مدل‌سازی و بهینه‌سازی نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان

اشکان نبوی پله سرائی[1*]، رضا عبدی[2] و شاهین رفیعی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی ، دانشگاه تبریز،
ashkan.nabavi91@ms.tabrizu.ac.ir
۲- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش، مطالعه‌ای بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌سازی و بهینه‌سازی آن برای کشت محصول برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان انجام شد. به همین منظور داده‌ها، از طریق پرسشنامه حضوری در میان ۱۲۰ کشاورز منطقه در سال ۱۳۹۱ جمع‌آوری شد. بر اساس نتایج میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای و عملکرد برای برنج به ترتیب ۱۸۲۹/۷۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار و ۳۸۷۲/۷۶ کیلوگرم بر هکتار برآورد شد. سوخت با ۶۱/۰۹٪، الکتریسیته با ۱۴/۱۳٪ و نیتروژن با ۸/۴۶٪ به ترتیب بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشت برنج در منطقه را داشتند. در این مطالعه تابع لگاریتمی کاب- داگلاس به‌منظور مدل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس عملکرد به‌کاربرده شد. نتایج این تابع بر آن بود که از میان نهاده‌های منتشرکننده کربن دی اکسید، اثر تمامی آن‌ها بر عملکرد به جزء سوخت، نیتروژن و فسفر در سطح ۱٪ معنی‌دار و اثر ماشین‌آلات در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید و همچنین مقدار R^2 در مدل برابر با ۰/۹۹ محاسبه شد. پس از تعیین مدل و محدودیت‌های آن بهینه سازی به‌منظور به حداقل رساندن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفت، بر این اساس، الگوریتم ژنتیک ۷ نسل بهینه برای اعمال نهاده با فرض حداقل کردن را برآورد نمود که از میان نسل‌ها بهینه‌ترین واحد با میزان انتشار کل ۹۶۳/۱۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار به‌دست آمد. همچنین در حالت بهینه سوخت با ۸۹۷/۴۶ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار، بالاترین میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان نهاده‌ها به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، برنج، تابع کاب- داگلاس و گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

گازهای گلخانه‌ای (کربن دی اکسید، متان، نیتروژن، کلروفور و ...) نسبت به امواج با طول‌موج کوتاهی که از خورشید به سمت زمین ارسال می‌شود، شفاف عمل می‌کنند و برعکس طول‌موج‌های بلندی که از زمین به‌سوی خورشید ساطع می‌شود را جذب می‌کنند. بدین ترتیب، افزایش این گازها به دلیل حبس بیشتر انرژی نورانی خورشید در کره زمین، گرم‌تر شدن تدریجی این کره را به دنبال خواهد داشت. تغییر میزان تشعشع و الگوی بارش در سطح زمین نیز از جمله سایر پیامدهای این تغییر است. بر

اساس تحقیقات انجام‌شده توسط IPCC[1]، کربن دی اکسید با ۶۹/۶٪ بالاترین سهم را در میان گازها در نشر آلایندگی بر عهده داشته است (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۲). انتشار تولید، ذخیره‌سازی، توزیع نهاده‌ها و استفاده از تجهیزات باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از منابع تجدید ناپذیر می‌شود، که منجر به نشر کربن دی اکسید و افزودن آن به اتمسفر می‌شود. بنابراین کیلوگرم معادل کربن دی اکسید برای عملیات مختلف خاک‌ورزی، اعمال کودهای شیمیایی و استفاده از سموم و شیوه‌های آبیاری مکمل می‌تواند به عنوان شاخصی برای برآورد میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی مطرح شود (Lal, 2004). تشدید تمرکز جهانی بر حفظ محیط‌زیست، باعث توسعه صنایع و حرکت سیاست‌گذاران به سمت کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای مضر در انواع تولیدات شده است. در حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از نشر گازهای گلخانه‌ای کل در دنیا مربوط به فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). از این رو کاهش گازهای گلخانه‌ای در فعالیت‌های مختلف کشاورزی، عملی مبرم و ضروری می‌باشد.

مدل‌سازی توسط رگرسیون خطی از جمله روش‌های متداول برای بیان روابط بین چندین متغیر مستقل و یک متغیر وابسته می‌باشد. که نوعی تابع بین متغیرها را ایجاد می‌کند. مدل‌سازی در واقع به بیان الگویی برای مصرف نهاده بر اساس عملکرد می‌پردازد. اما آنچه که بیش از مدل‌سازی حائز اهمیت است، بهینه‌سازی آن و ارائه یک الگوی مناسب برای منطقه می‌باشد. الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. روش‌های کلاسیک ریاضی اغلب نقطه بهینه محلی[2] را به‌عنوان نقطه بهینه کلی در نظر می‌گیرند و نیز هر یک از این روش‌ها تنها برای مسئله‌ای خاصی کاربرد دارند. اما الگوریتم ژنتیک با استفاده از الگوریتم‌های تکامل و تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش بهینه‌سازی را به طور کاملاً صحیح انجام می‌دهد (Holland, 1975).

