به زراعی کشاورزی
دوره ۱۸ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۵
صفحه‌های ۹۱۹-۹۰۷

تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد دانه، روغن و کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم

حمداله اسکندری[1]* و اشرف عالی‌زاده امرایی[2]

۱. دانشیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران – ایران (نویسنده مسئول مکاتبات*)
۲. مربی گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران – ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

چکیده

تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد دانه، میزان روغن دانه و عملکرد روغن و کارآیی انرژی کلزا رقم اوکاپی در شرایط دیم، در شهرستان سلسله در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ بررسی شد. آزمایش با ۳ تیمار (تیمار اول: بدون آبیاری تکمیلی، تیمار دوم: یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و تیمار سوم: دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه) و ۳ تکرار اجرا شد. تعداد خورجین در واحد سطح، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، میزان روغن دانه و عملکرد روغن در سطح معنی‌دار یک درصد تحت تأثیر آبیاری تکمیلی قرار گرفت. عملکرد دانه کلزا با اعمال یک و دو بار آبیاری تکمیلی به‌ترتیب ۵۶ و ۹۱ درصد افزایش یافت. میزان روغن دانه دانه با یک و دو بار آبیاری تکمیلی از ۳۲/۱۸ به‌ترتیب به ۳۵/۰ و ۳۷/۲۲ درصد رسید که به معنی افزایش ۴۳ و ۷۵ درصدی عملکرد روغن بود. میزان کل انرژی ورودی به سیستم کشت دیم کلزا ۲۹۰۰۷ مگاژول در هکتار بود. بیشترین میزان انرژی ورودی به کود شیمیایی (۳۸/۷ درصد) اختصاص داشت. انرژی کل ورودی به سیستم در تیمارهای اعمال آبیاری تکمیلی افزایش یافت، ولی افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۸۸ و ۷۸۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در تیمارهای یک بار و دو بار اعمال آبیاری تکمیلی، انرژی خروجی سیستم را به‌ترتیب ۱۰۵۹۶ (۵۶ درصد) و ۱۷۱۲۱ (۹۱ درصد) مگاژول در هکتار افزایش داد که باعث بهبود کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم شد.

کلیدواژه‌ها: اجزای عملکرد، انرژی خالص، فراهمی آب، نسبت انرژی، نهاده

* نویسنده مسئول
Email: ehamdollah@gmail.com

۱. مقدمه

دانه‌های روغنی، به عنوان تنها منبع تـأمین‌کننـده اسـیدهای چرب اشباع شـده، نقـش مهمـی در سـلامت جامعـه ایفـا می‌کنند [۱۵]. با این حال، تنها حدود ۱۰ درصـد از روغـن مصرفی در کشور از طریق تولید داخلی تأمین می‌شـود. بـر همین اساس، در سال‌های اخیر تولید دانه‌هـای روغنـی در اولویت بیشتری قـرار گرفتـه اسـت [۹]. کلـزا (*Brassica napus* L.) که با داشتن بیش از ۴۰ میزان روغن دانـه، بعـد از سویا دومین گیاه زراعی مهم در زمینه تولید روغن است [۱۷]، پتانسیل ویـژه‌ای را بـرای افـزایش تولیـد روغـن در کشور فراهم آورده است. میانگین عملکرد کلزا در شـرایط دیـم در اسـتان لرسـتان حـدود ۶۵۰ کیلـوگرم در هکتـار می‌باشد که ۵۷ درصد کمتر از میانگین کشور می‌باشـد. بـر این اساس، امکان افزایش تولید کلزا در کشت دیم منطقه از طریق مدیریت زراعی نیاز به بررسی بیشتر دارد [۱].

کلزا در مقایسه بـا برخـی گیاهـان دانـه روغنـی دارای مزیت‌هایی از جملـه امکـان کشـت پـاییزه – کـه پتانسـیل عملکرد آن را افزایش می‌دهد – و استفاده بهینه از رطوبـت و بارندگی می‌باشد [۱۰]، ولی کمبود آب در مرحلـه رشـد زایشی از طریق کاهش تعداد خورجین در گیاه و تعداد دانه در خورجین باعث کاهش عملکرد دانه کلزا می‌شـود [۱۵]. کمبود آب در مرحله رشد رویشی تأثیری بر عملکرد دانه و تولید روغن کلزا ندارد، اما مرحله پر شدن دانـه بـه عنـوان حساس‌ترین مرحله رشدی کلزا نسبت به کـم‌آبـی معرفـی شد [۹]. توقف آبیـاری در مرحلـه گلـدهی باعـث کـاهش درصد و عملکرد روغن کلزا می‌شود [۳]. بنـابراین، اعمـال روش مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات کم‌آبی بـر تولیـد دانه و روغن کلزا ضروری اسـت. از جملـه ایـن روش‌هـا، انجام آبیاری تکمیلی است [۱۳].

زمانی‌که ریزش نزولات آسمانی متوقف شـده باشـد و کمبود رطوبت در خاک رخ دهد، می‌توان با اعمال آبیـاری تکمیلی مقداری آب در اختیار گیاه قرار داد تا امکان رشـد بوته‌ها و درنتیجه افزایش تولید دانه، فراهم گـردد. بـا ایـن حال، نیاز است آبیاری تکمیلی به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که آب در زمان حداکثر نیاز، در اختیـار گیـاه قـرار بگیـرد [۱۶]. در گیاهانی که دانه تولید مـی‌کننـد، مرحلـه بحرانـی برای اعمال آبیاری تکمیلی، مرحلـه رشـد زایشـی معرفـی شده است [۱۱]. حساس‌ترین زمـان بـرای اعمـال آبیـاری تکمیلی در کلزا، مرحله گلدهی و اوایل تشـکیل خـورجین می‌باشد [۲۴]. همچنین، در رقم مارنو کلزا، اعمـال آبیـاری تکمیلی می‌تواند از طریق افزایش تعداد خورجین در بوتـه، عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد [۳۲]. با این حال، با توجـه به اینکه واکنش ارقام مختلف کلزا نسبت بـه شـرایط آب و هوایی و مدیریتی متفاوت است [۲]، نیاز است اثـر آبیـاری تکمیلی بـر تولیـد کلـزا در ارقـام و شـرایط آب و هـوایی مختلف، به صورت جداگانه بررسی شود.

