



## ارزیابی کارایی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کنجد رقم ناشکوفای

ابوالفضل فرجی<sup>۱</sup>، نصیبه رضوان طلب<sup>۲\*</sup>، محمدتقی فیض بخش<sup>۳</sup>، محسن باقری<sup>۴</sup>

<sup>۱،۳،۴</sup> به ترتیب استاد، استادیار و مربی پژوهش بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. <sup>۲</sup> دانش آموخته دکترای زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

### چکیده

معرفی رقم جدید کنجد ناشکوفای طی سال‌های اخیر سبب استقبال کشاورزان جهت کشت این گیاه مهم در استان گلستان شده است. از طرفی استفاده از کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، الکتروسیته، بذر، سم و ماشین‌آلات در تولید کنجد سبب مصرف مقادیر قابل توجهی انرژی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل  $CH_4$ ،  $N_2O$ ،  $CO_2$  می‌شود. افزایش غلظت چنین گازهایی در جو می‌تواند موجب گرم شدن کره زمین شود. به همین منظور در پژوهشی میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزرعه کنجد در ایستگاه تحقیقات عراقی محله گرگان در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، مصرف سوخت و الکتروسیته برای تولید یک هکتار کنجد به ترتیب ۱۰۸ لیتر و ۱۵۵ کیلووات ساعت بود. از هر هکتار کنجد معادل ۱۹۷۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار به جو آزاد گردید. همچنین کارایی مصرف انرژی ۱/۶۳ تخمین زده شد. انتظار می‌رود با توجه به بهره اقتصادی بالای این رقم کنجد و همچنین مصرف کمتر انرژی نسبت به سویا و پنبه، کشت آن در گلستان مورد توجه قرار گیرد. از طرفی انجام تحقیقات جدید در زمینه امکان کشت حفاظتی، معرفی ارقام جدید و مدیریت‌های زراعی مختلف جهت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی باید مد نظر قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** الکتروسیته، انرژی غیرمستقیم، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی، عملیات زراعی.

## مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله و خودگشن از خانواده Pedaliaceae است. دانه کنجد بسته به شرایط و نوع رقم دارای ۴۵ تا ۶۲ درصد روغن است که روغن آن به دلیل ترکیب فنلی آنتی‌اکسیدانی به نام سزامول از دوام خوبی برخوردار است (گلستانی و پاک‌نیت، ۱۳۸۶). سطح زیر کشت کنجد در ایران و استان گلستان به ترتیب ۴۲۰۰۰ و ۱۵۰ هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۵). ارقامی که در استان گلستان کشت می‌شود عبارتند از اولتان و توده‌های بومی که شکوفا بوده و برداشت مکانیزه‌ی آن‌ها امکان‌پذیر نیست. در سال‌های اخیر یک رقم کنجد ناشکופا (فرجی و همکاران، ۱۳۹۷) جهت کشت در استان گلستان و نواحی هم‌اقلیم معرفی شد که به دلیل عدم ریزش بذر، امکان برداشت مکانیزه آن وجود دارد. کشت این رقم ناشکופا به دلیل سهولت برداشت و مکانیزه بودن آن از محبوبیت خاصی بین کارشناسان و زارعین برخوردار شده و انتظار می‌رود سطح کشت آن به‌طور گسترده‌ای افزایش یابد.

مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی در کشور موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد که خطرات زیادی را برای محیط زیست و انسان در پی دارد، از این رو تمام تلاش‌ها بر این است که مصرف انرژی به ویژه سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی کاهش یابد. در سال‌های اخیر با توجه به افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و وجود سهمیه‌بندی در توزیع آن، کشاورزان تمایل به استفاده بهینه از سوخت‌های فسیلی و همچنین استفاده از ادوات و ماشین‌آلات جدید در جهت کاهش مصرف آن دارند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰).

