



## Evaluation of the Effect of Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Levels on Growth Indices and Grain Yield of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) in Drip Irrigation Method

Behrooz Dolatparast<sup>1</sup> | Farzad Hosseinpanahi<sup>2</sup> | Adel Siosemardeh<sup>3</sup> |  
Hamed Mansori<sup>4</sup>

1. Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [b.dolatparast@agri.uok.ac.ir](mailto:b.dolatparast@agri.uok.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [f.hosseinpanahi@uok.ac.ir](mailto:f.hosseinpanahi@uok.ac.ir)
3. Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: [a33@uok.ac.ir](mailto:a33@uok.ac.ir)
4. Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan Province, Hamedan, Iran. E-mail: [h.mansori@areeo.ac.ir](mailto:h.mansori@areeo.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

### Article history:

Received: December 20, 2021  
Received in revised form:  
May 24, 2022  
Accepted: June 13, 2022  
Published online: April 16, 2023

### Keywords:

Crop growth rate,  
harvest index,  
leaf area index,  
oil,  
pod area index.

### ABSTRACT

Considering the importance and value of water and optimal use of nitrogen for maintaining production productivity and simultaneously reducing the negative environmental effects, two experiments have been conducted in 2017-2018 and 2018-2019 cropping seasons in the research farm of the Faculty of Agriculture, University of Kurdistan. The experiments are performed as a split plot in a randomized complete block design with four replications. Experimental treatments include the different levels of irrigation as the main plots (25% (W1), 50% (W2), 75% (W3), and 100% (W4) of crop water requirement) and different levels of nitrogen fertilizer as sub-plots (25% (N1), 50% (N2), 75% (N3), and 100% (N4) based on crop nitrogen requirement). Results show that all the studied traits with the exception of the time of reaching the maximum pod area index are affected by the main and interaction effects. The highest grain yield is obtained in W4N4 treatment (5069 kg.ha<sup>-1</sup>) and the lowest grain yield in W1N1 and W1N2 treatments at 880 and 899 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively, which has been decreased by 82.6% and 82.2%, compared to the control, respectively. The grain and biological yield of W4N3 (4826 and 17589 kg.ha<sup>-1</sup>) and W3N4 (4712 and 17657 kg.ha<sup>-1</sup>) treatments, represent 25% reduction in nitrogen consumption and 25% reduction in water consumption, respectively compared to the control. W4N4 is recognized as the superior treatment in this study for improving productivity.

**Cite this article:** Dolatparast, B., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A., & Mansori, H. (2023). Evaluation of the Effect of Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Levels on Growth Indices and Grain Yield of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) in Drip Irrigation Method. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 33-49.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.335869.2658>





## ارزیابی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در روش آبیاری قطره‌ای

بهروز دولت‌پرست<sup>۱</sup> | فرزاد حسین‌پناهی<sup>۲</sup> | عادل سی و سه مرده<sup>۳</sup> | حامد منصوری<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [b.dolatparast@agri.uok.ac.ir](mailto:b.dolatparast@agri.uok.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [f.hosseinpanahi@uok.ac.ir](mailto:f.hosseinpanahi@uok.ac.ir)

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [a33@uok.ac.ir](mailto:a33@uok.ac.ir)

۴. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران. رایانامه: [h.mansori@areeo.ac.ir](mailto:h.mansori@areeo.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

با توجه به اهمیت و ارزش آب و استفاده بهینه از نیتروژن در جهت حفظ بهره‌وری تولید و کاهش هم‌زمان اثرات منفی زیست‌محیطی، دو آزمایش در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. آزمایش‌ها به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در چهار سطح (۲۵ درصد (W1)، ۵۰ درصد (W2)، ۷۵ درصد (W3) و ۱۰۰ درصد (W4) نیاز آبی گیاه) و سطوح مختلف کود نیتروژن به‌عنوان فاکتور فرعی در چهار سطح (۲۵ درصد (N1)، ۵۰ درصد (N2)، ۷۵ درصد (N3) و ۱۰۰ درصد (N4) نیاز نیتروژن گیاه) بودند. نتایج نشان داد که تمام صفات مورد مطالعه به‌جز صفت زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح خورجین تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل آزمایش قرار گرفتند. بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد W4N4 (۵۰۶۹ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمارهای W1N1 و W1N2 به ترتیب به میزان ۸۸۰ و ۸۹۹ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸۲/۶ و ۸۲/۲ درصد کاهش نشان دادند. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تیمارهای W4N3 (۴۸۲۶ و ۱۷۵۸۹ کیلوگرم در هکتار) و W3N4 (۴۷۱۲ و ۱۷۶۵۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب با ۲۵ درصد کاهش در مصرف نیتروژن و ۲۵ درصد کاهش در مصرف آب نسبت به تیمار شاهد (W4N4) به‌عنوان تیمارهای برتر در این پژوهش در راستای ارتقای بهره‌وری شناخته شدند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

### کلیدواژه‌ها:

روغن،

سرعت رشد محصول،

شاخص برداشت،

شاخص سطح برگ،

شاخص سطح خورجین.

**استناد:** دولت‌پرست، ب.، حسین‌پناهی، ف.، سی و سه مرده، ع. و منصوری، ح. (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در روش آبیاری قطره‌ای. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۱)، ۳۳-۴۹.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.335869.2658>



## ۱. مقدمه

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود (Barthet, 2016) و پس از سویا و نخل روغنی سومین منبع تأمین روغن نباتی در سطح جهان است (Thomas *et al.*, 2016). کلزا هم‌چنین در رعایت تناوب مزایای فوق‌العاده‌ای را از طریق کنترل بیماری‌ها، علف‌های هرز و آفات فراهم می‌کند (Pan *et al.*, 2016). با وجود وابستگی بسیار زیاد کشور به واردات روغن، تولید کلزا در مقایسه با سایر گیاهان زراعی قابل توجه نبوده به گونه‌ای که براساس آخرین آمار منتشرشده توسط وزارت جهاد کشاورزی سطح کشت کلزا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در حدود ۲۱۴۰۹۴ هکتار (۲۰۵۸۴۴ هکتار به صورت آبی و ۸۲۵۰ هکتار به صورت دیم) با تولید حدود ۴۰۰۰۰۰ تن بوده، که از نظر سطح زیرکشت معادل ۳/۵ درصد کل سطح کشت محصولات زراعی کشور و از نظر تولید معادل ۰/۵ درصد تولید کشور می‌باشد. استان کردستان یکی از استانهای مستعد جهت کشت کلزای زمستانه بوده و میزان سطح زیر کشت، تولید و عملکرد کلزا در این استان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به ترتیب ۳۴۰۰ هکتار، ۶۹۰۰ تن و در حدود ۲۰۳۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ahmadi *et al.*, 2019). وابستگی ۹۰ درصدی روغن مصرفی کشور به واردات (Rostami Ahmadvandi *et al.*, 2021) و ضرورت نیل به خودکفایی در تولید دانه‌های روغنی در کنار مزایای زراعی بسیار ارزشمند کلزا سبب توجه بیش‌تر وزارت جهاد کشاورزی به توسعه کشت و کار این گیاه در سال‌های اخیر شده است. محدودیت منابع آبی در ایران و ضرورت پهنه‌بندی صحیح اگرواکولوژیک محصولات زراعی سبب شده که امکان کشت کلزا در هر منطقه‌ای فراهم نباشد و در مناطق مستعد نیز ضرورت مدیریت آب در زراعت این گیاه بسیار دارای اهمیت می‌باشد. از آنجایی که کلزا یک گیاه رشد نامحدود است و رشد رویشی و زایشی گیاه هم‌پوشانی بسیار زیادی با هم دارند، لذا مدیریت تنش خشکی و بنابراین آبیاری در این گیاه از موضوعات مهم پژوهشی در این حوزه می‌باشد. رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی بیش‌تر در کنار محدودیت منابع آبی در دسترس، ارزش آب را به‌عنوان یک عنصر اساسی در زندگی انسان‌ها بیش از هر زمان دیگری دوچندان ساخته است. بنابراین سوگیری پژوهش‌ها به سمت ارائه روش‌هایی که سبب حفظ و یا ارتقای سطح تولید گیاهان زراعی با مصرف آب کم‌تر شود، می‌تواند نقش مهمی در حفظ و تقویت امنیت غذایی کشور ایفا نماید (Nakhjavani moghadam *et al.*, 2011). منابع آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی مورد استفاده در آبیاری مزارع در کشور است و افزایش راندمان آبیاری در اراضی کشور نقش مهمی در حفظ منابع آبی دارد.