رابطه نزدیکـی بـین کشـاورزی و انـرژی وجـود دارد، بـه‌طـوری‌کـه انـرژی تـأثیر مسـتقیمی بـر کـارآیی تولیـد محصـولات زراعـی دارد [۳۶]. نیـاز اسـت سیسـتم‌هـای کشاورزی از نظر میزان انرژی‌های ورودی و خروجی مورد ارزیابی قـرار گیرنـد تـا براسـاس آن بتـوان میـزان انـرژی مصرف شده برای تولید محصول در واحد سـطح را تعیـین نمـود [۳۲]. بـه عبـارت دیگـر، تعـادل انـرژی ورودی و خروجی به سیستم، یکـی از روش‌هـای ارزیـابی پایـداری تولید در سیستم‌های کشاورزی است [۲۶].

گیاهان سبز، بـه عنـوان نقطـه شـروع چرخـه انـرژی در طبیعـت، بـرای اینکـه بتواننـد انـرژی نـورانی را بـه انـرژی شیمیایی تبدیل کنند، به نهاده‌های خاصی نیـاز دارنـد. تـأمین این نهاده‌ها برای گیاهان، نیاز به انرژی دارد. ارتباط نزدیکـی که بین رشد گیاهان و مصرف انرژی وجود دارد، کشـاورزی را به یک سیستم مصرف‌کننده انرژی تبدیل کرده است که در آن برای تولید عملکرد بالا نیاز به مصـرف زیـاد انـرژی نیـز مـی‌باشـد [۳۸]. اسـتفاده از نهـاده‌هـای انـرژی بـه شـکل آفت‌کش‌ها، سوخت دیزل، کود، ماشین‌آلات و نیروی انسانی

نه تنها هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد، بلکه ممکن است اثرات مخرب زیست‌محیطی نیز به دنبال داشته باشد. بر این اساس، منابع انرژی باید تا حد امکان با کارآیی بالا مورد استفاده قرار بگیرند. برای دستیابی به این هدف، تجزیه و تحلیل سیستم از نظر میزان انرژی ورودی و خروجی و همچنین شاخص‌های کارآیی انرژی ضروری است [۲۵].

در تولید گندم، بیشترین تأثیر در افزایش انرژی ورودی به سیستم به ماشین‌آلات و سوخت اختصاص دارد [۳۴]، درحالی‌که در مزارع پنبه، سوخت دیزل و نیروی انسانی بیشترین مصرف انرژی را داشتند [۳۸]. در مزارع چغندرقند، آبیاری حدود ۶۰ درصد انرژی ورودی به سیستم را به خود اختصاص داد، به‌طوری‌که کاهش میزان آبیاری، کارآیی انرژی سیستم را حدود ۳ برابر افزایش داد [۲۱]. به‌طورکلی، می‌توان اظهار داشت که بین گیاهان زراعی مختلف از نظر نهاده‌ای که بیشترین مصرف انرژی را دارد، تفاوت وجود دارد. بنابراین، تجزیه و تحلیل انرژی ورودی به سیستم‌های تولید، برای ارزیابی دقیق مصرف انرژی توسط نهاده‌ها و درنتیجه افزایش کارآیی انرژی سیستم تولید، ضروری است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی اثر آبیاری تکمیلی بر تولید دانه و روغن و کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای واقع در بخش مرکزی شهرستان سلسله (استان لرستان) با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی، ۱۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۵۲۰ میلی‌متر، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و برخی از مشخصات هواشناسی در طول سال زراعی انجام آزمایش در جدول ۲ درج شده است.

در این پژوهش، تیمار آبیاری در ۳ سطح شامل: الف) یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (۵۰ درصد گلدهی)، ب) اعمال دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و اواسط پر شدن دانه و ج) عدم اعمال آبیاری تکمیلی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. رقم کلزای مورد استفاده در آزمایش اوکاپی بود که یک رقم مقاوم به سرما و ورس می‌باشد و در مناطق مختلف، به ویژه مناطق سرد، نیز عملکرد قابل قبولی تولید می‌کند. زمین موردنظر، در ۱۸ مهر ۱۳۹۳ با استفاده از گاوآهن بشقابی شخم زده شد و همزمان عناصر نیتروژن (از منبع اوره)، فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) به‌ترتیب در مقادیر ۷۵، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار طبق عرف و توصیه کارشناسان منطقه به خاک اضافه گردید. در زمان آماده‌سازی بستر کاشت و به منظور مبارزه با علف‌های هرز، علف‌کش ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار با خاک مخلوط شد. کرت‌ها به صورت دستی آماده شدند و شامل ۶ خط کاشت به طول ۶ متر با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۴ سانتی‌متر بودند. بذور پیش از کاشت با استفاده از کربوکسین تیرام ضدعفونی و در تاریخ ۲۰ مهر کشت شدند.

در طول فصل رشد، برای مبارزه با شته سبز، در دو مرحله شامل مرحله ۵-۴ برگی و شروع مرحله گلدهی با استفاده از آفت‌کش سایپرمترین، سمپاشی انجام گرفت. در تیمار یک بار آبیاری تکمیلی، کرت‌های مورد نظر در شروع مرحله گلدهی (۵ اردیبهشت) با استفاده از پمپ الکتریکی آبیاری شدند و در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی، در دو تاریخ ۵ اردیبهشت (شروع مرحله گلدهی) و ۷ خرداد (مرحله پر شدن دانه) آبیاری با به‌کارگیری پمپ الکتریکی انجام گرفت.

