نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1193-1168

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1168-1193

ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در مزارع تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)

محمد پازکی طرودی[1]، حسین عجم نوروزی[2]، عباس قنبری مالیدره[3*]، محمدرضا داداشی[2] و سلمان دستان[4]

تاریخ دریافت: 1395/02/26
تاریخ پذیرش: 1395/07/28

پازکی طرودی، م.، عجم نوروزی، ح.، قنبری مالیدره، ع.، داداشی، م.ر.، و دستان، س. 1396. ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در مزارع تولید گندم (*Triticum aestivum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، 9(4): 1193- 1168.

چکیده

بهره‌گیری از مدیریت پایدار گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌منظور افزایش عملکرد و بهینه‌سازی در مصرف نهاده‌ها و حفاظت از محیط-زیست امری ضروری است. لذا، هدف از این پژوهش، ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در تولید گندم بود. برای انجام این تحقیق، ابتدا شش مزرعه کاشت رایج گندم در شهرستان‌های جویبار، ساری و قائمشهر طی سال زراعی 94-1393 شناسایی شده‌اند. سپس، با روش کاشت بهبود یافته (بر اساس زراعت کم‌نهاده گندم طراحی شده توسط محققان) مقایسه شده‌اند. اطلاعات مربوط به انرژی ناشی از عملیات زراعی مزارع رایج و روش کاشت بهبود یافته ثبت و جمع‌آوری شدند. سپس، مصرف انرژی در هشت بخش شامل تهیه زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل و نقل به کارخانه طبقه‌بندی شدند. پس از آن، انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) ناشی از انتشار دی‌اکسید کربن برآورد شدند. نتایج نشان داد که میانگین کل انرژی ورودی در چهار روش کاشت برابر 11811/61 مگاژول در هکتار بود که کم‌ترین میزان انرژی ورودی در روش کاشت بهبودیافته مشاهده شد. در بین تمامی ورودی‌ها، انرژی مصرفی مربوط به نیتروژن با 38/03 درصد در رتبه اول قرار گرفت. انرژی سوخت و بذر در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین انرژی تولیدی در روش کاشت بهبودیافته به‌دست آمد که 36/34 درصد از آن مربوط به دانه و 63/66 درصد مربوط به کاه و کلش بود. میانگین انرژی ورودی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در چهار روش کاشت به‌ترتیب برابر 3071/28 و 8740/33 مگاژول در هکتار بود. میانگین کارایی انرژی در روش‌های کاشت برابر 14/57 بود که بالاترین میزان آن مربوط به روش کاشت بهبودیافته بود. همچنین، میانگین بهره‌وری انرژی در چهار روش کاشت برابر 0/37 کیلوگرم بر مگاژول حاصل شد. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی کل ناشی از فعالیت‌های مختلف در روش‌های کاشت برابر 798/56 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود که بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن و گرمایش جهانی به‌دلیل ورودی بیشتر مربوط به مصرف نیتروژن، سوخت و بذر بوده است. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن دانه در چهار روش کاشت برابر 184/2 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن دانه بود. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی ورودی و خروجی در روش‌های کاشت نیز به‌ترتیب برابر 66/75 و 4/94 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول بود. روش کاشت بهبودیافته با 4/35 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول کم‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی را در واحد انرژی خروجی دارا بود. به‌طور کلی، میزان GWP ارتباط مستقیمی با شیوه مدیریت مزرعه و مصرف نهاده‌ها نشان داد که در نظام تولید بهبودیافته این شاخص در کمترین مقدار بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، نظام کاشت بهبودیافته

مقدمه

تولید پایدار کشاورزی به کاهش هزینه تولید و افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع تولید و همچنین افزایش عملکرد محصول در واحد سطح بستگی دارد. از این‌رو، یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این‌که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیش‌ترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند (Witney, 1995). در کنار بررسی

1، 2، 3 و 4- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جویبار و محقق دوره پسادکتری زراعت مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: aghanbarym@yahoo.com)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.54771

امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت، می‌تواند به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی منجر گردد (Witney, 1995). از طرفی، ارزیابی مصرف انرژی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام‌های تولید و افزایش کارایی انرژی باشد (Clements et al., 2005; Strapatsa et al., 2006). بنابراین، ارائه راه‌کارهایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین لازم می‌باشد. همچنین، زراعت گندم به‌عنوان یک عامل قابل توجه در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی محسوب می‌شود. لذا، ارزیابی چرخه زندگی و تولید گندم برای تعیین انرژی مؤثر در تولید و الگوی مصرف آن به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای امری ضروری می‌باشد. تجزیه و تحلیل الگوی مصرف انرژی و کارایی آن در نظام‌های کشاورزی می‌تواند از طریق شناسایی نقاط هدر رفت انرژی نقش بسیار مهمی در توسعه شناخت نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی داشته و موجب بهبود تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی شود (Rathke & Diepenbrock, 2006). سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) با ارزیابی انرژی ورودی در تولید گندم در منطقه گرگان دریافتند که از کل انرژی‌های ورودی مستقیم، سوخت عملیات زراعی با میانگین 3390 مگاژول در هکتار بیش‌ترین مقدار را دارا بوده است و بعد از آن سوخت الکتریسیته با میانگین 309 مگاژول در هکتار در جایگاه بعدی قرار داشت. همچنین، آن‌ها با ارزیابی انرژی‌های ورودی غیرمستقیم در شش سناریو (روش)، نشان دادند که کود نیتروژن با متوسط 5964 مگاژول در هکتار بیش‌ترین مقدار را در بین سایر کودهای شیمیایی نظیر فسفر و پتاسیم با متوسط 738 و 425 مگاژول در هکتار داشته است. تولید همه محصولات کشاورزی از جمله گندم (*Triticum aestivum* L.)، برای انجام عملیات زراعی مانند شخم، کاربرد کود، آفت‌کش‌ها، کاشت، آبیاری، برداشت، فرآوری و حمل و نقل نیاز به برخی از شکل‌های انرژی دارند (Chauhan et al., 2006). کاربرد ماشین‌آلات با متوسط 1452 مگاژول در هکتار پس از کودها و بذر گندم در رتبه سوم انرژی‌های غیرمستقیم قرار داشته است که از این نظر در بین شش سناریوی مورد مطالعه، بیش‌ترین میزان انرژی غیرمستقیم ورودی معادل 1823 مگاژول در هکتار بود (Soltani et al., 2013). در تحقیقی دیگر 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 داشت (Tipi et al., 2009). همچنین، دیگر محققان با ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در منطقه گرگان بیان کردند که متوسط انرژی ورودی برابر 15578/6 مگاژول در هکتار در کل مزارع بود. انرژی ورودی کودهای شیمیایی (45/8 درصد) عمدتاً نیتروژن (38/3 درصد) بیش‌ترین سهم را در کل انرژی‌های ورودی دارا بود و به دنبال آن انرژی ورودی سوخت (22/5 درصد) قرار داشت (Rajabi et al., 2012).

با وجود افزایش تولید در نظام‌های مدرن کشاورزی، به‌دلیل مصرف زیاد انرژی در مزرعه، بازده انرژی در این نظام‌ها کاهش یافته و پایداری آن‌ها با چالش مواجه شده است و سبب نگرانی‌هایی در رابطه با مصرف انرژی فسیلی، افزایش قیمت انرژی و گرمایش جهانی (Deike et al., 2008) و از دست رفتن عناصر غذایی شده است (Ozkan et al., 2004). 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). 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 به‌ترتیب برابر 23666/8 و 14114/79 مگاژول در هکتار بود. همچنین در کشت آبی و دیم نخود میزان انرژی ورودی به‌ترتیب برابر 15756/21 و 2630/12 مگاژول در هکتار گزارش شد. دیگر محققان 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 (به‌ویژه کود نیتروژن با 31/77 درصد) قرار گرفتند (Tipi et al., 2009). با مطالعه 13 سناریوی تولید چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در انگلستان میانگین GWP[1] کل 1/25 تن معادل CO_2 در هکتار به‌دست آمد. همچنین، میانگین پتانسیل گرمایش جهانی (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

1- Global warming potential

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). در تحقیقی با تجزیه و تحلیل بهره‌وری انرژی در نظام‌های کاشت مدیترانه‌ای با شدت‌های مختلف مدیریت گزارش شد که انرژی ورودی نظام‌های کم‌نهاده به‌طور معنی‌داری تا حدود 30 درصد کاهش یافت. مهم‌ترین منبع ورودی در تولید کلزا (*Brassica napus* L.) 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 کم‌نهاده و پرنهاده گندم به‌ترتیب برابر 9354/2 و 45367/6 مگاژول در هکتار بود.

در بررسی جریان انرژی در دو سامانه زراعی گندم آبی و دیم تحت دو نظام خاک‌ورزی در شهرکرد مشاهده شد که حداکثر انرژی ورودی در سامانه کشت آبی با خاک‌ورزی (معادل 29586 مگاژول در هکتار) و حداکثر انرژی خروجی در سامانه کشت آبی بدون خاک‌ورزی (معادل 70743 مگاژول در هکتار) بود. همچنین، بیشترین انرژی مصرفی گندم آبی در هر دو نظام بدون خاک‌ورزی و با خاک‌ورزی مربوط به کود نیتروژن (9429 و 1092 مگاژول در هکتار) و بعد از آن آبیاری (8323 و 5117 مگاژول در هکتار) بود. برای گندم دیم نیز بیشترین انرژی مصرفی به ترتیب در دو نظام با خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی مربوط به کود نیتروژن (8529 و 7220 مگاژول در هتار) و بذر (4367 و 2412 مگاژول در هکتار) محاسبه شد (Kazemi et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر با بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی در بوم‌نظام‌های فاریاب استان کرمانشاه گزارش شد که مقدار انرژی مصرفی و حجم مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های تولید ذرت بیشتر از بوم‌نظام‌های تولید یونجه (*Medicagi sativa* L.) و گندم بود. در مقابل مقدار انرژی تولیدی و حجم تولید انرژی در بوم‌نظام‌های تولید یونجه بیش از دو بوم‌نظام دیگر بود. بر این اساس، بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به بوم‌نظام‌های تولید یونجه و کمترین کارایی مربوط به بوم‌نظام‌های تولید ذرت بود. از لحاظ بهره‌وری انرژی و مصرف آب نیز بوم‌نظام‌های تولید یونجه کارآمدتر بودند. در بوم‌نظام‌های فاریاب این استان به طور میانگین بیش از 30 درصد از انرژی ورودی مربوط به انرژی آب (آب مصرفی و نیروی الکتریسیته لازم برای پمپاژ آن) بود (Yuosefi & Madavi Damghani, 2013). در سال‌های اخیر نظام‌های زراعی به‌دلیل کاربرد مکانیزاسیون، کودهای شیمیایی، بذرهای پرمحصول و حشره‌کش‌ها دستخوش تغییر و تحولات عمده‌ای شده‌اند. وقوع این تحولات سبب تغییر جریان انرژی در بخش کشاورزی و وابستگی بیش‌تر این بخش به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به سوخت‌های فسیلی و سایر انرژی‌ها شده است. بنابراین، لازم است وضعیت مصرف نهاده‌ها و انرژی برای نظام‌های کاشت از نظر بهینه‌بودن مصرف مورد مقایسه قرار گیرد. از این‌رو، هدف از این پژوهش مقایسه و ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در مزارع تولید گندم تحت مدیریت رایج و بهبودیافته بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

استان مازندران در عرض جغرافیایی 35 درجه و 47 دقیقه تا 36 درجه و 35 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 50 درجه و 34 دقیقه تا 54 درجه و 10 دقیقه شرقی قرار دارد. این تحقیق در شرایط آب و هوایی معتدل خزری انجام شد که جلگه‌های مرکزی استان تا کوهپایه‌های شمالی البرز را شامل می‌شود. میانگین بارندگی سالیانه در منطقه برابر با 977 میلی‌متر است. نمونه‌برداری خاک قبل از کاشت از عمق صفر تا 30 سانتی‌متر انجام شد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول 1 ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

قلمرو مکانی این تحقیق واقع در شهرستان‌های جویبار (روش کاشت رایج اول در منطقه ساحلی)، ساری (روش کاشت رایج دوم در منطقه کوهستانی) و قائم‌شهر (روش کاشت رایج سوم در منطقه دشت) بود. روش‌های کاشت رایج در شرایط مدیریت زراعی متغیر با وضعیت توپوگرافیک، خاک و موقعیت جغرافیایی متفاوت اجرا شده‌اند که جزئیات مربوط به آن در جدول 1 و 2 ارائه شده است. با توجه به روش تحقیق، جامعه مذکور از طریق روش‌های علمی و آماری مورد بررسی قرار گیرد (Rajabi et al., 2012). در این تحقیق سعی شده است با انتخاب برای انجام این تحقیق ابتدا شش مزرعه کاشت رایج گندم برای هر شهرستان در سال زراعی 94-1393 انتخاب شده‌اند. سپس، با روش کاشت بهبودیافته (طراحی شده توسط محققان) مقایسه شده‌اند. عملیات زراعی (کاشت، داشت و برداشت) روش

بهبودیافته توسط محققان در قالب یک آزمایش زراعی با چهار تکرار در منطقه دشت انجام شد که هدف اصلی ارزیابی و مقایسه روش بهبودیافته با کاشت رایج گندم توسط کشاورزان در منطقه بود. نحوه شناسایی مزارع در روش کاشت رایج به شکلی بود که کلیه روش‌های عمده تولید را در هر شهرستان پوشش دهد. سپس، ویژگی‌های مزارع و اطلاعات تکمیلی مربوط به آنها جمع‌آوری و ثبت شده است.

