

## سنجش پایداری تولید گندم آبی در روش کشت رایزبد و روش‌های کشت مرسوم

پرویز گلپرست<sup>۱</sup>، نرگس بنائیان<sup>۱</sup>، مهدی خانی<sup>۱</sup> و جبرائیل تقی‌نژاد<sup>۲</sup>

### چکیده

برای ایجاد امنیت غذایی و پایداری تولید گندم، در کنار منفعت اقتصادی، بهبود بهره‌وری در مصرف انرژی و سازگاری با محیط زیست و منابع آبی، حیاتی است. نوع ماشین‌های کشاورزی و روش‌های کاشت می‌تواند بر شاخص‌های پایداری اثرگذار باشد. مطالعه حاضر به صورت آزمایش بنیان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مقایسه نتایج کاشت با بذرکار رایزبد بر روی پشته‌های دائمی بلند و روش‌های مرسوم کاشت با خطی‌کار معمولی غلات و خطی‌کار فاقد جوی‌پشته‌ساز با چهار تکرار، در کشت و صنعت پارس آباد مغان استان اردبیل می‌پردازد. نتایج نشان داد که چرخه تولید گندم با روش کاشت جدید می‌تواند شاخص بهره‌وری انرژی را ۹ درصد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۲۲۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در هکتار کاهش دهد. در میان بخش‌های اثر بررسی شده در هر سه روش کاشت، بیش‌ترین سهم مربوط به انواع مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت انسانی و مسمومیت آب‌های سطحی بود که ناشی از مصرف نهاده‌های کود و سم بود. روش کشت رایزبد توانسته است، عملکرد زیستی، شدت و بهره‌وری انرژی را به‌طور معنی‌داری افزایش و اثرات زیست‌محیطی را به‌طور معناداری کاهش دهد. در مجموع شاخص‌های اقتصادی، بهره‌وری آب، انرژی و زیست‌محیطی در هر سه کارنده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مقایسه شاخص‌های گرمایش جهانی، مسمومیت، بهره‌وری انرژی، شاخص برداشت، بهره‌وری مصرف آب و سودخالص نشان داد که اولویت کارنده پایدار به ترتیب متعلق به خطی‌کار رایزبد، خطی‌کار معمولی غلات و خطی‌کار فاقد جوی و پشته‌ساز است.

**واژه‌های کلیدی:** کشت حفاظتی، عملکرد زیستی، مسمومیت آبی، بهره‌وری انرژی، مصرف آب.

**ارجاع:** گلپرست پ. بنائیان ن. خانی م. تقی‌نژاد ج. ۱۴۰۳. سنجش پایداری تولید گندم آبی در روش کشت رایزبد و روش‌های کشت مرسوم. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۲: ۹۱-۱۰۳. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14608.686>

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲- گروه مکانیزاسیون کشاورزی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، ایران.

✉ نویسنده مسئول: [banaeian@guilan.ac.ir](mailto:banaeian@guilan.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

## مقدمه

استفاده کارآمد از انرژی در کشاورزی یکی از شرایط مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های محیطی می‌گردد (Taghinazhad, et al., 2019). از این‌رو، ارزیابی انرژی مصرفی در سامانه‌های مختلف کشاورزی یکی از روش‌های تعیین سطح پایداری در این سامانه‌ها است. بنابراین شناسایی روش‌هایی برای تولید محصول که بتواند کارایی مصرف انرژی را به حداکثر و تولید گازهای گلخانه‌ای و مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند، باید از اولویت‌های پژوهشی و تحقیقاتی بخش کشاورزی به شمار می‌آید (Alipour et al., 2013). در مطالعات بلندمدت (۱۹۴۹ تا ۲۰۲۰) بهره‌وری انرژی یک روند نزولی را نشان داده است، با توجه به اینکه نهاده‌های کشاورزی در بهبود بهره‌وری انرژی مؤثر هستند، اقدامات مدیریتی جهت کاهش این روند نزولی و افزایش بهره‌وری انرژی ضروری است (Mu et al., 2023). گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان بوده و مهم‌ترین منبع غذایی انسان است که در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان رشد می‌کند و دارای بیش‌ترین پراکندگی در دنیا است (Shiferaw et al., 2013). سطح زیر کشت گندم در جهان در سال ۲۰۱۹ حدود ۲۱۵ میلیون هکتار با مجموع تولید ۷۶۵ میلیون تن و عملکرد ۳/۵ تن در هکتار بود (FAO<sup>1</sup>, 2021). کل سطح زیر کشت گندم در استان اردبیل حدود ۳۱۴ هزار هکتار است که مساحت اختصاص یافته به گندم آبی و دیم این استان، به ترتیب ۹۱۴۰۱ و ۲۲۲۷۸۸ هکتار و تولید آن‌ها به ترتیب ۴۱۴۱۴۸ و ۲۰۳۷۱۰ تن است (Anonymous, 2021).

روش‌های مرسوم تهیه زمین شامل خاک‌ورزی‌های مکرر و به‌دنبال آن، تردد زیاد با ماشین‌های سنگین و بی‌پناه گذاشتن خاک هستند که می‌توانند منجر به کاهش مواد آلی خاک، تراکم خاک و تخریب ساختمان آن، نابودی چرخه زیستی خاک و افزایش مصرف آب شوند (Hamzei & Borbor, 2014). بنابراین امروزه روش‌های مختلف کشاورزی حفاظتی برای اجتناب از مضرات روش‌های مرسوم تهیه زمین معرفی شده‌اند. یکی

از جدیدترین راهکارهای پیاده‌سازی روش‌های کشاورزی حفاظتی برای محصولات آبی، کاشت بر روی بسترهای بلند و دائمی است که اصطلاحاً به آن کشت بر روی پشته<sup>۲</sup> (رایزبد) می‌گویند. در این روش معمولاً عرض پشته ۷۰-۴۵ سانتی‌متر، فاصله ردیف کاشت بر روی پشته ۲۰-۱۵ سانتی‌متر، عرض جویچه‌ها ۳۰-۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع پشته ۲۰-۱۲ سانتی‌متر است. هدایت آب در زمین از طریق جوی‌ها انجام می‌شود، به‌طوری‌که رطوبت به‌صورت نشتی به محل استقرار بذرها نفوذ کرده و حالت غرقابی ایجاد نمی‌شود. در حالی که در روش‌های مرسوم کاشت گندم آبی با خطی‌کار معمولی غلات و خطی‌کار غلات فاقد جوی و پشته‌ساز (بذرکاری + فاروکشی) پس از کاشت، آبیاری به صورت کرتی یا جویچه‌های نامناسب است.