آبیاری قطره‌ای - نواری یکی از روش‌هایی است که در سالیان اخیر بسیار مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته و نتایج مطالعات گذشته سودمندی این روش آبیاری را به‌خوبی نشان داده‌اند. به‌دلیل محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است برای آبیاری محصولات کشاورزی از سیستم‌های آبیاری با راندمان بالا مثل روش آبیاری قطره‌ای استفاده شود (Abaspour & Yazdanpanah, 2021). آبیاری قطره‌ای بیش‌ترین پتانسیل استفاده مؤثر از آب و کود را دارد. برای به حداقل رساندن هزینه‌های آبیاری و کوددهی، اجرای آبیاری قطره‌ای مجهز به سیستم کوددهی ضروری است تا جذب مواد غذایی را با استفاده از حداقل مقدار آب و کود به حداکثر رساند (Kumari & Kaushal, 2014). با اجرای صحیح این روش می‌توان خسارت‌های ناشی از تنش خشکی را به کم‌ترین میزان ممکن رساند. تنش خشکی به‌واسطه تخریب کلروفیل، کاهش فتوسنتز و بسته‌شدن روزنه‌ها سبب کاهش آماس سلول و جلوگیری از رشد گیاه می‌شود (Mamnabi *et al.*, 2020; Sehgal *et al.*, 2019). در آزمایشی بر روی کلزا نشان داده شد که کاهش مصرف آب با افزایش فاصله آبیاری در گیاه کلزا نسبت به حالت نرمال (آبیاری در هر پنج روز یکبار) باعث کاهش عملکرد و تعداد دانه در خورجین شد (Moqbelihanzaei & Khosropour, 2017). مشخص شده است که استفاده از

روش آبیاری قطره‌ای بهره‌وری آب را تا ۸۰ الی ۹۱ درصد افزایش می‌دهد (Abdelraouf *et al.*, 2021) که دلیل آن استفاده از آب آبیاری در مقادیر کم و مستمر جهت تأمین نیازهای آبی گیاه می‌باشد. بنابراین رویکرد پژوهش‌های کشور نیز باید متمرکز به ارائه راه‌کارهای مناسب برای مدیریت زراعی استفاده از آب جهت تولید بیش‌تر غذا با مصرف کم‌تر آب شود تا بتوان امنیت غذایی و منابع محدود آب را حفظ کرد.

مصرف نیتروژن در کنار مصرف آب یکی از پرمصرف‌ترین عناصر موردنیاز گیاهان زراعی است. کودهای نیتروژنه نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارند. برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، کاربرد کودهای نیتروژنه می‌بایست براساس توازن بین عرضه نیتروژن و تقاضای گیاه انجام گیرد (Rahimikhoob *et al.*, 2020). نیتروژن با تأثیر بر محتوای کلروفیل برگ‌ها و افزایش فتوسنتز سبب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. کمبود نیتروژن در گیاه باعث محدودیت رشد و کاهش سطح برگ‌ها می‌شود (Leghari *et al.*, 2016) و در نتیجه امکان استفاده بهینه از سایر نهاده‌های تولید به‌ویژه آب مورد استفاده فراهم نمی‌شود. کاربرد بیش‌ازحد نیتروژن نیز موجب ضخیم‌شدن ساقه‌ها، تیره‌شدن رنگ سبز برگ‌ها و تجمع نیتروژن مازاد در بافت‌های گیاه می‌شود (Rameeh & Salimi, 2015). بنابراین برقراری تعادل بین نیتروژن و آب مصرفی در گیاهان زراعی نظیر کلزا امری بسیار حیاتی می‌باشد. در این راستا مطالعات زیادی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. نتایج یک مطالعه‌ای در شمال‌غربی اقیانوس آرام نشان داد که برای تولید هر ۱۰۰ کیلوگرم دانه کلزا مقدار ۵ تا ۱۱ کیلوگرم نیتروژن، بسته به منطقه محل کشت موردنیاز است (Koenig *et al.*, 2011). در یک آزمایش ۵ ساله در واشنگتن که در ۱۲ محل انجام گرفت مشخص شد که در صورت فراهمی آب بین ۵/۸ تا ۱۴/۳ کیلوگرم نیتروژن جهت تولید هر ۱۰۰ کیلوگرم دانه کلزا نیاز است (Pan *et al.*, 2016). در بسیاری از منابع مشخص شده است که میزان مصرف نیتروژن تابع سایر مدیریت‌های زراعی از جمله میزان فراهمی آب است. بررسی اثر متقابل نیتروژن و دسترسی گیاه به آب می‌تواند در هم‌افزایی عملکرد کلزا مؤثر باشد. میزان بهبود در جذب نیتروژن و با دسترسی کلزا به آب افزایش یافته و باعث افزایش عملکرد دانه شد (Maaz *et al.*, 2016). نتایج یک مطالعه در شرایط آب‌وهوایی قزوین بر روی کلزا نشان داد که اثر سطوح آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در رژیم آبیاری نرمال و تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی به‌دست آمد. تیمارهای ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در شرایط آبیاری نرمال به‌ترتیب با میانگین ۳۷۸۰ و ۴۰۵۴ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند (Yousefi *et al.*, 2018). با توجه به نتایج مطالعات گذشته به‌نظر می‌رسد که بررسی مدیریت هم‌زمان آبیاری و مصرف کود نیتروژن در مزارع کلزا جهت استفاده بهینه از منابع تولید و حصول بیش‌ترین بهره‌وری امری بسیار ضروری است. این مطالعه نیز با هدف ارزیابی مدیریت هم‌زمان آبیاری و نیتروژن در مزارع کلزای پاییزه دشت دهگلان تحت سیستم آبیاری قطره‌ای اجرا شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان اجرا شد. مزرعه با مختصات جغرافیایی ۳۵/۱۸ درجه شمالی و ۴۷/۱۸ درجه شرقی در ۴۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۶۹ متر می‌باشد. میانگین بارندگی بلندمدت سالانه منطقه ۳۵۰/۹ میلی‌متر بوده و آب‌وهوای آن براساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه مدیترانه‌ای و از نوع نیمه‌خشک سرد می‌باشد (Hanafi & Hatami, 2013). اطلاعات اقلیمی دو سال اجرای آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان در دشت دهگلان در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸

سال	ماه	میانگین دمای بیشینه (°C)	میانگین دمای کمینه (°C)	بارندگی (mm)	میانگین رطوبت نسبی (%)	ساعات آفتابی (h)
۱۳۹۶	مهر	۲۲/۶۲	۷/۹۶	۰/۱	۳۲	۲۹۴/۴
	آبان	۱۷/۵۷	۷/۱۷	۱۵/۱۸	۴۶	۱۹۳/۶
	آذر	۹/۲۸	-۱/۹	۸/۰۳	۵۳	۲۱۸/۹
	دی	۸/۵۶	-۰/۳	۳۶/۳۵	۵۷	۱۹۲/۶
	بهمن	۶/۷۹	-۲/۶۱	۱۰۱/۴۳	۶۵	۱۷۰
	اسفند	۱۲/۲۹	۰/۵۷	۲۴/۴۳	۵۶	۲۱۴/۳
۱۳۹۷	فروردین	۱۴/۲۳	۳/۰۲	۶۱/۸۱	۵۱	۲۲۹/۸
	اردیبهشت	۱۷/۱۳	۵/۶۴	۱۰۶/۶	۷۰	۲۲۷/۸
	خرداد	۲۵/۶۳	۷/۲۸	۱۸/۸	۵۹	۳۵۲/۱
	تیر (۱۸ روز)	۳۳/۱۲	۱۰/۳۳	۰	۳۷	۲۲۸/۵
	مهر	۲۲/۵۶	۸/۹۹	۴/۶	۳۰	۲۹۴/۱
	آبان	۱۷/۵۴	۷/۲۴	۶۹/۸	۴۶	۱۹۱/۶
۱۳۹۸	آذر	۸/۵۵	-۲/۱۵	۹۶/۸	۵۳	۱۷۴
	دی	۶/۶۴	-۲/۸۳	۴۱	۵۷	۱۸۲
	بهمن	۷/۱۲	-۲/۳۲	۵۰/۶	۶۵	۱۷۳/۱
	اسفند	۹/۱۶	-۱/۳۴	۱۴/۴	۶۹	۲۰۶/۴
	فروردین	۱۲/۶۷	۲/۰۷	۱۲۳/۲	۶۲	۲۰۴/۴
	اردیبهشت	۱۷/۳۵	۲/۷۷	۲۱/۲	۵۶	۲۸۵
۱۳۹۸	خرداد	۲۷/۸۷	۷/۴۹	۳/۴	۴۸	۳۶۰/۳
	تیر (۱۵ روز)	۳۲/۷۲	۱۰/۳۵	۰	۴۳	۱۹۶

در هر دو سال آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری به عنوان فاکتور اصلی (۲۵ درصد (W1)، ۵۰ درصد (W2)، ۷۵ درصد (W3) و ۱۰۰ درصد (W4) نیاز آبی گیاه براساس روش پنمن - مونتیت فائو (Allen et al., 1998)) و چهار سطح کود نیتروژن به عنوان فاکتور فرعی (۲۵ درصد (N1)، ۵۰ درصد (N2)، ۷۵ درصد (N3) و ۱۰۰ درصد (N4) نیتروژن مصرفی براساس درصد کربن آلی نتیجه آزمون خاک (جدول ۲) و دستورالعمل مؤسسه تحقیقات آب و خاک ایران (Noorgholipour et al., 2015) انجام گرفت. بر این اساس میزان نیتروژن مصرفی در تیمارهای N1، N2، N3 و N4 به ترتیب ۴۳/۷، ۸۷/۴، ۱۳۱/۱ و ۱۷۴/۸ کیلوگرم در هکتار مصرف شد.