به طور کلی پژوهش‌های معدودی بر روی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای و مدل‌سازی آن در تولید محصولات کشاورزی صورت پذیرفته است، که در هیچ‌یک به بهینه‌سازی مدل پرداخته نشده، که همین امر باعث متمایز شدن پژوهش حاضر نسبت به مطالعات پیشین شده است، به‌هرحال در ذیل به برخی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه اشاره خواهیم کرد:

پیشگر کومله و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید سیب‌زمینی استان اصفهان پرداختند، نتایج آنان حاکی بر آن بود که میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید سیب‌زمینی در یک هکتار برابر ۹۹۲/۸۸ کیلوگرم کربن دی اکسید بود که از این میزان بالاترین سهم مربوط به کودهای شیمیایی با ۳۷/۲۷ ٪ بود (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012).

خوشنویسان و همکاران به بررسی نشر گازهای گلخانه‌ای، مدل‌سازی و تحلیل حساسیت آن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تولید گندم شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان انتشار کل برابر

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change
[2] Local Optimal

۲۷۱۱/۵۸ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار بوده و در میان نهاده‌ها کود نیتروژن با ۱۱/۷٪ بیشترین سهم را از میان نهاده‌ها در انتشار کل در بر داشت (Khoshnevisan *et al.*, 2013a).

در مطالعه‌ای دیگر نبوی پله سرائی و همکاران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها[3] به بهینه‌سازی انرژی مصرفی و اثر آن در کاهش گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در تولید پرتقال استان گیلان پرداختند نتایج نشان دادند که با تبدیل واحدهای ناکارا به واحدهای کارا می‌توان میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای را در حدود ۱۸۴ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار کاهش داد، همچنین الکتریسیته با تفاوت ۹۰/۳٪ بین واحدهای کارا و ناکارا موثرترین نهاده در کاهش انتشار کل معرفی شد (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013a).

در کل اهداف این تحقیق شامل ارائه‌ی یک مدل رگرسیونی برای نشر گازهای گلخانه‌ای، تحلیل حساسیت برای نهاده‌های موثر انتشار و میزان عملکرد برنج شهرستان لنگرود استان گیلان و بهینه‌سازی مدل یافته شده و ارائه‌ی الگوی استفاده مناسب از نهاده‌های انتشار با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برنج به‌عنوان عمده‌ترین محصول کشاورزی استان گیلان مطرح بوده و شهرستان لنگرود با سطح کشت ۵۰۲۳۱ هکتار در سال ۱۳۹۱ یکی از قطب‌های اصلی تولید این محصول در شرق گیلان می‌باشد (Anon, 2012). با توجه به موارد فوق‌الذکر این منطقه برای بررسی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انتخاب شد. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از طریق مراجعه حضوری و تکمیل پرسشنامه از ۱۲۰ شالی‌کار مختلف شهرستان لنگرود در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱جمع‌آوری شده است. قبل، حین و بعد از تکمیل پرسشنامه نیز در مورد کیفیت سؤالات و پاسخ‌دهی کشاورزان با صاحب‌نظران منطقه در اداره جهاد کشاورزی، مراکز خدمات کشاورزی و همچنین تعاونی‌های خدمات کشاورزی مشاوره‌هایی انجام شد و دیدگاه‌ها و نظرات آنان در مورد وضعیت و مسائل کشت گیاهان، شیوه ارائه خدمات، بازار، مسائل اقتصادی و ... مورد پرسش و تفحص قرار گرفت. برای یافتن اندازه نمونه از روش کوکران استفاده شد، سپس شالی‌کاران به طور تصادفی انتخاب شدند، فرمول کوکران برای محاسبه تعداد نمونه لازم به‌صورت زیر است:

$$n=\frac{N(s\times t)^2}{(N-1)d^2+(s\times t)^2} \qquad (۱)$$

که در آن N، اندازه جامعه آماری یا تعداد شالی‌کاران، t ضریب اطمینان قابل‌قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به‌دست میاید. S^2، برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه که در اینجا واریانس میزان نشر کل در

[3] Data Envelopment Analysis

منطقه مورد مطالعه است، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه می‌باشد که در این پژوهش ۱۱۴ برآورد شد، اما برای اینکه نمونه بتواند به طور موثرتر و با اطمینان بیشتری بیانگر ویژگی‌های جامعه باشد از ۱۲۰ کشاورز در مورد نهاده-های مصرفی و مسائل اقتصادی تولید برنج، پرسش‌هایی به عمل آمد.

