



ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در تولید گندم در گرگان

محمدحسین رجیبی^۱، *افشین سلطانی^۲، ابراهیم زینلی^۳ و الیاس سلطانی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، استاد گروه زراعت،
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
^۳ استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۰۱

چکیده

پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است. هدف از این پژوهش بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) ناشی از آن در تولید گندم در گرگان بود. برای انجام این پژوهش ابتدا ۶ مزرعه گندم در دو بخش شرقی و غربی گرگان انتخاب شدند. همه اعمال زراعی به ۸ بخش تهیه زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل و نقل به کارخانه برای تحویل محصول تفکیک شدند و اطلاعات مربوط به روش‌های تولیدی و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) برای ۳ سال زراعی از ۶ مزرعه گندم مورد بررسی و فهرست‌برداری قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) ناشی از تولید گندم بین ۹۲۳-۲۶۸ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار متغیر بود که معادل ۱۰۳/۸-۲۷۱/۵ کیلوگرم معادل CO₂ به ازای هر تن گندم بود. در بین فعالیت‌های مختلف زراعی، کود نیتروژن با میانگین ۲۹۱ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بیش‌ترین مقدار را از نظر گرمایش جهانی به خود اختصاص داد. مصرف سوخت برای انجام عملیات زراعی نیز با میانگین ۲۱۳ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار در جایگاه بعدی قرار گرفت. مقایسه با سایر نقاط جهان نشان داد که تولید گندم در گرگان به تولید گازهای گلخانه‌ای زیاده‌تر منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم، گرم شدن کره زمین، گندم

* مسئول مکاتبه: afsoltani@yahoo.com

مقدمه

مهم‌ترین مسأله‌ای که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای است که این مسأله جهان را در آستانه یک فاجعه بزرگ انسانی و زیست‌محیطی قرار داده است. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) می‌باشند که باعث گرم شدن جو زمین می‌شوند که به این پدیده اصطلاحاً اثر گلخانه‌ای اطلاق می‌شود (IPCC, ۲۰۰۷).

امروزه افزایش جمعیت بشر و فعالیت‌های ناشی از آن در زمینه‌های مختلف صنعتی، حمل و نقل، کشاورزی و... روز به روز باعث افزایش غلظت تغییر این گازها در اتمسفر به میزان بیش از حد طبیعی گردیده، منجر به اثر گلخانه‌ای و بروز تغییرات آب و هوایی مانند گرم شدن کره زمین و تخریب لایه ازن شده است. در صورت ادامه روند تغییر اقلیم در آینده‌ای نه چندان دور، مردم جهان با تغییرات عمده‌ای در وضعیت کره زمین از جمله ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییر در نوع نزولات جوی، طوفان‌های شدید، کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی در اثر سرمازدگی، تگرگ، یخ‌زدگی، خشک‌سالی، سیل، فرسایش، آب‌گرفتگی اراضی کشاورزی، تغییر فصل بارش و همچنین نابودی تنوع زیستی گیاهی و جانوری مواجه خواهند بود. بنابراین افزایش درجه حرارت کره زمین آثار و پیامدهای مختلف و در ابعاد گوناگون به همراه دارد (میتچل، ۲۰۰۳).

باید در نظر داشت که بخش کشاورزی از تولیدکننده‌های قابل توجه گازهای گلخانه‌ای می‌باشد به طوری که تخریب جنگل‌ها، زه‌کشی مرداب‌ها، سوزاندن کاه و کلش، افزایش احشام و کودپاشی با کودهای نیتروژنه از مهم‌ترین فعالیت‌های کشاورزی است که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در دهه ۱۹۹۰ زمین‌های کشاورزی مسئول انتشار ۱۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای بوده‌اند. در این حال حدود یک‌سوم از دی‌اکسیدکربن منتشر شده به‌علت تغییر در کاربری زمین، شامل جنگل‌زدایی، تغییر کشت و افزایش سطح کشاورزی و همچنین دو سوم گاز متان و بیش‌تر اکسید نیتروژن منتشر شده نیز ناشی از اراضی کشاورزی است (IPCC, ۱۹۹۶؛ داروین و همکاران، ۱۹۹۵).

در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است. در این رابطه پاداک و واسمن (۲۰۰۷) با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش

جهانی (GWP)^۱ به دست آمده از آن در کشاورزی، سیستم مرسوم کشت برنج را در منطقه هاریانای هند بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که سوزاندن کاه برنج به انتشار گاز متان و اکسید نیتروژن، مدیریت دام و کود حیوانی به انتشار گاز متان، عملیات زراعی و تولید ورودی‌های کشاورزی به انتشار دی‌اکسیدکربن و خاک زراعی به انتشار هر سه گاز گلخانه‌ای کمک می‌کنند. عملیات زراعی و غیرزراعی (ساخت کودها و آفت‌کش‌ها) هر کدام به ترتیب ۸۰-۹۸ و ۹۱-۱۶ معادل کیلوگرم CO_۲ در هکتار انتشار گاز گلخانه‌ای دارد. کل میزان GWP از تولید برنج در نواحی مختلف هاریانا ۴۰۵۴-۲۷۶۶ معادل کیلوگرم CO_۲ در هکتار بود که بستگی به ذخیره کربن آلی خاک، مصرف کود و عملیات زراعی و غیرزراعی داشت. آن‌ها در ادامه پژوهش‌ها نشان دادند که اصلاح شبکه آبیاری، مواد غذایی و مدیریت کاه برنج می‌تواند GWP را به میزان ۴۱-۱۵ درصد کاهش دهد (پاداک و واسمن، ۲۰۰۷).

کالتساس و همکاران (۲۰۰۷) نیز با بررسی دو روش کشت ارگانیک و مرسوم باغ‌های زیتون در سه منطقه شمال‌غربی، شمال‌شرقی و جنوب جزیره تاسوس یونان، میزان GWP و انتشار گاز CO_۲ را بر اساس مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی بر حسب تن CO_۲ در هکتار محاسبه کردند. آن‌ها میزان انتشار CO_۲ را در کشت مرسوم در سه منطقه به ترتیب ۱/۳، ۲/۲ و ۱/۳ تن معادل CO_۲ در هکتار و در کشت ارگانیک به ترتیب ۱/۲، ۱/۵ و ۱/۱ تن معادل CO_۲ در هکتار گزارش کردند. آن‌ها همچنین میزان پتانسیل گرمایش جهانی را برای سه منطقه تحت آزمایش به ترتیب ۱۵/۲، ۱۹/۲ و ۱۴/۷ تن معادل CO_۲ در هکتار برای کشت مرسوم و ۱۴/۹، ۱۶/۱ و ۱۳/۵ تن معادل CO_۲ در هکتار برای کشت ارگانیک محاسبه کردند (کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین در پژوهشی که توسط تزلیوآکیس و همکاران (۲۰۰۵a) بر روی ۱۳ سناریو (روش) تولید چغندر قند در انگلستان صورت گرفت، میزان انتشار از هر منبع سوخت برای عملیات زراعی مختلف و پتانسیل گرمایش جهانی تن معادل دی‌اکسیدکربن در تن برداشت محصول برای هر مزرعه محاسبه شد. بر این اساس میانگین GWP کل ۱/۲۵ تن معادل CO_۲ در هکتار به دست آمد. همچنین میانگین GWP تولیدی ۰/۰۲۴ تن معادل CO_۲ در تن چغندر برداشت شده برآورد شد که این مقدار برابر با ۰/۰۰۶۲ تن معادل CO_۲ در گیگاژول انرژی خروجی بود. با توجه به شرایط متنوع تولید در هر یک از سناریوها، آن‌ها دریافتند که میزان GWP ارتباط

