برنج با آبیاری غرقابی با ایجاد شرایط بی‌هوازی طی مدت زمان طولانی مشاهده شد که تصاعد گاز متان در مزرعه برنج نسبتاً بالا است، درحالی‌که مزرعه گندم متان اتمسفری را جذب می‌کند. همچنین این پژوهش نشان داد که کشت و صنعت‌های شوشتر و گندمزارهای شوش با سطح متوسط بارش بیشتر، شار متان بالاتری را نسبت به کشت و صنعت‌های آبادان دارند. مطابق نتایج حاصل از مدل DAYCENT میزان انتشار متان از خاک به ترتیب نزولی: شالیزارهای باغملک < گندمزارهای شوش < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان می‌باشند. همچنین مطابق نتایج مشاهداتی میزان انتشار متان از خاک به ترتیب نزولی: شالیزارهای باغملک < گندمزارهای شوش < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان است. ترتیب میزان انتشار گاز متان در خروجی مدل DAYCENT و مشاهداتی یکسان تعیین شد (شکل ۴).

بیلان متان در شالیزارها متأثر از ساختمان خاک و دینامیک شرایط بی‌هوازی- هوازی است با این وجود عوامل دیگری مانند دما نیز در رفتار گاز اثر دارد. Bakht firouz و Raeenisarjaz (2014) نیز در نتایج خود به این نکته اشاره می‌کنند که دمای محیط و دمای خاک و آب می‌تواند در تولید گاز متان نقش داشته باشد. فرآیند شار متان توسط خاک فرآیندی طولانی مدت بوده و تحت تأثیر شرایطی که خاک طی روزها و هفته‌های قبل داشته، قرار می‌گیرد. شار متان توسط خاک همبستگی نزدیکی با فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده متان در خاک دارد (Zalaghi et al., 2009). بنا به شرایط رطوبتی و دمایی خاک، میزان فشردگی خاک، نسبت منافذ هوازی به منافذ بی‌هوازی، مقدار ماده آلی خاک و درجه پوسیدگی آن، فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده متان نسبت به فعالیت متانوژن‌ها و عوامل دیگر متفاوت است، در نتیجه به‌طور غیرمستقیم خاک تولید یا مصرف این گاز را کنترل می‌کند. اختلاف بین مزارع شالیزار و بقیه کشت‌ها از نظر تصاعد گاز متان، به دلیل وضعیت هوازی و غرقابی بودن آن‌هاست. Zalaghi et al., (2009) نیز نشان دادند که اختلاف بین مزارع از



شکل ۴- مقایسه شار متان در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

نزولی: گندمزارهای شوش < شالیزارهای باغملک < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر می‌باشند. همچنین مطابق نتایج مشاهداتی میزان انتشار اکسید نیتروس از خاک به ترتیب نزولی: گندمزارهای شوش < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان <

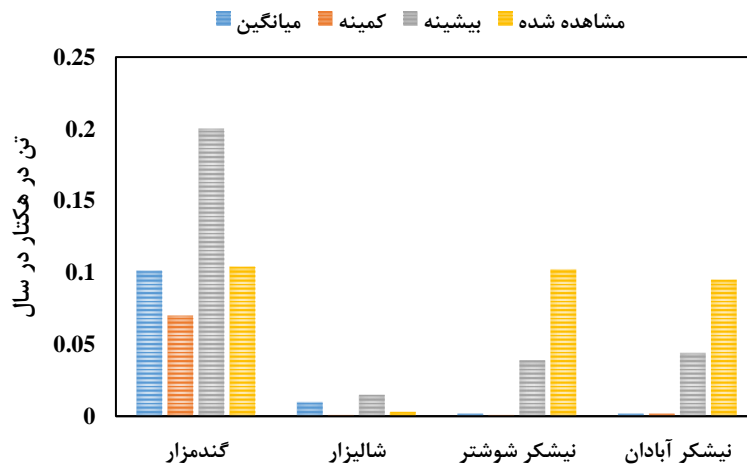
نظر به اینکه مدت ماندگاری گاز اکسید نیتروس بسیار زیاد است؛ بنابراین تغییرات جزئی در انتشار اکسید نیتروس از خاک کشاورزی می‌تواند تأثیر نسبتاً بزرگی در سهم گاز گلخانه‌ای سیستم کشت داشته باشد. مطابق نتایج حاصل از مدل DAYCENT میزان انتشار اکسید نیتروس از خاک به ترتیب



