نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 6، شماره 4، زمستان 1393، ص. 835-823

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 4, Winter 2015, p. 823-835

انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف انرژی در نظام‌های کاشت شالیزاری

سلمان دستان[1*]، افشین سلطانی[2]، قربان نورمحمدی[3] و حمید مدنی[4]

تاریخ دریافت: 1392/08/05
تاریخ پذیرش: 1392/12/08

چکیده

تغییر اقلیم یکی از نگرانی‌های عمدهٔ جهانی به شمار می‌رود که بخشی از آن ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. از این رو، بهبود عملیات کشاورزی به عنوان راهکاری برای تخفیف اثرات تغییر اقلیم مطرح می‌باشد. هدف از این پژوهش، تخمین انتشار دی‌اکسید کربن و گرمایش جهانی ناشی از مصرف انرژی در تولید برنج و چگونگی کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن بود. برای این منظور سه نظام کاشت حفاظتی، بهبودیافته و رایج در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای تحقیقاتی واقع در شهرستان نکا مورد مطالعه قرار گرفتند. تمامی عملیات زراعی و اطلاعات مربوط به نظام‌های تولید و مقادیر مختلف مصرف نهاده‌ها در سال زراعی 91-1390 ثبت شد. نتایج نشان داد که میانگین انرژی ورودی در نظام‌های تولید برابر 22793/02 مگاژول در هکتار بود که کم‌ترین میزان انرژی ورودی در نظام کاشت حفاظتی برابر 16102/98 مگاژول در هکتار حاصل شد. بیش‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های تولید مربوط به نیروی برق برای پمپ نمودن آب آبیاری بود که بالاترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)[5] نیز به خود اختصاص داد. کود نیتروژن و سوخت در رتبه‌های دوم و سوم انتشار دی‌اکسید کربن قرار گرفتند. متوسط پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از تولید برنج برابر 2307/33 کیلوگرم CO_2 در هکتار به دست آمد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار تولید GWP به ترتیب برابر 1640 و 2728 کیلوگرم CO_2 در هکتار در نظام‌های کاشت حفاظتی و رایج حاصل شد. مقادیر GWP در واحد انرژی ورودی نیز در نظام کاشت حفاظتی حداقل و در نظام کاشت رایج حداکثر بود. همچنین نظام کاشت حفاظتی کم‌ترین GWP را در واحد انرژی خروجی دارا بود و نظام‌های کاشت بهبودیافته و رایج در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. به طور کلی، میزان GWP ارتباط مستقیمی با شیوه مدیریت مزرعه و مصرف نهاده‌ها دارد و بر این اساس کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها در نظام کاشت حفاظتی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، برنج، تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، محیط زیست

مقدمه

گرم شدن کره زمین در نتیجهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای[6] یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان امروز می‌باشد که زندگی آینده روی کره زمین را به مخاطره می‌اندازد (IPCC, 2007a). بخش کشاورزی نیز سهم به سزایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرمایش جهانی دارا می‌باشد (Robertson et al., 2000). کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی در نظام‌های کشاورزی می‌تواند مصرف منابع محدود انرژی را کاهش دهد و همچنین به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود (Dalgaard et al., 2001). نگرانی‌های مربوط به حفاظت از سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به افزایش مطالعات مربوط به کارآیی انرژی در نظام‌های تولید گیاهان زراعی منجر شده است (Koga, 2008). در پژوهشی ضمن ارزیابی انرژی ورودی در تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در منطقه گرگان مشاهده شد که از کل انرژی‌های ورودی مستقیم، سوخت مصرف شده در جریان عملیات زراعی با میانگین 3390 مگاژول در هکتار بیش‌ترین مقدار را دارا بود و بعد از آن تأمین نیروی برق با

1، 2، 3 و 4- به ترتیب مربی بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران و دانشیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرقدس، شهرقدس
(*- نویسنده مسئول: (Email: sdastan@srbiau.ac.ir

5- Global warming potential
6- Greenhouse gases emission

میانگین 309 مگاژول در هکتار در جایگاه بعدی قرار داشت (Soltani et al., 2013). تیپی و همکاران (Tipi et al., 2009) با ارزیابی مصرف انرژی از 97 مزرعه گندم واقع در ایالت مارمارای ترکیه نشان دادند که تولید گندم به میزان 20653/5 مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌کند که از این میان انرژی ورودی سوخت با 45/15 درصد بیش‌ترین سهم را در کل انرژی مصرفی داشته و به دنبال آن کودهای شیمیایی با 34/21 درصد (به ویژه کود نیتروژن با 31/77 درصد) قرار گرفتند. در تحقیقی با تجزیه و تحلیل بهره‌وری انرژی در نظام‌های کاشت مدیترانه‌ای با شدت‌های مختلف مدیریت گزارش شد که انرژی ورودی نظام‌های کم‌نهاده به طور معنی‌داری تا حدود 30 درصد کاهش یافت. مهم‌ترین منبع ورودی در تولید کلزا کودهای شیمیایی (64/66 درصد)، سوخت دیزل (24/45 درصد) و آفت‌کش‌ها (4/14 درصد) بودند (Nassi et al., 2011). همچنین در مطالعه قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) میزان انرژی ورودی در نظام کاشت کم نهاده و پرنهاده گندم به ترتیب برابر 9354/2 و 45367/6 مگاژول در هکتار بود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) با ارزیابی کل انرژی مورد نیاز در مزارع لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، عدس (*Lens culinaris* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) بیان داشتند که انرژی ورودی در مزارع لوبیا و عدس به ترتیب برابر 23666/8 و 14114/79 مگاژول در هکتار بود. همچنین در کشت آبی و دیم نخود میزان انرژی ورودی به ترتیب برابر 15756/21 و 2630/12 مگاژول در هکتار گزارش شد.

