نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص. ۱۴-۱

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 1, Spring and Summer 2022, 1-14

مقاله علمی- پژوهشی

بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با اصلاح تأثیر عملیات کشاورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای

بهمن یارقلی[۱*] و الهه کنعانی[۲]

چکیده

با توجه به شرایط بحرانی دریاچه ارومیه، اصلاح روش‌های آبیاری به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر مدنظر مدیران آب کشور می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی اثر اصلاح فعالیت‌های کشاورزی باهدف کاهش مصرف آب بر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان‌های آذربایجان شرقی (پنج شهرستان) و آذربایجان غربی (شش شهرستان) برای دو فصل زراعی پائیزه و بهاره در محصولات گوجه‌فرنگی، گندم و چغندرقند اجرا شد. نتایج کشت پائیزه گندم نشان داد که مقدار CO_2 تولیدی به ترتیب در آذربایجان شرقی و غربی معادل ۲۲ و ۲۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داشت. ردپای کربن در آذربایجان شرقی و غربی در مقایسه با شاهد به ترتیب کاهشی معادل ۳۹ و ۳۵ درصد را نشان داد. نتایج کشت بهاره برای گوجه‌فرنگی نشان داد که مقدار CO_2 تولیدی در تیمار بالغبر ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت، به‌طوری‌که از ۳۹۲۵ در شاهد به ۲۹۱۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار رسید. ردپای کربن تولیدی گوجه‌فرنگی نیز در تیمار و شاهد به ترتیب معادل ۰/۰۴ ۰/۰۶ ($KgCO_2e\ kg^{-1}$) بود و کاهشی حدود ۳۳ درصد داشت. مقدار CO_2 تولیدی و رد پای کربن برای چغندرقند در استان آذربایجان غربی در تیمار به ترتیب معادل ۱۱/۷ و ۲۸/۵ درصد کاهش نسبت به شاهد را از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی کشاورزی، آذربایجان شرقی و غربی، رد پای کربن، گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

در طی چند دهه گذشته تغییر قابل‌توجهی در ترکیب گازی اتمسفر زمین ایجاد شده است که بیشتر در نتیجه افزایش استفاده از انرژی در بخش‌های کشاورزی و صنعتی است که ازجمله آن می‌توان به جنگل‌زدایی، کشت و کار فشرده، تغییر کاربری اراضی، عملیات مدیریتی اشاره کرد. این فعالیت‌ها منجر به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن CO2، اکسید نیتروژن N_2O و متان CH_4 می‌شود که به‌عنوان گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند و باعث تغییرات در پارامترهای مرتبط با اقلیم در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌شود (Kaliappan et al., 2019). تغییر اقلیم زنگ خطری در مورد استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و کارایی استفاده از آن‌ها، نگهداری کربن آلی، فرسایش خاک و غیره است که این موارد باعث خشک‌سالی‌ها و سیل‌های شدید می‌شود و اراضی قابل‌کشت را کاهش می‌دهد (Yadav et al., 2018). علاوه بر این، تغییر اقلیم دارای اثرات ناسازگاری بر ویژگی‌های خاک از قبیل کاهش کیفیت و کمیت کربن آلی، افزایش هدر رفت گازی نیتروژن به خاطر افزایش دما است (Pathak, 2015). با توجه به این‌که منابع طبیعی میراث جمعی بشریت می‌باشند، باید به‌گونه‌ای استفاده گردند که نسل‌های آینده هم از این مواهب بهره‌مند گردند. شاخص مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یک مدل کمّی مناسب برای

[۱] استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران (* نویسنده مسئول: yar_bahman@yahoo.com)
[۲] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷
DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.1.1.2

اندازه‌گیری توسعه پایدار معرفی‌شده و به‌شدت موردتوجه محافل علمی قرارگرفته است و همچنان تلاش می‌شود تا از آن به‌عنوان ابزاری برای مدیریت بهینه مصرف انرژی استفاده شود. مهم‌ترین گازهایی که دارای بیشترین تأثیر گلخانه‌ای هستند شامل دی‌اکسید کربن CO2، اکسید نیتروژن N_2O و متان CH_4 می‌باشند که این گازها باعث گرم شدن جو زمین می‌شوند و به این پدیده اصطلاحاً اثر گلخانه‌ای اطلاق می‌شود (IPCC, 2007; Kaliappan et al., 2019). فعالیت‌های کشاورزی از قبیل کاشت محصول، آبیاری، دام‌پروری و سایر فعالیت‌ها یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دخیل هستند و سبب گرمایش جهانی شده¬اند (Yadav et al., 2017).

حدود ۲۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌های در جهان مربوط به بخش کشاورزی است (Sims and Flammini, 2014). گرم شدن کره زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای با منشأ کشاورزی، به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی به شمار می‌رود و این رخداد منجر به افزایش میانگین دمای هوا شده، در پی آن نیاز گیاهان به آب بیشتر شده و بهره‌برداری از منابع آب قابل‌دسترس در سطح اراضی را افزایش می‌دهد. افزون بر این، کاهش بارش‌های آسمانی، عدم تغذیه صحیح آبخوان‌ها و رخداد خشک‌سالی‌های دوره‌ای از دیگر اثرگذاری‌های تغییر اقلیم هستند (Gao et al., 2020; Sun et al., 2018; Taniguchi, 2017). در پژوهشی نشان داده شد که انتشار گاز متان در ایالت ایلی نویز آمریکا تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد (Behnke et al., 2018).

رجایی فر و همکاران بامطالعه چرخه کامل تولید سوخت بیودیزل از سویا در ایران، ادعا نمودند که بیشترین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید ماده خام بالقوه (سویا) بود (Rajaeefar et al., 2014). بر اساس نتایج تحقیقات چن و همکاران انرژی موردنیاز برای تولید محصولات دانه‌ای تحت شرایط دیم در استرالیا در سامانه کشت مستقیم کمتر از مقدار آن در خاک‌ورزی مرسوم است (Chen et al., 2015). گریتچ و همکاران گزارش کردند هنگامی‌که خاک به خاطر بارش سنگین یا آبیاری اشباع می‌شود، کاهش پخشیدگی اکسیژن در خاک ایجاد می‌شود و درنتیجه هدر رفت قابل‌توجه N_2O به خاطر دنیتریفیکاسیون از اراضی کود دهی شده اتفاق می‌افتد (Gritsch et al., 2016). نتایج تحقیقات کراوس و همکاران نشان داد که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر انتشار گازهای اکسید نیتروژن و متان در تولید گندم در سوئیس ندارد (Krauss et al., 2017). مینا و همکاران نشان دادند که استفاده از سوخت‌های فسیلی در عملیات گوناگون کشاورزی و همین‌طور سوزاندن بقایای گیاهی منشأ دیگرِ انتشار کربن به اتمسفر می‌باشند (Meena et al., 2017). تولیدات برون مزرعه‌ای دی‌اکسید کربن در طی ساخت کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و عملیات مزرعه‌ای نیز منشأ انتشار آن‌ها و گرمایش جهانی است. همچنین محققان نشان دادند که در کشاورزی، عملیات مدیریت خاک از قبیل خاک‌ورزی، کاربری اراضی، کاربرد کودهای شیمیایی و دامی، سوزاندن بقایا و غیره منجر به تولید دی‌اکسید کربن می‌گردد. این عملیات، تجزیه ماده آلی خاک را تحریک می‌کنند و منجر به آزادسازی گاز دی‌اکسید کربن می‌شوند. عملیات خاک‌ورزی باعث شکسته شدن خاکدانه‌های خاک شده و باعث تجزیه سریع‌تر ماده آلی می‌گردد(Mitchell et al., 2019) .