نیتریک کم هستند به جز شرایطی که مقدار زیادی کود ازته در خاک‌های شالیزاری حاصلخیز مصرف شود که مقدار انتشار این گاز بیشتر می‌شود. در نتیجه فرآیند نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون در طول دوره‌های خشک و مرطوب شدن متناوب خاک که در دیم‌زارهای برنج وجود دارد و یا در اثر زهکشی، دوره‌های آیش و روش‌های ذخیره آب آبیاری سبب انتشار بیشتر گاز اکسید نیتریک خواهد شد. به همین دلایل نرخ شار گازهای اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در بقیه ایستگاه‌ها بیشتر برآورد شده است. در ادامه مشاهده شد که شار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک نیز در بین بقیه ایستگاه‌های مدل شده مشابه بود.

شالیزارهای باغملک هستند (شکل ۵).

نتایج نشان داد که کمتر شدن سطح ایستابی خاک اثرات قابل توجهی بر انتشار گازهای نادر دارد. فرآیندهایی که موجب انتشار گازهای ازت می‌شوند، به‌طور غیرخطی به کنترل‌های مهم مانند مقدار آب خاک پاسخ می‌دهند. در این پژوهش کشت گندم به‌صورت دیم، آبیاری برنج به‌صورت غرقابی و آبیاری نیشکر توسط هیدروفلوم با فواصل زمانی منظم انجام می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، به دلیل اینکه اکسیدنیتروس تولیدشده در فرآیند دنیتریفیکاسیون کاملاً به گاز ازت احیا می‌شود، در حالت غرقابی اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بسیار ناچیز و در حد صفر است. همچنین مشاهده شده که اکسید نیتریک در شالیزار برنج به صورت پالس‌هایی بعد از کود دهی و باران‌های سنگین انتشار می‌یابد. شالیزارهای با زهکشی مناسب دارای انتشار اکسید



شکل ۵- مقایسه شار اکسیدنیتروس در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

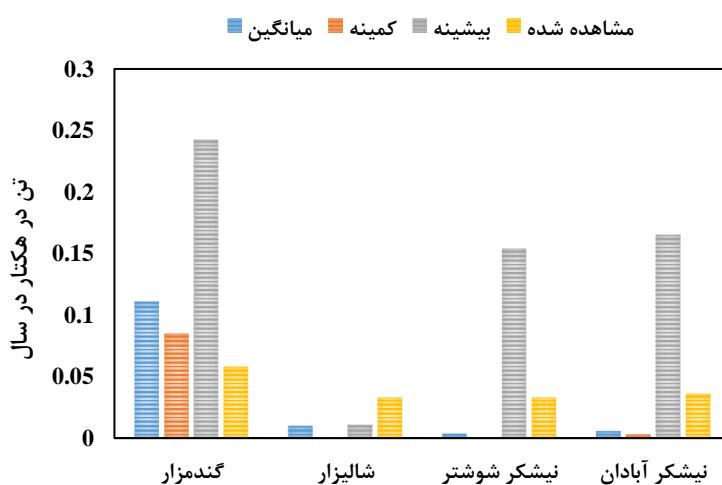
می‌دهد. همچنین نیتروژن را به‌صورت آمونیوم و نیترات جذب می‌کند. اوره (۴۶٪ ازت)، سولفات آمونیوم (۲۱٪ ازت و ۲۳٪ گوگرد) و فسفات آمونیوم (۱۸٪ ازت و ۴۶٪ فسفر) منبع اصلی تأمین کود ازته در زراعت برنج است که پس از مصرف توسط آنزیم اوره‌از موجود در خاک به آمونیوم تبدیل شده که قابل جذب گیاه است. برای رشد بهتر نیشکر در اوایل دوره رشد معمولاً از مرحله ۳ تا ۴ برگگی به بعد همراه با آبیاری مقداری کود ازته به‌صورت سرک به مزارع اضافه می‌شود. زمان‌های تقسیط اوره در نیشکر در سه نوبت است: زمان مناسب نیمه دوم فروردین ماه به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز، تقسیط دوم در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه به مقدار ۴۰ درصد کود مورد نیاز و تقسیط سوم در نیمه دوم تیرماه به مقدار ۳۰ درصد کود مورد نیاز است. مدیریت مصرف کود به‌شدت به مدیریت مصرف آب وابسته است. هنگام کودآبیاری، هر چه مدیریت مصرف آب بهتر باشد، یکنواختی توزیع آب و کود بیشتر و تلفات آن کمتر خواهد