فرسایش جهانی خاک، خشکسالی‌های پیایی، بالابودن هزینه‌های تولید، تخریب زیست‌بوم، تغییرات اقلیمی و عدم پایداری تولیدات کشاورزی، از مواردی هستند که گرایش به سمت کشاورزی حفاظتی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند. روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی که معمولاً با برجای ماندن مقداری بقایای گیاهی بر سطح خاک همراه است، در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک تأثیر دارد (Celik et al., 2012). همچنین مطالعات متعدد نشان داده‌اند که روش‌های متفاوت خاک‌ورزی می‌توانند به طور معنی‌داری محتوای کربن آلی خاک، نیتروژن کل و عناصر غذایی قابل جذب را افزایش داده و ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک را بهبود ببخشند (Redda & Kebede, 2017). در مطالعه‌ای که در مناطق نیمه خشک اسپانیا انجام گردید، نشان داده شد که کم‌خاک‌ورزی با گاواهن چیزل می‌تواند جایگزین خوبی برای خاک‌ورزی مرسوم (برگرداندار + دیسک) در کشت غلات باشد. این روش باعث افزایش مواد آلی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک گردید (Lopes & Arrue, 1997). همچنین نتایج تحقیقات انجام شده در خاک‌های رسی شمال غرب مکزیک نشان داده است که میزان مصرف بذر در روش کشت روی پشته، ۵۰-۶۰ کیلوگرم در هکتار بوده که نصف مصرف بذر در روش کاشت مرسوم است (Aquino, 1998). کاشت بر روی پشته‌های دائمی باعث افزایش ۱۵ درصدی عملکرد محصول، افزایش

1- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

2- Rised-bed

(کاشت بر روی پشته‌های دائمی بلند)، در مقایسه با روش‌های مرسوم کشت گندم، یعنی روش کاشت با خطی‌کار معمولی غلات و کاشت با خطی‌کار فاقد جوی‌وپشته‌ساز در منطقه مغان اردبیل به صورت آزمایش بنیان، مورد بررسی قرار داده است.

### مواد و روش‌ها

دشت مغان سرزمین گسترده و دشت پهناوری است که از رسوبات رودخانه ارس تشکیل شده و مساحت تقریبی آن ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار هکتار است. دشت مغان از سه شهر گرمی، بیله سوار و پارس آباد تشکیل شده است و در شمال استان اردبیل قرار دارد (شکل ۱). در میان شهرهای مغان، در شمالی‌ترین نقطه، پارس آباد به دلیل رونق کشاورزی، گوی سبقت را از دو شهر دیگر ربوده است. با تأسیس شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان در سال ۱۳۵۳ در سطح ۶۳ هزار هکتار، این دشت به یکی از قطب‌های کشاورزی، دامپروری و صنعتی کشور تبدیل شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مغان و پارس آباد

این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار در کشت‌و صنعت مغان انجام شد. تیمارهای بذرکار شامل (۱) کاشت با خطی‌کار رایزید (ایجاد پشته‌های بلند و کاشت بر روی آن‌ها)، (۲) خطی‌کار معمولی غلات (گاسپاردو) (۳) بذرکاری مرسوم و فاقد جوی‌وپشته‌ساز (بذرکار + دیسک) هستند. جدول ۱ و شکل‌های ۲ تا ۴ به بررسی مشخصات دستگاه‌ها پرداخته‌اند.

بذر مصرفی در کارندها با بررسی مخزن قبل و بعد از کاشت اندازه‌گیری شد. سایر نهاده‌ها مانند سم و کود نیز بر اساس استاندارد رایج در منطقه (بر حسب کیلوگرم بر هکتار) به کار برده شد. هم‌زمان با شروع کار تراکتور در

۲۵ درصدی کارایی مصرف آب و هم‌چنین ماده آلی خاک و کاهش ۳۰ درصدی مصرف انرژی نسبت به روش کاشت مرسوم در شرایط باران‌های موسمی هند گردید (Vinod *et al.*, 2010). تأثیر حفظ بقایا و روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و کاشت، بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد گندم در خوزستان مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که تیمار بقایا با پوشش ۹۰ درصد باعث افزایش ۱۷/۸ درصدی رطوبت خاک، نسبت به سطح بدون بقایا در هنگام سبز شدن گیاه می‌شود (Safari *et al.*, 2013).

بیش از این مطالعات مقایسه‌ای مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی در کشت گندم در ایران انجام شده است. مقایسه مصرف انرژی تولید گندم در سه سطح متفاوت زیر کشت (Khoshnevisan *et al.*, 2013a) و بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Khoshnevisan *et al.*, 2013b) در استان اصفهان انجام شده است. در استان خراسان رضوی نیز به مقایسه مصرف انرژی تولید گندم در دو نوع کشت آبی و دیم پرداخته شده است (Ghorbani *et al.*, 2011). در مطالعه دیگری، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محصول گندم دیم و آبی در پنج منطقه آب و هوایی متفاوت در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که بازدهی مصرف انرژی در کشت گندم دیم ۲۲/۱ درصد بیش‌تر از کشت گندم آبی است (Mondani *et al.*, 2017). (Kaab *et al.*, 2023) به بررسی روند مصرف انرژی تولید محصول گندم از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ در کشت و صنعت امام خمینی (ره) خوزستان پرداختند، مصرف انرژی در مزارع گندم در این دوره به ترتیب برابر با ۳۰/۴۹، ۳۲/۷۰، ۳۵/۱۰، ۳۶/۵۲ و ۳۸/۰۲ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده است.

با بررسی تحقیقات متعددی که در داخل و خارج کشور در مورد کشت گندم و روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی انجام شده است، مشاهده می‌شود که ارتباط این حوزه با مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید این محصول، کمتر مورد توجه بوده است. هم‌چنین در رابطه با اثرات کشت حفاظتی بر روی پشته‌های دائمی، مطالعات چندانی انجام نشده است. مطالعه حاضر به بررسی عملکرد زیستی کشت گندم، کارایی مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی سه روش کاشت با بذرکار رایزید

یک از نهاده‌ها مورد استفاده قرار گرفته، در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

انرژی در کشاورزی به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم، و نیز بر اساس منبع تولیدی انرژی به دو گروه انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر دسته‌بندی می‌شود (Ozkan *et al.*, 2003). برای تولید و مصرف انرژی، شاخص‌هایی در نظر گرفته شده است که به کمک این شاخص‌ها می‌توان تولید و مصرف انرژی در قسمت‌های گوناگون سامانه‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود (Khanali *et al.*, 2019). شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی انرژی تولید گندم، در جدول ۳ آمده است.

ارزیابی چرخه زندگی (LCA<sup>۳</sup>) روشی است که اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید یک محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی ضایعات ناشی از فرآیند تولید آن را بررسی می‌کند (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2016). چهار استاندارد ویژه کاربرد ارزیابی چرخه زندگی (استاندارد سری ۱۴۰۴) شامل اصل و چارچوب، تعریف اهداف و تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر آن است (ISO, 2000). سیاهه‌نویسی (صورت‌برداری) چرخه زندگی شامل جمع‌آوری داده‌ها و روش‌های محاسبه جهت کمی‌سازی ورودی‌ها (منابع) و خروجی‌ها (آلاینده‌ها) در سامانه است. در بخش ارزیابی اثرات، روش‌های متفاوتی وجود دارند که مورد تأیید انجمن سم‌شناسی و شیمی زیست‌محیطی آمریکا<sup>۴</sup> قرار گرفته است (دباغی و ملک، ۱۳۸۹). در این پژوهش از روش CML 2 baseline 2000 و نرم‌افزار SimaPro 9.5 استفاده شد. این روش توسط پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه لیدن هلند ارائه شده و یکی از روش‌هایی است که بیشتر برای استفاده در سطح بین‌المللی طراحی شده و اختصاص به منطقه خاصی ندارد (Sharifi *et al.*, 2020). هر یک از روش‌ها به بررسی تأثیر بر عوامل زیست‌محیطی خاصی تأکید دارند، اما ساختار پایه همه‌ی روش‌های ارزیابی اثر، از موارد زیر تشکیل شده است (Pirouzan *et al.*, 2016):