1- Global Warming Potential

مستقیمی با میزان انرژی ورودی در تولید چغندر قند دارد. نتایج آن‌ها نشان داد تولید چغندر قند در خاک‌های حاصل خیز (پیت و سیلت) دارای پایین‌ترین میزان GWP (۱/۱، ۰/۹۳ و ۰/۹۱) بود در حالی که تولید در خاک‌های شنی و لوم شنی بالاترین میزان GWP (۱/۵، ۱/۴۷، ۱/۵۴، ۱/۴۲ و ۱/۳۸) را شامل می‌شد که این امر ناشی از میزان انرژی ورودی بالا به‌ویژه آبیاری در این تیپ از خاک‌ها بود (تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵a)، در حالی که در سایر پژوهش‌های مشابه در انگلستان میزان GWP کل برای محصولات سیب‌زمینی، گندم، کلزای روغنی، جو و نخود به‌ترتیب ۳، ۱/۷، ۱/۲، ۰/۷ و ۰/۷ تن معادل CO_2 در هکتار به‌دست آمده بود (تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵b).

با توجه به مطالب ذکر شده لازم است که مصرف انرژی و میزان تولید گازهای گلخانه‌ای به‌دست آمده از آن بررسی شوند که این امر از چند جنبه مهم است: اولاً باعث بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش مصرف سوخت شده و در عین حال این منابع ارزشمند برای آیندگان حفظ می‌شود، ثانیاً کنترل مصرف نهاده‌ها (ورودی‌ها) باعث صرفه‌جویی اقتصادی شده و هزینه‌های تولید را پایین می‌آورد و ثالثاً می‌تواند به حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از تغییر اقلیم کمک نماید (برون و همکاران، ۱۹۹۸؛ IPCC، ۱۹۹۶).

براساس بررسی‌های انجام شده، هیچ پژوهشی در ایران در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات زراعی یافت نشد. در سطح جهان نیز پژوهش‌های اندکی در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای به واسطه تولید محصولات زراعی انجام شده است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع هدف از این پژوهش بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) ناشی از تولید گندم در گرگان بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: برای انجام این پژوهش ابتدا ۶ مزرعه گندم در دو بخش شرقی و غربی گرگان انتخاب شدند. نحوه انتخاب مزارع به شکلی بود که همه روش‌های عمده تولید را در منطقه موردنظر پوشش دهد. انتخاب گرگان از آن جهت بود که این منطقه از مهم‌ترین مناطق تولید گندم در کشور است. خصوصیات مزارع و اطلاعات تکمیلی مربوط به آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ - اطلاعات مزارع گندم.

مزرعه	محل	نوع خاک	محصول قبلی	نوع بذر	مساحت مزرعه (هکتار)	درصد سطح کشت منطقه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد	توضیحات
۱	شمال شرقی گرگان	لوم رسی	سویا	N _{۱۰۱۹}	۵۰	۲	۴۱۰۰	کشت آبی، پمپاژ آب توسط الکتریسیته، وسعت زیاد مزرعه (مزرعه یکپارچه)
۲*	شرق گرگان	لوم رسی	سویا	N _{۱۰۱۹}	۷	۱	۵۲۰۰	کشت آبی، پمپاژ آب توسط الکتریسیته، کاشت بذر و پخش کود به طور همزمان توسط دستگاه کاملاً مکانیزه کشت گستر، مزرعه تکبیر بذر
۳**	شرق گرگان	لوم رسی	سویا	N _{۱۰۱۹}	۱۴	۱۰	۴۶۰۰	کشت آبی، پمپاژ آب توسط الکتریسیته، خاک‌ورزی زیاد
۴	غرب گرگان	لوم شنی	آیش	کوه‌دشت	۱	۱	۲۵۰۰	کشت دیم، کاشت بذر و پخش کود به صورت کاملاً دستی توسط نیروی انسانی، استفاده کم از ماشین‌آلات، وسعت کم مزرعه (مزرعه تفکیک شده)
۵*	غرب گرگان	لوم شنی	برنج	کوه‌دشت	۴	۱۵	۳۴۰۰	کشت آبی، استعمال حداکثر نهاده‌ها به ویژه کود نیتروژن
۶*	شمال غربی گرگان	لوم رسی سبیل	پپاز	دوروم	۳	۷۰	۳۹۰۰	کشت آبی، روش‌ها و عملیات زراعی به کار رفته در این مزرعه مشابه اکثریت کشاورزان می‌باشد (به جز رقم مورد کشت)

* آبیاری در دو نوبت انجام شده است.

** در این مزرعه بقایای محصول قبلی آتش زده شدند، در سایر مزارع بقایای محصول قبلی توسط عملیات شخم به خاک برگردانده شده‌اند.

به منظور جمع‌آوری اطلاعات پایه از مزارع گندم، ابتدا همه اعمال زراعی به ۸ بخش تهیه زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل و نقل به کارخانه برای تحویل محصول تفکیک شدند. سپس با شروع هر عملیات، با توجه به تنوع روش‌های تولیدی و مقادیر مختلف کاربرد ورودی‌ها (نهادها) توسط زارعین منطقه و همچنین به منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات متداول (تیبیک) عملیات زراعی مانند تاریخ شروع هر عملیات و میزان کل ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) و همچنین کل خروجی‌ها (دانه و کاه و کلش گندم) برای سال‌های زراعی ۸۴، ۸۵ و ۸۶ از ۶ مزرعه گندم مورد بررسی و فهرست‌برداری قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها و پردازش اولیه آن‌ها توسط نرم‌افزار Excel، آنالیز داده‌ها در سه بخش، شامل انرژی‌های ورودی (مصرفی)، انرژی‌های خروجی (تولیدی) و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام گردید. نتایج آنالیز انرژی ورودی و خروجی توسط رجبی (۲۰۱۰) ارائه شده است و در این مقاله بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم ناشی از آن تأکید گردید.