بافت خاک نیز بر میزان نفوذ آب و میزان انتشار گازها و به‌ویژه اکسیدهای نیتروژن مؤثر است. انتشار اکسیدهای نیتروژن در خاک‌های با بافت ریز بیشتر است. با توجه به اینکه درصد رس در خاک مناطق مورد مطالعه زیاد بوده و بافت خاک متوسط تا ریز محسوب می‌شود، انتشار اکسید نیتروس و اکسید نیتریک زیاد است. همچنین میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن به‌شدت به میزان کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی وابسته است. کودهای شیمیایی ازته در مناطق مورد مطالعه برای کشت برنج به میزان ۱۵۰، برای کشت گندم ۵۰ و برای کشت نیشکر ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده می‌شود. در مورد گندم کودهای ازته بعد از تکمیل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، دانه‌بندی و خمیری شدن دانه به‌صورت کود سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم به میزان ۵ در هزار است. یک‌سوم کوددهی قبل از کشت، یک‌سوم در مرحله پنجه‌دهی و یک‌سوم در مرحله ساقه رفتن گندم است. برنج، همچون دیگر غلات نسبت به نیتروژن واکنش خوبی از خود نشان

بود. دمای خاک نیز بر انتشار اکسیدهای نیتروژن ارتباط مستقیم دارد. Yue et al. (2019) در پژوهش خود نیز به این نتیجه رسیدند که با افزایش دمای خاک از ۵ درجه سانتی گراد به ۴۰ درجه سانتی گراد انتشار گاز افزایش می یابد. مطابق نتایج حاصل از مدل DAYCENT میزان انتشار اکسید نیتریک از خاک به ترتیب نزولی: گندمزارهای شوش < شالیزارهای باغملک < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر هستند. همچنین مطابق نتایج مشاهداتی میزان انتشار اکسید نیتریک از خاک به ترتیب نزولی: گندمزارهای شوش < کشت و

صنعت‌های نیشکر آبادان < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < شالیزارهای باغملک هستند (شکل ۶).

نتایج به دست آمده از محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس داده‌های DAYCENT نشان داد که بیشترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در ایستگاه شوش با مقدار ۶۶/۶۱۴ تن معادل دی‌اکسید کربن و کمترین میزان در ایستگاه آبادان با مقدار ۴/۹۲۸ تن معادل دی‌اکسید کربن از هر هکتار است (جدول ۲).



شکل ۶- مقایسه شار اکسید نیتریک در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۲- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس داده‌های DAYCENT

متغیر	ایستگاه	محاسبه شده در ضریب GWP				پتانسیل گرمایش جهانی GWP (معادل دی‌اکسید کربن در هکتار)	
		میانگین (خطای استاندارد)	کمینه	بیشینه	میانگین (خطای استاندارد)	کمینه	بیشینه
شار متان		۲۸/۷۴۹	۱۶/۹۰۵	۳۵/۷۲۱			
شار اکسید نیتروس	باغملک	۳/۱	۰/۳۱	۴/۶۵	۳۴/۸۲۹	۴۳/۶۴۹	
شار اکسید نیتریک		۲/۹۸	۰/۲۹۸	۳/۲۷۸			
شار متان	شوش	۲/۲۲۶	۰/۹۰۳	۲/۳۱	۶۶/۶۱۴	۱۴۲/۴۲۶	
شار اکسید نیتروس		۳۱/۳۱	۲۱/۷	۶۲	۴۷/۹۳۳	۱۴۲/۴۲۶	
شار اکسید نیتریک		۳۳/۰۷۸	۲۵/۳۳	۷۸/۱۱۶			
شار متان	شوشتر	۳/۳۶	۲/۱	۱۲/۶	۵/۱۷۲	۷۰/۵۸۲	
شار اکسید نیتروس		۰/۶۲	۰/۳۱	۱۲/۰۹	۲/۷۰۸	۷۰/۵۸۲	
شار اکسید نیتریک		۱/۱۹۲	۰/۲۹۸	۴۵/۸۹۲			
شار متان	آبادان	۲/۵۲	۱/۷۲۲	۱۱/۹۷	۴/۹۲۸	۷۴/۷۸	
شار اکسید نیتروس		۰/۶۲	۰/۶۲	۱۳/۶۴	۳/۲۳۶	۷۴/۷۸	
شار اکسید نیتریک		۱/۷۸۸	۰/۸۹۴	۴۹/۱۷			