در هر دو سال اجرای آزمایش از هیبرید زمستانه فرانسوی (ES Neptune) استفاده شد. تاریخ کشت در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به ترتیب اول مهرماه و ۲۷ شهریورماه بود. جهت کاشت کلزا از دستگاه ریزدانه کار کلزا با تراکم نهایی حدود ۴۰ بوته در مترمربع (فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌های کاشت ۸ سانتی‌متر) استفاده شد. ابعاد کرت‌های اصلی ۷×۱۱/۴ متر و کرت‌های فرعی ۷×۲/۱ متر بود. بین کرت‌های اصلی دو متر، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین تکرارهای آزمایش دو متر فاصله در نظر گرفته شد. از آنجایی که زمستان‌گذرانی کلزا مستلزم تشکیل حداقل هشت برگ حقیقی می‌باشد، لذا قبل از کاشت میزان ۲۳ کیلوگرم نیتروژن به عنوان آغازگر برای کلیه تیمارها به صورت یکسان استفاده شد و میزان مصرف آب در همه تیمارها تا پایان مرحله رزت نیز به صورت مشابه در نظر گرفته شد و اعمال تیمارهای آبیاری و باقیمانده کود نیتروژن مورد نظر پس از شروع رشد دوباره در فصل

بهار انجام شد. به‌منظور اعمال تیمارهای کودی، قبل از اجرای طرح از محل اجرای آزمایش در عمق‌های ۰-۳۰ و ۰-۶۰-۳۰ نمونه‌گیری خاک انجام شد. سایر کودهای موردنیاز مثل پتاسیم و فسفر نیز براساس نتیجه آزمون خاک (جدول ۲) و دستورالعمل و جدول تغذیه مؤسسه تحقیقات آب و خاک ایران (Noorgholipour *et al.*, 2015) مصرف شد. تمامی کودهای فسفات و پتاس به‌همراه ۲۳ کیلوگرم نیتروژن (منبع کودی اوره) قبل از کاشت مصرف شد، باقی‌مانده کود سرک در دو مرحله خروج از رزت (اوایل ساقه‌دهی) و غنچه‌دهی تا قبل از آغاز گلدهی مصرف شد.

جدول ۲. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان

پارامتر	سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷		سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸	
عمق (cm)	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰	۳۰-۶۰
درصد شن	۳۳/۶۸	۳۳/۶۱	۲۷/۵۶	۲۷/۵۶
درصد سیلت	۳۲/۷	۳۰/۷۴	۴۲/۸۴	۳۹/۸۴
درصد رس	۳۵/۶۲	۳۵/۵۸	۲۹/۶	۳۵/۶
بافت خاک	لومی رسی	لومی رسی	لومی رسی	لومی رسی
نیتروژن کل (%)	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸
فسفر قابل جذب (ppm)	۸/۶۵	۹/۷	۱۱/۹	۱۱/۳۴
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۱۸۹	۱۷۸	۱۸۸	۱۷۸
کربن آلی (%)	۰/۶۸	۰/۴۸	۰/۶۱	۵۷
هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۲۰۸	۰/۲۱۶	۰/۲۴۵	۰/۲۶۷
اسیدیته خاک	۷/۰۳	۷/۲۳	۳۵	۷/۳۱
درصد مواد خنثی‌شونده	۲۰	۱۵	۱۰	۱۲/۵
درصد اشباع	۳۱/۸	۳۳	۳۳	۲۴

آبیاری به‌روش تحت‌فشار از نوع قطره‌ای با استفاده از نوارهای تیپ انجام گرفت. آب موردنیاز گیاه با استفاده از روش پنمن-مونتیت فائو محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998). با استفاده از این روش میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس داده‌های روزانه هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) و اطلاعات جغرافیایی محل (جدول ۱) محاسبه و با در نظر گرفتن ضرایب گیاهی مختص کلزا نیاز خالص آبیاری نیز پس از کسر میزان بارندگی محاسبه شد. مقدار آب موردنیاز جهت هر مرحله آبیاری توسط کنترل اندازه‌گیری و براساس تیمارها آبیاری انجام شد. آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز باریک برگ به‌صورت شیمیایی و علف‌های هرز پهن‌برگ به‌صورت وجین دستی انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، وزن خشک کل و سطح خورجین نمونه‌برداری بعد از شروع رشد دوباره (با توجه به دمای منطقه در دهه اول فروردین ماه رشد دوباره کلزا آغاز می‌شود، به همین دلیل برازش نمودارها از اول سال ترسیم شده است) در فصل بهار در فاصله زمانی ۱۲ تا ۱۵ روزه به‌صورت تخریبی روی ۱۰ بوته (۰/۲۵ مترمربع) از خطوط میانی با رعایت اثر حاشیه انجام گرفت. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ و خورجین روزانه از برازش رابطه (۱) براساس داده‌های ثبت‌شده از نمونه‌برداری تخریبی استفاده شد (Hosseinpahani *et al.*, 2011).

$$LAI = \frac{a + b \times 4 \times \exp(-(x-c)/d)}{(1 + \exp(-(x-c)/d))^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا، a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به بیشینه LAI، c: بیشینه LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان برحسب روز از اول سال است. برای برآورد مقادیر تجمع ماده خشک روزانه در طی فصل رشد نیز از برازش رابطه (۲) استفاده شد:

$$\text{TDM} = \frac{a}{(1 + b \times \exp(-c \times x))} \quad \text{رابطه ۲}$$

در اینجا TDM: تجمع ماده خشک برحسب گرم در مترمربع، a: بیشینه ماده خشک تولیدی، b: فاکتور شکل‌دهنده منحنی سیگموئیدی، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان برحسب روز از اول سال است (Hajinia & Ahmadvand, 2018). در پایان فصل رشد، با در نظر گرفتن اثر حاشیه سطحی معادل دو مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد برحسب هکتار محاسبه شد. از آزمون بارتلت جهت بررسی همگنی واریانس‌های آزمایشی دو سال انجام آزمایش استفاده شد و سپس، برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS9.4، برای مقایسات میانگین‌ها از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و برای استخراج معادلات مربوط به شاخص‌های رشد از نرم‌افزار Slide Write V7.01 و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. بیشینه شاخص سطح برگ ( $LAI_{max}$ ) و زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ ( $LAIMAX_{time}$ )

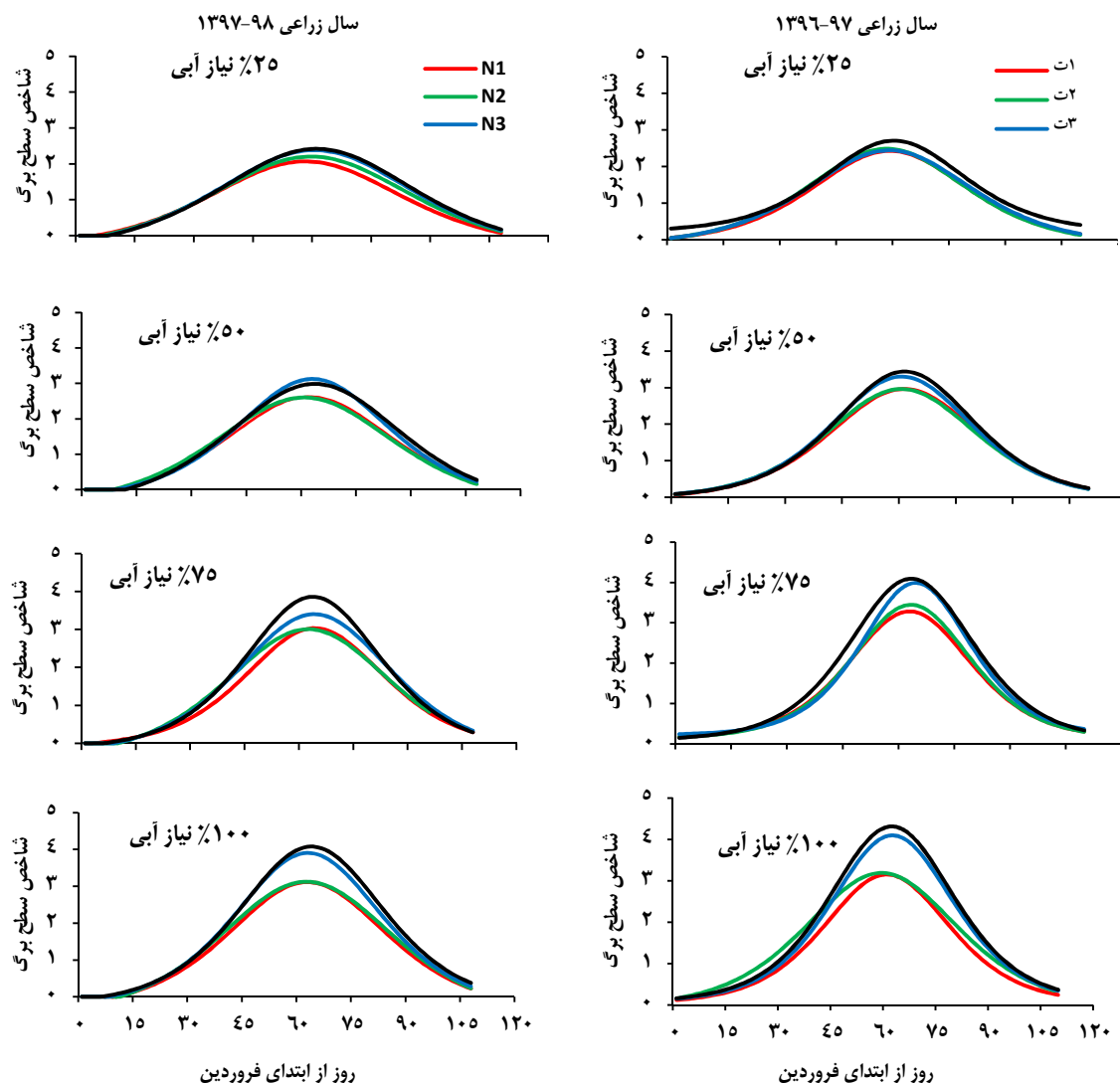
نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو سال آزمایش برای صفت  $LAI_{max}$  نشان داد که اثرات اصلی آبیاری، نیتروژن و اثرات برهم‌کنش دوگانه (آبیاری × نیتروژن) و سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) در سطح یک درصد و برای صفت  $LAIMAX_{time}$  اثرات اصلی آبیاری و نیتروژن در سطح پنج درصد و اثرات برهم‌کنش سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). روند تغییرات شاخص سطح برگ کلزا در تیمارهای آزمایش مشابه بود، به طوری که بعد از رزت شاخص سطح برگ به آرامی افزایش یافت و پس از حدود دو ماه به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌ها و افزایش گلدهی و عدم نفوذ نور به درون کانوپی سطح برگ روند کاهشی پیدا کرد (شکل ۱). روند تغییرات و سرعت افزایش شاخص سطح برگ در شروع رشد مجدد (بعد از رزت) از اهمیت زیادی برخوردار است و نشان‌دهنده میزان ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌باشد که در اواسط گلدهی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