جدول ۱ . برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (cm)	بافت	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/kg)
۰-۳۰	لوم - سیلتی	۷/۲	۲/۴	۰/۵	۰/۱۵	۱۱	۵۹۰

جدول ۲ . برخی خصوصیات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳

ماه	بارندگی ماهیانه (mm)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	میانگین دمای روزانه (ºC)	تعداد روزهای یخبندان (دمای زیر صفر)	میزان تجمعی تبخیر (mm)
مهر	۶۵/۰	۳۰	۱۵/۶	۰/۰	۱۶۹/۴
آبان	۳۱/۵	۴۲	۸/۲	۱۶	۳۳/۸
آذر	۹۰/۸	۵۵	۵/۷	۱۸	۰/۰
دی	۹/۹	۴۸	۲/۸	۲۶	۰/۰
بهمن	۴۵/۲	۴۲	۶/۰	۲۰	۰/۰
اسفند	۴۶/۷	۴۴	۵/۴	۲۲	۰/۰
فروردین	۶۳/۲	۴۰	۹/۹	۱۰	۸۹/۵
اردیبهشت	۵/۰	۲۴	۱۴/۸	۳	۱۹۷/۰
خرداد	۲/۶	۱۹	۲۰/۱	۰/۰	۲۵۶/۰

به منظور تعیین حجم آبیاری، ابتدا رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR مشخص و با استفاده از آن عمق آبیاری محاسبه گردید. سپس، مساحت کرت در عمق آبیاری ضرب شد و حجم آبیاری به دست آمد [۵] که در این پژوهش مرحله اول آبیاری شامل ۳۰۶ و مرحله دوم شامل ۳۱۱ مترمکعب در هکتار بود.

به منظور تطبیق کلیه فعالیت‌های پژوهش با فعالیت‌های زراعی منطقه، ابتدا براساس فرمول کوکران [۲۶] نمونه آماری از کشاورزان منطقه مشخص گردید. سپس، پرسشنامه‌ها در خصوص کلیه فعالیت‌های تولید دیم کلزا توسط کشاورزان منطقه تکمیل شد و اطلاعات کاملی از نظر نوع ماشین‌آلات مورد استفاده برای آماده‌سازی بستر، میزان و رقم بذر مورد استفاده، میزان کود مصرفی، نوع ماشین‌آلات در مرحله داشت و برداشت، نوع سموم مورد استفاده و تعداد کارگر برای برداشت به دست آمد. سپس، براساس این اطلاعات، پژوهش اجرا گردید.

برای محاسبه انرژی ورودی به سیستم، معادل انرژی هر کدام از نهاده‌ها (جدول ۳) در میزان نهاده مصرفی ضرب گردید [۲۸]:

$$SI = EQ_S . S$$ فرمول [۱]

در این رابطه، SI انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) بذر، EQ_S معادل انرژی بذر (مگاژول در کیلوگرم) و S میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

فرمول [۲] $PI = EQ_P . P$

در این رابطه، PI انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) به سیستم از طرف آفت‌کش‌ها، EQP معادل انرژی آفت‌کش‌ها (علف‌کش مایع) (مگاژول بر لیتر) و P آفت‌کش مصرف شده (لیتر در هکتار) می‌باشد.

فرمول [۳] $EMI = (EQ_M.M.T)/N$

در این رابطه، EMI انرژی ورودی حاصل از ماشین‌آلات، EQM معادل انرژی ماشین‌آلات (مگاژول بر کیلوگرم)، M جرم ماشین‌آلات (کیلوگرم)، T زمان استفاده از ماشین‌آلات (ساعت در هکتار) و N عمر مفید ماشین‌آلات (ساعت) می‌باشد.

فرمول [۴] $FI = EQ_F . F$

در این رابطه، FI انرژی ورودی ناشی از سوخت (مگاژول بر هکتار)، EQF معادل انرژی سوخت (مگاژول بر لیتر) و F سوخت مصرف شده (لیتر بر هکتار) می‌باشد.

فرمول [۵] $F = MH . DF$

در این رابطه، F میزان سوخت مصرف شده (لیتر در هکتار)، MH میزان استفاده از ماشین‌آلات (ساعت در هکتار) و DF سوخت مصرف شده (لیتر در ساعت) می‌باشد.

فرمول [۶] $DF = 0.223 . PTO$

در این رابطه، DF میزان سوخت مصرف شده (لیتر در ساعت) و PTO توان معادل ماشین‌آلات (کیلووات) می‌باشد.

فرمول [۷] $HLI = EQ_{HL} . HL$

در این رابطه، HLI انرژی ورودی به سیستم از طرف کار انسانی (مگاژول بر هکتار)، EQHL معادل انرژی کار انسانی (مگاژول بر ساعت) و HL کار انسانی (ساعت در هکتار) می‌باشد.

از آنجا که آبیاری (در تیمار اعمال آبیاری تکمیلی) با استفاده از پمپ الکتریکی انجام گرفت، برای محاسبه انرژی ورودی به سیستم از این طریق از رابطه زیر استفاده شد:

فرمول [۸] $P = [Y . Q . H] / 1000 . ep$.

در این رابطه، P توان به‌کار رفته برحسب کیلووات، Y وزن مخصوص آب، Q دبی پمپ (مترمکعب بر ثانیه)، H بار کل دینامیکی (متر) و ep راندمان پمپ می‌باشد. در این پژوهش، راندمان پمپ الکتریکی ۸۰ درصد درنظر گرفته شد [۱۱]. با ضرب تعداد کل ساعات آبیاری در هکتار در کیلووات محاسبه شده در فرمول [۸]، انرژی مصرفی پمپاژ آب بر حسب کیلووات در هکتار به‌دست می‌آید که با ضرب آن در عدد ۳/۶ به واحد مگاژول در هکتار تبدیل شد.

پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه کلزا (۲۵ خرداد)، اثرات حاشیه‌ای هر کرت حذف و بعد از برداشت، صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزاردانه، تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در واحد سطح و درصد و عملکرد روغن (با استفاده از دستگاه سوکسله) محاسبه گردید. برای محاسبه انرژی خروجی سیستم، میزان دانه تولید شده در هر تیمار در واحد معادل انرژی دانه ضرب گردید. کارآیی انرژی سیستم با محاسبه شاخص‌های نسبت انرژی (با تقسیم انرژی خروجی از سیستم بر انرژی ورودی به سیستم) و انرژی خالص خروجی از سیستم (تفاضل انرژی خروجی و انرژی ورودی به سیستم) تعیین شد [۳۰].

داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (در سطح معنی‌داری صفت) مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۳ . معادل انرژی‌های ورودی و خروجی سیستم کشت دیم کلزا

نهاده	معادل انرژی	واحد	منبع
بذر کلزا	۲۱/۷	مگاژول بر کیلوگرم	[۳۷]
ماشین‌آلات	۶۲/۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۳۵]
سوخت دیزل	۵۶/۳	مگاژول بر لیتر	[۳۵]
آفت‌کش	۱۰۲/۰	مگاژول بر لیتر	[۲۳]
کار انسانی	۱/۹۶	مگاژول بر ساعت	[۱۹]
کود نیتروژنه	۶۶/۱۴	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
کود پتاس	۱۱/۱۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۱]
کود فسفره	۱۲/۴۴	مگاژول بر کیلوگرم	[۲۶]
الکتریسیته	۳/۶	مگاژول در هکتار	[۲۰]

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا و صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری تکمیلی قرار گرفتند ($P\leq$ ۰/۰۱). اعمال آبیاری تکمیلی، میزان روغن دانه کلزا و عملکرد روغن را نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($P\leq$ ۰/۰۱). نتایج نشان داد که اعمال آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد دانه کلزا شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه شد، به‌طوری‌که اعمال دو بار آبیاری تکمیلی میزان صفات اخیر را به‌ترتیب ۱۹۷، ۵۴ و ۴۶ درصد افزایش داد. با این حال، تفاوت بین اعمال یک بار آبیاری تکمیلی و دو بار آبیاری تکمیلی نیز در کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۴).

عملکرد دانه کلزا با اعمال یک بار آبیاری تکمیلی و دو بار آبیاری تکمیلی به‌ترتیب ۵۶ و ۹۱ درصد افزایش یافت که در این مورد تعداد دانه در واحد سطح (حاصل‌ضرب تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در واحد سطح) و وزن دانه مؤثر بود (جدول ۵). کمتر بودن تعداد دانه در واحد سطح در تیمار بدون آبیاری تکمیلی را می‌توان به کمتر بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نسبت داد، زیرا کمبود رطوبت در مرحله گلدهی (اردیبهشت ماه) باعث عقیمی گل‌ها و درنتیجه، کاهش پتانسیل گیاه برای تولید خورجین و دانه می‌شود (جدول ۲). تعداد دانه در خورجین کلزا حتی با آبیاری تکمیلی نیز در محدوده پایینی قرار داشت که این امر نشان می‌دهد کلزا شرایط تنش را تجربه کرده است که با یافته‌های دیگر تحقیقات که در شرایط تنش کمبود آب، کاهش تعداد دانه در خورجین از ۲۰ به ۱۳ دانه را گزارش دادند، مطابقت دارد [۸]. از طرف دیگر، نتایج آزمایش حاضر نشان داد که وزن هزاردانه با اعمال آبیاری تکمیلی افزایش یافت که با افزایش عملکرد دانه کلزا در شرایط آبیاری تکمیلی در ارتباط است. وزن هزاردانه از جمله مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه کلزا می‌باشد، به‌طوری‌که تولید

دانه‌های بزرگتر با عملکرد بیشتر در واحد سطح همراه است که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد [۷]. مواجه شدن کلزا با کمبود رطوبت در پایان فصل، با کاهش وزن دانه و تعداد دانه در واحد سطح به کاهش عملکرد کلزا منتهی می‌شود [۸] که با نتایج تحقیق حاضر مبنی بر تأثیرپذیری عملکرد دانه کلزا از تعداد دانه و وزن دانه هماهنگی دارد.

جدول ۴ . مقایسه میانگین صفات تحت بررسی کلزا در شرایط رطوبتی متفاوت

تیمار	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	شاخص برداشت (٪)	میزان روغن دانه (٪)	عملکرد روغن (kg/ha)
کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی (شاهد)	۱۴/۹^{c}	۱۰/۱^{c}	۲/۸^{c}	۸۶۵^{c}	۳۰۶۷^{c}	۲۸^{c}	۳۲/۱۸^{c}	۹۸۶/۹^{c}
کشت دیم با یک بار آبیاری تکمیلی	۳۸/۲^{b}	۱۳/۶^{b}	۳/۶^{b}	۱۳۵۳^{b}	۴۰۴۸^{b}	۳۳^{b}	۳۵/۰^{b}	۱۴۱۶/۸^{b}
کشت دیم با دو بار آبیاری تکمیلی	۴۴/۳^{a}	۱۵/۶^{a}	۴/۱^{a}	۱۶۵۴^{a}	۴۶۳۷^{a}	۳۶^{a}	۳۷/۲۲^{a}	۱۷۲۵/۹^{a}