۱) ویژگی‌سازی یا مشخص‌سازی (مدل‌سازی اثرات داده‌های مرحله‌ی موجودی در طبقات اثر با استفاده از عوامل تبدیل)

هر کرت آزمایشی، برای هر کدام از بذرها، زمان کاشت با زمان سنج اندازه‌گیری شد. روش آبیاری مورد استفاده، جوی‌ویشته‌ای بوده و مقدار آب مصرفی کاربردی در محصول گندم با استفاده از ابزار اندازه‌گیری پارشال فلوم<sup>۱</sup>، محاسبه شد. با نصب این ابزار در ورودی و خروجی مزرعه، دبی عبوری هر دوره برآورد می‌شود. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار IBM Statistics 27 و SPSS تجزیه و تحلیل شده و میانگین برخی شاخص‌ها با استفاده از آزمون دانکن<sup>۲</sup> با هم مقایسه شدند.



شکل ۲- کاشت گندم روی پیشته‌های بلند با خطی کار رایزید



شکل ۳- کاشت گندم با خطی کار فاقد جوی‌ویشته‌ساز (گاسپاردو)



شکل ۴- خطی کار غلات (بذرکار همدانی) برای کاشت مرسوم گندم

محتوای انرژی برای منابع مختلف ورودی سامانه شامل نیروی کارگری، ماشین‌های کشاورزی، سوخت دیزل، سموم شیمیایی، کودهای شیمیایی و بذر در نظر گرفته شدند. خروجی‌های سامانه شامل گندم و کاه هستند. هم‌ارزهای انرژی که برای محاسبه‌ی انرژی هر

3- Life cycle assessment

4- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)

1- Parshall flume

2- Duncan test

- (۲) ارزیابی میزان خسارات زیست‌محیطی  
 (۳) نرمال‌سازی (نمایش اثرات بالقوه زیست‌محیطی به گونه‌ای که بتوان آن‌ها را با هم مقایسه نمود)

جدول ۱- مشخصات بذرکارهای مورد استفاده در تولید گندم کشت و صنعت مغان

نوع بذر	نوع بذرکار	نوع پوشاننده	نوع اتصال	عرض کار (cm)	فاصله ردیف (cm)	تعداد واحد کارنده	نوع سازه	نوع کار
شیاردار غلتکی	کفشی	غلتکی	سوار	۳	۱۸/۷۵	۱۶	تراشکده	خطی کار رایزید
شیاردار غلتکی	کفشی	کفشی	سوار	۳	۲۰	۱۵	همدانی	خطی کار مرسوم غلات
شیاردار غلتکی	کفشی	زنجیری	سوار	۴	۱۶	۲۵	گاسپاردو	خطی کار فاقد جوی وپشته

جدول ۲- محتوای انرژی نهاده و ستانده‌های به کار رفته بر حسب مگاژول بر واحد مصرفی در تولید گندم کشت و صنعت مغان

عنوان	واحد مصرفی	محتوای انرژی	مرجع
نیروی کارگری	ساعت	۱/۹۶	Mohammadi et al. (2008)
ماشین‌های کشاورزی	ساعت	۶۲/۷	Delshiri & AghaAlikhani (2012)
تراکتور، کمباین، کامیون	ساعت	۶۴/۸	Saad et al. (2016)
بذر گندم	کیلوگرم	۲۰/۱	Ziaei et al. (2015) Ozkan et al. (2004)
سوخت دیزل	لیتر	۴۷/۸	Nabavi-Pelesaraei et al. (2016)
علف‌کش	کیلوگرم	۲۳۸	Khoshnevisan et al. (2013a)
حشره‌کش	کیلوگرم	۱۹۹	Khoshnevisan et al. (2013a)
قارچ‌کش	کیلوگرم	۹۲	Nabavi-Pelesaraei et al. (2016)
کود نیتروژن	کیلوگرم	۶۶/۱۴	Mohammadi & Omid (2010)
کود فسفر	کیلوگرم	۱۲/۴	Mohammadi & Omid (2010)
کود پتاسیم	کیلوگرم	۱۱/۱	Mohammadi & Omid (2010)
محصول گندم	کیلوگرم	۱۴/۴۸	Ziaei et al. (2015)
محصول کاه	کیلوگرم	۱۲/۵	Mondani et al. (2017)

جدول ۳- معادلات استاندارد مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های انرژی

شاخص	واحد	معادله	مرجع
کارایی مصرف انرژی (نسبت انرژی)	-	$\frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}}$	Talukder et al., 2019
انرژی خالص	مگاژول بر هکتار	انرژی خروجی منهای انرژی ورودی	Mohammadi et al., 2021
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	$\frac{\text{محصول خروجی}}{\text{انرژی ورودی}}$	Khoshnevisan et al., 2013a
شدت انرژی (انرژی ویژه)	مگاژول بر کیلوگرم	$\frac{\text{انرژی ورودی}}{\text{محصول خروجی}}$	Khoshnevisan et al., 2013b
نسبت انرژی تجدیدناپذیر	-	$\frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی نهاده‌های تجدیدناپذیر}}$	Talukder et al., 2019

مطالعه حاضر نشان داد خطی‌کار رایزید با ۱۷۳۰۹۷/۶ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین انرژی خروجی (ستانده) را به خود اختصاص داده است.

مطالعات پیشین انجام‌شده بر روی محصول گندم در ایران نشان می‌دهند که نسبت انرژی محصول گندم در مناطق مختلف مقادیر متفاوتی دارد. نسبت انرژی محصول گندم ۱/۴۹ در سیستان و بلوچستان (Ziaei *et al.*, 2015)، ۱/۷۴ در آذربایجان غربی (Taghavifar & Houshyar, 2015)، ۳/۳۵ در استان فارس (Mardani, 2017) و ۴/۴۸ در استان کرمانشاه (Grundmann, 2017) و ۴/۴۸ در استان کرمانشاه (Mondani *et al.*, 2017) گزارش شده است. در مطالعه حاضر، نسبت انرژی محصول گندم در دشت مغان با سه روش کشت مختلف خطی‌کار فاقد جوی‌وپشته‌ساز، خطی‌کار رایزید و خطی‌کار معمولی غلات به ترتیب ۷/۰۴، ۸/۹۱ و ۷/۴۱ محاسبه شد. این میزان نسبت به مقادیر دیگر مناطق کشور بالاتر است و به نظر می‌رسد منطقه مغان به دلیل حاصل‌خیزی خاک، شرایط جوی مناسب، یک‌پارچه‌سازی اصولی اراضی کشاورزی و به کارگیری مکانیزاسیون صحیح توانسته کارایی انرژی بالایی داشته باشد. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین نسبت انرژی سه کارنده تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در ادامه، میانگین نسبت انرژی هر سه روش با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفت. نسبت انرژی خطی‌کار رایزید با دو خطی‌کار دیگر تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵٪ داشت (جدول ۴). با توجه به این‌که نسبت انرژی در محصول گندم بیش‌تر از ۱ به دست آمده است، بازده خالص انرژی نیز مقداری مثبت گزارش شده است. بیش‌ترین بازده خالص انرژی با ۴۳۰۵۴/۷۹ مگاژول بر هکتار به خطی‌کار فاقد جوی‌وپشته‌ساز (کارنده سقوط آزاد) تعلق دارد. بررسی کلی محصولات کشاورزی ایران نشان می‌دهد که کم‌ترین نسبت انرژی در محصول زعفران، به دلیل روش‌های کشت سنتی و وابستگی زیاد به نیروی کارگری گزارش شده است (Banaeian *et al.*, 2020). در پژوهشی دیگر نسبت انرژی در محصول گوجه فرنگی ۰/۸ گزارش شده (Shabanzadeh *et al.*, 2015)، که بیان‌گر این است که کشت این محصولات از نظر مصرف انرژی از کارایی نسبتاً بالایی برخوردار نبوده است. بنابراین با افزایش عملکرد محصول و در عین کاهش مصرف نهاده‌ها باید برای بهبود شاخص انرژی محصول تلاش کرد.