نهاده‌های موثر برای نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج شامل ماشین‌آلات، سوخت، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، سموم (علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش) و الکتریسیته می‌باشد. در این پژوهش عملکرد برنج به کیلوگرم بر هکتار به‌عنوان خروجی یا ستانده در نظر گرفته شد. اولین قدم برای بررسی نشر گازهای گلخانه‌ای نیز تعیین میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها و برآورد ستانده می‌باشد، سپس مقادیر یافته شده‌ی نهاده با استفاده از ضرایب استاندارد نشر کربن دی اکسید که در جدول ۱ ارائه شدند به میزان نشر تبدیل می‌شود.

جدول ۱. ضرایب استاندارد نشر گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های کشاورزی.

بخش	واحد	هم‌ارز انرژی ($kgCO_{2eq}.ha^{-1}$)	مرجع
۱- ماشین‌آلات	MJ	۰/۰۷۱	(Pishgar-Komleh *et al.*, 2012)
۲- سوخت	l	۲/۷۶	(Pishgar-Komleh *et al.*, 2012)
۳- کودهای شیمیایی	kg		
نیتروژن		۱/۳	(Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013a)
فسفر		۰/۲	(Khoshnevisan *et al.*, 2013a)
پتاسیم		۰/۲	(Khoshnevisan *et al.*, 2013b)
۴- سموم	kg		
علف‌کش		۶/۳	(Lal, 2004)
آفت‌کش		۵/۱	(Lal, 2004)
قارچ‌کش		۳/۹	(Lal, 2004)
۵- الکتریسیته	kWh	۰/۶۰۸	(Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013a)

لازم به ذکر است برای محاسبه نشر گازهای گلخانه‌ای در ماشین‌آلات، ابتدا بایستی ساعت کارکرد آن در هکتار را به انرژی مصرفی و سپس با استفاده از ضریب ارائه‌شده در جدول ۱، انرژی معادل محسوب را به میزان نشر گازهای گلخانه‌ای تبدیل نمود، میزان انرژی مصرفی برای هر ساعت کارکرد ماشین‌آلات در حدود ۶۲/۷ مگاژول می‌باشد (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013b).

برای تعیین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای به ازای واحد عملکرد محصول از شاخص نرخ گازهای گلخانه‌ای[4] استفاده شد که با استفاده از فرمول ذیل قابل محاسبه گردید (Khoshnevisan *et al.*, 2013b):

[4] Greenhouse gas ratio

$$GHG\ ratio = \frac{TGE\ (kgCO_{2eq.}ha^{-1})}{RY(kg\ ha^{-1})} \quad (۲)$$

که در رابطه‌ی (۲)، به ترتیب *GHG ratio* نرخ گازهای گلخانه‌ای، *TGE* میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای و RY میزان کیلوگرم عملکرد برنج در واحد هکتار است.

پس از مراحل فوق، مدل‌سازی به‌منظور بیان ارتباط بین نهاده‌های نشر و خروجی (عملکرد) توسط تابع لگاریتمی کاب– داگلاس صورت پذیرفت و مقدار ضرایب تبیین برای آن مشخص گردید. شکل تابع کاب– داگلاس به‌صورت زیر قابل بیان است:

$$Y = f(X)\exp(u) \quad (۳)$$

رابطه‌ی (۳)، را می‌توان به گونه‌ی دیگری به نمایش درآورد که در ذیل قابل روئیت است:

$$\ln Y_i = a + \sum_{j=1}^{n} \alpha_i \ln(X_{ij}) + e_i \qquad i = 1,2,...,n \quad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴)، Y_i مقدار عملکرد برنج، X_{ij} بردار نهاده‌ها در فرآیند تولید، a مقدار ثابت، α_i ضرایب نهاده‌های انتشار که به‌وسیله مدل تخمین زده‌شده و e_i مقدار خطای مدل می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن اینکه محصول برنج، تابعی از نهاده‌های منتشرکننده هستند، می‌توان تابع کاب– داگلاس را برای اطلاعات این تحقیق به‌صورت زیر نشان داد:

$$\ln Y_i = \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + \alpha_8 \ln X_8 + \alpha_9 \ln X_9 + e_i \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، مقادیر X_i (i=1, 2, … , n) نشان‌دهنده‌ی ماشین‌آلات (X_1)، سوخت (X_2)، نیتروژن (X_3)، فسفر (X_4)، پتاسیم (X_5)، علف‌کش (X_6)، آفت‌کش (X_7)، قارچ‌کش (X_8) و الکتریسیته (X_9) بوده که بر حسب کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار می‌باشد. اثر تغییرات نسبی در نهاده‌های انتشار بر تغییرات نسبی در عملکرد برنج (هنگامی که تمام ورودی‌ها با یک عامل ثابت افزایش پیدا می‌کنند) با استفاده از شاخص بازگشت به مقیاس[5] تعیین شد. در واقع بدین منظور لازم است که با استفاده از مجموع ضرایب رگرسیونی تابع تولید کاب– داگلاس با یکدیگر جمع جبری شده و درصورتی‌که مقدار این شاخص کمتر از یک، مساوی یک و بیشتر از یک باشد، به ترتیب نشان‌دهنده بازگشت به مقیاس کاهشی، ثابت و افزایشی می‌باشد.