مهم‌ترین مسأله‌ای که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای است. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) می‌باشند (IPCC, 2007b, c). کشاورزی به عنوان یک منبع شناخته شده و قابل توجه تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که در سال 2005 میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش حدود 10 تا 12 درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای تخمین زده شد. همچنین، زراعت برنج در کشورهای در حال توسعه نیز حدود 0/11 از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش کشاورزی را منتشر می‌کند (Smith et al., 2007a, b). توسعه نظام‌های زراعی با ورودی انرژی کم‌تر و بهره‌وری بالاتر می‌تواند به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 در بخش کشاورزی کمک کند (Dalgaard et al., 2000). با مطالعه 13 سناریوی تولید چغندرقند در انگلستان میانگین GWP کل 1/25 تن معادل CO_2 در هکتار به دست آمد. همچنین میانگین GWP تولیدی 0/024 تن معادل CO_2 به ازای هر تن چغندر برداشت شده برآورد شد که این مقدار برابر با 0/0062 تن معادل CO_2 در گیگاژول انرژی خروجی بود. با توجه به شرایط متنوع تولید در هر یک از سناریوها، بیان شد که میزان GWP ارتباط مستقیمی با میزان انرژی ورودی در تولید چغندرقند دارد (Tzilivakis et al., 2005a). توسعه نظام‌های زراعی با ورودی کم‌تر و بهره‌وری زیادتر می‌تواند به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 در بخش کشاورزی کمک کند (Dalgaard et al., 2000). کشاورزی و به ویژه زراعت برنج به عنوان یک عامل قابل توجه در انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. ارزیابی چرخه تولید برنج برای تعیین میزان انرژی مصرفی و نیز الگوی مصرف انرژی به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای امری ضروری می‌باشد. از این رو، هدف از این پژوهش ارزیابی انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف انرژی در نظام‌های کاشت شالیزاری در استان مازندران بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی شخصی واقع در شهرستان نکا به فاصله 25 کیلومتری ایستگاه تحقیقات زراعی بایع‌کلا استان مازندران در سال زراعی 91-1390 اجرا شد. محل اجرای آزمایش در امتداد ساحل دریای خزر با عرض جغرافیایی 36 درجه و 40 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 53 درجه و 17 دقیقه شرقی واقع شده است. این آزمایش به صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. مزرعه به 12 کرت آزمایشی با ابعاد 20×10 متر مربع تقسیم‌بندی گردید و مساحتی از زمین که برای هر نظام کاشت در نظر گرفته شد برابر 800 متر مربع بود. فاصله بین بلوک‌ها و کرت‌ها برای جلوگیری از نفوذ آب و کودها به کرت‌های مجاور پنج متر در نظر گرفته شد. برای تأمین آب آبیاری در کرت‌های آزمایشی اقدام به پمپ نمودن آب چاه گردید. نظام‌های کاشت رایج منطقه، بهبودیافته و حفاظتی مورد مطالعه قرار گرفتند. مشخصات این نظام‌های کاشت در ادامه آورده شده است.

1) نظام کاشت رایج منطقه: روش تهیه نشا کرتی بود. از نشاهای بالغ (35 روزه) و تعداد بیش از سه نشا در هر کپه با آرایش کاشت متغیر، تصادفی و نامنظم استفاده شد. غرقابی دایم شالیزار و

حفظ سطح آب ایستابی در تمامی مراحل رشد و نمو در نظر گرفته شد. بعد از نشاکاری تا دو هفته قبل از برداشت، مزرعه به حالت غرقاب بود و از زهکشی و کاهش سطح آب ایستابی جلوگیری گردید. کودهای شیمیایی NPK از منابع اوره (200 کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (100 کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (100 کیلوگرم در هکتار) به کار برده شد. تمامی فسفر و پتاسیم به صورت پایه و 75 درصد کود نیتروژن به صورت پایه و 25 درصد باقی‌مانده به صورت سرک در مرحله 30 روز بعد از نشاکاری مصرف شد. برای کنترل علف‌های‌هرز یک بار از علف‌کش پیش‌رویشی بوتاکلر به مقدار 3 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار و دو بار وجین دستی در 28 و 45 روز بعد از نشاکاری استفاده شد. مبارزه با آفات به وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول 5 درصد به مقدار 6 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست به کمک قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به مقدار 1/13 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله 30 درصد خوشه‌دهی انجام شد.

2) نظام کاشت بهبودیافته (اصلاح شده): روش تهیه نشا کرتی بود و از نشاهای 25 روزه به تعداد سه نشا در هر کپه با آرایش کاشت مربعی به فواصل 25×25 سانتی‌متر استفاده شد. غرقابی دایم شالیزار و یک مرتبه خروج آب میان فصل انجام شد. برای این منظور، بعد از نشاکاری اقدام به ایجاد غرقابی و حفظ آب شده و فقط در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، خروج کامل آب انجام شد تا ترک‌هایی در کرت مشاهده گردد؛ سپس اقدام به آبیاری گردید و تا دو هفته قبل از برداشت به حالت غرقاب باقی ماند. کودهای شیمیایی NPK از منابع اوره (200 کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (100 کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (100 کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. کاربرد 50 درصد اوره و پتاسیم و تمامی کود فسفر به صورت پایه انجام شد. 50 درصد پتاسیم و 25 درصد اوره به صورت سرک در مرحله 30 روز بعد از نشاکاری استعمال شد. 25 درصد اوره باقی مانده در مرحله ظهور خوشه مصرف شد. برای کنترل علف‌های‌هرز یک بار از علف‌کش پیش‌رویشی بوتاکلر به مقدار 4/2 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار و دو بار وجین دستی در 28 و 45 روز بعد از نشاکاری استفاده شد. مبارزه با آفات نیز به وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول 5 درصد به مقدار 6 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست توسط قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به مقدار 0/75 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله 30 درصد خوشه‌دهی انجام شد.

