

## Influence of Tillage and Fertilizer Systems on Seed Yield and Nitrogen Efficiency Indices of Rapeseed in Sandy Soil under Drought Stress Conditions

Ghorban Khodabin<sup>1\*</sup>, Ashkan Jalilian<sup>2</sup>, Mojdeh Sadat Khayat Moghadam<sup>3</sup>,  
Shahryar Kazemi<sup>4</sup>

Received: 05 March 2022 Accepted: 29 December 2022

1-Former Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2-Ph.D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science & Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

3-Former Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran.

4- Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Dept. Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

\*Corresponding Author Email: [g.khodabin@modares.ac.ir](mailto:g.khodabin@modares.ac.ir)

### Abstract

**Background and Objective:** This experiment was performed to research the role of various tillage systems with application of nitrogen fertilizer and vermicompost on seed and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) and conjointly its result on nitrogen efficiency indices fully and low irrigation conditions.

**Materials and Methods:** The experiment was performed as a split-split plot based on a randomized complete block design with three replications in the Alborz Research Station, Research Institute of Forests and Rangelands during two cropping seasons (2017-19). Tillage systems as the main plot at three levels including no-tillage, reduced tillage, and conventional tillage. The subplots included irrigation at two levels (normal irrigation and low irrigation) and fertilizer factor at four levels (no fertilizer, urea chemical fertilizer, vermicompost, urea fertilizer + vermicompost).

**Results:** In the no-tillage system, oil yield decreased by 22% compared to reduced tillage and 21.5% compared to conventional tillage. Seed and oil yields in the conditions of combined application of vermicompost fertilizer were 18 and 17% higher than the control in normal irrigation conditions and 29 and 32% higher in low irrigation conditions, respectively. In all three tillage systems, the highest nitrogen use efficiency was observed, which in Compared to the application of vermicompost and urea, in non-tillage conditions 5 and 8.1%, in reduced tillage conditions 6.2 and 1.5%, and in conventional tillage conditions 5.5 and 1.7%, respectively, the nitrogen use efficiency was more.

**Conclusion:** The results of this experiment showed that reduced tillage and replacement of urea fertilizer with vermicompost can increase canola seed and oil yields by reducing nitrogen wastage, increasing nitrogen content and also by modifying drought stress conditions.

**Keywords:** Nitrogen Content, Nitrogen Utilization Efficiency, Urea, Vermicompost, Oil Yield

## اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و کود بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی نیتروژن کلزا در خاک شنی تحت شرایط تنش خشکی

قربان خدابین<sup>۱\*</sup>، اشکان جلیلیان<sup>۲</sup>، مژده سادات خیاط مقدم<sup>۳</sup>، شهریار کاظمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۸

۱- دانشجوی اسبق دکتری زراعت، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران

۲- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاه زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ایران

۳- دانشجوی اسبق دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. سمنان. ایران

۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

\*مسئول مکاتبه: Email: g.khodabin@modares.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** این آزمایش به منظور بررسی نقش نظام‌های مختلف خاک‌ورزی به همراه کاربرد کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه و روغن کلزا و همچنین تأثیر آن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مجتمع تحقیقات البرز، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع طی دو سال زراعی (از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) اجرا شد. سیستم‌های خاک‌ورزی به عنوان کرت اصلی در سه سطح شامل بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی رایج بودند. کرت فرعی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری معمول و کم آبیاری) و تیمار کودی در چهار سطح [عدم کاربرد کود، کود شیمیایی اوره، کود ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی اوره + کود ورمی‌کمپوست] بودند.

**یافته‌ها:** در سیستم بدون شخم عملکرد روغن به میزان ۲۲ درصد نسبت به شخم حداقل و ۲۱/۵ درصد نسبت به شخم معمول کاهش یافت. عملکرد دانه و روغن در شرایط کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست به ترتیب ۱۸ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد در شرایط آبیاری معمول و ۲۹ و ۳۲ درصد در شرایط کم آبیاری بیشتر بود. در هر سه نظام خاک‌ورزی بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کاربرد تلفیقی اوره و ورمی‌کمپوست مشاهده شد که در مقایسه با کاربرد ورمی‌کمپوست و اوره به ترتیب در تیمار بدون شخم ۵ و ۸/۱ درصد، در شخم حداقل ۶/۲ و ۱/۵ درصد و در شخم رایج ۵/۵ و ۱/۷ درصد بیشتر بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این آزمایش نشان داد که شخم حداقل و جایگزین کردن کود اوره با ورمی‌کمپوست می‌تواند با کاهش هدر رفت نیتروژن، موجب افزایش محتوای نیتروژن گیاه و همچنین با تعدیل شرایط تنش خشکی منجر به افزایش عملکرد دانه و روغن کلزا شود.

**واژه‌های کلیدی:** اوره، عملکرد روغن، کارایی بهره‌وری نیتروژن، محتوای نیتروژن، ورمی‌کمپوست

## مقدمه

خاک‌ورزی و شیوه‌های مدیریت حاصلخیزی خاک بر خواص و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع خاک و در نتیجه بر استفاده پایدار و بهره‌وری آن‌ها تأثیر می‌گذارد (عالم و همکاران ۲۰۱۴). خاک‌ورزی مکانیکی می‌تواند منجر به تخریب خاک از جمله اثرات منفی بر چگالی ظاهری، شیب خاک، پایداری خاکدانه‌ها، ظرفیت نگهداری آب و فعالیت بیولوژیکی شود (آلوارو-فوننتس و همکاران ۲۰۱۳). روش‌های کشت بدون خاک‌ورزی و یا با حداقل خاک‌ورزی به‌طور مثبت بر ساختار و پایداری خاک در سیستم‌های کشاورزی مؤثر است (نونس و همکاران ۲۰۲۰). استفاده هم‌زمان از شخم حفاظتی همراه با کود آلی منجر به افزایش کیفیت خاک و جذب عناصر غذایی می‌شود (آگبد ۲۰۱۰). در سیستم کشاورزی مرسوم کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مانند اوره به دلیل افزایش عملکرد در گیاهان مختلف، منبع جذابی در کوتاه‌مدت بوده ولی این کودها، سبب ایجاد مشکلاتی نظیر آلودگی‌های زیست‌محیطی، انباشت نمک‌ها و تغییر pH خاک و در نتیجه کاهش باروری، ایجاد کمپلکس نامطلوب، کاهش میزان کربن آلی، کاهش تنوع زیستی و فرسایش ژنتیکی در طولانی‌مدت می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۹).

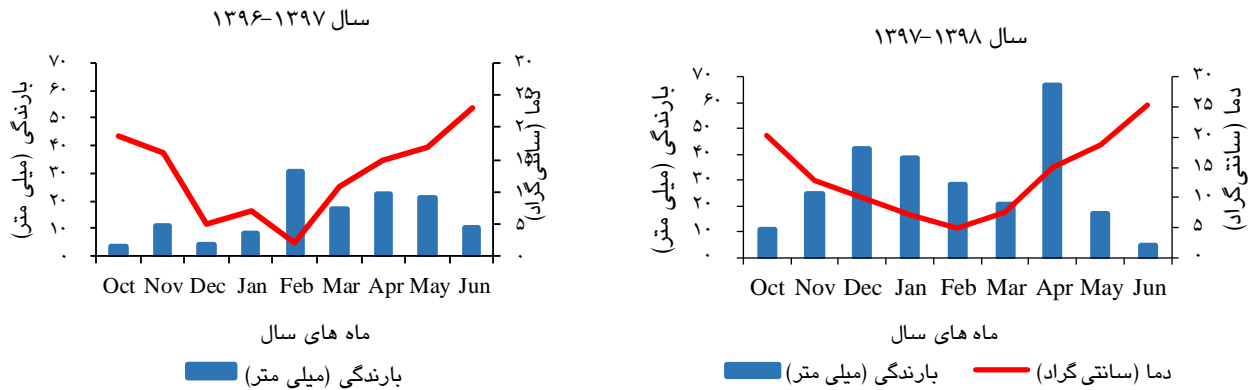
کلزا با مجموع ۶۸/۲ میلیون تن تولید در سال ۲۰۱۹، دومین گیاه دانه روغنی در سطح جهانی است (فائو ۲۰۱۹). با توجه به اینکه کلزا نیاز به نیتروژن بالایی دارد (راتکه و همکاران ۲۰۰۶)، کاربرد کودهای نیتروژن‌دار برای تولید مطلوب ضروری به نظر می‌رسد. برخی از اراضی زیر کشت کلزا دارای خاک‌هایی با بافت سبک می‌باشند. کشاورزان معمولاً در زمین‌های شنی به‌منظور حصول حداکثر عملکرد، از مقادیر زیاد کودهای نیتروژن‌دار استفاده می‌کنند که نتیجه آن هدر رفت نیتروژن است (وانگ و همکاران ۲۰۱۵). استفاده از کودهای آلی نیتروژن یک روش جایگزین برای جلوگیری از شستشوی نیتروژن، به‌ویژه در خاک‌های شنی است (چن و همکاران ۲۰۱۸) که بستگی به منبع و تکنیک مورد استفاده دارد (شپرد و نیول پرایس ۲۰۱۳).