تحقیقات متعددی در رابطه با مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کنجد و سایر محصولات زراعی صورت گرفته است. ابراهیم (۲۰۱۱) با بررسی مصرف انرژی در تولید کنجد در نیجریه دریافت که برای تولید هر هکتار کنجد به ۲/۶ گیگاژول انرژی نیاز است که میزان انرژی خروجی آن نیز ۱۳/۷ گیگاژول به دست آمد. کارایی مصرف انرژی در کنجد ۵/۲ تخمین زده شد. عمر و ابراهیم (۲۰۱۲) دریافتند که میزان انرژی مصرفی با استفاده از کودهای آلی نسبت به مصرف کودهای شیمیایی ۲۰ درصد کمتر است. همچنین کارایی مصرف انرژی نیز به ترتیب ۵/۸ و ۵ به دست آمد. باران و گاکدوگان (۲۰۱۷) با بررسی مصرف انرژی در تولید کنجد در ترکیه گزارش کردند که انرژی بکار برده شده در بخش کودهای شیمیایی (۵۷ درصد)، سوخت‌های فسیلی (۲۲ درصد)، انرژی ماشین‌آلات (۱۳ درصد) و نیروی کارگری (۶ درصد) بود. موسوی اول و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی میزان مصرف انرژی ناشی از نهاده‌های مختلف از جمله سوخت‌های فسیلی در تولید سویا در گلستان دریافتند که بدون کاهش عملکرد تا ۶/۱۸ درصد می‌توان در مصرف سوخت‌های فسیلی طی عملیات مختلف زراعی صرفه‌جویی نمود. البته ایشان مصرف کل سوخت‌های فسیلی در تولید سویا را ۱۰۳/۶۱ لیتر در هکتار برآورد کردند. بر اساس نتایج حاصله، مصرف سوخت کشاورزان کارآمد ۲۷/۴۵ درصد کمتر از کشاورزان ناکارآمد بود. یکی از دلایل افزایش مصرف سوخت در کشاورزان ناکارآمد، مصرف بیش از حد نهاده‌ها به خاطر عدم آگاهی دقیق از زمان استفاده آن‌ها و ارزان بودن نهاده‌هایی مانند سوخت‌های فسیلی و عدم توجه به هزینه‌های مصرف آن دانستند. بر این اساس تعداد دفعات استفاده از ماشین‌آلات و ادوات و به واسطه آن

مصرف سوخت افزایش می‌یابد. افزایش آگاهی کشاورزان ناکارآمد و واقعی‌سازی قیمت نهاده‌های کشاورزی از جمله سوخت‌های فسیلی می‌تواند افزایش بی‌رویه مصرف سوخت در تولید سویا را کاهش دهد. فرارو (۲۰۱۲) در تحقیقی در رابطه با چگونگی روند درازمدت کارایی مصرف انرژی در تولید سویا در آرژانتین گزارش کرد که کاهش مصرف انرژی در بخش خاک‌ورزی از یک سو و از سوی دیگر استفاده از ارقام اصلاح شده باعث افزایش کارایی مصرف انرژی در درازمدت شده است. گرچه استفاده از ارقام اصلاح شده با پتانسیل تولید بالا نیازمند مصرف بیشتر کودهای شیمیایی و آب است ولی افزایش تولید محصول به نسبت افزایش این نوع نهاده‌ها بیشتر بود. قربانی و همکاران (۲۰۱۱) مجموع انرژی مصرفی در تولید گندم دیم و آبی در استان خراسان شمالی را به ترتیب ۹۳۵۴ و ۴۵۳۶۷ مگاژول در هکتار تخمین زدند. در سیستم دیم، سوخت دیزل و در سیستم آبی، مصرف کودهای نیتروژنه بیشترین میزان مصرف انرژی را داشت. کارایی انرژی در سیستم دیم نسبت به سیستم آبی ۲/۰۶ برابر بیشتر بود که می‌تواند به دلیل مصرف انرژی و نهاده کمتر در سیستم تولید گندم دیم نسبت به سیستم تولید گندم آبی باشد. این مطالعه با هدف بررسی سیر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کنجد در شهرستان گرگان و به‌منظور ارائه راه کارهای مناسب جهت جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش اثرات محیط زیستی آن به اجرا در آمده است.

## مواد و روش‌ها:

جهت انجام این پژوهش داده‌های موردنیاز ماشین‌آلات و نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، سوخت و سموم ثبت گردید. مزرعه مورد بررسی در سطح یک هکتار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان قرار داشت. تاریخ عملیات خاک‌ورزی، کوددهی، کاشت بذر، برداشت تولید کنجد در جدول ۱ آورده شده است. داده‌ها توسط نرم‌افزار اکسل در سه بخش مصرف سوخت، انرژی سوخت مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه گردید.

متغیر نیروی انسانی، از مجموع ساعات نیروی کارگری که صرف عملیات‌های مختلف زراعی از جمله شخم، دیسک، کاشت بذر، کودپاشی، سم‌پاشی و برداشت می‌شود، محاسبه شد. این عدد در معادل انرژی آن یعنی عدد ۱/۹۶ مگاژول ضرب و مقدار انرژی نیروی انسانی بر حسب مگاژول در هکتار دست آمد. نهاده ماشین‌آلات به‌عنوان یکی از متغیرهای ورودی به مزرعه شامل ساعات کار ماشین‌آلات و ادوات مورد استفاده از کاشت تا برداشت، مانند ماشین‌آلات و ادوات مورد نیاز برای شخم و آماده‌سازی زمین، داشت و برداشت محصول و مقدار گازوییل و روغنی که جهت سوخت ماشین‌آلات مختلف برای شخم، کاشت، کوددهی، برداشت در یک هکتار مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر مصرف سموم کشاورزی شامل علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌های مورد استفاده در مزرعه مورد مطالعه نیز ثبت و به‌عنوان متغیر مواد شیمیایی ارزیابی شد. مقدار بذر مصرفی در هر هکتار ثبت و به صورت مگاژول در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- تاریخ عملیات خاک‌ورزی، کوددهی، کاشت بذر و برداشت کنجد.

