نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۳(۶۷)، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۳۳۲-۳۱۵

مقاله پژوهشی DOI:

ارزیابی رشد، عملکرد، محتوای روغن، کارایی آب و نیتروژن آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus* L.) درسطوح مختلف تراکم بوته و میزان نیتروژن

مرتضی معتمد[۱]، شهرام رضوان[۲*]، زرین‌تاج علیپور[۲]، قنبر لایی[۳] و جعفر مسعود سینکی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تراکم‌های کاشت و مقادیر مختلف نیتروژن بر شاخص سبزینگی و سطح برگ، عملکرد دانه و روغن، کارایی مصرف آب و نیتروژن در گیاه آفتابگردان، آزمایشی در بهار سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقات کشاورزی استان سمنان اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تراکم کاشت در چهار سطح (چهار، شش، هشت و ۱۰ بوته در متر مربع) به‌عنوان عامل اصلی و میزان کود نیتروژن (در پنج سطح عدم کاربرد، مصرف ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. صفات شاخص سبزینگی برگ، ارتفاع گیاه، وزن صد دانه، محتوی نیتروژن دانه و محتوی درصد روغن دانه تحت تأثیر اثر ساده تراکم کاشت معنی‌دار شد به نحوی‌که با افزایش تراکم بوته از میزان صفات فوق کاسته شد. همچنین، عامل نیتروژن، صفات مورد بررسی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که با افزایش میزان نیتروژن مصرفی، از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، شاخص سبزینگی برگ ۱۵/۳ درصد افزایش یافت. بیشترین مقادیر صفات ارتفاع بوته (۱۴۹/۳ سانتی‌متر)، وزن صد دانه (۵/۴ گرم) و نیتروژن دانه (۵۴/۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و به‌ترتیب ۱۴/۱۳، ۹/۰۷ و ۲۴/۳ درصد بیشتر از عدم کاربرد به‌دست آمد. مقایسه نتایج کارایی مصرف آب حاکی از آن بود که در تراکم چهار بوته در متر مربع و افزایش نیتروژن مصرفی، همراه با افزایش ارتفاع و شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب نیز افزایش یافت اما سطوح بالاتر تراکم منجر به کوچک‌تر شدن اندازه گیاه، کمتر شدن زیست توده گیاه و کاهش کارای آب مصرفی شد. بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تراکم هشت بوته در متر مربع و عدم کاربرد کود نیتروژنه به‌دست آمد. در نهایت، حداکثر عملکرد دانه (۴۰۱۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۱۸۲۷ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و تراکم هشت بوته در متر مربع به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: اوره، تراکم کاشت، دانه‌های روغنی، درصد روغن، نیتروژن دانه.

۱- گروه کشاورزی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

۲- گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات تولید و فن آوری داروی گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان ، ایران.

۳- گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات محصولات زراعی و باغی استراتژیک، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان ، ایران.

نگارنده مسئول *shahram_rezvan@yahoo.com & rezvanshahram92@gmail.com*

مقدمه

امروزه بیشتر زمین‌های تولید گیاهان زراعی روغنی دنیا زیر کشت معدودی از دانه‌های روغنی از قبیل سویا (*Glycine max* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.) و پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) هستند (Salifu and Dóka, 2019). این گیاهان علاوه بر حساسیت بالا به شرایط محیطی، برای رسیدن به عملکردی مطلوب به مقادیر زیادی از نهاده‌های کشاورزی به ویژه نیتروژن نیاز دارند. بدیهی است که مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی برای حفظ عملکرد این گیاهان پرتوقع با تولید پایدار محصولات زراعی تناقض دارد. در ایران با توجه به حاصلخیزی کم مزارع و شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، فراهم کردن نیاز غذایی و حفظ عملکرد این گیاهان مشکلات زیست محیطی و اقتصادی زیادی را در برداشته است. برای حفظ عملکرد، لازم است وضعیت عناصر غذایی خاک از راه رعایت تناوب زراعی صحیح، افزودن کودهای آلی و یا کاربرد کودهای معدنی در حد مطلوب حفظ شود. از میان تمام عناصر غذایی، نیتروژن به‌عنوان محدود کننده‌ترین ماده غذایی شناخته می‌شود که با توجه به نقش نیتروژن در بیوسنتز ترکیبات متعدد از جمله اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها، سهم مهمی در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان دارند. با وجود این، مصرف نیتروژن زیاد در مزارع می‌تواند علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید و کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان در اثر برهم خوردن توازن رشد رویشی و زایشی عواقب منفی متعددی نیز برای اکوسیستم زراعی و محیط زیست داشته باشد. از طرفی، کمبود نیتروژن نیز می‌تواند منجر به کاهش تولید ماده خشک، پروتئین خام و عملکرد دانه گردد (Kaiser *et al*., 2011).