جدول ۳. تجزیه مرکب شاخص‌های رشدی کلزا تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در دشت دهگلان استان کردستان

میانگین مربعات							منابع تغییر
زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ	زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه شاخص سطح خورجین	بیشینه سرعت رشد محصول	بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه سرعت رشد محصول	بیشینه شاخص سطح برگ	درجه آزادی
۲۸/۲۸ ns	۴۸۴/۳۸*	۰/۳۳ ns	۲۳/۶۲ ns	۲۸/۲۸ ns	۲۳/۶۲ ns	۰/۳۳ ns	۱
۰/۷۷ ns	۶/۴۱ ns	۰/۲۲*	۰/۶۲ ns	۰/۷۷ ns	۰/۶۲ ns	۰/۲۲*	۶
۱۰۸/۷۵*	۱۲۶۴/۷۶**	۵۱/۹۹**	۱۴۵۸/۴۳**	۱۰۸/۷۵*	۱۲۶۴/۷۶**	۵۱/۹۹**	۳
۴/۳۶ ns	۹/۴ ns	۰/۰۸ ns	۱/۱۶ ns	۴/۳۶ ns	۹/۴ ns	۰/۰۸ ns	۳
۰/۴	۶/۰۸	۰/۰۸	۰/۵۹	۰/۴	۶/۰۸	۰/۰۸	۱۸
۱۴/۶۵*	۵۳/۳۶ ns	۳۲/۵۳**	۴۳۲/۵۳**	۱۴/۶۵*	۵۳/۳۶ ns	۳۲/۵۳**	۳
۰/۶۴ ns	۱۲/۶۳ ns	۰/۰۵۹ ns	۱/۵۵ ns	۰/۶۴ ns	۱۲/۶۳ ns	۰/۰۵۹ ns	۳
۱/۲۸ ns	۲۸/۷*	۷/۳۱**	۵۴/۵۲**	۱/۲۸ ns	۲۸/۷*	۷/۳۱**	۹
۳/۴۴**	۶/۲۴ ns	۰/۰۳۷**	۲/۵**	۳/۴۴**	۶/۲۴ ns	۰/۰۳۷**	۹
۰/۲۴	۶/۱۶	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۲۴	۶/۱۶	۰/۰۵	۷۲

ns و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

در بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه (سال، آب و نیتروژن) بیش‌ترین مقدار  $LAI_{max}$  در تیمار W4N4 در سال اول و بیش‌ترین میزان  $LAIMAX_{time}$  در تیمار W3N3 (روز از ابتدای بهار) در همان سال به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار  $LAI_{max}$  نیز به تیمار W1N1 (۲/۰۸) در سال دوم و کم‌ترین مدت  $LAIMAX_{time}$  به تیمارهای W1N1 (روز از ابتدای بهار) در سال دوم و W1N2 (روز از ابتدای بهار) در سال اول تعلق داشت (جدول ۴). اولین پاسخ به کمبود آب، کاهش سطح برگ به‌دلیل کاهش محتوای آب گیاه و کاهش فشار آماس در سلول‌های برگ می‌باشد (Taiz *et al.*, 2015). به اعتقاد پژوهش‌گران میزان سطح برگ و سطح خورجین بیش‌ترین سهم را در تولید بیوماس و عملکرد کلزا دارند (Kuai *et al.*, 2015) و تنش رطوبتی عامل اصلی کاهش سطح برگ و تولید کلزا می‌باشد (Moosavi *et al.*, 2014).  $LAIMAX_{time}$  در تیمارهای با سطح برگ بیش‌تر طولانی‌تر بود، که این مسئله می‌تواند در افزایش جذب بیش‌تر نور و سایر منابع کمک شایانی به گیاه نماید (شکل ۱).



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ کلزا تحت تیمارهای مختلف نیاز آبی و مقادیر مختلف فراهمی نیتروژن. N1، N2، N3 و N4 به ترتیب نماینده مصرف ۴۳/۷، ۸۷/۴، ۱۳۱/۱ و ۱۷۴/۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشند.



جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (سال، نیاز آبی و مقدار مصرف نیتروژن) بر صفات اندازه‌گیری شده بیشینه شاخص‌های رشدی و زمان رسیدن به بیشینه این شاخص‌ها (روز از ابتدای فروردین‌ماه) در کلزا طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۹۸-۱۳۹۷ در دشت دهگلان استان کردستان

سال	نیاز آبی	تیمار کودی (Kg.ha <sup>-1</sup> )	زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح خورجین	زمان رسیدن به بیشینه سرعت رشد محصول	زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه شاخص خورجین	بیشینه سرعت رشد محصول	بیشینه شاخص سطح برگ	
سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷	۲۵ درصد	۴۳/۷	۸۴/۵ij	۴۶/۵lm	۵۹/۳lm	۱/۴۵t	۱۲/۴۳p	۲/۴۳n	
		۸۷/۴	۸۵/۵gh	۴۵/۸lm	۵۸/۳n	۱/۵۶rs	۱۲/۵۶oP	۲/۴۹n	
		۱۳۱/۱	۸۵/۵gh	۴۱/۵n	۵۹/۳lm	۱/۶۸Pq	۱۴/۶۵m	۲/۴۴n	
		۱۷۴/۸	۸۵hi	۳۹/۵n	۵۸/۸mn	۱/۷۸P	۱۴/۱۱mn	۲/۷۴f	
	۵۰ درصد	۴۳/۷	۸۵hi	۵۶efg	۶۱/۳ij	۶۱/۳ij	۲/۳۴n	۲۰/۹۶k	۲/۹۷k
		۸۷/۴	۸۴j	۵۲hij	۶۰/۸jk	۶۰/۸jk	۲/۶۵l	۲۳/۸۵hi	۲/۹۷k
		۱۳۱/۱	۸۵hi	۵۰/۸j	۶۰/۸jk	۶۰/۸jk	۲/۹۱h	۲۴/۹۸efg	۳/۳۱fg
		۱۷۴/۸	۸۵/۵gh	۵۰/۸j	۶۱/۵i	۶۱/۵i	۳/۰۴g	۲۵/۷۱e	۳/۴۴e
	۷۵ درصد	۴۳/۷	۸۵hi	۵۹bcde	۶۳efg	۶۳efg	۲/۵۷lm	۲۱/۳۲k	۳/۲۹g
		۸۷/۴	۸۴/۸i	۵۷/۸defg	۶۳/۵cde	۶۳/۵cde	۲/۷۷i	۲۴/۴۳fgh	۳/۴۵e
		۱۳۱/۱	۸۵hi	۵۸def	۶۴/۸a	۶۴/۸a	۵/۲۶e	۳۱/۱۴c	۳/۹۹bc
		۱۷۴/۸	۸۶fg	۵۹bcde	۶۲/۸acd	۶۲/۸acd	۵/۷۷d	۳۱/۹۴bc	۴/۰۹b
۱۰۰ درصد	۴۳/۷	۸۴/۵ij	۵۶efg	۶۱ijk	۶۱ijk	۲/۶۲lm	۲۰/۸۴k	۳/۱۷h	
	۸۷/۴	۸۴/۸i	۵۸def	۵۹/۳lm	۵۹/۳lm	۲/۷۶ij	۲۴/۶fgh	۳/۰۷hijk	
	۱۳۱/۱	۸۵/۸gf	۵۱/۸ij	۶۲/۸fgh	۶۲/۸fgh	۶/۳۴b	۳۳/۴۱a	۴/۱b	
	۱۷۴/۸	۸۵hi	۵۸def	۶۲/۵gh	۶۲/۵gh	۶/۴۱a	۳۲/۱۵b	۴/۳۱a	
سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸	۲۵ درصد	۴۳/۷	۸۷/۵cd	۵۲hij	۵۸/۳n	۱/۴۷Ts	۱۱/۳۷q	۲/۰۸P	
		۸۷/۴	۸۸c	۴۸/۸jkl	۵۹/۵l	۱/۶۱qr	۱۱/۹۶Pq	۲/۲۱o	
		۱۳۱/۱	۸۷/۸acd	۴۶/۸klm	۶۰/۵k	۱/۶۶qr	۱۳/۳۹no	۲/۳۹n	
		۱۷۴/۸	۹۰a	۴۵m	۶۱/۳ij	۱/۶۵qr	۱۲/۵۹oP	۲/۴۲n	
	۵۰ درصد	۴۳/۷	۸۷/۵cd	۵۸/۳cdef	۶۲/۳h	۶۲/۳h	۲/۲۱o	۱۹/۳۱l	۲/۶۳m
		۸۷/۴	۸۶/۳f	۵۵/۳fgh	۶۱ijk	۶۱ijk	۲/۶۶j	۲۲/۲۳j	۲/۶۱m
		۱۳۱/۱	۸۷/۳d	۵۴/۵ghi	۶۳efg	۶۳efg	۲/۹۷gh	۲۴/۸۴gf	۳/۱۴hi
		۱۷۴/۸	۸۷/۸acd	۵۵fghi	۶۳/۵cde	۶۳/۵cde	۲/۹۹gh	۲۵/۲۳ef	۲/۹۹k
	۷۵ درصد	۴۳/۷	۸۷e	۶۱/۸ab	۶۴/۵ab	۶۴/۵ab	۲/۵۳m	۲۰/۸۵k	۳/۰۳ijk
		۸۷/۴	۸۷e	۵۸/۸bcde	۶۲/۸fgh	۶۲/۸fgh	۲/۷۶ij	۲۴/۲۵ghi	۳/۰۱jk
		۱۳۱/۱	۸۷e	۶۰/۸abcd	۶۴/۵fgh	۶۴/۵fgh	۴/۸۷f	۲۸/۲۹d	۳/۴ef
		۱۷۴/۸	۸۸/۸b	۶۲/۵a	۶۲/۸acd	۶۲/۸acd	۵/۷۲d	۳۱/۲۳c	۳/۸۶d
۱۰۰ درصد	۴۳/۷	۸۷/۵cd	۵۹/۸abcd	۶۳efg	۶۳efg	۲/۴۲n	۱۹/۰۶i	۳/۱۱hij	
	۸۷/۴	۸۷e	۶۰/۳abcd	۶۲/۸fgh	۶۲/۸fgh	۲/۷۸i	۲۳/۵۹i	۳/۱۳hi	
	۱۳۱/۱	۸۸c	۶۱/۵abc	۶۳/۳def	۶۳/۳def	۵/۹۶c	۳۳/۲۹a	۳/۹۱cd	
	۱۷۴/۸	۸۹b	۶۱abcd	۶۴bc	۶۴bc	۵/۹۵c	۳۳/۸۸a	۴/۰۸b	

