نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد هفتم، شماره اول، بهار ۹۳
۱-۲۳
http://ejcp.gau.ac.ir

مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از هر یک از عملیات زراعی در تولید سویا

*سیدمجید عالیمقام[۱]، افشین سلطانی[۲] و ابراهیم زینلی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد اگرواکولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان،
[۲و۳]استاد و استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۶

چکیده

استفاده از عملیات زراعی مناسب یکی از راه‌های کاهش مصرف سوخت و انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی است. در این مطالعه مقادیر مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از عملیات زراعی مرتبط با تولید سویا در گرگان و علی‌آباد کتول مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، عملیات مختلف زراعی در ۲۶ مزرعه پایش و اطلاعات مربوط به تمامی آن‌ها در این مزارع ثبت شد. نتایج نشان داد که مدت زمان مورد نیاز برای انجام عملیات مختلف بین ۰/۲-۳/۹ ساعت در هکتار متغیر بود. مقادیر مصرف سوخت برای انجام عملیات مختلف مورد بررسی بین ۳/۲-۳۸/۱ لیتر در هکتار محاسبه شد. در میان عملیات زراعی بیشترین مصرف سوخت برای انجام شخم توسط گاوآهن سه خیش برگردان‌دار مصرف شد. همچنین میزان انرژی برای انجام عملیات مختلف زراعی بین ۱۳۸/۹-۱۷۰۷ مگاژول در هکتار متغیر بود. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات مختلف زراعی برای تولید سویا بین ۱۲/۵-۱۷۰/۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد شد. از نتایج این تحقیق می‌توان سناریوهای مختلف تولید سویا را از نظر مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مقایسه کرد و مناسب‌ترین سناریو(ها) را برای تولید انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، سویا، سوخت، گازهای گلخانه‌ای، عملیات زراعی

*مسئول مکاتبه: m_alimagham@yahoo.com

مقدمه

سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن، اکسیدنیتروس و متان به داخل جو زمین می‌شود. این گازها به‌عنوان یک سد مانع خروج گرما از جو کره زمین می‌شود که به این فرآیند اثر گلخانه‌ای گفته می‌شود (IPCC[1]، ۱۹۹۷). در طول ۱۰۰ سال گذشته نتیجه تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو، افزایش دمای کره‌ی زمین بوده است که این افزایش تأثیر نامعلومی بر روی اقلیم کره‌ی زمین در آینده خواهد داشت (پیمنتال و همکاران، ۱۹۹٦). برای جلوگیری از گرمایش جهانی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به درون جو لازم است مصرف سوخت‌های فسیلی به حداقل ممکن رسانده شوند. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و اثر این گازها بر روی تغییر اقلیم یکی از موضوعات بسیار مهم اکولوژیکی و سیاسی محسوب می‌شود. در طی دهه‌های گذشته غلظت گاز دی‌اکسیدکربن با سرعت زیادی در جو زمین افزایش داشته است. اگر سوزاندن سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با روند فعلی ادامه داشته باشد، احتمال تغییر اقلیم شدیدی در آینده وجود خواهد داشت (ماسجوکی و همکاران، ۲۰۰۲).

مشکل سوخت در دهه ۷۰ قرن بیستم و مشکل انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه ۸۰ همین قرن بروز کردند. نخستین گزارشات در مورد مشکلات مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی از طریق مطالعه اکولوژیک کشاورزی ارایه شده است (ادوم، ۱۹۷۱). خالدیان و همکارن (۲۰۱۰) گزارش کردند امروزه به دلیل کاهش منابع سوخت‌های فسیلی بهای نفت و به دنبال آن بهای انرژی بالا رفته است از طرفی برای حفظ این منابع برای نسل‌های آینده بشر استفاده صحیح و با کارایی بالای این منابع الزامی است (برون و همکاران، ۱۹۹۸). سیاست کشاورزی به سمت ترویج سیستم‌هایی است که در تولید محصولات کشاورزی بتوانند به ازای مصرف کمتر انرژی مقدار بیشتری انرژی تولید کنند (دالگارد، ۲۰۰۰؛ تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵).

به‌دلیل اینکه ورودی کربن در بخش کشاورزی نامشخص است و مقدار مصرف نهاده‌ها با تغییر زمان، مکان و نوع محصول متغیر است، همواره بحث در مورد ترسیب و انتشار گاز کربن حاصل از عملیات زراعی ادامه داشته است (اشلسینگر، ۱۹۹۹؛ ایزارالد و همکاران، ۲۰۰۰). به‌عنوان مثال شخم حفاظتی به‌همراه افزایش کارایی آبیاری، کوددهی و استفاده از آفت‌کش‌ها احتمال دارد از طریق افزایش

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

عملکرد محصول، افزایش مواد آلی خاک و کاهش تجزیه مواد آلی، مقدار کربن آلی در خاک را افزایش دهد (لال و همکاران، ۱۹۹۹)، اما انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از ساخت و نگهداری ماشین‌های کشاورزی و استفاده از نهاده‌های کشاورزی باعث کاهش اثر ترسیب کربن حاصل از ذخیره‌سازی از طریق شخم حفاظتی شود (اشلسینگر، ۱۹۹۹).

در سطح جهان تحقیقات بسیاری در مورد مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی برای تولید محصولات کشاورزی انجام شده است. به‌طور عمده در این تحقیقات به ارزیابی مقدار مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی پرداخته شده است (سینگ و همکاران، ۱۹۹۷؛ وست و مارلند، ۲۰۰۲؛ تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵؛ برات و همکاران، ۲۰۱۱؛ آلوین و همکاران، ۲۰۱۱). در ایران نیز در مورد میانگین مصرف انرژی در برخی از محصولات کشاورزی تحقیقاتی انجام شده است (طباطبایی‌فر و همکاران، ۲۰۰۹؛ موسوی اول و همکاران، ۲۰۱۱؛ رویان و همکاران، ۲۰۱۲). اما در ایران تعداد مطالعات در مورد اثرات زیستی و تولید گازهای گلخانه‌ی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی نادر است (رجبی، ۲۰۱۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۰). به‌همین ترتیب اطلاعات در خصوص میزان مصرف سوخت و انرژی و نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از هر یک از عملیات زراعی به‌طور جداگانه بسیار اندک است (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳).

بخش کشاورزی پس از حمل و نقل، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش مصرف گازوئیل در کشور می‌باشد (وزارت نیرو، ۲۰۱۰). مقدار مصرف انرژی حاصل از مصرف گازوییل در بخش کشاورزی در سال ۱۳۸۹ معادل ٤/٤٤ میلیون بشکه گازوییل (۱۲/۷۹ درصد از کل مصرف گازوییل کشور) و به ارزش ٤/۲۸ میلیارد دلار بوده است (وزارت نیرو، ۲۰۱۰). با توجه به روند فزاینده مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران، لازم است وضعیت فعلی مصرف انرژی در این بخش مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گیرد. در صورت وجود اطلاعات در مورد مقدار مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از هر یک از عملیات زراعی می‌توان مقدار مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی برای سناریوهای تولید محصولات مختلف زراعی در شرایط مختلف را برآورد کرد. تحقیقات اندکی در مورد مقدار مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از عملیات مختلف زراعی انجام شده است (لال، ۲۰۰٤؛ وست و مارلند، ۲۰۰۲؛ فیلیپوویچ و همکاران، ۲۰۰٦). در داخل ایران مطالعات اندکی در ارتباط با این موضوع انجام شده است. غلامی و همکارن (۲۰۱۳) مقدار گازهای گلخانه‌ای خارج شده از اگزوز تراکتور در هنگام انجام عملیات زراعی اندازه‌گیری کردند،

نامبردگان مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده ناشی از ساخت ماشین‌ها و استفاده از آن‌ها جهت انجام عملیات زراعی را برآورد نکرده‌اند. همچنین در مطالعه این محققان مقدار مصرف انرژی برای انجام عملیات زراعی مختلف محاسبه نشده است. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در ارتباط با مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملیات مختلف زراعی، در این مطالعه سعی شده است که مقدار مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی هر یک از عملیات مختلف زراعی مورد استفاده در تولید سویا مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱ در ۲۶ مزرعه تولید سویا در گرگان (روستاهای گرگان) و علی‌آباد کتول (روستاهای علی‌آباد کتول) انجام شد. اطلاعات از طریق مصاحبه شخصی (چهره به چهره) با کشاورزان و یادداشت‌برداری از عملیات مختلف زراعی جمع‌آوری شد که این اطلاعات شامل مقدار سوخت مصرفی برای انجام هر عملیات و مدت زمان به‌کارگیری ادوات بودند.