در همین راستا با ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن می‌توان برای مدیریت کودهای نیتروژن-دار بهتر تصمیم‌گیری کرد. عوامل ژنتیکی، محیطی و زراعی نقش مهمی در شکل‌گیری عملکرد و کارایی استفاده از نیتروژن دارند؛ که در میان عوامل زراعی مختلف، مدیریت کود نیتروژن و تراکم بوته می‌توانند با تغییر در عملکرد زیستی و اقتصادی گیاه نقش اساسی در افزایش کارایی نیتروژن داشته باشند (Arnall *et al*., 2013). نتایج یک تحقیق نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، متوسط وزن خشک زیست توده گیاه آفتابگردان به طور معنی‌داری افزایش یافت (Schultz *et al*., 2018). در همین تحقیق، حداکثر عملکرد دانه و وزن هزار دانه به‌ترتیب با میانگین ۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۴۵ گرم در سطح ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. در واکنش ارقام مختلف آفتابگردان، و سطوح کودی صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، اگرچه به کارگیری مقدار ۲۰۰ کیلوگرم منجر به افزایش ۱۶ درصدی عملکرد گیاه شد، اما این مقدار کود باعث کاهش شدید کارایی نیتروژن شد (Malligawad *et al*., 2004). از طرفی گزارش شده کاهش مقدار کود نیتروژن در آفتابگردان بدون کاهش قابل توجه در عملکرد دانه باعث بهبود کارایی نیتروژن شد (Mohammadi *et al*., 2013).

از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد دانه، تراکم مطلوب بوته می‌باشد. نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها در مزرعه بر جذب و بهره‌وری از عوامل محیطی مؤثر بر رشد و رقابت درون و برون بوته‌ای تأثیر گذاشته و از عوامل تعیین کننده عملکرد

دانه است (Li *et al*., 2019). با کاهش فاصله بین بوته‌ها، مزرعه سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ برای جذب کامل تابش خورشیدی می‌رسد و در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری برای ایجاد زیر بنای لازم در تشکیل تعداد بیشتر اجزای عملکرد تولید شده و سرانجام عملکرد دانه بیشتر می‌گردد. در مطالعات گذشته به این نتیجه رسیدند که در گیاهان مختلف، رابطه بین تولید بذر و تراکم بوته متفاوت است (Pereira and Hall, 2019). با افزایش تراکم بوته‌ها عملکرد دانه تا حدی افزایش یافته و در یک دامنه ثابت مانده و سپس با افزایش فشار جمعیت، حتی وقتی رطوبت و مواد غذایی عامل محدود کننده نیست عملکرد بذر به سرعت کاهش یافت. در بررسی که روی کشت آفتابگردان در سه تراکم بوته ۶، ۸ و ۱۰ بوته در متر مربع انجام شد، نتایج حاصل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تراکم ۶ بوته در متر مربع، با ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (Cucci *et al*., 2017).گزراش شده است که کشت گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) در اقلیم کرج، در تراکم ۱۵۰ بوته در مترمربع (پرتراکم) نسبت به ۶۰ بوته در مترمربع (الگوی متعارف)، ضمن افزایش عملکرد، با افزایش مقدار نفوذ ریشه در خاک منجر به بهبود کارایی نیتروژن شد (Zaman Fashami *et al*., 2019).

بنابراین، نظر به اینکه کودهای شیمیایی نیتروژن نقش مهمی را در تولیدات گیاهی ایفاء می‌کند، بررسی میزان کاربرد آن برای هر محصول گیاهی از اهمیت بسزایی برخوردار است. همچنین تنظیم فاصله گیاهان و تغییر تراکم بوته به عنوان یک ابزار قوی برای کنترل رقابت درون گونه‌ای به منظور تولید بیشترین عملکرد می‌باشد. بنابراین، در این تحقیق تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و تراکم کاشت روی عملکرد دانه و روغن، درصدروغن دانه، کارایی مصرف نیتروژن و آب آبیاری در شرایط آب و هوایی دامغان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مقدار کود نیتروژن‌دار اوره و تراکم بوته بر شاخص سطح و سبزینگی برگ، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، محتوی روغن دانه، عملکرد دانه و روغن، کارایی مصرف نیتروژن و آب آبیاری در گیاه آفتابگردان رقم فرخ، آزمایشی به صورت مزرعه‌ای در کشت بهاره سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)، باعرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۲۷ متری از سطح دریا انجام گرفت. این منطقه بر اساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک جزو مناطق سرد و خشک محسوب می‌شود. میانگین بارندگی منطقه ۱۴۷/۳ میلی‌متر در سال است که عمدتاً از اواخر پاییز تا اوایل بهار رخ می‌دهد. میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه ۳۲ درجه سلسیوس، میانگین حداقل درجه حرارت، یک درجه سلسیوس و میانگین درجه حرارت منطقه ۱۵/۵ درجه سلسیوس است. بر اساس نتایج آزمایش خاک منطقه از نوع لومی-شنی بود که تا عمق۵۰ سانتی‌متری حاوی ۳۲۰ و ۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و فسفر قابل دسترس، نیترون کل ۰/۰۶ درصد، اسیدیته گل اشباع ۷/۷۲، وزن مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم در سانتی‌متر مکعب، ۰/۳ درصد ماده آلی و هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود.