میزان حساسیت نهاده‌های انتشار بر روی عملکرد برنج با استفاده از تحلیل حساسیت بیان شد، بدین منظور از روش بهره‌وری فیزیکی حاشیه‌ای (MPP[6]) استفاده شد. مبنای روش MPP استفاده از ضرایب تبیین معرفی‌شده توسط تابع کاب– داگلاس می‌باشد بدین‌صورت که ابتدا میانگین هندسی هر نهاده و ستانده را به‌دست آورده، سپس به‌وسیله‌ی رابطه زیر مقدار MPP برای هر نهاده محاسبه می‌شود (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2013b):

[5] Return To Scale

[6] Marginal Physical Productivity

$$MPP_{xj} = \frac{GM(Y)}{GM(X_j)} \times \alpha_j \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، MPP_{xj} مقدار بهره‌وری فیزیکی حاشیه‌ای به ازای نهاده ژام، α_j ضریب رگرسیون نهاده ژام، $GM(Y)$ میانگین هندسی خروجی و $GM(X_j)$ میانگین هندسی هر نهاده انتشار در تولید برنج بر واحد هکتار می‌باشد.

در آخرین قسمت این پژوهش، پس از مدل‌سازی و تعیین تابع تولید نشر، بهینه‌سازی تابع توسط الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفت، الگوریتم‌های تکاملی که مبنای کار الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی می‌باشد شامل الگوریتم‌هایی جهت جستجو است که در آنها عمل جستجو از چندین نقطه در فضای جواب می‌باشد. الگوریتم‌های تکامل‌پذیر روش‌هایی بر مبنای جستجوی تصادفی‌اند که از مدل‌سازی تکامل بیولوژیکی طبیعی الگوبرداری شده‌اند. آنها بر روی پاسخ‌های ممکنی کار می‌کنند که از ویژگی برتری برخوردار و نیز بقای نسل بیشتری دارند، لذا تخمین نزدیک‌تری از پاسخ بهینه به‌دست می‌دهند. قدم لازم برای بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک، تعیین محدودیت‌های تابع تولید می‌باشد، که در این پژوهش پس از تعیین مقدار مصرف هر یک از نهاده‌های انتشار، مقادیر کمینه و بیشینه آن‌ها به ترتیب به‌عنوان حدود پایین و بالای هر محدودیت تعیین شدند. و پس از اجرای الگوریتم ژنتیک، نسل‌های بهینه معرفی و نسلی که کمترین میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای را در برداشت، به‌عنوان بهینه‌ترین واحد معرفی شد.

تمام محاسبات این مطالعه با استفاده از نرم‌افزارهای صفحه گسترده Excel نسخه ۲۰۱۳، SPSS نسخه ۲۰ و MATLAB نسخه R2012a انجام گردید.

نتایج و بحث

تحلیل نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج

در جدول ۲ به ترتیب مقادیر مصرف هر نهاده در واحد، میزان نشر گاز برای هر یک از آنها و میزان انتشار کل به همراه مقادیر انحراف معیار، کمینه و بیشینه نشان داده شده است. بر اساس نتایج میزان انرژی مصرفی ماشین‌آلات ۸۱۶/۳۶ مگاژول بر ساعت بود که از مقدار تقریبی ۱۳ ساعت کار در واحد هکتار به‌دست آمد. بیشترین مقدار کارکرد ماشین‌آلات (در حدود ۸۰٪) مربوط به عملیات خاک‌ورزی بود. همچنین در حدود ۴۰۵ لیتر سوخت در هکتار به مصرف رسید که بخش عمده‌ای از آن در ماشین‌آلات و بخشی در پمپ‌های قدیمی آب در منطقه مصرف شدند. در میان کودهای شیمیایی، کود فسفر با مقدار ۴۲۲/۲۸ کیلوگرم بر هکتار بالاترین نرخ مصرف را به خود اختصاص داد، که با توجه به نظر کارشناسان امور زراعی در منطقه این مقدار اصلاً قابل‌قبول نبوده و بسیار بیش‌ازحد مجاز می‌باشد. در میان سموم نیز علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها بیشترین میزان مصرف را داشتند. همچنین میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای در منطقه ۱۸۲۹/۷۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار به‌دست آمد. مقدار انحراف معیار، کمینه و بیشینه انتشار به ترتیب ۶۹۳/۵۳، ۴۹۵/۶۳ و ۴۳۶۵/۵۹ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار محاسبه شدند، که این اعداد نشان‌دهنده‌ی آن

هستند که تفاوت مقدار مصرف نهاده در مزارع بسیار زیاد بوده و یا به عبارتی الگوی مصرف نهاده‌ای انتشار در منطقه بسیار متفاوت است. علت اصلی این امر اختلاف در دسترسی نهاده بین کشاورزان منطقه می‌باشد.