باغملک با میزان ۵۵/۰۷۴ تن معادل دی‌اکسید کربن بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی و در ایستگاه آبادان با مقدار ۴۰/۳۲۵ تن

پتانسیل گرمایش جهانی متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک بر اساس داده‌های مشاهداتی (جدول ۳) در ایستگاه

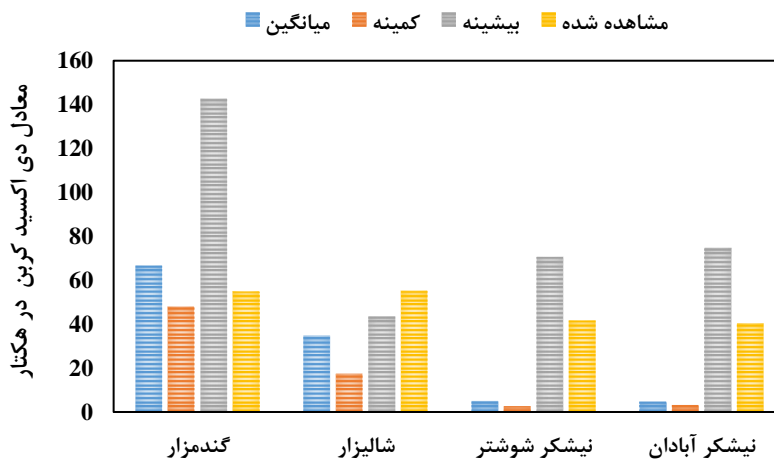
به منظور ارزیابی دقت مدل از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. در جدول (۴) و شکل‌های (۸ تا ۱۰) نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل مورد استفاده به تفکیک سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک آورده شده است.

جدول ۳- پتانسیل گرمایش جهانی سه گاز مورد نظر متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس داده‌های مشاهداتی

ایستگاه	محاسبه شده در ضریب GWP			پتانسیل گرمایش جهانی GWP (معادل دی‌اکسید کربن در هکتار)
	اکسید نیتروس	متان	اکسید نیتریک	
باغملک	۰/۹۳	۴۴/۳۱	۹/۸۳۴	۵۵/۰۷۴
شوش	۲۲/۲۴	۵/۲۰۸	۱۷/۲۸۴	۵۴/۷۳۲
شوشتر	۳۱/۶۲	۰/۱۴۷	۹/۸۳۴	۴۱/۶۰۱
آبادان	۲۹/۴۵	۰/۱۴۷	۱۰/۷۲۸	۴۰/۳۲۵

معادل دی‌اکسید کربن کمترین میزان از بین چهار ایستگاه تعیین شد.

شکل (۷) پتانسیل گرمایش جهانی برآورد شده بر اساس داده‌های مدل DAYCENT را نشان می‌دهد. بر این اساس پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب نزولی: گندمزارهای شوش < شالیزارهای باغملک < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان تعیین شدند. میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس داده‌های مشاهداتی نیز به ترتیب نزولی: شالیزارهای باغملک < گندمزارهای شوش < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان به دست آمد. در مقایسه بین محاسبات ضریب پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از داده‌های نرم‌افزار DAYCENT و مشاهداتی می‌توان گفت با توجه به نمودار، کشت نیشکر انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش کمتری نسبت به سایر کشت‌های مورد بررسی دارد.



شکل ۷- مقایسه پتانسیل گرمایش جهانی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۴- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده سه گاز اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک بر مبنای مدل DAYCENT

