مقاله کامل علمی-پژوهشی

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
۱۰۷-۱۲۴
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/EJCP.2022.18883.2409

# بررسی اثر تراکم بوته بر عملکرد و برخی از شاخص‌های رشدی چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط آب و هوایی مازندران

**فهیمه علیزاده[۱]، فائزه زعفریان[۲*]، بنیامین ترابی[۳]، رحمت عباسی[۴]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد در رشته زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۲]دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۳]دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۴]استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از راهکارهای افزایش عملکرد در واحد سطح، استفاده از ارقام مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه در تراکم مناسب کاشت است، به‌نحوی که حداقل رقابت بین بوته‌ها وجود داشته باشد. تعیین تراکم مناسب کشت برای ارقام کلزا بسیار حائز اهمیت می‌باشد و نقش تعیین‌کننده‌ای برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب دارد. کاشت محصول برای هر گیاه و رقم باید در تراکمی صورت گیرد که گیاه به‌خوبی سبز شده، استقرار یافته و در هر یک از مراحل رشد، فضای کافی جهت حداکثر استفاده از عوامل محیطی را داشته باشد و تا حد امکان با شرایط نامساعد روبرو نشود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ی تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی قراخیل در شهرستان قائمشهر اجرا شد. تیمارها شامل: تراکم‌های ۴۲، ۶۶، ۸۸، ۱۱۴ و ۱۳۳ بوته در متر مربع و چهار رقم کلزا شامل: هایولا ۴۰۱، آگامکس، هایولا ۴۸۱۵ و تراپر که در سه تکرار اجرا شد. صفات مورد ارزیابی شامل شاخص‌های رشد نظیر میزان ماده خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص و عملکرد دانه بود.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که اثر متقابل رقم و تراکم بوته تنها برای شاخص‌های رشدی ماده خشک کل و شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری داشت؛ بیشینه مقدار ماده خشک کل (۹۱۰ گرم در متر مربع) در رقم هایولا ۴۰۱ و در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع و کمینه مقدار ماده خشک کل (۳۹۳ گرم در متر مربع) در رقم تراپر و در تراکم ۴۲ بوته در متر مربع مشاهده شد. طبق جدول تجزیه واریانس تنها اثر اصلی تراکم بر سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص معنی‌دار بود که بر اساس آن بیش‌ترین سرعت رشد محصول با میانگین ۱۱/۳۶ گرم در متر مربع در روز مربوط به تراکم ۸۸ بوته در متر مربع و کم‌ترین مقدار آن نیز با میانگین ۵/۹۱ گرم در متر مربع در روز از تراکم ۴۲ بوته در متر مربع به‌دست آمد. همچنین، بیشینه میزان سرعت رشد نسبی (۰/۰۵۸۰ گرم بر گرم در روز) و سرعت فتوسنتز خالص (۳/۴۹ گرم در متر مربع در روز) نیز در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع و کمینه مقدار سرعت رشد نسبی (۰/۰۵۳۰ گرم بر گرم در روز) و سرعت فتوسنتز خالص (۲/۹۹ گرم در متر مربع) مربوط به تراکم ۴۲ بوته در متر مربع بود. شایان ذکر است که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه نیز با میانگین ۷۰۳۱/۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ با تراکم ۸۸ بوته در متر مربع بود.

*مسئول مکاتبه: fa_zaefarian@yahoo.com

**نتیجه‌گیری:** با افزایش تراکم از ۴۲ بوته در متر مربع میزان تولید ماده خشک و سطح برگ افزایش یافت؛ به‌طوری که بیش‌ترین میزان ماده خشک و شاخص سطح برگ در رقم هایولا ۴۰۱ و در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع حاصل شد و بیش‌ترین میزان سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص نیز در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع به‌دست آمد. لذا در تراکم‌های پایین به علت عدم بسته شدن تاج‌پوشش کامل و کم بودن سطح دریافت‌کننده تابش (برگ‌ها) تولید ماده خشک کم‌تر شد، حال‌آنکه با افزایش تراکم از ۸۸ بوته در متر مربع به علت افزایش رقابت درون‌گونه‌ای از تولید ماده خشک و شاخص سطح برگ کاسته شد. لذا با توجه به نتایج حاصله، کاشت رقم هایولا ۴۰۱ در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع برای دست‌یابی به عملکرد بالا در شرایط آب و هوایی شرق مازندران قابل توصیه می‌باشد.

***واژه‌های کلیدی:*** تراکم، رقم، شاخص‌های رشدی، عملکرد دانه

## مقدمه

با افزایش جمعیت و بهبود سطح تغذیه و جایگزین شدن روغن نباتی به‌جای روغن حیوانی نیاز به توسعه کمی و کیفی دانه‌های روغنی به‌شدت افزایش یافته است (۴۳). کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. از تیره چلیپائیان گیاهی زراعی و یک‌ساله بوده و بدلیل دارا بودن میزان زیادی از روغن ذخیره شده در دانه، یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی به‌شمار می‌رود که در کشور ما مورد توجه خاصی قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که سطح زیر کشت آن به‌سرعت رو به افزایش است. توسعه کشت کلزا به‌علت دارا بودن سازگاری بالا با شرایط مختلف آب و هوایی کشور، به‌عنوان نقطه امیدی جهت تامین روغن خام مورد نیاز کشور و رهایی از هرگونه وابستگی به‌شمار می‌رود (۳۲). این گیاه برخلاف بیش‌تر گیاهان روغنی در فصل پاییز نیز قابل کشت بوده و حتی در کشت پاییزه عملکرد بیش‌تری نیز تولید می‌کند و به‌علت دارا بودن صفات مثبت زراعی نظیر مقاومت به سرما، کم‌آبی، تحمل به شوری و عملکرد بیش‌تر در واحد سطح نسبت به دانه‌های روغنی دیگر و همچنین بخاطر درصد روغن و پروتئین کنجاله بالا و کیفیت مطلوب در جهت تامین روغن داخلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۹، ۲۰، ۲۸، ۳۰).

یکی از راهکارهای افزایش عملکرد در واحد سطح استفاده از ارقام مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه در تراکم مناسب کاشت است، به‌نحوی که حداقل رقابت تخریبی بین بوته‌ها وجود داشته باشد. تراکم مطلوب گیاه زراعی در واحد سطح به‌عنوان یک عامل مهم برای بهره‌مندی حداکثر گیاهان از منابع رشد محیطی در طی فصل زراعی حائز اهمیت است و از عوامل ضروری برای دست‌یابی به حداکثر عملکرد گیاهان به‌شمار می‌رود که از منطقه‌ای به منطقه دیگر بر حسب نوع رقم می‌تواند متفاوت باشد (۴۴). در تراکم‌های بیش از حد ایجاد میکروکلیمای نامناسب و به‌دنبال آن خطر شیوع بیماری‌ها و آفات، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (۴). به‌طور کلی، عملکرد کلزا با افزایش تراکم تا حدی افزایش می‌یابد، سپس به‌علت افزایش رقابت درون‌گونه‌ای کاهش می‌یابد (۲۲). در طی خاصیت انعطاف‌پذیری بالا، این گیاه در تراکم‌های پایین با تولید شاخه‌های جانبی زیاد و غلاف‌های پربارتر تراکم پایین را می‌تواند جبران کند (۶). در تراکم‌های زیاد، خوابیدگی بوته و تخریب کلروفیل در گیاه افزایش یافته و این خود باعث افزایش مرگ و میر ناشی از رقابت شده و نتیجه این تغییرات موجب افت عملکرد می‌شود. همچنین، با افزایش تراکم گیاهی ارتفاع بوته‌ها و رقابت بین آن‌ها افزایش می‌یابد؛

حال‌آنکه، در تراکم‌های پایین، رقابت بین بوته‌ها کم‌تر می‌باشد (۹). آقامحمدزاده و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثرات تراکم بوته (۴۰، ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع) و کاربرد روی بر برخی ویژگی‌های زراعی ۶ رقم کلزای پاییزه گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته، رقابت بین بوته‌ها در جذب نور و عناصر غذایی زیادتر گردیده و در نتیجه تعداد دانه در خورجین، تعداد شاخه در بوته اصلی و عملکرد دانه کاهش یافته است. در این بررسی رقم جدید GK-Gabriella در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع و در شرایط کاربرد روی با میانگین ۶۲۲۱ و ۲۶۲۹/۶۶ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه را به‌ترتیب به خود اختصاص داده است (۱). توسلی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر تراکم بوته و کنترل علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا گزارش کردند که با افزایش تراکم از تعداد خورجین در بوته کاسته شد به‌طوری‌که کم‌ترین تعداد خورجین در بوته از تراکم ۱۲۵ بوته در متر مربع و بیش ترین مقدار آن از تیمار ۵۰ بوته در مربع به‌دست آمد (۳۹). رنجبر و همکاران (۲۰۱۵) در کشت دیم کلزا، میزان بهینه بذر را ۶ تا ۸ کیلوگرم در هکتار و بهترین فاصله روی ردیف را ۳۶ سانتی‌متر (جهت سهولت عملیات داشت) توصیه کردند (۳۲).