تنش خشکی بر پویایی مواد مغذی در گیاه و خاک تأثیر می‌گذارد (یولاه و همکاران ۲۰۱۹) و مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد برای تولید محصولات کشاورزی در جهان و به‌ویژه در بسیاری از نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا است (سان و همکاران ۲۰۱۳). تنش خشکی باعث کاهش کیفیت روغن در ارقام مختلف کلزا می‌شود که میزان این کاهش بسته به شدت تنش و نوع رقم متفاوت بود (خیاط مقدم و همکاران ۲۰۲۱ و خدایی و همکاران ۲۰۲۱). مدیریت کود می‌تواند به میزان می‌تواند به بهبود مقاومت گیاهان به خشکی کمک کند (گیتینجی و همکاران ۲۰۱۱). مدیریت کودی می‌تواند به میزان زیادی تولید محصولات را در شرایط کم‌آبی تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین بسته به میزان دسترسی به آب، اضافه کردن عناصر غذایی می‌تواند موجب افزایش یا کاهش مقاومت به تنش گردد (دیمپا و همکاران ۲۰۲۰). از طرف دیگر، افزایش رشد گیاه از طریق کاربرد عناصر غذایی تحت شرایط کم‌آبی می‌تواند منجر به تسهیل استخراج آب و مواد غذایی از لایه‌های عمیق‌تر خاک گردد (اسمیت و همکاران ۲۰۱۱).

اهداف این آزمایش، بررسی نقش نظام‌های مختلف خاک‌ورزی به همراه کاربرد کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه و روغن کلزا (*Brassica napus L.*) و تأثیر آن بر میزان کارایی مصرف نیتروژن، کارایی بهره‌وری نیتروژن و شاخص کارایی نیتروژن در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری می‌باشد. در واقع، پاسخ به این پرسش که مصرف کود آلی به‌تنهایی و یا همراه با کود نیتروژنه تحت شرایط مختلف آبیاری و نظام‌های مختلف خاک‌ورزی چه تأثیری در بهبود عملکرد کیفی و کمی روغن کلزا و جبران خسارت ناشی از کم‌آبیاری را دارد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه کرج اجرا گردید. متوسط بارندگی بلندمدت منطقه ۲۴۴ میلی‌متر است که بیشترین میزان آن در آذرماه و کمترین آن در مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد. (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین ماهانه بارش (میلی متر) و دما (سانتی گراد) در طول فصل رشد

درصد بود. همچنین کود ورمی کمپوست مورد استفاده در این تحقیق دارای ۱/۱۲ درصد نیتروژن، هدایت الکتریکی ۳/۱ دسی زیمنس بر متر، اسیدیته ۵/۷ و ماده آلی ۲۸ درصد بود (جدول ۱).

بافت خاک مزرعه آزمایش، شنی با اسیدیته ۷/۷۴ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ دسی زیمنس بر متر و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب چهار و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم و میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۶

جدول ۱- خصوصیات عمومی خاک محل آزمایش در عمق (۵۰-۰) سانتی متر و کود آلی (ورمی کمپوست)

ورمی کمپوست	خاک (۵۰-۰ سانتی متر)	خصوصیات عمومی خاک
۵/۷	۷/۷۴	pH
۳/۱	۱/۷	هدایت الکتریکی خاک (dS.m <sup>-1</sup> )
۲۸	۰/۸۱	کربن آلی (%)
۱/۱۲	۰/۰۶	نیتروژن کل (%)
۱/۵۱	۴	فسفر قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
۱/۳	۱۵۰	پتاسیم قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
۰/۵	۸/۴	آهن قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
۱۱۲	۱/۱۴	روی قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
۴۳	۲/۶	مس قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
۹۹۲	۷/۴	منگنز قابل جذب (mg. kg <sup>-1</sup> )
	۲۱	سیلت (%)
	۵۸	شن (%)
	۲۱	رس (%)

آبیاری در دو سطح (آبیاری بر اساس ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری بر اساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار کودی در چهار سطح [عدم کاربرد کود (F1)، ۳۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره (F2)، ۱۴ تن در هکتار کود ورمی کمپوست (F3)، ۱۷۵ کیلوگرم کود شیمیایی اوره + ۷ تن در هکتار کود ورمی کمپوست (F4)] در کرت فرعی قرار گرفت. برای تعیین سطوح مختلف آبیاری از روابط ارائه شده توسط بهرا و پندا (۲۰۰۹) استفاده شد. در این روش، برنامه زمان بندی

آزمایش به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. سیستم های خاک ورزی به عنوان کرت اصلی در سه سطح شامل بدون خاک ورزی (کشت با کارنده کشت مستقیم و بدون عملیات خاک ورزی)، خاک ورزی حداقل (یک بار با چیزل آماده سازی بستر، سپس عملیات کاشت با کارنده مرسوم منطقه) و خاک ورزی رایج (شخم با گاو آهن برگردان دار و دو بار دیسک و کاشت با کارنده مرسوم منطقه) بودند. کرت فرعی شامل

شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکتاین (یک لیتر در هکتار) صورت گرفت. به‌منظور بررسی تیمارهای اعمال‌شده بر صفات مورد مطالعه، نمونه‌برداری‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در هر دو سال (چهار تیرماه) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان عملکرد دانه، پس از حذف حاشیه‌ها، کلیه بوته‌های موجود در مساحت دو مترمربع میانی از هر کرت آزمایشی برداشت و سپس به روش دستی دانه‌ها از خورجین جدا و توزین شدند. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته اندازه‌گیری و عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری نیتروژن دانه و اندام هوایی، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. از نمونه‌های آسیاب شده عصاره هضم تهیه و اندازه‌گیری به روش کج‌دال انجام گرفت (بلاکاس و همکاران ۲۰۱۰).

میزان کارایی مصرف نیتروژن<sup>۲</sup>، میزان کارایی بهره‌وری نیتروژن<sup>۳</sup> و میزان نسبت کارایی نیتروژن<sup>۴</sup> به ترتیب از روابط زیر به دست آمد (خدابین و همکاران ۲۰۲۲):

(رابطه ۱)

عملکرد دانه \ نیتروژن مصرف‌شده (کیلوگرم / کیلوگرم)

(رابطه ۲)

عملکرد دانه \ نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه (کیلوگرم / کیلوگرم)

(رابطه ۳)

عملکرد دانه \ نیتروژن جذب‌شده دانه (کیلوگرم / کیلوگرم)

پس از بررسی یکنواختی واریانس داده‌های دو سال آزمایش بر اساس آزمون بارتلت، برای آنالیز آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ استفاده گردید. میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب خاک در منطقه ریشه تعیین شد. مقدار آب خاک با استفاده از دستگاه انعکاس سنجی زمانی<sup>۱</sup> در عمق ۵۰ سانتی‌متر تعیین شد.