3) نظام کاشت حفاظتی: در طراحی این نظام کاشت سعی شد بهترین شیوه مدیریت عملیات زراعی با توجه به شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و فرهنگ کشاورزان منطقه اجرا شود. برای این منظور، در شیوه خزانه‌گیری تغییر ایجاد گردید و از خزانه نشای جعبه‌ای پلاستیکی استاندارد مخصوص ماشین نشاکار استفاده شد. از نشاهای جوان 20 روزه (4-3 برگی) و تعداد دو نشا در هر کپه با آرایش کاشت مربعی با فواصل 30×20 سانتی‌متر به صورت مکانیزه و به وسیله ماشین نشاکار استفاده شد. در این روش از زمان نشاکاری تا دو هفته بعد از آن، مزرعه به حالت غرقاب نگه داشته شد. سپس تا دو هفته قبل از برداشت اقدام به آبیاری تناوبی گردید، به نحوی‌که خاک مزرعه همیشه مرطوب بود. کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره (100 کیلوگرم در هکتار) و کود دامی به میزان 10 تن در هکتار به صورت پایه قبل از نشاکاری مصرف شد. 50 درصد اوره به صورت پایه و 50 درصد باقی‌مانده در مرحله ظهور خوشه آغازین استفاده شد. کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم در این نظام کاشت مصرف نشد. برای کنترل علف‌های‌هرز از روتاری یا وجین‌کن سه مرتبه با فاصله هفت روز استفاده شد. مبارزه با آفات به وسیله حشره‌کش دیازینون (گرانول 5 درصد به مقدار 2 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار) و کنترل بلاست به کمک قارچ‌کش بیم (تری‌سیکلازول) به مقدار 0/38 کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله 30 درصد خوشه‌دهی انجام شد.

در سال زراعی 91-1390 اطلاعات مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم در مساحت آزمایش اجرا شده ثبت و جمع‌آوری شدند. پس از محاسبه میزان انرژی مصرف شده در آزمایش، نتایج حاصله به مساحت یک هکتار تعمیم داده شد. برای برآورد مصرف انرژی در نظام‌های تولید، میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین گردید. برای ارزیابی انرژی ورودی (مصرفی)، همه ورودی‌ها در هنگام اجرای عملیات زراعی با استفاده از روابط معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) استخراج شده از منابع متعدد برای هر عملیات زراعی معادل‌سازی شد. سپس مقدار انرژی ورودی برای هر نهاده و عملیات محاسبه شد (جدول 1). برای تعیین انرژی خروجی (تولیدی) به دست آمده از شلتوک و کاه و کلش، با استفاده از معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) استخراج شده مربوط به شلتوک و کاه و کلش در برنج معادل‌سازی گردید. سپس مقدار کل انرژی خروجی آن‌ها به طور جداگانه محاسبه شد (جدول 1).

برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، ابتدا مقدار سوخت

مصرفی در کارخانه و انرژی مصرفی مربوط به تولید و حمل و نقل نهاده‌ها شامل: کود و سموم شیمیایی، ادوات و ماشین‌آلات و مصرف سوخت برای عملیات زراعی تعیین شد (Geen, 1987; IPCC, 2007b,c; Tzilivakis et al., 2005a,b). سپس، مقدار انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به هر بخش محاسبه شد. برای محاسبه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از بوجاری، ضدعفونی و حمل و نقل بذر برنج با توجه به نوع مدیریت زراعی و کیفیت بذرها در نظام‌های کاشت عامل انتشار متغیر در نظر گرفته شد (IPCC, 2007a,d; Anonymous, 2011). پس از محاسبه GWP کل، برای تخمین ردپای انرژی انتشار دی‌اکسید کربن در واحد سطح (کیلوگرم CO_2 در هکتار)، در واحد وزن (کیلوگرم CO_2 در تن شلتوک)، در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) و در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) محاسبه گردید (Soltani et al., 2013; Tzilivakis et al., 2005a). با توجه به این‌که، ترکیبات موجود در کود دامی باعث افزایش انتشار CH_4 و N_2O در شالیزار می‌شود. از طرفی دیگر کود دامی از طریق ترسیب کربن در خاک به کاهش انتشار خالص گازها منجر می‌شود (Maraseni et al., 2009; Wassmann et al., 2004). بنابراین، انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف کود دامی برآورد نگردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل انرژی‌های ورودی و خروجی: میانگین انرژی ورودی در نظام‌های تولید برابر 22793/02 مگاژول در هکتار بود. کم‌ترین میزان انرژی ورودی در نظام کاشت حفاظتی برابر 16102/98 مگاژول در هکتار حاصل شد. میزان انرژی ورودی در دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج به ترتیب برابر 25412/03 و 26864/05 مگاژول در هکتار بود (جدول 2).

جدول 1- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در تولید برنج

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs for rice production

ورودی‌ها / خروجی‌ها Inputs / Outputs		واحد مصرف Unit	معادل انرژی (مگاژول در واحد) Energy equivalent (MJ.unit^{-1})	منبع Reference
بذر برنج	Rice seed	kg	25	Hatirli et al., 2006; Ozkan et al., 2004
نیروی انسانی	Human labor	h	1.96	Ozkan et al., 2007; Tipi et al., 2009
ادوات و ماشین‌آلات[الف] Machinery	[a]	h	62.7	Canakci et al., 2005; Singh et al., 2002
سوخت دیزل	Diesel fuel	L	38	Anonymous, 2008
نیروی برق	Electricity	kWh	12.1	Kaltsas et al., 2007
نیتروژن	N fertilizer	kg a.i.[b]	60.6	Akcaoz et al., 2009; Ozkan et al., 2004
فسفر	P fertilizer	kg a.i.	11.1	Akcaoz et al., 2009; Ozkan et al., 2004
پتاسیم	K fertilizer	kg a.i.	6.7	Akcaoz et al., 2009; Ozkan et al., 2004
علف‌کش	Herbicide	kg a.i.	288	Rathke and Diepenbrock, 2006 Tzilivakis et al., 2005a
حشره‌کش	Insecticide	kg a.i.	237	Rathke and Diepenbrock, 2006 Tzilivakis et al., 2005a
قارچ‌کش	Fungicide	kg a.i.	196	Deike et al., 2008
شلتوک	Paddy rice	kg	14.7	Ozkan et al., 2004; Tipi et al., 2009
کاه و کلش	Straw	kg	12.5	Iqbal, 2007; Ozkan et al., 2004

الف: این انرژی شامل ساخت، تعمیرات، نگهداری و حمل و نقل می‌باشد

A: Includes energy required for manufacture, repair and maintenance and transportation of machines

ب: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره می‌باشد

B: a. i. represents active ingredient

جدول ۲- بیلان انرژی‌های ورودی و خروجی (مگاژول در هکتار) در نظام‌های تولید برنج

Table 2- Input and output energy balance ($MJ.ha^{-1}$) in rice production systems