ارقام مختلف مانند گونه‌های مختلف به شرایط اقلیمی معینی سازگار هستند، بنابراین انتخاب رقم برای موفقیت در تولید حائز اهمیت می‌باشد. در انتخاب رقم باید به گونه، نوع و سازگاری رقم، کیفیت بذر، ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی، عملکرد دانه، زودرسی، مقاومت به ریزش و ورس، بیماری‌ها و سایر خصوصیات زراعی دیگر توجه کرد (۱۴). گیاهان برای تطبیق خود با شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف، فعالیت‌های حیاتی‌شان را تنظیم می‌کنند؛ لذا می‌توان با اتخاذ روش‌های مناسب در کنار استفاده از ارقام مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه و نیز حداکثر استفاده از منابع محیطی نظیر نور، آب و مواد غذایی به عملکرد بیش‌تر در گیاهان زراعی دست یافت (۲۰، ۲۲). در تحقیق فتحی (۲۰۱۷) که به‌منظور بررسی اثر سطوح تراکم بوته بر رشد و عملکرد دانه ارقام کلزای پاییزه انجام داد، سه رقم (آپشن-۵۰۱، پی اف-۷۰۴۵ و هایولا-۳۰۸) و چهار سطح تراکم بوته شامل ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ بوته در مترمربع درنظر گرفته شد، مشاهده شد که رقم اپشن ۵۰۱ با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع با ۲/۵۵ تن در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد. با توجه به اثر مطلوب توزیع یکنواخت بوته در واحد سطح و سازگاری هایولا به دامنه مشخصی از تراکم، به‌نظر می‌رسد تراکم ۹۰ بوته در مترمربع برای تولید کلزا در شرایط مشابه با آزمایش حاضر بهتر باشد (۱۲). تولید ماده خشک گیاهی به عنوان تابعی از نور جذب شده در طول دوره رشد و راندمان استفاده از نور تحت تأثیر ساختار کانوپی می‌باشد؛ که این هدف با تغییر تراکم بوته و توزیع بوته‌ها در واحد سطح زمین میسر است. توزیع یکنواخت بوته با توزیع مناسب تابش در درون پوشش گیاهی بسیار مؤثر است (۲۶). نقش برگ‌ها در عملکرد می‌تواند در تعیین اندازه مقصدهایی نظیر تعداد خورجین در گیاه مهم باشد. در همین رابطه، برخی محققان معتقدند که در شاخص سطح برگ برابر، در ردیف‌های باریک‌تر، به علت توزیع یکنواخت‌تر برگ‌ها، جذب تابش بیش‌تر از ردیف‌های پهن می‌باشد (۲۶، ۳۳). در همین مورد اظهار شد که گیاهانی که در فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر کاشته شده بودند، در مقایسه با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر، مقدار ماده خشک در واحد سطح و طول رویش آن‌ها زیادتر بود و در نتیجه شاخص سطح برگ بیش‌تری داشتند (۲۳).

همچنین، محققان وجود همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ موجود در اواسط گلدهی را در کلزا گزارش کردند (۲۵، ۴۳).

سرعت رشد محصول (CGR) نمایانگر میزان تجمع ماده خشک گیاهان در یک فاصله‌ی زمانی مشخص در واحد سطح زمین است و مقدار آن زمانی که شاخص سطح برگ در حد مطلوب است بیش‌ترین مقدار بوده و سپس با سایه‌اندازی و پیری برگ‌ها کاهش می‌یابد (۲۱). لذا، سرعت رشد محصول از طرفی وابسته به شاخص سطح برگ بوده و میزان کارایی تاج‌پوشش و جذب تابش خورشید را نشان می‌دهد و از طرفی در روند افزایش تجمع ماده خشک تاثیرگذار است (۷). ابراهیمی (۲۰۱۰) در بررسی شاخص‌های رشد در تاریخ و تراکم‌های مختلف کاشت سویا به این نتیجه رسید که سرعت رشد محصول در اواخر دوره رشد (مرحله پر شدن دانه) با کاهش سطح برگ و مسن شدن گیاه، به‌خصوص در تراکم‌های بالاتر (۵۰ بوته نسبت به ۲۵ و ۳۳ بوته در متر مربع) روند نزولی پیدا کرد (۱۰). عزیزی و ماهرخ (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر تراکم بوته در تاریخ‌های مختلف کاشت بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین رقم KSC403su گزارش کردند که با کاهش تراکم بوته در واحد سطح میزان سرعت رشد محصول افزایش یافت. به‌عبارتی حداکثر سرعت رشد محصول زمانی حاصل می‌شود که گیاه از تراکم مطلوب و توزیع مناسب که برای حداکثر استفاده از نور و عوامل محیطی مطابقت دارد، برخوردار باشد. آن‌ها گزارش کردند که در تراکم ۶۵ هزار بوته در هکتار بیش‌ترین میزان سرعت رشد محصول دیده شد (۵).

کلزا در ایران گیاه نسبتاً جدیدی است و اطلاعات کمی در زمینه عملکرد ارقام در شرایط مختلف محیطی وجود دارد (۱۲). آب و هوای معتدل و خنک با رطوبت بالای استان مازندران بهترین شرایط لازم جهت رشد کلزا را فراهم ساخته است و ارقام پرمحصول و سازگار این گیاه را می‌توان به‌عنوان یک محصول مناسب در تناوب زراعی با گندم و پرنمودن اراضی شالیزاری در زمان پس از برداشت برنج (*Oryza sativa*) درنظر گرفت. اگرچه دامنه کلی میزان تراکم بذر برای کشت کلزا مشخص شده است؛ اما تعیین میزان دقیق‌تر آن برای هر رقم جهت دست‌یابی به عملکرد قابل قبول بسیار ضروری می‌باشد (۳۴).

لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر تراکم‌های مختلف بر برخی از شاخص‌های رشدی ارقام مورد بررسی کلزا که شامل هایولا ۴۰۱، آگامکس، هایولا ۴۸۱۵ و تراپر می‌باشد و همچنین، تعیین بهترین تراکم جهت حصول بالاترین عملکرد ارقام مذکور در شرایط آب و هوایی مازندران اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی قراخیل واقع در شهرستان قائمشهر در سال ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. ایستگاه تحقیقات قراخیل در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه و عرض جغرافیایی شمالی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه در قسمت غربی شهرستان قائمشهر قرار گرفته است. ارتفاع از سطح دریا ۱۴/۷ متر بوده و منطقه محل اجرای طرح دارای آب و هوای نسبتا معتدل می‌باشد. تیمارها شامل تراکم با تراکم‌های ۴۲، ۶۶، ۸۸، ۱۱۴ و ۱۳۳ بوته در متر مربع و همچنین چهار رقم هایولا ۴۰۱، آگامکس، هایولا ۴۸۱۵ و رقم تراپر می‌باشند (جدول ۲). شایان ذکر است که تراکم توصیه شده برای کلیه ارقام کلزا در مازندران ۴۰ تا ۶۰ بوته در مربع می‌باشد (۳). بذرهای مورد استفاده از شرکت دانه‌های روغنی استان مازندران تهیه شد. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم

مورد نظر، پس از استقرار بوته‌ها در مرحله سه الی چهار برگی عملیات تنک انجام شد. کاشت به صورت خطی و با دست انجام گرفت. قبل از اجرای آزمایش، جهت مشخص شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، خاک منطقه کشت مورد آزمایش قرار گرفت که در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Chemical properties of soil.

| عمق (سانتی‌متر) Depth (cm) | بافت Texture | کربن آلی (درصد) OC (%) | پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg/kg) | فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg/kg) | نیتروژن (درصد) N (%) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-30 | سیلتی Silty | 1.2 | 56 | 8.9 | 0.23 | 7.8 | 0.52 |

در نهایت پس از دریافت نتایج حاصله، کودهای نیتروژن (اوره) به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، پتاسیم (سولفات پتاسیم) و فسفر (فسفات آمونیوم) هر کدام ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اعمال شد؛ که یک سوم کود اوره در زمان کاشت، یک سوم در مرحله ساقه‌دهی و یک سوم باقی‌مانده قبل از گلدهی اعمال شد. همچنین، کل دو کود سولفات پتاسیم و فسفات آمونیوم نیز به صورت پایه اعمال گردید. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار و به‌صورت پیش از کاشت استفاده شد. طی فصل رشد نیز به دفعات لازم وجین دستی (در مرحله شروع روزت و شروع گلدهی) انجام شد. آبیاری‌های اولیه تا استقرار بوته‌ها، هر چهار تا شش روز یک‌بار و پس از آن تا انتهای فصل رشد به کمک بارندگی‌های پاییزه انجام شد.