مزارع طوری انتخاب شدند که عملیات زراعی متنوعی در آن‌ها انجام می‌شد. به‌عنوان مثل در مزراع مورد مطالعه انواع ادوات خاک‌ورزی مانند دیسک‌های ۲۸، ۳۶ و ۴۲ پره، گاوآهن سه خیش برگردان‌دار و خاک‌ورزهای مرکب مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات تمامی عملیات انجام شده به همراه ماشین‌های مورد استفاده در این مزراع ثبت شد (جدول ۱). مقدار سوخت برای هر عملیات از طریق سوال از کشاورزان به‌دست آمد. با ضرب مقدار سوخت مصرفی در ضریب تبدیل سوخت به انرژی، (هر لیتر معادل ۳۸ مگاژول انرژی است؛ وزرات نفت، ۱۳۸۶)، مقدار انرژی در بخش مصرف سوخت برای هر یک از عملیات محاسبه شد.

انرژی استفاده از ماشین‌ها شامل ساخت و نگهداری ماشین‌ها و انتقال آن‌ها به مزارع می‌باشد. مقدار انرژی استفاده از ماشین‌ها برای هر عملیات به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$TE = UEH \times t \quad (۱)$$

$$UEH = (UEW \times W) / ULT \quad (۲)$$

جدول ۱- انواع مختلف ماشین‌آلات و ادوات مورد استفاده برای کشت سویا به‌همراه وزن و عمر مفید دستگاه‌ها (لوب و همکاران، ۲۰۱۳).

ماشین	مدل	شرکت	وزن (کیلوگرم)	عمر مفید
تراکتور فرگوسن	مسی فرگوسن ۲۸۵		۳۳۰۰	۱۵۰۰۰
تراکتور جاندیر ٦ سیلندر	٦ سیلندر		۳۷۳۰	۱۵۰۰۰
تراکتور نیوهلند	TM155		۵۳۸۰	۱۵۰۰۰
تراکتور والترا	T170		٦۰۰۰	۱۵۰۰۰
تراکتور نیوهلند	T6090		۵۹۵۰	۱۵۰۰۰
گاوآهن ۳ خیش برگردان‌دار	GAK-P-12-13	قطعات آهنگری خراسان	۳٤۰	۲٤۰۰
دیسک تاندوم سبک ۲۸ پره	یدک کش با پره ۱۸ اینچی	ماشین گستر جویبار	۵۷۵	۱۵۰۰
دیسک تاندوم سنگین ٤۲ پره	٤۲ پره ۲۰ اینچ	جاندیر	۲٤۰۰	۲٤۰۰
سیکلوتیلر+ غلطک	عرض کار ۲/۵ متر	بازرگانی نوروزی	۱٤۵۰	۲٤۰۰
دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره ۲٤ اینچ	GAK-OTO-R140	قطعات آهنگری خراسان	۱٦۰۰	۲٤۰۰
دیسک افست سنگین ۳٦ پره ۲٤ اینچ	GAK-OTO-R140	قطعات آهنگری خراسان	۲٤۰۰	۲٤۰۰
خطی‌کار*	TAKA254	تولید ادوات کشاورزی اراک- تاکا	۵۸۰	۱۵۰۰
دستگاه کشت مستقیم ۵ ردیفه مدل	SAM 135.200	SEMATO برزیل	۸۰۰	۲٤۰۰
ردیفکار بشکه‌ای ۵ ردیفه	204I18	شرکت بازرگانی و خدمات پس از فروش تراکتورسازی ایران	۳۰۰	۱۵۰۰
مرزکش	K.S.S-M-T	خیش ساز صنعت خراسان	۲۰۰	۱۵۰۰
نهرکن	IMT-DH	ایران مهر تربت	۱۵۰	۱۵۰۰
کولتیواتور	TF/11	پردیس کشت ابزار	۲۵۰	۱۵۰۰
سم‌پاش بوم‌دار	۸ متری ٤۰۰ لیتری	شرکت ماشین سازی بادله	٤۰۰	۱۵۰۰
سم‌پاش توربو ۱۰۰۰ لیتری	207B61	شرکت بازرگانی و خدمات پس از فروش تراکتورسازی ایران	۵۰۰	۱۵۰۰
سم‌پاش پشت تراکتوری	٤۰۰ لیتری	شرکت ماشین سازی بادله	۵۰۰	۱۵۰۰
کودپاش سانتریفیوژی	۳۵۰ لیتری	مجتمع کشاورزی چمن‌فر	۲۵۰	۱۵۰۰
کمباین	جاندیر ۹۵۵		٦۰۰۰	۱۵۰۰۰

* کشاورزان با تنظیم فاصله ردیف از طریق بستن کارنده‌های خطی‌کار، از این دستگاه به‌عنوان ردیف‌کار سویا استفاده می‌کنند.

در روابط (۱) و (۲)، TE: انرژی حاصل از استفاده از ماشین (مگاژول در هکتار)؛ UEH: انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌ها برای انجام عملیات زراعی بر حسب (مگا ژول در ساعت)؛ t: مدت زمان کاربرد ماشین (ساعت در هکتار)؛ UEW: انرژی موردنیاز برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین بر حسب مگاژول بر کیلوگرم که معادل با عدد ثابت ۱٤۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم است (کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷)؛ W: وزن ماشین بر حسب (کیلوگرم)؛ ULT: عمر مفید دستگاه (بر حسب ساعت). وزن و عمر مفید هر یک از ماشین‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

به‌منظور بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای از شاخص پتانسیل گرمایش جهانی (GWP[1]) استفاده شد. این شاخص عبارت از مجموع گازهای گلخانه‌ای تولید شده می‌باشد که که به‌صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان می‌شود (IPCC، ۱۹۹٦). در این تحقیق برای محاسبه GWP، انتشار سه گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان ناشی از مصرف انرژی برای تولید نهاده‌های کشاورزی و انجام عملیات مختلف زراعی مد نظر قرار گرفت. نهاده‌ها و عملیات مورد نظر شامل: تولید، بسته‌بندی و انبارداری کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سموم علف‌کش و حشره‌کش، مصرف سوخت‌های فسیلی برای انجام عملیات زراعی، مصرف الکتریسیته برای پمپاژ آب به سطح زمین، تولید و نگهداری ماشین‌های کشاورزی بودند.

معادل انرژی مصرف شده برای تولید و استفاده از هر یک از نهاده‌های مصرفی و همچنین معادل انرژی برای انجام هر یک از عملیات زراعی به منظور تولید سویا بر اساس روش توضیح داده شده در بخش انرژی محاسبه شد. سهم منابع مختلف انرژی مورد استفاده شامل الکتریسیته، گاز طبیعی، گازوییل، روغن و نفت برای تولید هر یک از نهاده برآورد شد (گرین، ۱۹۸۷؛ تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵). بعد از مشخص شدن سهم هر یک از منابع انرژی در تولید نهاده‌های مختلف، مقدار انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروس ناشی از مصرف منابع انرژی مختلف با کمک ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر ژول انرژی برای هر منبع انرژی به صورت جداگانه محاسبه گردید (بی‌نام، ۲۰۱۱). با توجه به پتانسیل متفاوت ایجاد اثر گلخانه‌ای برای سه گاز دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروس (هر کیلوگرم اکسید نیتروس و متان به‌ترتیب معادل ۳۱۰

1- Global Warming Potential

و ۲۱ کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن اثر گلخانه‌ای دارند؛ IPCC، ۱۹۹۷)، کل گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به صورت معادل دی‌اکسید کربن محاسبه شد که همان شاخص GWP می‌باشد.