درصد از کل Total of share	اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	Planting systems									بخش	Item
			رایج Conventional			بهبودیافته Improved			نظام‌های کاشت حفاظتی Conservation				
			درصد از کل Total of share	اشتباه معیار Standard error	کل انرژی Total energy	درصد از کل Total of share	اشتباه معیار Standard error	کل انرژی Total energy	درصد از کل Total of share	اشتباه معیار Standard error	کل انرژی Total energy		
												ورودی‌ها	Inputs
3.66	200.09	832.71	4.16	32.67	1118.28	4.07	37.70	1034.88	2.14	3.93	344.96	نیروی انسانی	Labor
5.47	244.83	1246.67	6.33	50.13	1700	5.35	25.74	1360	4.22	17.41	680	بذر	Seed
8.80	308.59	2006.40	6.30	24.29	1692.9	6.17	74.55	1567.5	17.13	69.97	2758.8	ادوات و ماشین‌آلات	Machinery
15.56	258.56	3546.67	12.02	104.52	3230	12.71	116.67	3230	25.96	109.77	4180	سوخت	Fuel
35.39	1347.80	8066.67	38.29	88.99	10285	35.71	141.97	9075	30.06	75.91	4840	نیروی برق	Electricity
20.38	758.69	4646	20.75	54.51	5575.2	21.94	107.31	5575.2	17.31	36.98	2787.6	کود نیتروژن	N fertilizer
1.56	145.01	355.20	1.98	20.81	532.8	2.10	22.73	532.8	0	0	0	کود فسفر	P fertilizer
0.98	91.18	223.33	1.25	16.77	335	1.32	13.46	335	0	0	0	کود پتاسیم	K fertilizer
4.85	258.01	1106	5.29	27.40	1422	5.60	47.86	1422	2.95	7.71	474	حشره‌کش	Insecticide
0.33	17.50	74.58	0.42	0.98	111.87	0.29	4.96	74.25	0.23	1.17	37.62	قارچ‌کش	Fungicide
3.02	292.68	688.80	3.21	31.32	861	4.74	26.78	1205.4	0	0	0	علف‌کش	Herbicide
100	2752.56	22793.02	100	400.81	26864.05	100	379.97	25412.03	100	160.02	16102.98	کل انرژی مصرفی	Total

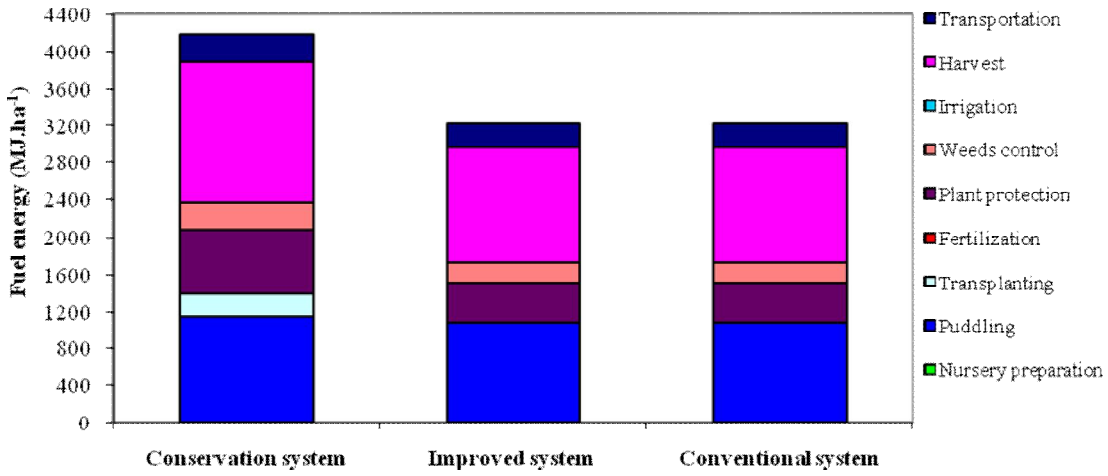
اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	خروجی Output	اشتباه معیار Standard error	خروجی Output	اشتباه معیار Standard error	خروجی Output	خروجی‌ها	Outputs
169.89	6061.17	49.07	5692	52.77	6081	27.30	6412	عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار)	Paddy rice yield ($kg.ha^{-1}$)
146.15	8178.33	33.15	8528	24.24	8070	54.10	7937	عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار)	Straw yield ($kg.ha^{-1}$)
2497.37	89106.5	374.36	83672.4	656.09	89390.7	735.28	94256.4	انرژی شلتوک (مگاژول در هکتار)	Paddy rice energy ($MJ.ha^{-1}$)
1826.91	102229.17	898.09	106600	2328.79	100875	1107.98	99212.5	انرژی کاه و کلش (مگاژول در هکتار)	Straw energy ($MJ.ha^{-1}$)
870.89	191335.67	680.66	190272.4	612.92	190265.7	2714.34	193468.9	کل انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)	Total energy ($MJ.ha^{-1}$)

جدول ۳- انتشار دی‌اکسید کربن بر حسب کیلوگرم CO_2 در هکتار ناشی از فعالیت‌های مختلف در نظام‌های تولید برنج

Table 3- CO_2 emission (kg CO_2 ha^{-1}) for each activities in rice production systems

انتشار دی‌اکسید کربن CO_2 emission	نظام‌های کاشت Planting systems										میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Total of share
	حفاظتی Conservation			بهبودیافته Improved			رایج Conventional						
	کل انتشار Total emissions	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Total of share	کل انتشار Total emissions	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Total of share	کل انتشار Total emissions	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Total of share				
بذر Seed	10	0.40	0.61	33	0.94	1.29	47	3.27	1.72		30	8.81	1.30
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	345	3.96	21.03	196	2.03	7.67	212	4.11	7.77		251	38.56	10.88
سوخت Fuel	326	2.09	19.88	252	1.54	9.87	252	1.54	9.24		276.67	20.14	11.99
نیروی برق Electricity	703	8.80	42.87	1318	2.15	51.61	1494	39.41	54.77		1171.67	195.78	50.78
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers													
کود نیتروژن N fertilizer	203	3.66	12.38	406	6.73	15.90	406	3.10	14.88		338.33	55.25	14.66
کود فسفر P fertilizer	0	0	0	44	1.77	1.72	44	0.79	1.61		29.33	11.98	1.27
کود پتاسیم K fertilizer	0	0	0	27	0.79	1.06	27	0.35	0.99		18	7.35	0.78
آفت‌کش‌ها Pesticides	53	1.12	3.23	278	1.28	10.88	246	2.26	9.02		192.3	57.38	8.34
پتانسیل گرمایش جهانی کل Total GWP	1640	27.21	100	2554	22.13	100	2728	34.91	100		2307.33	275.51	100