میرزایی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که کاهش انتشار متان نیز از طریق زهکشی شالیزارها به‌منظور ایجاد تهویه مناسب برای اکسیداسیون متان و تجزیه بقایای گیاهی قبل از غرقاب شدن از طریق خاک‌ورزی یا تبدیل آن‌ها به کمپوست امکان‌پذیر است. مرادی و پورقاسمیان (۱۴۰۰) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی در زراعت گندم، جو و ذرت را برای استان کرمان در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ مورد بررسی قرار دادند. این محققان نشان دادند که در هر سه محصول مورد بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن بیشتر از دیگر نهاده‌ها بود. میزان انتشار N_2O، CO_2 و CH_4 در گندم بیشتر از ذرت و آن دو هم بیشتر از جو بود. افضلی‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی اثر روش‌های خاک‌ورزی و آبیاری را بر شاخص‌های انرژی، مقدار و شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم آبی

در استان فارس مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از گزارش‌های این محققان نشان داد که روش آبیاری بر تمام شاخص‌های انرژی اثر معنی‌دار داشت، اما روش خاک‌ورزی فقط بر انرژی مصرفی و تولیدی اثر معنی‌دار داشت. آبیاری قطره‌ای و بارانی انرژی مصرفی را نسبت به سطحی ۲۹/۴ و ۱۴/۳ درصد کاهش دادند و آبیاری قطره‌ای بیشترین بهره‌وری مصرف انرژی (۰/۲۳۱ کیلوگرم بر مگا ژول) را داشت. خاک‌ورزی مرسوم بیشترین انرژی مصرفی و تولیدی را داشت و کمترین انرژی مصرفی و تولیدی مربوط به بی خاک‌ورزی بود. آبیاری قطره‌ای و بارانی نسبت به سطحی، گازهای گلخانه‌ای را کاهش دادند (۲۱/۳ و ۳۴/۳ درصد)، اما روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی کاهش معنی‌داری در گازهای گلخانه‌ای ایجاد نکردند. الکتریسیته بیشترین سهم را از انرژی مصرفی و گازهای گلخانه‌ای داشت

در دهه ۱۹۰۰ تغییرات کاربری اراضی و مدیریتی منجر به رشد ۳۹-۶ درصدی انتشار دی‌اکسید کربن گردید، درحالی‌که در نواحی معتدل تبدیل زیست‌بوم‌های طبیعی و کشاورزی منجر به تخلیه ۶۰ درصدی مخزن دی‌اکسید کربن و در نواحی استوایی منجر به تخلیه ۷۵ درصدی در خاک‌های کشت‌شده گردید (Kaliappan et al., 2019). در تحقیقی در کشور چین نشان داده شد که روش آبیاری بر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌های مؤثر است، به‌گونه‌ای که مقدار انتشار گازهای گلخانه‌های در آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با بقیه روش‌های آبیاری کمتر است (Ye et al., 2020). نتایج تحقیقات اسپاکوتا و همکاران نشان داد که آبیاری بارانی و قطره‌ای در مقایسه با آبیاری غرقابی، انتشار گاز متان از خاک را کاهش داده و در کنترل گرمایش زمین مؤثرند(Spakota et al., 2020).

با توجه به افزایش سطح دانش و انتظارات مردم در خصوص محیط‌زیست و الزام بیشتر به حفظ و پایداری منابع طبیعی در فعالیت‌های مختلف ازجمله کشاورزی و صنعت، توجه به اصول و مبانی و علل تولید این گازها از منابع مختلف و همچنین راهکارهای کاهش آن حائز اهمیت بوده و نیاز به بررسی ها و تحقیقات کارشناسی دارد. همان گونه که بیان گردید یکی از عوامل مهم تولید گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های زراعی می‌باشند که از مزارع شروع می‌شوند. روش‌های مختلف مدیریتی و شیوه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت بر روی مقدار این تولیدات اثر می‌گذارند (Galli et al., 2012). در پروژه حاضر نیز با استفاده از تغییر روش و سبک کشاورزی، اثر اصلاح و یا تغییرات موردنظر در برنامه کشاورزی مقدار تولید گاز CO_2 به‌عنوان شاخص گازهای گلخانه‌ای برای مراحل مختلف کاشت-داشت و برداشت محصولات در کشت پاییزه و بهاره در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی موردتوجه قرار گرفت و با استفاده از پرسشنامه‌های طراحی‌شده داده‌های موردنیاز از تیمارهای موردنظر جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل گردید.

مواد و روش‌ها

تغییر اقلیم یک تهدید مهم زیست‌محیطی بین‌المللی و در مقیاس جهانی است. کشاورزی به‌عنوان یکی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند باعث تشدید تغییرات آب و هوایی شود. تغییر اقلیم و تغییرات آب و هوایی نیز متقابلاً باعث کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود. در نتیجه، تغییر الگو و روش کشاورزی اگر در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد، می‌تواند به پایداری محیط‌زیست و توسعه پایدار کمک کند، در غیر این صورت موجب ناپایداری المان‌های محیط زیستی و تخریب محیط‌زیست و به‌تبع آن کاهش بهره‌وری کشاورزی خواهد شد. در این تحقیق با توجه به تغییر روش و سبک کشاورزی، اثر اصلاح و یا تغییرات موردنظر در برنامه کشاورزی وضع موجود از نظر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یک شاخص زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش شاهد بسته به نوع محصول شامل طیف وسیعی از روش‌های کاشت، داشت و برداشت، مطابق با عرف زارعین منطقه بود و محقق هیچ‌گونه دخل و تصرفی در آن نداشت. تیمار دارای تکنولوژی‌های ویژه آبیاری از قبیل کشت با دستگاه رایزبد، آبیاری بارانی شبانه، تغییر روش آبیاری از نواری به تیپ و تغییر روش آبیاری از بارانی به تیپ بود. همچنین تیمار عملیات به-زراعی شامل تکنیک‌هایی نظیر تسطیح، ابعاد بهینه در نوارهای آبیاری، برگرداندن بقایای گیاهی و به‌نژادی مانند استفاده از رقوم