نوع عملیات زراعی	زمان انجام عملیات زراعی
دیسک (۱)	تیر ماه
دیسک (۲)	تیر ماه
کود پایه	تیر ماه
کاشت بذر	تیر ماه
آبیاری اول*	تیر ماه
وجین دستی	مرداد ماه
آبیاری دوم	مرداد ماه
کنترل آفات	مرداد ماه
کود سرک	مرداد ماه
آبیاری سوم	شهریور ماه
علف‌کش (گراماکسون)	آبان ماه
برداشت	آبان ماه

\* از نیروی الکتریسیته برای آبیاری استفاده شد.

انرژی ورودی کل از مجموع انرژی‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت، کودهای شیمیایی و دامی، سموم، بذر و کود شیمیایی محاسبه شد. انرژی خروجی کل نیز از برآورد مجموع انرژی عملکرد دانه و کاه و کلش محاسبه شد. انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مصرف شده در بذر، کود، سموم شیمیایی و ماشین‌آلات است، در حالی که انرژی مستقیم شامل نیروی کارگری و سوخت می‌باشد. همچنین انرژی تجدیدناپذیر از مجموع انرژی سوخت، مواد شیمیایی، کود شیمیایی و ماشین‌آلات و انرژی تجدیدپذیر از مجموع نیروی کار، بذر و کود دامی محاسبه شد. معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید کنجد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید کنجد.

منبع	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد مصرف	ورودی‌ها/ خروجی‌ها
(سینگ، ۲۰۰۲)	۲۵	کیلوگرم	بذر کنجد
(ازکان و همکاران، ۲۰۰۴؛ تورهان و همکاران، ۲۰۰۸)	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
(اکسوز و همکاران، ۲۰۰۹؛ ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۶۰/۶	کیلوگرم	نیتروژن
(اکسوز و همکاران، ۲۰۰۹؛ ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۱۱/۱	کیلوگرم	فسفر (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
(اکسوز و همکاران، ۲۰۰۹؛ ازکان و همکاران، ۲۰۰۴)	۶/۷	کیلوگرم	پتاسیم (K <sub>2</sub> O)
(ترازنامه هیدروکربوری ایران، ۱۳۸۶)	۳۸	لیتر	گازوئیل
(کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷)	۱۲/۱	کیلو وات ساعت	الکتريسيته
(تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵)	۲۳۷	کیلوگرم ماده مؤثره	حشره‌کش‌ها
(تزیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵)	۲۸۷	کیلوگرم ماده مؤثره	علف‌کش‌ها

میزان سوخت مصرفی (FT) بر اساس لیتر در هکتار از رابطه (۱) بین میزان سوخت براساس مدت زمان کارکرد ماشین‌آلات بر حسب ساعت در هکتار (FH) و سوخت مورد نیاز یک ساعت کار تراکتور بر حسب لیتر در ساعت (T) تعیین شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$FT = T * FH \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها میزان انرژی هر گرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آن‌ها ضرب گردید.

پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) عبارت است از جمع گازهای گلخانه‌ای تولید شده که به صورت معادل CO<sub>2</sub> بیان می‌شود (رجبی، ۲۰۱۰). در این تحقیق برای محاسبه GWP، تولید گازهای CO<sub>2</sub>، N<sub>2</sub>O و CH<sub>4</sub> ناشی از مصرف انرژی در عملیات‌های مختلف از قبیل تولید کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، تولید سموم شیمیایی، مصرف سوخت‌های فسیلی جهت انجام عملیات زراعی، تولید ماشین‌آلات زراعی، آبیاری و حمل و نقل در نظر گرفته شد. برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی برای تولید کنجد در هر یک از عملیات زراعی انجام شده استفاده شد. سپس با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای CO<sub>2</sub>، CH<sub>4</sub> و N<sub>2</sub>O به ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO<sub>2</sub>، کل گازهای گلخانه‌ای به صورت معادل CO<sub>2</sub> محاسبه شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۹). ضرایب انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای به ازای هر نهاده مصرفی در جدول ۲ ارایه شده است.

شاخص‌های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص با استفاده از روابط تعریف شده زیر محاسبه شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ هاتیریلی و همکاران، ۲۰۰۶).

ER=EO/EI رابطه (۲)

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

SE=EI/GY رابطه (۳)

که در آن SE انرژی ویژه (مگاژول در کیلوگرم)، EI مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار) می‌باشد.