جدول 1- ویژگی‌های خاک در مزارع تولید گندم تحت شرایط متفاوت خاک

Table 1- Soil properties in wheat production under different soil conditions

بخش Item		بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	ماده آلی (%) Organic matter (%)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)
روش کاشت رایج 1 Conventional method I	مزرعه 1 Field 1	لومی رسی Clay loam	0.64	7.73	1.92	8.2	160
	مزرعه 2 Field 2	شنی لوم رسی Clay loam silt	1.01	7.63	2.04	15.8	174
	مزرعه 3 Field 3	لومی رسی لومی Loam clay loam	0.51	7.76	1.41	15.4	197
	مزرعه 4 Field 4	لومی رسی سیلتی Silt clay loam	0.45	7.63	1.66	9.2	246
	مزرعه 5 Field 5	لومی رسی لومی Loam clay loam	0.35	7.72	2.11	19.5	401
	مزرعه 6 Field 6	لومی Loam	1.40	7.6	4.23	10.5	464
روش کاشت رایج 2 Conventional method II	مزرعه 1 Field 1	لومی سیلت Silt loam	0.61	7.62	2.04	13.1	391
	مزرعه 2 Field 2	رسی Clay	0.55	7.71	1.34	5.6	234
	مزرعه 3 Field 3	شنی رسی Clay silt	1.46	7.68	1.81	10.1	219
	مزرعه 4 Field 4	سیلتی رسی Clay silt	0.56	6.55	2.61	11.3	220
	مزرعه 5 Field 5	رسی Clay	0.52	7.46	2.11	16.3	452
	مزرعه 6 Field 6	لومی رسی Clay loam	0.50	7.54	2.36	19.9	490
روش کاشت رایج 3 Conventional method III	مزرعه 1 Field 1	لومی رسی Clay loam	0.44	7.75	1.72	6.9	197
	مزرعه 2 Field 2	رسی Clay	0.51	7.66	2.04	5.5	238
	مزرعه 3 Field 3	لومی رسی سیلتی Silt clay loam	0.52	7.65	2.56	6.1	246
	مزرعه 4 Field 4	لومی رسی Clay loam	0.39	7.77	1.41	11.4	145
	مزرعه 5 Field 5	لومی رسی Clay loam	0.47	7.72	1.53	12	160
	مزرعه 6 Field 6	رسی Clay	0.53	7.40	1.15	4.9	167
روش بهبودیافته Improved method		رسی سیلتی Silt clay	0.66	7.65	2.87	7.2	221

جدول ۲- تشریح مدیریت مزرعه در کشت رایج و بهبودیافته گندم

Table 2- Description of field management of improved and conventional planting of wheat

بخش Item		موقعیت جغرافیایی Geographical coordinate	مساحت مزرعه (متر مربع) Field area (m^2)	کشت قبلی Previous crop	رقم Cultivar	تاریخ شخم Plow time	تاریخ کاشت Sowing time	کود پایه Basal fertilizer	سرک ۱ Top dressing 1	سرک ۲ Top dressing 2	برداشت Harvest
روش متداول I Conventional method I	مزرعه ۱ Field 1	36°36'13.37" N 52°53'8.65"E	30000	گندم Wheat	زاگرس و مروارید Zagros and Morvarid	۱۴ مرداد 4 August	۵ آذر 25 November	۴ آذر 24 November	۵ اسفند 23 Febraury	۲۸ اسفند 18 March	۱ تیر 21 June
	مزرعه ۲ Field 2	34°40'58.81" N 52°55'19.26"E	10000	سویا Soybean	مروارید Morvarid	۳ آذر 23 Nov.	۶ آذر 26 November	۶ آذر 26 November	۲۲ بهمن 10 Febraury	۶ اسفند 24 Febraury	۲۹ خرداد 18 June
	مزرعه ۳ Field 3	36°35'0.35" N 52°53'54-.71"E	17000	گندم Wheat	میلان Milan	۱۵ مرداد 6 August	۳ آذر 23 November	۳ آذر 23 November	۵ اسفند 23 Febraury	۲۳ اسفند 12 March	۳۱ خرداد 10 June
	مزرعه ۴ Field 4	36°35'32.94" N 52°51'50.77"E	50000	سویا Soybean	مروارید Morvarid	۹ و ۱۰ دی 29,30 December	۱۲ آذر 2 December	۱۲ آذر 2 December	۲۱ اسفند 11 March	۳۱ فروردین 19 April	۲۹ خرداد 18 June
	مزرعه ۵ Field 5	36°35'9.10" N 52°54'39.63"E	15000	گندم Wheat	لاین N-80-19	۱۲ آبان 2 November	۱۹ آبان 9 November	۱۹ آبان 9 November	۹ بهمن 28 January	۶ فروردین 25 March	۲۸ خرداد 17 June
	مزرعه ۶ Field 6	36°40'58.75" N 52°52'28.07"E	20000	گندم Wheat	لاین N-87-20	-	۱۵ آبان 5 November	۱۵ آبان 5 November	۷ اسفند 25 Febraury	-	۲۹ خرداد 18 June
روش متداول II Conventional method II	مزرعه ۱ Field 1	36°45'13.79" N 53°9'2.2"E	28000	سویا Soybean	میلان Milan	۱۲ آبان 2 November	۱۲ آبان 2 November	۱۲ آبان 2 November	۲۸ بهمن 16 Febraury	۲۶ اسفند 16 March	۳۰ خرداد 9 June
	مزرعه ۲ Field 2	36°20'24.06" N 53°7'15.93"E	20000	کلزا Canola	مروارید Morvarid	۵ مهر 26 September	۴ آذر 24 November.	۳ آذر 23 November	۳۰ فروردین 8 April	-	۲۷ خرداد 16 June
	مزرعه ۳ Field 3	36°44'44.16" N 53°5'12.85"E	20000	سویا Soybean	مروارید Morvarid	۳۰ آبان 20 November	۴ آذر 24 November.	۲ آذر 22 November	۲۳ اسفند 13 March	۳۳ فروردین 11 April	۳۰ خرداد 19 June
	مزرعه ۴ Field 4	36°18'11.80" N 53°19'58.81"E	12000	گندم Wheat	شانگهای Shanghai	۲۵ آبان 15 November	۱۰ آذر 30 November	۱۰ آذر 30 November	۱۱ اسفند 1 March	۵ فروردین 24 March	۲ تیر 22 June
	مزرعه ۵ Field 5	36°20'33.54" N 53°10'16.28"E	10000	توتون Tobacco	لاین N-80-19	۱ آذر 21 November	۶ آذر 26 November	۶ آذر 26 November	۲۷ اسفند 18 March	۱۷ فروردین 5 April	۲۰ خرداد 9 June
	مزرعه ۶ Field 6	36°9'45.647" N 53°14'3'59.01"E	25000	گندم Wheat	مروارید Morvarid	۱۰ شهریور 31 August	۱ آذر 21 November	۱ آذر 21 November	۲۱ اسفند 11 March	۲ تیر 22 June	۲ تیر 22 June
روش متداول III Conventional method III	مزرعه ۱ Field 1	36°33'37.63" N 52°5'45.4"E	18000	سویا Soybean	مروارید Morvarid	۴ آذر 24 November	۴ آذر 24 November	۴ آذر 24 November	۲۴ دی 13 January	۷ اسفند 25 Febraury	۲۰ خرداد 9 June
	مزرعه ۲ Field 2	36°31'44.02" N 52°55'4'13.39"E	12000	گندم Wheat	میلان Milan	۵ آبان 26 October	۱۵ آبان 5 November	۱۵ آبان 5 November	۱۵ اسفند 5 March	-	۱۸ خرداد 7 June
	مزرعه ۳ Field 3	36°30'42.16" N 52°53'45.79"E	7000	گندم Wheat	مروارید Morvarid	۳ آبان 24 October	۸ آذر 28 November	۸ آبان 29 October	-	-	۲۱ خرداد 11 June
	مزرعه ۴ Field 4	36°32'6.22" N 52°54'45.74"E	7000	گندم Wheat	میلان Milan	۲۵ شهریور 15 September	۱۸ آذر 8 December	۱۸ آبان 8 November	۱ بهمن 20 January	۱ اسفند 19 Febraury	۱۶ خرداد 5 June
	مزرعه ۵ Field 5	36°30'37.82" N 52°58'23.65"E	10000	گندم Wheat	میلان Milan	۱۵ شهریور 5 September	۲ آذر 22 November	۲ آذر 22 November	۵ اسفند 23 Febraury	-	۱۸ خرداد 7 June
	مزرعه ۶ Field 6	36°29'23.63" N 52°58'45.67"E	20000	گندم Wheat	شانگهای Shanghai	۱۷ مهر 8 October	۱۵ آبان 5 November	۱۵ آبان 5 November	۱ اسفند 19 Febraury	-	۲۷ خرداد 16 June
روش بهبودیافته Improved method		36°35'52.64" N 52°52'27.34"E	8400	گندم Wheat	میلان و مروارید Milan and Morvarid	-	۲۷ آبان 17 November	۲۷ آبان 17 November	۲۷ بهمن 15 Febraury	۱۹ اسفند 12 Mar.	۲۹ خرداد 18 June

کلیه اقدامات مدیریتی مزارع انتخاب شده تحت نظارت مهندسان کشاورزی قرار داشتند. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از مزارع، ابتدا کلیه اعمال زراعی به هشت بخش تهیه زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل و نقل به کارخانه تفکیک شد. سپس، با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان

ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) در مزارع از طریق مصاحبه رودررو با 18 کشاورز با نظارت ناظرین جمع‌آوری و ثبت شد.

در روش کاشت بهبودیافته محققان به دنبال کاهش مصرف نهاده‌ها و خسارت زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری و مقایسه آن با روش رایج کاشت گندم در منطقه بودند. ویژگی‌های مزارع انتخابی در شهرستان‌های مختلف و اطلاعات تکمیلی مربوط به آن‌ها در روش‌های تولید گندم به همراه روش کاشت بهبودیافته در جدول 2 ارائه شده است. متغیرهای مورد بررسی در روش کاشت بهبودیافته به‌صورت زیر بود.