میزان کود نیتروژن بر اساس نتایج آزمون خاک ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در نظر گرفته شد. از آنجاکه کود اوره حاوی ۴۶ درصد نیتروژن خالص و کود ورمی‌کمپوست مصرفی در این تحقیق (با ۲۵ درصد رطوبت) حاوی ۱/۱۲ درصد نیتروژن است. کودپاشی به‌صورت ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن‌دار اوره در تیمار F2، ۱۴ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در تیمار F3 و ۱۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۷ تن ورمی‌کمپوست در هکتار در تیمار F4 استفاده گردید. در هر دو سال آزمایش، کاشت در تاریخ پنج مهرماه صورت گرفت و از رقم نیما برای کاشت استفاده گردید. که رقمی زمستانه، آزادگرده‌افشان، قابل‌کشت در مناطق معتدل و سرد و از نظر کیفیت روغن جزء ارقام دو صفر (۰۰) می‌باشد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول پنج‌متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت پنج سانتی‌متر بود. بنابراین تراکم بوته حدود ۷۰ بوته در مترمربع بود. کلیه عملیات مربوط به داشت به‌جز آبیاری به‌صورت یکسان و بر اساس عرف منطقه انجام شد. برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله‌های پلی‌اتیلن همراه با یک کنتور حجمی استفاده شد.

نحوه مصرف کود اوره مصرفی در کرت‌های حاوی کود اوره به‌صورت یک‌سوم در هنگام کاشت و دو‌سوم به‌صورت سرک در دو مرحله از رشد (شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل) انجام گرفت. کود ورمی‌کمپوست نیز در کرت‌های حاوی کود ورمی‌کمپوست قبل از کاشت به زمین اضافه شد. مقابله با علف هرز در طی فصل رشد به‌صورت دستی صورت گرفت. پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، مبارزه با آفات به‌ویژه

<sup>2</sup> Nitrogen use efficiency

<sup>3</sup> Nitrogen utilization efficiency

<sup>4</sup> Nitrogen efficiency rate

<sup>1</sup> Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England

## نتایج و بحث

## کارایی مصرف نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثرات

ساده سال، خاکورزی، آبیاری و کود در سطح یک

درصد و برهمکنش دوگانه سال × خاکورزی، سال ×

آبیاری، سال × کود و آبیاری × کود و همچنین

برهمکنش سه‌گانه سال × خاکورزی × کود در صفت

کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی کلزا

میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نیتروژن دانه	محتوای نیتروژن اندام هوایی	نسبت کارایی نیتروژن	کارایی بهره‌وری نیتروژن	کارایی مصرف نیتروژن	عملکرد دانه	عملکرد روغن
سال	۱	۵۳۴۰ *	۱۱۶۴۴ **	۶۹/۰۸ns	۱۶/۷ns	۲۰۹ **	۵۷۷۴۳۰۴ **	۱۱۸۰۷۹۹**
تکرار (سال)	۴	۳۱۹	۴۱۲	۵۱/۱	۱۰/۴	-/۸۸	۳۵۱۹۹	۹۴۱۴
خاکورزی	۲	۸۵۴۵ **	۸۵۴۵ **	۷۶/۷ns	۴۵/۴ **	۲۳۰ **	۶۱۹۰۳۹۵ **	۱۰۷۲۸۵۸**
سال × خاکورزی	۲	۱۸۰۰ns	۲۸۸۳ *	۱۶/۹۹ns	۱۳/۴ns	۱۴/۴ *	۴۶۳۸۴۲ns	۱۰۰۱۴۶ns
سال × خاکورزی (تکرار)	۸	۶۷۸	۵۰۶	۳۷/۶	۳/۶۲	۲/۸۶	۱۳۵۳۷۵	۲۸۶۶۸
آبیاری	۱	۳۸۱۲۶ **	۸۲۸۹۷ **	۱۸/۴ns	۷/۲ns	۱۳۴۶**	۳۹۵۱۸۵۵۲ **	۷۹۴۸۸۰**
سال × آبیاری	۱	۶۰ns	۱۹۱ns	۴۲/۸ *	۱۹/۰۷ *	۱۲/۶**	۵۶۵۸۲۲ **	۱۱۹۹۵۷**
خاکورزی × آبیاری	۲	۱۳۲ns	۳۸۴ns	۱۵/۲ns	۶/۹۱ns	۱/۸۹ns	۶۰۵۶۷ns	۷۰۲۵ns
سال × خاکورزی × آبیاری	۲	۶/۳ns	۹/۴ns	۱۹/۷ns	۷/۲۹ns	۲/۱۳ns	۵۱۷۵۷ns	۴۲۴۲ns
سال × آبیاری × خاکورزی	۱۲	۴۷/۲	۱۲۴	۷/۳	۲/۱۱	۱/۳۷	۳۶۶۲۴	۱۱۱۳۶
کود	۳	۷۹۱۱ **	۲۱۵۵۵ **	۴۰/۴ *	۳۹/۴ **	۱۰/۶**	۵۲۷۵۳۴۸**	۹۷۶۴۵۱**
سال × کود	۳	۲۶۰۴ **	۵۷۰۸ **	۵۰ *	۱۹/۷ **	۵۰/۳**	۹۳۳۲۹۹**	۱۹۶۵۲۴**
خاکورزی × کود	۶	۶۰۶ *	۱۳۸۶ **	۳۸ *	۱۲/۲ **	۲/۹۶ns	۱۵۸۰۸۷*	۲۸۸۰۸ns
سال × خاکورزی × کود	۶	۴۹۲ *	۷۳۷ *	۸/۰۸ns	۳/۳ns	۹/۷**	۱۷۵۳۱۲*	۴۱۳۸۴*
آبیاری × کود	۳	۱۱۱۱ **	۲۷۳۲ **	۶/۳۵ns	۲/۷ns	۲۲/۶**	۶۳۰۱۸۷**	۱۱۴۳۶۳**
سال × آبیاری × کود	۳	۱۷۶ns	۴۱۳ns	۹/۴ns	۳/۰۰۶ns	۳/۲۶ns	۶۴۷۴۸ns	۱۴۶۲۵ns
خاکورزی × آبیاری × کود	۶	۳۳۳ns	۶۴۸ns	۱۱/۷ns	۵/۷۳ns	۳/۵۶ns	۱۳۵۱۶۱ns	۲۳۴۲۸ns
سال × خاکورزی × آبیاری × کود	۶	۱۷۹ns	۳۶۹ns	۸/۹۴ns	۴/۴ns	۲/۱۶ns	۹۹۵۳۳ns	۱۶۴۳۷ns
خطا	۷۲	۲۰۵	۳۰۰	۱۳/۷	۳/۰۸	۱/۷۳	۶۴۱۵۵	۱۴۱۵۷
ضریب تغییرات (%)		۱۶/۰۸	۱۳/۰۶	۱۱/۹۳	۸/۴۱	۷/۲۵	۹/۳	۱۰/۳

\*، \*\* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

سال اول ۹/۲۵ درصد و نسبت به کم‌آبیاری در سال

دوم ۲۸/۲ درصد بیشتر بود.

بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم و

تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۲۲/۷ کیلوگرم/کیلوگرم

به دست آمد (جدول ۳)، که نسبت به همین تیمار در

جدول ۳- مقایسه میانگین بر همکنش سال × آبیاری بر صفات مورد بررسی در کلزا

سال	آبیاری	نسبت کارایی نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	کارایی بهره‌وری نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	کارایی مصرف نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg. ha <sup>-1</sup> )	عملکرد روغن (Kg. ha <sup>-1</sup> )
سال اول ۱۳۹۶-۹۷	آبیاری معمول	۳۱/۳ a	۲۱/۰۹ a	۲۰/۶ b	۳۱۰۶/۲ b	۱۳۲۳ b
	کم آبیاری	۳۱/۶ a	۲۱/۰۵ a	۱۲/۹ d	۱۹۳۳/۱ d	۷۹۶ d
سال دوم ۱۳۹۷-۹۸	آبیاری معمول	۲۹/۵ b	۱۹/۹ b	۲۲/۷ a	۳۳۸۱/۳ a	۱۴۴۷ a
	کم آبیاری	۳۱/۹ a	۲۱/۳ a	۱۶/۳ c	۲۴۵۹/۰۳ c	۱۰۳۵ c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

کمترین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کم آبیاری در سال اول با میانگین ۱۲/۹ کیلوگرم/کیلوگرم به دست آمد. برهمکنش سه‌گانه سال × سیستم خاک‌ورزی × تیمارهای کودی حاکی از آن بود که بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم و تیمار حداقل

خاک‌ورزی × کود تلفیقی اوره+ورمی‌کمپوست با میانگین ۲۳/۹ کیلوگرم/کیلوگرم به دست آمد. کمترین کارایی مصرف نیتروژن در سال اول و شرایط بدون شخم و تمام تیمارهای کودی مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین بر همکنش سه‌گانه سال × خاک‌ورزی × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

سال	خاک‌ورزی	کود	محتوای نیتروژن دانه (mg. kg <sup>-1</sup> DW)	محتوای اندام هوایی نیتروژن (mg. kg <sup>-1</sup> DW)	کارایی مصرف نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg. ha <sup>-1</sup> )	عملکرد روغن (Kg. ha <sup>-1</sup> )
سال اول -۹۷	بدون	F1	۶۵/۱ jk	۹۳/۳ mn	-	۱۸۵۴ n	۷۸۳ i
		F2	۷۴/۲ ijk	۱۱۲/۰۴ jklm	۱۴/۰۴ h	۲۲۴۸ kl	۹۴۰ hi
		F3	۷۲/۱ ijk	۱۰۷/۵ klm	۱۴/۳ h	۲۲۹۰ jkl	۹۷۸ gh
		F4	۷۲/۸ ijk	۱۰۹/۲ klm	۱۳/۹ h	۲۲۲۵ klm	۹۵۳ hi
سال دوم -۹۸	بدون	F1	۶۴/۳ jk	۹۲/۲ mn	-	۲۰۹۱ lmn	۸۸۱ hij
		F2	۱۱۳/۶	۱۷۱/۶ bcd	۱۹/۶ bcd	۳۱۴۷ bcde	۱۳۲۳ cd
		F3	۸۶/۸ fghi	۱۲۹/۴ ghij	۱۶/۶ f	۲۶۵۹ fgh	۱۱۱۹ ef
		F4	۸۸/۴ fghi	۱۳۲/۷ fghi	۱۶/۲ fg	۲۶۰۶ ghi	۱۱۰۰ fg
سال دوم -۹۸	رایج	F1	۶۹/۱ jk	۹۹/۲ lmn	-	۲۱۲۴ klmn	۸۸۶ hij
		F2	۱۱۹/۴ bc	۱۰۸/۳ bc	۲۰/۳۱ bc	۳۲۵۰ bcd	۱۳۴۵ bcd
		F3	۷۸/۸ hij	۱۱۷/۴ ijkl	۱۶/۸ ef	۲۶۹۱ fg	۱۱۲۵ ef
		F4	۹۲/۵ efgh	۱۳۸/۷ fgh	۱۹/۰۳ cd	۳۰۴۶ de	۱۲۸۳ d
سال دوم -۹۸	بدون	F1	۶۱/۱ k	۸۷/۸ n	-	۱۹۴۴ mn	۸۲۶ ij
		F2	۷۷/۴ hijk	۱۱۷/۲ ijkl	۱۴/۹ gh	۲۳۹۸ hij	۱۰۰۶ fgh
		F3	۸۰/۳ ghij	۱۱۹/۷ hijk	۱۶/۰۸ fg	۲۵۷۳ ghij	۱۱۰۲ fg
		F4	۹۶/۰۶ efg	۱۴۴/۱ efg	۱۸/۱ de	۲۹۰۸ ef	۱۲۳۹ de
سال دوم -۹۸	رایج	F1	۷۸/۸ hij	۱۱۳/۴ ijkl	-	۲۵۷۴ ghij	۱۱۰۵ efg
		F2	۱۱۵/۳	۱۷۴/۱ bc	۲۰/۱ bc	۳۲۲۹ bcd	۱۳۵۵ bcd
		F3	۱۲۴/۴ ab	۱۸۴/۴ b	۲۱/۰۷ b	۳۳۷۲ bc	۱۴۴۹ bc
		F4	۱۳۸/۸ a	۲۰۶/۹ a	۲۳/۹ a	۳۸۳۷ a	۱۶۶۱ a
سال دوم -۹۸	رایج	F1	۶۷/۹ jk	۹۷/۵ lmn	-	۲۳۴۴ ijk	۹۷۱ gh
		F2	۹۳/۵ efgh	۱۴۱/۲ efg	۱۹/۲ cd	۳۰۸۶ cde	۱۲۶۴ d
		F3	۱۰۲/۷ def	۱۵۲/۴ def	۲۱/۱ b	۳۳۸۹ b	۱۴۷۹ b
		F4	۱۰۷/۰۲	۱۶۰/۵ cde	۲۱/۱ b	۳۳۸۴ b	۱۴۳۴ bc

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

اول از کارایی مصرف نیتروژن بیشتری (۳۲/۸ درصد) نسبت به سال دوم برخوردار بود (جدول ۵). از طرفی کمترین کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کم آبیاری و کود اوره با میانگین ۱۳/۶ کیلوگرم/کیلوگرم به دست آمد.

نتایج برهمکنش آبیاری × کود نشان داد که بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری معمول و کود اوره (۲۲/۵ کیلوگرم/کیلوگرم) و کود تلفیقی اوره + ورمی کمپوست (۲۱/۹ کیلوگرم/کیلوگرم) به دست آمد (جدول ۵). با توجه به میانگین تیمارهای کودی، سال

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

عملکرد روغن (Kg. ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg. ha <sup>-1</sup> )	کارایی مصرف نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	محتوای نیتروژن اندام هوایی (mg. kg <sup>-1</sup> DW)	محتوای نیتروژن دانه (mg. kg <sup>-1</sup> DW)	کود	آبیاری
۱۰۹۳ c	۲۵۵۶ c	-	۱۱۳/۹ de	۷۹/۵ c	F1	آبیاری معمول
۱۵۲۱ a	۳۶۰۴ a	۲۲/۵ a	۱۸۵/۹ a	۱۲۳/۱ a	F2	
۱۴۲۳ b	۳۳۰۷ b	۲۰/۶ b	۱۵۵/۰۱ c	۱۰۴/۱ b	F3	
۱۵۰۳ a	۳۵۰۷ a	۲۱/۹ a	۱۷۲/۳ b	۱۱۵/۱ a	F4	
۷۲۳ f	۱۷۵۵ f	-	۸۰/۶ f	۵۶/۰۱ d	F1	کم آبیاری
۸۹۰ e	۲۱۸۲ e	۱۳/۶ e	۱۱۲/۹ e	۷۴/۷ c	F2	
۹۹۴ d	۲۳۵۰ de	۱۴/۶ d	۱۱۵/۳ de	۷۷/۶ c	F3	
۱۰۵۳ cd	۲۴۹۵ cd	۱۵/۵ c	۱۲۵/۱ d	۸۳/۴ c	F4	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