آنالیز داده‌ها

انرژی ورودی (مصرفی): در این مرحله همه ورودی‌های مستقیم (سوخت، الکتروسیته و نیروی انسانی) و غیرمستقیم (بذر، مواد شیمیایی، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات) در هنگام اجرای عملیات زراعی مختلف برای تولید گندم با استفاده از ضرایب تبدیل انرژی استخراج شده از منابع متعدد برای هر عملیات معادل‌سازی شد و سپس مقدار انرژی ورودی برای هر نهاد و عملیات محاسبه گردید.

انرژی خروجی (تولیدی): در این مرحله مقدار انرژی خروجی به دست آمده از دانه و کاه و کلش گندم، با استفاده از ضرایب تبدیل انرژی استخراج شده مربوط به دانه و کاه و کلش گندم معادل‌سازی شده و سپس مقدار کل انرژی خروجی برای هر یک به‌طور جداگانه محاسبه گردید. خاطرنشان می‌سازد که ضریب تبدیل انرژی برای دانه گندم برابر ۱۴/۷ (تیپی و همکاران، ۲۰۰۹) و کاه و کلش گندم برابر ۹/۲۵ (طباطبایی فر و همکاران، ۲۰۰۹) منظور گردید.

پتانسیل گرمایش جهانی: پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) عبارت از جمع گازهای گلخانه‌ای تولید شده است که به صورت معادل CO_2 بیان می‌شوند (IPCC، ۱۹۹۶). برای محاسبه GWP، تولید گازهای CO_2 ، N_2O و CH_4 ناشی از مصرف انرژی در تولید نهادها و عملیات‌های مختلف مدنظر قرار گرفت. این نهادها و عملیات‌ها عبارت بودند از: تولید کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، تولید

سموم شیمیایی علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش، مصرف سوخت‌های فسیلی برای انجام عملیات زراعی، آبیاری، حمل و نقل، تولید و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات زراعی. GWP طی مراحل زیر محاسبه شد:

(۱) معادل انرژی مصرف شده برای مصرف نهاده‌ها، انجام هر یک از عملیات‌ها، تولید و حمل و نقل ذکر شده در بالا محاسبه شد که جزییات آن توسط رجیبی (۲۰۱۰) ارائه شده است.

(۲) برای هر نهاده و عملیات میزان مصرف انرژی از منابع مختلف یعنی الکتریسیته، گاز طبیعی، گازوئیل، روغن و نفت از نظر نسبت هر یک از این انرژی‌ها (گرین، ۱۹۸۷؛ تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵a) محاسبه شد.

(۳) با مشخص شدن میزان انرژی از هر یک از منابع ذکر شده، میزان سه گاز گلخانه‌ای CO_2 ، CH_4 و N_2O ناشی از آن‌ها از حاصل ضرب میزان انرژی مصرفی و ضرایب تولید هر گاز، به ترتیب ۱، ۲۱ و ۳۱۰ به‌ازای هر ژول انرژی مصرفی از هر منبع محاسبه گردید (DCC، ۲۰۰۸).

(۴) با توجه به توان متفاوت گازهای CH_4 و N_2O در ایجاد گرمایش جهانی کل گازهای گلخانه‌ای تولیدی به‌صورت معادل CO_2 محاسبه شدند. هر کیلوگرم CH_4 و N_2O به ترتیب معادل ۲۱ و ۳۱۰ کیلوگرم CO_2 اثرات گلخانه‌ای دارند (IPCC، ۱۹۹۶).

(۵) پس از محاسبه GWP کل، مقادیر GWP در واحد سطح (معادل کیلوگرم CO_2 در هکتار)، در واحد وزن (معادل کیلوگرم CO_2 در تن محصول گندم)، در واحد انرژی ورودی (معادل کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) و در واحد انرژی خروجی (معادل کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) نیز محاسبه گردید.

نتایج و بحث

مستندسازی فرآیند تولید: انجام عملیات‌های زراعی از مرحله کاشت تا برداشت در ۶ مزرعه گندم از اواخر شهریورماه آغاز و تا اواخر خردادماه ادامه داشت. انجام این عملیات با شخم مزارع شروع و با برداشت محصول خاتمه یافت.

به منظور خرد کردن کلوخه‌ها و هموار کردن زمین برای آماده‌سازی بستر بذر، بسته به نوع خاک زراعی و سلیقه زارعین تعداد دیسک‌ها بین ۳-۶ نوبت متغیر بود که از این میان مزارع شماره ۳ و ۵ بیش‌ترین تعداد و مزارع شماره ۲ و ۴ کم‌ترین تعداد دیسک را در بین سایر مزارع به خود اختصاص دادند.

کودهای مورد استفاده در این مزارع بیش تر کود کامل (NPK)، فسفات آمونیوم، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم و کلرور پتاسیم به عنوان کود پایه و همچنین کود اوره و فسفات نترات آمونیوم به عنوان کود سرک بودند کودهای پایه در مرحله قبل از کاشت به وسیله دستگاه سانتریفوژ در مزارع پخش شدند، اما در مزارع شماره ۲ و ۴ به ترتیب توسط دستگاه کشت گستر و نیروی انسانی (مزرعه ۴) پخش شدند. بیش تر سموم قابل استفاده نیز شامل گرانستار^۱، تاپیک^۲ و سافیکس بی دبلیو^۳ (علف کش)، آلتوکمبی^۴، آلتو ۱۰۰^۵ و کاربندازیم^۶ (قارچ کش) و دیازینون^۷ (حشره کش) بودند. عملیات سم پاشی در دو نوبت در سطح منطقه یکی با هدف کنترل علف های هرز و دیگری با هدف حفاظت گیاه گندم در برابر آفات انجام گردید. لازم به ذکر است که در تمامی مزارع از علف کش ها به منظور کنترل علف های هرز استفاده گردید، برای کنترل آفات و بیماری ها، مزارع شماره ۱، ۳ و ۵ از سموم قارچ کش و حشره کش (به صورت مخلوط) استفاده کردند. جدول ۲ مقدار کودها و سموم شیمیایی مصرفی برای تولید گندم در مزارع مورد مطالعه را نشان می دهد. عملیات برداشت نیز در تمام مزارع توسط دستگاه کمباین جاندر انجام شد. پس از برداشت، محصول گندم هر مزرعه به وسیله ماشین آلات مختلف مانند کامیون، وانت و تراکتور به کارخانه انتقال داده شد.