EP=GY/EI رابطه (۴)

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

NEY=EO-EI رابطه (۵)

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) می‌باشد.

## نتایج و بحث

مقادیر، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد نهاده‌های مختلف در جدول ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود انرژی ناشی از سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی، الکتریسیته، کاربرد ماشین‌آلات، سموم شیمیایی، بذر مصرفی، نیروی انسانی به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان انرژی مصرف شده را نشان دادند، به‌طوری که مصرف سوخت، ۴۴/۷۵ درصد از مصرف انرژی را در پی داشت. همچنین بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای متعلق به مصرف الکتریسیته (۴۰/۸ درصد) بود که در ادامه استفاده از سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی، ماشین‌آلات، و سموم در رده‌های بعدی قرار داشتند. مصرف سوخت و الکتریسیته برای تولید یک هکتار کنجد به ترتیب ۱۰۷/۶ لیتر و ۱۵۴/۸ کیلووات‌ساعت به دست آمده است. با مقایسه مصرف سوخت و انرژی در تولید یک هکتار کنجد با تولید یک هکتار سویا می‌توان دریافت که کشت کنجد نسبت به تولید سویا در شهرستان گرگان تقریباً ۳۰ تا ۵۰ درصد به سوخت کمتری نیاز دارد، همچنین مصرف الکتریسیته نیز به دلیل تعداد آبیاری کمتر مزارع کنجد نسبت به مزارع سویا پایین‌تر است. به عنوان مثال در استان گلستان رمدانی و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که برای تولید یک هکتار سویا به ترتیب به ۲۰۱ لیتر و ۱۱۱ کیلووات ساعت نیاز است. در مطالعه‌ای دیگر عالی‌مقام و همکاران (۱۳۹۲) به ترتیب مقادیر ۱۲۹ لیتر و ۴۴۹ کیلووات ساعت را گزارش کردند. رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۴) نیز این مقادیر را به ترتیب ۲۱۱ لیتر و ۲۸۰ کیلووات ساعت تخمین زدند. در واقع به طور متوسط کشاورزانی که از سوخت‌های فسیلی برای آبیاری محصول خود استفاده می‌کنند، نیاز به مصرف الکتریسیته کمتری داشتند و از همین رو مقادیر متفاوتی گزارش شده است.

همچنین بیشترین مصرف سوخت فسیلی مربوط به مجموع آماده‌سازی زمین، کاشت و کوددهی بود که با تلفیق این سه عملیات در قالب استفاده از دستگاه‌های کمبینات می‌توان مصرف سوخت را به طور چشمگیری کاهش داد، به طوری که رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با هدف بررسی راه‌های کاهش مصرف سوخت در تولید سویا در استان گلستان دریافتند که استفاده از کمبینات در مقایسه با روش‌های معمول می‌تواند مصرف سوخت را تا ۵۰ درصد کاهش دهد.

برای تولید یک هکتار کنجد به ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نیاز است (جدول ۳) که در دو مرحله کاشت و در طی مرحله رویشی مصرف می‌شود. این میزان مصرف کود نیتروژنی موجب مصرف ۲۷۸۷/۶ مگاژول انرژی در هکتار می‌گردد که انتشار ۲۲۳/۲۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار را بر عهده دارد. در تولید سویا نیز در شهرستان گرگان نیز تقریباً به همین مقدار کود نیتروژنی نیاز است، زیرا سویا تثبیت کننده نیتروژن است (رضوان‌طلب و همکاران، ۱۳۹۴). اما در مقایسه با محصولی مانند برنج با مصرف میانگین ۲۲۵ کیلوگرم و ۷۶۰۶ مگاژول در هکتار (کاظمی و همکاران، ۲۰۱۵)، تولید کنجد نیاز بسیار کمتری به کودهای نیتروژنی دارد. میزان مصرف بذر برای هر هکتار کنجد برابر با ۵ کیلوگرم است (جدول ۳) که با توجه به عملکرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار تقریباً ۰/۵ درصد از دانه تولیدی برای بذر در سال آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در زراعت سویا به عنوان محصول روغنی، مقدار ضریب تکثیر تا ۱/۹ درصد می‌رسد و نسبت به کنجد تقریباً ۴ برابر بیشتر است (رضوان‌طلب و همکاران، ۱۳۹۴). از این رو نیاز کمتر به دانه کنجد در جهت استفاده برای بذر به عنوان یکی از مزیت‌های این گیاه می‌تواند در نظر گرفته شود.