بیش‌ترین انرژی ورودی حاصل از سوخت در نظام کاشت حفاظتی برای عملیات برداشت (1521/6 مگاژول در هکتار)، گل‌خرابی و آماده‌سازی زمین (1149/12 مگاژول در هکتار) و حفاظت گیاه (684 مگاژول در هکتار) بود. در این نظام تولید، انرژی ورودی مربوط به سوخت برای کنترل علف‌های‌هرز، حمل و نقل و نشاکاری نیز به ترتیب برابر با 296، 287/28 و 242 مگاژول در هکتار بود (شکل 1). در دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج بیش‌ترین انرژی سوخت برای عملیات برداشت (1227/4 مگاژول در هکتار) و گل‌خرابی و آماده‌سازی زمین (1085/28 مگاژول در هکتار) مصرف شد. انرژی سوخت برای حفاظت گیاه معادل 419/9 مگاژول در هکتار، حمل و نقل معادل 271/32 مگاژول در هکتار و کنترل علف‌های‌هرز معادل 226/1 مگاژول در هکتار بود. همچنین سهم سایر عملیات ناچیز بوده است که در شکل قابل مشاهده نمی‌باشند (شکل 1).



شکل 1- انرژی سوخت مصرفی در مراحل تولید برنج در سه نظام کاشت

Fig. 1- Fuel energy consumption for production operation practices in three rice production systems

بیش‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های تولید مربوط به نیروی برق برای پمپ نمودن آب آبیاری با میانگین 8066/67 مگاژول در هکتار (به طور میانگین 35/39 درصد) بود (جدول 2). همچنین انرژی کود شیمیایی نیتروژن با میانگین 4646 مگاژول در هکتار (20/38 درصد) و سوخت با میانگین 4180 مگاژول در هکتار (15/56 درصد) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. در نظام‌های کاشت انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌آلات با میانگین 2006/4 مگاژول در هکتار (8/8 درصد) نیز سهم عمده‌ای را دارا بود. انرژی ورودی مربوط به بذر با میانگین 1246/67 مگاژول در هکتار (5/47 درصد)، انرژی ورودی حشره‌کش‌ها با میانگین 1106 مگاژول در هکتار (4/85 درصد) و انرژی ورودی کارگری نیز با میانگین 832/71 مگاژول در هکتار (3/66 درصد) مجموعاً حدود 14 درصد از سهم انرژی مصرفی را شامل شدند. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های کاشت مربوط به قارچ‌کش با میانگین 74/58 مگاژول در هکتار (0/33 درصد) و کود شیمیایی پتاسیم با میانگین 223/33 مگاژول در هکتار (0/98 درصد) بود (جدول 2). کل انرژی ورودی در نظام کاشت حفاظتی کم‌تر از انرژی ورودی نظام‌های بهبودیافته و رایج بود. در این نظام کاشت بیش‌ترین سهم انرژی ورودی مربوط به انرژی الکتریسیته برابر 4840 مگاژول در هکتار (30/06 درصد) و سوخت با معادل 4180 مگاژول در هکتار (25/96 درصد) بود که اختلاف قابل ملاحظه‌ای با سایر ورودی‌ها نشان داد. همچنین انرژی ورودی مربوط به کود شیمیایی نیتروژن برابر 2787/6 مگاژول در هکتار (17/31 درصد) و ادوات و ماشین‌آلات 2758/8 مگاژول در هکتار (17/13 درصد) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام کاشت حفاظتی مربوط به کود شیمیایی فسفر و پتاسیم و علف‌کش بود (جدول 2)، که دلیل این موضوع، به سبب عدم استفاده از این نهاده‌ها

می‌باشد.

در نظام تولید بهبودیافته بیش‌ترین سهم مصرف انرژی مربوط به نیروی برق برای پمپ نمودن آب آبیاری با مقدار 9075 مگاژول در هکتار (35/71 درصد) بود که در مقایسه با سایر ورودی‌ها دارای اختلاف قابل توجهی بود. انرژی کود شیمیایی نیتروژن با مقدار 6443 مگاژول در هکتار (21/94 درصد) در رتبه دوم قرار گرفت. سهم انرژی سوخت نیز در نظام بهبودیافته معادل 3230 مگاژول در هکتار (12/71 درصد) محاسبه شد. کم‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام کشت بهبودیافته مربوط به قارچ‌کش با 74/25 مگاژول در هکتار (0/29 درصد) بود. در نظام کاشت رایج بالاترین سهم از انرژی ورودی متعلق به نیروی برق با 10285 مگاژول در هکتار (38/29 درصد) و کود شیمیایی نیتروژن با 5575/2 مگاژول در هکتار (20/75 درصد) بود که سهم قابل توجهی از کل انرژی مصرفی را شامل می‌شدند. همچنین انرژی ورودی سوخت مصرفی با 3230 مگاژول در هکتار (12/02 درصد) و ادوات و ماشین آلات با 1692/9 مگاژول در هکتار (6/3 درصد) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول 2).