انرژی ورودی و خروجی: نتایج آنالیز انرژی های ورودی در این ۶ مزرعه نشان داد که میانگین کل انرژی ورودی برابر ۱۵۵۷۸/۶ مگاژول در هکتار با دامنه بین ۲۱۱۷۹/۱-۷۶۸۶/۳ مگاژول در هکتار بوده است که از این میان مزارع شماره ۵ و ۴ به ترتیب بیش ترین و کم ترین مقدار را در کل انرژی های ورودی مستقیم و غیرمستقیم دارا بودند. همچنین مشخص شد که از بین انرژی های ورودی مستقیم، سوخت عملیات زراعی با میانگین ۳۳۹۰ مگاژول در هکتار (۲۱/۸ درصد) اختلاف معنی داری در مقایسه با سایر انرژی های ورودی مستقیم (سوخت برای حمل و نقل، الکتریسیته و نیروی انسانی) داشت و از بین انرژی های ورودی غیرمستقیم، کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن با میانگین ۵۹۶۴/۱ مگاژول در هکتار (۳۸/۳ درصد) اختلاف معنی داری در مقایسه با سایر انرژی های ورودی غیرمستقیم (بذر، سموم شیمیایی و ماشین آلات) داشتند (جدول ۳).

- 1- Granstar
- 2- Toppic
- 3- Suffix BW
- 4- Altocombi
- 5- Alto 100
- 6- Carbendazim
- 7- Diansinone

جدول ۲- مقادیر نهاده‌های زراعی (کودها، سموم شیمیایی و سوخت) بر حسب واحد در هکتار در ۶ مزرعه گندم. مقادیر میانگین، انحراف معیار (SEM)، حدود اطمینان در مجموع نیز آورده شده‌اند.

نهاده‌های زراعی	واحد	مزرعه						میانگین	SEM	حدود اطمینان ۹۵ درصد	
		۱	۲	۳	۴	۵	۶			پایین	بالا
نیترژن (N)	کیلوگرم	۳۸۱	۵۲/۵	۸۷	۰	۳۸۱	۶۸	۲۹۸۸	۶۳/۶	۲۱/۲	
فسفر (P ₂ O ₅)	کیلوگرم	۵۱۱	۶۴	۶۴	۶۶	۲۴	۶۶	۱۸۴۱	۱/۵۵	۷۷/۶	
پتاسیم (K ₂ O)	کیلوگرم	۰	۷۰/۱	۷۰/۱	۷۸	۴۵	۴۷	۱۶۹۸	۴۶/۶	۱۷۷/۸	
قارچ کش	کیلوگرم در لیتر	۰/۷	۰	۲/۰	۰	۶/۰	۰	۰/۱۳	۱/۰	۰/۴	
علف کش	کیلوگرم در لیتر	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۲	۰/۴	۰/۶	۰/۲۴	۰/۶	۱	
حشره کش	کیلوگرم در لیتر	۰	۰	۰/۹	۰	۰/۹	۰	۰/۳۰	۱/۰	۰/۵	
سوخت	لیتر	۸۷/۶	۴۷/۳	۱۰۵	۵۳/۴	۷۲/۸	۱۰۱	۶۲/۴	۹/۶۰	۱/۰۰۱	

جدول ۳- مقادیر انرژی‌های ورودی مستقیم و غیرمستقیم برای هر مزرعه گندم بر حسب مگاژول در هکتار. مقادیر میانگین، اشیاء معیار، حدود اطمینان و سهم هر عملیات زراعی در مجموع نیز آورده شده‌اند.

انرژی‌های ورودی مستقیم / غیرمستقیم	مزرعه					میانگین	SEM	حدود اطمینان ۹۵ درصد		درصد از کل
	۱	۲	۳	۴	۵			پایین	بالا	
مستقیم										
سوخت برای عملیات زراعی	۳۱۴۰/۳	۲۰۷۴/۲	۲۸۱۶/۶	۱۹۳۳/۲	۴۶۰۷/۱	۳۷۲۳/۶	۳۳۹۰	۳۹۹/۶	۳۸۵۵/۲	۷/۲۱
سوخت برای حمل و نقل	۱۹۰	۲۵/۴	۲۵/۴	۹۶/۵	۷۵	۴۱	۴/۱۱	۶/۸۱	۷/۱۳۱	۷/۱۰
الکتریسیته	۳۹۹/۳	۳۷	۶۰۵	۰	۰	۰	۰/۰۳	۷/۷۷۱	۴۶۷/۳	۶/۱
نیروی انسانی	۱۹/۱۱	۱/۵۱	۳/۹۰۱	۸/۴	۲۰۴	۶/۴۱۱	۳/۸۴۱	۱۰/۶۱	۵/۱۲۱	۶/۰
غیر مستقیم										
کود نیروزن	۷/۸۰۹/۱۱	۳۱۸۱/۵	۵۲۷۲/۲	۰	۷/۶۷۰/۱۱	۱۵۱۵	۱/۶۶۵	۳۱/۸۷۸/۱	۴۵۲۵/۳	۳/۷۳
کود فسفر	۵/۸۸۱	۶/۱۰۵	۶/۱۰۵	۶/۵۶۸	۳/۶۶۶	۶/۹۰۱	۲/۷۳۸	۷/۷۵۱	۱۱۶	۸/۳
کود پتاسیم	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰	۰	۸/۸
بذر	۶۶۶	۱۱۵	۶۸۷	۳۱۸	۶۸۷	۵۵۸	۳/۱۸۸	۳/۲۲۴	۵/۱۳۶	۵/۸
علف کشت	۶/۶۱	۲/۵۱	۶/۶۱	۸/۵۵	۵/۳۱	۶/۶۱	۵/۱۱	۱/۷۶	۸۱	۳/۱
قارچ کشت	۳۰/۳	۰	۸/۳	۰	۳/۵	۰	۶/۳	۷/۰/۳۱	۳/۶۱	۸/۰
حشره‌کش	۰	۰	۳/۳	۰	۳/۳	۰	۱/۸	۸/۳۳	۱/۵۳	۵/۰
ماینین آلات	۷/۵۵/۴	۷/۶۸/۱	۶/۸۶/۱	۶۶	۳/۷۸/۱	۱/۶۱/۱	۷/۱/۳۱	۱۳/۶۱	۸/۷۸/۱	۶/۳/۷۱
جمع کل	۲۰۷۰۳/۶	۱۶۹۷۶/۲	۱۶۶۶۱/۱	۳۶۶۷/۸	۲۱۱۸۱/۱	۱۶۶۳۱	۶/۷۷۵/۱	۳۶/۵۶/۰۲	۷/۵۹۵/۱	۳/۱۳۸/۱

همچنین نتایج آنالیز انرژی خروجی در ۶ مزرعه تولید گندم نشان داد که میانگین کل انرژی خروجی (دانه، کاه و کلش) برابر ۹۱۵۵۷/۵ مگاژول در هکتار بود که از این میان مزارع شماره ۲ و ۴ با ۱۲۰۵۳۱/۳ و ۵۷۹۴۷/۵ مگاژول در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انرژی خروجی را دارا بودند. این در حالی است که میزان عملکرد دانه برای مزارع شماره ۲ و ۴ به ترتیب برابر ۵۲۰۰ و ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین میزان عملکرد کاه و کلش به ترتیب برابر با ۶۳۵۵/۵ و ۳۰۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار برای این مزارع به دست آمده بود (جدول ۴).