روش کاشت بهبودیافته: عملیات آماده‌سازی زمین فقط یک‌بار با دیسک و توسط تراکتور مسی فرگوسن 285 انجام شد. عملیات کاشت با مصرف 200 کیلوگرم بذر در هکتار تنها با دیسک دوم انجام شده است. نوع بذر مصرفی از ارقام میلان و مروارید بود. آبیاری در این روش کاشت به‌صورت دیم بود. کودهای شیمیایی NPK از منابع اوره (200 کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (50 کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (50 کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. کودهای فسفر و پتاسیم به‌صورت پایه مصرف شدند. کود نیتروژن در سه مرحله ابتدای کاشت (پایه)، پنجه‌دهی و گلدهی مصرف شد. برای کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ یک مرحله از علف‌کش تاپیک به‌مقدار یک لیتر در هکتار و برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ یک مرحله با گرانستار به مقدار 25 گرم در هکتار استفاده شد. مبارزه با آفات و بیماری‌ها در این روش کاشت به‌دلیل عدم شیوع آفات و بیماری انجام نشد. سایر عملیات زراعی طبق عرف منطقه انجام شد. همچنین، عملیات برداشت نیز به‌صورت مکانیزه و توسط کمباین انجام شد.

کلیه عملیات‌های مدیریتی انجام شده از مرحله شخم اولیه تا برداشت از طریق مطالعات میدانی ثبت شد. به‌طوری‌که شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در مزارع در هر یک از مراحل تهیه بستر بذر، کاشت، داشت و برداشت مشخص شد. کلیه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر (تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، زمان کاشت، کود (میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسایل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی برداشت شده ثبت شده است. برای تخمین مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن، مزارع مورد مطالعه در هر شهرستان به همراه روش کاشت بهبودیافته در مجموع به‌عنوان چهار روش کاشت بررسی شدند.

تمامی اطلاعات مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم در مساحت آزمایش اجرا شده ثبت و جمع‌آوری شدند. برای برآورد مصرف انرژی، میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین گردید. برای ارزیابی انرژی ورودی (مصرفی)، همه ورودی‌ها در هنگام اجرای عملیات زراعی با استفاده از معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) معادل‌سازی شد (جدول 3). سپس، مقدار انرژی ورودی برای هر نهاده و عملیات محاسبه شد (Singh et al., 2007; Soltani et al., 2013).

انرژی استفاده از ماشین‌ها شامل ساخت و نگهداری و انتقال آن‌ها به مزارع می‌باشد. به منظور محاسبه این انرژی ورودی از معادله‌های 1 و 2 استفاده (Rajabi et al., 2012):

$$TE = UEH * t \quad \text{معادله (1)}$$

$$UEH = (UEW * W) / ULT \quad \text{معادله (2)}$$

در معادله‌های 1 و 2، TE: انرژی حاصل از استفاده از ماشین (مگاژول در هکتار)؛ UEH: انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌ها برای انجام عملیات زراعی بر حسب (مگاژول در ساعت)؛ t: مدت زمان کاربرد ماشین (ساعت در هکتار)؛ UEW: انرژی مورد نیاز برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین بر حسب مگاژول بر کیلوگرم؛ W: وزن ماشین بر حسب کیلوگرم؛ ULT: عمر مفید ماشین‌ها بر حسب ساعت است.

عملکرد دانه و کاه و کلش با برداشت بوته‌ها بر اساس رطوبت 12 درصد اندازه‌گیری شد. میزان خالص خروجی کاه و کلش از مزارع با احتساب این‌که 25 درصد از کاه و کلش در مزارع باقی می‌ماند، محاسبه شد. بدین ترتیب میزان انرژی موجود در کاه و کلش خالص از حاصل‌ضرب کل خروجی کاه و کلش در عدد 0/75 و ضریب تبدیل انرژی کاه گندم (9/25 مگاژول بر کیلوگرم) بر حسب مگاژول در هکتار محاسبه شد. برای تعیین انرژی خروجی (تولیدی) به‌دست آمده از دانه نیز با استفاده از معادل‌های انرژی (ضرایب تبدیل) استخراج شده مربوط به دانه گندم معادل‌سازی گردید (جدول 3). سپس، مقدار کل انرژی ورودی و خروجی آن‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شد (Singh et al., 2007; Soltani et al., 2013). آب مصرفی کلیه مزارع مورد مطالعه در روش کاشت رایج و بهبودیافته به صورت دیم تأمین شد که مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف

الکتریسیته مربوط به این بخش صفر در نظر گرفته شد. با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی، شکل‌های مختلف مصرف انرژی مشخص شدند که انرژی مستقیم شامل سوخت و نیروی کار می‌باشد. انرژی غیرمستقیم شامل بذر، کود، سموم و ماشین‌آلات است. همچنین، انرژی تجدیدپذیر شامل نیروی کار و بذر می‌باشد. انرژی تجدیدناپذیر نیز شامل سوخت، کود و سموم شیمیایی و ماشین‌آلات کشاورزی است (Hatirli et al., 2006; Jarvis, 2000; Mandal et al., 2002; Mirin et al., 2001).

جدول 3- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در تولید گندم

Table 3- Energy content of inputs and outputs in wheat production

ورودی‌ها / خروجی‌ها Inputs / Outputs	واحد مصرف Unit	معادل انرژی (مگاژول در واحد) Energy equivalent ($MJ.unit^{-1}$)	منبع Reference
نیروی انسانی Human labor	h	1.96	Johnson et al., 2007
بذر Seed	kg	15.7	Canakci et al., 2005; Ozkan et al., 2004
ادوات و ماشین‌آلات [a] Machinery	h	62.7	Canakci et al., 2005
نیتروژن N fertilizer	kg N	60.6	Ozkan et al., 2004; Akcaoz et al., 2009
فسفر P fertilizer	kg P_2O_5	11.1	Ozkan et al., 2004; Akcaoz et al., 2009
پتاسیم K fertilizer	kg K_2O	6.7	Ozkan et al., 2004; Akcaoz et al., 2009
سوخت دیزل Diesel fuel	L	38	Anonymous, 2008
نیروی برق Electricity	kWh	12.1	Kaltsas et al., 2007
حشره‌کش Insecticide	kg a.i.b	237	Rathke and Diepenbrock, 2006; Tzilivakis et al., 2005a
قارچ‌کش Fungicide	kg a.i.	99	Strapatsa et al., 2001
علف‌کش Herbicide	kg a.i.	287	Rathke and Diepenbrock, 2006; Tzilivakis et al., 2005a
دانه Grain	kg	14.7	Tipi et al., 2009; Singh et al., 2003
کاه و کلش Straw	kg	9.25	Tabatabaeefar et al., 2009

a: این انرژی شامل ساخت، تعمیرات، نگهداری و حمل و نقل است.

[a]: Includes energy required for manufacture, repair and maintenance and transportation of machines.

[b]: a. i. represents active ingredient

b: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره است.

شاخص‌های ارزیابی انرژی از قبیل نسبت یا کارایی انرژی[1]، بهره‌وری انرژی[2]، انرژی ویژه[3] و عملکرد خالص انرژی[4] برای هر روش کاشت محاسبه شده‌اند (Soltani et al., 2013). شایان ذکر است که شاخص‌های توصیف شده به‌منظور ارزیابی رابطه بین کل انرژی ورودی و خروجی در هر هکتار تعیین شده‌اند که بسته به نوع محصول، نوع خاک، ماهیت عملیات خاک‌ورزی برای آماده‌سازی بستر بذر، نوع و میزان کودهای شیمیایی و دامی، عملیات داشت، برداشت و در نهایت سطوح عملکرد تغییر می‌کنند (Soltani et al., 2013). معادلات شاخص‌های انرژی به شرح ذیل است:

1- Energy ratio
2- Energy productivity
3- Specific energy
4- Net energy yield

معادله (3) $ER = EO / EI$

که در آن، ER: نسبت یا کارایی انرژی بوده و عددی بودن واحد است. EO: مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه است.

معادله (4) $EP = PY / EY$

که در آن، EP: بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، PY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است.

معادله (5) $SE = EI / PY$

که در آن، SE: انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و PY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) است.

معادله (6) $NEY = EO - EI$

که در آن، NEY: عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، EO: مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) است.

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، از حاصل‌ضرب میزان انرژی مصرفی و ضرایب تبدیل مربوطه محاسبه شد (جدول 4). عامل تبدیل 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 بهبودیافته و رایج به‌ترتیب برابر 0/0243 و 0/0277 کیلوگرم CO_2 در مگاژول در نظر گرفته شد (IPCC, 2007a,d; Anonymous, 2011).

جدول 4- عوامل تبدیل مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن در تولید گندم

Table 4- Conversion factor for CO_2 emission in wheat production

Item	بخش	عامل تبدیل (کیلوگرم CO_2 بر مگاژول) Conversion factor (kg CO_2/MJ)	Reference	منبع
Machinery	ادوات و ماشین‌آلات	0.1251	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	
Diesel fuel	سوخت دیزل	0.0780	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	
Electricity	نیروی برق	0.1453	Anonymous, 2008b; IEA, 2012	
N fertilizer	نیتروژن	0.0728	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	
P fertilizer	فسفر	0.0826	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	
K fertilizer	پتاسیم	0.0806	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	
Pesticide	آفت‌کش	0.1030	Anonymous, 2011; Anonymous, 2008a; IPCC, 2007a,b,c	

پس از محاسبه GWP کل، برای تخمین انتشار دی‌اکسید کربن در واحد سطح (کیلوگرم CO_2 در هکتار)، در واحد وزن (کیلوگرم CO_2 در تن دانه)، 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). داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد. رسم جداول و شکل‌ها نیز با نرم‌افزار Excel انجام شده است.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل انرژی‌های ورودی و خروجی: مطابق یافته‌های جدول 5، میانگین کل انرژی ورودی در چهار روش کاشت برابر 11811/61 مگاژول در هکتار بود. کم‌ترین میزان انرژی ورودی در

روش کاشت بهبودیافته برابر 11169/72 مگاژول در هکتار حاصل شد که روش کاشت رایج دوم و سوم با اختلاف جزیی (به‌ترتیب برابر 11261/26 و 11262/21 مگاژول در هکتار) در رتبه‌های بالاتر قرار گرفتند. روش کاشت رایج اول که روش کاشت رایج منطقه در شهرستان جویبار می‌باشد با اختلاف معنی‌دار و قابل توجهی در رتبه اول قرار گرفت که انرژی ورودی برابر 13553/25 مگاژول در هکتار بود. این نتایج نشان می‌دهد که کشاورزان این منطقه ورودی بیشتر به مزرعه وارد می‌کنند. با مقایسه ورودی‌ها در چهار روش کاشت مشاهده می‌شود که انرژی مصرفی مربوط به نیتروژن با میانگین کل 4492/14 مگاژول در هکتار (38/03 درصد) در رتبه اول قرار گرفت که بیشترین میزان آن مربوط به روش کاشت بهبودیافته با 49/91 درصد (5575/2 مگاژول در هکتار) و روش کاشت رایج اول با 39/53 درصد (5358/2 مگاژول در هکتار) بود. روش کاشت رایج دوم و سوم به‌ترتیب با 31/63 و 30/84 درصد ورودی نیتروژن (به‌ترتیب 3561/87 و 3473/29 مگاژول در هکتار) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول 5).

بعد از انرژی ورودی نیتروژن، انرژی سوخت (4492/14 مگاژول در هکتار و 38/03 درصد) و بذر (3045/75 مگاژول در هکتار و 25/79 درصد) بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. از نظر انرژی سوخت روش کاشت رایج سوم با 34/97 درصد از کل در رتبه اول و روش بهبودیافته با 17/82 درصد از کل در رتبه آخر قرار گرفتند. روش کاشت رایج دوم و سوم با 28/77 و 28/86 درصد سوخت مصرفی در رتبه دوم و سوم مشاهده شدند. با مقایسه چهار روش کاشت از نظر بذر مصرفی مشاهده می‌شود که مزارع مربوط به روش کاشت رایج اول با مصرف 2820/6 مگاژول انرژی (21/81 درصد) کمترین میزان را به خود اختصاص داد و روش رایج سوم با 2862/58 مگاژول در هکتار قبل از آن قرار گرفت. روش رایج دوم و بهبودیافته با مصرف 3359/8 و 3140 مگاژول در هکتار (به‌ترتیب 29/84 و 28/11 درصد) بیشترین میزان را نشان دادند (جدول 5).