کل انرژی تولیدی در نظام کاشت حفاظتی (193468/9 مگاژول در هکتار) بیش‌تر از دو نظام کاشت بهبودیافته (190265/7 مگاژول در هکتار) و رایج (190272/4 مگاژول در هکتار) بود (جدول 2). انرژی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام کاشت حفاظتی به ترتیب برابر 94256/4 و 99212/5 مگاژول در هکتار بود. همچنین انرژی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام کاشت بهبود یافته به ترتیب برابر 89390/70 و 100875 مگاژول در هکتار بود که 46/98 درصد از آن مربوط به عملکرد شلتوک و 53/02 درصد آن مربوط به عملکرد کاه و کلش بود. انرژی حاصل از عملکرد شلتوک و کاه و کلش در نظام کاشت رایج نیز به ترتیب برابر با 83672/40 و 106600 مگاژول در هکتار بود (جدول 2). دلیل اصلی اختلافات مشاهده شده در میزان انرژی ورودی و خروجی سه نظام کاشت مورد مطالعه، تفاوت در اعمال مدیریت و میزان مصرف نهاده‌ها می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده مصرف کمتر انرژی در نظام کاشت حفاظتی را می‌توان به توسعه مکانیزاسیون و ماشین‌آلات در این نظام کاشت نسبت داد. همچنین استفاده از منابع انرژی به صورت کارآمدتر با بهینه‌سازی مصرف انواع نهاده‌های به کار رفته در نظام کاشت حفاظتی از طریق انتخاب صحیح نوع، مقدار، روش و زمان مصرف نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد. باید یادآور شد که نیروی انسانی در اراضی شالیزاری بین انرژی‌های ورودی مستقیم به میزان زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توسعه کاشت مکانیزه در نظام کاشت حفاظتی میزان مصرف انرژی نیروی انسانی کاهش یافت (Kizilaslan, 2009a,b). در پژوهشی مصرف انرژی در 97 مزرعه گندم واقع در ایالت مارمارای ترکیه مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که تولید گندم به میزان 20653/5 مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌کند که از این میان انرژی ورودی سوخت با 45/15 درصد بیش‌ترین سهم را در کل انرژی مصرفی داشته و به دنبال آن کودهای شیمیایی با 34/21 درصد (به ویژه کود نیتروژن با 31/77 درصد) قرار گرفتند (Tipi et al., 2009).

دلیل پایین بودن کارآیی انرژی مصرفی در دو نظام بهبود یافته و رایج در مقایسه با نظام کاشت حفاظتی را می‌توان به وابستگی زیاد این دو نظام تولید به نهاده‌های ورودی و مصرف بیش‌تر انرژی برای تولید نسبت داد که متأسفانه این نهاده‌ها بدون توجه به مسایل زیست‌محیطی مصرف می‌شوند. در پژوهش‌های دیگری نیز کارآیی انرژی در نظام‌های کاشت برنج در استرالیا و هند، میزان مشابهی را نشان داد (Iqbal, 2007; Khan et al., 2010). در تحقیقی دیگر بیش‌ترین میزان مصرف سوخت و ورودی انرژی به عملیات تهیه زمین مربوط بود (Canakci et al., 2005). از طرفی تحقیقات نشان داد که سوخت بخش اعظم انرژی ورودی را نسبت به سایر ورودی‌های مستقیم تشکیل می‌دهد (Strapatsa et al., 2006). مصرف سوخت در واحد سطح مزرعه توسط عواملی از قبیل نیروی اسب بخار تراکتور، عمق شخم، نوع خاک و غیره تحت تأثیر می‌باشد (Kaltsas et al., 2007). بنابراین، با تجزیه و تحلیل انرژی ورودی در نظام‌های کاشت برنج، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع بیولوژیک برای نسل‌های آینده حفاظت نمود.

انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی

نتایج نشان داد که میانگین پتانسیل گرمایش جهانی کل ناشی از فعالیت‌های مختلف در نظام‌های کاشت برابر 2307/33 کیلوگرم CO_2 در هکتار بود. کم‌ترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به نظام کاشت حفاظتی و بیش‌ترین مقدار آن در نظام کاشت رایج حاصل شد (جدول 3).

در بین فعالیت‌های مختلف، انرژی ورودی نیروی برق برای پمپ نمودن آب آبیاری با میانگین 1171/67 کیلوگرم CO_2 در هکتار معادل با 50/78 درصد، بیشترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن و گرمایش جهانی در هر سه نظام کاشت به خود اختصاص داد که در مقایسه با سایر ورودی‌ها اختلاف قابل توجهی را نشان داد. تولید و حمل و نقل کود نیتروژن با میانگین 338/33 کیلوگرم CO_2 در هکتار و 14/66 درصد از کل انتشار، در رتبه دوم انتشار دی‌اکسید کربن در نظام‌های تولید قرار گرفت و بعد از آن سوخت با میانگین 276/67 کیلوگرم CO_2 در هکتار و 11/99 درصد از کل قرار گرفت. ادوات و ماشین‌آلات با میانگین 251 کیلوگرم CO_2 در هکتار و 10/88 درصد در جایگاه بعدی قرار گرفتند. پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از کاربرد آفت‌کش‌ها نیز با میانگین 192/33 کیلوگرم CO_2 در هکتار، معادل 8/34 درصد از کل میزان انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داد. سهم سایر فعالیت‌های ناشی از تولید و حمل و نقل نهاده‌های زراعی قابل توجه نبود (جدول 3).

بالاترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در نظام کاشت حفاظتی مربوط به نیروی برق و تولید و حمل و نقل نیتروژن به ترتیب برابر 703 و 203 کیلوگرم CO_2 در هکتار (42/87 و 12/38 درصد) بود. این مقادیر در مقایسه با دو نظام کاشت بهبودیافته و رایج به میزان قابل توجهی کم‌تر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از تولید و حمل و نقل کود نیتروژن به دو نظام تولید بهبودیافته و رایج اختصاص داشت. در نظام کاشت حفاظتی کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم استفاده نشد و به همین دلیل پتانسیل گرمایش جهانی آن‌ها صفر در نظر گرفته شد. گرمایش جهانی ناشی از کاربرد فسفر در دو نظام تولید بهبودیافته و رایج برابر 44 کیلوگرم CO_2 در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از کاربرد پتاسیم برابر 27 کیلوگرم CO_2 در هکتار بود (جدول 3). مصرف سوخت در نظام کاشت حفاظتی با انتشار دی‌اکسید کربن به میزان 326 کیلوگرم CO_2 در هکتار (19/88 درصد) بیش‌تر از دو نظام تولید بهبود یافته و رایج بود که دلیل آن استفاده از کاشت مکانیزه در این نظام کاشت می‌باشد. همچنین انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از ادوات و ماشین‌آلات نیز در نظام کاشت حفاظتی با 345 کیلوگرم CO_2 در هکتار در مقایسه با دو نظام کاشت بهبود یافته (196 کیلوگرم CO_2 در هکتار) و رایج (212 کیلوگرم CO_2 در هکتار) بیش‌تر بود. پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از ضدعفونی، بوجاری و

جدول ٤- پتانسیل گرمایش جهانی به صورت کیلوگرم CO_2 در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی در نظام‌های کاشت