خاک‌ورزی حداکثر باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن گردید که علت آن را می‌توان زیرورو کردن بیش از حد خاک و تخریب خاکدانه‌ها دانست که در نهایت از ظرفیت نگهداری عناصر خاک می‌کاهد. در چنین شرایطی، با هر بار آبیاری مقدار زیادی از عناصر مورد نیاز گیاه همراه با زه‌آب از محیط ریشه خارج می‌شود. تیمار F2 و F4 در آبیاری کامل (جدول ۵)، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را دارا بودند. علت این امر را می‌توان به حضور رطوبت و نیتروژن مورد نیاز گیاه اشاره کرد که منجر به افزایش عملکرد دانه گیاه شدند. در تیمار کم آبیاری، هر واحد از نیتروژن جذب شده، کارایی کمتری در تولید دانه داشته و در چنین شرایطی کم کردن میزان نیتروژن مصرفی، باعث افزایش مصرف نیتروژن شد (قبادی و همکاران ۲۰۱۵). در شرایطی که آب عامل محدودکننده است، کود نیتروژن رشد رویشی گیاه را افزایش داده و با این افزایش میزان تبخیر و تعرق نیز بالا می‌رود و رطوبت خاک تخلیه و این امر منجر به کاهش میزان ماده خشک

بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم و آبیاری مطلوب به دست آمد. وجود رطوبت از جمله عواملی است که باعث تسریع در جذب عناصر شده و در سال دوم همراه با افزایش آبیاری میزان جذب نیتروژن نیز بیشتر شد. رطوبت بالا همراه با فراهمی نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه و با توجه به ثابت بودن مقدار نیتروژن مصرفی، کارایی مصرف نیتروژن افزایش پیدا کرد. در سال دوم، شخم حداقل و تیمار F4 کودی، بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن را داشت (جدول ۴). شخم حداقل با کاهش خاک‌ورزی خاک از تخریب خاکدانه‌ها و هدرروی عناصر جلوگیری کرده و از طرفی ورمی کمپوست موجود در تیمار کودی، با آزادسازی تدریجی عناصر در طول دوره رشد، از آبشویی عناصر جلوگیری می‌کند. فراهمی عناصر و جذب آن‌ها توسط گیاه در نهایت منجر به افزایش تولید دانه گیاه می‌شود. محققان نیز گزارش کرده‌اند که کودهای آلی تأثیرات مثبتی بر کارایی جذب عناصر دارند (عبدالطیف ۲۰۱۱).



### محتوای نیتروژن اندام هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثرات ساده سال، خاک‌ورزی، آبیاری و کود در سطح یک درصد بر صفت محتوای نیتروژن اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش دوگانه سال × خاک‌ورزی، سال × کود، خاک‌ورزی × کود و برهمکنش سه‌گانه سال × خاک‌ورزی × کود بر صفت محتوای نیتروژن اندام هوایی معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین محتوای نیتروژن اندام هوایی، سال دوم و تیمار شخم حداقل × کود تلفیقی اوره و ورمی-کمپوست با میانگین (۲۰۶/۹ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) به دست آمد. در سال اول محتوای نیتروژن اندام هوایی در تیمار خاک‌ورزی رایج × کود اوره بیشتر از سایر تیمارهای اعمال‌شده در این سال بود (جدول ۴). با توجه به میانگین‌های تیمارهای کودی و سیستم‌های خاک‌ورزی، محتوای نیتروژن گیاه در سال دوم حدود ۱۲ درصد بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). در هر دو سال آزمایش، کمترین محتوای نیتروژن اندام هوایی در شرایط بدون شخم و عدم کاربرد کود مشاهده گردید. برهمکنش آبیاری × کود نشان داد که محتوای نیتروژن دانه در آبیاری معمول و تیمار کود اوره با میانگین ۱۸۵/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک شد که نسبت به کرت بدون کود (شاهد) در همین سیستم آبیاری، ۳۹ درصد بیشتر بود (جدول ۵). در مجموع تیمارهای کودی، محتوای نیتروژن اندام هوایی گیاه در تیمار آبیاری کامل، ۳۰ درصد بیشتر از تیمار کم آبیاری بود (جدول ۵). کمترین میزان محتوای نیتروژن اندام هوایی در کرت بدون کود و تیمار کم آبیاری با میانگین ۸۰/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود که نسبت به تیمار برتر، ۵۷ درصد کاهش داشت (جدول ۵).

بیشترین میزان نیتروژن دانه و اندام هوایی در سال دوم، شخم حداقل و تیمارهای حاوی کود ورمی-کمپوست (F3 و F4) مشاهده شد. از آنجاکه در سال دوم میزان آبیاری کرت‌ها (به علت گرمای هوا) بیشتر بود، در نتیجه‌ی زیرورو شدن خاک در سیستم خاک‌ورزی رایج، شستشوی نیتروژن بیشتر بود که منجر به خروج این عنصر از دسترس گیاه گردید. کرت‌های بدون شخم

تولیدی به ازای هر واحد نیتروژن مصرفی و کارایی مصرف آن می‌گردد (قبادی و همکاران ۲۰۱۵). بررسی (یولاه و همکاران ۲۰۱۹) نیز نشان داد که میان تنش خشکی و کاهش کارایی مصرف نیتروژن رابطه مستقیم وجود دارد.

### محتوای نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سال، خاک‌ورزی، آبیاری و کود بر صفت محتوای نیتروژن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش دوگانه سال × کود، خاک‌ورزی × کود، آبیاری × کود و برهمکنش سه‌گانه سال × خاک‌ورزی × کود بر صفت محتوای نیتروژن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بر همکنش سه‌گانه سال × خاک‌ورزی × کود، محتوای نیتروژن دانه را تغییر داد، به نحوی که بیشترین میزان محتوای نیتروژن دانه در سال دوم و تیمار حداقل شخم × کود تلفیقی ورمی-کمپوست و کود اوره با میانگین ۱۳۸/۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک به حاصل شد. کمترین میزان نیتروژن دانه در سال دوم و تیمار بدون شخم × بدون کود با میانگین ۶۱/۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک به دست آمد که نسبت به تیمار برتر ۵۶ درصد کمتر بود (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین آبیاری × کود، بیشترین میزان نیتروژن دانه، در آبیاری معمول و تیمارهای کودی اوره و ورمی-کمپوست به ترتیب با میانگین‌های ۱۲۳/۱ و ۱۱۵/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به دست آمد (جدول ۵). به‌طور کلی، در سال اول، کود اوره دارای بیشترین میزان نیتروژن دانه بود اما در سال دوم آزمایش و تمام سیستم‌های خاک‌ورزی، کرت‌های بدون کود کمترین و کرت‌های کود تلفیقی بیشترین میزان نیتروژن دانه را داشتند. با اعمال تیمارهای کودی، محتوای نیتروژن دانه در شرایط آبیاری مطلوب، ۳۰/۸ درصد نسبت به کم آبیاری بیشتر بود. در بررسی (توفنکی و همکاران، ۲۰۰۶) کاربرد نیتروژن، میزان نیتروژن دانه افزایش یافت.

### نسبت کارایی نیتروژن

جدول تجزیه آنالیز واریانس نشان داد که اثر ساده کود در سطح پنج درصد بر صفت نسبت کارایی نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش سال × آبیاری، سال × کود و خاک‌ورزی × کود در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). جدول برهمکنش سال × آبیاری نشان داد که به‌جز تیمار آبیاری کامل در سال دوم (۲۹/۵ کیلوگرم/کیلوگرم) باقی تیمارها در گروه برتر قرار گرفتند (جدول ۳). با توجه به میانگین دو سال در شرایط کم‌آبیاری، نسبت کارایی نیتروژن ۴/۲ درصد بیشتر از آبیاری مطلوب بود و تیمار کم‌آبیاری نسبت کارایی نیتروژن را افزایش داد (جدول ۳). تأثیر تیمارهای کودی در دو سال آزمایش متفاوت بود به‌نحوی که در سال دوم، کرت بدون کود با میانگین ۳۴/۰۴ کیلوگرم/کیلوگرم دارای بیشترین نسبت کارایی نیتروژن و دیگر تیمارها در سال دوم در رتبه بعدی بودند (جدول ۶).