پتانسیل گرمایش جهانی: نتایج نشان داد که مقدار پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) کل ناشی از فعالیت‌های مختلف در هر مزرعه گندم بین ۹۲۳-۲۶۸ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار متغیر بوده است که از این میان مزارع شماره ۴ و ۵ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار GWP را دارا بودند (جدول ۵). مزرعه شماره ۱ نیز با ۹۲۲ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار در رتبه بعدی قرار داشت و سایر مزارع بین ۶۲۱-۵۴۰ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی داشتند. همچنین میانگین GWP کل برای این ۶ مزرعه برابر با ۶۶۲ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بود.

همان‌گونه که از این جداول استنباط می‌شود در بین فعالیت‌های مختلف زراعی، تولید و حمل و نقل کود نیتروژن با میانگین ۲۹۱ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بیشترین مقدار را از نظر گرمایش جهانی به خود اختصاص داده است و بعد از آن مصرف سوخت برای انجام عملیات زراعی با میانگین ۲۱۳ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار در جایگاه بعدی قرار گرفته است. همچنین مزارع شماره ۱ و ۵ با ۵۴۱ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بیشترین مقدار GWP را از نظر کاربرد کود نیتروژن داشته‌اند و به دنبال آن مزارع شماره ۳ و ۶ به ترتیب با ۲۵۷ و ۲۵۱ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند و مزرعه شماره ۲ با ۱۵۵ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار کمترین مقدار GWP را از نظر کاربرد کود نیتروژن به خود اختصاص داده است. ضمن این‌که در مزرعه شماره ۴ کود نیتروژن استعمال نشد که به همین دلیل GWP آن صفر در نظر گرفته شده است. در رابطه با مصرف سوخت نیز نتایج نشان دادند که مزرعه شماره ۳ و ۵ به ترتیب با ۲۹۹ و ۲۹۶ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار بیشترین مقدار GWP را دارا بوده‌اند (جدول ۵).

جدول ۴- مقادیر عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و انرژی خروجی دانه و کاه و کلش (مگاژول در هکتار) برای هر مزرعه گندم.

	مزرعه						میانگین	SEM	حدود اطمینان ۹۵ درصد پایین	بالا
	۱	۲	۳	۴	۵	۶				
خروجی عملکرد دانه	۴۱۰۰	۵۲۰۰	۴۶۰۰	۲۵۰۰	۳۴۰۰	۳۹۰۰	۳۹۵۰	۳۸۳/۲	۳۴۳	۴۲۵
عملکرد کاه و کلش	۵۰۱۱/۱	۶۳۵۵/۵	۵۶۲۲/۲	۳۰۵۵/۵	۴۱۵۵/۵	۴۷۶۶/۳	۴۸۲۷/۷	۴۶۸/۷	۴۴۵/۵	۵۲۰/۹
انرژی خروجی عملکرد دانه	۶۰۲۷۰	۷۶۴۴۰	۶۷۶۲۰	۳۶۷۵۰	۴۹۶۶۳	۵۷۳۳۰	۵۷۰۷۵	۶۳۹/۲	۵۳۵	۶۲۵
عملکرد کاه و کلش ^۰	۳۴۷۶۴/۵	۴۴۰۹۱/۳	۳۹۰۰۴	۷۱۹۱۱/۵	۷۷۱۷۷/۸	۶۷۱۰۷/۶	۳۳۳۴۹/۵	۸۷/۷	۳۰۶۷۷۰۱	۳۰۶
جمع کل	۹۵۰۳۴/۵	۱۲۰۵۳۱/۳	۱۰۶۶۲۱/۱	۵۷۹۶۷/۵	۷۷۰۸۰۷/۸	۹۰۳۹۸/۹	۹۱۵۵۹/۶	۷۰۱/۷	۵/۸۳۳۳۷	۵/۸۷

^۰ انرژی خروجی کاه و کلش گندم با احتساب این که ۲۵ درصد کاه و کلش از مزرعه خارج نمی‌شوند، برآورد شده است.

جدول ۵- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر حسب کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار) ناشی از فعالیت‌های مختلف در هر مزرعه گندم. مقادیر میانگین، اشتباه معیار (SEM)، حدود اطمینان و سهم هر عملیات زراعی در مجموع نیز آورده شده‌اند.

نهادهای زراعی	مزرعه					میانگین	SEM	حدود اطمینان ۹۵ درصد	
	۱	۲	۳	۴	۵			پایین	بالا
تولید و حمل و نقل نیترژن	۵۵۰/۸	۱۵۵/۱	۲۵۷/۱	۰	۵۵۰/۸	۲۹۰/۸	۸۷/۶۹	۲۲۰/۶	۳۶۱
فسفر	۹۳/۶	۳۷/۵	۳۷/۵	۵۶/۲	۱۹/۵	۵۴/۱	۱۱/۵۷	۴۴/۷	۸۲
پتاسیم	۰	۵۳/۱	۵۳/۱	۳۵/۴	۲۲/۱	۳۱/۲	۸/۲۵	۲۴/۵	۴/۷
خشبرگش	۰	۰	۸	۰	۸	۲/۷	۱/۶۹	۱/۴	۴
قارچ‌کش	۲/۶	۰	۱/۲	۰	۲/۲	۱	۰/۴۸	۰/۶	۳/۱
علف‌کش	۶/۲	۶/۲	۶/۲	۲۱/۱	۴/۳	۸/۴	۲/۵۷	۶/۳	۱۰/۵
سوخت									
برای حمل و نقل	۱۳/۲	۸/۷	۸/۷	۶/۴	۴	۸/۲	۱/۲۴	۷/۲	۹/۲
برای عملیات زراعی	۲۱۸/۹	۲۱۴/۳	۳۶۹/۱	۱۳۴/۷	۲۲۲/۹	۲۱۳/۳	۲۰/۸۳	۱۹۶/۷	۳۲/۲
برای آبیاری*	۱۳/۹	۲۹/۵	۲۱/۱	۰	۲۹/۱	۲۲/۲	۵/۶۹	۱۷/۶	۳۶/۸
تولید، حمل و نقل و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات	۳۳/۲	۳۵/۱	۳۸/۱	۱۳/۹	۳۰/۱	۳۰/۴	۳/۴۸	۲۷/۶	۳۳/۲
کل GWP	۹۲۲/۴	۵۳۹/۵	۷۰۰/۱	۳۲۷/۷	۹۲۳	۶۶۲/۳	۱۰۱/۵۸	۵۸۱	۷۴۳/۶

* سوخت جهت تولید الکتروسیته یا مصرف برای پمپاژ آب.