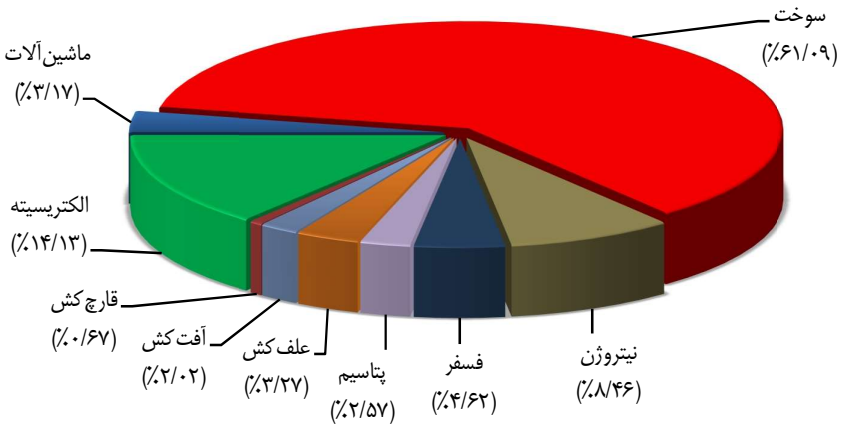
در مطالعه‌ای مشابه بر روی نشر گازهای گلخانه‌ای برای کشت محصول برنج در تایلند، مقدار کل انتشار ۱۱۱۲ کیلوگرم کربن دی اکسید بر واحد هکتار برآورد شد (Soni *et al.*, 2013).

همچنین پس از تعیین مقادیر انتشار برای هر نهاده با توجه به رابطه‌ی (۲)، مقدار نرخ نشر گازهای گلخانه‌ای محاسبه و مقدار آن برابر با ۰/۴۷ شد که نشان‌دهنده‌ی آن است که به ازای تولید هر کیلوگرم برنج در منطقه ۰/۴۷ کیلوگرم گاز کربن دی اکسید انتشار می‌یابد.

جدول ۲. میزان نشر گازهای گلخانه‌ای و عملکرد برای تولید برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان.

بخش	واحد	میانگین میزان مصرف (unit)	میزان نشر گازهای گلخانه‌ای ($kgCO_{2eq.}ha^{-1}$)	انحراف معیار ($kgCO_{2eq.}ha^{-1}$)	کمینه انتشار	بیشینه انتشار
الف- نهاده						
۱- ماشین‌آلات	MJ	۸۱۶/۳۶	۵۷/۹۶	۲۴/۷۲	۸/۳۸	۱۰۲/۳۰
۲- سوخت	l	۴۰۴/۹۸	۱۱۱۷/۷۵	۵۶۶/۱۱	۲۱۱/۱۷	۳۷۵۸/۳۶
۳- کودهای شیمیایی	kg					
نیتروژن		۱۱۹/۱۳	۱۵۴/۷۸	۸۹/۳۶	۴۷/۳۸	۳۵۷/۹۳
فسفر		۴۲۲/۲۸	۸۴/۴۶	۴۸/۷۳	۲۵/۸۴	۱۹۵/۱۸
پتاسیم		۲۳۵/۵۶	۴۷/۱۱	۲۷/۱۸	۱۴/۴۱	۱۰۸/۸۸
۴- سموم	kg					
علف‌کش		۹/۴۹	۵۹/۷۹	۴۷/۲۶	۸/۴۴	۱۵۴/۰۷
آفت‌کش		۷/۲۶	۳۷/۰۵	۲۱/۴۷	۱/۳۲	۸۹/۴۵
قارچ‌کش		۳/۱۴	۱۲/۲۶	۶/۲۱	۲/۳۲	۳۹/۳۴
۵- الکتریسیته	kWh	۴۲۵/۱۱	۲۵۸/۴۷	۱۲۴/۹۶	۴۸/۳۲	۵۳۵/۲۵
کل نشر گازهای گلخانه‌ای	$kgCO_{2eq.}$	–	۱۸۲۹/۷۱	۶۹۳/۵۳	۴۹۵/۶۳	۴۳۶۵/۵۹
ب- ستانده						
۱- برنج	kg	۳۸۷۲/۷۶	–	–	–	–

در شکل ۱، سهم هر یک از نهاده‌ها در میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان به معرض نمایش درآمده است. نتایج بر آن است که سوخت با ۶۱/۰۹٪ بالاترین سهم در انتشار کل را دربر داشته و بعد از آن الکتریسیته با ۱۴/۱۳٪ و نیتروژن با ۸/۴۶٪ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. علت این نتایج آن بود که اولاً ماشین‌آلات مورد استفاده در منطقه به‌ویژه در عملیات خاک‌ورزی استاندارد نبوده و دارای مصرف سوخت بالایی هستند، ثانیاً پمپ‌های مورد استفاده در مرحله‌ی آبیاری اغلب قدیمی بوده یا برای منطقه بسیار قوی هستند و ثالثاً مقادیر بیش‌ازحد مصرف کود علی‌الخصوص کود نیتروژن نیز باعث انتشار بیش‌ازحد توسط این کود شده است.