بذر اصلاح شده بود. برای این کار مقدار تولید گاز CO_2 به‌عنوان شاخص تولید گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقدار گاز دی‌اکسید کربن تولیدی به‌عنوان شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی به ترتیب جهت نشان دادن اثر زیست‌محیطی در واحد سطح محصول و واحد تولید برای هر مزرعه انتخاب شدند. محاسبات انجام شده تا حد زیادی از استاندارد ISO 14040 پیروی کردند (Finkbeiner, 2006). با توجه به دستورالعمل IPCC (2006) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی برای سه گاز گلخانه ای عمده، شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و نیتروز اکسید (N_2O) به ترتیب ۱، ۲۵ و ۲۹۸ تعیین شد. انتشار گازهای گلخانه¬ای در هکتار و به ازای هر کیلوگرم محصول به‌صورت کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن (CO_2-eq) بیان شد. این مطالعه شامل دو مرحله به شرح زیر بود:

الف- کشت پائیزه

این مرحله به محصول گندم اختصاص داشت. برای کشت پاییزه تعداد دو استان شامل آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی به ترتیب ۵ و ۴ شهرستان و از هر شهرستان چندین مزرعه، به شرح جدول (۲) مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

ب- کشت بهاره

بر طبق بررسی‌های صورت گرفته محصولات بهاره در سطح محدوده مطالعاتی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی شامل محصولاتی زراعی و باغی به شرح جدول (۱) می‌باشد:

جدول ۱- کشت بهاره در سطح محدوده مطالعاتی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی

محصول	محدوده مطالعاتی
گوجه‌فرنگی	آذربایجان غربی و شرقی
سیب‌زمینی	آذربایجان غربی و شرقی
کدو آجیلی	آذربایجان غربی و شرقی
پیاز	آذربایجان غربی و شرقی
کدو	آذربایجان غربی و شرقی
چغندرقند	آذربایجان غربی
ذرت	آذربایجان غربی
ذرت علوفه‌ای	آذربایجان غربی
انگور	آذربایجان غربی و شرقی
بادام	آذربایجان غربی
سیب	آذربایجان غربی
گوجه‌سبز	آذربایجان غربی
هلو	آذربایجان غربی
شلیل	آذربایجان غربی
آلو	آذربایجان غربی

با توجه به تنوع کشت محصولات بهاره، در این بخش برای ارزیابی میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی، محصول گوجه‌فرنگی که مشترک بین آذربایجان شرقی و غربی بود، به‌عنوان محصول مشترک موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. همچنین با توجه به وسعت کشت و اهمیت چغندرقند به‌عنوان یکی از محصولات موردتوجه کشاورزان آذربایجان غربی که از آب مصرفی نسبتاً بالایی نیز برخوردار است، به‌صورت جداگانه برای استان آذربایجان غربی بررسی و تحلیل گردید (جدول ۲).

جدول ۲- تعداد مزارع موردتحقیق به تفکیک استان

فصل زراعی	الگوی کشت	استان	تعداد شهرستان	تعداد مزارع مورد تحقیق	تعداد پرسش‌نامه پرشده	تعداد پرسش‌نامه استفاده‌شده
کشت پاییزه	گندم	آذربایجان شرقی	۵	۲۸	۵۶	۵۶
		آذربایجان غربی	۵	۱۶	۳۲	۳۲
کشت بهاره	گوجه‌فرنگی	آذربایجان شرقی	۵	۳	۶	۶
		آذربایجان غربی	۵	۶	۱۲	۱۲
کشت بهاره	چغندرقند	آذربایجان شرقی	-	-	-	-
		آذربایجان غربی	۵	۱۱	۲۲	۲۲

در هر مزرعه دو سری فرم برای روش شاهد و به‌طور هم‌زمان برای تیمار تکمیل گردید. این فرم‌ها برای اخذ اطلاعاتی ازجمله: مقدار و منبع آب مصرفی، روش آبیاری، طول دوره زراعی، نوع و زمان کار ماشین‌آلات زراعی در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، مقدار و نوع سموم مصرفی، مقدار و نوع کودهای مصرفی، اطلاعات مربوط به مقدار انرژی مصرفی برای بخش‌های مختلف و مقدار محصول تولیدی طراحی شدند.

در این تحقیق برای محاسبه و برآورد مقدار CO_2 از دستورالعمل (IPCC, 2006) استفاده گردید. مقدار انرژی مصرفی در بخش آبیاری بر اساس مقدار آب آبیاری، نوع منبع آب مورداستفاده و روش‌های آبیاری بر اساس فرمول جکسون و همکاران (Jackson et al., 2010) که مورد تائید و توصیه مراجع و ازجمله فائو می‌باشد، برآورد شد (جدول ۳).

جدول ۳- انرژی مصرفی برای آب آبیاری بر اساس فرمول جکسون و همکاران (Jackson et al., 2010)

منبع آب مورداستفاده	روش آبیاری					
	غرقابی		بارانی		قطره‌ای	
	انرژی مصرفی					
	MJ ML^{-1}	KW.h	MJ ML^{-1}	KW.h	MJ ML^{-1}	KW.h
آب سطحی	۱۷۱۹	۴۷۶	۵۸۵۴	۱۶۲۱	۵۶۷۱	۱۵۷۰
چاه سطحی	۳۹۸۸	۱۱۰۴	۷۲۷۹	۲۰۱۶	۸۰۱۴	۲۲۱۹
چاه عمیق	۵۹۸۲	۱۶۵۷	۱۰۹۱۸	۳۰۲۴	۱۲۰۲۱	۳۳۳۰
با فرض ترکیبی مساوی از آب سطحی و چاه سطحی	۲۸۵۳	۷۹۰	۶۵۶۶	۱۸۱۸	۶۸۴۲	۱۸۹۴
با فرض ترکیبی از هر سه منبع با نسبتی مساوی	۳۸۹۶	۱۰۷۹	۸۰۱۷	۲۲۲۰	۸۵۶۸	۲۳۷۳

بر اساس فرمول جکسون و همکاران مقدار انرژی مصرفی برای آبیاری غرقابی با منبع آب سطحی معادل ۱۷۱۹ مگا ژول بر میلیون لیتر (MJ ML^{-1}) است. چون هر مگا ژول معادل ۰/۲۷۷ کیلووات ساعت است پس این میزان معادل ۴۷۶ کیلووات ساعت (KWh) است. همین حالت برای منابع آب و روش‌های آبیاری مختلف نیز صادق است. در این تحقیق، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از مزارع نوع منبع آب مصرفی ترکیبی مساوی از چاه و سطحی و نوع سیستم آبیاری غرقابی در نظر گرفته شد. گزینه انتخابی برای روش آبیاری شامل سه روش قطره‌ای، بارانی و غرقابی بود. با توجه به محصول موردنظر در