جدول ۲- خصوصیات ارقام کلزای مورد استفاده در این تحقیق

Table 2- Properties of rapeseed cultivars was used in this study

| خصوصیات ارقام Cultivars characteristics | هایولا ۴۰۱ Hyola 401 | هایولا ۴۸۱۵ Hyola 4815 | آگامکس Agamax | تراپر Trapper |
|---|---|---|---|---|
| مبدأ Origin | کانادا Canada | کانادا Canada | آلمان Germany | آلمان Germany |
| نوع رقم Type of cultivar | هیبرید Hybrid | هیبرید Hybrid | هیبرید Hybrid | هیبرید Hybrid |
| میزان روغن (درصد) Oil content (%) | ۴۴-۴۷ 44-47 | ۴۳-۴۶ 43-46 | ۴۳-۴۴ 43-44 | ۴۳-۴۴ 43-44 |
| کیفیت روغن Oil quality | دو صفر 00 | دو صفر 00 | دو صفر 00 | دو صفر 00 |
| طول دوره رشد (روز) Growth period (day) | ۱۵۰-۱۸۰ 150-180 | ۱۴۵-۱۷۵ 145-175 | زودرس Early maturing | بسیار زودرس Very early maturing |
| مناطق کشت Areas of cultivation | گرم و مرطوب شمال و گرم خشک جنوب Warm and wet northern and warm dry south | گرم و مرطوب شمال و گرم خشک جنوب Warm and wet northern and warm dry south | گرم مرطوب شمال و گرم خشک جنوب Warm and wet northern and warm dry south | گرم مرطوب شمال و گرم خشک جنوب Warm and wet northern and warm dry south |
| ویژگی خاص Special feature | یکنواختی رسیدگی، پایداری عملکرد Homogeneity in maturing, yield sustainability | زودرسی، مناسب کشت دوم در اراضی شالیزار Early maturing, proper for second planting in rice land | متحمل به ریزش دانه و ورس و پایداری عملکرد Resistant to grain shattering and lodging and yield sustainability | زودرسی، مقاوم به ریزش دانه و ورس Early maturing, Resistant to grain shattering and lodging |

بذر در عمق ۲/۵-۱/۵ سانتی‌متری خاک در تاریخ ۱۳۹۶/۸/۱۶ کشت شد. طول کرت‌ها سه متر، عرض آن یک متر، فاصله کرت‌ها از هم به اندازه نیم متر، فاصله بین هر تکرار دو متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت از هم برای تمام تراکم‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل چهار خط کاشت بود. پس از کاشت بذر اقدامات لازم جهت مبارزه با یک سری آفات نظیر راب که وجود آن منجر به خسارت زیادی در مراحل اولیه رشدی و روزت می‌شود، به‌وسیله سم متالدهاید با نام تجاری متالانجی انجام شد.

به‌منظور محاسبه شاخص‌های رشد، از ۳۰ روز پس از کاشت و به فاصله ۱۴ روز یک‌بار انجام گرفت. در هر بار نمونه‌برداری از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه، ۵ بوته به‌طور تصادفی برداشت و وزن خشک ساقه و برگ بعد از قرار گرفتن در آون اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ نیز از دستگاه Leaf area meter مدل LI-3100 استفاده شد. برای بررسی روند تغییرات وزن خشک کل (TDM)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت فتوسنتز خالص (NAR) به‌ترتیب از روابط ۱ تا ۵ استفاده گردید (۲۲).

رابطه ۱: $TDM^{1}= Exp(a+ bx+ cx^2)$

رابطه ۲: $LAI^{2}= Exp(a'+b'x+c'x^2)$

رابطه ۳: $CGR^{3}= NAR\times LAI$

رابطه ۴: $RGR^{4}= b+2cx$

رابطه ۵: $NAR= (b+2cx)\times Exp[(a-a')+ (b-b')x + (c-c')x^2]$

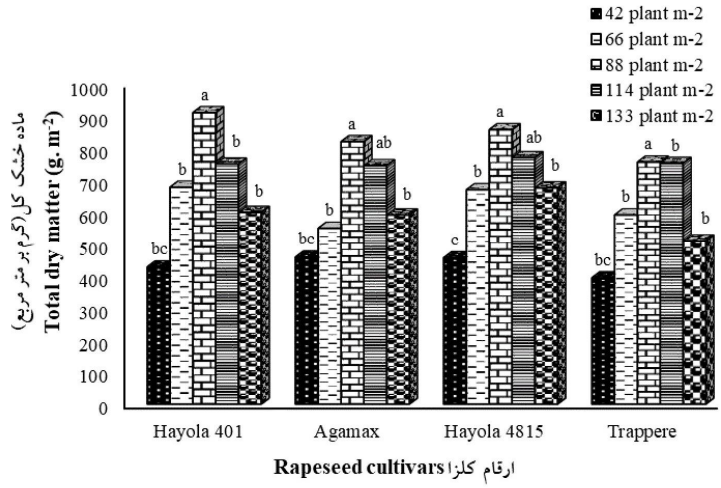
در این روابط a، b و c ضرایب ثابت معادله و x روزهای پس از کاشت می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان عملکرد دانه، در زمان رسیدگی دانه‌ها از سطح یک متر مربع بوته‌های هر کرت برداشت شدند و میزان عملکرد اقتصادی ارزیابی شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. مقایسه میانگین بوسیله آزمون LSD در سطح پنج درصد صورت پذیرفت. آنالیز رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار Sigma Plot 11 انجام شد.

## نتایج و بحث

**ماده خشک کل:** نتایج تجزیه واریانس مربوط به ماده خشک کل بوته‌های کلزا حاکی از معنی‌داری اثر متقابل رقم در تراکم بوته بر ماده خشک کل داشت (جدول ۳) به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر ماده خشک کل در هر چهار رقم هایولا ۴۰۱، اگامکس، هایولا ۴۸۱۵ و تراپر به‌ترتیب با میانگین‌های ۹۱۰، ۸۲۰، ۸۵۷ و ۷۵۶ گرم در متر مربع مربوط به تراکم ۸۸ بوته در متر مربع بود و کم‌ترین مقادیر نیز با میانگین‌های ۴۲۷، ۴۵۸، ۴۵۶ و ۳۹۳ گرم در متر مربع مربوط به تراکم ۴۲ بوته در متر مربع بود (شکل ۱).

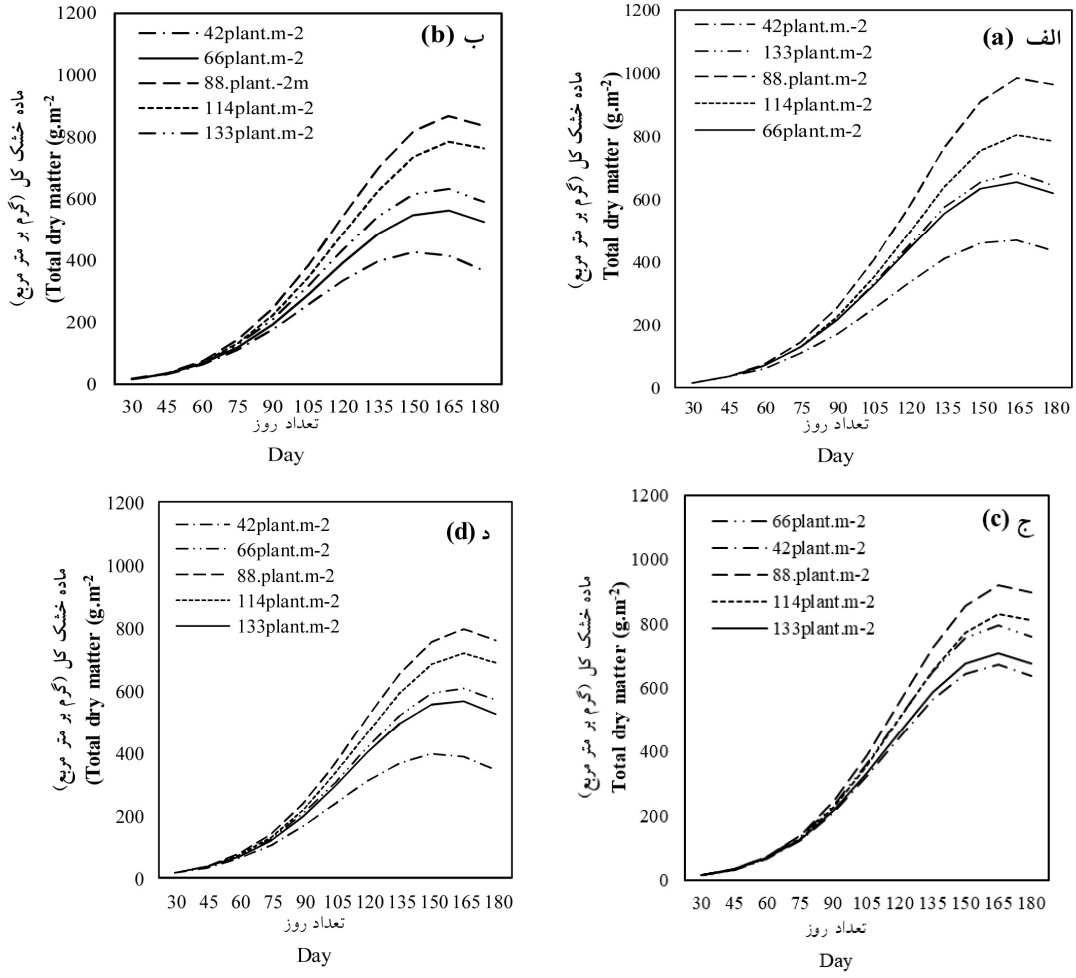
وزن خشک گیاه تابعی از میزان تشعشع جذب شده در طول دوره رشد است. از طرفی، میزان تشعشع جذب شده به‌وسیله گیاه بستگی کامل به شاخص سطح برگ و رشد تاج‌پوشش گیاه دارد. در بیش‌تر گیاهان هنگامی‌که شاخص سطح برگ به ۴ تا ۵ برسد بیش از ۸۰٪ تشعشع فعال فتوسنتزی توسط گیاه جذب می‌شود (۲). شکل ۲ نشان می‌دهد که روند افزایش ماده خشک در تیمارهای مختلف از یک روند مشابه پیروی می‌کند؛ به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد به‌دلیل پایین بودن دما و کم بودن سطح فتوسنتزی، تجمع ماده خشک روند کندی داشته و این روند در همه تیمارها مشاهده می‌شود و با گذشت زمان و همراه با افزایش شاخص سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش یافت و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیش‌تری گرفت تا در ۱۵۰ روز پس از کاشت به‌حداکثر مقدار خود رسید. میزان ماده خشک کل با سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص نسبت مستقیمی دارد و هرچه میزان سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص بیشتر شود میزان ماده خشک تجمع یافته نیز بیشتر می‌شود.