یافته‌ها نشان می‌دهد که در منطقه بیشترین نهاده مصرفی و انرژی ورودی آن مربوط به کود شیمیایی نیتروژن، سوخت و بذر مصرفی است. کشاورزان در روش کاشت رایج منطقه برای تقویت مزرعه از مقادیر بسیار زیاد کودهای شیمیایی و به شیوه‌ای نادرست استفاده می‌کنند و به مواد آلی و منابع زیستی توجه ندارند (جدول 5).

سایر نهاده‌ها و ورودی‌ها در مزارع مورد مطالعه در روش‌های مختلف مقادیر قابل توجهی را نشان ندادند. در روش کاشت رایج کمترین ورودی‌ها مربوط به مصرف سموم شیمیایی بود که در اکثر مزارع مورد مطالعه آفت‌کش مصرف نشد. انرژی ورودی مربوط به ادوات و ماشین‌آلات با میانگین 511/25 مگاژول در هکتار و 4/33 درصد از کل در رتبه چهارم قرار گرفت که در روش رایج اول و سوم بالاتر از کاشت رایج دوم و روش بهبودیافته بود. علاوه بر این، انرژی ورودی مربوط به فسفر و پتاسیم با میانگین 462/12 و 165/09 مگاژول در هکتار به‌ترتیب 3/91 و 1/4 درصد از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول 5).

میانگین کل انرژی تولید در چهار روش کاشت برابر 172041/8 مگاژول در هکتار بود که 35/63 درصد از آن مربوط به تولید دانه (61301/78 مگاژول در هکتار) و 64/37 درصد از آن مربوط به کاه و کلش (110740 مگاژول در هکتار) بود. بیشترین انرژی تولیدی در روش کاشت بهبودیافته (187081/3 مگاژول در هکتار) به‌دست آمد که 36/34 درصد از آن مربوط به دانه (67987/5 مگاژول در هکتار) و 63/66 درصد مربوط به کاه و کلش 119093/75 مگاژول در هکتار بود. کاشت رایج اول با 180820 مگاژول انرژی خروجی در رتبه دوم قرار گرفت که شامل 369/68 درصد دانه (71747/1 مگاژول در هکتار) و 60/32 درصد کاه و کلش (109072/9 مگاژول در هکتار) بود. مزارع مربوط به روش رایج دوم و سوم به‌ترتیب با 150921/3 و 169344/6 مگاژول در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. دلیل اصلی اختلافات مشاهده شده در میزان انرژی ورودی و خروجی، تفاوت در اعمال مدیریت و میزان مصرف نهاده‌ها و شرایط متفاوت ادافیکی و خاکی می‌باشد (جدول 5).

سهم انواع انرژی‌های ورودی

در رابطه با شکل‌های مختلف انرژی یافته‌های جدول 6 نشان می‌دهد که میانگین کل انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم در چهار روش کاشت به‌ترتیب برابر 3295/09 و 8516/52 مگاژول در هکتار بود. بیش‌ترین میزان انرژی مستقیم مصرفی مربوط به روش‌های کاشت رایج سوم و اول به‌ترتیب 3968/91 و 3924/35 مگاژول در هکتار (35/24 و 28/96 درصد) بود. روش کاشت رایج دوم با 29/04 درصد در رتبه سوم و روش بهبودیافته با 18/06 درصد در رتبه آخر قرار گرفت. مطابق یافته‌های جدول 6، روش کاشت رایج اول و روش بهبودیافته بالاترین میزان انرژی ورودی غیرمستقیم برابر 71/04 و 81/94 درصد را به خود اختصاص دادند.

جدول ۵- بیلان انرژی ورودی و خروجی (مگاژول در هکتار) در مزارع تولید گندم

Table 5- Energy balance (MJ.ha^{-1}) for each wheat production field

Item	بخش	Planting method						روش کاشت		میانگین	اشتباه معیار	درصد از کل
		I	سهم (٪) Share (%)	II	سهم (٪) Share (%)	III	سهم (٪) Share (%)	IV*	سهم (٪) Share (%)	Mean	Standard error	Share (%)
Inputs	**ورودی‌ها**											
Seed	بذر	2820.6	21.81	3359.8	29.84	2862.58	25.42	3140	28.11	3045.75	126.41	25.79
Labor	نیروی انسانی	24.65	0.18	20.09	0.18	30.97	0.27	26.42	0.24	25.53	2.25	0.22
Machinery	ادوات و ماشین‌آلات	614.8	4.54	462.73	4.11	600.67	5.33	366.80	3.28	511.25	59.12	4.33
Fuel	سوخت	3899.7	28.77	3250.14	28.86	3937.94	34.97	1990.44	17.82	3069.56	645.94	25.99
Chemical fertilizer	کود شیمیایی											
N	نیتروژن خالص	5358.2	39.53	3561.87	31.63	3473.29	30.84	5575.2	49.91	4492.14	564.69	38.03
P_2O_5	فسفر خالص	557.4	4.11	455.67	4.05	324.79	2.88	510.6	4.57	462.12	50.27	3.91
K_2O	پتاسیم خالص	191.3	1.41	124.82	1.11	9.25	0.08	335	3	165.09	67.99	1.40
Pesticide	آفت‌کش											
Herbicide (a.i.)	علف‌کش (ماده مؤثره)	32.7	0.24	19.23	0.17	22.72	0.20	25.26	0.23	24.98	2.86	0.21
Fungicide (a.i.)	قارچ‌کش (ماده مؤثره)	9.5	0.07	0	0	0	0	0	0	2.38	2.38	0.02
Insecticide (a.i.)	حشره‌کش (ماده مؤثره)	44.4	0.33	6.91	0.06	0	0	0	0	12.83	10.65	0.11
Total energy	**کل انرژی ورودی**	13553.25	100	11261.26	100	11262.21	100	11169.72	100	11811.61	580.95	100
Outputs	**خروجی‌ها**											
Grain	دانه	71747.1	39.68	47101.25	31.21	58371.25	34.47	67987.5	36.34	61301.78	5507.92	35.63
Straw	کاه و کلش	109072.9	60.32	103820	68.79	110973.3	65.53	119093.75	63.66	110740	3168.93	64.37
Total energy	**کل انرژی خروجی**	180820	100	150921.3	100	169344.6	100	187081.3	100	172041.8	28936.55	100

* روش کاشت چهار همان کشت بهبودیافته است. روش‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب روش‌های کاشت رایج در شهرستان‌های جویبار، ساری و قائمشهر است.

* Cultivatio method IV is improved planting method. Cultivation I, II, and III are conventional method in Jouybar, Sari and Ghaemshahr, respectively.

*: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره می‌باشد.

* a. i. represents active ingredient.

جدول ٦- مقایسه انواع انرژی ورودی و خروجی و شاخص‌های انرژی در مزارع تولید گندم

Table 6- Energy types and indices for each wheat production field

شاخص‌ها Indices	Planting method روش کاشت I	سهم (٪) Share (%)	II	سهم (٪) Share (%)	III	سهم (٪) Share (%)	IV*	سهم (٪) Share (%)	میانگین Mean	Share (%)	اشتباه معیار Standard error
ورودی‌ها Inputs											
مستقیم (مگاژول در هکتار) Direct (MJ.ha^{-1})	3924.35	28.96	3270.23	29.04	3968.91	35.24	2016.86	18.06	3295.09	27.90	455.02
غیرمستقیم (مگاژول در هکتار) Indirect (MJ.ha^{-1})	9628.9	71.04	7991.03	70.96	7293.3	64.76	9152.86	81.94	8516.52	72.10	533.44
تجدیدپذیر (مگاژول در هکتار) Renewable (MJ.ha^{-1})	2845.25	20.99	3379.89	30.01	2893.55	25.69	3166.42	28.35	3071.28	26.00	124.82
تجدیدناپذیر (مگاژول در هکتار) Non-renewable (MJ.ha^{-1})	10708	79.01	7881.37	69.99	8368.66	74.31	8003.3	71.65	8740.33	74.00	664.01
کل انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) Total energy (MJ.ha^{-1})	13553.25	100	11261.26	100	11262.21	100	11169.72	100	11811.61	100	580.95

خروجی‌ها Outputs	روش رایج ۱ Conventional method I	روش رایج ۲ Conventional method II	روش رایج ۳ Conventional method III	روش بهبودیافته Improved method	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha^{-1})	5796.8	3204.2	3970.8	4625	4399.2	548.92
عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار) Straw yield (kg.ha^{-1})	11791.7	11187.5	11958.3	12875	11953.13	349.06
انرژی خروجی دانه (مگاژول در هکتار) Grain energy (MJ.ha^{-1})	71747.1	47101.25	58371.25	67987.5	61301.78	5507.92
انرژی خروجی کاه و کلش (مگاژول در هکتار) Straw energy (MJ.ha^{-1})	109072.9	103820	110973.3	119093.75	110740	3168.93
کل انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) Total energy (MJ.ha^{-1})	180820	150921.3	169344.6	187081.3	172041.8	7940.37
نسبت انرژی (مگاژول در هکتار) Output/input ratio (MJ.ha^{-1})	13.34	13.40	15.04	16.75	14.57	0.81
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy productivity (kg.MJ^{-1})	0.43	0.28	0.35	0.41	0.37	0.03
انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy (MJ.kg^{-1})	2.34	3.51	2.84	2.42	2.68	0.27
انرژی خالص (مگاژول در هکتار) Net energy ratio (MJ.ha^{-1})	167266.75	139660.04	158082.39	175911.58	160230.19	7762.96

* روش کاشت ۴ همان کشت بهبودیافته است. روش‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب روش‌های کاشت رایج در شهرستان‌های جویبار، ساری و قائمشهر است.

* Cultivatio method IV is improved planting method. Cultivation I, II, and III are conventional method in Jouybar, Sari and Ghaemshahr, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین انواع انرژی ورودی در مزارع تولید گندم به روش برش‌دهی متقابل

Table 7. Mean comparision of input energy types and indices for each wheat production field by interaction slice