مزرعه آزمایشی در سال قبل تحت آیش بود و جهت آماده‌سازی زمین ابتدا زمین را شخم زده سپس برای خردکردن کلوخه‌ها و تسطیح از

دیسک استفاده شد که در انتها توسط شیارساز پشته‌هایی با فواصل ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تراکم کاشت به عنوان عامل اصلی (چهار، شش، هشت و ۱۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب با فاصله روی ردیف ۴۲، ۳۱/۵، ۲۱ و ۱۷ سانتی‌متر (Zareei Siahbidi and Rezaizad, 2017) و چهار سطح کود نیتروژن شامل عدم کاربرد (صفر)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره ۴۶ درصد نیتروژن) به‌عنوان عامل فرعی بود. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت چهار متری بود که دو ردیف کنار حاشیه و سه ردیف میانه به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، عملکرد و اجزای عملکرد در نظر گرفته شدند. بین هر یک از بلوک‌ها و کرت‌های فرعی، به‌ترتیب دو متر و یک کرت نکاشت (به عرض یک متر و عمق ۷۰ سانتی‌متر) به‌منظور جلوگیری از تداخل رواناب تیمارها با یکدیگر در نظر گرفته شد. کاشت در ۹ تیرماه و به‌صورت دستی انجام شد. به‌منظور دست‌یابی به تراکم مورد نظر ابتدا بذر بیشتری (به‌صورت کپه‌ای) و در عمق سه تا ۵ سانتی‌متری خاک کاشته شد و پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها (مرحله چهار برگی) اقدام به تنک کردن گردید. با توجه به نبودن علایم خسارت آفات و بیماری‌ها در طول دوره رشد گیاه، هیچ‌گونه سموم شیمیایی در طول آزمایش استفاده نشد. علف‌های هرز در طول فصل رشد از طریق وجین دستی کنترل شدند و بر اساس نتایج آزمایش خاک، هیچ‌گونه فسفر و پتاسیمی به خاک اضافه نشد. آبیاری به صورت قطره‌ای و بر اساس نیاز آبی گیاه در هر مرحله از رشد و عرف منطقه صورت گرفت (Shabani *et al*., 2013) و در طول آزمایش، حجم آبیاری لازم برای تأمین نیاز آبی به وسیله کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ مترمکعب ثبت شد. در پایان مرحله پر شدن دانه‌ها، از چهار بوته از هر کرت، شاخص سطح برگ و شاخص سبزینگی برگ (روی برگ‌های کاملاً رشدیافته) به‌ترتیب با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (Delta-T area meter; Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) و اسپاد (SPAD-502, Minolta Company, Japan) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (۲۱ مهر ماه) عملکرد دانه پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت (از سه خط میانی کاشت) و مساحتی معادل ۲/۴ مترمربع اندازه‌گیری و به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. پس از اندازه‌گیری ارتفاع بوته از سطح خاک تا زیر طبق، دانه‌ها به صورت دستی از طبق جدا و به‌صورت تصادفی، پنج تکرار ۱۰۰ تایی از بذور هر تیمار انتخاب و پس از اندازه‌گیری با ترازوی دیجیتال (۰/۰۱ گرم) میانگین آن‌ها به‌عنوان وزن صد دانه انتخاب شد. دانه‌ها آسیاب شده و به‌منظور اندازه‌گیری محتوی روغن دانه به‌وسیله دستگاه سوکسله و با استفاده از حلال پترولیوم اتر (Petroleum ether) (Valipour dastenaei *et al*., 2020) و محتوی نیتروژن دانه با عصاره هضم و به‌روش کجلدال (Beljkas *et al*., 2010) مورد استفاده قرار گرفتند. عملکرد روغن دانه (بر حسب کیلوگرم در هکتار) نیز بر اساس حاصل‌ضرب عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در روغن دانه (درصد) محاسبه شد. کارایی آب آبیاری (Irrigation water productivity; IWP) بر اساس نسبت مقدار ماده خشک تولید شده (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرف شده (متر مکعب) محاسبه

شد (Gholamhoseini *et al*., 2013). کارای مصرف نیتروژن (کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن به کار برده شده) نیز بر اساس نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (Ramesh, 2017).

نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌ها در صفحات گسترده برنامه Excel وارد شده و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مطابق روش تجزیه واریانس (PROC ANOVA) از برنامه آماری SAS ver.9.2 استفاده شد و میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. رسم شکل با استفاده از داده‌پرداز Microsoft Office 2013 انجام شد. شایان ذکر است برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن سطح عدم کاربرد نیتروژن از سطوح تیماری حذف شد، به همین دلیل نتایج این صفت در جدول تجزیه وارانس وارد نشده است و نتایج به صورت جداگانه مورد تجزیه و مقایسه میانگین قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر تیمارهای اعمال شده بر صفات مورد مطالعه بود به‌طوری‌که جز برهمکنش دوگانه تراکم کاشت × مقادیر نیتروژن در صفات شاخص سبزینگی برگ، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، محتوی نیتروژن دانه و محتوی روغن دانه، باقی صفات مورد بررسی متأثر از اثرات ساده و برهمکنش آنها قرار گرفتند (جدول ۱).