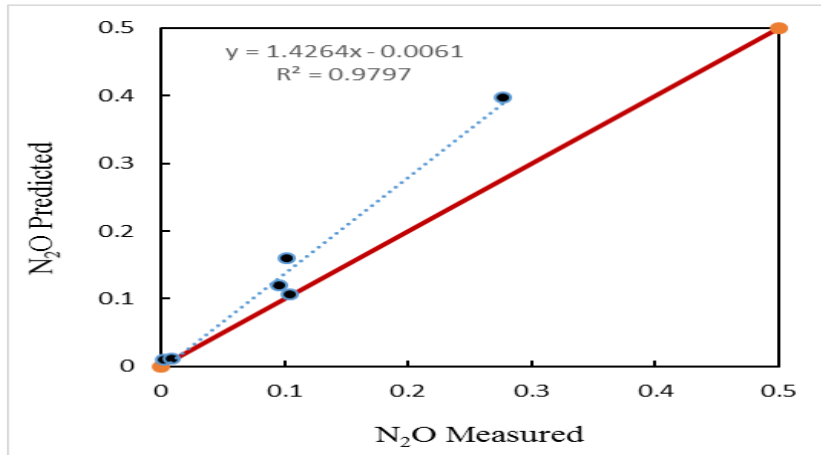
گاز	R <sup>2</sup>	RPD	SD	CRM	EF	CD	RMSE	ME
اکسید نیتروس	۰/۹۸	۲/۵۵۷۵۰۲	۰/۱۴۲۷۲۸	۰/۳۶۴۴۱	۰/۶۱۹۰۰۲	۰/۴۴۷۹۶۵۳۳	۰/۰۵۵۸۰۸	۰/۱۲۱
متان	۰/۹۹	۱/۷۴۲۲۵۳	۰/۵۴۰۴۷۹	۰/۳۴۳۵۰۶	۰/۸۵۴۵۴۳	۲/۴۵۸۷۳۳۳۹۱	۰/۳۱۰۲۱۸	۰/۷۴۱
اکسید نیتریک	۰/۷۷	۱/۷۸۱۰۰۶	۰/۰۶۹۱۷۷	۰/۲۲۲۶۴۲	۰/۷۶۷۲۰۵	۱/۴۵۳۹۳۳۵۹۳	۰/۰۳۸۸۴۲	۰/۰۵۳

مقدار و برای اکسید نیتریک با میزان ۰/۰۶، کمترین مقدار را دارد. شاخص CRM (ضریب جرم باقیمانده) برای اکسید نیتروس با عدد ۰/۳۱ بیش‌ترین مقدار و برای اکسید نیتریک با میزان ۰/۲۲ کمترین مقدار است. مقدار CRM برای تمامی گازها در دامنه دقتی مناسبی قرار دارد که نشان‌دهنده کم برآوردی مدل است. شاخص آماری EF (کارایی مدل) برای تمام گازهای مورد بررسی در دامنه دقتی مناسبی قرار دارد. در این میان، اکسید

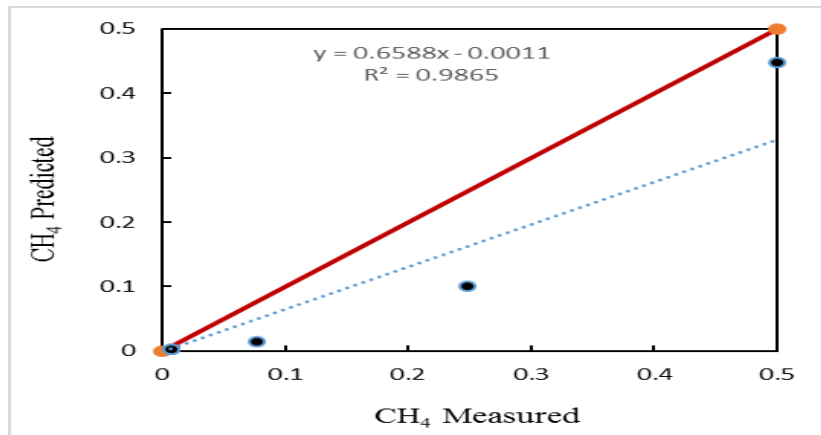
نتایج جدول (۴) نشان داد که بر اساس شاخص آماری ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، مدل در برآورد اکسید نیتروس بیش‌ترین دقت را داشته است. در مجموع مدل در برآورد هر سه گاز، دامنه دقتی مناسب و بالاتر از ۰/۵۰ را داشته است. شاخص RPD (نسبت انحراف کارایی) برای اکسید نیتروس برابر ۲/۶ است. این شاخص برای تمامی گازها در دامنه مناسبی قرار دارد. شاخص آماری SD (انحراف معیار) برای متان با عدد ۰/۵۴، بیش‌ترین

RMSE برای گاز متان بیشترین مقدار (۰/۳۱) و برای اکسید نیتریک کمترین مقدار (۰/۰۳) را دارد. در همه موارد این آماره زیر یک بوده و در دامنه دقتی مناسبی قرار دارد. شاخص ME (خطای ماکزیمم) برای متان بیشترین مقدار (۰/۷۴) و برای اکسید نیتریک کمترین مقدار (۰/۰۵) را دارد.