1. Total dry matter
2. Leaf area index
3. Crop growth rate
4. Relative crop rate




شکل ۱- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل رقم در تراکم بوته بر ماده خشک کل بوته کلزا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند)

Figure 1. Mean comparisons for the interaction effect of cultivar and plant density on total dry matter of rapeseed (Means with similar letters based on the LSD test do not have a significant difference (LSD 5%))




شکل ۲- روند تغییرات ماده خشک کل در ارقام هایولا ۴۰۱ (الف)، اگامکس (ب)، هایولا ۴۸۱۵ (ج) و تراپر (د) تحت تیمارهای مختلف تراکم بوته

Figure 2- The trend of total dry matter changes in a) Hyola 401, b) Agamax, c) Hyola 4815 and d) Trapper under different plant density of rapeseed

مقادیر ماده خشک در شکل ۲ بیان‌گر روند تغییرات در تراکم‌های مختلف و در ارقام هایولا ۴۰۱، اگامکس، هایولا ۴۸۱۵ و تراپر می‌باشد به‌طوری که در بین ارقام و تراکم‌های متفاوت رقم هایولا ۴۰۱ و هایولا ۴۸۱۵ در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع بالاترین میزان ماده خشک را حاصل نمود (شکل ۲)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات حداکثر مقادیر شاخص‌های رشد تحت تیمارهای مختلف رقم و تراکم بوته کلزا

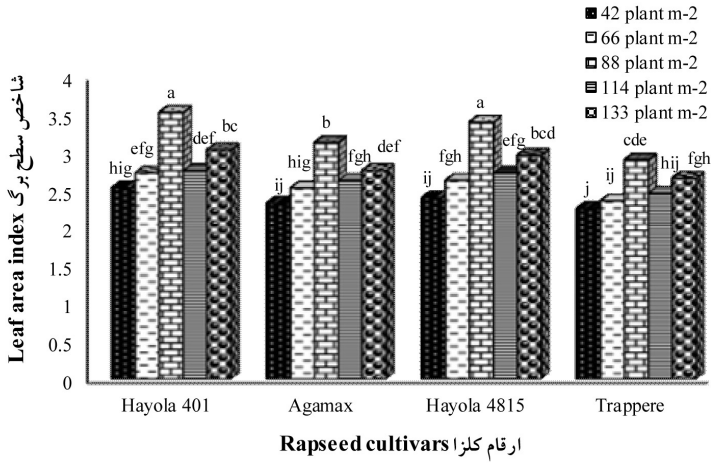
Table 3- Analysis of variance for maximum amount of growth indices traits under different treatment of varieties and plant density of rapeseed

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی df | سرعت رشد نسبی Relative growth rate | سرعت رشد محصول Crop growth rate | شاخص سطح برگ Leaf area index | ماده خشک کل Total dry matter | سرعت فتوسنتز خالص Net assimilation rate | عملکرد دانه Grain yeild |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Repetition | 2 | 0.074 | 3.45 | 0.008 | 69143.96 | 0.000209 | 63579.50 |
| رقم Cultivar (A) | 3 | $0.02^{ns}$ | $2.40^{ns}$ | $0.43^{**}$ | $61575.91^{**}$ | $0.0000002^{ns}$ | $13322367.55^{**}$ |
| تراکم Density (B) | 4 | $0.48^{**}$ | $50.82^{**}$ | $1.29^{**}$ | $191213.71^{**}$ | $0.00004^{**}$ | $16776426.03^{**}$ |
| A×B | 12 | $0.06^{ns}$ | $4.28^{ns}$ | $0.015^{**}$ | $13665.4\cdot4^{**}$ | $0.000003^{ns}$ | 2242194.46** |
| خطا Error | 37 | 0.012 | 3.07 | 0.004 | 2749.57 | 0.000019 | 379152.1 |
| ضریب تغییرات (درصد) (C.V %) | - | 7.98 | 3.76 | 20.71 | 2.49 | 7.91 | 17.11 |

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

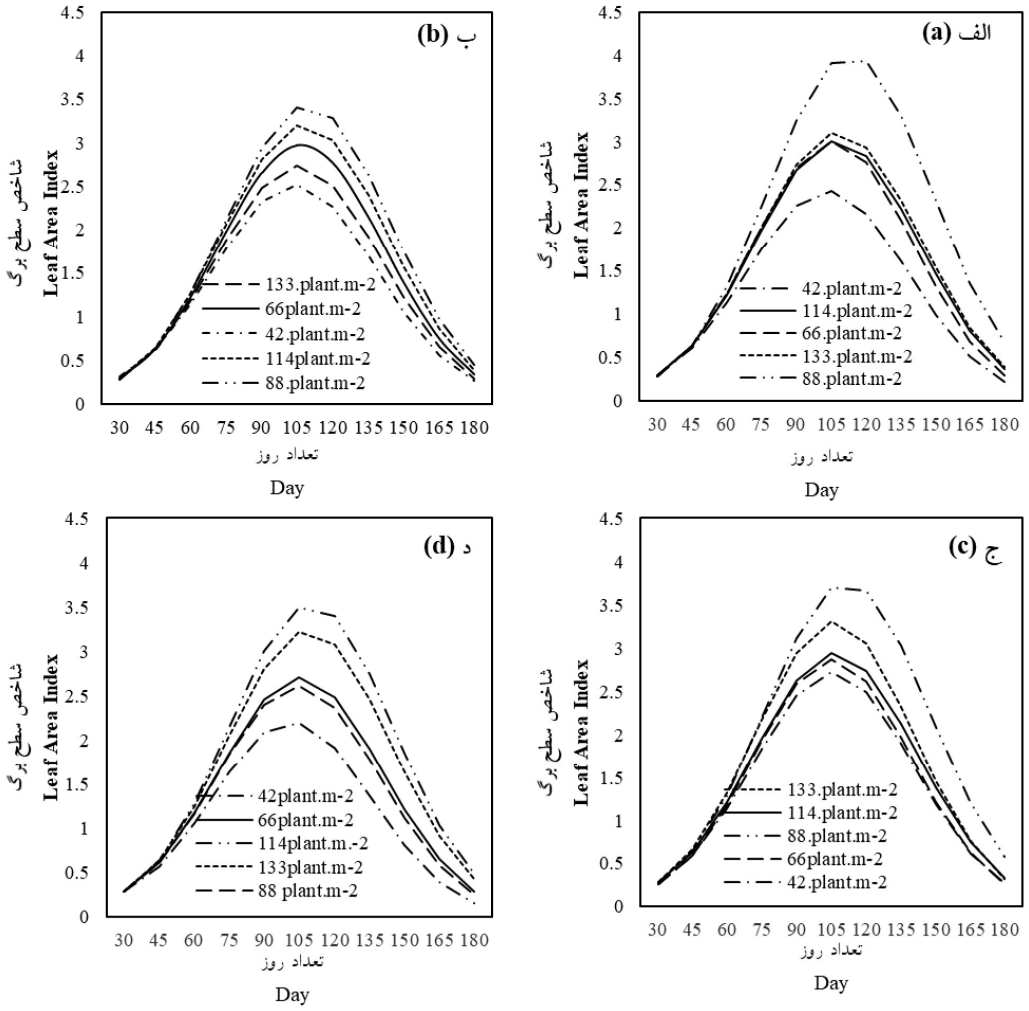
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

**شاخص سطح برگ:** همان‌گونه که در شکل ۳ قابل مشاهده است بالاترین شاخص سطح برگ مربوط به تراکم ۸۸ بوته در متر مربع بود و کم‌ترین شاخص سطح برگ نیز مربوط به تراکم ۴۲ بوته در متر مربع می‌باشد؛ در تراکم‌های بالاتر از ۸۸ بوته در متر مربع نیز به‌دلیل رقابت شدید درون‌گونه‌ای، شاخص سطح برگ کم‌تر از حد مطلوب تراکم بوده است. همچنین، در بین ارقام نیز بالاترین مقادیر مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ و هایولا ۴۸۱۵ بود و ارقام اگامکس و تراپر مقادیر کم‌تری از شاخص سطح برگ را دارا بودند (شکل ۳). در بین تراکم‌ها و ارقام مختلف کلزا بیش‌ترین شاخص سطح برگ در ۱۰۵ روز پس از کاشت به‌حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۴). شاخص سطح برگ به‌طور صعودی افزایش می‌یابد و کمی قبل از گلدهی به بیش‌ترین میزان خود می‌رسد و بعد از آن به‌علت انتقال مواد فتوسنتزی برگ‌ها به اندام‌های زایشی و در نهایت پژمرده شدن و ریزش برگ‌های پایین‌تر پوشش گیاهی در دوره پرشدن دانه روبه کاهش می‌گذارد (شکل ۴).