سبزینگی برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تراکم کاشت نشان داد که افزایش تراکم گیاه در واحد سطح منجر به کاهش شاخص سبزینگی برگ شد اگرچه در سطوح چهار، شش و هشت بوته در متر مربع، کاهش شاخص سبزینگی برگ معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین و کمترین شاخص سبزینگی برگ به‌ترتیب در تیمارهای چهار و ۱۰ بوته در متر مربع (به‌ترتیب با میانگین‌های ۵۴/۰۱ و ۴۲/۶) به‌دست آمد که حاکی از اختلافی ۲۱/۱۲ درصدی بیشترین و کمترین شاخص سبزینگی بودند. مقادیر کاربرد نیتروژن نیز تأثیر معنی‌داری بر شاخص سبزینگی برگ داشت به‌طوری‌که کمترین و بیشترین شاخص سبزینگی برگ به ترتیب در تیمارهای عدم کاربرد کود اوره و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار با میانگین‌های ۴۵/۳ و ۵۳/۵ به‌دست آمد که نشان از افزایش ۱۵/۳ درصد شاخص سبزینگی برگ به علت مصرف کود نیتروژن نسبت به عدم مصرف بود (جدول ۲). همچنین، نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که تمام سطوح دارای کود اوره اختلاف آماری معنی-داری نداشتند.

پایین بودن میزان شاخص سبزینگی برگ در تراکم بالا را می‌توان ناشی از عوامل درونی گیاه عنوان کرد که به علت رقابت بوته‌ها در جذب آب و مواد غذایی خاک به‌وجود می‌آید. از طرفی کاهش شاخص سبزینگی در تراکم‌های بالا را می-توان به کاهش مقدار نفوذ نور به درون کانوپی و افزایش رقابت درون بوته‌ای برای منابع تغذیه‌ای به‌ویژه نیتروژن نسبت داد (Keshavarz *et al*., 2018).

غلامحسینی و همکاران (Gholamhoseini *et al*., 2013) طی یک مطالعه روی گیاه آفتابگردان اظهار داشتند که میزان سبزینگی برگ و تعداد بوته در واحد سطح تا حدی رابطه مستقیمی با هم دارند و افزایش بیشتر تراکم منجر به کاهش سبزینگی برگ می‌شود. همچنین، در راستای افزایش سبزینگی برگ با افزایش میزان

نیتروژن مصرفی، نتایج مشابهی توسط امان‌الله و همکاران (Amanullah *et al*., 2012) گزارش شده است که طی آن مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره باعث افزایش ۳۱ درصدی شاخص سبزینگی برگ ذرت شد که علت آن را می‌توان به نقش مستقیم نیتروژن در ساختار کلروفیل و نقش غیرمستقیم نیتروژن از طریق تأثیر بر عنصر آهن در فرایند فتوسنتز دانست. گزارش شده که کمبود نیتروژن می‌تواند باعث اختلال در نقش آهن در تولید کلروفیل شود (Keshavarz *et al*., 2018).

شاخص سطح برگ

نتایج برهمکنش تراکم کاشت و مقادیر نیتروژن حاکی از آن بود که تراکم کاشت شش بوته در متر مربع و عدم مصرف نیتروژن (۱/۲۶) دارای کمترین شاخص سطح برگ در بین سایر تیمارها بود (جدول ۳). همچین با تیمار عدم مصرف کود در سایر سطوح تراکم کاشت در یک گروه آماری قرار داشتند. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار چهار بوته در متر مربع و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار با میانگین ۲/۷۸ به‌دست آمد که افزایشی ۵۴/۶ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کود در تراکم چهار بوته در متر مربع داشت. همچنین، در تراکم چهار بوته در متر مربع، بین سطوح کودی دارای کود اوره تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمارهای چهار و شش بوته در متر مربع، افزایش مقادیر نیتروژن منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد اما در تیمارهای هشت و ۱۰ بوته در متر مربع، در سطوح کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار شاخص سطح برگ روندی کاهشی داشت. با توجه به میانگین سطوح کودی در هر سطح از تراکم کاشت، افزایش بوته در واحد سطح منجر به کاهش شاخص سطح برگ شد. در تراکم چهار بوته درمترمربع، گیاهچه‌ها فضای کافی برای رشد و نمو بیشتری در اختیار دارند و به نحو مناسب‌تری از نور خورشید استفاده می‌کنند، در نتیجه سطح برگ بیشتری تولید می‌شود. به‌عبارت دیگر، بوته‌ها در فواصل دورتر به علت اینکه رقابت کمتری برای عوامل محیطی و خاکی دارند، توان تولید برگ‌های بیشتری را خواهند داشت. با افزایش تراکم، رقابت برای نور، آب و عناصر غذایی بیشتر شده که منجر به کاهش رشد و نمو گیاهان می‌شود. از طرفی افزایش تراکم منجر به قرارگیری برگ‌های پایینی در سایه دیگر برگ‌ها می‌شود که پیری زودرس و ریزش برگ‌ها را به دنبال دارد. تراکم ۱۰ بوته در مترمربع در ابتدای فصل، مانع رشد مناسب و یکنواخت گیاه زراعی شده است. همچنین، تراکم‌های زیاد در مراحل پایانی به دلیل غیریکنواختی در آرایش فضایی اندام‌های هوایی و رشد نامتعادل، نفوذ نور را به لایه‌های زیرین کانوپی و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را دچار اختلال می‌کند. گزارش شده با افزایش تراکم سویا از ۳۰ به ۶۰ بوته در متر مربع، میزان شاخص سطح برگ افزایش یافته که این امر به دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای گیاه زراعی است (Soltani *et al*., 2018). از طرف دیگر، رابطه مستقیم و خطی بین تراکم بوته و شاخص سطح برگ آفتابگردان گزارش شده است که حاکی از پاسخ متفاوت گیاهان به تراکم کشت است (Zareei Siahbidi and Rezaizad, 2017). افزایش شاخص سطح برگ در مقادیر بیشتر نیتروژن اساساً به نقش این عنصر در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مربوط می‌شود. در واقع، افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه منجر به افزایش فتوسنتز و بالطبع افزایش شیره پرورده خواهد شد که در نهایت باعث افزایش ماده خشک گیاهی