شکل ۱. سهم هر یک از نهاده‌ها در نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان

مدل‌سازی نهاده‌های انتشار برای تولید برنج

مدل‌سازی نهاده‌های انتشار بر اساس عملکرد برنج با استفاده از تابع تولید کاب- داگلاس صورت پذیرفت. نهاده‌های انتشار به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد برنج به‌عنوان متغیر وابسته در مدل در نظر گرفته شدند. نتایج تابع لگاریتمی کاب- داگلاس در جدول ۳، نشان داد اثر نهاده‌های فسفر، علف‌کش، آفت‌کش، قارچ‌کش، الکتریسیته و ضریب ثابت در سطح ۱٪ و اثر ماشین‌آلات در سطح ۵٪ معنی‌دار شدند. از طرفی دیگر اثر نهادهای سوخت، نیتروژن و پتاسیم در مدل معنی‌دار نشدند. مقدار خودهمبستگی به‌منظور تعیین وابستگی یک متغیر به سایر متغیرها توسط آزمون دوربین واتسون[7] تعیین شد و همان طور که در جدول ۱، نشان داده‌شده مقدار این آزمون برای مدل ۲/۰۴۳ برآورد شد که بیانگر عدم خودهمبستگی با سطح احتمال ۵٪ در مدل مذکور می‌باشد. مقدار R^2 مدل نیز برابر با ۰/۹۹ تخمین زده‌شده و در نهایت نرخ بازگشت به مقیاس مدل نیز برابر با ۱/۸۳- محاسبه شد. این نرخ بیانگر اثر منفی افزایش نهاده‌های انتشار بر عملکرد است، که این نتیجه خود اهمیت بیش‌ازپیش برای کاهش گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج را نمایان می‌سازد.

در این پژوهش با توجه به رابطه‌ی (۶)، تحلیل حساسیت نهاده‌های انتشار بر عملکرد برنج صورت پذیرفت که نتایج آن نشان داد کود نیتروژن (۲۸/۴۲-) حساس‌ترین نهاده انتشار بر عملکرد بوده و بعد از آن پتاسیم (۲۳/۴۳) و قارچ‌کش (۲۱/۱۲) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند، البته لازم به ذکر است که پتاسیم و قارچ‌کش در راستای افزایش تولید و نیتروژن در راستای کاهش تولید برنج هستند. به عبارتی دیگر هر کیلوگرم کربن دی اکسید نیتروژن اضافی باعث کاهش محصول برنج به مقدار ۲۸/۴۲ کیلوگرم در هکتار می‌شود.

[7] Durbin-Watson

جدول ۳. نتایج مدل پارامتری و تحلیل حساسیت نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در استان گیلان.

متغیرهای بیرونی	ضرایب	نسبت t	MPP
$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + \alpha_8 \ln X_8 + \alpha_9 \ln X_9 + e_i$			
ثابت	۴/۷۶	۱۰/۰۷ *	
۱- ماشین‌آلات	-۰/۰۳	-۲/۵۷ **	-۲/۲۷
۲- سوخت	-۰/۴۹	-۰/۳۶ ns	-۱/۸۹
۳- کودهای شیمیایی			
نیتروژن	-۱/۰۱	-۰/۷۶ ns	-۲۸/۴۲
فسفر	۰/۱۴	۱۷/۰۷ *	۷/۲۲
پتاسیم	-۱/۰۱	-۰/۷۶ ns	۲۳/۴۳
۴- سموم			
علف‌کش	۰/۰۳	۶/۵۵ *	۲/۹۰
آفت‌کش	۰/۰۴	۶/۳۱ *	۵/۹۹
قارچ‌کش	۰/۶۰	۶/۲۲ *	۲۱/۱۲
۵- الکتریسیته	-۰/۱۰	۱۶/۹۲ *	-۱/۷۱
آزمون دوربین واتسون	۲/۰۴		
R^2	۰/۹۹		
بازگشت به مقیاس	-۱/۸۳		
ns عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد		* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد	

بهینه‌سازی نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج

بعد از مدل‌سازی نوبت به بهینه‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط الگوریتم ژنتیک رسید، همان طور که قبلاً اشاره شد برای بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک ابتدا بایستی تابع تولید تعیین و سپس محدودیت‌های هر متغیر برای آن مشخص گردد. بدین منظور پس از تعیین میزان نشر برای هر نهاده و تابع تولید کاب- داگلاس میزان کمینه و بیشینه هر نهاده به ترتیب به‌عنوان حدود پایین و بالای محدودیت‌ها در نظر گرفته شدند.