نتایج و بحث

تهیه بستر: در این مطالعه برای تهیه بستر در مزارع از انواع مختلف دیسک‌های تاندوم شامل ۲۸، ۳٦ و ٤۲ پره استفاده شد. برای خاک‌ورزی با دیسک‌های تاندوم ۲۸، ۳٦ و ٤۲ پره به‌ترتیب ۱۱/۹، ۱۰/۷ و ۹/۳ لیتر در هکتار سوخت مصرف شد (جدول ۲). مقدار سوخت برای یک هکتار دیسک سبک ٦/۷ لیتر گزارش شده است (وست و مارلند، ۲۰۰۲). بورز (۱۹۸۹) گزارش کرد که دیسک با تاندوم سبک برای یک هکتار ۹/۵–٤/۸ لیتر مصرف کرد. در مطالعه‌ای دیگر مقدار سوخت موردنیاز برای دیسک تاندوم ۷/۵ لیتر در هکتار برآورد شد (شلتون و همکاران، ۱۹۸۰). آرویدسن (۲۰۱۰) مقدار مصرف سوخت برای یک بار دیسک زدن در خاک‌های رسی و لومی- سیلتی را به‌ترتیب ۱۳ و ۸ لیتر در هکتار گزارش کرد. مقدار سوخت لازم برای انجام خاک‌ورزی دیسک افست ۱۱/۷–۷/۲ لیتر در هکتار گزارش شده است (بورز، ۱۹۸۹).

بیشترین مصرف انرژی برای انجام یک بار خاک‌ورزی توسط دیسک با مقدار ٥۱٤/۲ مگاژول در هکتار برای دیسک تاندوم ۲۸ پره و کمترین مصرف انرژی با مقدار ٤٥۱/۱ مگاژول در هکتار برای دیسک تاندوم ٤۲ پره بود (جدول ۳). به‌دلیل سنگین بودن دیسک تاندوم ٤۲ پره، برای استفاده از این دنباله‌بند به دستگاه کشنده با بیش از ۱۰۰ اسب بخار (تراکتور سنگین) نیاز بود. به‌عبارتی دیگر تراکتور مسی فرگوسن ۲۸٥ که متداول‌ترین تراکتور منطقه بود، توانایی کشش این دنباله‌بند را نداشت. با وجود استفاده از تراکتورهای سبک ۷۰ و ٦۰ اسب بخاری و سبک بودن خود دیسک تاندوم ۲۸ پره، به نظر می‌رسید مصرف انرژی در این نوع دیسک کمترین مقدار را به خود اختصاص دهد. اما نتایج عکس این فرضیه را نشان دادند. دلیل مصرف بیشتر انرژی در دیسک تاندوم ۲۸ پره، عرض کار کمتر این دنباله‌بند بود. عرض کار در دیسک‌های ۲۸، ۳٦ و ٤۲ پره به‌ترتیب ۲/٦، ۳ و ۳/٥ متر بود. با در نظر گرفتن عرض کار دیسک‌های مختلف، برای دیسک زدن یک هکتار زمین توسط دیسک‌های ۲۸، ۳٦ و ٤۲ پره، تراکتور در داخل مزرعه حداقل باید به‌ترتیب ۳۸٤٦، ۳۳۳۳ و ۲۸٥۷ متر مسافت در هکتار را طی می‌کرد. زیاد بودن مسافت طی شده در هنگام استفاده از دیسک تاندوم ۲۸ پره منجربه افزایش مصرف سوخت شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین و خطای استاندارد زمان و سوخت موردنیاز برای انجام عملیات زراعی در مزارع سویا.

عملیات	مدل کشنده	مدت زمان (ساعت در هکتار)	سوخت (لیتر در هکتار)
دیسک تاندوم ۲۸ پره	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۷±۰/۱	۱۱/۹±۰/۹
دیسک تاندوم ۳٦ پره	تراکتور جاندیر	۰/٦±۰/۱	۱۰/۷±۲/۳
دیسک تاندوم ٤۲ پره	تراکتور والترا	۰/۵±۰/۰	۹/۳±۰/۸
خاک‌ورز مرکب (۱)*	تراکتور نیوهلند T6090 و T155	۰/۷±۰/۱	۱٤/۷±۱/۷
خاک‌ورز مرکب (۲)**	تراکتور نیوهلند T6090 و T15	۰/۵±۰/۰	۱۱/۹±۰/۱
گاوآهن ۳ خیش برگردان‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۳/۹۳±۰/۳	۳۸/۱±٤/۷
ردیفکار بشکه‌ای	تراکتور مسی فرگوسن	۱/۱±۰/۱	۱۳/۳±۱/۵
ردیفکار مخزن‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۱/۰±۰/۰	۸/۵±۰/۵
دستگاه مرکب-	تراکتور نیوهلند T6090 و T155	۰/٦۳±۰/۱	۱۲/۸±۱/۰
دستگاه کشت مستقیم	تراکتور نیوهلند T6090	#- ±۱/۵	#-±۱۲/۰
مرزکش	تراکتور مسی فرگوسن	۰/٤±۰/۱	٤/۰±۱/۰
نهرکن	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۳±۰/۰	٤/۰±۰/٦
کولتیواتر	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۸±۰/۳	۹/٤±۱/۵
سانتریفیوژ (کوددهی)	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۲±۰/۰	۳/۲±۰/۵
سم‌پاش بوم‌دار+	تراکتور مسی فرگوسن	۱/۱±۰/۱	۹/۲±۰/۷
سمپاش توربو+	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۳±۰/۰	۳/۰±۰/۰
سمپاش پاششی+	تراکتور مسی فرگوسن	۰/٦۳±۰/٤	٦/۳±۳/۸
سم‌پاش بوم‌دار++	تراکتور مسی فرگوسن	۱/٤±۰/۱	۸/۷±۰/٦
سم‌پاش توربو++	تراکتور مسی فرگوسن	۰/٦±۰/۰	٦/٦±۰/٤
سم‌پاش پاششی++	تراکتور مسی فرگوسن	۰/۹±۰/۱	٦/۷±۰/۷
کمباین		۲/۰±۰/۱	۳۰/۹±۱/۲

* شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره؛ ** شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست سنگین ۳٦ پره؛ - شامل سیکلوتیلر، غلطک و ردیفکار مخزن‌دار؛ + سم‌پاشی جهت کنترل علف‌های هرز؛ ++ سم‌پاشی جهت کنترل حشرات؛ # چون فقط یک مزرعه برای این عملیات مورد مطالعه قرار گرفت امکان محاسبه خطای استاندارد وجود نداشت.

میزان انرژی مصرفی در بخش استفاده از ماشین‌ها برای دیسک ۲۸ پره کمتر از دیسک‌های ۳٦ و ٤۲ پره بود (جدول ۳). با توجه به این که واحد انرژی مورد نیاز برای ساخت و نگهداری ماشین‌ها بر

مبنای انرژی مصرف شده به ازای یک کیلوگرم ماشین محاسبه می‌شود (نمِچک و کاگی، ۲۰۰۷) با افزایش وزن و کاهش طول عمر دستگاه، مقدار استهلاک افزایش می‌یابد. دلیل کمتر بودن انرژی مصرفی در بخش استفاده از ماشین‌ها برای دیسک ۲۸ پره نسبت به دیسک‌های ۳٦ و ٤۲ پره، سبک‌تر بودن دستگاه کشنده و دنباله‌بند در دیسک ۲۸ پره بود (جدول ۱ و ۳).

با توجه به نتایج مقایسه مصرف انرژی برای دیسک‌های مختلف، در مزارع جایگزین کردن دیسک ٤۲ پره به جای ۲۸ پره جهت تهیه بستر می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی در بخش خاک‌ورزی شود. اما باید این نکته را در نظر گرفت که برای استفاده از دیسک‌های ٤۲ پره نیاز به استفاده از تراکتورهایی سنگین است. تهیه این نوع تراکتورها برای کشاورزان هزینه‌بر خواهد بود. از طرفی در صورت تهیه تراکتورهای سنگین توسط کشاورزان، در مزارع کوچک به‌دلیل عدم سودمندی اقتصادی، استفاده از این نوع تراکتورها قابل توجیح نخواهد بود (مهرآبی بشرآبادی و گیلانپور، ۲۰۰۳). از طرفی تراکتورهای سنگین به‌دلیل دارا بودن وزن بیشتر نسبت به تراکتورهای سبک استهلاک بیشتری دارند. با توجه به اینکه استهلاک ماشین رابطه مستقیمی با وزن و زمان استفاده از ماشین دارد، در صورت استفاده از تراکتورهای سنگین با وجود کاهش استهلاک از طریق کاهش زمان انجام عملیات، به طور کلی استهلاک به‌دلیل بیشتر بودن وزن ماشین افزایش خواهد یافت. همچنین در مزارع کوچک در مقایسه با مزارع بزرگ به دلیل نیاز بیشتر تراکتور به دور زدن برای انجام عملیات، با وجود استفاده از تراکتورهای سنگین برای انجام عملیات، زمان کاهش انجام عملیات در این مزارع کمتر از مزارع بزرگ خواهد بود. بنابراین استفاده از تراکتورهای سنگین تا قبل از یکپارچه‌سازی اراضی به جز در معدودی از مزارع (مزارعی با مساحت زیاد) مقرون به صرفه نخواهد بود.