شکل ۳- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل رقم در تراکم بوته بر شاخص سطح برگ کلزا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند)

Figure 3. Mean comparison of the interaction effects of cultivar on plant density on rapeseed leaf area index (Means with similar letters based on the LSD test do not have a significant difference (LSD 5%))




شکل ۴- روند تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام هایولا ۴۰۱ (الف)، اگامکس (ب)، هایولا ۴۸۱۵ (ج) و تراپر (د) تحت تیمارهای مختلف تراکم بوته

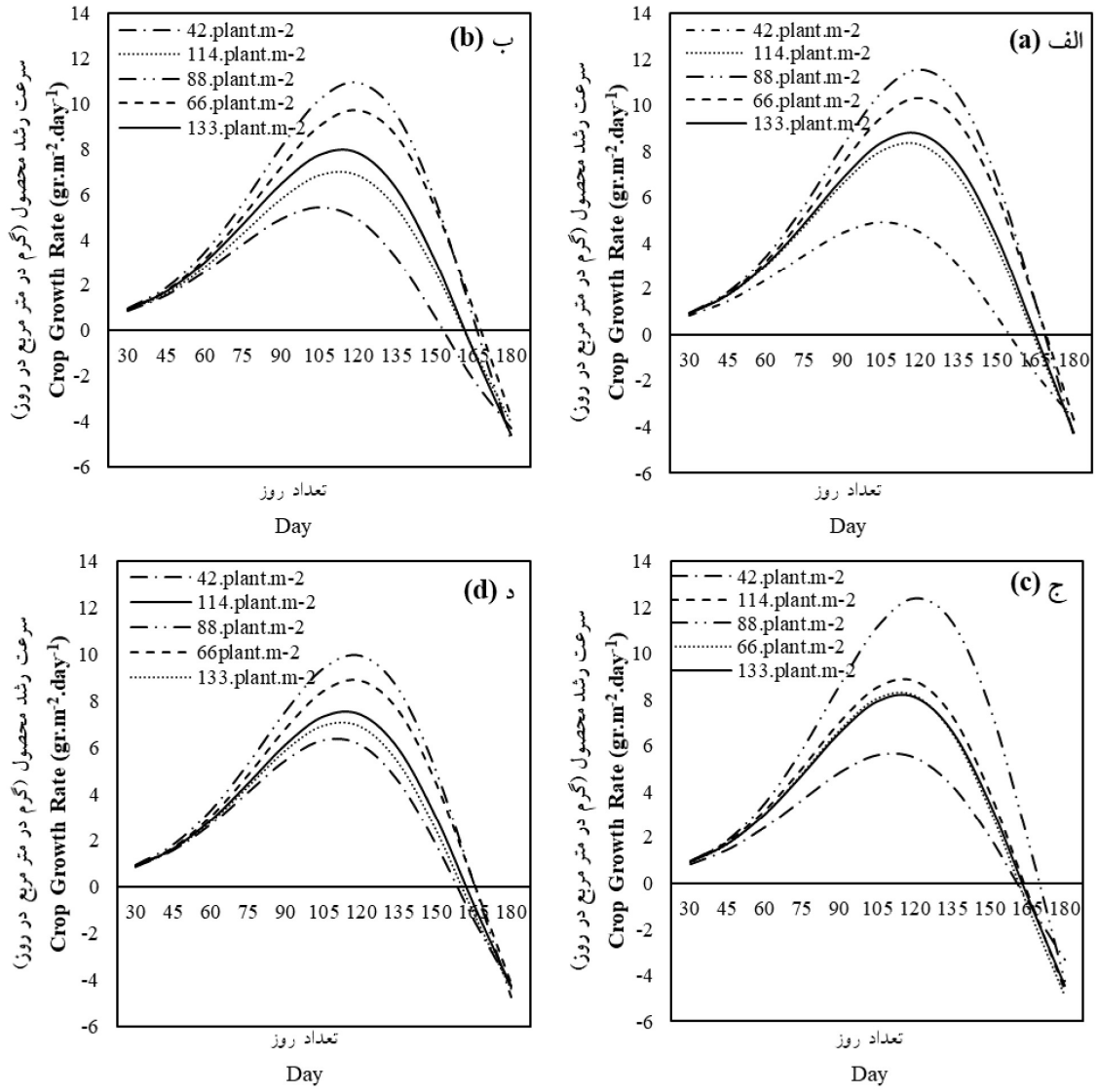
Figure 4- The trend of leaf area index changes in a) Hyola 401, b) Agamax, c) Hyola 4815 and d) Trapper under different plant density of rapeseed

کروتسر و ویت (۲۰۰۰) نشان دادند که هرچه سطح برگ گیاه زراعی بیش‌تر باشد؛ میزان تشعشع دریافتی توسط گیاه بیش‌تر خواهد بود (۸). هافل و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که شاخص سطح برگ بالاتر در تراکم‌های بالا با کاهش عملکرد همبستگی منفی دارد (۱۶). نتایج جدول همبستگی نشان داد که شاخص سطح برگ با عملکرد، میزان ماده خشک، سرعت رشد محصول همبستگی معنی‌دار و مثبتی دارد (جدول ۵). شاخص سطح برگ گیاه زراعی برای نشان دادن اثر تراکم بر عملکرد و کیفیت گیاه زراعی استفاده شود و با تولید زیست توده و رقابت‌پذیری مرتبط می‌باشد (۱۶). همچنین، نشان‌گر ظرفیت فتوسنتزی گیاه بوده و به تعداد و اندازه برگ‌ها در هر مرحله از رشد بستگی دارد. از دلایل اصلی بالا بودن مقدار شاخص سطح برگ در تراکم‌های ۸۸ بوته در متر مربع می‌تواند تراکم مطلوب بوته‌های کلزا و عدم رقابت درون‌گونه‌ای باشد. این درحالی است که با افزایش تراکم بیش از حد مطلوب، رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های کلزا موجب کاهش رشد و سطح برگ می‌گردد (شکل ۴).

حسین‌پور و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند بالاترین تعداد و سطح برگ گیاه انیسون در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع به‌دست آمد و با افزایش تراکم (۵۰ بوته در مترمربع) تعداد و سطح برگ کاهش پیدا کرد. این محققین بیان کردند کاهش تعداد و سطح برگ در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع، ناشی از کمبود فضا برای ایجاد و رشد برگ‌ها و همچنین، کمبود تابش آفتاب می‌باشد ولی با کاربرد تراکم مناسب (۲۵ بوته در مترمربع) به‌دلیل وجود فضای کافی برای گسترش بوته، سطح برگ بیش‌تری تولید می‌شود (۱۷). در بین ارقام مختلف نیز شاخص سطح برگ ارقام هایولا ۴۰۱ و هایولا ۴۸۱۵ بیش‌تر از دو رقم دیگر بود (شکل ۳ و ۴).

**سرعت رشد محصول:** سرعت رشد محصول مهم‌ترین شاخص تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی است که نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در واحد سطح زمین در یک واحد زمان مشخص می‌باشد (۱۳). نتایج نشان می‌دهد که تراکم ۸۸ بوته کلزا در متر مربع موجب حصول حداکثر سرعت رشد محصول گردیده است ولی کم‌تر و بیش‌تر از این مقدار بوته در متر مربع موجب کاهش در سرعت رشد محصول شد (جدول ۴ و شکل ۵)؛ که این امر در تراکم‌های پایین به‌دلیل حجم کم کانوپی و در تراکم‌های بالا به‌دلیل رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های کلزا می‌باشد. سیرتی و همکاران (۲۰۰۲) و انیی (۲۰۰۷) نیز در خصوص تاثیر تراکم بوته بر سرعت رشد محصول و اینکه تراکم زیاد موجب کاهش سرعت رشد محصول می‌شود به‌ترتیب روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و سویا (*Glycine max*) گزارش کرده‌اند (۹، ۳۷). درحالی که ترابی جفرودی و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که با کاهش فاصله بین دو بوته در ردیف و یا افزایش تراکم کاشت بر میزان سرعت رشد لوبیا افزوده شد (۴۱). الگوی سرعت رشد کلزا در تمامی تیمارها نسبتا یکسان بود؛ به‌طوری که سرعت رشد کلزا در ابتدای فصل بدلیل کوچک بودن گیاهان به‌کندی افزایش یافت و سپس به‌علت افزایش سطح برگ این شاخص تا مرحله اواخر گلدهی و اوایل غلاف‌بندی کلزا افزایش پیدا کرد و به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۵). بین سرعت رشد محصول و مقدار تابش جذب شده توسط برگ‌های یک گیاه رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که در ابتدا و انتهای فصل رشد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافت‌کننده تابش (برگ‌ها) تولید ماده خشک کم‌تر شده و مقدار سرعت رشد محصول هم کم بود. اما با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جذب تابش و سرعت

رشد محصول افزایش یافت. در اواخر فصل رشد روند کاهشی در سرعت رشد محصول مشاهده می‌شود (شکل ۵) و این زمانی رخ می‌دهد که گیاه بجای تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر به انتقال مواد از اندام‌های مختلف به دانه‌ها می‌پردازد. به‌همین دلیل CGR حتی منفی هم می‌شود (۱۸).