بررسی‌ها نشان داد که بیش‌ترین سهم پتانسیل گرمایش جهانی از میان فعالیت‌های مختلف، مربوط به کود نیتروژن با ۴۳/۹ درصد بوده است و به‌دنبال آن سوخت برای انجام عملیات زراعی با ۳۲/۲ درصد در جایگاه بعدی قرار داشته است. کودهای فسفر و پتاسیم نیز به‌ترتیب با ۸/۲ و ۴/۷ درصد، رتبه‌های بعدی را دارا بودند و بعد از آن ادوات و ماشین‌آلات با ۴/۶ درصد در جایگاه بعدی قرار داشته است. ضمن این‌که آفت‌کش‌ها با ۱/۸ درصد سهم ناچیزی نسبت به سایر عملیات در پتانسیل گرمایش جهانی داشتند که از این میان سهم علف‌کش‌ها با ۱/۳ درصد از حشره‌کش‌ها (۰/۴ درصد) و قارچ‌کش‌ها (۰/۲ درصد) بالاتر بوده است (جدول ۵).

در همین زمینه وود و کوی (۲۰۰۴) بیان داشتند که انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام فعالیت‌های متنوع کشاورزی یا به‌طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به‌طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل و نقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) به‌دست می‌آیند. پادا و واسمن (۲۰۰۷) نیز اعلام کردند که عملیات زراعی و غیرزراعی (تولید و حمل و نقل کودها و آفت‌کش‌ها) در تولید برنج به‌ترتیب ۹۸-۸۰ و ۹۱-۱۶ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی دارند. علاوه‌بر این نتایج پژوهش‌های مشابه در سایر محصولات زراعی نیز نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود نیتروژن) و سوخت‌های فسیلی بیش‌ترین اثر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی داشته است (تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵a؛ تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵b؛ کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لال، ۲۰۰۴).

نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در این پژوهش نشان داد که بین انرژی‌های ورودی در مزارع تولید گندم و GWP ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، انرژی ورودی سوخت برای انجام عملیات زراعی (انرژی ورودی مستقیم) با ۲۱/۸ درصد و همچنین انرژی ورودی کود نیتروژن (انرژی ورودی غیرمستقیم) با ۳۸/۳ درصد بالاترین سهم را در مصرف انرژی ورودی در مزارع تولید گندم دارا بودند که متعاقب آن نیز بالاترین سهم پتانسیل گرمایش جهانی با ۴۳/۹ و ۳۲/۲ درصد به‌ترتیب برای کود نیتروژن و سوخت عملیات زراعی به‌دست آمده است (جدول ۵).

باید توجه داشت که در بین عملیات زراعی مختلف در تولید گندم، عملیات خاک‌ورزی (تهیه زمین) بیش‌ترین سهم را در مصرف سوخت‌های فسیلی دارد (رجبی، ۲۰۱۰) و از آن‌جا که سوخت‌های فسیلی خود عامل مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO₂ می‌باشند (IPCC، ۱۹۹۶) بنابراین باید روش‌های مناسب خاک‌ورزی برای هر محصول زراعی اتخاذ شود.

دایر و دسجاردینز (۲۰۰۳) اثرات مدیریت ماشین‌آلات مزرعه را بر انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی کانادا ارزیابی کردند. آن‌ها نشان دادند که کاهش کلی در مصرف سوخت‌های فسیلی که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی کانادا می‌شود از راه‌های زیر امکان‌پذیر است:

(۱) حذف یا کاهش آیش تابستانه به‌عنوان روشی برای کنترل علف‌هرز، (۲) تبدیل خاک‌ورزی مرسوم (متداول) به سیستم حداقل یا بدون خاک‌ورزی، (۳) کاربرد خاک‌ورزی جایگزین مانند شخم با گاوآهن چیزل (قلمی) به‌جای شخم با گاوآهن بشقابی و (۴) تبدیل زمین‌های زراعی به چراگاه در زمین‌هایی با حاصل‌خیزی کم. آن‌ها همچنین نشان دادند که حذف خاک‌ورزی اولیه بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (دایر و دسجاردینز، ۲۰۰۳).

تزیلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵a) نیز با بررسی مقادیر GWP در تولید چغندر قند در انگلستان بیان داشتند که مقادیر GWP ارتباط مستقیمی با میزان انرژی ورودی در تولید چغندر قند دارد. سایر محققان نیز با ارزیابی انرژی ورودی و GWP به‌دست آمده از آن در محصولات مختلف، نظری مشابه با یافته‌های این پژوهش داشتند (کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لال، ۲۰۰۴؛ پاداک و واسمن، ۲۰۰۷).

جدول ۶ مقادیر GWP کل را در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی ارایه می‌دهد. مزارع شماره ۲ و ۴ کم‌ترین مقدار GWP را در واحد سطح به‌ترتیب با ۵۴۰ و ۲۶۸ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار به خود اختصاص دادند که می‌توان علت کاهش مقادیر GWP در مزارع شماره ۲ و ۴ را نسبت به سایر مزارع، مصرف حداقل انرژی‌های ورودی به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت در این مزارع عنوان کرد که در ادامه مشخص شد که مزرعه شماره ۲ با ۱۰۴ کیلوگرم معادل CO₂ در تن محصول گندم کم‌ترین مقدار GWP را دارا بوده است. این در حالی است که مزرعه شماره ۵ با ۲۷۲ کیلوگرم معادل CO₂ در تن محصول گندم بیش‌ترین مقدار GWP را داشته است (جدول ۶).

جدول ۱- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی به صورت کیلوگرم معادل CO₂ در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی برای هر مزرعه گندم. مقادیر میانگین، اشیاء معیار (SEM) و حدود اطمینان در مجموع نیز آورده شده‌اند.

حدود اطمینان ۹۵ درصد	میانگین						GWP			
	پایین	SEM	۱	۲	۳	۴				
۷۴/۳۶	۵۸۱	۱۰۱/۵۸	۲۲۲/۳	۶۲۱/۱	۹۲۳	۳۶۷/۷	۷۰۰/۱	۹۲۲/۴	در واحد سطح (کیلوگرم معادل CO ₂ در هکتار)	
۱۹۱/۵	۱۴۸/۱	۳۷/۱۴	۱۶۹/۸	۱۵۹/۳	۲۷۱/۵	۱۰۷/۱	۱۵۲/۲	۱۰۳/۸	۲۶۵	در واحد وزن (کیلوگرم معادل CO ₂ در تن محصول گندم)
۴۲/۷	۴۰/۵	۱/۴۳	۴۱/۶	۴۲/۳	۴۲/۵	۳۴/۸	۴۳	۴۱/۵	۴۴/۶	در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول)
۸/۲	۶/۴	۱/۱۷	۷/۳	۶/۹	۱۱/۷	۴/۶	۶/۶	۴/۵	۹/۷	در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول)

در همین رابطه تزیلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵b) مقادیر کل GWP را در واحد سطح برای محصولات سیب‌زمینی، گندم، کلزای روغنی، جو و نخود به ترتیب برابر با ۳، ۱/۷، ۱/۲، ۰/۷ و ۰/۷ تن معادل CO₂ در هکتار برآورد کردند.