سه مرحله‌ی آخر بر اساس استاندارد ایزو اختیاری است. معادله کاربردی سه مرحله ارزیابی طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی به صورت معادله (۱) است:

$$FI = \sum_i \left( \frac{\sum_j (E_j \text{ or } R_j) \times CF_{ij}}{NF_i} WF_i \right) \quad (1)$$

که در آن،  $E_j$  یا  $R_j$  انتشار ترکیب  $j$  یا مصرف منبع  $j$  بر هر واحد مرجع،  $CF_{ij}$  عامل طبقه‌بندی برای ترکیب  $j$  یا منبع  $j$  سهمیم در گروه تأثیر  $i$ ،  $NF_i$  عامل نرمال کردن برای گروه تأثیر  $i$  و  $WF_i$  عامل وزن‌دهی برای گروه تأثیر  $i$  است، در نتیجه  $FI$  نیز شاخص نهایی برای گروه تأثیر  $i$  خواهد بود.

### نتایج و بحث

برای مقایسه دقیق هر سه روش، جزئیات ورودی و خروجی در هر سه سامانه کشت گندم در منطقه پارس‌آباد مغان در جدول ۲ ذکر شده است. میزان آب مصرفی در پنج مرحله عملیات آبیاری متفاوت است. کم‌ترین میزان مصرف آب در روش کشت با خطی‌کار رایزید، ۴۳۵۴/۲۵ مترمکعب در هر هکتار است. به طور کلی انجام عملیات آبیاری در روش‌های معمول ۳۸ ساعت و در روش رایزید ۳۰ ساعت در هر هکتار به طول انجامیده که منجر به تفاوت در مصرف نیروی کارگری نیز شده است. در عملیات خاکورزی، خطی‌کار فاقد جوی‌وپشته‌ساز نیاز به چهار مرحله دیسک زنی دارد. اما در دو روش دیگر، عملیات دیسک زنی در سه مرحله انجام شده است. به دلیل نوع ماهیت کشت در خطی‌کار رایزید، نیاز به فاروکنشی (ایجاد جوی و پشته) نبوده است. در مجموع، خطی‌کار رایزید ۸۶۱۱/۸۲ کیلوگرم بر هکتار عملکرد داشته که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با دو روش دیگر داشته است.

انرژی ورودی (نهاده) برای تولید گندم با توجه به جدول ۴ به ترتیب با خطی‌کار فاقد جوی‌وپشته‌ساز ۲۲۷۹۴/۸۲ مگاژول بر هکتار بیش‌ترین و کشت با رایزید با ۱۹۴۲۲/۲ مگاژول بر هکتار کم‌ترین میزان را داشتند. مطالعه‌ی مروری مصرف انرژی محصولات مختلف در بازه ۲۰۰۸-۲۰۱۹ نشان داد که گوجه فرنگی بیش‌ترین انرژی ورودی (نهاده) را در میان سایر محصولات کشاورزی ایران مصرف کرده است (Banaeian *et al.*, 2020). نتایج

جدول ۴- جزئیات نهاده‌های مصرفی در تولید گندم به سه روش کاشت

خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز	خطی کار رایزبد	خطی کار معمولی غلات	نهاده (ورودی)
۳۲۷/۵۰	۱۹۷/۲۵	۳۰۲/۷۵	بذر (کیلوگرم بر هکتار)
۵۱۷۷/۷۵	۴۳۵۴/۲۵	۵۰۴۶	آب (مترمکعب در هکتار)
۴۹/۱۲	۴۰/۱۲	۴۸/۶۳	نیروی کارگری (ساعت بر هکتار) ماشین‌های کشاورزی (ساعت بر هکتار)
۲	۲	۲	ریبرزی
۰/۵	۰/۵	۰/۵	دیسک ۱
۱/۳	۱/۳	۱/۳	لولر
۰/۵	۰/۵	۰/۵	دیسک ۲
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	کود پاشی (کود ازت)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	کود پاشی (کود فسفات)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	سم پاشی (قارچ کش و حشره‌کش)
۰/۵	۰/۵	۰/۵	دیسک ۳
۱	۱	۱	کاشت
۰/۵	-	-	دیسک ۴
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	سم پاشی (علف کش)
۰/۵	-	۰/۵	فارو کشی
۷/۴۴	۶/۴۴	۶/۹۴	مجموع
۸/۴۴	۷/۴۴	۷/۹۴	تراکتور و خودگردان (ساعت بر هکتار)
۹۰/۰۵	۷۷/۳	۸۱/۵۵	مصرف سوخت (لیتر بر هکتار)
۱	۱	۱	سم قارچ کش (لیتر بر هکتار)
۱	۱	۱	سم حشره کش
۱	۱	۱	سم علف کش
۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)
۲۲	۲۲	۲۲	کود فسفر
۲۲	۲۲	۲۲	کود پتاسیم
			ستانده (خروجی)
۱۱۲۶۶/۶۱ <sup>a</sup>	۱۱۷۱۲/۰۵ <sup>b</sup>	۱۱۰۵۱/۰۵ <sup>a</sup>	عملکرد زیستی (گندم+کاه) (کیلوگرم بر هکتار)
۷۹۹۰/۵۱ <sup>a</sup>	۸۶۱۱/۸۲ <sup>b</sup>	۸۰۴۷/۱۱ <sup>a</sup>	گندم