Item	بخش	انرژی مستقیم (مگاژول در هکتار) Direct (MJ.ha^{-1})	انرژی غیرمستقیم (مگاژول در هکتار) Indirect (MJ.ha^{-1})	انرژی تجدیدپذیر (مگاژول در هکتار) Renewable (MJ.ha^{-1})	انرژی تجدیدناپذیر (مگاژول در هکتار) Non-renewable (MJ.ha^{-1})	کل انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) Total energy (MJ.ha^{-1})
روش کاشت رایج ۱ Conventional method I	مزرعه ۱ Field 1	4621.52^{a*}	9168.07^{b}	3995.62^{a}	9793.97^{b}	13789.59^{b}
	مزرعه ۲ Field 2	3636.77^{bc}	14813.24^{a}	3166.77^{b}	15283.24^{a}	18450.01^{a}
	مزرعه ۳ Field 3	3593.86^{bc}	7370.41^{bc}	2780.66^{c}	8183.61^{b}	10964.27^{c}
	مزرعه ۴ Field 4	4504.03^{a}	9863.61^{b}	3796.03^{a}	10571.61^{ab}	14367.64^{b}
	مزرعه ۵ Field 5	3800.96^{b}	9730.09^{b}	3166.46^{b}	10364.59^{ab}	13531.05^{b}
	مزرعه ۶ Field 6	3388.48^{c}	4657.83^{c}	3165.48^{b}	4881.15^{c}	8046.63^{d}
روش کاشت رایج ۲ Conventional method II	مزرعه ۱ Field 1	2513.44^{c}	15251.73^{a}	3389.94^{ab}	14375.23^{a}	17765.17^{a}
	مزرعه ۲ Field 2	3286.62^{b}	5606.11^{c}	3158.62^{b}	5734.11^{cd}	8892.73^{c}
	مزرعه ۳ Field 3	3826.24^{a}	10269.62^{b}	3470.74^{ab}	10625.12^{b}	14095.86^{b}
	مزرعه ۴ Field 4	3283.59^{b}	5955.48^{c}	3947.05^{a}	5292.02^{d}	9239.07^{c}
	مزرعه ۵ Field 5	3254.01^{b}	6731.62^{c}	3164.01^{b}	6821.62^{c}	9985.63^{c}
	مزرعه ۶ Field 6	3459.42^{ab}	4130.81^{d}	3149.02^{b}	4441.21^{e}	7590.23^{d}
روش کاشت رایج ۳ Conventional method III	مزرعه ۱ Field 1	4049.06^{ab}	3749.88^{b}	2850.73^{ab}	4948.21^{c}	7798.94^{d}
	مزرعه ۲ Field 2	3489.09^{b}	6200.38^{ab}	2654.11^{b}	7035.36^{bc}	9689.47^{c}
	مزرعه ۳ Field 3	3988.75^{ab}	6326.48^{ab}	3385.91^{a}	6929.32^{bc}	10315.23^{bc}
	مزرعه ۴ Field 4	3776.45^{ab}	10761.84^{a}	2273.54^{c}	12264.75^{a}	14538.29^{a}
	مزرعه ۵ Field 5	4936.79^{a}	9608.28^{a}	2860.79^{ab}	11684.28^{a}	14545.07^{a}
	مزرعه ۶ Field 6	3573.69^{b}	7688.52^{ab}	3336.69^{a}	7925.52^{b}	11262.21^{b}
روش رایج ۱ Conventional method I		3924.35^{a}	9628.90^{a}	2845.25^{b}	10708^{a}	13553.25^{a}
روش رایج ۲ Conventional method II		3270.23^{ab}	7991.03^{b}	3379.89^{a}	7881.37^{b}	11261.26^{b}
روش رایج ۳ Conventional method III		3968.91^{a}	7293.30^{b}	2893.55^{b}	8368.66^{ab}	11262.21^{b}
روش بهبودیافته Improved method		2016.86^{b}	9152.86^{ab}	3166.42^{ab}	8003.3^{b}	11169.72^{b}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

*: Values within a column followed by same letter are not significantly different at Duncan ($P \leq 0.05$)

میزان انرژی ورودی غیرمستقیم برای روش رایج دوم و سوم برابر 7991/03 و 7293/3 مگاژول در هکتار به‌دست آمد (جدول 6). مقایسه میانگین انواع انرژی ورودی به تفکیک مزارع مورد مطالعه در روش‌های مختلف کاشت به روش برش‌دهی متقابل نشان داد که در روش کاشت رایج اول بیشترین انرژی مستقیم در مزرعه 1 و 4 مصرف شد. در روش رایج دوم و روش رایج سوم بیشترین انرژی ورودی مستقیم به‌ترتیب مربوط به مزارع 3 و 5 بود که دلیل اصلی آن نیز بالاتر بودن انرژی سوخت مصرفی می‌باشد (جدول 7). میانگین انرژی مصرفی مستقیم نیز در روش کاشت رایج سوم و اول حداکثر و در روش بهبودیافته حداقل بود. در روش کاشت رایج اول بیشترین انرژی غیرمستقیم مربوط به مزرعه 2 و کمترین میزان آن مربوط به مزرعه 6 بود که انرژی ورودی نیتروژن و بذر نقش مهمی را دارا بودند. در روش رایج 2 نیز بیشترین انرژی غیرمستقیم مربوط به مزرعه 2 و کمترین مقدار آن در مزرعه 6 مشاهده شد. همچنین، در روش کاشت رایج سوم بیشترین انرژی مصرفی غیرمستقیم در مزارع 4 و 5 و کمترین مقدار آن در مزرعه 1 به‌دست آمد. میانگین انرژی

ورودی غیرمستقیم نیز در روش کاشت رایج 1 حداکثر بود (جدول 7).

میانگین انرژی ورودی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در چهار روش کاشت به‌ترتیب 3071/28 و 8740/33 مگاژول در هکتار بود. در مقایسه انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر مشاهده شد که انرژی تجدیدپذیر برای روش کاشت رایج دوم و روش بهبودیافته (به‌ترتیب 3379/89 و 3166/42مگاژول در هکتار) بالاتر از روش کاشت رایج اول و سوم (2845/25 و 2893/55 مگاژول در هکتار) از کل انرژی مصرفی را شامل شد. کم‌ترین انرژی تجدیدناپذیر ورودی (7881/37 3166 مگاژول در هکتار) مربوط به کاشت رایج دوم و بیش‌ترین میزان انرژی تجدیدناپذیر ورودی برابر 10708مگاژول در هکتار مربوط به روش کاشت رایج اول بود. انرژی تجدیدناپذیر در کاشت رایج سوم و روش بهبودیافته نیز به‌ترتیب برابر 8368/66 و 8003/3 مگاژول در هکتار بود (جدول 6).

مقایسه میانگین انواع انرژی ورودی به تفکیک مزارع مورد مطالعه در روش‌های مختلف کاشت به روش برش‌دهی متقابل نشان داد که در روش کاشت رایج اول مزارع 1 و 3 بیشترین انرژی تجدیدپذیر را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار در مزرعه 3 مشاهده شد، ولی در روش رایج دوم بیشترین انرژی تجدیدپذیر مربوط به مزرعه 4 به‌دست آمد (جدول 7). در روش رایج سوم مزرعه 3 و 6 بیشترین انرژی تجدیدپذیر و مزرعه 4 کمترین مقدار را دارا بودند. مقایسه میانگین نشان داد که روش کاشت رایج دوم بیشترین انرژی تجدیدپذیر را به خود اختصاص داد. در این تحقیق، انرژی ورودی مربوط به بذر بیشترین سهم را در انرژی ورودی تجدیدپذیر دارا بود. بررسی انرژی تجدیدناپذیر در روش رایج اول نشان می‌دهد که مزرعه 2 بیشترین و مزرعه 6 کمترین مقدار را دارا بودند. ولی در روش رایج دوم مزرعه 1 بالاترین و مزرعه 4 کمترین مقدار را نشان داد. مقایسه میانگین انرژی تجدیدناپذیر در چهار روش کاشت نشان داد که روش کاشت رایج اول بالاترین و روش رایج دوم به همراه روش بهبودیافته کمترین میزان را دارا بودند (جدول 7). دلیل بالاتر و یا پایین‌تر بودن سهم انرژی تجدیدناپذیر در مزارع مختلف مربوط به متفاوت بودن میزان مصرف سوخت و کود شیمیایی و کارکرد ماشین‌آلات بود. کل انرژی ورودی در روش کاشت رایج اول و دوم در مزرعه 1 حداکثر و در مزرعه 6 حداقل بود. در روش رایج سوم کمترین انرژی ورودی مربوط به مزرعه 1 و بیشترین مقدار آن در مزرعه 4 و 5 به‌دست آمد. مقایسه میانگین روش‌های کاشت نیز نشان داد که روش کاشت رایج اول بیشترین انرژی ورودی را به خد اختصاص داد و سایر روش‌های کاشت در یک سطح قرار گرفتند (جدول 7). سهم انرژی ورودی غیرمستقیم و تجدیدناپذیر بالاتر از انرژی ورودی مستقیم و تجدیدپذیر بود. منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر عمدتاً سوخت‌های فسیلی می‌باشند و تکیه بر این منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که کشاورزی در ایران به‌میزان زیادی به انرژی‌های تجدیدناپذیر وابسته است (Beheshti et al., 2010). مصرف بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر سبب کاهش کارایی مصرف انرژی نظام‌های تولید خواهد شد. زیرا تولید مواد شیمیایی و استفاده از ماشین‌آلات به‌عنوان شاخص اصلی نظام‌های رایج نیازمند مصرف مقادیر زیادی انرژی است. در این تحقیق نسبت انرژی غیرمستقیم بیش‌تر از انرژی مستقیم و نسبت انرژی تجدیدناپذیر بالاتر از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. طبق گزارش موره و همکاران (Moore, 2010) جهت حصول یک نظام پایدار تولید، باید میزان کارایی انرژی و سهم انرژی تجدیدپذیر را در بوم‌نظام‌ها افزایش داد. البته در زمان حاضر تأمین غذای جمعیت رو به رشد دنیا بدون استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر امری دشوار و شاید غیرممکن باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از مواد شیمیایی و سوخت‌های فسیلی، متخصصان کشاورزی چاره‌ای جز اندیشیدن به افزایش پایداری در کشاورزی و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در نظام‌های تولید نخواهند داشت.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی

کشاورزی نظام تبدیل انرژی می‌باشد، به‌طوری‌که برخی منابع انرژی‌زای تجاری و غیرتجاری را به محصولات حاوی انرژی قابل استفاده برای انسان تبدیل می‌کند (Kizilaslan, 2009)، که عملکرد و بازدهی این تبدیل با استفاده از شاخص‌هایی نظیر کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص سنجیده می‌شود. همان‌طور که در جدول 6 نمایان است میانگین کارایی انرژی در چهار روش کاشت برابر 14/57 بود. بالاترین میزان کارایی انرژی 16/75 مربوط به روش بهبودیافته و پایین‌ترین نسبت آن برابر 13/34 و 13/3 مربوط به روش کاشت اول و دوم بود. دلیل پایین بودن کارایی انرژی را می‌توان به وابستگی زیاد آن‌ها به نهاده‌های ورودی و مصرف بیش‌تر انرژی برای تولید نسبت داد که این نهاده‌ها بدون توجه به مسایل زیست‌محیطی مصرف می‌شوند. در رابطه با شاخص بهره‌وری انرژی

یافته‌های تحقیق نشان داد که میانگین این شاخص در چهار روش برابر 0/37 کیلوگرم بر مگاژول بود که بالاترین میزان آن در روش رایج اول و بهبودیافته به‌ترتیب 0/43 و 0/41 کیلوگرم بر مگاژول حاصل شد و برای روش کاشت دوم و سوم برابر 0/28 و 0/35 کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد (جدول 6)، که در مقایسه با نتایج خان و همکاران (Khan et al., 2010) در استرالیا کم‌تر بود. این موضوع به احتمال زیاد ناشی از بالا بودن انرژی ورودی در نظام‌های تولید ایران و منطقه است. میانگین انرژی ویژه در چهار روش برابر 2/68 مگاژول بر کیلوگرم) بود که روش رایج دوم بالاترین میزان (3/51 مگاژول بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد. کم‌ترین مقدار انرژی ویژه (2/34 مگاژول بر کیلوگرم) مربوط به روش اول بود و در روش رایج دوم و بهبودیافته نیز برابر 2/84 و 2/42 مگاژول بر کیلوگرم بود (جدول 5). انرژی ویژه عکس بهره‌وری انرژی می‌باشد. بنابراین، مقادیر کم‌تر آن نشان می‌دهد که انرژی کم‌تری به ازای تولید هر واحد عملکرد مصرف شد. در رابطه با بازدهی و عملکرد روش‌های کاشت به‌عنوان یک نظام تبدیل انرژی بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که میانگین انرژی خالص در چهار روش کاشت برابر 160230/19 مگاژول در هکتار بود. بالاترین میزان انرژی خالص 175911/58 مگاژول در هکتار مربوط به روش بهبودیافته بود و روش کاشت رایج اول با 167266/75 مگاژول در رتبه دوم و روش کاشت رایج دوم با میانگین 139660/04 مگاژول در هکتار در رتبه آخر قرار گرفت. شیوه صحیح مدیریت مزرعه در روش بهبودیافته و ورودی بسیار بالای نهاده‌ها در دیگر روش‌های رایج منجر به چنین نتیجه‌ای شد (جدول 6).