جدول ۴. محدودیت‌های تابع تولید برای بهینه‌سازی نشر گازهای گلخانه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک در تولید برنج.

$۸/۳۸ \le X_1 \le ۱۰۲/۳۰$	$۸/۴۴ \le X_6 \le ۱۵۴/۰۷$
$۲۱۱/۱۷ \le X_2 \le ۳۷۵۸/۳۶$	$۱/۳۲ \le X_7 \le ۸۹/۴۵$
$۴۷/۳۸ \le X_3 \le ۳۵۷/۹۳$	$۲/۳۲ \le X_8 \le ۳۹/۳۴$
$۲۵/۸۴ \le X_4 \le ۱۹۵/۱۸$	$۴۸/۳۲ \le X_9 \le ۵۳۵/۲۵$
$۱۴/۴۱ \le X_5 \le ۱۰۸/۸۸$	

همچنین با توجه به جدول ۳ و رابطه‌ی (۵)، تابع تولید کاب- داگلاس برای بهینه‌سازی به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$\ln Y_i = 4.76 - \ln 0.03 X_1 - \ln 0.49 X_2 - \ln 1.01 X_3 + \ln 0.14 X_4 - \ln 1.01 X_5 + \ln 0.03 X_6 + \ln 0.04 X_7 + \ln 0.60 X_8 - \ln 0.10 X_9 + e_i \quad (۷)$$

نتایج الگوریتم ژنتیک برای ۷ نسل بهینه در جدول ۵، به معرض نمایش درآمده است. نتایج حاکی از آن است که بهینه‌ترین نسل با نشر کل ۹۶۳/۱۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار معرفی شد. که در بهینه‌ترین نسل نیتروژن با میزان نشر ۳۵۴/۵۷ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار بالاترین سهم در میزان نشر کل را به خود اختصاص داد، همچنین مقدار نشر تمامی نهاده‌ها به جزء ماشین‌آلات، نیتروژن، پتاسیم و قارچ‌کش از میانگین مصرف منطقه کمتر تخمین زده شد و بیشترین کاهش مربوط به نهاده سوخت با ۸۹۷/۴۶ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار برآورد شد.

جدول ۵- نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک برای نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج شهرستان لنگرود استان گیلان.

شماره نسل	میزان بهینه نشر گازهای گلخانه‌ای ($kgCO_{2eq}.ha^{-1}$)									
	ماشین‌آلات	سوخت	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	علف‌کش	آفت‌کش	قارچ‌کش	الکتریسیته	نشر کل
۱	۹۴/۵۴	۲۴۲/۴۸	۳۵۷/۲۵	۱۷۴/۴۲	۸۲/۸۴	۲۶/۱۴	۶/۶۲	۳۹/۱۳	۴۸/۳۹	۱۰۷۱/۸۲
۲	۹۳/۱۷	۲۲۰/۹۲	۳۵۷/۲۴	۱۰۶/۴۱	۱۰۸/۷۴	۲۰/۵۲	۸/۳۳	۳۹/۲۶	۴۸/۳۹	۱۰۰۲/۹۹
۳	۸۳/۷۶	۲۶۶/۴۷	۳۵۶/۲۵	۱۸۷/۶۰	۸۹/۶۷	۲۸/۶۴	۷/۶۸	۳۹/۰۹	۴۸/۳۸	۱۱۰۷/۵۳
۴	۹۴/۸۸	۲۲۱/۹۱	۳۵۶/۶۳	۱۴۳/۹۰	۱۰۰/۸۹	۲۳/۴۸	۷/۳۸	۳۹/۲۴	۴۸/۴۰	۱۰۳۶/۷۲
۵	**۹۶/۰۸**	**۲۲۰/۲۸**	**۳۵۴/۵۷**	**۷۲/۴۳**	**۱۰۶/۳۱**	**۲۰/۲۰**	**۵/۵۹**	**۳۹/۲۱**	**۴۸/۴۴**	**۹۶۳/۱۱**
۶	۹۵/۳۵	۲۲۰/۲۸	۳۵۴/۵۷	۸۲/۰۸	۱۰۶/۳۱	۲۰/۲۰	۵/۵۹	۳۹/۲۱	۴۸/۴۴	۹۷۲/۰۲
۷	۷۹/۲۴	۲۹۳/۷۹	۳۵۶/۶۴	۱۹۰/۸۴	۶۷/۱۸	۳۰/۶۷	۱۳/۳۶	۳۷/۵۰	۴۸/۴۹	۱۱۱۷/۷۱