تیمارهای کودی در سال دوم ۴/۲ درصد کارایی نیتروژن بیشتری داشت. برهمکنش خاک‌ورزی × کود نشان داد که تیمار شخم حداقل × کرت بدون کود و شخم رایج × کود ورمی‌کمپوست با میانگین ۳۳/۷ کیلوگرم/کیلوگرم بیشترین نسبت کارایی نیتروژن را به دست آوردند (جدول ۷). در مجموع تیمارهای کودی در کرت بدون شخم (با میانگین ۳۰/۹ کیلوگرم/کیلوگرم) از نسبت کارایی نیتروژن بالاتری در مقایسه با دو سطح خاک‌ورزی حداقل (۲۸/۰۲ کیلوگرم/کیلوگرم) و رایج (۳۰/۳ کیلوگرم/کیلوگرم) برخوردار بود. خاک‌ورزی حداقل و رایج در میزان نسبت کارایی نیتروژن تقریباً در یک سطح بودند (جدول ۷). کمترین نسبت کارایی نیتروژن در خاک‌ورزی حداقل و سه کرت حاوی کود مشاهده شد (جدول ۷).

نیز به علت شرایط بی‌هوای و تراکم خاک، دسترسی ریشه به رطوبت و جذب عناصر مورد نیاز کاهش و در شرایط بدون شخم و تهویه نامناسب ناشی از فشردگی خاک، فعالیت زیستی خاک و در نتیجه تبدیل نیتروژن آلی به معدنی کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد، شخم حداقل، با فراهم آوری شرایط بینابین، تراکم خاک مناسب و جلوگیری از فرسایش خاک، مانع از شستشوی عناصر شدند. از آنجایی که کود ورمی-کمپوست به تدریج اقدام به آزادسازی عناصر می‌کند بنابراین تا پایان طول دوره رشد، در اختیار گیاه قرار گرفته و از شستشوی یک‌باره آن جلوگیری می‌شود. در شرایط آبیاری کامل، تیمارهای حاوی کود اوره و کود اوره+ورمی‌کمپوست، محتوی نیتروژن دانه و اندام هوایی بیشتری داشتند و کم‌آبیاری، باعث کاهش جذب نیتروژن شد. تنش کم‌آبی حاصل از قطع آبیاری و بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش تبخیر و تعرق گیاه گردیده و با بسته شدن روزنه‌ها، جریان انتقال آب از خاک به ریشه و گیاه قطع می‌شود که در نتیجه جریان انتقال عناصر به گیاه مختل می‌شود (شاف اسکاگلی ۱۹۸۲). از آنجا که انتشار<sup>۵</sup> از جمله مهم‌ترین عوامل انتقال عناصر به گیاه است، در نتیجه کاهش پتاسیل آب ناشی از تنش خشکی، میزان جذب عناصر کاهش می‌یابد. در تنش کم-آبی، نیترات در بافت گیاهی و در ساختمان گیاه تجمع کرده و از این طریق به استحکام گیاه کمک می‌کند (سانچز-رودریگز و همکاران ۲۰۱۱). در شرایط تنش کم‌آبی، تعادل پتانسیل اسمزی سلول از بین رفته (اسوکنیاک و رنگل ۲۰۰۶) و سلول‌های گیاهی با تبدیل نیترات به اسیدهای آمینه، پرولین و پروتئین، باعث متعادل شدن پتانسیل اسمزی گیاه و حفظ آب سلول می‌شوند.

<sup>5</sup> Diffusion

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش سال × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

آبیاری	کود	نسبت کارایی نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	کارایی بهره‌وری نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )
سال اول ۱۳۹۶-۹۷	F1	۳۰/۳ bc	۲۱/۱ bc
	F2	۲۸/۲ c	۱۸/۶ d
	F3	۳۲/۱ ab	۲۱/۵ b
	F4	۳۰/۹ b	۲۰/۶ bc
سال دوم ۱۳۹۷-۹۸	F1	۳۴/۰۴ a	۲۳/۱ a
	F2	۳۱/۳ b	۲۰/۶ bc
	F3	۳۱/۱ b	۲۰/۷ bc
	F4	۳۰/۶ bc	۲۰/۲ c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

خاک‌ورزی	کود	نسبت کارایی نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )	کارایی بهره‌وری نیتروژن (Kg. kg <sup>-1</sup> )
بدون خاک‌ورزی	F1	۲۹/۹ bc	۲۰/۸ cde
	F2	۳۰/۹ abc	۲۰/۳ cdef
	F3	۳۲/۱ ab	۲۱/۳ bcd
	F4	۳۱/۰۲ abc	۲۰/۴ cdef
خاک‌ورزی حداقل	F1	۳۳/۷ a	۲۲/۶ ab
	F2	۲۸/۰۲ c	۱۸/۵ g
	F3	۲۹/۰۲ c	۱۹/۳ efg
	F4	۲۸/۷ c	۱۹/۰۹ fg
خاک‌ورزی رایج	F1	۳۲/۸ ab	۲۲/۹ a
	F2	۳۰/۳ bc	۲۰/۰۹ def
	F3	۳۳/۷ a	۲۲/۶ ab
	F4	۳۲/۶ ab	۲۱/۷ abc

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

دانه کلزا، کارایی هر واحد نیتروژن در تولید عملکرد دانه کاهش یافت. خاک‌ورزی متوسط و تیمارهای کودی F2، F3 و F4 (جدول ۷) دارای کمترین نسبت کارایی نیتروژن بودند. این نتایج حاکی از آن است که اگرچه نیتروژن دانه جذب‌شده بیشتری در این تیمارها مشاهده شد اما کارایی هر واحد نیتروژن در تولید دانه کاهش پیدا کرد.

#### کارایی بهره‌وری نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر ساده خاک‌ورزی و کود در سطح یک درصد و برهمکنش سال × آبیاری، سال × کود و خاک‌ورزی × کود در

در سال دوم آزمایش میزان آب مصرفی به دلیل دمای بالاتر هوا (شکل ۱)، بیشتر بود که این امر را می‌توان یکی از عوامل کاهش نسبت کارایی نیتروژن در تیمار آبیاری مطلوب در سال دوم عنوان کرد. در واقع آبیاری بیشتر، میزان شستشوی نیتروژن از خاک و محیط اطراف ریشه بیشتر شده و نسبت کارایی نیتروژن حاصل عملکرد دانه / نیتروژن دانه است. عملکرد دانه در سال دوم و در آبیاری مطلوب بیشتر از سایر تیمارها بود و این کاهش نسبت کارایی نیتروژن در این تیمار سال دوم و آبیاری کامل (جدول ۳) می‌تواند به این علت باشد که نیتروژن دانه بیشتر از عملکرد دانه افت کرد. با افزایش جذب نیتروژن توسط

شود که در نهایت منجر به کاهش کارایی بهره‌وری نیتروژن شده است. خاک‌ورزی حداکثر و کرت بدون کود دارای بیشترین کارایی بهره‌وری نیتروژن بود (جدول ۷). در چنین شرایطی، به علت کمبود نیتروژن خاک، نیتروژن به صورت پروتئین‌های محلول به غلاف و دانه گیاه منتقل و در نتیجه میزان نیتروژن اندام هوایی کمتر و عملکرد دانه از وضعیت بهتری برخوردار خواهد بود.

#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سال، خاک‌ورزی، آبیاری و کود در سطح یک درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل سال  $\times$  آبیاری، سال  $\times$  کود، آبیاری  $\times$  کود و خاک‌ورزی  $\times$  کود و برهمکنش سه‌گانه سال  $\times$  خاک‌ورزی  $\times$  کود بر صفت عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در سال دوم و تیمار آبیاری مطلوب با میانگین  $3281/3$  کیلوگرم در هکتار که نسبت به شرایط مشابه در سال اول  $8/1$  درصد و نسبت به کم‌آبیاری در همین سال (سال دوم)  $27/2$  درصد بیشتر بود (جدول ۳). برهمکنش سال  $\times$  خاک‌ورزی  $\times$  کود نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در سال دوم و تیمار شخم حداقل  $\times$  کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست با میانگین  $3837$  کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). این در حالی بود که کمترین میزان آن در سال اول و تیمار بدون خاک‌ورزی  $\times$  کرت بدون کود با میانگین  $1854$  کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). برهمکنش رژیم‌های آبیاری  $\times$  تیمارهای کودی (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب  $\times$  تیمارهای کودی اوره و کرت بدون کود با میانگین  $1755$  کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در مجموع تیمارهای کودی، تیمار آبیاری مطلوب افزایش عملکردی  $32$  درصدی داشت. همچنین در مجموع دو سال آزمایش، تیمار کود تلفیقی با عملکردی برابر با  $3001$  کیلوگرم در هکتار، افزایشی حدود  $5/7$  درصدی نسبت به دو تیمار کودی دیگر و  $30$  درصدی نسبت به کرت شاهد داشت (جدول ۵).