خاک‌ورز مرکب ۱ شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره و خاک‌ورز مرکب ۲ شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست نیمه سنگین ۳٦ پره بود. مقدار کل مصرف انرژی برای یک بار خاک‌ورزی با خاک‌ورزهای ۱ و ۲ به‌ترتیب ٦٦۳/٤ و ۵۵۷/۸ مگاژول در هکتار بود (جدول ۳). با توجه به وزن این دنباله‌بندها (جدول ۱) برای استفاده از این نوع خاک‌ورزها نیاز به استفاده از تراکتورهای سنگین بود. عرض کار در خاک‌ورزهای مرکب ۱ و ۲ به‌ترتیب ۲/۵ و ۲/۹ متر بود. به‌دلیل عرض کار کم و سنگین بودن تراکتور و دنباله‌بند در خاک‌ورزهای مرکب، انرژی مصرف شده در این نوع ماشین‌ها بیش از انواع دیسک‌ها بود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین و خطای استاندارد انرژی مورد استفاده در بخش استفاده از ماشین (دستگاه کشنده و دنباله‌بند) و سوخت در هر یک از عملیات انجام شده بر حسب مگاژول در هکتار در مزارع سویا.

ماشین	مدل کشنده	کشنده	دنباله‌بند	سوخت	کل
دیسک تاندوم ۲۸ پره	تراکتور مسی فرگوسن	۲۳/۰±۲/۱	۳۹/۸±۳/٦	٤٥١/٤±۳۲/٥	٥١٤/۲±۳۳/۸
دیسک تاندوم ۳٦ پره	تراکتور جاندیر	۲۰/۷±۳/۰	٦۳/٦±۹/۱	٤۰٥/۳±۸۸/۷	٤۸۹/٦±۹٥/٤
دیسک تاندوم ٤۲ پره	تراکتور والترا	۲۸/۳±۰/۰	۷۱/۳٥±۰/۰	۳٥۱/٥±۲۸/٥	٤٥۱/۱±۲۸/٥
خاک‌ورز مرکب (۱)*	تراکتور نیوهلند T6090 و T155	۳٤/۳±۳/۱	۷۲/۲±٦/۷	٥٥٦/۹±٦۳/۱	٦٦۳/٤±۷۰/۲
خاک‌ورز مرکب (۲)**	تراکتور نیوهلند T6090 و T15	۲۸/۳±۰/۰	۷۸/۳±۰/۰	٤٥۱/۳±٤/۸	٥٥۷/۸±٤/۸
گاوآهن ۳خیش‌برگردان‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۱۲۳/۸±۸/۷	۱۳۰/۸±۹/۲	۱٤٤۹/٤±۱۸۰/۲	۱۷۰۷/۰±۱۹۲/۰
ردیفکار بشکه‌ای	تراکتور مسی فرگوسن	۳٥/٥±٤/۰	٥۲/۸±۲۹/٤	٥۰۳/٥±٥٦/٤	٥۹۱/۸±۷۳/۳
ردیفکار مخزن‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۳۱/٤±۰/۰	۱٤٦/۹±۰/۰	۳۲۳/۰±۱۹/۰	٥۰۱/۲±۱۹/۰
دستگاه مرکب-	تراکتور نیوهلند T6090 و T155	۳۳/۲±۲/٥	۱۰۰/٦±۸/۳	٤۸٦/٤±۳۹/٦	٦۲۰/۷±٤۷/٦
دستگاه کشت مستقیم	تراکتور نیوهلند T6090	۸٤/۹± -#	۷۱/۳٥± -#	٤٥٦/۰± -#	٦۱۲/۳± -#
مرزکش	تراکتور مسی فرگوسن	۹/٤±۰/۰	٤/۳±۰/۰	۱٥۲/۰±۰/۰	۱٦٥/۷±۰/۰
نهرکن	تراکتور مسی فرگوسن	۸/۸±۱/۲	۳/۲±۰/٤	۱٥۲/۹±۲۳/٦	۱٦٤/۸±۲٥/۱
کولتیواتر	تراکتور مسی فرگوسن	۲٦/۳±۹/۱	۱۹/۰±۷/۱	۳٥۷/۲±٥۷/۱	٤۰۲/٥±۷۳/۰
سانتریفیوژ (کوددهی)	تراکتور مسی فرگوسن	۷/۹±۰/٥	٥/٦±۰/٤	۱۲۱/٦±۱۸/٦	۱۳٥/۰±۱۸/۸
سم‌پاش بوم‌دار+	تراکتور مسی فرگوسن	۳۸/٦±۳/۲	٤۱/٥±۳/٤	۳٤۷/۹±۲۷/٥	٤۲۷/۹±۳۲/٦
سمپاش توربو+	تراکتور مسی فرگوسن	۱۰/۷±۰/۰	۱٤/۳±۰/۰	۱۱٤/۰±۰/۰	۱۳۸/۹±۰/۰
سمپاش پاششی+	تراکتور مسی فرگوسن	۲۲/۲±۱۳/۳	۲۹/۷±۱۷/۸	۲۳۷/٥±۱٤۲/٥	۲۸۹/٤±۱۷٥/۱
سم‌پاش بوم‌دار++	تراکتور مسی فرگوسن	٤٥/۲±٤/۱	٥٤/۸±٤/۹	۳۳۱/٦±۲۳/٥	٤۳۱/۷±۳۲/۰
سم‌پاش توربو++	تراکتور مسی فرگوسن	۲۱/۹±۱/٦	۲۹/۳±۲/۱	۲٥۱/۳±۱٤/٦	۳۰۲/٦±۱۸/۲
سم‌پاش پاششی++	تراکتور مسی فرگوسن	۳۰/٥±۳/۹	٤۲/۷±٥/۸	۲٥۲/٦±۲۸/۲	۳۲٥/۸±۳٦/٥
کمباین		۱۱٤/۷±٦/۰	۰/۰±۰/۰	۱۱۷۲/۲±٤٤/٦	۱۲۸٦/۱±٥۱/۳

* شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره؛ ** شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست سنگین ۳٦ پره؛ - شامل سیکلوتیلر، غلطک و ردیفکار مخزن‌دار؛ + سم‌پاشی جهت کنترل علف‌های هرز؛ ++ سم‌پاشی جهت کنترل حشرات؛ # چون فقط یک مزرعه مورد مطالعه قرار گرفت امکان محاسبه خطای استاندارد برای این عملیات وجود نداشت.

مقدار سوخت مصرفی برای خاک‌ورزهای ۱ و ۲ به‌ترتیب ۱٤/۷ و ۱۱/۹ لیتر در هکتار بود (جدول ۲). با وجود سنگین‌تر بودن خاک‌ورز مرکب ۲، بیشتر بودن عرض کار در این ماشین باعث کاهش مصرف انرژی به‌ویژه در بخش سوخت نسبت به خاک‌ورز ۱ شد (جدول ۳).