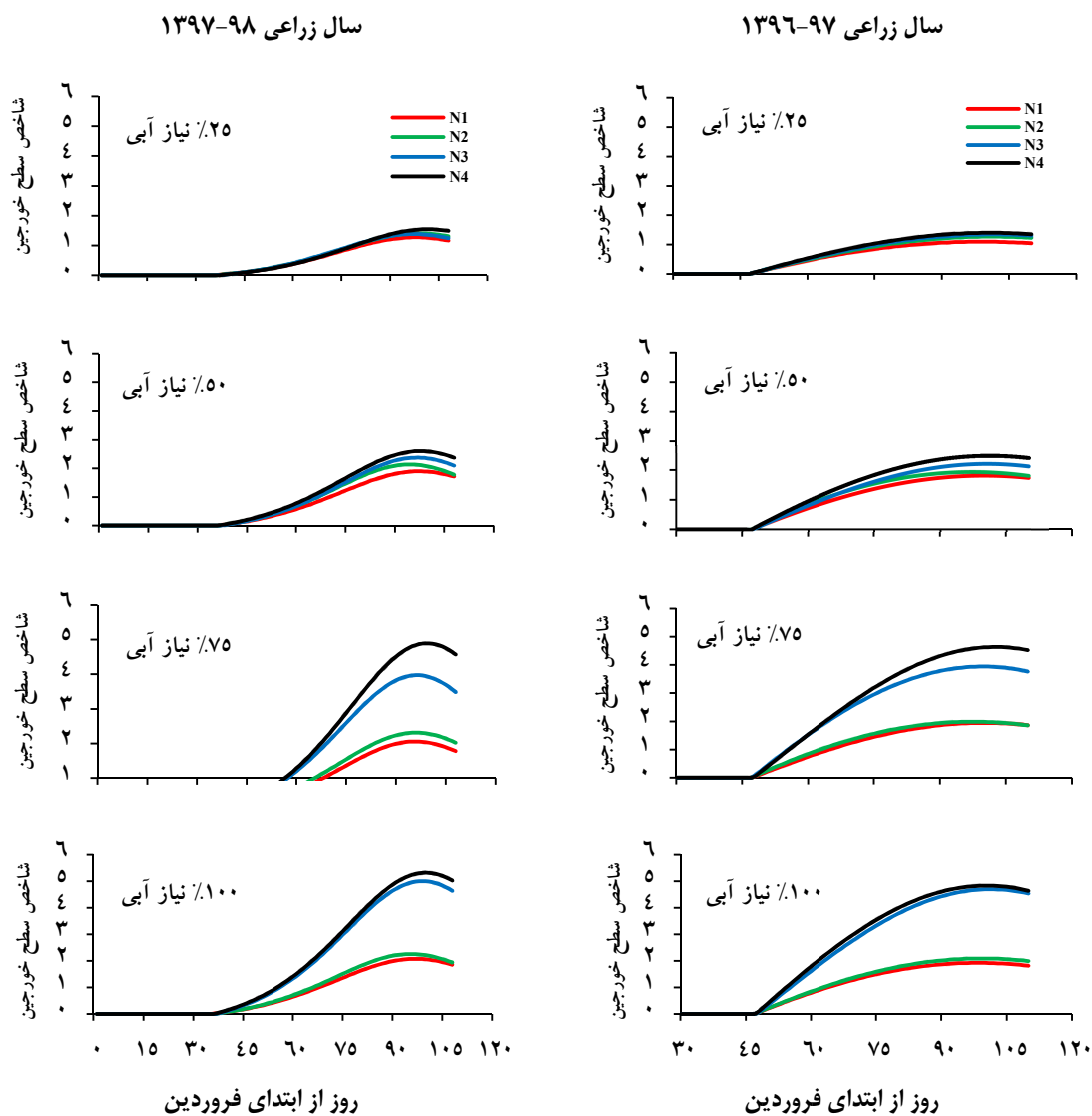
### ۲.۳. بیشینه شاخص سطح خورجین (PAI<sub>max</sub>) و زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح خورجین (PAI<sub>max</sub>)

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو سال آزمایش برای صفت PAI<sub>max</sub> نشان داد که اثرات اصلی آبیاری، نیتروژن و اثرات برهم‌کنش دوگانه (آبیاری × نیتروژن) و سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) در سطح یک درصد و برای صفت PAI<sub>max</sub> اثر اصلی سال در سطح یک درصد، اثرات برهم‌کنش دوگانه (سال × آبیاری) در سطح پنج درصد و برهم‌کنش سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). روند تغییرات شاخص سطح

خورجین کلزا در تمام تیمارهای آزمایش مشابه بود، به طوری که در ابتدای رشد طولی خورجین به دلیل کاهش سطح برگ و کاهش منبع فتوسنتزی کل تیمارها از روند کندی برخوردار بودند، سپس در اواسط گلدهی به دلیل استفاده بهتر از نور و افزایش سطح خورجین، سرعت شاخص سطح خورجین تا زمان پرشدن دانه‌ها افزایش و سپس روند کاهشی پیدا نمود (شکل ۲). روند تغییرات و سرعت افزایش شاخص سطح خورجین در میزان وزن هزاردانه، به‌عنوان یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار است. کمبود نیتروژن از طریق کاهش شاخص سطح خورجین و شاخص سطح برگ باعث کاهش جذب نور می‌شود (Justes *et al.*, 2000). تعادل بین منبع و مخزن و کربوهیدرات‌های ذخیره‌شده در بافت‌های رویشی مثل برگ و ساقه در افزایش سطح خورجین، که در نهایت به تولید منجر می‌شود، مؤثر است (Diepenbrock, 2000; Li *et al.*, 2017). در بررسی اثرات متقابل سه‌گانه بیش‌ترین مقدار بیشینه شاخص سطح خورجین در تیمار W4N4 (۶/۴۱) در سال اول و بیش‌ترین PAIMAX<sub>time</sub> در تیمار W1N4 (۹۰ روز از ابتدای بهار) در سال دوم به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار PAI<sub>max</sub> به تیمار W1N1 (۱/۴۶) و کم‌ترین PAIMAX<sub>time</sub> به تیمار W2N2 (۸۴ روز از ابتدای بهار) در سال اول اختصاص یافت (جدول ۴). در طول مدت زمان گلدهی و خورجین‌دهی، رابطه قوی بین منبع و مخزن تا زمان پرشدن دانه لازم است. از مرحله گلدهی تا پایان پرشدن دانه که هم‌زمان با پیری برگ‌ها و کاهش تدریجی فعالیت فتوسنتزی آن‌ها می‌باشد، سطح سبز خورجین به‌عنوان منبع جدید جایگزین برگ‌های از دست‌رفته شده و همین مسئله سبب تداوم افزایش وزن دانه‌ها در کلزا می‌شود (Diepenbrock, 2000). بنابراین اندازه‌گیری شاخص سطح خورجین در کلزا پارامتر مهمی است که می‌تواند بخشی از تفاوت عملکرد تیمارهای مختلف را تبیین نماید.