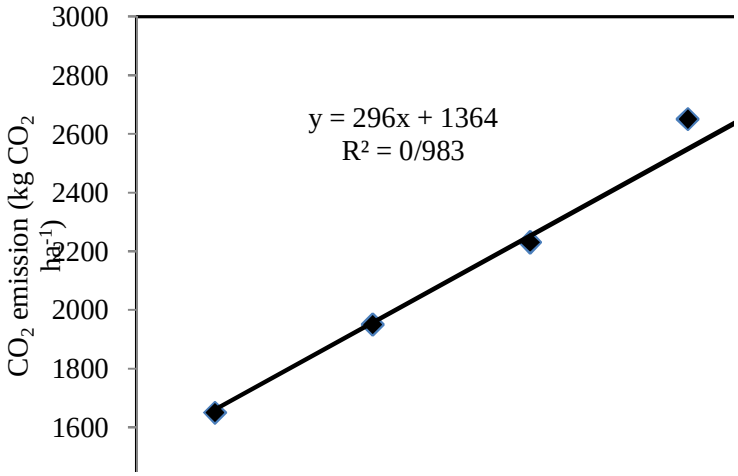
Table 4- Global warming potential (GWP) per unit area, per unit weight, per unit energy input and output in different rice production systems

شاخص‌ها Indices	نظام‌های کاشت Planting systems			میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error
	حفاظتی Conservation	بهبودیافته Improved	رایج Conventional		
پتانسیل گرمایش جهانی Global Warming Potential (GWP)					
در واحد سطح (کیلوگرم CO_2 در هکتار) Per unit area (kg CO_2.ha^{-1})	1640	2554.4	2728.3	2307.57	275.60
در واحد وزن (کیلوگرم CO_2 در تن شلتوک) Energy footprint (kg CO_2.t^{-1})	255.8	420.1	479.3	385.07	54.59
در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) Per unit energy input (kg CO_2.GJ^{-1})	104.1	104.8	106	104.97	0.45
در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) Per unit energy output (kg CO_2.GJ^{-1})	8.5	13.4	14.3	12.07	1.47

حمل و نقل بذر در نظام‌های کاشت حفاظتی، بهبود یافته و رایج به ترتیب برابر 10، 33 و 47 کیلوگرم CO_2 در هکتار در نظر گرفته شد که سهم آن در نظام‌های کاشت به ترتیب برابر 0/61، 1/29 و 1/72 درصد بود. دلیل متفاوت بودن پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به کیفیت متفاوت بذرها در سه نظام کاشت بود. چون در نظام کاشت حفاظتی در مقایسه با نظام‌های کاشت بهبود یافته و رایج، انرژی کم‌تری برای ضدعفونی و بوجاری بذر مصرف شد که در نتیجه انتشار دی‌اکسید کربن نیز کاهش یافت. سهم سایر فعالیت‌ها در انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی ناچیز بود (جدول 3).

نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن‌ها نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد. در همین رابطه وود و کوئیز (Wood & Cowie, 2004) بیان داشتند که انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام فعالیت‌های متنوع کشاورزی یا به طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل و نقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) به دست می‌آیند. پاتاک و واثمن (Pathak & Wassmann, 2007) نیز اعلام کردند که عملیات زراعی و غیر زراعی (تولید و حمل و نقل کودها و آفت‌کش‌ها) در تولید برنج هر کدام به ترتیب 98-80 و 91-16 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی نقش دارند. علاوه بر این، نتایج پژوهش‌های مشابه در مزارع زیتون و چغندرقند نیز نشان داده که مصرف کودهای شیمیایی (به ویژه کود نیتروژن) و سوخت‌های فسیلی بیش‌ترین تأثیر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی دارد (Kaltsas et al., 2007; Tzilivakis et al., 2005a).

میانگین پتانسیل گرمایش جهانی نظام‌های کاشت در واحد سطح برابر 2307/57 کیلوگرم CO_2 در هکتار بود که در نظام کاشت حفاظتی حداقل (1640 کیلوگرم CO_2 در هکتار) و در نظام کاشت رایج حداکثر (2728/3 کیلوگرم CO_2 در هکتار) مقادیر مشاهده شد. در همین رابطه مقدار کل پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح برای محصولات سیب‌زمینی، گندم، کلزای روغنی، جو و نخود را به ترتیب برابر با 3، 1/7، 1/2، 0/7 و 0/7 تن معادل CO_2 در هکتار برآورد شد (Tzilivakis et al., 2005b). پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی ورودی نیز با میانگین 104/97 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول در نظام کاشت حفاظتی حداقل (104/1 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) و در نظام کاشت رایج حداکثر (106 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول) مقدار را به خود اختصاص داد. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی برابر 12/07 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول بود. نظام کاشت حفاظتی با 8/5 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول کم‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی را در واحد انرژی خروجی دارا بود و نظام کاشت بهبود یافته با 13/4 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول در رتبه دوم قرار گرفت. نظام کاشت رایج نیز با 14/3 کیلوگرم CO_2 در گیگاژول بیش‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی را به خود اختصاص داد (جدول 4). کم‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن شلتوک در نظام کاشت حفاظتی مشاهده شد که برابر 255/8 کیلوگرم CO_2 در هر تن شلتوک بود. بیش‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن را نظام تولید رایج به خود اختصاص داد که برابر 479/3 کیلوگرم CO_2 در هر تن شلتوک بود. پایین‌تر بودن پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح و وزن در نظام کاشت حفاظتی در مقایسه با دو نظام کاشت دیگر را می‌توان به مصرف کم‌تر انرژی‌های ورودی به ویژه کود نیتروژن و نیروی برق برای پمپ نمودن آب آبیاری کم‌تر در طی فصل رشد به دلیل آبیاری تناوبی و همچنین بالاتر بودن میزان تولید شلتوک در این نظام کاشت نسبت داد (جدول 4). در همین رابطه کالتساس و همکاران (Kaltsas et al., 2007) با بررسی دو روش کشت ارگانیک و رایج در یونان به این نتیجه رسیدند که مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در نظام کاشت ارگانیک کم‌تر از نظام کاشت رایج بود. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) بیان کردند که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن به ترتیب برابر 271/5 و 103/8 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن محصول گندم، در واحد انرژی ورودی به ترتیب برابر 44/6 و 34/8 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول و در واحد انرژی خروجی به ترتیب برابر 11/7 و 4/5 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول بود. نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و انتشار CO_2 ناشی از آن در این پژوهش نشان داد که بین انرژی ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های کاشت شالیزاری ارتباط مستقیمی وجود دارد (شکل 2). به طوری‌که، به ازای افزایش هر مگاژول انرژی ورودی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن 296 کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد.