مقادیر GWP در واحد انرژی ورودی نیز برای مزارع شماره ۴ و ۲ به ترتیب با ۳۵ و ۴۲ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول کم‌ترین مقدار را شامل شد در حالی که این مقدار برای مزارع شماره ۵ و ۱ به ترتیب با ۴۴ و ۴۷ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول، بیش‌ترین مقدار را دارا بود (جدول ۶).

در نهایت مشخص شد که مزرعه شماره ۲ با ۴/۵ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول کم‌ترین مقدار GWP را در واحد انرژی خروجی دارا بوده و در رتبه دوم مزرعه شماره ۴ با ۴/۶ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول بوده است. مزارع شماره ۱ و ۵ نیز با ۹/۷ و ۱۱/۷ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول بالاترین مقدار GWP را در واحد انرژی خروجی نسبت به سایر مزارع داشته‌اند (جدول ۶).

تزیلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵a) نیز مقادیر GWP کل تولید چغندر قند در انگلستان را در واحد انرژی خروجی برابر با ۰/۰۰۶۲ تن معادل CO₂ در گیگاژول برآورد کردند. آن‌ها بر این عقیده‌اند که مقادیر GWP در واحد انرژی خروجی برای چغندر قند در انگلستان مشابه مقادیر منتشر شده برای گندم می‌باشد (تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵a). در سایر پژوهش‌ها نیز مقادیر GWP در واحد وزن بین ۰/۱۷۴-۰/۰۹۳ تن معادل CO₂ در تن محصول گندم و مقادیر GWP در واحد انرژی خروجی بین ۰/۰۱۰۹-۰/۰۰۵۳ تن معادل CO₂ در گیگاژول گزارش شده است (کیوسترز و لامل، ۱۹۹۹؛ ریچاردز، ۲۰۰۰؛ راتکه و دایپن‌بروک، ۲۰۰۳).

بنابراین با توجه به آمار و ارقام ارائه شده توسط سایر محققان می‌توان این‌طور استنباط کرد که تولید گندم در گرگان با انرژی ورودی بیشتر و در نتیجه تولید گازهای گلخانه‌ای زیاده‌تر نسبت به سایر مناطق جهان انجام می‌شود که این امر نیاز به بررسی بیشتر دارد. باید توجه داشت که امروزه، به دلیل حفظ منابع طبیعی (برون و همکاران، ۱۹۹۸) و همچنین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر (IPCC، ۱۹۹۶) استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این توسعه سیستم‌های کشاورزی با انرژی ورودی حداقل همانند کشاورزی ارگانیک می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی کمک شایانی نماید (دالگارد و همکاران، ۲۰۰۱؛ هالسبرگن و همکاران، ۲۰۰۱). در همین رابطه کالتساس و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی دو روش کشت ارگانیک و رایج زیتون در یونان به این نتیجه رسیدند که مقادیر GWP در سیستم کشت ارگانیک کم‌تر از سیستم کشت رایج بوده است.

با توجه به این که تغییر اقلیم در این عصر به عنوان مهم ترین تهدید برای توسعه پایدار مطرح است، که به منابع طبیعی، منابع پایه، محیط زیست، سلامت انسان، امنیت غذایی، فعالیت های اقتصادی و... آسیب می رساند، به همین دلیل این مبحث با اهمیت، در دهه ۷۰ میلادی در محافل علمی در پی افزایش میزان غلظت گازهای گلخانه ای جو در اثر فعالیت های انسانی مورد توجه قرار گرفت، پس از آن در سال ۱۹۹۲ در اجلاس ریو معاهده ای تحت عنوان کنوانسیون تغییر آب و هوا مطرح شد و با امضا ۱۵۴ کشور جهان از تاریخ ۱۹۹۴ لازم الاجرا گردید. کشور ایران نیز در سال ۱۹۹۶ به عضویت این کنوانسیون درآمد. پس از گذشت چند سال برای تقویت تعهدات کشورهای توسعه یافته پروتکلی تحت عنوان پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ برای امضا کشورهای عضو آماده شد، که در سال ۲۰۰۴ اجرایی گردید. با لازم الاجرا شدن این پروتکل کشورهای توسعه یافته ملزم به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای طی سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به میزان ۵/۲ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ شدند. کشور ایران نیز در سال ۲۰۰۵ میلادی به عضویت این پروتکل در آمده است.

با توجه به مطالب ذکر شده باید بیان نمود که بخش کشاورزی نیز یکی از منابع مهم در انتشار گازهای گلخانه ای و گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بوده و در عین حال خود این بخش نیز به سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیش ترین تأثیر را از فرآیند تغییر اقلیم می پذیرد، اندک تغییر دما سبب دامن زدن به موضوع خشک سالی، تأثیر در بوم نظام های طبیعی و کشاورزی خواهد شد. به تعبیر دیگر تحت الشعاع قرار گرفتن امنیت غذایی و گسترش فقر در جوامع کشاورزی از مفاد بارز و آشکار پدیده تغییر اقلیم در بخش کشاورزی است. بنابراین ارایه راه کارهایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و در نتیجه جلوگیری از گرمایش زمین باید سرلوحه برنامه های ملی قرار گرفته و تمام دست اندرکاران این بخش به فکر یک چاره واقع بینانه باشند.

نتیجه گیری

در این پژوهش، ارزیابی انتشار گازهای گلخانه ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از فعالیت های مختلف زراعی در ۶ مزرعه گندم در گرگان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متوسط تولید GWP برابر ۶۶۲ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار در کل مزارع بوده است. همچنین بیش ترین و کم ترین مقدار تولید GWP به ترتیب برابر با ۹۲۳ و ۲۶۸ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار که به ترتیب معادل ۰/۹ و ۰/۳ تن معادل CO₂ در هکتار بوده است که نشان داد مقادیر GWP ارتباط مستقیمی با مصرف نهاده های زراعی (انرژی های ورودی) داشته است به طوری که کودهای شیمیایی (به ویژه نیتروژن) و

سوخت‌های فسیلی به‌ترتیب با ۴۵/۸ و ۲۲/۵ درصد بیش‌ترین سهم را در مصرف انرژی داشته‌اند که متعاقب آن نیز بیش‌ترین سهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن، با ۵۶/۸ و ۳۶/۸ درصد به‌ترتیب مربوط به کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی به‌دست آمد. در نهایت نتایج GWP نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار GWP در واحد وزن به‌ترتیب برابر ۲۷۱/۵ و ۱۰۳/۸ کیلوگرم معادل CO₂ در تن محصول گندم، در واحد انرژی ورودی به‌ترتیب برابر ۴۴/۶ و ۳۴/۸ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول و در واحد انرژی خروجی به‌ترتیب برابر ۱۱/۷ و ۴/۵ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول بوده است.