از آنجایی که مقدار مصرف سموم شیمیایی و تعداد دفعات سم پاشی در تولید محصولات زراعی در هر سال بسته به شرایط محیطی و شیوع آفات متفاوت است، مقایسه تولید محصولات زراعی از نظر مصرف سموم شیمیایی منطقی به نظر نمی‌رسد. از این رو اگر بخواهیم مصرف سموم شیمیایی را در تولید کنجد با سایر محصولات زراعی مقایسه کنیم می‌توانیم بگوییم که در سال ۱۳۹۷ در تولید هر هکتار کنجد تنها یک مرتبه از حشره‌کش مالاتیون و یک مرتبه از علف‌کش گراماکسون در انتهای فصل برای خشکاندن کامل سطح سبز مزرعه به منظور برداشت مکانیزه آسان‌تر استفاده شد. اما در همین سال در زراعت‌هایی مانند سویا و برنج که به صورت تابستانه در منطقه کشت می‌شوند بر اساس مشاهدات بین ۲ تا ۵ بار سم پاشی صورت گرفت. بنابراین مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع کنجد در مقایسه با سایر محصولات تابستانه کمتر است، به طوری که رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که در تولید یک هکتار سویا در استان گلستان به طور متوسط ۲/۷ دفعه سم‌پاشی صورت گرفت که در برخی مزارع به ۵ بار نیز می‌رسید. عالی‌مقام و همکاران (۱۳۹۲) نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها را ۱۵۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار دانستند که ۱۵/۵ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید سویا در گرگان به خود اختصاص داد که این میزان در مطالعه حاضر در تولید کنجد برابر با ۱۱۴/۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار گزارش شد و ۶ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی داشت. البته شایان ذکر است که سمیت آفت‌کش‌ها برای انسان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد و مصرف کمتر آنها در مزارع در جهت کاهش سمیت و آلودگی باید مدنظر قرار گیرد. ۶ درصد و ۰/۵۴ درصد از مصرف انرژی کل به ترتیب اختصاص به ماشین‌آلات و نیروی

کارگری داشت، که این میزان برای تولید هر هکتار سویا به ترتیب ۸/۶۷ و ۲/۶۴ درصد گزارش شد (رضوان طلب و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۳- مقدار نهاده‌های مصرف شده در تولید کنجد.

میانگین	واحد	نهاده‌های ورودی
۴۶	کیلوگرم در هکتار	N
۶۹	کیلوگرم در هکتار	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
۴۸	کیلوگرم در هکتار	K <sub>2</sub> O
۳	لیتر	علف‌کش
۲/۵	لیتر	حشره‌کش
۵	کیلوگرم در هکتار	بذر
۱۰۷/۶	لیتر	سوخت فسیلی
۵۲۳/۳	کیلوگرم در هکتار	ماشین‌آلات
۱۵۴/۸	کیلووات ساعت	الکتریسیته
۴۲/۵	ساعت	نیروی انسانی

در جدول ۵ انرژی مصرفی به دو بخش انرژی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی و برآورد گردیده است. در بخش انرژی مصرفی مستقیم، انرژی سوخت فسیلی برای عملیات زراعی، الکتریسیته برای آبیاری و نیروی انسانی ارائه شده است. انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی شامل انرژی مورد نیاز در مراحل دیسک‌زنی، بذرکاری کودپاشی، سم‌پاشی و برداشت می‌باشد و در بخش انرژی مصرفی غیرمستقیم، انرژی مورد نیاز برای تهیه و ساخت کود نیتروژن، کود فسفر، حشره‌کش، بذر و ماشین‌آلات مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۵ نشان می‌دهد که انرژی ورودی مستقیم ۱/۷۳ برابر انرژی ورودی غیرمستقیم در تولید کنجد است. از طرفی سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروی کار، بذر و کود دامی، بسیار ناچیز است و تنها ۱/۳۵ درصد از مجموع انرژی مصرفی کل را تشکیل می‌دهد که یکی از دلایل آن می‌تواند عدم استفاده از کودهای دامی و جایگزینی آن با کودهای شیمیایی دانست. در مطالعه ابراهیم (۲۰۱۱) گزارش شد که ۵۶ درصد از انرژی ورودی مصرفی برای تولید کنجد در نیجریه از انرژی‌های تجدیدپذیر تشکیل شده است و سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر ۴۴ درصد بود. ایشان دلایل این مسئله را استفاده از کود دامی و عدم استفاده از کود شیمیایی و همچنین عدم انجام عملیات آبیاری دانستند.



جدول ۴- مقادیر مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر هکتار ناشی از نهاده‌ها در تولید کنجد.