شکل 2- برازش مدل رگرسیون خطی بین میزان انرژی ورودی و انتشار دی‌اکسید کربن در سه نظام کاشت برنج

between **input energy rate and CO_2 emission in three rice production systems regression model Fig. 2- Fitting of linear**

از آنجا که سوخت‌های فسیلی عامل مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص CO_2 می‌باشند، بنابراین باید از شیوه‌های مناسب عملیات زراعی استفاده نمود. دایر و دسجاردین (Dayer & Desjardins, 2003) در مطالعه‌ای اثر مدیریت ماشین‌آلات مزرعه را بر انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی کانادا ارزیابی کردند. آن‌ها نشان دادند که کاهش در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. به دلیل حفظ منابع طبیعی و همچنین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر، استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این، توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی کمک شایانی نماید.

نتیجه‌گیری

امروزه، به دلیل درک ضرورت حفظ منابع طبیعی و نیز عواقب ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش دادن استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این، توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی از جمله کاهش اتکا به انرژی ورودی، می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی نماید. در همین رابطه با بررسی نظام‌های کاشت برنج کم‌ترین میزان انرژی ورودی در نظام کاشت حفاظتی و بیش‌ترین مقدار انرژی ورودی در دو نظام بهبودیافته و رایج مشاهده شد. بیش‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های تولید مربوط به نیروی برق برای پمپ نمودن و تأمین آب آبیاری با میانگین 8066/67 مگاژول در هکتار حاصل شد که دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای با سایر انرژی‌های ورودی بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار تولید GWP به ترتیب برابر 1640 و 2728/3 کیلوگرم CO_2 در هکتار در نظام‌های کاشت حفاظتی و رایج **به** دست آمد که نشان می‌دهد مقادیر GWP ارتباط مستقیمی با شیوه مدیریت مزرعه و مصرف نهاده‌ها دارد.

منابع

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal of Food Agriculture and Environment 7: 475-480.

Anonymous, 2008. Hydrocarbon balance of Iran in 2007. Tehran, Iran: Institute of International Energy Studies. Tehran, Iran 549 pp. (In Persian)

Anonymous. 2011. National greenhouse accounts factors. Department of Climate Change and Energy Efficiency, Commonwealth of Australia. Published by an Australian Government. Department of the Environment. 85 pp.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. Energy Conversion and Management 46: 655-666.

Dalgaard, T., Halberg, N., and Fenger, J. 2000. Fossil energy use and emissions of greenhouse gases - three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: van Lerland, E., A.Q. Lansink, and E. Schmieman. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use, Wageningen, The Netherlands. Chapter 7.2.1, 11 p.

Dalgaard, T., Halberg, N., and Porter, J.R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 51-65.

Dayer, J.A., and Desjardins, R.L. 2003. The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 22: 59-74.

Deike, S., Pallutt, B., and Christen, O. 2008. Investigation on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. European Journal of Agronomy 28: 461-470.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S., and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy 88: 283-288.

Green, M. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel ZR, editor. Energy in plant nutrition and pest control, V. 7. Amsterdam: Elsevier, ISBN 0-444-42753-8 p. 165-177.

Hatirli, S.A., Ozkan B., and Fert, C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy Journal 31: 427-438.

IPCC. 2007a. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 996 pp.

IPCC. 2007b. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 850 pp.

IPCC. 2007c. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change. Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, and C. E. Hanson, editors. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 976 pp.

Iqbal, T. 2007. Energy input and output for production of Boron rice in Bangladesh. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 7: 2717-2722.

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. Agriculture, Ecosystems and Environment 122(2): 243-251.

Khan, S., Khan, M.A., and Latif, N. 2010. Energy requirement and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environment 29(1): 61-68.

Kizilaslan, H. 2009a. Input- output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. Applied Energy 86 (7/8): 1354-1358.

Kizilaslan, N. 2009b. Energy use and input-output energy analysis for apple production in Turkey. Journal of Food, Agricultural and Environmental 7: 419-423.

Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. Agriculture, Ecosystems and Environment 125: 101-110.

Koocheki, A.L., Ghorbani, R., Mondani, F., Alizadeh, Y., and Moradi, M. 2011. Pulses Production Systems in Term of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran. International Journal of Energy Economics and Policy 1(4): 95-106.

Maraseni, T. N., Mushtaq, S., and Maroulis, J. 2009. Greenhouse gas emissions from rice farming inputs: a cross-country assessment. Journal of Agricultural Science 147: 117-126.

Nassi, O., Di Nasso, N., Bosco, B., Di Bene, C., Coli, A., Mazzoncini, M., and Bonari, E. 2011. Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. Energy 36: 1924-1930.

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renew. Energy 29:

39-51.

Ozkan, B., C. Fert, and C. F. Karadeniz. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. Energy 32: 1500-1504.

Pathak, H., and Wassmann, R. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. Agricultural Systems 94: 807-825.

Rathke, G.W., and Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oilseed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. European Journal of Agronomy 24: 35-44.

Robertson, G.P., Paul, E.A., and Harwood, R.R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science 289: 1922-1925.

Singh, H., Mishra, M., and Nahar, N.M. 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India: part I. Energy Conversion and Management 43: 2275-2286.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., Mccarl, B., Ogle, S., O'Mar, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., and Towprayoon, S. 2007a. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 6-28.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., and Sirotenko, O. 2007b. Agriculture. In: Metz, B., O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds) Climate change 2007: mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge pp. 497-540.

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy 50: 54-61.

Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., and Tsatsarelis, C.A. 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 176-80.

Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Agriculture and Environment 7: 352-356.

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. Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 341-358.

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. Agricultural Systems 85: 101-119.

Wassmann, R., Neue, H.U., Ladha, J.K., and Aulakh, M.S. 2004. Mitigating greenhouse gas emissions from rice - wheat cropping systems in Asia. Environment, Development and Sustainability 6: 65-90.

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.