شامل عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد. همچنین، عدم کاربرد کود اوره سرعت گسترش و دوام سطح برگ را کاهش می‌دهد که در این شرایط راندمان استفاده از نور خورشید کاهش می‌یابد (Ghaderi *et al*., 2016). گزارش شده کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار باعث افزایش شاخص سطح برگ در گیاه نعناع‌فلفلی (*Mentha piperitha* L.) شده است (Keshavarz Mirzamohammadi *et al*., 2021).

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته با افزایش تراکم بوته کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب در سطوح چهار و ۱۰ بوته در متر مربع با میانگین‌های ۱۶۶/۴ و۱۲۲/۷ سانتی‌متر به‌دست آمد که اختلافی ۲۶/۲۶ درصدی با هم داشتند (جدول ۲). بین سطوح شش و هشت بوته در مترمربع اختلاف آماری مشاهده نشد. ارتفاع بوته متأثر از مقادیر نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار افزایش داشت. مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار منجر به کاهش غیرمعنی‌دار ارتفاع بوته شد. بیشترین و کمترین ارتفاع بوته در سطوح ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۴۹/۳ سانتی‌متر) و عدم مصرف کود نیتروژن‌دار اوره (۱۲۸/۲ سانتی‌متر) با کاهش ۱۴/۱۳ درصدی به‌دست آمد (جدول ۲). از نتایج به‌دست آمده می‌توان این‌گونه برداشت کرد که افزایش تراکم بوته باعث کاهش ارتفاع بوته‌ها شد که علت آن را می‌توان رقابت به‌وجود آمده برای نور، آب و مواد غذایی عنوان کرد. نتایج این مطالعه با گزارش‌های سایر محققین بر روی گیاه آفتابگردان همخوانی دارد (Ghaderi *et al*., 2016).

در مطالعه‌ای بر روی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) به این نتیجه رسیدند که تراکم بوته بر ارتفاع بوته تأثیرگذار بوده و تراکم‌های بالا باعث کاهش ارتفاع گردیده است که علت آن محدودیت فضای موجود و رقابت برای آب و عناصر غذایی در بین بوته‌ها گزارش شده است (Fakhri *et al*., 2023). همچنین، گزارش شده است که مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار موجب افزایش ۲۲/۵ درصدی در ارتفاع بوته ذرت شد (Nemati and Seyed Sharifi, 2012). نیتروژن در فرآیندهای رشدی گیاه از جمله ساخت کلروفیل، ساخت تیلاکوییید و توسعه کلروپلاست نقش مهمی دارد. از طرفی، از آنجا که جذب نیتروژن در مراحل ابتدایی رشدی گیاه به شدت صورت می‌گیرد (Zhu *et al*., 2016)، با افزایش نیتروژن در گیاه، سرعت فتوسنتز برگ‌ها بیشتر شده و ماده خشک بیشتری تولید می‌کنند. از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط کرد که فراهم نمودن نیتروژن، منجر به بهبود رشد و نمو و در نتیجه افزایش برخی صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته شده است.

وزن صد دانه و عملکرد دانه

با افزایش تعداد بوته در متر مربع، وزن صد دانه کاهش پیدا کرد و بیشترین وزن صد دانه (۵/۸۴ گرم) در تیمار چهار بوته در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۲). کمترین وزن صد دانه در تیمار هشت بوته در متر مربع و ۱۹/۱۷ درصد کمتر از تیمار برتر (چهار بوته در متر مربع) مشاهده شد. با این حال، بین سطوح شش، هشت و ۱۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). کاربرد کود اوره منجر به افزایش وزن صد دانه آفتاب‌گردان شد به‌طوری‌که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار با میانگین ۵/۴ گرم دارای بیشترین وزن صد دانه بود و نسبت به عدم مصرف کود اوره (۴/۹۱ گرم) ۹/۰۷