در بین ماشین‌های خاک‌ورزی بیشترین مصرف انرژی با مقدار ۱۷۰۷ مگاژول در هکتار برای استفاده از گاوآهن برگردان سه خیش بود. استفاده از این نوع ماشین هم در بخش انرژی مصرفی برای استفاده از ماشین‌ها شامل استفاده از تراکتور و دنباله‌بند (۲٥٤/٦ مگاژول انرژی در هکتار) و هم در بخش مصرف سوخت (۳۸/۱ لیتر سوخت در هکتار معادل ۱٤٤۹/٤ مگاژول در هکتار) بیشترین مصرف انرژی را دارا بود (جداول ۲ و ۳). مقدار سوخت موردنیاز برای شخم برگردان ۲۱/۸ لیتر در هکتار گزارش شده است (وست و مارلند، ۲۰۰۲). شلتون و همکاران (۱۹۸۰) گزارش کردند که مقدار سوخت مصرفی برای انجام خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار برابر ۱۷/٥ لیتر در هکتار بود. وست و مارلند (۲۰۰۲) بیان کردند که برای یک هکتار شخم با گاوآهن برگردان، ۱۱۲۲ مگاژول انرژی نیاز بود. برای انجام شخم برگردان با عمق ۲۰ سانتی‌متر در خاک‌های رسی و لومی- سیلتی به‌ترتیب ٥٤ و ۲۷ لیتر سوخت در هکتار مصرف شد (آرویدسن، ۲۰۱۰). بافت خاک، نوع ماشین‌های مورد استفاده برای انجام عملیات زراعی، تنظیم بودن موتور کشنده و حتی مهارت کشاورزان می‌توانند در مقدار مصرف سوخت و انرژی مؤثر باشند. این عوامل می‌توانند باعث تفاوت مصرف سوخت و انرژی برای انجام عملیات یکسان در مناطق مختلف می‌شوند. عرض کار این نوع خاک‌ورز در حدود ۱ متر بود. به عبارتی برای انجام شخم برگردان یک هکتار زمین با این عرض کار، تراکتور باید ۱۰ کیلومتر مسافت را طی می‌کرد. مسافت طی شده جهت انجام شخم در مقایسه با عمل دیسک زدن با انواع ۲۸، ۳٦ و ٤۲ پره به‌ترتیب ۲/٦، ۳ و ۳/٥ برابر بیشتر بود. بیشتر بودن مسافت پیموده شده در شخم با گاوآهن ۳ خیش برگردان‌دار باعث افزایش مصرف سوخت و انرژی استفاده از ماشین‌ها نسبت به انواع روش‌های دیسک و یا خاک‌ورزهای مرکب شد (جدول ۳).

کاشت: در این مطالعه ٤ نوع ماشین کشت سویا مورد مطالعه قرار گرفت. کمترین مصرف انرژی جهت کشت سویا با مقدار ٥۰۱/۲ مگاژول در هکتار برای ردیفکار مخزن‌دار بود که توسط تراکتور سبک کشیده شد. بیشترین مصرف انرژی با مقدار ٦۲۰/۷ مگاژول در هکتار برای کشت با دستگاه مرکب مصرف شد (جدول ۳). ردیفکار مخزن‌دار دارای ٦ ردیف کشت با فاصله ردیف نیم متر بود. عرض کار دستگاه ۲/۷٥ متر بود. با این دستگاه جهت کشت زمینی به مساحت ۱ هکتار نیاز به طی

۳٦۳٦ متر مسافت بود. مشخصات مربوط به عرض کار دستگاه و مسافت پیموده شده برای کشت با دستگاه مرکب نیز مشابه کشت با ردیف‌کار مخزن‌دار بود. برای استفاده از دستگاه مرکب نیاز به تراکتورهای سنگین بود. استفاده از دستگاه مرکب باعث افزایش سرعت کشت نسبت به روش کشت با ردیفکار مخزن‌دار شد. برای کشت یک هکتار زمین با ردیفکار مخزن‌دار و دستگاه مرکب به‌ترتیب ۱ و ۰/٦۳ ساعت زمان نیاز بود (جدول ۲).

ردیفکار بشکه‌ای دارای ۵ ردیف کشت با فاصله ردیف نیم متر بود که توسط تراکتور سبک کشیده می‌شد. عرض کار این دستگاه ۲/۲۵ متر بود. به‌عبارتی تراکتور برای کشت یک هکتار زمین ٤٤٤٤ متر مسافت را طی کرد. عرض کار و تعداد ردیف و در نتیجه مسافت موردنیاز برای کشت یک هکتار زمین توسط دستگاه کشت مستقیم نیز همانند ردیفکار بشکه‌ای بود. برای استفاده از دستگاه کشت بدون شخم نیاز به تراکتور سنگین بود.

بیشترین زمان لازم برای کشت با مقدار ۱/۵ ساعت در هکتار برای دستگاه کشت بدون شخم مشاهده شد. سریع‌ترین کشت با مقدار ۰/٦۳ ساعت در هکتار توسط دستگاه مرکب به‌دست آمد (جدول ۲). دستگاه مرکب دارای سیکلوتیلر، غلطک و ردیفکار مخزن‌دار بود. دستگاه سیکلوتیلر باعث نرم‌تر شدن خاک و در نتیجه افزایش سرعت کشت شد. این در حالی بود که در کشت بدون شخم وجود بقایا گیاهی بر روی سطح خاک و عدم خاک‌ورزی زمین منجر به کاهش سرعت کشت شد. کاهش زمان استفاده از دستگاه مرکب باعث کاهش مصرف انرژی در بخش استفاده از ماشین شد (جدول ۳).

داشت

آبیاری: در بیشتر مزارع به‌دلیل استفاده از سیستم غرقاب برای آبیاری سویا، وجود پشته یا جویچه برای هدایت آب در داخل مزرعه الزامی بود[1]. کشاورزان برای ایجاد جویچه و پشته از مرزکش استفاده کردند. برای ایجاد پشته به ١٦٥/٧ مگاژول در هکتار انرژی نیاز بود (جدول ۳). ایجاد جویچه توسط نهرکن انجام شد. مقدار انرژی برای ایجاد جویچه در مزرعه برابر با انرژی صرف شده برای تهیه پشته در مزرعه بود (جدول ۳).

۱. در مزارعی که از روش آبیاری نواری استفاده شد، برای ایجاد نوارها از پشته استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از هدر رفت آب، در داخل مزرعه آب از طریق جویچه‌های ایجاد شده به انتهای نوارها هدایت شد.

مدت زمان لازم برای ایجاد پشته توسط مرزکش ۰/٤ ساعت در هکتار بود. این در حالی بود که جویچه‌ها در مدت زمان ۰/۳ ساعت ایجاد شدند (جدول ۳). با توجه به صرف زمان کمتر برای ایجاد جویچه نسبت به ایجاد پشته، به نظر می‌رسید انرژی صرف شده برای تهیه جویچه‌ها کمتر از پشته‌ها باشد. ایجاد پشته و جویچه بعد از کشت محصول انجام شد. با توجه به هموار بودن زمین بعد از کشت، برای ایجاد پشته تراکتور می‌توانست با دنده سبک حرکت کند. اما این در حالی بود که برای ایجاد جویچه تراکتور باید با دنده سنگین حرکت می‌کرد. حرکت تراکتور با دنده سبک نسبت به دنده سنگین مصرف سوخت کمتری دارد (دارابی، ۲۰۱۱). به‌همین دلیل با وجود پیمودن مسافت بیشتر برای تهیه پشته نسبت به جویچه، مصرف سوخت برای انجام این دو عملیات برابر شد (جدول ۲).

کولتیواتور: عملیات کولتیواتور زدن یک هکتار زمین ۰/۸ ساعت طول کشید. مقدار مصرف سوخت و کل انرژی برای انجام این عملیات به‌ترتیب ۹/٤ لیتر در هکتار و ٤۰۲/۵ مگاژول در هکتار بود (جداول ۲ و ۳).

کوددهی: استفاده از سانتریفیوژ برای کوددهی سرک ۳/۲ لیتر در هکتار سوخت مصرف کرد. از نظر مصرف انرژی، برای کوددهی با سانتریفیوژ ۱۳۵ مگاژول در هکتار انرژی مورد استفاده قرار گرفت (جداول ۲ و ۳).

سم‌پاشی: نوع سم‌پاش در مصرف انرژی تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین مصرف انرژی برای سم‌پاشی پیش از کشت جهت کنترل علف‌های هرز با مقدار ٤۲۷/۹ مگاژول در هکتار با سم‌پاش بوم‌دار ۸ متری به‌دست آمد. استفاده از سم‌پاش بوم‌دار برای کنترل حشرات نیز مصرف انرژی بیشتری نسبت به سم‌پاش‌های پاششی و توربو داشت (جدول ۳). از نظر مصرف انرژی بین سم‌پاش بوم‌دار برای کنترل حشرات و سم‌پاشی پیش از کشت برای کنترل علف‌های هرز، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). کمترین مصرف انرژی برای سم‌پاشی پیش از کشت جهت کنترل علف‌های هرز با مقدار ۱۳۸/۹ مگاژول در هکتار با سم‌پاش توربو حاصل شد. استفاده از سم‌پاش توربو برای کنترل حشرات نسبت به دو نوع سم‌پاش دیگر انرژی کمتری استفاده کرد (جدول ۳). مقدار مصرف انرژی برای سم‌پاشی جهت کنترل حشرات با سم‌پاش توربو بیشتر از انرژی مصرف شده برای سم‌پاشی پیش کاشتی جهت کنترل علف‌های هرز بود (جدول ۳).