مقایسه میانگین انواع انرژی خروجی و شاخص‌های به تفکیک مزارع مورد مطالعه در روش‌های مختلف کاشت به روش برش‌دهی متقابل نیز نتایج به‌دست آمده را تأئید می‌کند (جدول 8). در روش کاشت رایج اول بیشترین عملکرد دانه و کاه و کلش و انرژی خروجی آن‌ها مربوط به مزرعه 6 بود که دلیل عمده آن نیز مصرف بالای کود نیتروژن و بذر می‌باشد. در روش کاشت رایج دوم و سوم بیشترین عملکرد دانه و انرژی خروجی آن مربوط به مزرعه 3 و 2 بود. مقایسه میانگین چهار روش کاشت نشان داد که روش رایج اول دارای بیشترین عملکرد دانه و انرژی خروجی بود و روش بهبودیافته در رتبه دوم قرار گرفت. کمترین عملکرد و انرژی خروجی دانه مربوط به روش کاشت رایج دوم بود (جدول 8). مقایسه میانگین شاخص نسبت انرژی در روش رایج اول نشان داد که بیشترین نسبت انرژی در مزرعه 6 برابر 29/19 و کمترین مقدار آن برابر 9/56 در مزرعه 2 به دست آمد. در روش رایج دوم بیشترین نسبت انرژی در مزرعه 2 و کمترین آن در مزرعه 1 مشاهده شد ولی در روش رایج سوم بیشترین نسبت انرژی در مزرعه 1 و کمترین آن در مزرعه 5 حاصل شد (جدول 8). دلیل بالا بودن نسبت انرژی در مزارع مختلف مربوط به سهم انرژی خروجی کاه و کلش است.

مقایسه میانگین بهره‌وری انرژی نشان داد که بیشترین بهره‌وری انرژی در روش کاشت رایج اول مربوط به مزرعه 6 و کمترین مقدار آن مربوط به مزرعه 2 بود. در روش کاشت رایج دوم بیشترین بهره‌وری انرژی مربوط به مزارع 2 و 3 و کمترین مقدار 0/16 کیلوگرم بر مگاژول در مزرعه 6 حاصل شد. در روش کاشت رایج سوم بیشترین بهره‌وری انرژی در مزرعه 2 به‌دست آمد. دلیل اصلی بالا بودن میزان بهره‌وری انرژی در مزارع مختلف بالا بودن عملکرد دانه می‌باشد. مقایسه میانگین بهره‌وری انرژی در چهار روش کاشت نیز نشان داد که بالاترین بهره‌وری انرژی در روش کاشت رایج اول و بهبودیافته به دلیل بالا بودن عملکرد دانه حاصل شد. کمترین بهره‌وری انرژی در روش کاشت رایج دوم 0/28 کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد (جدول 8). انرژی ویژه در روش کاشت رایج سوم حداکثر (2/84 مگاژول بر کیلوگرم) و در روش کاشت رایج اول حداقل (2/34 مگاژول بر کیلوگرم) بود. شاخص انرژی خالص نیز در روش کاشت بهبودیافته بیشترین مقدار (175911/58 مگاژول در هکتار) را به خود اختصاص داد و روش کاشت رایج اول با 167266/75 مگاژول در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت. کمترین انرژی خالص مربوط به روش کاشت رایج دوم 139660/04 مگاژول در هکتار بود (جدول 8). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان با کاهش مصرف سوخت و ماشین‌آلات بهره‌وری انرژی را بهبود بخشید. همچنین، استفاده از منابع انرژی به‌صورت کارآمدتر با بهینه‌سازی مصرف انواع نهاده‌های به‌کار رفته از طریق انتخاب صحیح نوع، مقدار، روش و زمان مصرف نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد (Dastan et al., 2015a,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 (به‌ویژه کود نیتروژن بـا 31/77 درصد) قرار گرفتند (Tipi et al., 2009).

جدول ۸- مقایسه میانگین انرژی خروجی و شاخص‌های آن در مزارع تولید گندم به روش برش‌دهی متقابل

Table 8- Mean comparision of output energy types and indices for each wheat production field by interaction slice

بخش Item		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار) Straw yield (kg.ha^{-1})	انرژی خروجی دانه (مگاژول در هکتار) Grain energy (MJ.ha^{-1})	انرژی خروجی کاه و کلش (مگاژول در هکتار) Straw energy (MJ.ha^{-1})	کل انرژی خروجی (مگاژول در هکتار) Total energy (MJ.ha^{-1})	نسبت انرژی (مگاژول در هکتار) Output/input ratio (MJ.ha^{-1})	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy productivity (kg.MJ^{-1})	انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy (MJ.kg^{-1})	انرژی خالص (مگاژول در هکتار) Net energy ratio (MJ.ha^{-1})
روش متداول ۱ Conventional method I	مزرعه ۱ Field 1	5575^{bc*}	11500^{bc}	81952.50^{b}	106375^{b}	188327.50^{bc}	13.66^{bc}	0.40^{bc}	2.47^{b}	174537.90^{bc}
	مزرعه ۲ Field 2	4925^{c}	11250^{ab}	72397.50^{bc}	104062.50^{b}	176460^{c}	9.56^{c}	0.27^{c}	3.75^{a}	158010^{c}
	مزرعه ۳ Field 3	6000^{b}	12500^{ab}	88200^{b}	115625^{ab}	203825^{b}	18.59^{b}	0.55^{b}	1.83^{bc}	192860.70^{b}
	مزرعه ۴ Field 4	6100^{b}	12000^{b}	89670^{b}	111000^{ab}	200670^{b}	13.97^{bc}	0.42^{bc}	2.35^{b}	186302.40^{b}
	مزرعه ۵ Field 5	4375^{d}	10500^{c}	64312.50^{c}	97125^{c}	161437.50^{d}	11.93^{bc}	0.32^{c}	3.09^{ab}	147906.50^{d}
	مزرعه ۶ Field 6	7800^{a}	13000^{a}	114660^{a}	120250^{a}	234910^{a}	29.19^{a}	0.97^{a}	1.03^{c}	226863.40^{a}
روش متداول ۲ Conventional method II	مزرعه ۱ Field 1	3125^{bc}	10534^{bc}	45937.50^{bc}	97440^{ab}	143377.50^{c}	8.07^{c}	0.18^{c}	5.68^{a}	125612.30^{c}
	مزرعه ۲ Field 2	3600^{b}	11913^{ab}	52920^{b}	110200^{a}	163120^{b}	18.34^{a}	0.40^{a}	2.47^{c}	154227.30^{b}
	مزرعه ۳ Field 3	5825^{a}	11788^{ab}	85627.5^{c}	109040^{a}	194667.50^{a}	13.81^{b}	0.41^{a}	2.42^{c}	180571.60^{a}
	مزرعه ۴ Field 4	3175^{bc}	11286^{b}	46672.50^{bc}	104400^{a}	151072.50^{bc}	16.35^{ab}	0.34^{ab}	2.91^{bc}	141833.40^{bc}
	مزرعه ۵ Field 5	2300^{d}	12290^{a}	33810^{c}	113680^{a}	147490^{bc}	14.77^{b}	0.23^{b}	4.34^{b}	137504.40^{bc}
	مزرعه ۶ Field 6	1200^{d}	9531^{c}	17640^{d}	88160^{b}	105800^{d}	13.94^{b}	0.16^{c}	6.32^{a}	98209.77^{d}
روش متداول ۳ Conventional method III	مزرعه ۱ Field 1	3525^{c}	12039^{ab}	51817.50^{c}	111360^{ab}	163177.50^{b}	20.92^{a}	0.45^{ab}	2.21^{bc}	155378.60^{ab}
	مزرعه ۲ Field 2	5000^{a}	10785^{c}	83500^{a}	99760^{b}	173260^{a}	17.88^{b}	0.52^{a}	1.94^{c}	163570.50^{a}
	مزرعه ۳ Field 3	3725^{c}	13293^{a}	54757.50^{bc}	122960^{a}	177717.50^{a}	17.23^{b}	0.36^{b}	2.77^{b}	167402.30^{a}
	مزرعه ۴ Field 4	4050^{b}	12791^{a}	59535^{bc}	118320^{a}	177855^{a}	12.23^{c}	0.28^{c}	3.59^{ab}	163316.70^{a}
	مزرعه ۵ Field 5	3400^{c}	11788^{b}	49980^{c}	109040^{ab}	159020^{b}	10.93^{d}	0.23^{c}	4.28^{a}	144474.90^{b}
	مزرعه ۶ Field 6	4125^{b}	11286^{bc}	60637.50^{b}	104400^{b}	165037.50^{b}	14.65^{bc}	0.37^{b}	2.73^{b}	153775.30^{ab}
روش رایج ۱ Conventional method I		5796.8^{a}	11791.70^{ab}	71747.10^{a}	109072.90^{ab}	180820^{a}	13.34^{b}	0.43^{a}	2.34^{b}	167266.75^{ab}
روش رایج ۲ Conventional method II		3204.2^{c}	11187.50^{b}	47101.25^{c}	103820^{b}	150921.30^{b}	13.40^{b}	0.28^{b}	3.51^{ab}	139660.04^{c}
روش رایج ۳ Conventional method III		3970.8^{bc}	11958^{ab}	58371.25^{b}	110973.30^{ab}	169344.60^{ab}	15.04^{ab}	0.35^{ab}	2.84^{a}	158082.39^{b}
روش بهبودیافته Improved method		4625^{b}	12875^{a}	67987.50^{ab}	119093.75^{a}	187081.30^{a}	16.75^{a}	0.41^{a}	2.42^{ab}	175911.58^{a}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.

*: Values within a column followed by same letter are not significantly different at Duncan ($P \leq 0.05$).

در پژوهش‌های دیگری نیز کارایی 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 در محصولات زراعی و سبزیجات 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، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت نمود (Dastan et al., 2015a,b).

انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی

با توجه به نتایج جدول 9، انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در روش کاشت رایج اول برابر 933/59 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود که نیتروژن، سوخت و بذر (برابر 390/15، 304/17 و 91/98 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به‌ترتیب معادل 69/94، 16/32 و 5/61 درصد) بالاترین سهم را نشان دادند و ادوات و ماشین‌آلات با میانگین 76/91 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار برابر 5/61 درصد در رتبه بعدی قرار گرفت. در روش کشت رایج اول کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به کاربرد آفت‌کش‌ها بود که سهم آن برای قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش به‌ترتیب 0/98، 3/37 و 4/58 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود (جدول 9).

جدول 9- انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی بر حسب کیلوگرم CO_2 معادل در هکتار مربوط به مزارع رایج تولید گندم در شهرستان جویبار

Table 9- CO_2 emissions (kg eq-CO_2 ha^{-1}) from energy using for wheat conventional production in Jouybar

بخش Item	روش رایج 1 Planting method I						میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Share (%)
	مزرعه 1 Field 1	مزرعه 2 Field 2	مزرعه 3 Field 3	مزرعه 4 Field 4	مزرعه 5 Field 5	مزرعه 6 Field 6			
بذر Seed	110.03	86.98	76.54	104.37	86.98	86.98	91.98	5.14	9.85
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	83.62	75.77	56.87	96.48	81.42	67.30	76.91	5.61	8.24
سوخت Fuel	358.64	281.58	278.94	349.16	294.41	262.31	301.17	16.32	32.58
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers									
نیتروژن خالص N	253.67	710.28	238.72	365.29	354.43	418.05	390.15	69.94	41.79
فسفر خالص P_2O_5	56.23	105.28	37.25	21.09	56.23	0	46.04	14.78	4.93
پتاسیم خالص K_2O	27	0	31.76	0	27	6.75	15.42	6.02	1.65
آفت‌کش Pesticide									
علف‌کش (ماده مؤثره) Herbicide (a.i.)	2.81	3.55	2.93	3.72	3.10	4.11	3.37	0.21	0.36
قارچ‌کش (ماده مؤثره) Fungicide (a.i.)	0	0	0	1.53	2.55	1.78	0.98	0.46	0.11
حشره‌کش (ماده مؤثره) Insecticide (a.i.)	0	0	0	0	0	27.64	4.58	4.58	0.49
پتانسیل گرمایش جهانی کل Total GWP	892	1263.6	723.01	941.64	906.12	879.19	933.59	72.85	100

*: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره است.