### ۳.۳. بیشینه سرعت رشد محصول (CGR<sub>max</sub>) و زمان رسیدن به بیشینه سرعت رشد محصول (CGRMAX<sub>time</sub>)

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای صفت CGR<sub>max</sub> نشان داد که اثرات اصلی آبیاری، نیتروژن و اثرات برهم‌کنش دوگانه (آبیاری × نیتروژن) و سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. هم‌چنین در صفت CGRMAX<sub>time</sub> اثر اصلی سال و اثر برهم‌کنش دوگانه (آبیاری × نیتروژن) در سطح پنج درصد و اثر اصلی آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به دلیل پوشش گیاهی کم و عدم توانایی جذب کامل تابش خورشیدی، کند می‌باشد اما با گذر زمان و افزایش سطح برگ این سرعت افزایش می‌یابد (Ahmadi *et al.*, 2014). روند تغییرات سرعت رشد محصول برای کلیه تیمارها مشابه بود، اما میزان بیشینه سرعت رشد محصول و زمان رسیدن به آن در تیمارهای مختلف متفاوت بود (شکل ۳). با افزایش میزان دسترسی آبی در سطوح مختلف نیتروژن سرعت رشد محصول افزایش یافت، اما این افزایش در سطوح نیتروژن مصرفی ۷۵ و ۱۰۰ درصد کاهش یافت، به طوری که در تیمار نیاز آبی ۱۰۰ درصد این دو نمودار تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. مقایسات میانگین اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین مقدار CGRMAX<sub>time</sub> در تیمارهای W3N4 و W3N1 (۶۰/۸ و ۶۰/۴) روز از ابتدای بهار مشاهده شد. در آزمایشی بر روی ذرت نشان داده شد که سرعت رشد گیاه به‌طور مؤثری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Haghjoo & Bahrani, 2015). کم‌ترین CGRMAX<sub>time</sub> به تیمارهای W1N4 و W1N3 (به ترتیب ۴۴/۱ و ۴۲/۳ روز از ابتدای بهار) تعلق گرفت که نشان‌دهنده وابستگی بیش‌تر این صفت به میزان دسترسی آب مصرفی نسبت به دسترسی نیتروژن مصرفی می‌باشد (جدول ۵). در بررسی اثرات متقابل سه‌گانه بیش‌ترین CGR<sub>max</sub> به تیمارهای W4N4 و W4N3 (به ترتیب ۳۳/۸۸ و ۳۳/۲۹ گرم بر مترمربع در روز) در سال دوم و تیمار W4N3 (۳۳/۴۱) گرم بر مترمربع در روز) در سال اول و کم‌ترین آن به تیمار W1N1 (۱۱/۳۷) گرم بر مترمربع در روز) در سال دوم اختصاص یافت (جدول ۴).

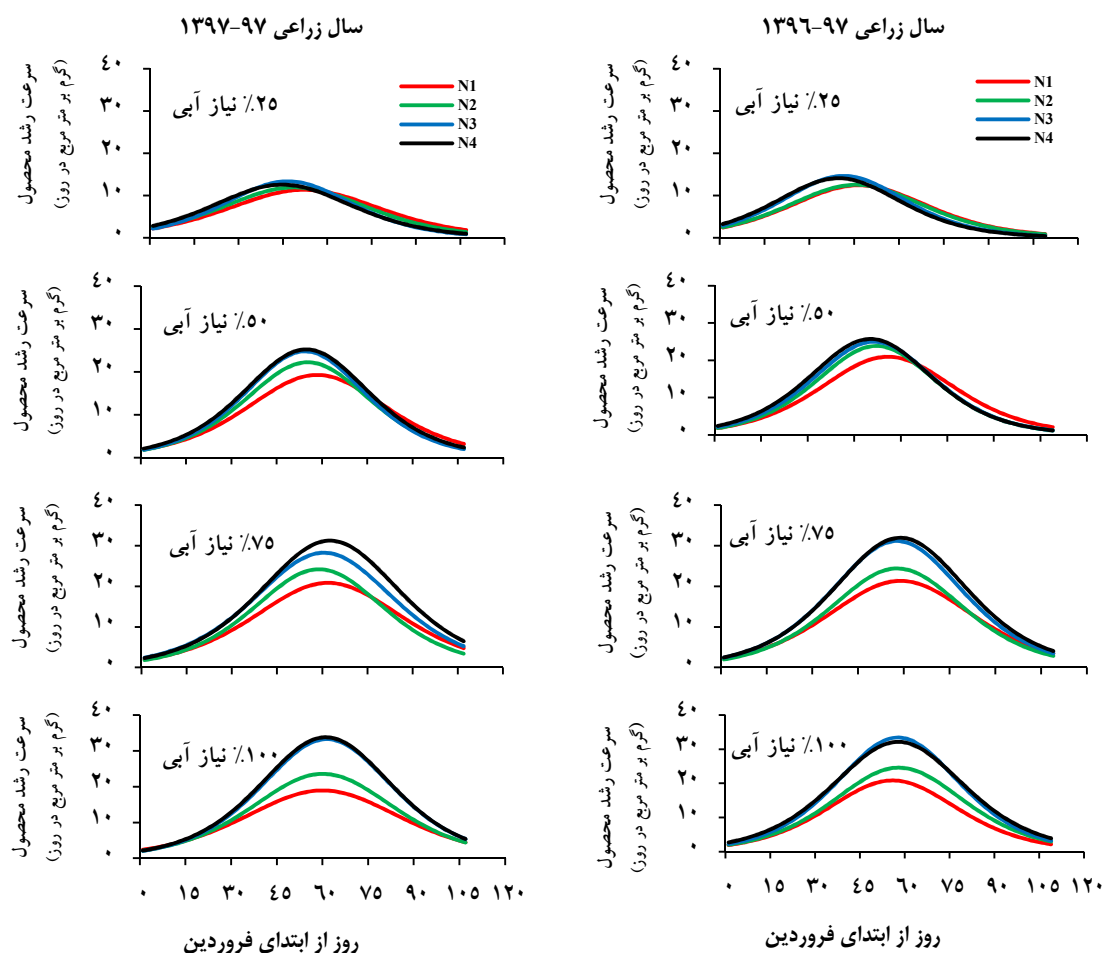


شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح خورجین کلزا تحت تیمارهای مختلف نیاز آبی و مقادیر مختلف فراهمی نیتروژن. N1، N2، N3 و N4 به ترتیب نماینده مصرف ۴۳/۷، ۸۷/۴، ۱۳۱/۱ و ۱۷۴/۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشند.

در مراحل اولیه رشد کلزا با توجه به کامل نبودن پوشش گیاهی و جذب کم نور خورشید توسط گیاه میزان سرعت رشد محصول کم بوده و با افزایش رشد گیاه، سطح برگ‌ها افزایش یافته و باعث می‌شود که به سطح خاک نور کم‌تری برسد و  $CGR_{MAX_{time}}$  در حدود با  $LAIMAX_{time}$  هم‌زمان باشد. در بررسی عملکرد نیز مشخص شد که تیمارهایی که از سرعت رشد محصول بیش‌تری برخوردار هستند، به دلیل بالا بودن شاخص سطح برگ، شاخص سطح خورجین و عملکرد بیولوژیک بیش‌تر، عملکرد دانه بیش‌تری را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۷ و ۸). در آزمایشی بر روی برنج نشان داده شد که رابطه مثبتی بین عملکرد دانه و سرعت رشد محصول وجود دارد، به طوری که این صفت در افزایش عملکرد دانه با افزایش زیست‌توده و نقشی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم در پر شدن دانه دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Limouchi *et al.*, 2018).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل نیاز آبی و مقدار مصرف نیتروژن بر صفت زمان رسیدن به بیشینه سرعت رشد محصول در کلزای طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در دشت دهگلان استان کردستان

صفت	تیمار کودی (Kg.ha <sup>-1</sup> )	۲۵ درصد نیاز آبی	۵۰ درصد نیاز آبی	۷۵ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی
زمان رسیدن به بیشینه	۴۳/۷	۴۹/۳f	۵۷/۱cd	۶۰/۴ab	۵۷/۹cd
سرعت رشد محصول	۸۷/۴	۴۷/۳f	۵۳/۶e	۵۸/۳bcd	۵۹/۱abc
(روز از ابتدای فروردین‌ماه)	۱۳۱/۱	۴۴/۱g	۵۲/۶e	۵۹/۴a	۵۶/۶d
	۱۷۴/۸	۴۲/۳g	۵۲/۵e	۶۰/۸a	۵۹/۵ab



شکل ۳. روند تغییرات سرعت رشد محصول در کلزا تحت تیمارهای مختلف نیاز آبی و مقادیر مختلف فراهمی نیتروژن. N4 و N3، N2، N1 به ترتیب نماینده مصرف ۴۳/۷، ۸۷/۴، ۱۳۱/۱ و ۱۷۴/۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشند.