برداشت: برداشت سویا توسط کمباین جاندیر ۵۹۹ انجام شد. مقدار سوخت مصرفی این ماشین برای برداشت سویا ۳۰/۹ لیتر در هکتار به‌دست آمد. در بخش برداشت، انرژی استفاده از ماشین معادل ۱۱٤/۷ مگاژول در هکتار بود. مدت زمان لازم برای برداشت ۲ ساعت در هکتار برآورد شد (جداول ۲ و ۳).

جدول ٤- میانگین و خطای استاندارد گازهای گلخانه‌ای منتشر شده (GWP) برای هر عملیات بر حسب معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار مزارع سویا.

عملیات	مدل کشنده	کشنده	دنباله‌بند	سوخت	کل
دیسک تاندوم ۲۸ پره	تراکتور مسی فرگوسن	۵/۲±۰/۵	۹/۰±۰/۸	۳۵/۲±۲/۵	٤۹/۵±۳/۰
دیسک تاندوم ۳٦ پره	تراکتور جاندیر	٤/۷±۰/۷	۱٤/٤±۲/۱	۳۱/٦±٦/۹	۵۰/۸±۸/٦
دیسک تاندوم ٤۲ پره	تراکتور والترا	٦/٤±۰/۰	۱٦/۲±۰/۰	۲۷/٤±۲/۲	۵۰/۱±۲/۲
خاک‌ورز مرکب (۱)*	تراکتور نیوهلند T6090 وT155	۷/۸±۰/۷	۱٦/٤±۱/۵	٤۳/٤±٤/۹	٦۷/٦±٦/٦
خاک‌ورز مرکب (۲)**	تراکتور نیوهلند T6090 و T15	٦/٤±۰/۰	۱۷/۸±۰/۰	۳۵/۲±۰/٤	۵۹/٤±۰/٤
گاوآهن۳خیش‌برگردان‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۲۸/۱±۲/۰	۲۹/۷±۲/۱	۱۱۳/۱±۱٤/۱	۱۷۰/۹±۱٦/۹
ردیفکار بشکه‌ای	تراکتور مسی فرگوسن	۸/۱±۰/۹	۱۲/۰±٦/۷	۳۹/۳±٤/٤	۵۹/۳±۹/۵
ردیفکار مخزن‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۷/۱۳±۰/۰	۳۳/٤±۰/۰	۲۵/۲±۱/۵	٦۵/۷±۱/۵
دستگاه مرکب⁻	تراکتور نیوهلند T6090 و T155	۷/۵±۰/٦	۲۲/۹±۱/۹	۳۷/۹±۳/۱	٦۷/۳±۵/۱
دستگاه کشت مستقیم	تراکتور نیوهلند T6090	۱۹/۳± -#	۱٦/۲± -#	۳۵/٦± -#	۷۱/۱± -#
مرزکش	تراکتور مسی فرگوسن	۲/۱±۰/۰	۱/۰±۰/۰	۱۱/۹±۰/۰	۱۵/۰±۰/۰
نهرکن	تراکتور مسی فرگوسن	۲/۰±۰/۳	۰/۷±۰/۱	۱۱/۹±۱/۸	۱٤/۷±۲/۲
کولتیواتر	تراکتور مسی فرگوسن	٦/۰±۲/۱	٤/۳±۱/٦	۲۷/۹±٤/۵	۳۸/۲±۸/۰
سانتریفیوژ (کوددهی)	تراکتور مسی فرگوسن	۱/۸±۰/۱	۱/۳±۰/۱	۹/۵±۱/۵	۱۲/۵±۱/۵
سم‌پاش بوم‌دار+	تراکتور مسی فرگوسن	۸/۸±۰/۷	۹/٤±۰/۸	۲۷/۱±۲/۱	٤۵/۳±۳/٤
سم‌پاش توربو+	تراکتور مسی فرگوسن	۲/٤±۰/۰	۳/۲±۰/۰	۸/۹±۰/۰	۱٤/٦±۰/۰
سم‌پاش پاششی+	تراکتور مسی فرگوسن	۵/۰±۳/۰	٦/۸±٤/۱	۱۸/۵±۱۱/۱	۳۰/۳±۱۸/۲
سم‌پاش بوم‌دار++	تراکتور مسی فرگوسن	۱۰/۳±۰/۹	۱۲/٤±۱/۱	۲۵/۹±۱/۸	٤۸/٦±۳/۷
سم‌پاش توربو++	تراکتور مسی فرگوسن	۵/۰±۰/٤	٦/۷±۰/۵	۱۹/٦±۱/۱	۳۱/۲±۲/۰
سم‌پاش پاششی++	تراکتور مسی فرگوسن	٦/۹±۰/۹	۹/۷±۱/۳	۱۹/۷±۲/۲	۳٦/۳±٤/۱
کمباین		۲٦/۱±۱/٤	۰/۰±۰/۰	۹۱/٤۳±۳/۵	۱۱۷/۵±۳/٦

* شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست نیمه سنگین ۳۲ پره؛ ** شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست سنگین ۳٦ پره؛ - شامل سیکلوتیلر، غلطک و ردیفکار مخزن‌دار؛ + سم‌پاشی جهت کنترل علف‌های هرز؛ ++ سم‌پاشی جهت کنترل حشرات؛ #چون فقط یک مزرعه مورد مطالعه قرار گرفت امکان محاسبه خطای استاندارد برای این عملیات وجود نداشت.

انتشار گازهای گلخانه‌ای: در بین عملیات مورد بررسی استفاده از گاوآهن سه خیش برگردان‌دار با انتشار ۱۷۰/۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌ترین عملیات زراعی شناخته شد. آلایندگی برداشت توسط کمباین با مقدار ۱۱۷/۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ٤). در بین ادوات خاک‌ورزی کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای برای دیسک ۲۸ پره با مقدار ٤۹/۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود (جدول ٤). وست و مارلند، (۲۰۰۲) گزارش کردند که هر هکتار شخم برگردان باعث انتشار ۲٦/۷۵ کیلوگرم کربن شد که معادل ۹۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن است. لال (۲۰۰٤) مقدار کربن انتشار یافته در ازای یک هکتار شخم را ۱۵/۲ کیلوگرم (معادل ۵۵/۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن) گزارش کرد. سوختن سوخت‌های فسیلی یکی از عوامل اصلی انتشار دی‌اکسید کربن در هنگام انجام عملیات زراعی می‌باشد (دایر و دسجاندیر، ۲۰۰۳). بنابراین با افزایش مقدار مصرف سوخت‌های فسیلی برای انجام عملیات زراعی، مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای در استفاده از گاوآهن سه خیش برگردان‌دار به‌دلیل کم بودن عرض کار این دنباله‌بند بود. در صورت کم بودن عرض کار دنباله‌بند، تراکتور باید مسافت زیادتری را طی کند تا عملیات موردنظر در کل مزرعه به اجرا در آید. افزایش مسافت باعث افزایش مصرف سوخت و افزایش مدت زمان استفاده از ماشین می‌شود. این موضوع باعث افزایش مصرف انرژی در بخش سوخت و استفاده از ماشین‌ها می‌شود. افزایش مصرف انرژی برای انجام شخم با گاوآهن سه خیش برگردان‌دار باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این عملیات شد.

دستگاه‌های کشت مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای مختلفی داشتند (جدول ٤). استفاده از ردیفکار بشکه‌ای با مقدار ۵۹/۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشت. این در حالی بود که بیشترین مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای با مقدار ۷۱/۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار برای دستگاه کشت مستقیم بود.