بر اساس شاخص‌های شدت انرژی و بهره‌وری انرژی، کارنده رایزبد بهترین عملکرد (به ترتیب با مقادیر ۲/۲۵ و ۰/۴۴) را نسبت دو کارنده دیگر به خود اختصاص داده است (جدول ۵). نسبت انرژی تجدیدناپذیر تولید گندم با کارنده رایزبد (۳۰/۳)، تفاوت معنی‌داری با سایر کارنده‌ها نشان می‌دهد. بررسی مروری مزارع کشت گندم در کشور نیز نشان داده است که غالباً نسبت انرژی تجدیدناپذیر در شمال ایران بزرگ‌تر از یک است و این بدان معناست که انرژی خروجی مزارع تولید گندم، بیش‌تر از مقدار انرژی تجدیدناپذیر مصرفی است (Mohammedi *et al.*, 2022). در مطالعه حاضر، میزان مصرف انرژی تجدیدپذیر با ۹۶/۲۸ مگاژول بر هکتار با سهمی بسیار اندک (نزدیک به ۰/۴٪) به خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز اختصاص دارد، این در حالیست که در مطالعه مشابه در محصول کدو حلواپی سهم انرژی تجدیدپذیر ۲/۷٪

البته باید این نکته را نیز در نظر داشت که شاخص‌های انرژی، صرفاً زمانی می‌توانند معیار قضاوت در مورد بهره‌وری و کیفیت مدیریت سامانه‌های کشاورزی باشند که میان رویکردهای مختلف کشت یک نوع محصول یا محصولاتی با کاربری مشابه، مقایسه صورت گیرد. برخلاف غلات و سیب‌زمینی، هدف از کشت گوجه‌فرنگی و مخصوصاً زعفران، تولید انرژی نیست. ولی شاخص‌های اقتصادی کماکان می‌توانند ابزارهای مناسبی برای مقایسه عملکرد کشت محصولات مختلف کشاورزی در شرایط متفاوت و حتی میان سایر بنگاه‌های تولیدی باشند. با این وجود، پژوهشگرانی که در رابطه با این دو محصول مطالعه کرده‌اند (Shabanzadeh *et al.*; 2015)، حتی با استناد به همان شاخص‌های انرژی نیز عملکرد واحدهای مورد مطالعه‌شان را قابل قبول نمی‌دانستند.

کشت، مشابه یکدیگر است و بیشترین سهم را کود نیتروژن و سوخت دیزل تشکیل داده‌اند که تفاوت معنی‌داری در میزان مصرف این نهاده‌ها در سه روش کشت وجود نداشته است. کعب و همکاران (Kaab et al., 2023) در تولید محصول گندم، نهاده‌های پرمصرف را کود نیتروژن و سوخت دیزل گزارش کردند.

گزارش شده است (Sharifi et al., 2020). خطی‌کار رایزید به دلیل استفاده کم‌تر از نیروی انسانی، کم‌ترین میزان مصرف انرژی تجدیدپذیر را دارد، در حالی که در مجموع کم‌ترین میزان مصرف انرژی تجدیدناپذیر (۳۶۹۴/۹۴ مگاژول بر هکتار) به دلیل بهره‌وری بالاتر در عملیات آبیاری را داشته است.

شکل ۵ سهم نهاده‌ها از کل انرژی ورودی را نشان می‌دهد. روند سهم مصرف انرژی نهاده‌ها در هر سه روش

جدول ۵- مقایسه انواع شاخص‌های انرژی با خطی‌کار فاقد جوی و پشته‌ساز، خطی‌کار رایزید و خطی‌کار معمولی غلات در تولید گندم در کشت و صنعت مغان

عنوان	واحد	خطی‌کار فاقد جوی و پشته‌ساز	خطی‌کار رایزید	خطی‌کار معمولی غلات
کل انرژی ورودی	مگاژول بر هکتار	۲۲۷۹۴/۸۲	۱۹۴۲۲/۲	۲۱۸۲۶/۳۳
کل انرژی خروجی	کیلوگرم بر هکتار	۱۶۰۶۰۹/۳	۱۷۳۰۹۷/۶	۱۶۱۷۴۶/۹
نسبت انرژی	-	۷/۰۴ <sup>a</sup>	۸/۹۱ <sup>b</sup>	۷/۴۱ <sup>a</sup>
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۳۵ <sup>a</sup>	۰/۴۴ <sup>b</sup>	۰/۳۶ <sup>a</sup>
شدت انرژی	مگاژول بر کیلوگرم	۲/۸۵ <sup>a</sup>	۲/۲۵ <sup>b</sup>	۲/۷۱ <sup>a</sup>
بازده خالص انرژی	مگاژول بر هکتار	۱۳۷۸۱۴/۴ <sup>a</sup>	۱۵۳۶۷۵/۴ <sup>a</sup>	۱۳۹۹۲۰/۶ <sup>b</sup>
نسبت انرژی تجدیدناپذیر	-	۲۴/۱۳	۳۰/۳۰	۲۶/۸۴
انرژی مستقیم	مگاژول بر هکتار	۴۴۰۰/۶۷	۳۷۷۳/۵۸	۳۹۹۳/۴
انرژی غیر مستقیم	مگاژول بر هکتار	۱۸۳۹۴/۱۵	۱۵۶۴۸/۶۳	۱۷۸۳۲/۹۳
انرژی تجدیدپذیر	مگاژول بر هکتار	۹۶/۲۸	۷۸/۶۴	۹۵/۳۱
انرژی تجدیدناپذیر	مگاژول بر هکتار	۴۳۰۴/۳۹	۳۶۹۴/۹۴	۳۸۹۸/۰۹

طرز چشمگیری بر مسمومیت آب‌های آزاد اثرگذار است. در روش کاشت با خطی‌کار رایزید به دلیل مصرف آب کمتر، اثرات زیست‌محیطی کم‌تری در همین بخش از اثر (مسمومیت آب‌های آزاد) به‌وجود آمده است. در سایر مطالعات انجام شده در بخش کشاورزی ایران نیز نتایج مشابهی در همین بخش اثر دیده می‌شود (Sharifi et al., 2020).

همچنین نتایج نرمال‌سازی شده‌ی بخش‌های اثر در شکل ۵ آورده شده است. در میان بخش‌های اثر، بیش‌ترین سهم به‌ترتیب مربوط به انواع مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت انسانی و مسمومیت آب‌های سطحی است. بیش‌ترین اثرات در مطالعات مشابه نیز به گروه مسمومیت‌ها تعلق داشت، به طوری‌که استفاده از نهاده سموم شیمیایی (انواع قارچ‌کش، حشره‌کش و علف‌کش‌ها) در بخش‌های اثر مسمومیت انسان‌ها، نقصان لایه‌ی ازن، مسمومیت آب‌های سطحی و مسمومیت

شاخص‌های زیست‌محیطی به ازای یک تن گندم تولیدشده در سه روش کشت با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. جدول ۶، نتایج هر سه روش کاشت، برای هر کدام از بخش‌های اثر بررسی شده را نشان می‌دهد. کمترین میزان گرمایش جهانی در کشت گندم با خطی‌کار رایزید، ۲۶۴۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن محاسبه شد که به طور معنی‌داری با دو روش دیگر متفاوت بود. در مطالعه‌ای مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشت گندم آبی و دیم در استان کرمانشاه به ترتیب معادل ۳۱۸۴.۴ و ۵۵۳.۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار بود (Mondani et al., 2017). میزان گرمایش جهانی برای تولید هر کیلو کدو حلواپی ۳۹.۵۸ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن محاسبه شد (Sharifi et al., 2020).