* a. i. represents active ingredient

در کشت رایج دوم گندم در شهرستان ساری میزان انتشار دی‌اکسید کربن در 6 مزرعه برابر 710/2 کیلوگرم معادل CO_2 در

هکتار بود (جدول 10). کود نیتروژن و سوخت با میانگین تولید 259/27 و 249/54 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار (برابر 36/51 و 35/13 درصد) بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص دادند. بذر مصرفی و ادوات و ماشین‌آلات با تولید 93/07 و 57/93 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار در رتبه سوم و چهارم قرار گرفتند. کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز مربوط به مصرف حشره‌کش و علف‌کش (به‌ترتیب برابر 0/71 و 1/98 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود. در این روش کاشت به‌علت عدم مصرف قارچ‌کش انتشار دی‌اکسید کربن در این بخش مشاهده نشد (جدول 10).

جدول 10- انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی بر حسب کیلوگرم CO_2 معادل در هکتار مربوط به مزارع رایج تولید گندم در شهرستان ساری

Table 10- CO_2 emissions (kg eq-CO_2 ha^{-1}) from energy using for wheat conventional production in Sari

بخش Item	روش رایج 2 Planting method II						میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Share (%)
	مزرعه 1 Field 1	مزرعه 2 Field 2	مزرعه 3 Field 3	مزرعه 4 Field 4	مزرعه 5 Field 5	مزرعه 6 Field 6			
بذر Seed	93.07	86.98	95.68	108.72	86.98	86.98	93.07	3.48	13.10
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	79.54	61.73	66.99	55.53	47.69	36.08	57.93	6.20	8.16
سوخت Fuel	169.70	254.90	297.14	254.40	251.94	269.13	249.54	17.40	35.13
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers									
نیتروژن خالص N	761.02	101.47	405.68	84.53	202.94	0	259.27	115.23	36.51
فسفر خالص P_2O_5	45.18	31.63	42.18	35.14	21.08	50.61	37.64	4.33	5.30
پتاسیم خالص K_2O	14.46	13.50	13.50	0	13.50	5.40	10.06	2.43	1.42
آفت‌کش Pesticide									
علف‌کش (ماده مؤثره) Herbicide (a.i.)	3.58	2.93	3.04	0	0	2.34	1.98	0.65	0.28
قارچ‌کش (ماده مؤثره) Fungicide (a.i.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
حشره‌کش (ماده مؤثره) Insecticide (a.i.)	4.27	0	0	0	0	0	0.71	0.71	0.10
پتانسیل گرمایش جهانی کل Total GWP	1672.65	904.46	1392.63	928.64	858.35	1012.65	710.2	113.57	100

*: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره می‌باشد

* a. i. represents active ingredient

در کشت رایج گندم در منطقه قائم‌شهر (روش 3) بر خلاف روش کاشت اول و دوم میانگین انتشار دی‌اکسید کربن در 6 مزرعه ناشی از سوخت مصرفی (307/17 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار برابر 41/03 درصد) بیشتر از نیتروژن (252/86 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار برابر 33/77 درصد) بود (جدول 11). انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به بذر و ادوات و ماشین‌آلات با 79/3 و 75/18 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفت. کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن در منطقه 2/34 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار برابر 0/31 درصد مربوط به علف‌کش بود. در این روش کاشت در مزارع تولید گندم مصرف قارچ‌کش و حشره‌کش مشاهده نشد که انتشار دی‌اکسید کربن نیز وجود نداشت (جدول 11).

جدول 11- انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی بر حسب کیلوگرم CO_2 معادل در هکتار مربوط به مزارع رایج تولید گندم در قائمشهر

Table 11- CO_2 emissions (kg eq-CO_2 ha^{-1}) from energy using for wheat conventional production in Ghaemshahr

بخش Item	روش رایج 3 Planting method III						میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Share (%)
	مزرعه 1 Field 1	مزرعه 2 Field 2	مزرعه 3 Field 3	مزرعه 4 Field 4	مزرعه 5 Field 5	مزرعه 6 Field 6			
بذر Seed	78.50	72.48	93.07	62.12	78.28	91.33	79.30	4.75	10.59
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	67.53	65.34	76.48	67.22	86.28	88.24	75.18	4.14	10.04
سوخت Fuel	314.51	269.22	309.09	292.16	382.36	275.65	307.17	16.70	41.03
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers									
نیتروژن خالص N	0	169.1	144.92	289.89	405.88	507.34	252.86	75.75	33.77
فسفر خالص P_2O_5	23.41	35.14	30.12	30.12	42.18	0	26.83	5.94	3.58
پتاسیم خالص K_2O	7.48	22.50	0	0	0	0	5	3.71	0.67
آفت‌کش Pesticide									
علف‌کش (ماده مؤثره) Herbicide (a.i.)	0	3.52	0	0	5.85	4.67	2.34	1.09	0.31
قارچ‌کش (ماده مؤثره) Fungicide (a.i.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
حشره‌کش (ماده مؤثره) Insecticide (a.i.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
پتانسیل گرمایش جهانی کل Total GWP	491.43	637.30	653.68	741.51	1000.83	967.23	748.66	81.45	100

* a. i. represents active ingredient

*: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره است

مطابق یافته‌های جدول 12 میانگین پتانسیل گرمایش جهانی کل ناشی از فعالیت‌های مختلف در چهار روش کاشت برابر 798/56 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به روش کاشت رایج دوم (710/2 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و بیشترین مقدار آن مربوط به روش کاشت رایج اول بود. پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به روش کاشت رایج سوم و روش بهبودیافته به‌ترتیب برابر 748/66 و 765/78 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود (جدول 12). در بین فعالیت‌های مختلف، انرژی ورودی نیتروژن در چهار روش کاشت با میانگین 327/04 کیلوگرم CO_2 در هکتار معادل با 41/42 درصد، بیشترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن و گرمایش جهانی به خود اختصاص داد که در مقایسه با سایر ورودی‌ها اختلاف قابل توجهی را نشان داد که از این نظر روش بهبودیافته با 405/88 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار در رتبه نخست و روش کاشت رایج اول با 390/15 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت. روش کاشت رایج دوم و سوم با 259/27 و 252/86 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بعد از کود نیتروژن، سوخت مصرفی بیشترین انتشار گاز گلخانه‌ای را نشان داد که میانگین آن در چهار روش کاشت برابر 254/03 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار با 32/17 درصد بود که در این بین روش بهبودیافته در رتبه آخر 155/25 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار و روش سوم و اول در رتبه 1 و 2 با 307/17 و 304/17 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار قرار گرفتند (جدول 12).

جداول ۱۲- انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی بر حسب کیلوگرم CO_2 معادل در هکتار در مزراع تولید گندم

Table 12- CO_2 emissions (kg eq-CO_2 ha^{-1}) for each wheat production fields

Item	بخش	Planting method / روش کاشت								میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	درصد از کل Share (%)
		I	سهم (٪) Share (%)	II	سهم (٪) Share (%)	III	سهم (٪) Share (%)	IV*	سهم (٪) Share (%)			
Seed	بذر	91.98	9.85	93.07	13.10	79.30	10.59	86.98	11.36	87.83	2.56	11.12
Machinery	ادوات و ماشین‌آلات	76.91	8.24	57.93	8.16	75.18	10.04	45.89	5.99	63.98	6.03	8.10
Fuel	سوخت	304.17	32.58	249.54	35.13	307.17	41.03	155.25	20.27	254.03	28.98	32.17
Chemical fertilizers	کودهای شیمیایی											
N	نیتروژن خالص	390.15	41.79	259.27	36.51	252.86	33.77	405.88	53	327.04	33.58	41.42
P_2O_5	فسفر خالص	46.04	4.93	64/37	5.30	26.83	3.58	42.18	5.51	38.17	3.39	4.84
K_2O	پتاسیم خالص	15.42	1.65	10.06	1.42	5	0.67	27	5.53	14.37	3.85	1.82
Pesticide	آفت‌کش											
Herbicide (a.i.)	علف‌کش (ماده مؤثره)	3.37	0.36	1.98	0.28	2.34	0.31	2.60	0.34	2.57	0.24	0.33
Fungicide (a.i.)	قارچ‌کش (ماده مؤثره)	0.98	0.11	0	0	0	0	0	0	0.25	0.20	0.03
Insecticide (a.i.)	حشره‌کش (ماده مؤثره)	4.58	0.49	0.71	0.1	0	0	0	0	1.32	0.89	0.17
Total GWP	**پتانسیل گرمایش جهانی کل**	933.59	100	710.2	100	748.66	100	765.78	100	894.07	40.33	100

* روش کاشت ۴ همان کشت بهبودیافته است. روش‌های ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب روش‌های کاشت رایج در شهرستان‌های جویبار، ساری و قائمشهر هستند.

* Cultivatio method IV is improved planting method. Cultivation I, II, and III are conventional method in Jouybar, Sari and Ghaemshahr, respectively.

*: a. i. نشان‌دهنده میزان ماده مؤثره است.

* a. i. represents active ingredient.

بذر با میانگین 87/83 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار برابر 11/12 درصد از کل انتشار دی‌اکسیدکربن در چهار روش کاشت را به خود اختصاص دادند. ادوات و ماشین‌آلات با میانگین 63/98 کیلوگرم CO_2 در هکتار و 8/1 درصد در جایگاه بعدی قرار گرفت. پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از کاربرد علف‌کش نیز با میانگین 2/57 کیلوگرم CO_2 در هکتار، معادل 0/33 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 12).

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 کووی (Wood & Cowie, 2004) 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. همچنین، پاتاک و واسمن (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 به‌ترتیب 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 (به‌ویژه 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 چهار روش در واحد سطح برابر 789/56 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود که در روش کاشت رایج دوم حداقل (710/2 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و در روش کاشت رایج اول حداکثر (933/59 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) مقادیر مشاهده شد. پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح در روش کاشت رایج سوم و بهبودیافته به‌ترتیب برابر 748/66 و 765/78 کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به‌دست آمد (جدول 13). در همین رابطه مقدار کل پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح برای محصولات سیب‌زمینی، گندم، کلزای روغنی، جو و نخود را به‌ترتیب برابر با 3، 1/7، 1/2، 0/7 و 0/7 تن معادل CO_2 در هکتار برآورد شد (Tzilivakis et al., 2005b).

جداول 13- پتانسیل گرمایش جهانی به‌صورت کیلوگرم معادل CO_2 در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی در مزارع تولید گندم

Table 13- Global warming potential equal to kg CO_2 emission per unit area, per unit weight, per unit input and output energy for each wheat production fields

پتانسیل گرمایش جهانی Global Warming Potential (GWP)		روش کاشت Planting method 1 I	2 II	3 III	4 IV*	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error
Per unit area (kg CO_2 ha^{-1})	در واحد سطح	933.59	710.20	748.66	765.78	789.56	49.40
Energy footprint (kg CO_2 t^{-1})	در واحد وزن	161.05	221.64	188.54	165.57	184.20	13.86
Per unit energy input (kg CO_2 GJ^{-1})	در واحد انرژی ورودی	68.88	63.07	66.48	68.56	66.75	1.33
Per unit energy output (kg CO_2 GJ^{-1})	در واحد انرژی خروجی	5.58	5.08	4.73	4.35	4.94	0.26

* روش کاشت 4 همان کشت بهبودیافته است. روش‌های 1، 2 و 3 به‌ترتیب روش‌های کاشت رایج در شهرستان‌های جویبار، ساری و قائمشهر است.