کشت پائیزه که گندم می‌باشد، روش آبیاری در شاهد، روش آبیاری سطحی و یا غرقابی بود. همچنین با توجه به اینکه منبع تأمین آب نیز تلفیقی از آب سطحی و چاه سطحی می‌باشد، بر اساس اطلاعات اخذشده از کشاورزان ترکیبی مساوی از آب سطحی و چاه سطحی در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقدار انتشار کل گازهای گلخانه‌ای در هکتار، اطلاعات جمع‌آوری‌شده از هر زارع در سطح استان‌ها و شهرستان‌ها با مقدار ضرایب انتشار خاص ارائه‌شده در جدول ۳ محاسبه گردیده است. در پایان، ابتدا کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد سطح که به‌صورت معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار بیان می‌گردد محاسبه و ارائه گردید، سپس با توجه به مقدار محصول تولیدی و مقدار گاز دی‌اکسید کربن منتشره در واحد سطح، با استفاده از رابطه (۱)، ردپای کربن با واحد کیلوگرم دی‌اکسید کربن تولیدی بر کیلوگرم محصول تولیدی محاسبه شد (Pathak, 2015).

$$PCF = \frac{\text{GHG emissions}}{\text{Grain yield}} \qquad (۱)$$

در این رابطه PCF؛ ردپای کربن، بر حسب کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن تولیدی به ازای کیلوگرم محصول تولیدی ($kgCO_2e\ kg^{-1}$)، GHG؛ کل انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب ($kg\ CO_2e\ kg^{-1}$) و Grain yield؛ میزان تولید محصول بر حسب ($kg\ ha^{-1}$) می‌باشد.

روش محاسبه گاز تولیدی برای آب مصرفی

برای این کار از روش جکسون و همکاران بر اساس حجم و نوع منبع آب مصرفی و روش آبیاری (جدول ۳) به شرح و مراحل زیر استفاده شد:

الف- تعیین نوع منبع آب

- سطحی
- چاه سطحی
- چاه عمیق
- سطحی و چاه سطحی (به نسبت مساوی)
- سطحی، چاه سطحی و چاه عمیق (به نسبت مساوی)

ب- تعیین روش آبیاری

- غرقابی
- بارانی
- قطره‌ای

ج- تعیین میزان آب مصرفی در هکتار

این رقم از آماربرداری از سطح مزارع کسب گردید که در این تحقیق میانگین مصرفی با واحد مترمکعب در هکتار لحاظ شد.

با توجه به روش آبیاری و نوع منبع آب مصرفی، انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (KW.h) از رابطه (۲) محاسبه شد. برای اینکه انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت محاسبه شود، ابتدا با استفاده از میزان معادل آن بر حسب مگا ژول (MJ) بر میلیون لیتر (ML) رقم معادل انتخاب شد. رقم انتخابی ضرب در میزان آب مصرفی مزرعه بر حسب هزار مترمکعب در سال و ضریب ۰/۲۷۷ (ضریب تبدیل مگا ژول به کیلووات ساعت) می‌شود.

انرژی مصرفی = (۲)
۰/۲۷۷× میزان آب مصرفی × رقم انرژی مصرفی

در این رابطه میزان انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت بر هکتار، رقم انرژی مصرفی بر حسب ($MJ\ ML^{-1}$) از جدول (۲) و میزان آب مصرفی مزرعه بر حسب هزار مترمکعب در سال می‌باشد.

روش محاسبه گاز CO_2 تولیدی برای بخش‌ها و فعالیت‌های دیگر

برای این بخش از جدول ۴ به شرح مراحل زیر استفاده شد:

۱- ابتدا با استفاده از داده‌های اخذشده از مزارع، برگ خریدها و آیتم‌های ارائه‌شده در ستون اول را بر حسب واحدهای بیان‌شده در ستون دوم، در ستون سوم وارد شد.

۲- برای تعیین میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی برای هر فعالیت، داده‌های واردشده در ستون سوم را در ضرایب ارائه‌شده در ستون چهارم ضرب می‌گردد.

۳- برای تعیین رقم کل گاز دی‌اکسید کربن تولیدی ارقام حاصل تجمیع می‌گردد.

جدول ٤- جدول ضرایب مورداستفاده برای محاسبه CO_2 تولیدی

ورودی	واحد ورودی	مقدار ورودی	ضریب انتشار $kg\ CO_2e kg^{-1}$	مرجع ضریب انتشار
بذر	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۱۹	(Eyeerer, 2012)
انرژی آبیاری	$KW.h\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۳۱۴	(Eyeerer, 2012)
فسفات دی آمونیوم (N=18%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۲۴	(Kool et al, 2012)
سولفات پتاسیم(K2O=18%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۱۹	(Kool et al, 2012)
کلرید پتاسیم (K2O=60%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۵۶	(Kool et al, 2012)
سوپر فسفات تریپل (P2O5=48%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۳۶	(Kool et al, 2012)
اوره (N=21%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۶۳	(Kool et al, 2012)
سولفات آمونیوم	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۲/۲۸	(Eyeerer, 2012)
گوگرد آلی(S=10%)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۶۳	(Umweltbundesamt, 2016)
کود کامل(N:P2O5:K2O=15:8:15)	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۴/۵۹	(Kool et al, 2012)
کود تازه دامی	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۰/۰۴	(Eyeerer, 2012)
کود خشک مرغی	$Kgha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۲۴/۳۴	(Ecochem, 2016;Lal, 2004)
مواد شیمیایی کشاورزی		میانگین تیمار و شاهد		
علف‌کش‌ها	$Kg\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۲۳/۱	(Lal, 2004)
قارچ‌کش‌ها	$Kg\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۱۴/۳	(Lal, 2004)
حشره‌کش‌ها	$Kg\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۱۸/۷	(Lal, 2004)
سوخت برای ماشین‌آلات				
شخم خاک	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)
کاشت	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)
کود دهی	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)
حفاظت محصول	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)
برداشت	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)
حمل‌ونقل	$Liter\ ha^{-1}$	میانگین تیمار و شاهد	۳/۵	(Eyerer, 2012)