نهاده‌های ورودی	انرژی (مگاژول بر هکتار) (درصد از کل)	GWP (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر هکتار) (درصد از کل)
N	۲۷۸۷/۶ (۱۸٪/۱۴)	۲۲۳/۲۸ (۱۱٪/۲۸)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۷۶۵/۹ (۴٪/۹۸)	۶۲/۸ (۳٪/۱۷)
K <sub>2</sub> O	۳۲۱/۶ (۲٪/۰۹)	۲۶/۴ (۱٪/۳۳)
علف‌کش	۱۷۷/۷۵ (۱٪/۱۵)	۲۸/۶ (۱٪/۴۵)
حشره‌کش	۵۳۳/۲۵ (۳٪/۴۷)	۸۵/۹ (۴٪/۳۴)
بذر	۱۲۵ (۰٪/۸۱)	-
سوخت فسیلی	۶۸۷۵/۲ (۴۴٪/۷۵)	۵۳۶/۸ (۲۷٪/۱۳)
ماشین‌آلات	۹۰۸/۷۸ (۵٪/۹۱)	۲۰۶/۴ (۱۰٪/۴۳)
الکتریسیته	۲۷۸۶/۴ (۱۸٪/۱۳)	۸۰۸/۰۶ (۴۰٪/۸۵)
نیروی انسانی	۸۳/۳ (۰٪/۵۴)	-
کل	۱۵۳۶۸/۷۸ (۱۰۰٪)	۱۹۷۸/۲۴ (۱۰۰٪)

جدول ۵- جدول شاخص‌های انرژی در تولید کنجد.

شاخص‌های انرژی	واحد	میانگین
انرژی مستقیم	مگاژول بر هکتار	۹۷۴۴/۹
انرژی غیرمستقیم	مگاژول بر هکتار	۵۶۱۹/۹
انرژی تجدیدپذیر	مگاژول بر هکتار	۲۰۸/۳
انرژی غیرتجدیدپذیر	مگاژول بر هکتار	۱۵۱۵۶/۵
انرژی ورودی کل	مگاژول بر هکتار	۱۵۳۶۸/۷۸
انرژی خروجی کل	مگاژول بر هکتار	۲۵۰۰۰
نسبت انرژی خروجی به ورودی	-	۱/۶۳
انرژی خالص	مگاژول بر هکتار	۹۶۳۵/۲
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۰۷
انرژی ویژه	مگاژول بر کیلوگرم	۱۵/۷

جدول ۶- جدول شاخص‌های GWP در تولید کنجد.

شاخص‌های GWP	واحد	میانگین
GWP کل	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر هکتار	۱۹۷۸/۲۴
GWP به ازای تولید محصول	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر تن محصول	۱۹۷۸/۲۴
GWP به ازای انرژی ورودی	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر گیگاژول	۰/۱۳
GWP به ازای انرژی خروجی	کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر گیگاژول	۰/۰۷

در مجموع برای تولید یک هکتار کنجد در گرگان به ۱۵۳۶۹ مگاژول انرژی نیاز است که در این میان ۲۵۰۰۰ مگاژول انرژی خروجی نیز به دست خواهد آمد. همچنین کارایی مصرف انرژی که از تقسیم انرژی خروجی به دست آمده بر انرژی ورودی مصرف شده محاسبه می‌شود نیز برابر با ۱/۶۳ شد (جدول ۵). افزایش کارایی مصرف انرژی به دو طریق امکان‌پذیر است. اول اینکه میزان انرژی ورودی نهاده‌ها از جمله سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و کودهای شیمیایی را در مزرعه کاهش دهیم و دوم اینکه میزان انرژی خروجی به دست آمده را با افزایش عملکرد در هکتار افزایش دهیم. بر این اساس آلووین (۲۰۱۱) با بررسی سیستم‌های مختلف کشت برای مقایسه کارایی مصرف انرژی در محصولات مختلف چنین بیان کرد که استفاده از سیستم تلفیقی زراعی که شامل مدیریت جامع و کاهش مصرف نهاده‌ها (کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده از ارقام مقاوم به آفات، مصرف معقول آفت‌کش‌ها، استفاده از مواد معدنی به صورت هدف یافته) و افزایش تنوع محصولات زراعی (شامل گذر از کشاورزی فشرده و تک‌کشتی به سوی کشاورزی شامل تنوع و تناوب، استفاده از حاشیه مزارع جهت افزایش تنوع) می‌تواند گام بلندی در افزایش کارایی مصرف انرژی و کمک به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی باشد. همچنین ایشان استفاده از گیاهان تله برای جلوگیری از آبتوی نیتروژن و اثر بر میزان ماده آلی خاک نیز می‌تواند به کارایی مصرف انرژی کمک کند (آلووین، ۲۰۱۱). انتخاب تراکتور مناسب می‌تواند باعث افزایش کارایی در مصرف انرژی شود و تا ۳۰ درصد در مصرف سوخت کاهش به‌عمل آید (صفا و همکاران، ۲۰۱۰). گاجری و همکاران (۱۹۹۳) نیز دریافتند که در تولید گندم می‌توان تا ۲۵ درصد در انرژی مصرفی از طریق مدیریت مناسب در مصرف کود و آبیاری صرفه‌جویی نمود.