اگر کلزا در مراحل رشد زایشی با تنش کم‌آبی مواجه شود، طول دوره پر شدن دانه کاهش پیدا می‌کند که به معنی کاهش دوره تجمع آسیمیلات‌ها در دانه و کاهش وزن دانه می‌باشد [۱۰]. از طرف دیگر، وقوع کمبود رطوبت در مرحله رشد زایشی باعث کاهش جذب املاح از خاک و درنهایت کاهش فتوسنتز و شیره پرورده می‌شود که به آسیب‌پذیری تشکیل دانه در خورجین‌ها می‌انجامد. به عبارت دیگر، عدم ارسال مواد فتوسنتزی به دانه، موجبات کاهش وزن آن را فراهم می‌آورد [۲۹]. این نتایج، با یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر کاهش وزن دانه در شرایط کمبود رطوبت در مرحله رشد زایشی مطابقت دارد. باتوجه به تفاوت معنی‌دار وزن دانه بین تیمارهای یک بار آبیاری تکمیلی و دو بار آبیاری تکمیلی، اعمال یک بار آبیاری تکمیلی نیز نتوانست حداکثر مواد فتوسنتزی لازم برای ذخیره‌سازی در دانه را فراهم سازد. بنابراین، افزایش عملکرد دانه کلزا از طریق افزایش تعداد و وزن دانه با اعمال دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه امکان‌پذیر می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک کلزا با اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی حدود ۳۲ درصد و با اعمال آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه حدود ۵۱ درصد افزایش یافت (جدول ۴). عملکرد بیولوژیکی از چند جنبه دارای اهمیت است. از یک طرف، عملکرد بیولوژیکی به معنی تولید کاه است که از نظر اقتصادی می‌تواند مورد توجه قرار بگیرد، زیرا علوفه کلزا به دلیل داشتن پروتئین قابل هضم بالا، کیفیت خوبی برای دام دارد [۴] و از طرف دیگر، عملکرد بیولوژیک معادل تولید خالص کل می‌باشد. به همین دلیل، گیاهانی دارای عملکرد بالا خواهند بود که

با توجه به شرایط رشد، مواد فتوسنتزی بیشتری در اندام‌های خود تجمع دهد و تولید خالص بیشتری داشته باد [۱۴] که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. در این پژوهش نیز، کلزا در شرایطی که عملکرد بیولوژیک بیشتری داشت، دانه بیشتری نیز در واحد سطح تولید نمود.

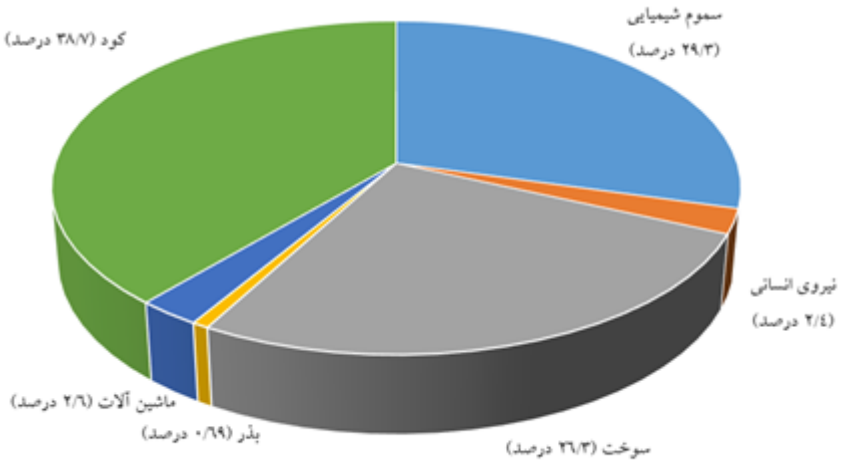
توانایی انتقال و انباشت مواد فتوسنتزی، بویژه از خورجین‌ها به دانه‌ها، یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد کلزا معرفی شده است [۱۴] و هر عاملی که موجب عدم کارآیی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شود، باعث کاهش شاخص برداشت می‌گردد [۱۵]. در این آزمایش، اگرچه با اعمال آبیاری تکمیلی، عملکرد بیولوژیکی افزایش یافت، ولی بیشتر شدن شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری تکمیلی، نشان‌دهنده آزاد شدن بخش قابل توجهی از پتانسیل عملکرد دانه کلزا می‌باشد. به عبارت دیگر، بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک در شرایط اعمال آبیاری تکمیلی به دلیل رشد بیشتر اندام‌های رویشی نبوده، بلکه ماده خشک افزایش یافته عمدتاً به تولید بیشتر دانه اختصاص یافت که به افزایش عملکرد دانه کلزا منتهی گردید. با این حال، شاخص برداشت در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی نسبت به تیمار یک بار اعمال آبیاری تکمیلی و بدون اعمال آبیاری تکمیلی به ترتیب حدود ۱۰ و ۲۹ درصد بیشتر بود که نشان می‌دهد کلزا حتی در شرایط اعمال یک بار آبیاری تکمیلی، شرایط تنش (هر چند به صورت محدودتر) را تجربه کرده است.

میزان روغن دانه کلزا تحت تأثیر آبیاری تکمیلی قرار گرفت ($P\leq$ ۰/۰۱)، به‌طوری‌که کمترین میزان روغن دانه دانه کلزا در شرایط کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی به دست آمد. اعمال آبیاری تکمیلی باعث افزایش میزان روغن دانه دانه کلزا شد. در این مورد، میزان روغن دانه در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی حدود ۲۰ درصد بیشتر از تیمار بدون آبیاری تکمیلی بود (جدول ۴). عملکرد روغن در واحد سطح، تحت تأثیر و عامل میزان روغن دانه و عملکرد دانه در واحد سطح قرار می‌گیرد. اعمال یک و دو بار آبیاری تکمیلی عملکرد روغن کلزا در واحد سطح را به ترتیب ۴۳ و ۷۵ درصد افزایش داد (جدول ۴). کلزا وقتی با کمبود آب مواجه می‌شود، مقدار کمتری از آسیمیلات‌های تولید شده را برای تولید روغن به‌کار می‌گیرد [۱۷]. تأمین آب کافی برای گیاه آفتابگردان در مرحله پر شدن دانه می‌تواند ذخیره روغن در دانه‌ها را افزایش دهد [۶]. این امر با یافته‌های تحقیق حاضر مبنی بر کاهش تولید روغن در شرایط کاهش آب در دسترس در طول دوره پر شدن دانه (کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی) هماهنگی دارد. در این پژوهش، تولید کلزا در شرایط دیم به ۲۹۰۰۷ مگاژول در هکتار انرژی نیاز داشت که بیشترین میزان انرژی ورودی از طرف کود شیمیایی بود (جدول ۵) که ۳۸/۷ درصد از کل انرژی ورودی به سیستم را به خود اختصاص داد (شکل ۱).