صفت کارایی بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). به جز تیمار آبیاری معمول در سال دوم که کمترین کارایی بهره‌وری نیتروژن را داشت، باقی تیمارها در گروه برتر قرار داشتند (جدول ۳). به طور میانگین در دو سال آزمایش، قطع آبیاری  $3/3$  درصد کارایی بهره‌وری نیتروژن بیشتری نسبت به آبیاری معمول داشت (جدول ۳). همچنین سال دوم و کرت بدون کود با میانگین  $23/1$  کیلوگرم/کیلوگرم دارای بیشترین کارایی بهره‌وری نیتروژن بود (جدول ۶). در مجموع کودهای مصرفی، سال دوم  $3/3$  درصد کارایی بهره‌وری نیتروژن بیشتری داشت (جدول ۶). کارایی بهره‌وری نیتروژن در شخم رایج و کرت بدون کود با میانگین  $22/9$  کیلوگرم/کیلوگرم بیشترین مقدار را داشت (جدول ۷). کمترین کارایی بهره‌وری نیتروژن در تیمار شخم حداقل و کود اوره ( $18/5$  کیلوگرم/کیلوگرم) به دست آمد.

بر اساس نتایج حاصله (جدول ۳)، با افزایش دور آبیاری در سال دوم کارایی بهره‌وری نیتروژن کاهش نشان داد. افزایش عملکرد یکی از راه‌های افزایش کارایی بهره‌وری نیتروژن است. گزارش شده که گیاهان در شرایط کمبود نیتروژن، با انتقال نیتروژن به شکل پروتئین‌های محلول، باعث افزایش کارایی انتقال نیتروژن می‌شوند (للیو و همکاران ۲۰۰۰). بنابراین در شرایط کم‌آبیاری، که انتقال نیتروژن از خاک به گیاه مختل می‌شود (لو و همکاران ۲۰۱۵). انتظار می‌رود میزان کارایی بهره‌وری نیتروژن افزایش یابد. نتایج به دست آمده را این‌گونه می‌توان استنباط نمود که در شرایط کم‌آبیاری، میزان نیتروژن اندام هوایی نسبت به عملکرد دانه کاهش شدیدی داشته و افزایش میزان کارایی بهره‌وری نیتروژن در زمین‌های شنی هم‌راستا با نتایج اسوکنیاک و رنگل (۲۰۰۶) بود. پایین بودن کارایی بهره‌وری نیتروژن در سال دوم و تیمار F4 (جدول ۴) را می‌توان به آبیاری بیشتر و شرایط مناسب کودی مرتبط دانست. در چنین شرایطی بیشتر انرژی گیاه صرف تولید اندام هوایی و بیوماس گیاه شده و فراورده‌های فتوسنتزی کمتری صرف تولید دانه می‌-

## عملکرد روغن

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سال، خاک‌ورزی، آبیاری و کود در سطح یک درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل سال  $\times$  آبیاری، سال  $\times$  کود و آبیاری  $\times$  کود و برهمکنش سه‌گانه سال  $\times$  خاک‌ورزی  $\times$  کود بر صفت عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد روغن تحت تأثیر سال  $\times$  آبیاری تغییر کرد به نحوی که بیشترین عملکرد روغن در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۱۴۴۷ کیلوگرم روغن در هکتار) به دست آمد که نسبت به کمترین عملکرد روغن (سال اول و تیمار کم‌آبیاری) ۴۵ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در مجموع دو تیمار آبیاری، سال دوم ۱۴/۶ درصد عملکرد روغن بیشتری نسبت به سال اول داشت. در سال اول و دوم آزمایش، کم‌آبیاری به ترتیب باعث کاهش ۴۰ و ۲۸/۴ درصدی عملکرد روغن نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۳). جدول برهمکنش سال  $\times$  خاک‌ورزی  $\times$  کود حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد روغن در سال دوم و تیمار حداقل خاک‌ورزی  $\times$  کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست با میانگین ۱۶۶۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). کمترین عملکرد روغن در سال اول و تیمار بدون شخم  $\times$  کرت بدون کود با میانگین ۷۸۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار برتر ۵۲/۸ درصد کمتر بود. عملکرد روغن تحت تأثیر آبیاری  $\times$  کود تغییر کرد به نحوی که در هر دو رژیم آبیاری، تیمار کود اوره و کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد دانه را به دست آورد (جدول ۵). در مجموع، بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری کامل و تیمار کود اوره (۱۵۲۱ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کود تلفیقی اوره + ورمی-کمپوست (۱۵۰۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). کمترین عملکرد روغن در شرایط کم‌آبیاری و کرت بدون کود (۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در مجموع تیمارهای کودی، کم‌آبیاری موجب کاهش ۳۴ درصدی عملکرد روغن نسبت به آبیاری مطلوب شد.

تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد دانه و روغن گیاه شد. این نتایج با نتایج خیاط مقدم و همکاران (۲۰۲۱) و

خدابین و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. وقتی گیاه با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود، سعی بر کاهش از دست رفتن آب از طریق بستن روزنه‌های خود دارد، که به نوبه خود سبب کاهش قابلیت دسترسی  $\text{CO}_2$  برای فتوسنتز و کاهش عملکرد خواهد شد (سان و همکاران ۲۰۱۳). همچنین در خاک‌های خشک، جریان عناصر غذایی به سمت ریشه گیاه و جذب مواد غذایی به وسیله گیاه کاهش می‌یابد که این خود دلیلی برای کاهش عملکرد در این شرایط می‌باشد (دیزا لوپز و همکاران ۲۰۱۲). میزان آبیاری در سال دوم بیشتر بود که خود توجیهی برای افزایش عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول در شرایط آبیاری مطلوب است. همچنین اجرای سامانه‌های خاک‌ورزی حداقل (حفاظتی) با برجای گذاشتن بقایای گیاهی در شرایط فصل رشد گرم و خشک، به دلیل کاهش تبخیر سطحی آب، افزایش رطوبت خاک، بهبود شرایط دمایی خاک و افزایش رشد ریشه و افزایش معدنی شدن نیتروژن خاک در مقایسه با شخم رایج، موجب افزایش عملکرد دانه و روغن می‌گردد. از دیگر کارکردهای مثبت شخم حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی می‌توان به تأمین مواد غذایی آزادشده برای گیاه، بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و کنترل علف‌های هرز به عنوان یک عامل رقابتی با گیاه اصلی اشاره کرد. به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست با کاهش فشردگی خاک و افزایش خلل و فرج آن موجب بهبود ساختار خاک و تهویه مناسب آن شده و از طرفی محتوای آب قابل‌دسترس خاک را افزایش داده است. مجموعه این عوامل منجر به فراهمی مطلوب عناصر غذایی ضروری گیاه می‌گردد که نتیجه نهایی آن بهبود فتوسنتز بوده و تأثیر مثبت بر اجزاء عملکرد گیاه داشت. ترکیب دو کود ورمی‌کمپوست و اوره، به سبب تأثیر ورمی‌کمپوست در تأمین مناسب عناصر غذایی و نیز جلوگیری از آبشویی کود اوره، باعث افزایش عملکرد دانه و روغن کلزا شد. نتایج مطالعه دیگر محققین نشان می‌دهد با افزایش میزان کاربرد ورمی-کمپوست از صفر به ۲۰ تن در هکتار، عملکرد اسانس بوته گیاه کلزا به طور معنی‌داری افزایش یافت. در مجموع می‌توان این‌گونه استنباط کرد که شخم

کشاورزی را مورد تأکید قرارداد. پیشنهاد می‌شود در ارزیابی‌های بعدی، شاخص‌های بیولوژیکی و میکروبی و فعالیت آنزیم‌ها در پایش تغییرات کیفیت خاک مورد توجه بیشتری قرار گیرد. در خاک‌های سبک و شنی به‌جای مصرف مداوم کودهای شیمیایی، می‌توان از ترکیب کود شیمیایی+ کود آلی استفاده کرد که علاوه بر کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی به اهداف کشاورزی پایدار نیز نزدیک می‌باشد.

#### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات اساتید و کارکنان محترم مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع استان البرز که ما را در انجام این مهم یاری کردند، سپاسگزاری و قدردانی به عمل می‌آید.

حفاظتی همراه با کود تلفیقی علاوه بر نیتروژن، فسفر، پتاس و سایر عناصر قابل‌دسترس خاک برای گیاه را فراهم می‌کند که می‌تواند باعث رشد بهتر محصول و در نتیجه افزایش عملکرد نسبت به شخم رایج شود.

#### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که در سیستم خاک‌ورزی حداقل عملکرد دانه به میزان ۲۰ درصد نسبت به شخم حداقل و ۱۸ درصد نسبت به شخم معمول کاهش یافت. همچنین کاربرد تلفیقی کود اوره و ورمی کمپوست به ترتیب در سیستم بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی مرسوم نسبت به مصرف کود اوره موجب افزایش ۱، ۴ و ۸ درصدی کارایی بهره‌وری نیتروژن گردید. این پژوهش بار دیگر اهمیت کشاورزی حفاظتی را به‌منظور بهبود کارایی استفاده از نیتروژن و افزایش پایداری در بوم نظام‌های

#### منابع مورد استفاده

- Abd El-Lattief EA. 2011. Growth and fodder yield of forage pearl millet in newly cultivated land as affected by date of planting and integrated use of mineral and organic fertilizers. *Asian Journal of Crop Science*, 3: 35-42.
- Agbede TM. 2010. Tillage and fertilizer effects on some soil properties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potato yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil Tillage Research*, 110: 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.003>
- Alam MK, Islam MM, Salahin N and Hasanuzzaman M. 2014. Effect of tillage practices on soil properties and crop productivity in wheat-Mungbean-Rice cropping system under subtropical climatic conditions. *Science World Journal*, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2014/437283>
- Álvarez-Fuentes J, Morell FJ, Madejón E, Lampurlanés J, Arrúe JL and Cantero-Martínez C. 2013. Soil biochemical properties in a semiarid Mediterranean agroecosystem as affected by long-term tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*, 1(129): 69-74.
- Beljkaš B, Matić J, Milovanović I, Jovanov P, Mišan A and Šarić L. 2010. Rapid method for determination of protein content in cereals and oilseeds: validation, measurement uncertainty and comparison with the Kjeldahl method. *Accreditation and quality assurance*, 15(10): 555-61.
- Chen YM, Zhang JY, Xu X, Qu HY, Hou M, Zhou K, Jiao XG and Sui YY. 2018. Effects of different irrigation and fertilization practices on nitrogen leaching in facility vegetable production in northeastern China. *Agricultural Water Management*, 210: 165-70.
- Díaz-López L, Gimeno V, Simón I, Martínez V, Rodríguez-Ortega WM and García-Sánchez F. 2012. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management*, 105: 48-56.

- Dimkpa CO, Andrews J, Sanabria J, Bindraban PS, Singh U, Elmer WH, Gardea-Torresdey JL and White JC. 2020. Interactive effects of drought, organic fertilizer, and zinc oxide nanoscale and bulk particles on wheat performance and grain nutrient accumulation. *Science of the Total Environment*, 20: 137808.
- FAO. 2019. Oilcrops. FAO, 53: 1689–1699.
- Ghobadi R, Shirkhani A and Jalilian A. 2015. Effects Of Water Stress And Nitrogen Fertilizer On Yield, Its Components, Water And Nitrogen Use Efficiency Of Corn (*Zea Mays* L.) Cv. Sc. 704. *Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 28(106): 79-87. (In Persian).
- Githinji HK, Okalebo JR, Othieno CO, Bationo A, Kihara J and Waswa BS. 2011. Effects of conservation tillage, fertilizer inputs and cropping systems on soil properties and crop yield in western Kenya. In *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa*, 281-288. Springer, Dordrecht.
- Khayat Moghadam MS, Gholami A, Shirani Rad AH, Baradaran Firoozabadi M and Abbasdokht H. 2021. Evaluation crop indices of canola spring genotypes in terminal drought stress conditions and foliar application of Potassium silicate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3): 649-63. (In Persian).
- Khodabin G, Lightburn K, Hashemi SM, Moghada MS and Jalilian A. 2022. Evaluation of nitrate leaching, fatty acids, physiological traits and yield of rapeseed (*Brassica napus*) in response to tillage, irrigation and fertilizer management. *Plant and Soil*, 19:1-8.
- Khodabin G, Tahmasebi-Sarvestani Z, Rad AH, Modarres-Sanavy SA, Hashemi SM and Bakhshandeh E. 2021. Effect of late-season drought stress and foliar application of ZnSO<sub>4</sub> and MnSO<sub>4</sub> on the yield and some oil characteristics of rapeseed cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3): 1904-16.
- Leleu O, Vuylsteker C, Têtu JF, Degrande D, Champolivier L and Rambour S. 2000. Effect of two contrasted N fertilisations on rapeseed growth and nitrate metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(7-8): 639-45.
- Liu M, Wang C, Wang F and Xie Y. 2019. Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Applied Soil Ecology*, 142: 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024>
- Lu HB, Qiao YM, Gong XC, Li HQ, Zhang Q, Zhao ZH and Meng LL. 2015. Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*, 53(2): 306-11.
- Nunes MR, Karlen DL, Veum KS, Moorman TB and Cambardella CA. 2020. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, 369: 114335.
- Rathke GW, Behrens T and Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117(2-3): 80-108.
- Sa´nchez-Rodríguez E, Rubio-Wilhelmi MM, Blasco B, Consta´n-Aguilar C, Romero CL and Ruiz JM. 2011. Variation in the use efficiency of N under moderate water deficit in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) differing in their tolerance to drought. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33: 1861–1865.
- Schaff BE and Skogley EO. 1982. Diffusion of potassium, calcium, and magnesium in Bozeman silt loam as influenced by temperature and moisture. *Soil Science Society of America Journal*, 46(3): 521-4.
- Shepherd M and Newell-Price P. 2013. Manure management practices applied to a seven-course rotation on a sandy soil: effects on nitrate leaching. *Soil Use and Management*, 29(2): 210-9. <https://doi.org/10.1111/sum.12024>
- Smith MK, Smith JP and Stirling GR. 2011. Integration of minimum tillage, crop rotation and organic amendments into a ginger farming system: Impacts on yield and soilborne diseases. *Soil and Tillage Research*, 114(2): 108-16.

- Sun XP, Yan HL, Kang XY and Ma FW. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica*, 51(3): 404-10.
- Svečnjak Z and Rengel Z. 2006. Canola cultivars differ in nitrogen utilization efficiency at vegetative stage. *Field Crops Research*, 97(2-3): 221-6.
- Tufenkci S, Sonmez F and Sensoy RI. 2006. Effect of Arbuscular mycorrhiza fungus inoculation and phosphorus and nitrogen fertilizer on some plant growth parameters and nutrient content of soybean. *Biological Science*, 9(6): 1121-1127.
- Ullah H, Santiago-Arenas R, Ferdous Z, Attia A and Datta A. 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*, 156: 109-57.
- Wang H, Guo Z, Shi Y, Zhang Y and Yu Z. 2015. Impact of tillage practices on nitrogen accumulation and translocation in wheat and soil nitrate-nitrogen leaching in drylands. *Soil and Tillage Research*, 153: 20-7.