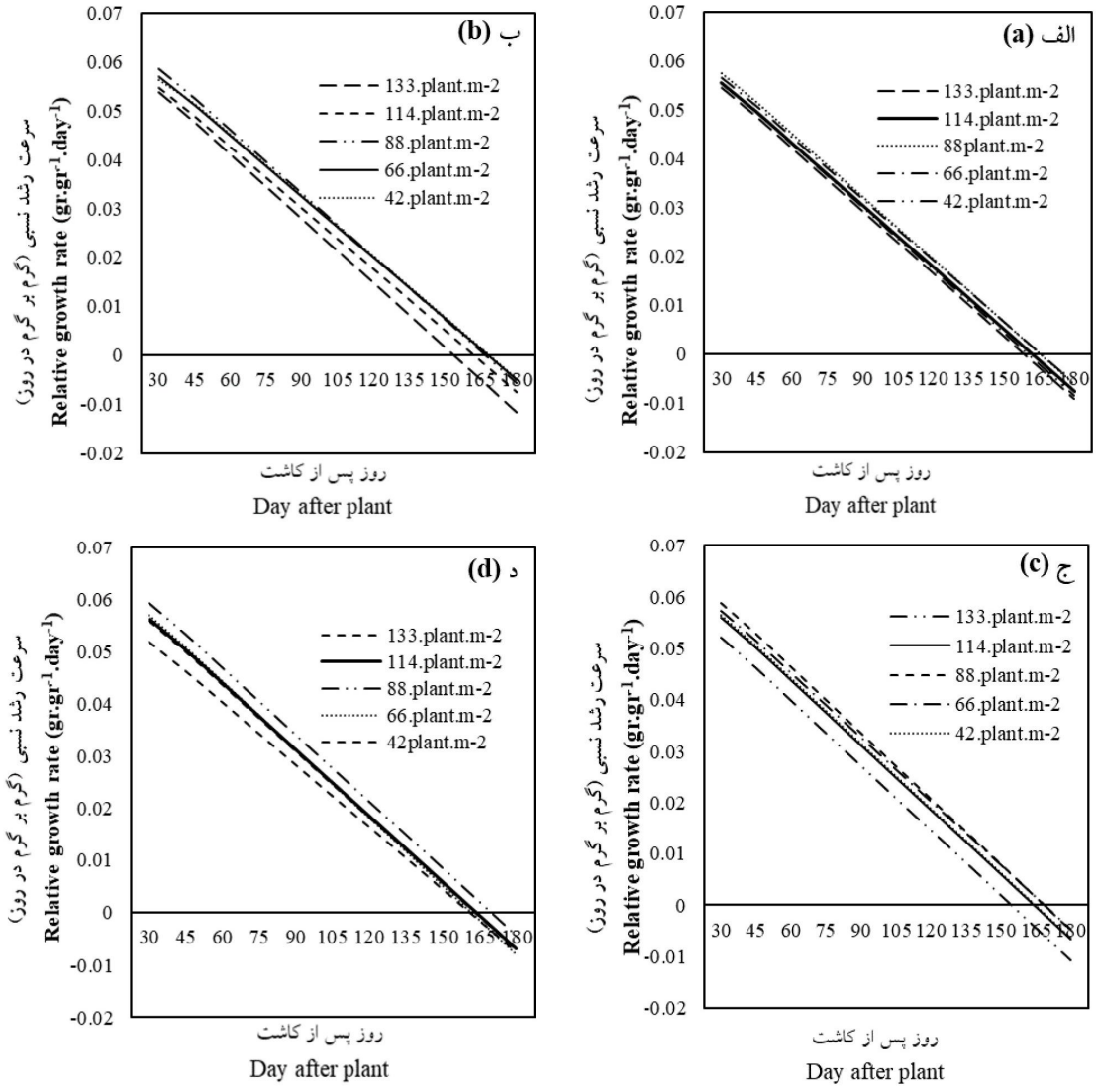



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول در ارقام هایولا ۴۰۱ (الف)، اگامکس (ب)، هایولا ۴۸۱۵ (ج) و تراپر (د) تحت تیمارهای مختلف تراکم بوته.

Figure 5- The trend of crop growth rate changes in a) Hyola 401, b) Agamax, c) Hyola 4815 and d) Trapper under different plant density of rapeseed.

**سرعت رشد نسبی:** سرعت رشد نسبی بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است و معمولا بر حسب گرم بر گرم در روز بیان می‌شود. هدف از اندازه‌گیری این شاخص ارزیابی راندمان تولید است. تغییرات سرعت رشد نسبی بر مبنای روزهای پس از کاشت در ترکیبات تیماری مختلف نشان می‌دهد که در تمام ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی، با افزایش سن گیاه کاهش یافته است (شکل ۶). کاهش سرعت رشد نسبی گیاه در طی فصل رشد، می‌تواند به پیری برگ‌های پایینی، در

سایه قرار گرفتن آن‌ها و همچنین، افزایش بافت‌ها و کربوهیدرات‌های ساختمانی (که در فتوسنتز نقشی ندارند) نسبت به بافت‌های متابولیکی فعال نسبت داده شود (۱۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی تراکم بوته بر سرعت رشد نسبی معنی‌دار بود و سایر اثرات تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳).




شکل ۶- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام هایولا ۴۰۱ (الف)، اگامکس (ب)، هایولا ۴۸۱۵ (ج) و تراپر (د) تحت تیمارهای مختلف تراکم بوته.

Figure 6- The trend of relative crop rate changes in a) Hyola 401, b) Agamax, c) Hyola 4815 and d) Trapper under different plant density of rapeseed.

نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر اصلی تراکم بوته نشان داد که بیش‌ترین سرعت رشد نسبی با میانگین ۰/۰۵۸۰ گرم بر گرم در روز مربوط به تراکم ۸۸ بوته در مترمربع بود. این در حالی بود که مقادیر کم‌تر و بیش‌تر از این مقدار بوته در متر مربع موجب کاهش سرعت رشد محصول گردید و کم‌ترین مقدار با میانگین ۰/۰۵۳۰ گرم بر گرم در روز نیز از ۴۲ بوته در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در تراکم‌های پایین به‌دلیل عدم پوشش کامل سطح خاک کارایی استفاده از منابع طبیعی کاهش یافته است. بنابراین، کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت با افزایش دریافت نور مواجه می‌شود (۳۶). کاهش

تبخیر از سطح خاک، بهبود جذب عناصر غذایی خاک و جلوگیری از رشد علف‌های هرز توانسته است سرعت رشد نسبی را بهبود بخشد (۲۴، ۳۲، ۳۸). در این ارتباط موسوی و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۹).

**سرعت فتوسنتز خالص:** سرعت جذب خالص مقدار ماده خشک تولید شده در واحد سطح برگ در واحد زمان است که شباهت خیلی زیادی به CGR دارد. مقدار جذب خالص تخمینی از فتوسنتز خالص برگ است. مقدار جذب خالص زمانی در حداکثر مقدار خود است که تمامی برگ‌ها به‌طور کامل تابش خورشیدی را دریافت کنند (۳۵). این مقدار با زمانی که اندازه گیاهان کوچک است و برگ‌ها به اندازه‌ای هستند که روی یکدیگر سایه‌اندازی ندارند، منطبق است (۲۷). در ابتدای فصل رشد همه برگ‌ها کوچک بوده و هیچ گونه سایه‌اندازی روی یکدیگر ندارند در نتیجه سرعت جذب خالص در بالاترین مقدار خود قرار دارد. هنگامی که برگ‌ها شروع به توسعه می‌نمایند؛ سایه‌اندازی آن‌ها روی یکدیگر بیش‌تر می‌شود و کارایی فتوسنتز برگ‌ها کاسته شده در نتیجه سرعت جذب خالص روند نزولی پیدا می‌کند (شکل ۷)؛ که به‌نظر می‌رسد این امر به‌دلیل سایه‌اندازی و ریزش برگ‌ها در مراحل انتهایی رشد باشد (۳۳). در بررسی روند تغییرات شاخص رشدی ذرت نتایج مشابهی مشاهده شد و گزارش شد که با نزدیک شدن به مراحل انتهایی رشد سرعت فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد و این مقدار کاهش در تیمارهایی که شرایط مطلوب‌تری داشتند کم‌تر از سایر تیمارها مشاهده گردید (۲).

جدول ۴- نتایج مقایسات میانگین اثرات تراکم و رقم بر مقادیر شاخص‌های رشد ارقام مختلف کلزا در مرحله گلدهی

Table 4- Mean comparison of plant density and cultivar effect of growth indices of different rapeseed cultivars

| تراکم (تعداد بوته در متر مربع) Density (plant $m^{-2}$) | سرعت رشد نسبی (گرم بر متر مربع در روز) Relative growth rate ($g.m^{-1}.day^{-1}$) | سرعت رشد محصول (گرم بر متر مربع در روز) Crop growth rate ($g.m^{-2}.day^{-1}$) | سرعت فتوسنتز خالص (گرم بر متر مربع در روز) Net assimilation rate ($g.m^{-2}.day^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 42 | $0.0530^{b}$ | $5.91^{d}$ | $2.99^{d}$ |
| 66 | $0.0547^{ab}$ | $7.53^{c}$ | $3.14^{c}$ |
| 88 | $0.0580^{a}$ | $11.36^{a}$ | $3.49^{a}$ |
| 114 | $0.0562^{ab}$ | $9.45^{b}$ | $3.40^{a}$ |
| 133 | $0.0555^{ab}$ | $8.08^{bc}$ | $3.25^{b}$ |