جدول ۵ . میزان انرژی ورودی به سیستم تولید کلزا در شرایط دیم

نهاده	بذر (MJ/ha)	کود (MJ/ha)	آفت‌کش (MJ/ha)	نیروی انسانی (MJ/ha)	ماشین‌آلات (MJ/ha)	سوخت (MJ/ha)
انرژی کل (MJ/ha)	۲۰۱	۱۱۲۲۷	۸۵۰۰	۶۹۸	۷۵۰	۷۶۳۱

سموم شیمیایی و سوخت مصرفی توسط ماشین‌آلات از نظر میزان تأثیر بر انرژی ورودی به سیستم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، به‌طوری‌که به‌ترتیب ۲۹/۳ و ۲۶/۳ درصد از انرژی ورودی به سیستم به این نهاده‌ها تعلق داشت. کمترین میزان انرژی ورودی به سیستم مربوط به بذر، نیروی انسانی و ماشین‌آلات بود که در مجموع کمتر از ۶ درصد از سهم کل انرژی ورودی به سیستم به آنها تعلق داشت (شکل ۱).



شکل ۱ . نسبت سهم (درصد) نهاده‌های مختلف در انرژی ورودی به سیستم کشت دیم کلزا

استفاده از کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر غذایی موردنیاز کلزا در شرایط دیم به میزان زیادی انرژی ورودی به سیستم را افزایش داد. در کشت آبی کلزا نیز مشاهده شد که بیشترین انرژی ورودی به سیستم به کود شیمیایی تعلق داشت [۳۷]. این امر در حالی است که استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند اثرات مخربی بر خاک و منابع آب زیرزمینی داشته باشد. بر این اساس، کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت دیم کلزا، از طریق مدیریت-های زارعی مانند به کارگیری تناوب زراعی مناسب و یا استفاده از کشاورزی دقیق برای تأمین نیاز دقیق گیاه به عناصر غذایی می‌تواند ضمن حصول عملکرد مناسب، باعث کاهش انرژی ورودی به سیستم و آلودگی احتمالی محیط زیست نیز شود [۲۵]. بیشترین تأثیر در افزایش انرژی ورودی در گیاه جو به سیستم به کودهای شیمیایی تعلق داشت [۲۷]. استفاده مناسب و بهینه از کودهای شیمیایی در گیاه ذرت، نقش مهمی در افزایش کارآیی انرژی سیستم دارد [۳۱].

سهم استفاده از سوخت و سموم شیمیایی در انرژی ورودی به سیستم قابل توجه بود (جدول ۶ و شکل ۱). در سیستم‌های مختلف کاشت گیاهان زراعی از جمله گندم و سیب‌زمینی، سوخت یکی از عوامل مهم در افزایش انرژی ورودی به سیستم گزارش شده است که کاهش استفاده از آن می‌تواند کارآیی انرژی سیستم تولید را بهبود بخشد [۲۲ و ۳۳]. از طرف کنترل آفات و عوامل خسارت‌زا به محصول نه تنها از طریق معادل انرژی مربوط به سموم، انرژی ورودی به سیستم را افزایش می‌دهند، بلکه به کارگیری سایر نهاده‌ها (نیروی انسانی، ماشین‌آلات و سوخت دیزل) برای استفاده از سموم شیمیایی نیز از اثرات

غیرمستقیم کنترل آفات در افزایش انرژی ورودی به سیستم می‌باشد. در نخود دیم نیز بیش از ۳۵ درصد انرژی مصرف شده از طریق نیروی انسانی، مربوط به کنترل علف‌های هرز بود [۲۵]. بنابراین، هر نوع مدیریت زراعی، از جمله تناوب زراعی، که باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی و یا کاهش جمعیت آفات شود، به صورت مستقیم (کاهش مصرف سموم شیمیایی) و غیرمستقیم (کاهش استفاده از نیروی انسانی، سوخت و ماشین‌آلات) باعث افزایش کارآیی انرژی سیستم تولید خواهد شد.

تعیین نهاده‌های مؤثر بر میزان انرژی ورودی به هر سیستم تولید، برای مدیریت و بهبود کارآیی انرژی ضروری است، زیرا نهاده‌های مختلف در گیاهان مختلف، سهم متفاوتی در میزان انرژی ورودی به سیستم دارند. در این زمینه، آبیاری به عنوان مهمترین عامل در افزایش انرژی ورودی به سیستم تولید چغندرقند معرفی شد [۲۱] که بیش از ۶۰ درصد انرژی ورودی را به خود اختصاص داد. در پنبه مشاهده شد که بیشترین انرژی ورودی به سیستم به سوخت دیزل و نیروی انسانی تعلق داشت [۳۸]. در این پژوهش، برای افزایش کارآیی انرژی، کاهش انرژی ورودی به سیستم از طریق کود شیمیایی، سوخت و سموم شیمیایی مؤثر خواهد بود. باتوجه به سهم اندک بذر، نیروی انسانی و ماشین‌آلات در کل انرژی مصرفی، کاهش استفاده از این نهاده‌ها تأثیر زیادی بر کارآیی انرژی سیستم نخواهد داشت.

استفاده از یک بار آبیاری تکمیلی (در مرحله گلدهی) و دو بار آبیاری تکمیلی (در مرحله گلدهی و پر شدن دانه) باعث شد به‌ترتیب ۷۰۷ و ۱۴۱۴ مگاژول در هکتار به انرژی ورودی به سیستم اضافه شود، به‌طوری‌که انرژی کل ورودی به سیستم در تیمار یک بار اعمال آبیاری تکمیلی حدود ۳ درصد و در تیمار دو بار اعمال آبیاری تکمیلی حدود ۵ درصد بیشتر از تیمار بدون آبیاری تکمیلی بود (جدول ۶). با این حال، آبیاری تکمیلی باعث افزایش انرژی خروی سیستم (عملکرد دانه) شد. افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۸۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار یک با اعمال آبیاری تکمیلی و ۷۸۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار دو بار اعمال آبیاری تکمیلی نسبت به تیمار بدون اعمال آبیاری تکمیلی، انرژی خروجی سیستم را به‌ترتیب ۱۰۵۹۶ (۵۶ درصد) و ۱۷۱۲۱ (۹۱ درصد) مگاژول در هکتار افزایش داد. این بدان معنی است که اعمال آبیاری تکمیلی باعث بهبود کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم می‌شود (جدول ۶).