بررسی بخش‌های اثر در جدول ۶ نشان می‌دهد که تولید محصول گندم در منطقه پارس‌آباد دشت مغان، به



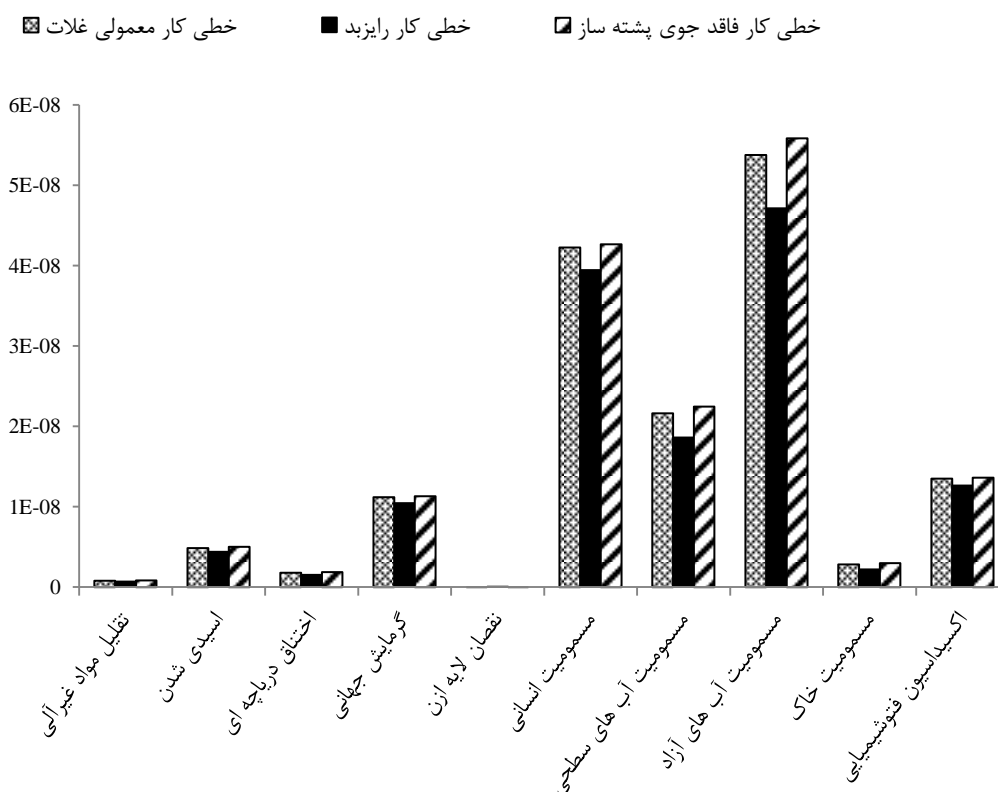
کودها و سموم شیمیایی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد.

به طور کلی نتایج مقایسه میانگین در همه بخش‌های اثر نشان داد که خطی کار رایزید از نظر اثرات زیست محیطی اختلاف معنی‌داری با دو خطی کار معمولی غلات و فاقد جوی و پشته ساز دارد.

خاک، بالاترین سهم را به خود اختصاص داده بود (Sharifi *et al.* 2020). در تائید نقش کود و سموم شیمیایی، طرودی و همکاران (Toroudi *et al.*, 2018) نیز گزارش دادند که در ارزیابی انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در مزارع تولید گندم، استفاده بهینه از منابع انرژی مانند

جدول ۶- مقادیر محاسبه‌شده بخش‌های اثر و واحدهای اندازه‌گیری هر بخش در فرآیند مطالعه زیست‌محیطی سه روش متفاوت کشت گندم

بخش‌های اثر	واحد اندازه‌گیری	خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز	خطی کار رایزید	خطی کار معمولی غلات
تقلیل مواد غیرآلی	kg Sb eq	۱/۴۱ <sup>a</sup>	۱/۱۹ <sup>b</sup>	۱/۳۵ <sup>a</sup>
اسیدی شدن	kg SO <sub>2</sub> eq	۳/۳۶ <sup>a</sup>	۲/۹۴ <sup>b</sup>	۳/۲۷ <sup>a</sup>
اختناق دریاچه‌ای	kg Po <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	۰/۹۴۴ <sup>a</sup>	۰/۷۶۷ <sup>b</sup>	۰/۹۰۸ <sup>a</sup>
گرمایش جهانی	kg CO <sub>2</sub> eq	۲۸۶۰ <sup>a</sup>	۲۶۴۰	۲۸۳۰ <sup>a</sup>
نقصان لایه ازن	kg CFC-11 eq	۰/۰۰۰۰۲۱ <sup>a</sup>	۰/۰۰۰۰۱۷۵ <sup>b</sup>	۰/۰۰۰۰۱۹۹ <sup>a</sup>
مسمومیت انسانی	kg 1,4-DCB eq	۸۰۳۰ <sup>a</sup>	۷۴۱۰	۷۹۵۰ <sup>a</sup>
مسمومیت آب‌های سطحی	kg 1,4-DCB eq	۱۶۹ <sup>a</sup>	۱۴۰ <sup>b</sup>	۱۶۳ <sup>a</sup>
مسمومیت آب‌های آزاد	kg 1,4-DCB eq	۱۷۸۰۰۰ <sup>a</sup>	۱۵۰۰۰۰ <sup>b</sup>	۱۷۱۰۰۰ <sup>a</sup>
مسمومیت خاک	kg 1,4-DCB eq	۲/۷۴ <sup>a</sup>	۲/۰۲ <sup>b</sup>	۲/۶ <sup>a</sup>
اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	۲/۴۸ <sup>a</sup>	۲/۳ <sup>a</sup>	۲/۴۶ <sup>a</sup>



شکل ۵- نتایج نرمال‌سازی بخش‌های اثر اندازه‌گیری‌شده در فرآیند مطالعه اثرات زیست‌محیطی سه روش متفاوت کشت گندم

نتایج شاخص‌های فنی و اقتصادی سه روش کشت متفاوت گندم نیز گزارش داده شده است (Golparast *et al.*, 2023) که در جدول ۷ آمده است. مجموع مسمومیت در سه گروه انسانی، آب‌های آزاد و آب‌های سطحی و میزان گرمایش جهانی به عنوان بیشترین اثرات زیست محیطی آورده شده است. با توجه به اعداد جدول ۷، کمترین اثرات زیست محیطی به ترتیب متعلق به خطی کار رایزید، خطی کار معمولی غلات و خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز است. شاخص برداشت، نسبت عملکرد زیستی به عملکرد اقتصادی است. کارایی مصرف آب، نیز عملکرد دانه به

میزان آب مصرفی را نشان می‌دهد. مقایسه سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد که تولید بیشترین نسبت انرژی، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و سودخالص به ترتیب متعلق به خطی کار رایزید، خطی کار معمولی غلات و خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مجموع شاخص‌های پایداری، استفاده از خطی کار رایزید نتایج خوبی داشته است. علی‌رغم اینکه نتایج حاصل در دو خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز و خطی کار معمولی غلات به هم نزدیک بوده و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند، اما برتری خطی کار معمولی غلات در همه شاخص‌ها وجود دارد.