نتایج و بحث

میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی گندم پائیزه

با توجه به تعداد زیاد شهرستان های هر استان و همچنین تعداد زیاد مزارع در هر شهرستان، ضمن تحلیل و بررسی آماری و تعیین حداقل، حداکثر و انحراف معیار هر یک از ورودی ها، به دلیل اینکه استفاده از مقادیر حداقل و حداکثر نتایج غیرواقعی را حاصل می نمود، برای محاسبه میزان CO_2 تولیدی فقط از میانگین های حاصل از هر شهرستان به تفکیک تیمار و شاهد استفاده شد. نتایج تحلیل آماری آب مصرفی و محصول تولیدی اخذشده از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده از زارعین در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین نتایج میزان CO_2 تولیدی بر حسب کیلوگرم بر هکتار در جدول ۷ و میزان گاز دی اکسید کربن تولیدی بر حسب کیلوگرم CO_2 تولیدی بر کیلوگرم محصول (ردپای کربن) در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میزان گاز CO_2 تولیدی گندم پائیزه در هر دو استان در تیمارها کمتر از شاهد بود. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که در

آذربایجان شرقی میزان گاز دی اکسید کربن تولیدی گندم پائیزه در تیمار معادل ۲۲ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. این مقدار برای آذربایجان غربی معادل ۲۸ درصد بود که حدود ۶ درصد بیشتر از آذربایجان شرقی است (جدول ۷). نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن در گندم پائیزه نشان داد که در آذربایجان شرقی در تیمار معادل ۰/۳۴ و برای شاهد معادل ۰/۵۶ ($Kg\ CO_2e\ kg^{-1}$) بود که مشاهده می‌شود نسبت گاز تولیدی در تیمار معادل ۰/۲۲ کیلوگرم (۳۹ درصد) کمتر از شاهد می باشد. بر اساس محاسبات صورت گرفته در استان آذربایجان غربی نیز مشاهده می گردد که میزان ردپای کربن در تیمار معادل ۰/۲۲ و در روش شاهد معادل ۰/۳۴ کیلوگرم بر واحد وزن محصول تولیدی می‌باشد که کاهش معنی‌داری (۳۵ درصد) را نشان می دهد. این اثر در درجه اول مربوط به عملکرد بالای روش بکار رفته در تیمار در تولید و بهره وری و در درجه دوم مربوط به اصلاح فعالیت‌های زراعی از جمله روش و میزان آبیاری، میزان کود مصرفی، روش مبارزه با علف‌های هرز و غیره در راستای کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (جدول ۸). تحقیقات مختلفی نیز بر روی اثر اصلاحی عملیات زراعی در مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شده است. یه و همکاران در تحقیقی در کشور چین نشان داد که روش آبیاری بر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌های مؤثر است، به‌گونه‌ای که مقدار انتشار گازهای گلخانه‌های در آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با بقیه روش‌های آبیاری کمتر است (Ye et al., 2020). در تحقیقی مشابه نیز اسپاکوتا و همکاران نشان داد که آبیاری بارانی و قطره‌ای در مقایسه با آبیاری غرقابی، انتشار گاز متان از خاک را کاهش داده و در کنترل گرمایش زمین مؤثرند (Spakota et al., 2020). گالی و همکاران نیز در تحقیق خود نشان دادند که یکی از عوامل مهم تولید گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های زراعی می‌باشند که از مزارع شروع می‌شوند. همچنین این محققان گزارش کردند که روش‌های مختلف مدیریتی و شیوه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت بر روی مقدار این تولیدات اثر می‌گذارند (Galli et al., 2012).

جدول ۵ - نتایج آماری میزان تولید محصول گندم پاییزه در تیمارهای موردبررسی به تفکیک استان ($kg\ ha^{-1}$)

نتایج آماری	آذربایجان شرقی		آذربایجان غربی	
	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد
میانگین	۵۰۸۷	۴۰۵۲	۸۰۷۶	۷۲۸۴
حداکثر	۸۵۰۰	۷۱۵۰	۹۳۰۰	۸۵۴۹
حداقل	۱۹۸۰	۱۰۰۰	۶۷۸۰	۵۰۵۰
انحراف معیار	۳۲۶۱	۳۰۷۵	۱۲۶۰	۱۷۷۱

جدول ٦- نتایج آماری میزان آب مصرفی محصول گندم پاییزه در تیمارهای موردبررسی به تفکیک استان ($m^3\ ha^{-1}$)

نتایج آماری	آذربایجان شرقی		آذربایجان غربی	
	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد
میانگین	۲۸۱۰/۲	۴۰۶۰/۵	۳۱۳۳/۴	۴۴۸۰/۴
حداکثر	۴۵۸۸/۲	۵۹۷۳/۴	۵۸۳۹	۸۲۰۱
حداقل	۱۱۳۴/۸	۱۹۹۳/۴	۱۷۰۱	۱۳۵۹
انحراف معیار	۱۰۱۵/۹	۱۳۶۸/۱	۱۳۰۸/۲	۲۳۵۱/۲

جدول ۷- میزان تولید CO_2 در محصول گندم پاییزه در تیمارهای موردبررسی به تفکیک استان ($KgCO_2e\ ha^{-1}$)

استان	آذربایجان شرقی		آذربایجان غربی	
	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد
میانگین	۱۷۲۶	۲۲۱۳	۱۸۰۶	۲۵۱۵
درصد کاهش	۲۲ درصد		۲۸ درصد	

جدول ۸- میزان ردپای کربن در محصول گندم پاییزه در تیمارهای موردبررسی به تفکیک استان ($KgCO_2e\ kg^{-1}$)

استان	آذربایجان شرقی		آذربایجان غربی	
	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد
میانگین	۰/۳۴	۰/۵۶	۰/۲۲	۰/۳۴
درصد کاهش	۳۹ درصد		۳۵ درصد	

میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی محصولات بهاره

در این بخش نیز با توجه به تعداد زیاد شهرستان‌ها و مزارع در هر دو استان، ضمن تحلیل و بررسی آماری و تعیین حداقل، حداکثر و انحراف معیار هر یک از ورودی‌ها، به دلیل اینکه استفاده از مقادیر حداقل و حداکثر نتایج غیرواقعی و اشتباهی را حاصل خواهد کرد، برای محاسبه میزان CO_2 تولیدی فقط از میانگین‌های حاصل از هر استان به تفکیک تیمار و شاهد استفاده شد. نتایج تحلیل آماری آب مصرفی و محصول تولیدی اخذشده از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده از زارعین در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۹ - نتایج آماری تولید گوجه‌فرنگی در تیمار و شاهد در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی ($kg\ ha^{-1}$)

شاخص آماری	تیمار	شاهد
میانگین	۷۲۷۶۷	۵۸۳۹۳
حداکثر	۸۹۳۰۰	۷۱۱۹۰
حداقل	۴۳۳۳۳	۴۳۹۸۰
انحراف معیار	۱۸۸۰۸	۱۰۹۰۱