### ۴.۳. ماده خشک کل (TDM)

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها اثرات اصلی آبیاری، نیتروژن و اثرات برهم‌کنش دوگانه نیتروژن × آبیاری در سطح یک درصد بر صفت ماده خشک تولیدی کل معنی‌دار بود (جدول ۶). بر این اساس بیش‌ترین مقدار ماده خشک تولیدی در تیمارهای W3N4 و W4N3، W4N4 (به ترتیب ۱۷۹۷۶، ۱۷۵۸۹ و ۱۷۶۵۷ کیلوگرم در هکتار) در یک گروه آماری و

کم‌ترین میزان آن در تیمارهای WIN1، WIN2، WIN3 و WIN4 به ترتیب با مقادیر ۶۹۹۰، ۶۹۱۷، ۶۹۱۴ و ۷۰۵۱ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری به دست آمد (جدول ۷). در مطالعات قبلی نیز تأثیرپذیری متفاوت الگوی تجمع ماده خشک در پاسخ به سطوح مختلف فراهمی آب به خوبی تشریح شده است (Nakhjavani Moghadam *et al.*, 2011).

جدول ۶. تجزیه مرکب عملکرد دانه، شاخص برداشت، ماده خشک کل کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در دشت دهگلان استان کردستان

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص برداشت	ماده خشک کل	عملکرد دانه
سال	۱	۱۱/۲۳ <sup>ns</sup>	۶۶۳۵۵۳ <sup>ns</sup>	۱۰۴۹۹۷ <sup>ns</sup>
تکرار (سال)	۶	۱/۳۳ <sup>ns</sup>	۲۰۵۵۳۵ <sup>ns</sup>	۸۴۷۲/۶ <sup>ns</sup>
آبیاری	۳	۸۰۲/۰۹ <sup>**</sup>	۴۷۶۸۳۴۴۲۹ <sup>**</sup>	۵۵۱۷۱۲۷۳/۹ <sup>**</sup>
سال × آبیاری	۳	۵/۵۷ <sup>ns</sup>	۷۳۸۵۱۹ <sup>ns</sup>	۷۷۲۳ <sup>ns</sup>
خطای اول	۱۸	۱/۱۸	۱۷۷۵۳۸	۱۳۵۳۱/۷
نیتروژن	۳	۱۲۱/۷۹ <sup>*</sup>	۷۶۸۸۴۱۸۹ <sup>**</sup>	۱۳۱۷۵۵۴۱/۷ <sup>**</sup>
سال × نیتروژن	۳	۴/۷۱ <sup>ns</sup>	۳۱۶۳۸ <sup>ns</sup>	۱۰۹۹۶۱ <sup>ns</sup>
آبیاری × نیتروژن	۹	۲۱/۴۲ <sup>**</sup>	۱۵۸۶۷۳۲۲ <sup>**</sup>	۲۸۴۲۹۷۹ <sup>**</sup>
سال × آبیاری × نیتروژن	۹	۳/۲۷ <sup>**</sup>	۳۱۵۰۱۶ <sup>ns</sup>	۵۳۷۸۲ <sup>**</sup>
خطای دوم	۷۲	۰/۶۴	۱۷۹۳۴۷	۹۵۹۶

ns \* \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل نیاز آبی و مقدار مصرف نیتروژن بر صفت ماده خشک کل در کلزا طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در دشت دهگلان استان کردستان

صفت	تیمار کودی (Kg.ha <sup>-1</sup> )	۲۵ درصد نیاز آبی	۵۰ درصد نیاز آبی	۷۵ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی
ماده خشک	۴۳/۷	۶۹۹۰.i	۱۱۲۳۸h	۱۲۶۵۴ef	۱۱۹۰۱g
کل	۸۷/۴	۶۹۱۷i	۱۱۶۳۷gh	۱۳۳۱۳cd	۱۳۵۳۴c
(Kg.ha <sup>-1</sup> )	۱۳۱/۱	۶۹۱۴i	۱۲۳۷۱f	۱۶۵۴۲b	۱۷۵۸۹a
	۱۷۴/۸	۷۰۵۱i	۱۲۹۹۷de	۱۷۶۵۷a	۱۷۹۷۶a

### ۵.۳. عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو سال آزمایش نشان داد که اثرات اصلی آب و اثرات برهم‌کنش دوگانه (آبیاری × نیتروژن) و سه‌گانه (سال × آبیاری × نیتروژن) برای عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح یک درصد و اثر اصلی نیتروژن بر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج کلی نشان داد که رابطه مستقیمی بین سال، عملکرد با شاخص‌های رشدی، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیکی وجود داشت. در بررسی اثرات متقابل سه‌گانه نیز مشخص شد که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمار W4N4 (۵۳۰۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۰ درصد) در سال اول و کم‌ترین مقدار آن در تیمارهای WIN1 (۸۵۵ کیلوگرم در هکتار و ۱۱/۹ درصد) و WIN2 (۸۷۱ کیلوگرم در هکتار و ۱۲/۲ درصد) در سال دوم مشاهده شد (جدول ۸). تنش خشکی از طریق تأثیر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ، بر روی اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا تأثیر منفی داشته، به طوری که با بروز تنش خشکی و افزایش شدت آن صفات اندازه‌گیری شده به طور معنی‌داری کاهش خواهند یافت (Sheikhaliyan *et al.*, 2021). در آزمایشی که Afshar *et al.* (2020) در منطقه جیرفت روی کلزا انجام دادند نشان داده شد که کاهش فراهمی آب به میزان ۵۰ درصد عملکرد کلزا را از ۴۴۳۵/۸۹ کیلوگرم در هکتار در شرایط ۱۰۰ درصد

نیاز آبی به ۳۱۷۰/۰۴ کیلوگرم در هکتار کاهش داد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه (سال، نیاز آبی و مقدار مصرف نیتروژن) بر صفات اندازه‌گیری شده شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کلزا طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در دشت دهگلان استان کردستان

تیمار آبی	تیمار کودی (Kg.ha <sup>-1</sup> )	سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷			سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸		
		شاخص برداشت (%)	ماده خشک کل (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg.ha <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg.ha <sup>-1</sup> )
۲۵ درصد نیاز آبی	۴۳/۷	۱۳/۳m	۶۸۰۷m	۹۰۶no	۱۱/۹n	۷۱۷۳m	۸۵۵o
	۸۷/۴	۱۳/۹lm	۶۶۷۷m	۹۲۷no	۱۲/۲n	۷۱۵۶m	۸۷۱o
	۱۳۱/۱	۱۴lm	۶۹۹۹m	۹۷۹no	۱۳/۶m	۶۸۳۰m	۹۲۵no
	۱۷۴/۸	۱۴/۸l	۶۸۵۶m	۱۰۱۴n	۱۳/۷m	۷۲۴۶m	۹۸۸no
۵۰ درصد نیاز آبی	۴۳/۷	۱۸/۳k	۱۱۳۵۴kl	۲۰۷۰m	۲۰z	۱۱۱۳۳l	۲۲۱۸l
	۸۷/۴	۲۰/۱ij	۱۱۵۴۸kl	۲۳۱۷kl	۲۰/۴ghij	۱۱۷۲۶jk	۲۳۹۶jk
	۱۳۱/۱	۲۱/۳fgh	۱۲۲۸۴ij	۲۶۰۹i	۲۰/۳hij	۱۲۴۵۸i	۲۵۱۸ij
	۱۷۴/۸	۲۰/۷ghij	۱۲۸۱۲fghi	۲۶۵۱hi	۲۱/۵fg	۱۳۱۸۲efg	۲۸۲۷g
۷۵ درصد نیاز آبی	۴۳/۷	۲۰/۲hij	۱۲۷۶۰ghi	۲۵۷۴i	۲۰/۱ij	۱۲۵۴۹hi	۲۵۱۹ij
	۸۷/۴	۲۱/۱fghi	۱۳۴۸۲e	۲۸۴۳g	۲۱/۹ef	۱۳۱۴۴efgh	۲۸۸۱g
	۱۳۱/۱	۲۴/۱d	۱۶۹۲۱c	۴۰۶۹e	۲۴/۱d	۱۶۱۶۴d	۳۸۹۵f
	۱۷۴/۸	۲۷/۸b	۱۷۵۳۴b	۴۸۶۶bc	۲۵/۷c	۱۷۷۸۰ab	۴۵۵۸d
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۴۳/۷	۲۲/۷e	۱۱۳۹۶kl	۲۵۸۴i	۲۲/۶e	۱۲۴۰۶i	۲۷۹۳g
	۸۷/۴	۲۰/۲hij	۱۳۶۹۳e	۲۷۷۰gh	۲۱/۱fghij	۱۳۳۷۶ef	۲۸۰۷g
	۱۳۱/۱	۲۸/۸b	۱۷۲۹۲bc	۴۹۷۹b	۲۶/۱c	۱۷۸۸۶ab	۴۶۷۲d
	۱۷۴/۸	۳۰a	۱۷۷۱۷ab	۵۳۰۹a	۲۶/۵c	۱۸۲۳۵a	۴۸۳۰c

آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که با کاهش مصرف آب کارایی مصرف آب افزایش یافت و در نهایت نتیجه گرفتند که با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه می‌توان عملکردی مناسب با حفظ بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب را به‌دست آورد. در مطالعه دیگری بر روی کلزا مشخص شد که کاهش مصرف آب در تیمارهای فراهمی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی موجب کاهش عملکرد نسبت به تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی شد، اما افزایش ۲۵ درصدی فراهمی آب در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد نداشت (Salamaty et al., 2019). وابستگی عملکرد کلزا به فراهمی نیتروژن نیز در سال‌ها و مکان‌های مختلف به‌خوبی گزارش شده است (Pan et al., 2016). با این‌حال، بهینه‌سازی میزان هم‌زمان مصرف آب و نیتروژن در مکان‌های مختلف می‌تواند بسیار دارای اهمیت باشد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مصرف آب و نیتروژن شاخص سطح برگ و شاخص سطح خورجین افزایش یافته که سبب افزایش جذب نور، افزایش فتوسنتز، افزایش تجمع ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد شد. با این‌حال، مشخص شد که میزان افزایش عملکرد در هر سطح از تیمارهای مورد بررسی مشابه نبود و با توجه به محدودیت منابع آبی کشور می‌توان از طریق بهینه‌سازی مصرف آب و نیتروژن عملکرد قابل‌قبولی با حداکثر بهره‌وری ممکن به‌دست آورد. براساس نتایج این مطالعه تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۷۵ درصد نیاز نیتروژن، ۷۵ درصد نیاز آبی با ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن و ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز نیتروژن و ۷۵ درصد نیاز آبی با توجه به اهمیت آب و نیتروژن در راستای ارتقای بهره‌وری به مجریان بخش کشاورزی توصیه شود (جدول ۸).

## ۵. تشکر و قدردانی

از دانشگاه کردستان به‌خاطر تأمین مالی این پژوهش و همچنین از مدیریت و پرسنل محترم مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه کردستان به پاس خدمات ارزنده خود در اجرای آزمایش‌های این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Abaspour, R., & Yazdanpanah, N. (2021). Determining the optimal irrigation interval for canola plant in surface and subsurface drip irrigation methods in Hajiabad region. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(2), 444-454. (In Persian).
- Abdelraouf, R. E., El-Shawadfy, M. A., Dewedar, O. M., & Hozayn, M. (2021). Improving yield and water productivity of canola under sprinkler irrigation and high frequency of N-fertilization. *Asian Journal of Plant Sciences*, 20(1), 143-156. <https://doi.org/10.3923/ajps.2021.143.156>
- Afshar, A., Haghghatju, P., Karandish, F., Mohammadrezapour, O., & Kouhestani, S. (2020). The Effect of Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Several Main Crops in Jiroot. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2137-2148. (In Persian).
- Ahmadi, B., Shirani Rad, AM., & Delkhosh, B. (2014). Evaluation of plant densities on analysis of growth indices in two canola forage (*Brassica napus L.*). *European Journal of Experimental Biology* 4(2), 286-294. (In Persian).
- Ahmadi, K., Abedzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2019). Agricultural Statistics of the 2018-2019 Crop Year, Volume One: Crop Products in Iran. *Ministry of Jihad-e-Agriculture Publications, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Center*.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- Barthet, V. J. (2016). Canola: Overview. Reference Module in Food Science. Reviewed 8 January 2016. 5p.
- Diepenbrock, W. (2000). Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*): a review. *Field Crops Research*, 67(1), 35-49.
- Haghjoo, M., & Bahrani, A. (2015). Evaluating yield variations of corn (single cross 260) at different water regimes and nitrogen rates by using of growth indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(34(2)), 259-274. (In Persian)
- Hajinia, S., & Ahmadvand, G. (2018). Effect of light radiation absorption and its use efficiency in intercropping of soybean and millet under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(44(4)), 721-742. (In Persian)
- Hanafi, A., & Hatami, I. (2013). Producing climate map for Kurdistan Province using information technology system. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(87), 24-28. (In Persian).
- Hosseinpanahi, F., Pouramir, F., Koocheki, A., Nassiri, M., & Ghorbani, R. (2011). Evaluation of radiation absorption and use efficiency in replacement series intercropping of chickpea (*Cicer arietinum L.*) and sesame (*Sesamum indicum L.*). *Journal of Agroecology*, 3(1), 106-120. Doi: 10.22067/jag.v3i1.9976. (In Persian)

- Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., & Gosse, G. (2000). Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy*, 13(2), 165-177. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00072-1)
- Koenig, R.T., Hammac, W.A., & Pan W.L. (2011). Canola growth, development and fertility. Fact Sheet FS045E. Washington State Univ. Ext.
- Kuai, J., Sun, Y., Zuo, Q., Huang, H., Liao, Q., Wu, C., Lu, J., Wu, J., & Zhou, G. (2015). The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep18835>
- Kumari, R., & Kaushal, A. (2014). Drip fertigation in sweet pepper: A review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 8(4), 144-149.
- Laghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., & Lashari, A.A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- Li, M., Naeem, M.S., Ali, S., Zhang, L., Liu, L., Ma, N., & Zhang, C. (2017). Leaf senescence, root morphology, and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) at varying plant densities. *BioMed Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8581072>
- Limouchi, K., Yarnia, M., Siyadat, S., Rashidi, V., & Guilani, A. (2018). Study of Regression Analysis of Rice Physiological Indices in Different Growth Stages under Khuzestan Condition. *Journal of crop breeding*, 10(26), 95-103. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=738360>
- Maaz, T., Pan, W., & Hammac, W. (2016). Influence of soil nitrogen and water supply on canola nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 108(5), 2099-2109.
- Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., & Raei, Y. (2020). Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(3), 797-804.
- Moosavi, A. A., Mansouri, S., Zahedifar, M., & Sadikhani, M. R. (2014) Effect of water stress and nickel application on yield components and agronomic characteristics of canola grown on two calcareous soils, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(12), 1747-1764, DOI: 10.1080/03650340.2014.898838
- Moqbelihanzaei, N., & Khosropour, M. (2017). Rapeseed Growth and Yield under Water Stress Conditions. *Stem Cell*, 8(3), 43-45. ISSN: 1945-4570 (print); ISSN: 1945-4732. doi:10.7537/marsscj080317.06.
- Nakhjavani moghadam, M., Dehghanisanij, H., Akbari, M., & Sadreghaen, S. (2011). The effects of deficit irrigation on water use efficiency of new early maize variety (cn. ksc.302) using sprinkler system. *Journal of water and soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 24(6), 1236-1245. (In Persian)
- Noorgholipour, F., Rezaei, H., Mirzashahi, K., Gheibi, M. N., Haghigatnia, H., Ramezanpour, M. R., Arzanesh, M.H., Asadi Rahmani, H., Mirzapour, M.H., Zamani, S. A., Mohammadi Kia, R., & Tehrani M. M., (2015). Guidenlines for Integrated soil fertility and nutrition management and of canola. *Soil and Water Research Institute*. Tehran, Sana.
- Pan, W. L., McClellan Maaz, T., Hammac, W. A., McCracken, V. A., & Koenig, R. T. (2016). Mitscherlich-modeled, semi-arid canola nitro- gen requirements influenced by soil nitrogen and water. *Agronomy Journal*, 108, 884-894. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0378>
- Rahimikhoob, H., Sohrabi, T., & Delshad, M. (2020). Estimation of In-season Basil Nitrogen Requirement Using the Nitrogen Nutrition Index. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2039-2049. doi: 10.22059/ijswr.2020.303135.668624. (In Persian)
- Rameeh, V., & Salimi, M. B. (2015). Effect of different nitrogen rates on phenology, plant height, yield components and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Oil Plants Production*, 2(1), 1-12. (In Persian)



- Rostami Ahmadvandi, H., Kahrizi, D., Ghobadi, R., & Abadi, A. (2021). Camelina, a unique oilseed with high tolerance to drought and cold. *Oilseed Plants*, 2 (2), 63-73. (In Persian).
- Salamati, N., Danaie, A., & Yaaghoobi, V. (2019). Evaluation of drought stress indices in canola under deficit drip irrigation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1479-1490. doi:10.22059/ijswr.2019.271946.668076. (In Persian)
- Sehgal, A., Sita, K., Bhandari, K., Kumar, S., Kumar, J., Vara Prasad, P. V., Siddique, K.H. & Nayyar, H. (2019). Influence of drought and heat stress, applied independently or in combination during seed development, on qualitative and quantitative aspects of seeds of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes, differing in drought sensitivity. *Plant, Cell & Environment*, 42(1), 198-211.
- Sheikhaliyan, M., Sohrabi, Y., Hossainpanahi, F., & Shirani-rad, A. (2021). Effect of sodium nitroprusside on photosynthetic pigments and grain yield of rapeseed under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 291-306. doi: 10.22059/jci.2021.299338.2364. (In Persian).
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (No. Ed. 6). Sinauer Associates Incorporated.
- Thomas, C. L., Alcock, T. D., Graham, N. S., Hayden, R., Matterson, S., Wilson, L., Young, S.D., Dupuy, L.X., White, P.J., Hammond, J.P., & Danku, J.M.C. (2016). Root morphology and seed and leaf ionic traits in a *Brassica napus L.* diversity panel show wide phenotypic variation and are characteristic of crop habit. *BMC plant biology*, 16(1), 1-18.
- Yousefi, M., Daneshian, J., Shirani Rad, A., Valadabadi, S., & Sayfzadeh, S. (2018). Yield and nitrogen use efficiency of rapeseed (*Brassica napus L.*) influenced by nitrogen rates and irrigation regimes. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 28(3), 29-41.