با توجه به این پژوهش پیشنهادات زیر جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از فعالیت‌های مختلف در تولید گندم قابل‌توجه به‌نظر می‌رسد که البته نیاز به تحقیق بیش‌تر ضروری است: (۱) استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی که به مکانیزاسیون و قدرت کم‌تری نیازمند بوده و اجرای عملیات شخم در زمانی که رطوبت خاک در حد مناسب باشد، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش سوخت مصرفی تراکتور خواهد داشت. در این جهت توصیه می‌شود که پس از برداشت محصول که هنوز رطوبت خاک خیلی کاهش نیافته، در کم‌ترین زمان ممکن عملیات شخم صورت پذیرد، (۲) استفاده از تناوب زراعی مناسب مانند کشت گیاهان لگوم (بقولات) در چرخه تناوب زراعی به‌منظور افزایش تنوع زیستی و تقویت حاصل‌خیزی خاک (افزایش نیتروژن خاک) که قاعدتاً کشت متوالی یک محصول و رعایت نکردن تناوب زراعی صحیح موجب کاهش حاصل‌خیزی خاک و شیوع آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز شده که در واقع موجب افزایش مصرف انرژی‌های ورودی مانند کودها و مواد شیمیایی می‌گردد، (۳) برگشت بخشی از بقایای محصول به خاک به‌منظور جبران قسمتی از عناصر برداشت شده از خاک توسط گیاه و افزایش مواد آلی و حاصل‌خیزی خاک برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی به‌دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، (۴) جایگزینی کودهای ارگانیک (آلی) مانند کود حیوانی، کود سبز و کمپوست به‌منظور افزایش عناصر غذایی خاک، بهبود ساختمان خاک و تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک به‌جای کودهای نیتروژنه که سهم به‌سزایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، (۵) استفاده از منابع انرژی به‌صورت کارآمدتر با بهینه‌سازی مصرف انواع نهاده‌های به‌کار رفته در سیستم از طریق انتخاب صحیح نوع، مقدار، روش و زمان مصرف نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی، کارایی آن‌ها را افزایش داده و این امر موجب مصرف کم‌تر آن‌ها خواهد شد، (۶) افزایش کارایی استفاده از منابع انرژی از

طریق اصلاح نباتات و عملیات بهزراعی و همچنین کشت گیاهان مقاوم به آفات و بیماری‌ها برای کاهش مصرف سموم شیمیایی، (۷) توسعه کنترل زیستی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به منظور کاهش مصرف سموم شیمیایی و سوخت‌های فسیلی و (۸) استفاده از ماشین‌آلات ترکیبی که قادر به انجام چند کار هم‌زمان با هم می‌باشد و همچنین اجرای سیستم‌های خاک‌ورزی نوین مانند خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی.

سپاسگزاری

از شرکت بهینه سازی مصرف سوخت به دلیل حمایت مالی پایان‌نامه نویسنده اول کمال تشکر را داریم.

منابع

1. Brown, L.R., Flavin, C.F., and French, H. 1998. State of the world: A world watch Institute report on progress toward a sustainable society. New York: Norton, 72p.
2. Dalgaard, T., Halberge, N., and Porter, G.R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 87: 51-65.
3. Darvin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J., and Ranases, A. 1995. World agriculture and climate change: Economic adaptations. Natural Resources and Environment Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agric. Econ. Rep. 703p.
4. Dayer, J.A., and Desjardins, R.L. 2003. The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *J. Sustain. Agric.* 22: 59-74.
5. Department of Climate Change (DCC). 2008. National Greenhouse Accounts (NGA) Factors, www.climatechange.gov.au.
6. Green, M. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel, Z.R. (Ed.), *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.
7. Hulsbergen, K.J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.W., Kalk, W.D., and Dipenbrock, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agric. Ecosyst. Environ.* 86: 303-321.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, UK.
9. 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.
10. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., and Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122: 243-251.
 11. Kuesters, J., and Lammel, J. 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *Eur. J. Agric.* 11: 35-43.
 12. Lal, R. 2004. Carbon emission from operations. *Env. Int.* 30: 981-990.
 13. Mitchell, T.D. 2003. Pattern scaling: An Examination of the accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.
 14. Pathak, H., and Wassmann, R. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agric. Syst.* 94: 807-825.
 15. Rathke, G.W., and Dipenbrock, H.W. 2003. Energy balance of different crops with rape. International Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark, Pp: 756-768.
 16. Rajabi, M.H. 2010. Evaluation of energy balance and greenhouse gases emission in wheat production in Gorgan. Agronomy M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Bojnourd Branch, 110p.
 17. Richards, I.R. 2000. Energy balance in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington Agriculture Report/British Association for Bio Fuels and Oils.
 18. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R., and Karimi, M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34: 41-45.
 19. Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *J. Agric. Environ.* 7: 352-356.
 20. Tzilivakis, J., Jaggard, K., Lewis, K.A., May, M., and Warner, D.J. 2005b. Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107: 341-358.
 21. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K. 2005a. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emission in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agric. Syst.* 85: 101-119.
 22. Wood, S., and Cowie, A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Center for greenhouse Accounting.



Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan, Iran

M.H. Rajabi¹, *A. Soltani², E. Zeinali³ and E. Soltani⁴

¹M.Sc. Student, Dept. of Agronomy, Islamic Azad University, Bojnourd Branch,
²Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2012-06-11; Accepted: 2011-10-23

Abstract

Global warming and global climatic changes have attracted many concerns. The objective of this research was to examine greenhouse gas emission and its resultant global warming potential (GWP) in wheat production in Gorgan, north-east of Iran. To do this, six wheat fields were selected and during three consecutive growing seasons, data were gathered on input and energy use in all production practices. The production practices were classified into eight categories, i.e. seed bed preparation, plant protection, weeds control, irrigation, harvesting and transportation for storage. Results showed that GWP for wheat production was between 268 and 923 kg equivalent CO₂ per ha which was equal to 104 to 272 kg eq-CO₂ per t wheat production. Among different production activities, nitrogen fertilizer with GWP of 291 kg eq-CO₂ ha⁻¹ had the greatest contribution. Using fuels in field operations with a GWP of 213 kg eq-CO₂ ha⁻¹ occupied the next position. Comparisons showed that wheat production in Gorgan results in more GWP than some other locations around the world.

Keywords: Greenhouse gas emission; Climate change; Global warming; Wheat

* Corresponding author; Email: afsoltani@yahoo.com