جدول ۱۰ - نتایج آماری میزان آب مصرفی گوجه‌فرنگی در تیمار و شاهد در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی ($m^3\ ha^{-1}$)

شاخص آماری	تیمار	شاهد
میانگین	۷۰۲۸	۱۱۹۰۲
حداکثر	۱۳۴۴۲	۳۰۰۰۸
حداقل	۳۶۲۶	۴۲۶۸
انحراف معیار	۳۸۲۶	۱۰۳۱۷

الف- میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی گوجه‌فرنگی

نتایج مربوط به محاسبات میزان گاز دی اکسید کربن تولیدی در هکتار و نسبت آن به محصول تولیدی، در تیمارهای تحت بررسی در جداول ۱۱ تا ۱۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان گاز CO_2 تولیدی در شاهد بیشتر از تیمار می‌باشد. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که گاز دی‌اکسید کربن تولیدی گوجه‌فرنگی در تیمار بالغ‌بر ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است. این نتیجه بیانگر سودمندی فعالیت‌های اصلاحی در روش ها و اجزای مختلف کاشت، داشت و برداشت محصول گوجه‌فرنگی در سطح مزارع موردتحقیق می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن تولیدی نشان می‌دهد که میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی در تیمار معادل ۰/۰۴ و برای شاهد معادل ۰/۰۶ ($Kg\ CO_2e/ha$) می‌باشد که مشابه میزان گاز دی‌اکسید تولیدی، در این بخش هم کاهش حدود ۳۳ درصدی مشاهده می شود. این نتیجه بدین معنی است که علاوه بر کاهش CO_2 تیمار در مقایسه با شاهد، به دلیل افزایش عملکرد تیمار نسبت به شاهد، میزان ردپای کربن نیز کاهش یافته است و درصد این کاهش، بیشتر از درصد کاهش میزان گاز تولیدی است.

جدول ۱۱- CO_2 تولیدی در گوجه‌فرنگی در سطح استان‌های آذربایجان شرقی و غربی بر حسب واحد سطح ($KgCO_2e\ ha^{-1}$)

شاخص	تیمار	شاهد
میانگین	۲۹۱۷	۳۹۲۵
درصد کاهش	۲۵/۷ درصد	

جدول ۱۲- ردپای کربن تولیدی در گوجه‌فرنگی در سطح استان‌های آذربایجان شرقی و غربی بر حسب محصول تولیدی ($KgCO_2e\ kg^{-1}$)

شاخص	تیمار	شاهد
میانگین	۰/۰۴	۰/۰۶
درصد کاهش	۳۳/۳ درصد	

ب- میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی چغندرقند

نتایج محاسبات آب مصرفی و همچنین میزان محصول تولیدی در هکتار و همچنین میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی در واحد سطح (هکتار) و نسبت آن به محصول تولیدی در تیمارهای تحت بررسی برای محصول چغندرقند در استان آذربایجان غربی در جداول ۱۳ تا ۱۶ ارائه شده است.

جدول ۱۳ - نتایج آماری میزان تولید محصول چغندرقند تیمارهای مورد بررسی ($kg\ ha^{-1}$)

استان	آذربایجان غربی	
تیمار	تیمار	شاهد
میانگین	۷۲۲۹۵	۶۳۲۲۳
حداکثر	۸۵۰۰۰	۹۸۰۰۰
حداقل	۴۸۰۰۰	۸۰۰۰
انحراف معیار	۱۳۸۴۰	۲۷۶۷۷

جدول ۱۴- نتایج آماری آب مصرفی چغندرقند در تیمارهای مورد بررسی ($m^3\ ha^{-1}$)

استان	آذربایجان غربی	
تیمار	تیمار	شاهد
میانگین	۹۷۶۶	۱۳۵۷۸
حداکثر	۲۶۵۵۴	۳۸۲۳۴
حداقل	۳۱۳۰	۵۷۷۷
انحراف معیار	۷۲۹۶	۱۰۶۴۲

جدول ۱۵- میزان تولید CO_2 بر اساس محصول تولیدی چغندرقند در تیمارهای مورد بررسی ($KgCO_2e\ ha^{-1}$)

استان	آذربایجان غربی	
تیمار	تیمار	شاهد (مرسوم کشاورز)
میانگین	۳۹۳۳	۴۴۵۵
درصد کاهش	۱۱/۷ درصد	

جدول ۱۶- ردپای کربن تولیدی چغندرقند در تیمارهای مورد بررسی ($KgCO_2e\ kg^{-1}$)

استان	آذربایجان غربی	
تیمار	تیمار	شاهد
میانگین	۰/۰۵	۰/۰۷۰
درصد کاهش	۲۸/۵ درصد	

نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان گاز CO_2 تولیدی چغندرقند در شاهد بیشتر از تیمار می‌باشد. بر اساس نتایج مشاهده می شود که در آذربایجان غربی میزان گاز دی اکسید کربن تولیدی در تیمار معادل ۱۱/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است. توجه به نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن تولیدی نشان می دهد که میزان آن در استان آذربایجان غربی در تیمار معادل ۰/۰۵ و در شاهد معادل ۰/۰۷($KgCO_2\ kg^{-1}$) می باشد که تفاوت معنی داری (معادل ۲۸/۵ درصد کاهش) را به نفع تیمار در جهت کاهش نشان می دهد. این اثر در مرحله اول مربوط به عملکرد بالای تیمار در تولید و بهره‌وری و در مرحله دوم مربوط به اصلاح فعالیت‌های زراعی در راستای کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در تحقیقات مشابه افضلی‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که عملیات اصلاحی زراعی از جمله تغییر روش‌های آبیاری سطحی به تحت‌فشار تأثیر معنی‌داری را در کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده از خود نشان دادند، به‌طوری‌که روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری مقدار گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده را نسبت به آبیاری سطحی به ترتیب ۲۱/۳ و ۳۴/۳ درصد کاهش دادند و دلیل اصلی کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در روش‌های آبیاری تحت‌فشار نسبت به آبیاری سطحی را مصرف آب کمتر در این روش‌ها گزارش کردند که باعث کاهش الکتریسیته مورد نیاز برای استحصال آب می‌شود. همچنین این محققان گزارش کردند که روش خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر مقدار گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده نداشت، اما شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت تأثیر معنی‌دار روش خاک‌ورزی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

فعالیت‌های کشاورزی یکی از بخش‌هایی است که باوجوداین که منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، قابلیت ذخیره-سازی این گازها را نیز دارند، بنابراین شناخت گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر تولید و انتشار آن ها، به‌منظور اعمال روش‌های مدیریتی مطلوب جهت کاهش انتشار این گازها از بخش کشاورزی ضروری است. در این پژوهش به بررسی اثر اصلاح فعالیت‌های کشاورزی با هدف کاهش مصرف آب بر میزان انتشار