* Cultivatio method IV is improved planting method. Cultivation I, II, and III are conventional method in Jouybar, Sari and Ghaemshahr, respectively.

پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی ورودی نیز با میانگین 66/75 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول در چهار روش بود که در روش رایج دوم حداقل (63/07 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول) و در دیگر روش‌ها حداکثر (به‌ترتیب برابر 68/88، 66/48 و 68/56 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول) مقدار را به خود اختصاص داد. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی برابر 4/94

کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول در چهار روش بود. روش بهبودیافته با 4/35 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول کم‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی را در واحد انرژی خروجی دارا بود و روش کاشت رایج سوم با 4/73 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول در رتبه دوم از این نظر قرار گرفت. روش کاشت رایج اول نیز با 5/58 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول بیش‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی را به خود اختصاص داد (جدول 13).

میانگین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن دانه در چهار روش کاشت برابر 184/2 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن دانه بود. کم‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن دانه در روش رایج اول و بهبودیافته مشاهده شد که برابر 161/05 و 165/57 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن دانه بود. بیش‌ترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن را روش رایج دوم به خود اختصاص داد که برابر 221/64 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن دانه بود. پایین‌تر بودن پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح و وزن در روش رایج اول و بهبودیافته در مقایسه با دو روش دیگر را می‌توان به مصرف کم‌تر انرژی‌های ورودی به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت و همچنین بالاتر بودن میزان تولید در این نظام کاشت نسبت داد (جدول 13). در همین رابطه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) بیان کردند که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در واحد وزن به‌ترتیب برابر 271/5 و 103/8 کیلوگرم معادل CO_2 در هر تن محصول گندم، در واحد انرژی ورودی به‌ترتیب برابر 44/6 و 34/8 کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول و در واحد انرژی خروجی به‌ترتیب 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 روش‌های تولید گندم ارتباط مستقیمی وجود دارد. به‌طوری‌که به ازای افزایش هر مگاژول انرژی ورودی در چهار روش کاشت، میزان انتشار دی‌اکسید کربن 75/1 کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. از آنجا که سوخت‌های فسیلی عامل مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO_2 می‌باشند، بنابراین باید از شیوه‌های مناسب عملیات زراعی استفاده نمود. دیگر محققان 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 (Kaltsas et al., 2007). همچنین، دیر و دیجاریدینز (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. به‌دلیل حفظ منابع طبیعی و همچنین به‌دلیل 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 (Dastan et al., 2016).

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که سهم انواع انرژی ورودی و خروجی در بین روش‌های کاشت متفاوت بود. دلیل اصلی تفاوت مشاهده شده در میزان انرژی ورودی و خروجی، تنوع در اعمال مدیریت و میزان مصرف نهاده‌ها و همچنین شرایط متفاوت ادافیکی و خاکی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در منطقه بسیار پایین می‌باشد. این مسأله از دیدگاه بوم‌شناختی اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که عمدتاً سوخت‌های فسیلی می‌باشند و تکیه بر این منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی می‌باشد. به‌طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهد که در کشاورزی منطقه بیشترین نهاده مصرفی و انرژی ورودی آن مربوط به کود شیمیایی نیتروژن، سوخت و بذر مصرفی است که دلیل عمده آن نیز سنتی بودن شیوه تولید گندم در منطقه می‌باشد. کشاورزان در روش کاشت رایج منطقه برای تقویت مزرعه از مقادیر بسیار زیاد کودهای شیمیایی و به شیوه‌ای نادرست استفاده می‌کنند و به مواد آلی و منابع زیستی توجه ندارند. سایر نهاده‌ها و ورودی‌ها در مزارع مورد مطالعه در روش‌های مختلف مقادیر قابل توجهی را نشان ندادند. بنابراین، مدیریت صحیح مصرف کود شیمیایی نیتروژن در کاهش مصرف انرژی تأثیر زیادی دارد و از منظر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مفید خواهد بود. همچنین، با مصرف کودهای آلی، می‌توان انرژی مصرفی مربوط به کودهای شیمیایی را کاهش داد که می‌تواند برای پایداری بوم‌نظام‌های تولید گندم در منطقه مطلوب باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان با کاهش مصرف نیتروژن، سوخت و مکانیزاسیون و ماشین‌آلات بهره‌وری انرژی را بهبود بخشید. همچنین،

استفاده از منابع انرژی به‌صورت کارآمدتر با بهینه‌سازی مصرف انـواع نهاده‌های به‌کار رفته از طریق انتخاب صحیح نـوع، مقـدار، روش و زمان مصرف نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی 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. 2008b. Hydrocarbon balance of Iran in 2007. Tehran, Iran: Institute of International Energy Studies. Tehran, Iran 549 pp. (In Persian)

Anonymous. 2008a. Department of Climate Change (DCC). National Greenhouse Accounts (NGA) Factors, www.climatechange.gov.au.

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.

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S. 2010. Energy balance in Iran's Agronomy. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 849-855.

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.

Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., and Pandey, K.P. 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: an application of data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 47: 1063-1085.

Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J. 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 52: 119-128.

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 pp.

Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H., and Soltani, A. 2015a. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. Journal of Environmental Sciences, University of Shahid Beheshti 13(1): 53-66. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., and Madani, H. 2015b. CO_2 emission and global warming potential (GWP) of energy consumption in paddy field production systems. Journal of Agroecology 6(4): 823-835. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., Madani, H., and Yadi, R. 2016. Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. Journal of Environmental Sciences. 14(1): 19-22. (In Persian with English Summary)

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 pp. 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.

IEA. 2012. International Energy Agency (IEA). Electricity/Heat in Iran, Islamic Republic of Iran in 2009. Available at: http://iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE¼IR; 2010 [verified on 5/13/2012].

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, UK 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, UK 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 University Press, Cambridge, UK 976 pp.

IPCC. 2007d. 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, UK 875 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.

Jarvis, P. 2000. Ecological principles and environmental Issues. Pearson Education Limited Publication. London.

Johnson, J.M.F., Franzluebbers, A.J., Weyers, S.L., and Reicosky, D.C. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. Environment Pollution 50: 107-124.

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.

Kazemi, H., Alizadeh, P., and NehbandanI, A. 2016. Assessing energy flow in rainfed and irrigated wheat fields of Shahrekourd Township under two tillage systems. Journal of Agroecology 8(2): 281-295. (In Persian with English Summary)

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

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.

Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., and Bandyopadhyay, K.K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in Central India. Biomass and Bioenergy 23(5): 337-345.

Mirin, A., Senhaji, F., and Pimental, D. 2001. Energy analysis of sugarcane production in Morocco. Environment, Development and Sustainability 3:109-126.

Moore, S.R. 2010. Energy efficiency in small-scale bio intensive organic onion production in Pennsylvania, USA. Renewable Agriculture and Food System 25: 181-188.

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.

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.

Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and E. Soltani. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production 19(3): 143-171. (In Persian with English Summary)

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.

Singh, H., Mishra, D., Nahar, N.M., and Ranjan, M. 2003. Energy use pattern in production agriculture of typical village in arid zone, India ee part-II. Energy Conversation Management 43: 1053-1067.

Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L., and Singh, A. 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. Energy 32: 1848-1854.

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.

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.

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.

Witney, B. 1995. Choosing and Using Farm Machines. Land Technology Ltd, UK.

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. The original study was: T.O. West and G. Marland. "A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emissions and Net Carbon Flux in Agriculture: Comparing Tillage Practices in the United States." Agriculture, Ecosystems and Environment September 91(1/3): 217-232.

Yousefi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2013. Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. Journal of Agroecology 5: 113-121. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1168-1193

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1193-1168

Evaluation of Energy Balance and CO_2 Emissions of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Production

M. Pazouki Toroudi[1], H. Ajam Nouruzi [2], A. Ghanbari Malidarreh[3*], M.R. Dadashi[2] and S. Dastan[4]

Submitted: 15-05-2016
Accepted: 19-10-2016

Pazouki Toroudi, M., Ajam Nouruzi, H., Ghanbari Malidarreh, A., Dadashi, M.R., and Dastan, S. 2018. Evaluation of energy balance and CO_2 emissions of wheat (*Triticum aestivum* L.) production. Journal of Agroecology 9(4): 1168-1193.

Introduction

Climate change is a global concern. In wheat production, agricultural operations such as plough, applying fertilizers, pesticides, planting, irrigation, harvesting, processing and transformation, need some forms of energy. In a study to investigate the energy input in wheat production in Gorgan region, Iran, it was observed that among all the direct energy inputs, fuel consumed in agricultural operation had the highest place with an average of 3390 MJ ha^{-1} and the second place belonged to supplying electricity with an average of 309 MJ ha^{-1}. The amounts of energy input in the low input and high input planting system for wheat were 9354.2 and 45367.6 MJ ha^{-1}, respectively. Therefore, optimizing the agricultural operation is seen as a strategy to alleviate climate change effects. The purpose of this research was energy assesment and carbon dioxide emission in wheat production.

Material and Methods

The study area included three central cities of Mazandaran province (Jouybar, Sari, and Ghaemshahr), and was visited to investigate the target population through statistics and scientific planting method. To do the research, at first, six fields for conventional planting of the wheat for each city were identified in 2015. Then, they were compared with the improved planting method (according to growing low-input wheat developed by the researchers). In order to collect information from the fields, all agricultural practices were divided into eight parts as preparing the field, planting, fertilizing, preserving the plants, controlling the weeds, irrigating, harvesting, and transportation. Then, with the beginning of every operation, according to temperature fluctuations, information on various production methods and different amounts of input use by farmers of the region was collected. Moreover, in the improved planting method, the researchers were seeking reduction of input use, environmental damage and also increase in efficiency and its comparison with common methods of planting wheat in the same region. The identification of the fields was in a way that covered all main production methods in each city. After that, the improved and conventional methods of planting in the three cities were investigated as four planting methods. To estimate energy consumption and CO_2 emissions, the fields with improved planting method were taken as conventional methods in four systems.

Results and Discussion

The results showed that the mean total input energy in four planting methods was 11811.6 $MJ.ha^{-1}$. Nitrogen energy input with 38.03 % got first rank. The highest output energy was obtained in improved method as 36.34% of that belongs to grain and 63.66% belong to straw. Mean renewable and non-renewable energy in four planting methods was 3071.28 and 8740.33 $MJ.ha^{-1}$, respectively. Mean energy efficiency in four planting methods was equal to 14.57. Mean energy productivity in four planting methods was 0.37 kg MJ^{-1}. Mean GWP of wheat production in the four planting methods was 798.56 kg CO_2 per ha^{-1} with the maximum CO_2. Mean GWP per grain weight in the four planting methods was equal to 184.2 kg CO_2 per ha^{-1}. Mean GWP per input and output energy in the four planting methods was equal to 66.75 and 4.94 kg CO_2 per GJ^{-1}. Improved method with 4.35 kg CO_2 per GJ^{-1} had the least GWP per output energy. In a study to investigate the energy input in wheat production

1, 2, 3 and 4- PhD Student, Assitant Professor, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Assitant Professor, Department of Agronomy, Jouybar Branch, Islamic Azad University, Jouybar and Postdoctoral Research Scholar, Department of Genetic Engineering, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: aghanbarym@yahoo.com)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.54771

in Gorgan region, Iran, it was observed that among all the direct energy inputs, fuel consumed in agricultural operation had the highest place with mean of 3390 MJ ha^{-1} and the second place belonged to supplying electricity with mean of 309 MJ ha^{-1}.

Conclusion

According to the finding, the amount of GWP per energy input unit was the maximum in conventional method in Sari and minimum in improved planting method. Furthermore, the improved scenario had the lowest GWP per energy output unit and in conventional method in Jouybar achieved the first rank. In general, the amount of GWP has a direct relationship with the method of field management and input consumption.

Keywords: Climate change, Envirinment, Global warming, Improved planting system