درصد وزن صد دانه بیشتری داشت (جدول ۲). اگرچه تمام سطوح کودی دارای کود اوره در یک گروه آماری قرار داشتند. در تیمار هشت بوته در مترمربع و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۰۱۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد در همین سطح تراکم و در تراکم چهار بوته در متر مربع به‌ترتیب ۳۲/۳۲ درصد و ۴۹/۸۲ درصد افزایش داشت (جدول ۳). در سطوح تراکمی چهار و شش بوته در متر مربع، افزایش مقادیر نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه شد اما در سطوح تراکمی هشت و ۱۰ بوته در مترمربع، به‌ترتیب در سطوح ۲۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. همچنین، با توجه به میانگین‌های سطوح کودی، با افزایش تراکم کاشت، میزان عملکرد دانه نیز تا سطح هشت بوته در متر مربع افزایش یافت اما تیمار ۱۰ بوته در متر مربع باعث کاهش عملکرد دانه شد (جدول ۳). مشخص شده است که کاهش وزن صد دانه در تراکم‌های بالا به دلیل وجود رقابت بین بوته‌های مجاور در جذب رطوبت و مواد غذایی خاک می‌باشد (Shahri *et al*., 2013). به‌نظر می‌رسد که با افزایش تراکم بوته، تحت تأثیر افزایش رقابت درون‌گونه‌ای، وزن ۱۰۰ دانه به‌علت عدم کفایت مواد فتوسنتزی در پُر شدن دانه کاهش یافته است. برخی دیگر از محققان گزارش نمودند که با کاهش تراکم، رقابت بین بوته‌ها کاهش یافته و در نتیجه استفاده هر بوته از مواد غذایی بیشتر می‌شود و از آنجا که تعداد دانه در هر طبق تغییر نمی‌کند، اثر خود را با افزایش وزن هر دانه نشان می‌دهد (Hosseini Valiki *et al*., 2015). از دیگر علل کاهش وزن صد دانه در تراکم بالا را می‌توان افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها و رقابت بیشتر برای دریافت منابع خصوصاً نور خورشید دانست که باعث افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز مؤثر در بوته (محدودیت منبع) شده که کاهش معنی‌دار وزن دانه را به دنبال دارد. ال-ستار و همکاران (EL-Satar *et al*., 2017) نیز گزارش کردند که افزایش تراکم بوته در ارقام مختلف آفتابگردان منجر به کاهش معنی‌دار وزن صد دانه می‌گردد که نتایج تحقیق حاضر را تایید می‌کند. در تضاد با این نتایج گزارش شده است که فاصله ردیف و تراکم بوته در وزن ۱۰۰ دانه کلزا غیرمعنی‌دار بود و عنوان شده است که این شاخص عموماً تحت تأثیر فاکتورهای ژنتیکی قرار دارد (Shahri *et al*., 2013). همچنین، جانسون و هانسون (Johnson and Hanson, 2003) گزارش کردند که تغییر تراکم کلزا تأثیری در وزن ۱۰۰ دانه نداشت. به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که هر گیاه به‌دلیل وجود تفاوت‌های ژنتیکی در تراکم مشخصی حداکثر وزن ۱۰۰ دانه خود را خواهد داشت. از دلایل تأثیر مثبت اوره بر وزن صد دانه، می‌توان به نقش نیتروژن در افزایش رشد برگ و سایر اندام فتوسنتز کننده اشاره کرد که هر چه اندازه سطح برگ افزایش یابد به همان اندازه نیز گیاه قادر به استفاده بهتر و بیشتر از تشعشع خورشیدی بوده و توان تولید مواد فتوسنتزی بیشتری پیدا می‌کند که در نهایت بر وزن دانه تأثیر می‌گذارد. در ارتباط با اثر مثبت مصرف نیتروژن بر وزن صد دانه نیز پژوهشگران اظهار داشته‌اند که مصرف نیتروژن در طول دوره رشد آفتابگردان به‌ویژه دوره پر شدن دانه، موجب زیاد شدن مقدار کلروفیل برگ‌های بالایی می‌شود که این موضوع سبب افزایش مقدار مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده و در نهایت موجب افزایش وزن دانه می‌شود (Schultz

et al., 2018). از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره کرد که در تراکم‌های هشت و ۱۰ بوته در متر مربع گیاه آفتابگردان به مقادیر بالای نیتروژن واکنش مثبتی نشان نداد. عدم واکنش مثبت عملکرد آفتابگردان به مقادیر بالاتر نیتروژن می‌تواند ناشی از پایین بودن پایین بودن ظرفیت اندام‌های هدف و مقدار شاخص برداشت (برخی نتایج نشان داده نشده است) در این گیاه باشد.

محتوی نیتروژن دانه

محتوی نیتروژن دانه با افزایش سطوح تیمار تراکم کاشت روند کاهشی داشت به‌طوری‌که تراکم ۱۰ بوته در مترمربع با میانگین ۴۰/۲ کیلوگرم در هکتار، کمترین محتوی نیتروژن دانه را با اختلاف ۲۸/۵۹ درصدی نسبت به تراکم چهار بوته در متر مربع (۵۶/۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آورد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده کود نیتروژن حاکی از آن بود که ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۵۴/۷ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین محتوی نیتروژن دانه را به‌دست آورد که نسبت به عدم کاربرد اوره (۴۱/۴ کیلوگرم در هکتار) ۲۴ درصد بیشتر بود (جدول ۲). سایر محققین نیز افزایش مقدار نیتروژن دانه و متعاقباً پروتئین دانه (برخی داده‌ها نشان داده نشده است) را در واکنش به کود نیتروژن مصرفی در گیاه روغنی آفتابگردان گزارش کرده‌اند (Ali and Ullah, 2012). در تیمارهای کودی حاوی کود اوره، تفاوت معنی‌دار محسوسی در میزان محتوی نیتروژن دانه مشاهده نشد (جدول ۲) بر این اساس فقط یک مقدار کود اوره متوسط می‌تواند باعث بهبود معنی‌دار مقدار نیتروژن دانه شود که این می‌تواند به‌علت پایین بودن ظرفیت مقصد در این گیاه باشد. در بررسی واکنش زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به تراکم کاشت نیز بیشترین مقدار نیتروژن دانه در تراکم‌های پایین تا متوسط به‌دست آمد (Ghaderi *et al*., 2016). به‌طورکلی، افزایش غلظ نیتروژن دانه در تراکم‌های پایین را می‌توان با رقابت کمتر گیاهان برای عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن مرتبط دانست.