گازهای گلخانه‌ای در سطح استان‌های آذربایجان شرقی (پنج شهرستان) و آذربایجان غربی (شش شهرستان) در دو فصل زراعی پائیزه و بهاره پرداخته شد. نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن در گندم پائیزه نشان داد که در آذربایجان شرقی در تیمار معادل ۰/۳۴ و برای شاهد معادل ۰/۵۶ ($KgCO_2e\ kg^{-1}$) می‌باشد که مشاهده می‌شود نسبت گاز تولیدی در تیمار معادل ۰/۲۲ کیلوگرم (۳۹ درصد) کمتر از شاهد می‌باشد. میزان ردپای کربن در استان آذربایجان غربی نیز بر اساس محاسبات صورت گرفته نشان داد که در تیمار معادل ۰/۲۲ و در روش شاهد معادل ۰/۳۴ کیلوگرم بر واحد وزن محصول تولیدی می باشد که کاهش معنی داری (۳۵ درصد) را نشان می دهد. این اثر در مرحله اول مربوط به عملکرد بالای روش بکار رفته در تیمار در تولید و بهره‌وری و در مرحله دوم مربوط به اصلاح فعالیت‌های زراعی در راستای کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای است. همچنین نتایج نشان داد که گاز دی‌اکسید کربن تولیدی گوجه‌فرنگی در تیمار بالغ‌بر ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد که بیانگر سودمندی فعالیت‌های اصلاحی در روش‌ها و اجزای مختلف کاشت، داشت و برداشت محصول گوجه فرنگی در سطح مزارع موردتحقیق است. نتایج حاصل از محاسبات ردپای کربن تولیدی نشان داد که میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی در تیمار کمتر از شاهد می‌باشد که مشابه میزان گاز دی‌اکسید تولیدی، در این بخش هم کاهش حدود ۳۳ درصدی مشاهده می شود. این نتیجه بدین معنی است که علاوه بر کاهش CO_2 تیمار در مقایسه با شاهد، به دلیل افزایش عملکرد تیمار نسبت به شاهد، میزان ردپای کربن نیز کاهش یافت و درصد این کاهش، بیشتر از درصد کاهش میزان گاز تولیدی است. نتایج حاصل از محاسبات میزان گاز CO_2 تولیدی چغندرقند و ردپای کربن تولیدی نشان می دهد میزان آن در استان آذربایجان غربی در تیمار بیشتر از شاهد است که تفاوت معنی‌داری (معادل ۲۸/۵ درصد کاهش) را به نفع تیمار در جهت کاهش نشان می‌دهد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج تحقیق، یافته‌ها و توصیه‌هایی به شرح زیر جهت استفاده مدیران، کارشناسان و کشاورزان محترم به‌منظور کاهش سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و توسعه پایدار کشاورزی پیشنهاد می‌گردد.

۱- آب مصرفی: بررسی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که میزان آب مصرفی و همچنین نوع منبع تأمین آب سهم مهمی در میزان گاز دی‌اکسید کربن تولیدی دارد. این موضوع از جنبه‌های زیر حائز اهمیت است.

الف- نوع روش آبیاری: هرچقدر سیستم آبیاری نیاز به پمپاژ و به‌تبع آن مصرف انرژی کمتری داشته باشد، از نظر تولید دی‌اکسید کربن مناسب‌تر است.

ب- منبع تأمین آب: منبع تأمین آب ازنظر ارتفاع موردنیاز برای پمپاژ حائز اهمیت است. از این نظر منابع آب سطحی بهترین گزینه و با کمترین میزان تولید گاز گلخانه‌ای محسوب می‌شوند و در مراحل بعدی چاه‌های سطحی و چاه‌های عمیق، اولویت‌های بعدی به‌حساب می‌آیند.

ج- حجم آب مصرفی: حجم آب مصرفی نیز یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی مؤثر در تولید گاز دی‌اکسید کربن به‌حساب می‌آید. لذا تلاش برای کاهش آب مصرفی به‌عنوان مؤثرترین گام در کاهش تولید گاز دی‌اکسید کربن محسوب می‌شود.

۲- کاهش کودهای شیمیایی مصرفی: در بین کودهای شیمیایی کودهای ازته از سهم و اهمیت بیشتری در تولید گازهای گلخانه‌ای برخوردارند. لذا زارعین باید تلاش کنند ضمن بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی، با حساسیت بیشتری مصارف کودهای ازته را رصد کنند.

۳- کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌ها: انواع سموم و آفت‌کش‌ها علی‌رغم میزان مصرف کمتر نسبت به کودهای شیمیایی از ضریب تأثیر بالاتری در تولید گاز دی‌اکسید کربن برخوردارند. لذا در این خصوص باید تلاش شود ضمن کاهش و بهینه‌سازی مصرف این‌گونه مواد، حتی‌الامکان از مبارزه بیولوژیکی به‌جای مصرف آن‌ها بهره‌گیری شود.

۴- کاهش مصرف سوخت: سوخت مصرفی در ماشین‌آلات زراعی، رابطه مستقیمی با میزان تولید گازهای گلخانه‌ای دارد. لذا در راستای کمینه‌سازی انتشار این گازها، یکی از راه‌های اساسی

کاهش یا بهینه‌سازی مصرف سوخت از ابتدا مرحله کاشت تا انتهای برداشت محصول است. این اقدام می‌تواند استفاده از ماشین‌آلات برقی، استفاده از ماشین‌آلات با حداقل مصرف سوخت، مدیریت و کاهش ساعت کار این ماشین‌آلات و ....باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی " بررسی اثربخشی تکنیک‌های به‌زراعی بر میزان برداشت آب، مصرف نهاده‌ها و درآمد کشاورزان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه " استخراج شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از حامی مالی آن‌که طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، دولت ژاپن و سازمان توسعه ملل متحد است، اعلام می‌دارند.

منابع

افضلی‌نیا، ص.، علوی‌منش، س. م. و زارع، م. ۱۴۰۰. اثر خاک‌ورزی حفاظتی و روش آبیاری بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم آبی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۱ (۴): ۱۳۲-۱۱۸.

میرزایی، م.، گرجی، م.، مقیسه، ا.، اسدی، ح. و رضوی طوسی، ا. ۱۴۰۰. مدیریت پایدار خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌های. نشریه علمی مدیریت اراضی. ۹ (۲): ۲۰۵-۱۸۷.

مرادی، ر. و پور قاسمیان، ن. ۱۴۰۰. بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده-های شیمیایی در زراعت محصولات مهم استان کرمان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۹ (۲): ۴۰۵-۳۸۹.