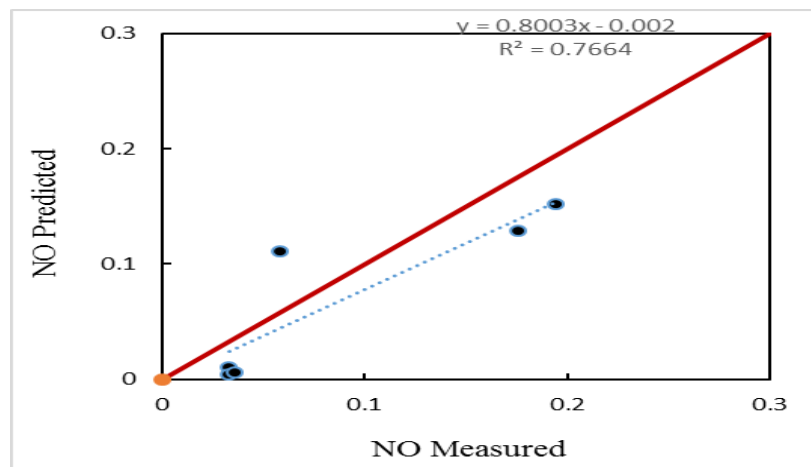
نیتروس با میزان ۰/۶۲ مناسبترین مقدار را نشان داد. شاخص آماری CD (ضریب تبیین) برای اکسید نیتروس با میزان ۰/۴۴ بیشترین مقدار را داشت. بر اساس CD، بیشترین پراکندگی مربوط به گاز متان به دست آمد. در تمامی موارد مقدار RMSE قابل قبول و از میانگین مقادیر واقعی کمتر به دست آمد. شاخص



شکل ۸- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده گاز اکسید نیتروس بر مبنای مدل DAYCENT



شکل ۹- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده گاز متان بر مبنای مدل DAYCENT

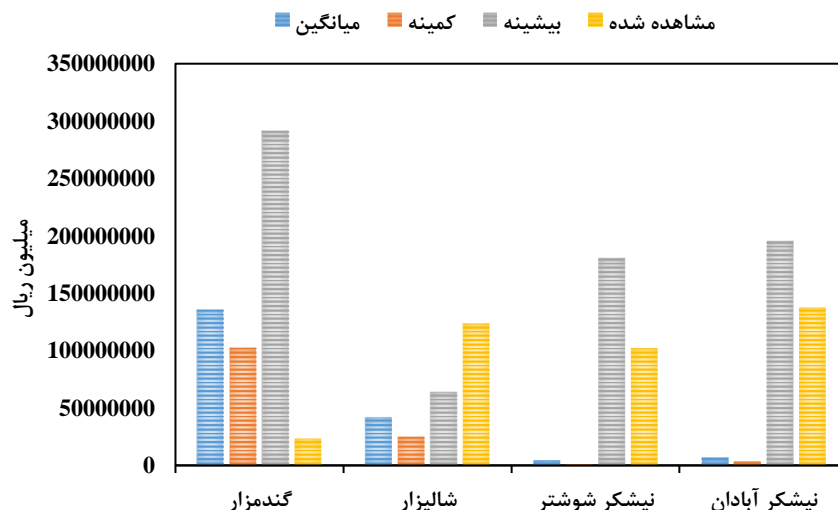


شکل ۱۰- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده اکسید نیتریک بر مبنای مدل DAYCENT

در این مطالعه برای برآورد هزینه‌ی محیط‌زیستی انتشار متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک کشت‌های منتخب

است. مطابق شکل (۱۱) میزان هزینه انتشار بر اساس داده‌های مدل DAYCENT به ترتیب نزولی: گندمزارهای شوش < شالیزارهای باغملک < کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر است. اما میزان اندازه‌گیری شده در این مناطق به ترتیب: کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان < شالیزارهای باغملک < کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر < گندمزارهای شوش بوده است. ترتیب میزان هزینه انتشار زیست‌محیطی مطابق نتایج خروجی مدل DAYCENT و مشاهداتی متفاوت بود. با توجه به نتایج مدل در نمودار (۱۱)، گندمزارهای شوش بیش‌ترین هزینه و کشت و صنعت‌های نیشکر شوشتر کمترین هزینه را داراست ولی با توجه به نتایج حاصل از داده‌های مشاهداتی کشت و صنعت‌های نیشکر آبادان بیش‌ترین هزینه و گندمزارهای شوش کمترین هزینه زیست‌محیطی را دارا می‌باشند.