جدول ۶ . میزان انرژی کل ورودی و خروجی (مگاژول در هکتار)، نسبت انرژی و میزان انرژی خالص خروجی (مگاژول در هکتار) در تیمارهای اعمال آبیاری تکمیلی و بدون آبیاری تکمیلی

تیمار	انرژی کل ورودی به سیستم (MJ/ha)	انرژی کل خروجی از سیستم (MJ/ha)	نسبت انرژی	انرژی خالص خروجی (MJ/ha)
بدون آبیاری تکمیلی	۲۹۰۰۷^{b}	۱۸۷۷۱^{c}	۰/۶۵^{c}	-۱۰۲۳۶^{c}
یک بار اعمال آبیاری تکمیلی	۲۹۷۱۴^{ab}	۲۹۳۶۷^{b}	۰/۹۹^{b}	-۳۴۷^{b}
دو بار اعمال آبیاری تکمیلی	۳۰۴۲۱^{a}	۳۵۸۹۲^{a}	۱/۱۸^{a}	۵۴۷۱^{a}

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

در تیمارهای بدون آبیاری تکمیلی و یک بار آبیاری تکمیلی، نسبت انرژی کمتر از یک شد که نشان می‌دهد انرژی به دست آمده از محصول کمتر از انرژی ورودی به سیستم بود که به عملکرد کم دانه مربوط می‌باشد. هر چند اعمال یک بار آبیاری تکمیلی، نسبت انرژی را حدود ۵۲ درصد افزایش داد، ولی نتوانست انرژی حاصل از تولید دانه را به میزان کل انرژی ورودی به سیستم برساند. به همین دلیل در دو تیمار بدون آبیاری تکمیلی و یک بار آبیاری تکمیلی، انرژی خروجی از سیستم منفی بود (جدول ۵). با این حال، اعمال دو بار آبیاری تکمیلی، کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم را از نظر شاخص‌های نسبت انرژی و انرژی خالص خروجی بهبود بخشید. به نظر می‌رسد چنانچه انرژی خروجی از سیستم نتواند انرژی ورودی به سیستم را جبران نماید، کاهش کارآیی انرژی به وقوع خواهد پیوست [۳۸]. در هر حال، نسبت انرژی و انرژی خالص خروجی، تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی بر کارآیی انرژی در سیستم تولید دیم کلزا را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که کارآیی انرژی با اعمال دو بار آبیاری تکمیلی بیش از ۸۰ درصد نبت به شرایط عدم اعمال آبیاری تکملی افزیش یافت. در گیاهان ذرت و گندم نیز آبیاری تکمیلی تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه و کارآیی انرژی دارد [۳۱] که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

سیستم تولید دیم کلزا به دلیل عملکرد دانه کم، دارای کارآیی انرژی پایینی داشت. اعمال آبیاری تکمیلی توانست باعث افزایش عملکرد دانه و تولید روغن توسط کلزا شود. بیشترین سهم انرژی ورودی به سیستم تولید کلزای دیم به کود شیمیایی تعلق داشت. آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی توانست کارآیی انرژی را افزایش دهد، به‌طوری‌که هر چند آبیاری تکمیلی باعث شد انرژی ورودی به سیستم بیشتر شود، ولی تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی در افزایش عملکرد دانه (از طریق افزایش تعداد دانه و وزن دانه)، انرژی خروجی از سیستم را از ۲۹۰۰۷ به ۲۹۷۱۴ (در تیمار یک بار آبیاری تکمیلی) و ۳۰۴۲۱ (در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی) مگاژول در هکتار افزایش داد که به معنی افزایش کارآیی انرژی در سیستم تولید کلزا در شرایط دیم می‌باشد. با این حال، مقدار کارآیی انرژی تنها با اعمال دو بار آبیاری تکمیلی بیشتر از صفر شد.

منابع

۱. احمدی ک (۱۳۹۴) آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۲، انتشارت وزارت جهادکشاورزی، تهران. ۴۸ ص.

۲. حاتم‌زاده ح (۱۳۹۰) تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه کلزا تحت شراط دیم معتدل سرد. پژوهش‌های زراعی ایران. ۲: ۲۵۷-۲۴۸.

۳. حسن‌زاده م، شیرانی‌راد ا ح، نادری درباغشاهی م ر، مجد نصیری ب و مدنی ح (۱۳۸۴) بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پرمحصول کلزای پاییزه. کشاورزی. ۲: ۲۴-۱۷.

۴. خواجه‌پور م ر (۱۳۸۷) گیاهان صنعتی. انتشارات جهاددانشگاهی اصفهان. ۵۶۲ ص.

۵. خیرابی ج (۱۳۷۷) مبانی و روش‌های اندازه‌گیری آب. مرکز نشر دانشگاهی تهران. ۷۵ ص.

۶. رشدی م، حیدری شریف‌آباد ح، کریمی م، نورمحمدی ق و درویش ف (۱۳۸۵) بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام آفتابگردان. علوم کشاورزی. ۱: ۱۲۲-۱۰۹.

۷. ساجدی ز، راهنما ع و کرمی ث (۱۳۸۸) تأثیر فاصله ردیف و میزان بذر بر عملکرد روغن و روند پر شدن

دانه کلزا در منطقه بهبهان. پژوهش در علوم زراعی. ۳: ۹۳-۷۷.

۸. سید احمدی ع، بخشنده م و قرینه م ح (۱۳۹۴) ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی پایان فصل در شرایط آب و هوایی اهواز. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۸۰-۷۱.