انرژی خالص با افزایش عملکرد و کاهش مصرف نهاده‌ها از جمله سوخت فسیلی و الکتریسیته افزایش نشان داد. به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۰/۰۷ کیلوگرم دانه کنجد در هکتار تولید شد (جدول ۵). بهره‌وری پایین به دلیل عملکرد پایین دانه و صرف انرژی بیشتر برای انجام عملیات زراعی و همچنین مصرف الکتریسیته بیشتر بود. در ترکیه نیز بهره‌وری انرژی برای تولید یک هکتار کنجد برابر با ۰/۰۶ گزارش شده است (باران و گاکدوگان، ۲۰۱۷). از آنجایی که انرژی ویژه با بهره‌وری انرژی رابطه عکس دارد می‌توان گفت که با افزایش عملکرد و کاهش مصرف انرژی در بخش سوخت فسیلی و الکتریسیته می‌توان مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم دانه تولید شده کاهش داد. سلطانی و همکاران (۲۰۱۳) متوسط بهره‌وری انرژی را در ۶ سناریوی مورد

بررسی در تولید گندم در گرگان ۰/۲۷ گزارش کردند. همچنین سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) در زراعت کلزا در شهرستان گرگان میزان بهره‌وری انرژی را ۰/۱۵ بیان نمودند. در مطالعه‌ای دیگر عالی‌مقام و همکاران (۱۳۹۲) نیز مقدار بهره‌وری انرژی را در کشت سویا در شهرستان گرگان ۰/۲۷ محاسبه نمودند که در بالاترین میزان خود ۰/۵۷ گزارش شد.

بر اساس نتایج به ازای هر هکتار تولید کنجد، ۱۹۷۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای انتشار یافت که بیشترین سهم را الکتریسیته با ۴۰/۸ درصد داشت. برای تولید هر کیلوگرم دانه کنجد که تولید می‌گردد، ۱۹۷ گرم معادل دی‌اکسیدکربن به داخل جو انتشار می‌یابد، همچنین به ازای هر مگاژول انرژی که در تولید کنجد به طور مستقیم و یا غیرمستقیم مصرف می‌گردد، ۱۳۰ گرم معادل دی‌اکسیدکربن منتشر می‌شود که این میزان برای هر مگاژول انرژی خروجی که حاصل می‌شود، ۷۰ گرم به دست آمد (جدول ۶). در مطالعه‌ای در استان گلستان به ازای هر کیلوگرم سویا که تولید گردید، ۵۶۰ گرم معادل دی‌اکسیدکربن به داخل جو انتشار یافت، همچنین به ازای هر مگاژول انرژی که در تولید سویا به طور مستقیم و یا غیرمستقیم مصرف شد، ۹۴ گرم معادل دی‌اکسیدکربن منتشر شد که این میزان برای هر مگاژول انرژی خروجی که به دست می‌آید، ۳۷ گرم تخمین زده شد (رضوان طلب و همکاران، ۱۳۹۴).

افزایش عملکرد دانه در کنجد با بهره‌گیری بهتر از عوامل تولید مانند کودهای شیمیایی، سوخت و آب آبیاری می‌تواند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به ازای انرژی ورودی و خروجی به دست آمده در هر هکتار کاهش دهد و نسبت به سایر محصولات تابستانه تولید پاک‌تری از نظر آلودگی‌های محیط‌زیستی به ویژه افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو زمین داشته باشد. سلطانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش مصرف کودهای نیتروژنه و سوخت‌های فسیلی را برای تولید پاک‌تر گندم از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در گرگان پیشنهاد کردند.

## نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد که در تولید هر هکتار کنجد ۱۵۳۶۹ مگاژول انرژی مصرف می‌شود. بیشترین سهم انرژی ورودی در تولید کنجد مربوط به سوخت فسیلی (انرژی غیرمستقیم) و بیشترین مصرف‌کننده سوخت فسیلی عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت بود. از این رو توجه به کاهش مصرف انرژی سوخت در بخش آماده‌سازی زمین و کاشت از طریق مطالعات تکمیلی ضروری به نظر می‌رسد و عملکرد هر هکتار کنجد ۱۰۰۰ کیلوگرم ثبت شد که برابر با ۲۵۰۰۰ مگاژول انرژی ورودی محاسبه شد و بر اساس مقدار انرژی ورودی میزان کارایی مصرف انرژی برابر با ۱/۶۳ ارزیابی گردید. از آنجایی که یکی از راه‌های افزایش کارایی انرژی، افزایش عملکرد دانه است می‌توان گفت بهره‌وری بیشتر از نهاده‌هایی مانند کود، آب و سوخت می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه و کاهش مصرف این نوع نهاده‌ها گردد. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز برای تولید هر هکتار کنجد ۱۹۷۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر هکتار بود که بیشترین سهم را مصرف الکتریسیته برای آبیاری نشان داد.