تولیدی کشور از مطالعات گذشته (Ghorbani et al., 2015; Jamali Pour and Motallebi, 2009) استفاده شده است. در واقع قیمت سایه‌ای گازهای گلخانه‌ای متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک با به‌روزرسانی آن، به ترتیب معادل ۱۱۶۶۱/۰۹، ۳۰۲۹۹- و ۲۹۹۴/۵- ریال تعیین گردید. هزینه‌ی محیط زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای انتشار متان، اکسید نیتروس و اکسید نیتریک حاصل از مناطق مورد مطالعه محاسبه شد. بر اساس میانگین خروجی در میان کشت‌های زارعی، گندمزارهای شوش بالاترین میزان هزینه انتشار زیست‌محیطی را داشته و پس از آن شالیزارهای باغملک (به دلیل میزان انتشار کم اکسید نیتروس و اکسید نیتریک) قرار گرفت. از بین کشت و صنعت‌های نیشکر نیز آبادان بیشتر از شوشتر هزینه زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. بیش‌ترین سهم از هزینه‌ی انتشار گاز گلخانه‌ای، اکسید نیتریک در بین کشت‌های مورد مطالعه



شکل ۱۱- مقایسه هزینه زیست‌محیطی انتشار سه گاز متان، اکسید نیتریک و اکسید نیتروس در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه

بیش‌ترین سهم از تصاعد گاز اکسید نیتریک بود. بر اساس شاخص‌های آماری، سه گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس، متان و اکسید نیتریک در دامنه دقتی مناسبی قرار گرفتند. شبیه‌سازی DAYCENT جهت برآورد میانگین شار گازهای گلخانه‌ای در محدوده دامنه مشاهدات میدانی قرار گرفت و برنامه مدل‌سازی DAYCENT نشان داد که مدل روش قدرتمندی برای نظام‌سازی و سرعت بخشیدن به روند مدل‌سازی و تفهیم عملکرد و فرآیندهای بیوژئوشیمیایی اساسی اکوسیستم دارد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان داد که روند تغییرات آزادسازی تصاعد اکسید نیتروس و اکسید نیتریک و متان از کشت‌های زارعی نیشکر و گندم، در مرحله ساقه دهی و به خوشه رفتن حداکثر بوده است. اندازه‌گیری این گازها در شالیزارهای باغملک متفاوت با سایر کشت‌های مورد بررسی به دست آمد که به دلیل حالت غرقابی بودن کشت برنج است. گندمزارهای شوش ضریب پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری را نسبت به سایر کشت‌ها داشتند که انتشار زیاد اکسید نیتریک و اکسید نیتروس عامل اصلی آن تعیین شد. میانگین خروجی هزینه انتشار محیط زیستی نیز نشان‌دهنده