Behnke, G. D., Zuber, S. M., Pittelkow, C. M., Nafziger. E. D., María. B. and Villamil, M. B. 2018. Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. Agriculture Ecosystems and. Environment. 261: 62-70.

Chen. G., Maraseni, T, Banhazi, T. and Bundschuh, J. 2015. Benchmarking energy use on farm. RIRDC Publication No 15/059, pp 120.

Ecochem. 2016. Manure is an excellent fertilizer, Available in: http://www.ecochem.com/t_manure_fert.html (last accessed April 15th 2016).

Eyerer, P. 2012. GaBi 5 software and databases for balancing of sustainability, in: 5ed, G. (Ed.), Leinfelden-Echterdingen, PE International GmbH.

Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K. and Kluppel, H.J. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO a4044. International Journal of Life Cycle Assessment 11(2): 80- 85.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B. and Giljum, S. 2012. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecological Indicators. 16: 100- 112.

Gao, C. H., He, Z., Pan, S., Xuan, W. and Xu, Y. 2020. Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. Journal of Hydro-environment Research. 28: 34-47.

Gritsch, C., Egger, F., Zehetner, F. and Zechmeister-Boltenstern, S. 2016. The effect of temperature and moisture on trace gas emissions from deciduous and coniferous leaf litter. Journal of Geophysical Research Biogeosciences. 121(5): 1339-1351.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Summary for Policy Makers. The Physical Science Basis. Cambridge University Press, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for Policy Makers. The Physical Science Basis. Cambridge University Press, UK.

Jackson, T.M., Khan, S. and Hafeez, M. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. Agricultural Water Management. 97: 1477-1485.

Kaliappan, S. B., Gunasekaran, Y., Smyrna, R. and Meena, R. S. 2019. Soil and Environmental Management. In Sustainable Management of Soil and Environment (pp. 1-27). Springer, Singapore.

Kool, A., Marinussen, M. and Blonk, H. 2012. LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization. GHG Emissions of N, P and K fertilizer production. Blonk Consultants (Ed.).

Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P. and Gattinger, A. 2017. Impact of reduced tillage on Greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley-winter wheat cropping sequence. Agriculture. Ecosystems and. Environment. 239: 324-333.

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

Lal, R. 2004b. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science. 304: 1623-1627.

Meena, R. S., Gogoi, N. and Kumar, S. 2017. Alarming issues on agricultural crop production and environmental stresses. Journal of Cleaner Production. 142 (4): 3357-3359.

Mitchell, J. P., Reicosky, D. C., Kueneman, E. A., Fisher, J. and D. Beck, 2019. Conservation agriculture systems. CAB Reviews. 14(001): 1-25.

Pathak, H. 2015. Greenhouse gas emission from Indian agriculture: trends, drivers and mitigation strategies. Proceedings of the Indian National Science Academy. 81(5): 1133-1149.

Rajaeifar, M. A., Ghobadian, B. Safa, M. and Heidari, M. D. 2014. Energy life-cycle assessment and CO_2 emissions analysis of soybean-based biodiesel: a case study. Journal of Cleaner Production, 66: 233-241.

Sims, R. E. H. and Flammini, A. 2014. Energy-smart food-technologies, practices and policies. In Bundschuh, J. and Chen, G. (Eds). Sustainable Energy Solutions in Agriculture, CRC Press, Taylor & Francis Books.

Spakota, A., Haghverdi, A., Avila, C. C. E. and Ying, S. C. 2020. Irrigation and greenhouse gas emissions: A review of field-based studies. Soil Systems. 4(20): 1-21.

Sun, S.K., Li, G., Wu, P.T., Zhao, X.N. and Wang, Y.B. 2018. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. Ecological Indicators. 84(2): 811- 819.

Taniguchi, K. 2017. Future changes in precipitation and water resources for Kanto Region in Japan after application of pseudo global warming method and dynamical downscaling. Journal of Hydrology: Regional Studies. 8(1): 287-303.

Umweltbundesamt, P. 2016. Prozessdetails: Bentonit,Available in, http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={8134CC95-DA9F-4670-BB70-BB2A0A04C6E4 (last accessed March 25th 2016).

Yadav, G. S., Babu, S., Meena, R. S., Debnath, C., Saha, P. O. U. L. A. M. I., Debbaram, C. and M. Datta. 2017. Effects of godawariphosgold and single supper phosphate on groundnut (Arachis hypogaea) productivity, phosphorus uptake, phosphorus use efficiency and economics. Indian Journal of Agricultural Sciences. 87(9): 1165-1169.

Yadav, G. S., Das, A., Lal, R., Babu, S., Meena, R. S., Saha, P. and M. Datta. 2018. Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice–mustard cropping system. Journal of cleaner production. 19: 144-157.

Ye, X., Li, H., Zhang, X., Ma, J., Han, B., Li, W., Zou, H., Zhang, Y. and Lin, X. 2020. Impacts of irrigation methods on greenhouse gas emissions/absorptions from vegetable soils. Journal of Soils and Sediments. 20: 723-733

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 1, Spring and Summer 2022, 1-14

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص. ۱۴-۱

Optimising Agricultural Water Consumption in the Catchment Area of Lake Urmia by Correcting Agricultural Operations Impact on Greenhouse Gas Emissions

B. Yargholi[*1] and E. Kanani[2]

Abstract

Considering Lake Urmia's critical conditions, water managers consider improving irrigation methods as an effective solution. The present study has been conducted to evaluate the effect of improving agricultural activities with the aim of reducing water consumption on greenhouse gas emissions in the provinces of East Azerbaijan (five cities) and West Azerbaijan (six cities) during the autumn and spring crop seasons on tomato, wheat, and sugar beet crops. In East and West Azerbaijan, the amount of CO2 produced by autumn wheat cultivation decreased by 22 and 28%, respectively, when compared with the control treatment. Compared to the control, the carbon footprint in East and West Azerbaijan decreased by 39 and 35%, respectively. As a result of the spring cultivation for tomatoes, the amount of CO2 produced in the treatment decreased by 25% when compared to the control. Therefore, the amount of CO2 produced in the treatment decreased from 3925 kg/ha to 2917 kg/ha. According to the results of the carbon footprint analysis, the carbon footprint of tomato production was equal to 0.04 in the treatment and 0.06 in the control (Kg CO2/kg), and had a reduction of about 33%. As compared to the control, the amount of CO2 produced by sugar beet in West Azerbaijan province decreased by 11.7% and 28.5%, respectively.

Keywords: Agricultural water consumption, Carbon footprint, East and West Azerbaijan, Greenhouse gases

[1] Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. (*Corresponding Author Email: yar_bahman@yahoo.com)
[2] PhD student, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
Received: 19 April 2022
Accepted: 17 June 2022