محتوی روغن و عملکرد روغن

محتوی روغن دانه با افزایش تراکم کاشت تا حد هشت بوته در متر مربع روند افزایشی داشت اما تیمار ۱۰ بوته در متر مربع باعث کاهش آن شد (جدول ۲) به‌طوری‌که تراکم هشت بوته در متر مربع با میانگین ۴۴/۵ درصد دارای بیشترین محتوی روغن بود و نسبت به تراکم چهار، شش و۱۰ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۲/۹۲، ۲/۲۴ و ۳/۸۲ درصد محتوی روغن دانه بیشتری داشت (جدول ۲). کمترین محتوی روغن دانه در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع (۴۲/۸) مشاهده شد که با تیمار چهار بوته در متر مربع در یک گروه آماری قرار داشت. با افزایش مقادیر نیتروژن، محتوی روغن دانه تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار روند افزایشی داشت و سپس کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین محتوی روغن دانه (۴۴/۷ درصد) در تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم اوره به‌دست آمد که نسبت نسبت به شرایط عدم کاربرد (۴۲/۴ درصد) ۵/۱۴ افزایش پیدا کرد (جدول ۲). جدول برهم‌کنش تراکم کاشت و مقادیر نیتروژن نشان داد که تراکم چهار بوته در متر مربع و عدم مصرف کود اوره، دارای کمترین عملکرد روغن (۸۶۱ کیلوگرم در هکتار) بود. اگرچه بیشترین عملکرد روغن (۱۸۲۷ کیلوگرم در هکتار) در تراکم هشت بوته در متر مربع و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، در سطوح چهار، شش و هشت بوته در متر مربع، تا حد ۱۵۰

کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد روغن روند افزایشی نشان داد اما با اعمال ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد روغن کاهش یافت. این روند در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع تا ۵۰ کیلوگرم اوره افزایشی و بعد از آن روندی کاهشی داشت. از طرفی، با توجه به میانگین‌های تیمارهای کودی در هر سطح از تراکم، عمکلرد روغن دانه تا تراکم هشت بوته در متر مربع روند افزایشی داشت اما تراکم ۱۰ بوته در متر مربع عملکرد روغن دانه را کاهش داد.

به‌طورکلی، درصد روغن از جمله صفاتی است که متأثر از عوامل ژنتیکی است بنابراین اگر گیاه در معرض تنش‌های محیطی نباشد، درصد روغن هر گیاه و هر رقم ثابت باقی می‌ماند. با این حال تشدید فشار رقابتی می‌تواند مقدار روغن دانه را به دلیل کاهش توانایی گیاه برای سنتز اسیدهای چرب (ناشی از کاهش توان فتوسنتزی گیاه) کاهش دهد. برخی پژوهش‌گران معتقد هستند که اثر تراکم کاشت بر میزان روغن دانه ثابت و پایدار نیست و فاصله کاشت می‌تواند در شرایط محیطی مختلف، اثر متفاوتی بر میزان روغن دانه بگذارد (Ozer, 2003). افزایش تراکم تا هشت بوته در متر مربع باعث افزایش درصد و روغن دانه شد که به نظر وجود تعداد بوته کافی در واحد سطح به رشد بهتر گیاهان از طریق در دسترس بودن مواد مغذی و آب کمک نموده و این موجب افزایش تجمع مواد غذایی در دانه به عنوان بخشی از عملکرد اقتصادی و روغن دانه‌ها شده است. حسینی وکیلی و همکاران (Hosseini Valiki *et al.*, 2015) در کنجد و شهری و همکاران (Shahri *et al.*, 2013) در گلرنگ کاهش در درصد روغن دانه را با افزایش تراکم بوته گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. همچنین، برخی دیگر از پژوهشگران معتقدند که اصولاً تراکم کاشت اثری بر درصد روغن ندارد (Johnson and Hanson, 2003). باتوجه به اینکه قسمت عمده روغن دانه بذر آفتابگردان از اسیدهای چرب تشکیل شده است و کربن یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ساختمان اسیدهای چرب می‌باشد (Dordas, 2017) و از طرف دیگر، نیتروژن یکی از عناصر مؤثر در افزایش سطح برگ و فتوسنتز گیاه می‌باشد (فتوسنتز بیشتر یعنی کربن‌گیری بیشتر توسط برگ) بنابراین میزان مناسب و مطلوب کود نیتروژن در نهایت می‌تواند باعث افزایش اسیدهای چرب و عملکرد روغن گیاه شود که در این آزمایش در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین درصد روغن حاصل شد. در یک بررسی که در زمینه تغذیه نیتروژن گیاه آفتابگردان انجام شد، بیشترین درصد روغن در سطح کودی ۷۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (Ali and Ullah, 2012). در تحقیق حاضر افزایش میزان اوره بالاتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش درصد روغن و عملکرد روغن (در هر سطح از تراکم) شد که علت آن را می‌توان به افزایش جذب نیتروژن و تشدید سنتز پروتئین نسبت به سنتز اسیدهای چرب نسبت داد که در نتیجه کاهش روغن دانه را به همراه دارد. از طرفی، میزان پروتئین رابطه معکوسی با روغن دانه دارد (Mohammadi *et al.*, 2013).