## REFERENCES

Akbarzadeh M. (2013) Methane and its role in global

warming. *Transplant Science Journal*. 2 (2): 37-

41. (In Farsi)
- Bakht Firooz A., Raeini Sarjaz M. and Ghasemi Sahebi, F. (2010) The effect of drainage systems on methane gas emissions in paddy fields, *National Conference on Water Resources Management - Coastal Lands*, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Farsi)
- Bakht Firooz A. and Rainey Sarajaz M. (2014) Effect of paddy field drainage systems on methane greenhouse gas emission reduction. *Iranian Soil and Water Research*, 44 (1): 1-10. (In Farsi)
- Bozarjomhari Kh., Ismaili, S. and Vesal, S. (2013) Investigation of Interaction between Climate (Greenhouse Gas) and Agriculture (Rice Product). *First National Conference on Climate Change and Food Security*. (In Farsi)
- Dashtaki S.G., Homaee M. and Khodaverdiloo H. (2010) Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*, 26(1): 68-74
- Del Grosso S. J., Halvorson A. D. and 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.
- Ewert F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M.G. and Leemans R. (2005) Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agricultura Ecosystem Environmental*, 107:101-116
- Fitton N., Bindi M., Brilli L., Chicota R., Dibari C., Fuchs K., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Lieffering M., Lüscher A., Martin R., McAuliffe R., Merbold L., Newton P., Rees R. M., Smith P., Topp C.F.E. and Snow V. (2019) Modelling biological N fixation and grass-legume dynamics with process-based biogeochemical models of varying complexity. *European Journal of Agronomy*, 106: 58-66.
- Gathany M. A. and 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.
- Ghorbani M. and Motallebi M. (2009) The Study on Shadow Price of Greenhouse Gases Emission in Iran: Case of Dairy Farms. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3: 466-475. (In Farsi)
- 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. and Swan A.W.S. (2016) *DayCent Ecosystem Model*. Colorado State University.
- Homaee M., Dirksen C. and 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). (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007) *Summary for Policymakers, Emissions Scenarios: A Special Report of IPCC working Group3*, ISBN: 92-9169-113-5.
- Jamalipoor M., Ghorbani M. and Kouchaki, A.R. (2015) Estimation of the value of emissions of greenhouse gases in Iran. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 29 (3): 224-241. (in Farsi)
- Jamali Pour M., Ghorbani M., Kouchaki A. and Shahnoshi N. (2016) Estimation of economic cost of greenhouse gas emissions of cereals in Iran. *Iranian Beans Research Journal*, 7 (2): 59-77. (in Farsi)
- Khodaverdiloo H., Homaee M., Van Genuchten M.T. and Dashtaki S.G. (2011) Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*, 399(1): 93-99.
- Kochaki A.R. and Kamali A. (2010) Climate change and rainfed wheat production in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Research*. (In Farsi)
- Kottegoda N.T. and Rosso R. (2008) *Applied statistics for civil and environmental engineers: Wiley-Blackwell*
- MAJ (Ministry of Agriculture of the IR of Iran). (2014) *Planning and Economics Department*. Statistics Bank of Iranian Agriculture.
- Parhizgari A. and 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 Farsi)
- Paustian K. (2002) Land- use, land use change and biological carbon sinks: *the role of soils in climate change mitigation*. Colorado state university, pp: 748-725.
- Robertson G.P., Paul E.A. and Harwood R.R. (2000) Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*. 289: 1922-1935
- Sadeghi S. K., Karimi Takanloo, Z., Motafaker Azad, M. A., Pourghorchi H. A. and Andayesh Y. (2015) Social Accounting (SAM). *Growth and Development of Rural Economy and Agriculture*, 1 (1): 13-30. (In Farsi)
- Shakarian M., Yousefi A. and Amini A.M. (2017) The effect of improving energy efficiency on reducing carbon dioxide emissions in cucumber greenhouses. *Science and Technology*, 8 (3): 13-24. (In Farsi)
- Thelen K.D., Fronning B.E., Kravchenko A., Min D.H. and 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 Bioenerg.* 34: 960-966
- Weiler D.A., Tornquist C.G., Zschornack T., Ogle

- S.M., Carlos F.S. and Bayer C. (2018) Daycent simulation of methane emissions, grain yield, and soil organic carbon in a subtropical paddy rice system, *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. vol.42, ISSN 1806-9657.
- Yao Z., Zheng X., Xie B., Mei B., Wang R., Butterbach-Bahl K., Zhu J. and Yin R. (2009) Tillage and crop residue management significantly affects N-trace gas emissions during the non-rice season of a subtropical rice-wheat rotation. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 2131–2140.
- Yue Q., Cheng K., Ogle S., Hillier J., Smith P., Abdalla M., Ledo A., Sun J. And Pan G. (2019) Evaluation of four modelling approaches to estimate nitrous oxide emissions in China's cropland, *Sci Total Environ*. 20(652):1279-1289.
- Zalaghi R., Landi A. and Ameri khah H. (2009) Assessment of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> greenhouse gasses emission from rice and wheat cultivation soils in Ab-Teymor area. *Journal of Ecology*. 35 (49): 9-16. (In Farsi)
- Zalghi R. and Landi, A. (2008) Investigation of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and CO greenhouse gas emissions from lands under common agricultural uses in Khuzestan province. *2nd Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, University of Tehran, 1-6. (In Farsi)