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، با بررسی کشت برنج در شهرستان لنگرود استان گیلان مقدار نشر کل ۱۸۲۹/۷۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار و میزان عملکرد ۳۸۷۲/۷۶ کیلوگرم بر هکتار برآورد شد. همچنین نهاده‌ی سوخت با ۶۱/۰۹٪ بیشترین سهم در انتشار را بر عهده داشت. مدل‌سازی با تابع لگاریتمی کاب- داگلاس نشان داد، اثر تمامی نهاده‌ها به جزء سوخت، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد معنی‌دار شدند و نیتروژن با مقدار MPP، ۲۸/۴۲- حساس‌ترین نهاده در جهت کاهش عملکرد بود. نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک نیز حاکی بر آن بود که نسلی با میزان انتشار کل ۹۶۳/۱۱ کیلوگرم کربن دی اکسید بر هکتار بهینه‌ترین است. با توجه به نتایج پژوهش صورت گرفته می‌توان گفت انتخاب ماشین‌آلات استاندارد، افزایش دقت در نگهداری آنها، انجام به هنگام تعمیرات، استفاده از پمپ‌های مناسب برای استخراج آب و همچنین استفاده از روش‌های مناسب زراعی و خاک‌ورزی موجب کاهش چشمگیر نشر گازهای گلخانه‌ای در کشت برنج شده، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به میزان بهینه آن نزدیک و منابع زیست‌محیطی را برای زندگی بشر حفظ می‌نماید.

منابع

۱- کوچکی، ی.، نصیری محلاتی، ش.، و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۰. شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط در برابر شدن غلظت CO_2 به‌وسیله مدل‌های عمومی و گردش. نشریه بیابان جلد ۸، شماره ۲، ص ۱۹۱- ۱۷۸.

2- Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International 30: 981-990.

3- Pishgar-Komleh, S.H., M. Ghahderijani, and P. Sefeedpari. 2012. Energy consumption and CO_2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production 33: 183-191.

4- Holland, JH. 1975. Adaptation in natural and artificial systems University of Michigan Press. USA: MIT.

5- Khoshnevisan, B., S. Rafiee, M. Omid, M. Yousefi, and M. Movahedi. 2013a. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.

6- Nabavi-Pelesaraei, A., R. Abdi, S. Rafiee, and HG. Mobtaker. 2013a. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. Journal of Cleaner Production. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.019.

7- Anonymous. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2012. Available on www.maj.ir (in Persian).

8- Khoshnevisan, B., HM. Shariati, S. Rafiee, and H. Mousazadeh. 2013b. Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29: 316-324.

9- Nabavi-Pelesaraei, A., A. Sadeghzadeh, MH. Payman, and HG. Mobtaker. 2013b. Energy flow modeling, economic and sensitivity analysis of eggplant production in Guilan province of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(24): 3006-3015.

10- Soni, P., C. Taewichit, and V. Salokhe. 2013. Energy consumption and CO_2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. Agricultural Systems 116: 25-36.

Modeling and optimization of greenhouse gas emissions for rice production in Langroud city of Guilan province

Ashkan Nabavi-Pelesaraei[1*] Reza Abdi[2] and Shahin Rafiee[3]

1- MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tabriz
ashkan.nabavi91@ms.tabrizu.ac.ac.ir
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tabriz
3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran

Abstract

This study was carried out on greenhouse gas emissions, modeling and optimization of them for rice production in Langroud city of Guilan province. Therefore, the data used in this study were obtained through a face to face questionnaire among 120 farmers in 2012. The results revealed that the total amount of greenhouse gas emissions, and rice yield were 1829.71 $kgCO_2$ per hectare and 3872.76 kg per hectare, respectively. Fuel with 61.09%, electricity with 14.13%, and nitrogen with 8.46% had the highest share in greenhouse gas emissions for rice production, respectively. In this study Cobb–Douglas log function was applied for modeling of greenhouse gas emissions in order to model greenhouse gas emissions based on yield. The results of this function revealed that among CO_2 emitter inputs, effect of all inputs on yield except fuel, nitrogen and phosphate was significant at 0.01% level and effect of machinery was significant at 0.05% level. Also the R^2 of model was calculated as 0.99. After defining the model and determination of limitations, genetic algorithm was applied for optimization in order to minimize the amount of greenhouse gas emissions. Accordingly, The genetic algorithm was estimated 7 efficient generations for imposing inputs with the assumption of minimizing. Among generations, the efficient unit was obtained by total emissions of 963.11 $kgCO_2$ ha^{-1}. In addition, in the optimized state, fuel with 897.46 $kgCO_2$ per hectare had the highest share in decreasing greenhouse gas emissions among inputs.

Keywords: Cobb–Douglas function, Genetic algorithm, Greenhouse gas and Rice.