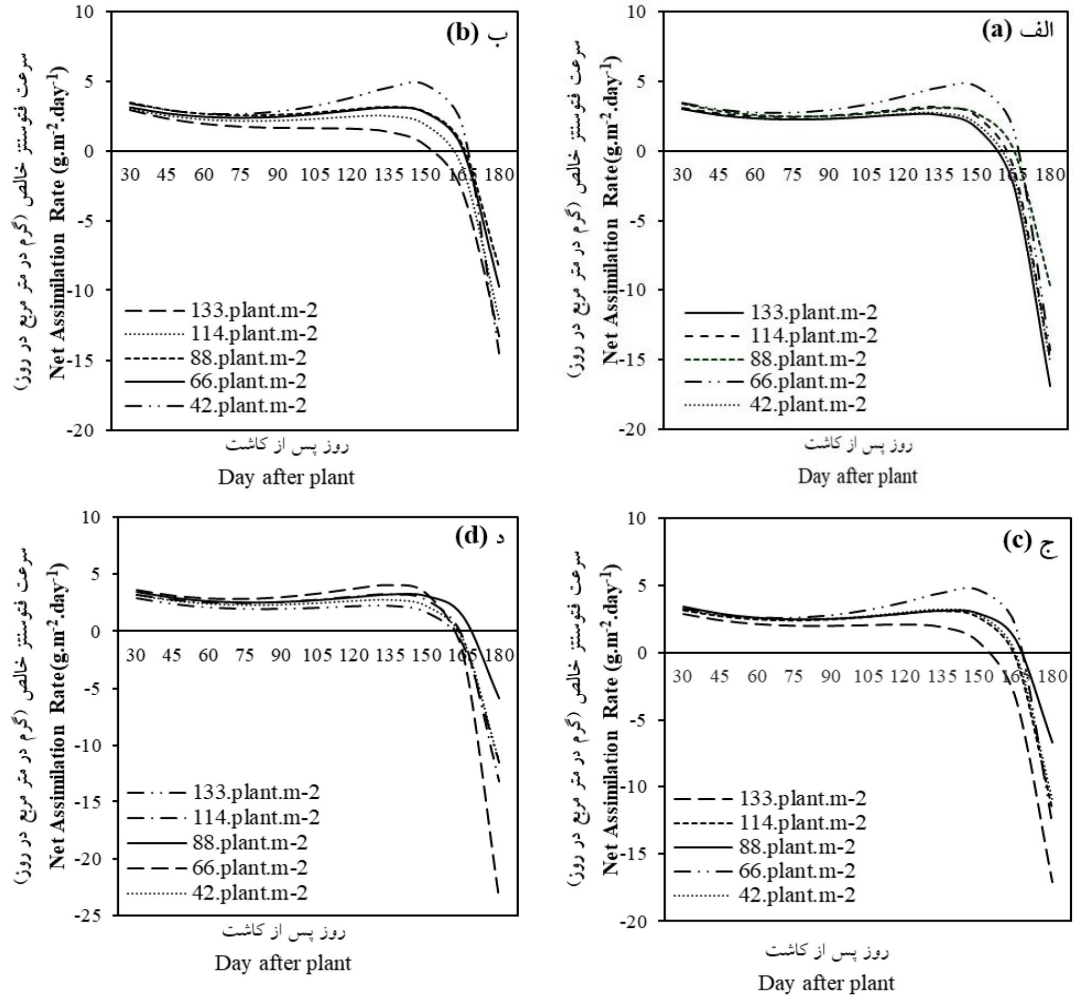
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters based on the LSD test do not have a significant difference (LSD 5%).

محققان اظهار داشته‌اند که نوع آرایش پوشش گیاهی و نحوه قرار گرفتن بوته‌ها، حتی در صورت ثابت بودن تعداد گیاهان در واحد سطح، بر NAR مؤثر است و بنابراین، کارایی فتوسنتز جامعه گیاهی در الگوهای مختلف کاشت، متفاوت خواهد بود (۱۵). نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن بود که اثر رقم و همچنین، اثر متقابل رقم در تراکم بر مقدار حداکثر سرعت فتوسنتز خالص کلزا تاثیر معنی‌داری نداشت و تنها اثر تراکم برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). طبق نتایج بیش‌ترین سرعت فتوسنتز خالص ۳/۴۹ گرم در متر مربع در روز بوده که مربوط به تراکم ۸۸ بوته در متر مربع بوده است و از نظر آماری با تراکم ۱۱۴ بوته در متر مربع در یک گروه قرار گرفته است. کم‌ترین میزان

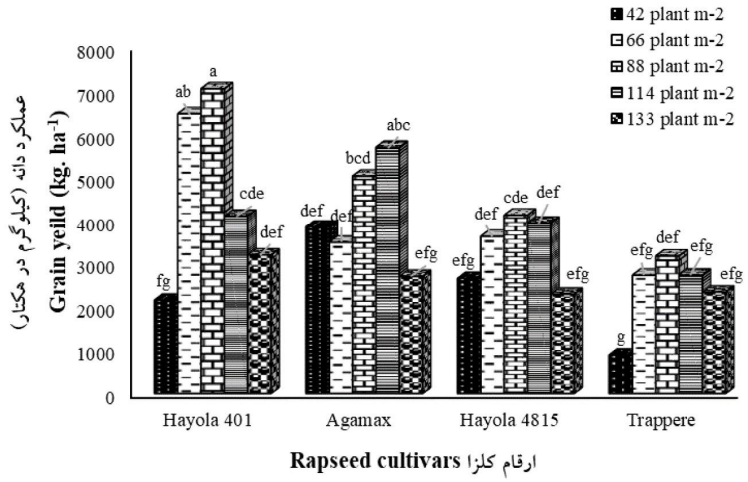
این صفت (۲/۹۹ گرم در مترمربع) نیز به تراکم ۴۲ بوته در مترمربع تعلق گرفت (جدول ۴).

**عملکرد دانه:** با استناد به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که اثرات اصلی رقم و تراکم بوته و برهم‌کنش این دو، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). در تمامی تراکم‌های مورد بررسی به جزء تراکم ۴۲ بوته در متر مربع، رقم هایولا ۴۰۱ بالاترین مقدار را دارا بود (شکل ۸). بالاتر بودن عملکرد دانه در تراکم ۸۸ بوته در متر مربع نسبت به چهار تراکم دیگر احتمالا بدلیل تعداد غلاف بیش‌تر در سطح و در نتیجه تعداد دانه در غلاف بیش‌تر در این تراکم می‌باشد. همچنین، این تراکم با ایجاد پوشش سبز بیش‌تر در واحد سطح (تولید ماده خشک بیش‌تر و شاخص سطح برگ بالاتر) (شکل ۱ و ۳) احتمالا توانسته به‌طور کارآمدتری از تشعشع خورشید در جهت تولید عملکرد اقتصادی بهره‌برداری کند. همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد عملکرد دانه با ماده خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.




شکل ۷- روند تغییرات سرعت فتوسنتز خالص در ارقام هایولا ۴۰۱ (الف)، اگامکس (ب)، هایولا ۴۸۱۵ (ج) و تراپر (د) تحت تیمارهای مختلف تراکم بوته

Figure 7- The trend of net assimilate rate changes in a) Hyola 401, b) Agamax, c) Hyola 4815 and d) Trapper under different plant density of rapeseed




شکل ۸- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل رقم در تراکم بوته بر عملکرد دانه کلزا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند)

Figure 3- Mean comparison of the interaction effects of cultivar on plant density on rapeseed grain yield (Means with similar letters based on the LSD test do not have a significant difference (LSD 5%))

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد بررسی تحت تیمارهای مختلف تراکم و رقم کلز

Table 5- Correlation coefficients between investigated traits of rapeseed density and cultivarsا

| عملکرد دانه yield | سرعت رشد نسبیRGR | سرعت رشد محصول CGR | شاخص سطح برگ LAI | ماده خشک کل TDM | عملکرد دانه yield | فتوسنتز خالص NAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ماده خشک کل TDM | -0.47* | 0.56** | 0.54** | 0.67** | 1 | 0.23ns |
| شاخص سطح برگ LAI | -0.46* | 0.92** | 0.76** | 1 | 0.67** | 0.65** |
| سرعت رشد محصول CGR | -0.15 ns | 0.83** | 1 | 0.76** | 0.54** | 0.31ns |
| سرعت رشد نسبی RGR | -0.35 ns | 1 | 0.83** | 0.92** | 0.56** | 0.55* |
| فتوسنتز خالص NAR | 1 | -0.35 ns | -0.15 ns | -0.46* | -0.47* | -0.44* |
| عملکرد دانه yield | -0.44* | 0.55* | 0.31 ns | 0.65** | 0.23 ns | 1 |

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

افزایش تراکم بوته از طریق کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته، باعث کاهش عملکرد دانه در تک‌بوته می‌شود، اما افزایش مطلوب تراکم منجر به جبران کاهش شاخه‌های فرعی و اجزای عملکرد گیاه از طریق افزایش تعداد بوته خواهد شد (۲۸). در همین راستا، جوزی و همکاران (۲۰۱۳) اظهار داشتند که افزایش تراکم تا ۱۰۰ بوته در متر مربع موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه کلزا گردید. آن‌ها همچنین گزارش کردند که رقم هایولا ۴۰۱ بیش‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (۱۹)، که با نتایج این تحقیق هم‌سو می‌باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص در ارقام و تراکم‌های

مختلف، مطلوب‌ترین تراکم تعداد ۸۸ بوته در متر مربع برای تمامی ارقام تعیین شد. همچنین، با افزایش تراکم بوته رقابت درون‌گونه‌ای بر سر منابع موجب کاهش هریک از شاخص‌های رشدی گردید، در مورد تراکم‌های پایین‌تر از حد مطلوب (۸۸ بوته در مترمربع) نیز به‌دلیل عدم بسته شدن تاج‌پوشش گیاهی و عدم استفاده مناسب از منابع توسط گیاه روند رشدی مطلوبی نداشتند. در رقم هایولا ۴۰۱ با تراکم ۸۸ بوته در متر مربع با حصول بیش‌ترین شاخص سطح برگ و همچنین ماده خشک کل که مهمترین عامل برای افزایش عملکرد هستند، بالاترین میزان عملکرد دانه (۷۰۳۱/۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. لذا با توجه به نتایج حاصله، رقم هایولا ۴۰۱ و تراکم ۸۸ بوته در مترمربع برای دست‌یابی به عملکرد بالا در کلزا قابل توصیه می‌باشد.