## توصیه ترویجی

کشت رقم جدید کنجد ناشکופا، با توجه به مزایای بالای اقتصادی و سهولت برداشت مکانیزه، از محبوبیت خاصی برخوردار شده و انتظار می‌رود سطح کشت آن در استان گلستان و نواحی هم اقلیم به‌طور گسترده‌ای افزایش یابد. از آنجایی که در تولید کنجد مقادیر زیادی سوخت‌های فسیلی مصرف می‌شود، استفاده از ادوات ترکیبی مانند کمبینات‌ها که عملیات زراعی آماده‌سازی زمین، کاشت و کوددهی را هم‌زمان انجام می‌دهند توصیه می‌شود. پیشنهاد می‌شود تحقیقات در زمینه انجام عملیات کم یا بدون خاک‌ورزی در زراعت کنجد صورت گیرد تا مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد و از طرف دیگر از سایر مزایای این روش جهت بهبود وضعیت منابع پایه آب و خاک بهره‌مند شد. مدیریت جامع و کاهش مصرف نهاده‌ها (استفاده از ارقام مقاوم به آفات، مصرف بهینه آفت‌کش‌ها، انجام آزمایشات خاک و استفاده از کودهای دامی می‌تواند گام بلندی در راستای افزایش عملکرد و کاهش انرژی ورودی و به دنبال آن افزایش کارایی مصرف انرژی و کمک به کاهش آلودگی‌های محیط زیستی باشد.

## منابع

- ترازنامه هیدروکربوری کشور. ۱۳۸۶. گروه مدیریت انرژی، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی. ۵۴۴ ص. علوم و فنون کشاورزی. ۱۱: ۱۴۹-۱۴۱.
- رجبی، م.ح.، سلطانی، ا.، وحیدنیا، ب.، زینلی، ا. و سلطانی، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی مصرف سوخت در مزارع تولید گندم در گرگان. مجله علوم محیطی. ۹: ۱۶۴-۱۴۳.
- رضوان طلب، ن. ۱۳۹۴. ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم و سویا در استان گلستان. رساله دکتری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۲۰ صفحه.
- عالی‌مقام، م.، سلطانی، ا. و زینلی، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و اثرات زیست محیطی تولید سویا در گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۱۶ ص.
- فرجی، ا.، حقیقی، ع.ع.، باقری، م. و فیض‌بخش، م.ت. ۱۳۹۷. گزارش تولید کنجد ناشکوپا در استان گلستان. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان.
- گلستانی، م. و پاک‌نیت، ح. ۱۳۸۶. ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های کنجد. علوم و فنون کشاورزی. ۱۱: ۱۴۹-۱۴۱.
- 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.

- 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.
- Baran, M.F. and Gokdogan, O. 2017. Determination of Energy Use Efficiency of Sesame Production.
- 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, Ecosystem and Environment*, 52: 119-128.
- Gajri, P.R., Prihar, S., and Arora, K. 1993. Interdependence of nitrogen and irrigation effects on growth and input-use efficiencies in wheat. *Field Crops Research*, 31: 71-86.
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., and Teimouri, M. 2011. A case study of energy use and economic analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88: 283-288.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31:427-438.
- Ibrahim, H. Y. 2011. Energy inputs and crop yield relationship for sesame production in North Central Nigeria. *Journal of Agricultural Technology*, 7(4): 907-914.
- Kaltsas, A.M., Mamolos, A, P., Tsatsasarelis, C.A., Nanos, G.D. and Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 122: 243-251.
- Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M and Shahbyki, M. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. *Energy*, 84: 390-396.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. 2011.

- Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Applied Energy*, 88: 3765-3772.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Fert, C. 2004. Energy input –output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29: 39-51.
- Rajaeifar, M.A, Ghobadian, B., Safa, M., and Heidari, M.D. 2014. Energy life-cycle assessment and CO2 emissions analysis of soybean-based biodiesel: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 66: 233-241.
- Ramedani, Z., Rafiee, S., Heidari, M.D. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*. 36: 6340-6344.
- Safa, M., Samarasinghe, S., and Mohsen, M. 2010. Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy*. 35: 5400-5405.
- Soltani, A., Maleki, M.H.M., and Zeinali, E. 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of Plant Production*, 8: 587-604.
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50: 54 -61.
- Soltani A., Rajabi M.H., Zeinali E., and Soltani E. 2009. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 3: 201-218.
- Turhan, S., Cananozbag, B., and Rehber, E. 2008. A comparison of energy use in organic and conventional tomato production. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6: 318-321.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., and May, Lewis, M. K.A., and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions

in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. *Agricultural System*, 85: 101–119.

Umar, H.S. and Ibrahim, H.Y. 2012. Energy use and gross margin analysis for sesame production in organic and inorganic fertilizer user farms in Nigeria. *African Crop Science Journal*, 20 (1): 39-45.