جدول ۷- شاخص‌های پایداری اندازه‌گیری شده در سه روش متفاوت کشت گندم

شاخص‌ها	واحد اندازه گیری	خطی کار فاقد جوی و پشته‌ساز	خطی کار رایزید	خطی کار معمولی غلات
گرمایش جهانی	Kg CO <sub>2</sub> eq	۲۸۶۰	۲۶۴۰	۲۸۳۰
مسمومیت	Kg 1,4-DCB eq	۱۸۶۱۹۹	۱۵۷۵۵۰	۱۷۹۱۱۳
نسبت انرژی	-	۷/۰۴	۸/۹۱	۷/۴۱
شاخص برداشت	-	۴۱/۲۶	۴۷/۵۴	۴۲/۶۲
کارایی مصرف آب	-	۱/۵۴	۱/۹۸	۱/۵۹
سودخالص	هزار ریال	۹۵۸۹۰۷/۵	۱۰۳۰۳۵۱	۹۶۵۴۰۵

### نتیجه‌گیری

این مطالعه به پیاده‌سازی و مقایسه جریان مواد و انرژی محصول گندم آبی بر اساس استاندارد ۱۴۰۴ در کشت و صنعت پارس آباد مغان در سه روش کشت گندم یعنی الف-کاشت با خطی کار رایزید (ایجاد پشته‌های بلند و کاشت بر روی آن‌ها)، ب- خطی کار معمولی غلات (گاسپاردو) و ج- بذرکاری مرسوم و فاقد چوی و پشته ساز (بذرکار + دیسک)، پرداخت. بررسی و مقایسه نسبت انرژی محصول گندم در دشت مغان با سایر مطالعات نشان داد این میزان نسبت به سایر شاخص‌های ارائه شده در ایران بالاتر است که به نظر می‌رسد منطقه مغان به دلیل حاصلخیزی خاک، شرایط جوی مناسب، یکپارچه‌سازی اصولی اراضی کشاورزی و به کارگیری مکانیزاسیون صحیح توانسته کارایی انرژی بالایی داشته باشد. روش‌های کشاورزی حفاظتی برای محصولات آبی (کشت رایزید) به دلیل نیروی کارگری، مصرف بذر و آب و عملیات ماشینی کمتر و عملکرد بالاتر، روش جایگزین مناسبی برای روش‌های مرسوم است. نتایج آزمون تجزیه

واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین عملکرد و شاخص‌های انرژی سه روش تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بررسی بخش‌های مختلف اثرات زیست‌محیطی نشان داد که مسمومیت آب‌های آزاد مهم‌ترین اثر زیست‌محیطی تولید محصول گندم در پارس آباد دشت مغان است. بیشترین سهم‌ها در بخش مسمومیت آب‌های آزاد به نهاده‌های سموم شیمیایی، ماشین‌ها و سوخت اختصاص دارند. بنابراین یکی از راهکارهای کاهش اثر مسمومیت آب‌های آزاد، کاهش مصرف سموم شیمیایی در مزارع و افزایش بهره‌وری مکانیزاسیون است. علی‌رغم مصرف یکسان کود و سموم شیمیایی در هر سه روش کشت، میزان گرمایش جهانی در کشت گندم با خطی کار رایزید، به دلیل عملکرد بالاتر، به‌طور معنی‌داری با دو روش دیگر متفاوت بود. از آنجا که بیش‌ترین بخش‌های اثر ناشی از نهاده‌های کود و سم است، قابلیت زیادی برای بهبود اثرات زیست‌محیطی با کاهش میزان استفاده از سم و کود در این روش کشت وجود دارد. در مجموع، روش‌های مرسوم خاکورزی و کاشت،

- 346/%D8%A7%D8%B7%D9%84%D8%A7%D8%B9%D8%A7%D8%AA-%D9%88-%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1%D9%87%D8%A7%DB%8C-%DA%A9%D8%B4%D8%A7%D9%88%D8%B1%D8%B2%DB%8C-99%D9%88-98-%D9%88-97%D9%8896
- Alipour, A., Keshavarz Afshar, R., KarimiNejad, M., & Mohammadi, V. (2013) Evaluation of Energy Flow in Irrigated Wheat Agro Ecosystems. A case study: Shahr-e-Rey City, *Agricultural Science and Sustainable Production*, 23: 59-69. (In Persian)
- Aquino, P. (1998). The adoption of bed planting of wheat in the Yaqui Valley, Sonora Mexico. *Wheat Special Report*, No. 17a. Mexico, DF: CIMMYT.349.
- Banaeian N., Zangeneh M., & Clark S. (2020). Trends and Future Directions in Crop Energy Analyses: A Focus on Iran. *Sustainability*, 12(23): 10002. doi:10.3390/su12231000.
- Celik, I., Turgutb, M. M., & Acir, N. (2012). Crop rotation and tillage effects on selected soil physical properties of a Typic Haploxerert in an irrigated semi-arid Mediterranean region. *International Journal of Plant Production*, 6(4): 457-480. doi: 10.22069/IJPP.2012.760.
- Dabbaghi, A., Malek, A. M., Proposing a procedure to evaluate and rank corporate vision statements using a mixed methodology, *Industrial Management*, 4: 57-74.
- Delshiri, A., & AghaAlikhani, M. (2012). Input-output and economic analysis of soybean production in the main cultivation areas in Iran. *Afr. J. Agric. Res.*, 7: 4894-489.
- FAO. (2021). *FAOSTAT*.
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorrandel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S. & Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88: 283-288. doi:10.1016/j.apenergy.2010.04.028.
- Golparast, P. Khani, M. Taghinazhad, J. & Banaeian, N. (2023). Technical and economic investigation of raised bed planting (on high ridge) of irrigated wheat and conventional drills (Case study: Pars Abad County). *Cereal Research*, DOI: 10.22124/CR.2023.24292.1766.
- Hamzei, J. & Borbor, A. (2014). Effect of Different Soil Tillage Methods and Cover Crops on Yield and Yield Components of Corn and Some Soil Characteristics. علاوه بر عملکرد کمتر در قبال مصرف بالای آب، منجر به افزایش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی هم می‌شوند. بنابراین روش‌های مختلف کشاورزی حفاظتی (مانند کشت رایزبد) به طور معنی‌داری، علاوه بر مصرف نهاده کمتر و عملکرد زیستی بالاتر، اثرات زیست‌محیطی کم‌تری نیز به بار خواهند آورد. استفاده از سوخت‌های زیستی به جای سوخت‌های دیزل، علاوه بر کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، آلاینده‌های کم‌تری در بخش‌های اثر تولید می‌کند. به‌طور کلی، جهت کاهش مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر و اثرات مسمومیت در منطقه مورد مطالعه، کاهش مصرف سم و کودهای شیمیایی از جمله نیتروژن از طریق مدیریت بهینه کود، قرار دادن بقولات در تناوب زراعی، استفاده از کود سبز و روش‌های زیستی، استفاده از کود دامی و آلی و نیز مدیریت صحیح آب آبیاری توصیه می‌شود. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی برای بررسی تفاوت عملکرد انرژی و زیست محیطی در تیمارهای مختلف عملیات کشاورزی (روش‌های متفاوت مکانیزاسیون در کشت حفاظتی) به صورت آزمایش بنیان در دوره‌های کشت طولانی مدت (۳-۵ ساله) ادامه پیدا کند تا اثرات بلندمدت و پایداری این روش‌ها نیز قابل سنجش باشد. همچنین در تحقیقات آتی، اثر کاهش استفاده از سم و کود شیمیایی بر عملکرد زراعی، انتشار آلاینده‌ها و کارایی مصرف انرژی در روش‌های عملیاتی کشت حفاظتی، مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گیرد.
- در مجموع با مقایسه شاخص‌های اثرات زیست محیطی، بهره‌وری انرژی، شاخص برداشت، بهره‌وری مصرف آب و سودخالص در این سه خطی‌کار، اولویت کارنده پایدار به ترتیب متعلق به خطی‌کار رایزبد، خطی‌کار معمولی غلات و خطی‌کار فاقد جوی و پشته‌ساز است. مفهوم پایداری دربرگیرنده ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی است. به منظور مقایسه کامل‌تر در شاخص‌های پایداری، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، ابعاد اجتماعی کارنده‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع

Anonymous, (2021). Agricultural jihad statistics, Center for Agricultural Information Science and Technology, Planning and Economy, Tehran: Ministry of Agricultural Jihad. Available on 7.17.2022. From <https://www.jkgc.ir/fa/Page->

- Lopes, M.V., & Arrue, J. L. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil and Tillage Research*, 44: 35-54. doi:10.1016/S0167-1987(97)00030-5.
- Mohammadi, A., Tabatabaefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., & Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, 49: 3566-3570. doi:10.1016/j.enconman.2008.07.003.
- Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy*, 87: 191-196. doi:10.1016/j.apenergy.2009.07.021.
- Mohammadi, A., Venkatehs, G., Eskandari, S., & Rafiee, S. (2022). Eco-efficiency analysis to improve environmental performance of wheat production. *Agriculture*, 12 (7): 1031. doi:10.3390/agriculture12071031.
- Mondani, F., Aleagha, S., Khoramivafa, M. & Ghobadi, R. (2017). Evaluation of greenhouse gases emission based on energy consumption in wheat Agroecosystem. *Energy Report*, 3: 37-45. doi:10.1016/j.egy.2017.01.002.
- Mu, M., Ge, X., Cao, C., Zeng, Y., Xu, T., Huang, J., & Rong, W. (2023). The energy consumption and efficiency of crop production in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43. 111-125.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-Penchah, H. & Riahi-Dorcheh, F. (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy*, 103: 672-678. doi:10.1016/j.energy.2016.03.003.
- Ozkan, B. Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy Input Output Analysis in Turkish Agriculture. *Renewable Energy*, 29(1): 39-51. doi:10.1016/S0960-1481(03)00135-6.
- Pirouzan, P., Safari, A., & Jafari, H. (2016). Waste management of special heavy polyethylene unit of Bandar Imam Petrochemical Company based on life cycle assessment method, master's thesis, environmental planning and management, University of Tehran, Tehran, Iran.
- Redda, A., & Kebede, F. (2017). Effects of Integrated Use of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties Performance, Using Rice (*Oryza sativa* L.) as an Indicator Crop in Tselemti District of North-Western Tigray, Ethiopia. *International Research Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3): 35-47.
- Houshyar, E. & Grundmann, P. (2017). Environmental impacts of energy use in wheat tillage systems: A comparative life cycle assessment (LCA) study in Iran. *Energy*, 122: 11-24. doi:10.1016/j.energy.2017.01.069.
- International Standard Organization (ISO), I. (2000). *Environmental management-life cycle assessment, life cycle interpretation*. 159 p.
- Kaab, A., Ghasemi-Mobtaker, H., & Sharifi, M. (2023). A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54(3): 1-18. doi:10.22059/ijbse.2023.364738.665522. (In Persian)
- Khanali, M., Akram, A., Mohamadnia Galeshklamei, M., Hosseinzadeh Bandbafha, H., & Elhami, B. (2019). Evaluating the Energy Flow and Environmental Effects of Cake Production in Guilan Province by Life Cycle Assessment Approach. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*. 50(3): 569-579. doi:10.22059/IJBSE.2019.257865.665062. (In Persian)
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M. & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52: 333-338. doi:10.1016/j.energy.2013.01.028.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. & Mousazadeh, H. (2013). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, 58: 588-593. doi:10.1016/j.energy.2013.06.030.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H. & Zarea-Hosseiniabadi, H. (2016). Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in IR Iran. *Journal of Cleaner Production*, 112: 351-358. doi:10.1016/j.jclepro.2015.07.049.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52: 333-338. doi:10.1016/j.energy.2013.01.028.

- using a chemical admixture. Institution of Civil Engineers. Proceedings. *Ground Improvement*, 163 (1): 43-52. doi:10.1680/grim.2010.163.1.43.
- Ziaei, S. M., Mazloumzadeh, S. M., & Jabbari, M. (2015). A comparison of energy use and productivity of wheat and barley (case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14: 19-25. doi:10.1016/j.jssas.
- Journal of Agricultural Science and Technology*, 1: 6-14.
- Saad, A. A., Das, T. K., Rana, D. S., Sharma, A. R., Bhattacharyya, R., & Lal, K. (2016). Energy auditing of a maize-wheat-green gram cropping system under conventional and conservation agriculture in irrigated north-western Indo-Gangetic Plains. *Energy*, 116: 293-305. doi:10.1016/j.energy.2016.09.115.
- Safari, A., Asoudar, M. A., Ghasemi Nezhad, M., & Ebdali Mashhadi, A. (2013). Effect of residue preservation, different methods of conservation tillage and planting on soil physical properties and wheat yield. *Environmental Science Quarterly*, 23(2): 49-59. doi:10.1016/j.iswcr.2015.05.002. (In Persian)
- Sharifi, M. Soodmand-Moghadam, Sh. & Akram, A. (2020). Investigating the Energy Consumption and Environmental Pollutants of Pumpkin Production (Case Study: Boroujerd County), *Iranian Journal of Biosystem Engineering*. 52(1): 27-36. doi: 10.22059/IJBSE.2020.302359.665306. (In Persian)
- Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H. J., Duveiller, E., Reynolds, M. & Muricho, G. (2013). Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*. 5: 291-317. doi:10.1007/s12571-013-0263.
- Taghavifar, H., & Mardani, A. (2015). Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using Artificial Neural Network. *Journal of Cleaner Production*, 87: 159-167. doi:10.1016/j.jclepro.2014.10.054
- Taghinazhad, J., Vahedi, A., & Ranjbar, F. (2019). Economic assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat production in Ardabil province. *Environmental Sciences*, 17(3): 137-150. doi:10.29252/envs.17.3.137. (In Persian)
- Talukder, B., Van Loon, G. W., & Hipel, K.W. (2019). Energy efficiency of agricultural systems in the southwest coastal zone of Bangladesh. *Ecol. Indic.*, 98: 641-648. doi:10.1016/j.ecolind.2018.11.030
- Toroudi, M. P., Nouruzi, H. A., Malidareh, A. G., Dadashi, M. R. & Dastan, S. (2018). Evaluation of energy balance and CO2 emissions of wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Agroecology*. 9(4): 1168-1193. (In Persian)
- Vinod, J. S., Indraratna, B., & Mahamud, M. A. (2010). Stabilization of an erodible soil