## منابع


1. Agha Mohammad Reza, M., Paknejad, F., Shirani Rad, A.H., Ardakani, M.R., and Kashani, A. 2019. Study of plant density and zinc application on some agronomic characteristics of 6 winter canola cultivars. Plant Ecophysio. 12: 42. 67-80. (In Persian)
2. Ahmadi, B., Shirani Rad, A.H., and Khorgami, A. 2014. The effect of plant population densities and cultivars on forage yield, qualitative traits and growth indices in canola forage (*Brassica napus* L.). Eur. J. Zoological Res. 3: 1. 62-70.
3. Amiry Taheriy, A. 2015. Canola planting technical advice in mazandaran. Coordination management of Mazandaran province.
4. Arasteh, E., and Farnia, A. 2013. Investigation the effect of drought tension and plant density on quality and quantity characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars in Lorestan climate conditions. Crop Physiol J. 5: 9. 99-111. (In Persian).
5. Azizi, M., and Mahrokh A. 2013. Plant density effect in different planting dates on growth indices, yield and yield component of *Zea mays* var. saccharata. Ir. J. Field Crops Res. 10: 4. 746-773. (In Persian)
6. Conley, P.S., Binning, L.K., Boerboom C.M., and Stoltenberg, D.E. 2002. Estimating giant foxtail cohort productivity in soybean based on weed density, leaf area, or volume. Weed Sci. 50: 1. 72-78.
7. Cousin, T.H., Burghoffer, A., Marget, P., Vingere, A., and Eteve, G. 1993. Morphological, physiological and genetic bases of resistance in pea to cold and drought. In K.B. Singh and M.C. Saxena (eds), Breeding for stress tolerance in cool food legumes.Weed Sci. 32: 7. 311-320.
8. Crotser, M.P., and Witt, W.W. 2000. Effect of soybean canopy characteristics, soybean interference and weed-free period on eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) growth. Weed Sci. 48: 2. 20-26.
9. Dadrasi, V.A., and Aboutalebian, M.A. 2015. Effect of on-farm seed priming on yield and yield components of two maize cultivars. J Crop Prod. Process. 5: 16. 153-162.
10. Ebrahimi, M. 2010. Effect of sowing date and plant density on yield, yield components soybean and weeds communities. MSc Thesis, University of Zanjan. (In Persian)
11. Enyi, B.A.C. 2007. Effect of plant population on growth and yield of soybean. J. Agri. Sci. 18: 1. 131-138.
12. Fathi S.A.A. 2017. Efect of strip-intercropping of spring canola with clover in improvement of natural biological control of *Plutella xylostella*. Plant Pest Res. 7: 1. 73-86.
13. Gabrielle, B., Denoroy, P., Gosse, G., Justes, E., and Andersen, M.N. 1998. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. Field Crop Res. 57: 1. 95-111.
14. Gangali, A., malakzadeh, S., and baghery, A. 2000. Investigation of plant density and planting arrangement on the trend of changes in chickpea growth indices under

plant density on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Agroecol J. 1: 12. 8-18.
25. Mazaheri, M., and Iilagh Chaghakhor, A. 2011. Effect of row spacing and plant density on some morphological traits, yield and seed protein in two chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). J. Plant Prod Sci. 2: 6. 97-108.
26. Mikaniki, J., Ashrafi, A., and Sadeghi, H.S. 2013. Feasibility study of rapeseed cultivation in Izeh county by using geographical information system (GIS). Geog Territ Spat Arrang. 8: 1. 101-114. (In Persian)
27. Morrison, M., Mcvetty, P., and Scarth, R. 1995. Effect of altering plant density on growth charcteristics of summer rape. Can J. Plant Sci. 70: 1. 139-149.
28. Mostafavi-Rad, M., Azad Marzabadi, M., and Faraji, S. 2013. Evaluation of agronomic and seed qualitative traits of superior winter rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties winter and spring. J. Appl. Crop Breed. 1: 1. 33-42.
29. Mousavi, J., Sam-Daliri. M., and Mobasser, M.R. 2011. Effect of planting row spacing on agronomic traits of winter canola cultivars. Aust. J. Basic. Appl. Sci. 5: 10. 1290-1294.
30. Naseri, R., Rahimy, M.G., Syadat, S.A., and Mirzaiy, A. 2015. The effect of supplementary irrigation and different plant densities on some morphological traits, yield, yield components and Chickpea seed protein content (*Cicer arietinum* L.) in Sirvan region in Ilam province. Ir. Cereals Res. 6: 1. 78-91.
31. Onofri, A., Tei, F., and Ciriciofolo, E. 1996. Effect of plant density and rolspacing on winter oil seed rape yield in the Mediterranean area. Agri. medil. 126: 1. 1. 40-49.
32. Ranjbar, H., Shoja, M.R., Samei, H., Pirasteh-Anosheh, H., and Salar, M.R. 2015. Influence of planting method and density on yield, yield components and oil percentage of rapeseed in different tillage systems. J. Plant Ecophysiol. 7: 23. 95-103. (In Persian)
33. Rastgoo, M., Ghanbari, A., Banayan, M., and Rahimiyan, H. 2005. Effects of amount and timing of nitrogen application Faryab conditions in Neishabour region. J. Agri. Sci. 14: 2. 33-41
15. Gardner, F., Balle, P.R., and McCloud, D.E. 1990. Yield characreristics of ancient races of maize compared to a modern hybrid. Agron J. 82: 6. 864-868
16. Haefele, S.M., Johnson, D.E., Bodj, D.M., Wopereis, M.C.S., and Miezan, K.M. 2004. Field screening of diverse rice genotypes for weed competitivness in irrigated lowland ecosystems. Field Crop Res. 88: 7. 39-56.
17. Hosseinpour, M., Pirzad, A.R., Habibi, H., and Fotokian, M.H. 2011. Effect of biological nitrogen fertilizer (Azotobacter) and plant density on yield, yield components and essential oil of Anise. Agric Sci. Sustain Prod. 21: 1. 69-88. (In Persian)
18. Jabbari, H., Akbari, GH.A., Khosh Kholgh Sima, N.A., Shirani Rad, A.H., Alahdadi, I., and Tajodini, F. 2015. Study of agronomical, physiological and qualitative characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress. Environ Stress. Crop Sci. 8:1. 35-49. (In Persian)
19. Joozi, S., Sadeghi, M., and Tohidi, M. 2013. Effect of plant density on grain yield components of three rapeseed hybrids under Dezful climate. J. Manag Syst. 7:1. 1-9. (In Persian)
20. Karimi, M.M., and Siddique, H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. Aust J. Agric Res. 42: 2. 13-20
21. Kazemeini, S.A., Edalat, M., Shekoofa, A., and Hamidi, R. 2010. Effects of nitrogen and plant density on rapeseed (*Brassica napus* L.) yield and yield components in Southern Iran. J. Appl. Sci. 10: 1461-1465. (In Persian).
22. Khoshhal dastjerdi, J., and Baratian, A. 2010. Thermal requirements estimation of the phenological stages of autumn colza slm046, okapi in Iranian cold climatic conditions (shahrekord case study). Phys Geog Res Quart. 70: 1. 35-44.
23. Kuchaky, A., and Sarmladnya, GH. 2005. Plant Physiology. Translated by Mashhad University Jihad Publications. 400 p.
24. Kuchaky, A., Azizi, M., and Noroozian, A. 2016. Evaluation of a wide range of

and weed density on wild mustard (*Sinapis arvensis*) seed production in winter wheat. Ir. Agron. Res. 3: 6. 45-56.
34. Sayadian K., and Taliei A.A. 2000. The effect of supplemental irrigation on rainfed wheat. Soil. Waters Sci. 14: 1. 57-68.
35. Shaw, R.H., and Weber, C.R. 1967. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. Agron. J. 59: 2. 155-159.
36. Sina, V., and Rameeh, V. 2012. Effect of seeds rates on yield and yield components of three rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties in Neka, Mazandaran. Agroecol J. 3: 4. 500-505. (In Persian)
37. Sirati, Y., Pill, W.G., and Kee, W.E. 2002. Lima bean *(Phaseolus vulgaris* L.) response to irrigation and plant population densities. Horti. Sci. 29: 2. 71-73.
38. Soleymanifard, A. Naseri R., and Karami R. 2015. Seed yield and some agronomic traits of maize (*Zea mays* L.) as affected by different planting patterns. J. Crop Ecophys. 9: 3. 46-56.
39. Tavassoli, A., Moussavi, T., Piri, I., and Babaeian, M. 2018. Effect of plant density and weed controlling on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). J. Agroecol. 10: 1. 94-106. (In Persian)
40. Thurling, N. 1974. Morphological determinants of yield in rapeseed growth and morphological characters. Aust J. Agri. Res. 25: 9. 697-710.
41. Torabi Jefroodi, A., Hassanzadeh, A.A., and Fayyaz Moghadam, A. 2010. Effect of plant population on some morphophysiological traits in common chickpea cultivar (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Agric. Sci. 36: 3. 629-639.
42. Vujakovic, M., Marjanovic, A., Jovicic, D., and Marinkovic, R. 2015. Dependence of rapeseed quality and yield on density, variety and year of production. Origin Sci. Paper. 52: 2. 61-66.
43. Yantai, G., Harker, K.N., Kutcher, H.R., Gulden, R.H., Irvine, B., May, W.E., and O'Donovan, J.T. 2015. Canola seed yield and phenological responses to plant density. Can J. Plant Sci. 96: 2. 151-159.
44. Zabarjadi, A.R., and Ghobadi, M. 2009. Response of yield and yield components of canola cultivars to different seeding rates in dryland conditions of Kermanshah province. J. Plant Prod Technol. 9: 1. 45-53. (In Persian)
45. Zahed, M., Galeshi, S., Latifi, N., Soltani, A., and Calate, M. 2012. The effect of plant density on seed yield and yield components in modern and old wheat cultivars. Crop Prod. 4: 1. 201-209.