۹. شعبانی ع، کامگار حقیقی ع، سپاسخواه ع، امام ی و هنر ت (۱۳۸۹) اثر تنش آبی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کیفیت کلزای پاییزه رقم لیکورد. علوم زراعی ایران. ۴: ۴۲۱-۴۰۹.

۱۰. صادقی‌نژاد ع، مدرس ثانوی ع م، طباطبایی ع و مدرس وامقی م (۱۳۹۳) اثر تنش کمبود آب در مراحل مختلف رشد بر عملکرد اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام پاییزه کلزا. دانش آب و خاک. ۲: ۶۴-۵۳.

۱۱. صفاری م و مددی‌زاده م (۱۳۹۱) بررسی تأثیر سطوح مختلف کود ازته و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو رقم سهند در منطقه بافت. علوم کشاورزی دیم ایران. ۱: ۱۰۷-۹۲.

۱۲. عطار س (۱۳۸۹) ارزیابی دو سیستم تولید برنج با استفاده از تحلیل‌های انرژی و اقتصادی در شهرستان رامهرمز. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر. شوشتر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۱۳. فرجی ا و اسلامی ک (۱۳۹۱) اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام کلزا در منطقه گنبد. به‌زراعی نهال و بذر. ۲۸: ۱۴۴-۱۳۳.

۱۴. فلاح هکی م ح، یدوی ع ر، موحدی دهنوی م و بلوچی ح ر (۱۳۹۰) بررسی روغن، پروتئین و عملکرد دانه ارقام کلزا در تاریخ کاشت‌های مختلف در منطقه یاسوج. تولید گیاهان زراعی. ۲: ۲۲۲-۲۰۷.

۱۵. فنایی ح ر، قنبری بنجار ا، اکبری مقدم ح، سلوکی م و ناروئی‌راد م ر (۱۳۸۷) ارزیابی عملکرد اجزای عملکرد و برخی صفات زراعی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در منطقه سیستان. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۹: ۴۴-۳۶.

۱۶. قمرنیا ه، فرمانی‌فرد م و ساسانی ش (۱۳۹۱) بررسی اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و کارایی مصرف آب سه رقم جدید گندم. مدیریت آب و آبیاری. ۲: ۸۳-۶۹.

۱۷. مصطفوی‌راد م، آزاد مرزآبادی م و فرجی س (۱۳۹۲) ارزیابی صفات و عمکرد کیفی دانه در برخی ارقام زمستانه برتر کلزا. به‌نژادی گیاهان زراعی و باغی. ۱: ۴۲-۳۳.

۱۸. وفابخش ج، نصیری محلاتی م، کوچکی ع و عزیزی م (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی بر کارآیی مصرف و عملکرد ارقام کلزا. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱: ۲۹۲-۲۸۵.

19. Alam MS, Alam MR and Islam KK (2008) Energy flow in agriculture: Bangladesh. American Journal of Environmental Science. 1(3): 213-220.

20. Bockari-Gevao SM, Van-Ishak W I, Azmi Y and Chan CW (2005) Analysis of energy consumption in lowland rice based copping system of Malaysia. Journal of Science and Technology. 7(4): 819-826.

21. Canakci M, Topakci I, Akinci I and Ozmerzi A (2005) Energy partner of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. Energy Conservtion and Management. 46: 655-666.

22. Cetin B and Vardar A (2008) An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. Renewable Energy. 33: 428-433.

23. Chaudhary VP, Gangwar B, Pandey DK and Gangwar GS (2009) Energy auditing of diversified rice-wheat cropping systems in indo-gangetic plains. Energy. 34(9): 1091-6.

24. Clarke J and Simpson GC (1987) Influence of irrigation and seeding rates on yield and yield components of Brassica napus. Canadian Journal of Plant Science. 58: 731-737.

25. Eskandari H (2015) Energy analysis and the effect of complementary irrigation on total energy efficiency of a common pea production system. Energy Education Science and Technology. 33(6): 3007-3016.

26. Eskandari H and Attar S (2015) Energy comparison of two rice cultivation systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Pp. 666-671.

27. Firat M and Gokdogan O (2014) Energy input-output analysis of barley production in Thrace region of Turkey. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 14(11): 1255-1261.

28. Grisso RD, Kocher MF and Vaughan DH (2004) Predicting tractor fuel consumption. Applied Engineering in Agriculture. 20(5): 553-561.

29. Hang AN and Gilliland GC (1991) Water requirement for winter rapeseed in central Washington. Proceeding 8th International Rapeseed Congress, Organizing Committee. Pp. 1235-1240.

30. Hatirli SA, Ozkan B and Fert C (2006) Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy. 31: 427-438.

31. Mani I, Kumar P, Panwar J and Kant K (2007) Variation in energy consumption in production of wheat-maize with varying altitudes in hilly regions of Himachal Pradesh, India. Energy. 32: 2336-2339.

32. Roa MS and Mandham NJ (1991) Soil plant-water relations of oilseed rape. Journal of Agriculture.117: 197-205.

33. Safa M and Tabatabaie-Far A (2002) Energy consumption in wheat production in irrigated and dry land farming. Proceeding international Agricultural Engineering Conference. China.

34. Shahin S, Jafari A, Mobli H, Rafiee S and Karimi M (2008) Effect of farm size on energy ratio for wheat production: a case study from Ardabil province of Iran. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science. 3: 604-608.

35. Singh JM (2002) On farm energy use pattern in different cropping system in Haryana. M.Sc. Thesis. University of Flensburg. Germany.

36. Tabatabaeefar A, Emamzadeh H, Ghassemi-Varnamkhasti M, Rahimizadeh R and Karimi M (2009) Comparison of energy of tillage systems in wheat production. Energy. 35: 41-45.

37. Taheri-Garavand A, Asakereh A and Haghani (2010) Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. Environmental Science. 2: 236-242.

38. Yilmaz I, Akcaoz H and Ozkan B (2004) An analysis of energy use and input in agriculture. Renewable Energy. 30: 145-55.