در بین ادوات سم‌پاشی، سم‌پاش توربو با مقدار ۱٤/٦ (برای سم‌پاشی پیش‌کاشتی) و ۳۱/۲ (برای سم‌پاشی جهت کنترل حشرات) کمترین و سم‌پاش بوم‌دار با مقدار ٤۵/۳ (برای سم‌پاشی پیش‌کاشتی) و ٤۸/٦ (برای سم‌پاشی جهت کنترل حشرات) بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارا بودند (جدول ٤).

کاربرد یافته‌ها: در این بخش با ذکر یک مثال به نحوه استفاده از یافته‌های این تحقیق پرداخته می‌شود. در مثال ارایه شده دو سناریوی تولید سویا که نوع ماشین‌های مورد استفاده برای انجام عملیات زراعی در آن‌ها متفاوت می‌باشند از نظر مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در سناریو ۱ برای انجام عملیات زراعی از ماشین‌های سنتی مانند گاوآهن سه خیش برگردان‌دار، دیسک تاندوم سبک و سم‌پاش پشتی تراکتور استفاده می‌شود. اما در سناریو ۲، ماشین‌های جدیدتری مانند خاک‌ورز مرکب، دستگاه کارنده مرکب و سم‌پاش توربو جهت انجام عملیات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۵).

جدول ۵- تعداد دفعات انجام عملیات مختلف در دو سناریو طراحی شده برای تولید سویا.

عملیات زراعی	مدل کشنده	سناریو ۱	سناریو ۲
سم‌پاش توربو-	تراکتور مسی فرگوسن	۰+	۱+
گاوآهن ۳ خیش برگردان‌دار	تراکتور مسی فرگوسن	۳	۰
دیسک تاندوم ۲۸ پره	تراکتور مسی فرگوسن	۱	۰
خاک‌ورز مرکب (۲) *	تراکتور نیوهلند T6090	۰	۲
ردیفکار بشکه‌ای	تراکتور مسی فرگوسن	۱	۰
دستگاه مرکب **	تراکتور نیوهلند T6090	۰	۱
کولتیواتور	تراکتور مسی فرگوسن	۰	۱
سم‌پاش پاششی--	تراکتور مسی فرگوسن	۲	۰
سم‌پاش توربو--	تراکتور مسی فرگوسن	۰	۳
برداشت	کمباین جاندیر 955	۱	۱

- سم‌پاشی برای کنترل علف‌های هرز؛ -- سم‌پاشی برای کنترل آفات؛ *شامل سیکلوتیلر، غلطک و دیسک افست سنگین ۳۶ پره؛ **شامل سیکلوتیلر، غلطک و ردیفکار مخزن‌دار؛ + در طراحی سناریوها، انجام و یا عدم انجام عملیات زراعی مختلف و همچنین تعداد دفعات این عملیات بر اساس نتایج مستندسازی برای تولید سویا که توسط نویسندگان انجام شده است (چاپ نشده).

به‌منظور مقایسه سناریوها از نظر مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از انجام عملیات مختلف زراعی به اطلاعاتی شامل تعداد دفعات موردنیاز انجام هر عملیات، مقدار

مصرف سوخت و انرژی برای هر بار انجام عملیات زراعی همچنین مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده برای هر بار انجام عملیات موردنظر، نیاز می‌باشد.

جدول ٦- مقادیر مصرف انرژی، سوخت و تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای طراحی شده.

موارد محاسبه شده	واحد	سناریو ۱	سناریو ۲	درصد کاهش در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱
زمان استفاده از ماشین‌ها	ساعت در هکتار	۱۰/۹	٦/٥	٤٠
سوخت	لیتر در هکتار	۱۳۱/٤	۹۹/۷	۲٤
انرژی سوخت	مگاژول در هکتار	٥۱٤۲/٥	۳۷۸٦/۳	۲٦
انرژی تراکتور	مگاژول در هکتار	٤۳۳/٤	۳۰٦/۲	۲۹
انرژی دنباله‌بند	مگاژول در هکتار	٤۱۲/٦	۳۷۸/٤	۸
انرژی کل	مگاژول در هکتار	٥۹۸۸/٥	٤٤۷۰/۹	۲٥
گازهای گلخانه‌ای کل	معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار	٥۹۳/٤	٤٥۱/۰	۲٤

با استفاده از اطلاعات موجود در ارتباط با سناریوها (جدول ٥) و همچنین به کارگیری اطلاعات به دست آمده حاصل از این مطالعه در ارتباط با مقادیر مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از عملیات، این اطلاعات در جداول ۲، ۳ و ٤ ارایه شده‌اند. مقادیر کل مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محاسبه شده برای هر یک از سناریوهای طراحی شده در جدول ٦ ارایه شده است. براساس نتایج به دست آمده در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱، زمان استفاده از ماشین‌ها در مزرعه ٤۰ درصد کاهش دارد. کاهش زمان رفت و آمد ماشین‌ها در داخل مزرعه باعث کاهش ایجاد لایه متراکم در خاک می‌شود که این امر از نتایج استفاده از ماشین‌های جدیدتر برای انجام عملیات زراعی در مزرعه است. برای انجام سناریو ۱ نیاز به مصرف ۱۳۱ لیتر در هکتار سوخت می‌باشد که معادل ٥۱٤۳ مگاژول انرژی در هکتار است اما در سناریو ۲ مقدار مصرف سوخت ۱۰۰ لیتر در هکتار است که معادل ۳۷۸٦ مگاژول انرژی در هکتار است. استفاده از تراکتور سنگین و ماشین‌های مدرن‌تر برای انجام عملیات زراعی در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ باعث کاهش مصرف به مقدار ۳۱ لیتر سوخت در هکتار شد. به کارگیری تراکتور سنگین و ماشین‌های جدید خاک‌ورزی،

کشت و سم‌پاشی انرژی استفاده از ماشین‌ها را نیز به مقدار ۱٦۱ مگاژول در هکتار کاهش می‌دهد (جدول ٦). سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کارآمدتر است. به‌طوری که در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ انتشار گازهای گلخانه‌ای به مقدار ۱٤۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار، کمتر بود (جدول ٦).

نتایج این مقایسه نشان داد که به کارگیری تراکتور سنگین و ماشین‌های جدید باعث صرفه‌جوی در وقت جهت انجام عملیات زراعی شد، همچنین مصرف سوخت و انرژی در بخش استفاده از ماشین‌های جدیدتر نسبت به قدیمی‌تر به‌ترتیب ۲٤ و ۲٦ درصد کاهش دارد. استفاده از ماشین‌های مدرن‌تر انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری را در پی داشت به‌طوری که به کارگیری ماشین‌های مدرن‌تر نسبت به استفاده از ماشین‌های قدیمی باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای به مقدار ۲٤ درصد در بخش استفاده از ماشین‌ها و مصرف سوخت جهت انجام عملیات زراعی برای تولید سویا شد.

نتیجه‌گیری کلی

هدف از انجام این مطالعه برآورد میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از عملیات زراعی مورد استفاده جهت تولید سویا در گرگان و علی‌آباد کتول بود. در این مطالعه برای تولید سویا به طور عمده از ۵ مدل مختلف تراکتور، ٦ نوع دستگاه خاک‌ورزی (مرکب یا ساده)، ٤ نوع دستگاه کارنده، ۳ نوع سم‌پاش، ۱ نوع نهرکن، ۱ نوع مرزکش، ۱ نوع کودپاش و ۱ نوع کمباین استفاده شد.

دامنه مصرف سوخت برای عملیات خاک‌ورزی ۹/۳–۳۸/۱ لیتر در هکتار، کشت ۸/۵–۱۳/۳ لیتر در هکتار، سم‌پاشی۳–۹/۲ لیتر در هکتار و برای برداشت ۳۰/۹ لیتر در هکتار بود. دامنه انرژی مصرفی برای انجام عملیات مختلف خاک‌ورزی ٤۵۱/۱–۱۷۰۷ مگاژول در هکتار، کشت ۵۰۱/۲–٦۲۰/۷ مگاژول در هکتار، سم‌پاشی ۱۳۸/۹–٤۳۱/۷ مگاژول در هکتار و برای برداشت ۱۲۸٦/۱ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. دامنه مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از انجام عملیات برای خاک‌ورزی ٤۹/۵–۱۷۰/۹ معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار، کشت ۵۹/٦۳–۷۱/۱ معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار، سم‌پاشی ۱٤/٦–٤۸/٦ معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار و برای برداشت ۱۱۷/۵ معادل کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد شد.

از یافته‌های این تحقیق می‌توان برای سناریوسازی و مقایسه آن‌ها به لحاظ مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده نمود که می‌تواند در بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی مؤثر باشد. با ذکر یک مثال نحوه کاربرد نتایج این مطالعه در چنین موردی نشان داده شد.

پیشنهاد می‌شود این مطالعه در تعداد بیشتری از مزارع و مناطق مختلف و برای محصولات مختلف زراعی انجام شود. افزایش تعداد مزارع و محصولات مورد مطالعه علاوه‌بر افزایش تنوع عملیات زراعی مختلف باعث کاهش خطا در برآورد مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر عملیات خواهد شد. همچنین چنین مطالعه گسترده‌ای تأثیر احتمالی سایر عوامل (مانند بافت خاک، مقدار مواد آلی خاک، عمق شخم، وزن و عمر تراکتور و سایر موارد مشابه) بر مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان خواهد داد و در صورت نیاز برای آن‌ها تعدیل مناسب یا تابع مناسب یافت خواهد شد.

منابع

1. Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., and Grignani, C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture, Energy, 36: 4468-4481.
2. Annonymous, 2011. National Greenhouse Accounts Factors. Department of Climate Change and Energy Efficiency, Commonwealth of Australia.
3. Arvidsson, A. 2010. Energy use efficiency in different tillage systems for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden, Europe J. Agronomy, 33: 250–256.
4. Barut, Z.B., Ertekin, C., and Karaagac, H.A. 2011. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey, Energy, 36: 5466-5475.
5. Bowers, CG. 1989. Tillage draft and energy measurements for twelve southeastern soil series, Trans ASAE, 32: 1492–502.
6. Brown, L.R., Flavin, C.F., and French, H. 1998. State of the world, New York: Norton, 251 p.
7. Dalgaard, T. 2000. Farm types—how can they be used to structure, model and generalize farm data? In: Weidema, B.P., Meeusen, M.J.G. (Eds.), Agricultural Data for Life Cycle Assessments. Report 2.00.01. Agricultural Economics Research Institute, The Hague, the Netherlands, Pp. 98–114.
8. Darabi, SH. 2011. Mapping of fuel consumption chancing in the different depth and speed of tractor with digital fuel meter, First National Conference on Modern Topics in Agriculture Save, Iran.

9. Dyer, J.A., and Desjardins, R.L. 2003. The impact of farm machinery management on greenhouse gas emissions from Canadian agriculture, Sustain. Agri., 20: 59–74.
10. Filipovic, D., Kosutic, S., Gospodaric, Z., Zimmer, R., and Banaj, D. 2006. The possibilities of fuel savings and the reduction of CO_2 emissions in the soil tillage in Croatia. Agric, Ecosyst, Environ., 115: 290–294.
11. Gholami, R., Rabbani, H, Lorestani, A.N., Javadikia, P., and Jaliliantabar, F. 2013. Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural. Inter J. Agric, Crop Sci., 5: 688-694.
12. Green, M. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel ZR. (Eds), Energy in plant nutrition and pest control, vol. 7, Amsterdam: Elsevier, p. 165-177.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, UK.
14. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. In: Houghton, J.T. (Eds), Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, vol. 3. IPCC Technical Support Unit, London.
15. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Parry, M.L. Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J., and Hanson, C.E. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
16. Ministry of Petroleum of Iran, International Energy Studies Institute. 2008. Hydrocarbon balance sheet of the Ministry of Petroleum, 544 p. (In Persian).
17. Izaurralde, R.C., McGill, W.B., and Rosenberg, N.J. 2000. Carbon cost of applying nitrogen fertilizer, Science, 288: 811-812.
18. 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, Agri. Ecosyst Environ, 122: 243-251.
19. Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Mubarak, I., and Perret, S. 2010. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France, Soil Till Res., 106: 218-226.
20. Lal, R. 2004. Carbon emission from and farm operations, Environ. Int., 30: 981-990.
21. Lal, R., Follett, R.F., Kimble, J., and Cole, C.V. 1999. Managing US cropland to sequester carbon in soil. J. Soil Water Conserv, 54: 374–381.
22. Lubbe, P.A., Archer, C.G., and Whitehead, E.N.C. 2013. Guide to machinery costs. Directorate Communication Services. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries. Private Bag X144, Pretoria, 0001 South Africa. Available on the web at www.daff.gov.za/publications. 65 p.

23. Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Choudhury, I.A., and Saidur, R., 2002. Potential CO2 reduction by fuel substitution to generate electricity in Malaysia, Energy Convers. Manage., 43:763–770.
24. Mehrabi-Basharabadi, H., and Gilanpour, A. 2003 .Evaluation of the relationship between farm size and productivity of agricultural machinery and mechanization of agriculture in Kerman, Fifth Conference of Iranian Agricultural Economics.
25. Ministry of Energy (Iran). 2010. Energy balance sheet, 541 p. (In Persian).
26. Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach, Energy. 36: 2765-2772.
27. Nemecek, T., and Kagi, T. 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems, Eco invent report No. 15, Zurich and Dubendorf.
28. Odum, H.T. 1971. Fundamentals of Ecology, 3rd ed. Saunders, Philadelphia.
29. Pelizzi, G., Guidobono-Cavalchini, A., and Lazzari, M. 1988. Energy Savings in Agricultural Machinery and Mechanization, Elsevier, London/New York.
30. Pimentel, D., Hurd, L.E., Belloti, A.C., Forster, M.J., Oka, I.N., Scholes, O.D., and Salway, A.G. 1996. UK Greenhouse Gas Emission Inventory 1990–1994. AEA Technology and Department of the Environment, AEA/20092001/Issue 1. ISBN 0-7058-1728-8.
31. Rajabi, M.H. 2010. Evaluation of energy use and its environmental impacts in wheat production at Gorgan. A Thesis Submitted for the Degree of M.Sc thesis in Agronomy, Islamic Azad University. 108 p. (In Persian).
32. Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B., and Ghasemi Mobtaker, H. 2012. Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran, Energy Con. Manag., 64: 441–446.
33. Schlesinger, W.H., 1999. Carbon sequestration in Soil Science, 284:2095.
34. Shelton, D.P., Von Burgen, K., and Al-Jiburi, A.S. 1980. Nebraska on-farm fuel use survey, Trans ASAE, 23: 1089–1092.
35. Singh, S., Mittal, J.P., and Verma, S.R. 1997. Energy requirements for production of major crops in India. Agri. Mech. Asia Africa Latin Am (AMA). 28: 7–13.
36. Soltani, A., Rajabi, M.H., Soltani, E., and Zeinali, E. 2010. Valuation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. Research report, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, 175 p.
37. 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.

38. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., GhasemiVarnamkhasti, M., Rahimizadeh, R., and Karimi, M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production, Energy, 34:41–45.
39. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK, Agric. Syst., 85: 101–119.
40. West, T.O., and Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States, Agric. Ecosys. Environ., 91: 217-232.

EJCP., Vol. 7 (1): 1-23
http://ejcp.gau.ac.ir

Fuel consumption, energy use and GHG emissions from field operations in soybean production

***S.M. Alimagham[1], A. Soltani[2] and E. Zeinali[3]**
[1]M.Sc Student, Agro-ecology, Dept. of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources,
[2,3]Professor and Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Accepted: 2013/08/28 ; Received: 2013/06/03

Abstract

Application of appropriate agricultural operations is a strategy to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions from agricultural productions process. In this study, fuel consumption and greenhouse gases emissions values for each farm operation of soybean production was evaluated in Gorgan and Ali-Abad Katol. For this purpose all operations activities were monitored and recorded in 26 fields. Results showed that the time required to perform various operations took between 0.2-3.9 hours per hectare. Fuel consumption values for various operations were between 3-38.1 liters per hectare. Among agronomic operation 3-bottom chisel plow consumed the highest fuel. As well, energy consumption of operations was between 138.9-1707 MJ per hectare. In the case of greenhouse gases emissions from different operations estimated from 12.5 to 170.9 kilogram carbon dioxide equivalent per hectare. Based on the result of this study, it is possible to compare different scenarios of soybean production in terms of energy consumption and greenhouse gases emissions to select the best production scenario(s).

Keywords: Energy, Greenhouse gases, Fuel, Agricultural operation, Soybean

*Corresponding author; Email: m_alimagham@yahoo.com