کارایی مصرف نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف نیتروژن حاکی از معنی‌داری برهمکنش تراکم کاشت و مقادیر نیتروژن بود. بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تراکم هشت بوته در مترمربع و مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار با میانگین ۶۴/۳۶

کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی به‌دست آمد که نسبت به مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در همین سطح تراکم (هشت بوته در متر مربع) ۷۱/۳ درصد بیشتر بود (شکل ۱). کمترین کارایی مصرف نیتروژن در سطح تراکمی ۱۰ بوته در متر مربع و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۳/۷ کیلوگرم در کیلوگرم) به‌دست آمد که با همین سطح کودی و تراکم چهار بوته در مترمربع در یک گروه آماری قرار داشت و تراکم چهار، شش و هشت بوته در مترمربع و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در رتبه بعدی قرار داشت (شکل ۱). به‌طورکلی، در هر سطح از تراکم کاشت، با افزایش میزان نیتروژن مصرفی از کارایی مصرف نیتروژن کاسته شد به‌نحوی‌که اختلاف بین تیمار ۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در سطوح چهار، شش، هشت و ۱۰ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۶۲/۵، ۶۶/۸، ۶۳/۰۶ و ۶۸/۹ درصد بود (شکل ۱). همچنین با توجه به میانگین تیمارهای کود در هر سطح از تراکم کاشت، تراکم هشت بوته در مترمربع بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را دارا بود (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی کاهش یافت که این کاهش می‌تواند تأکیدی بر این مسئله باشد که رابطه مصرف کود نیتروژن و افزایش عملکرد دانه در این گیاه خطی نیست. در واقع، کاهش یافتن کارایی مصرف نیتروژن بیانگر این است که با افزایش مصرف نیتروژن عملکرد دانه به همان نسبت بهبود نمی‌یابد. عوامل متعددی از جمله نوع خاک، عادت رشدی گیاه، مقدار رطوبت فصل رشد، نوع کوددهی، مقدار نفوذ ریشه و تراکم گیاه می‌توانند تأثیر بسزایی بر کارایی نیتروژن داشته باشند (Dordas, 2017). در همین راستا می‌توان گفت، از آنجا که خاک محل اجرای این آزمایش از نوع لومی شنی بود و این نوع خاک‌ها در مقایسه با خاک‌های رسی توانایی کمتری در نگهداری کود نیتروژن و آب آبیاری دارند، در نتیجه این مسئله ممکن است باعث شسته شدن و از دسترس خارج شدن نیتروژن مصرفی شود که متقابلاً کاهش بازیافت نیتروژن را به دنبال خواهد داشت. این واکنش نشان‌دهنده این است که اگر چه تا حدودی عملکرد به‌ازای هر واحد کود نیتروژن افزایش پیدا کرد اما عملکردهای بالا در گیاه آفتابگردان همراه با افزایش مقدار کارایی نیتروژن نیست. این واکنش می‌تواند در گیاهان اصلاح شده متفاوت باشد، به‌طوری‌که عملکردهای بالا در این گیاهان معمولاً همراه با افزایش کارایی نیتروژن است. به‌طورمثال، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی نیتروژن با عملکرد دانه در جو (*Hordeum vulgare* L.) گزارش شده است، به‌طوری‌که عملکردهای بالا همراه با کارایی بالاتر نیتروژن در این گیاه بوده است (Dordas, 2017). همچنین، از نتایج به‌دست آمده این‌گونه استنباط می‌شود که برخلاف افزایش میزان نیتروژن، افزایش تراکم تا هشت بوته در متر مربع باعث بهبود کارایی نیتروژن شده است. این رخداد می‌تواند به‌علت نقش مثبت تراکم در افزایش دسترسی ریشه به نیتروژن در تراکم‌های بالا باشد (Zhu *et al*., 2016). به‌طوری‌که همبستگی مثبت بین اکثر شاخص‌های کارایی نیتروژن و نسبت ریشه به ساقه (Rathke *et al*., 2006)، نشان‌دهنده اهمیت نقش ریشه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن است. علاوه بر این، احتمالاًتراکم‌های بالا با کاهش مقدار اندام‌های جانبی گیاه در تک بوته و کاهش ارتفاع بوته باعث انتقال بهتر و سریع‌تر نیتروژن به دانه شده‌اند. در نتیجه بهبود

کارایی مصرف نیتروژن در تراکم‌های بالا را می‌توان به نقش آن در کاهش ارتفاع، کاهش سطح برگ، تسریع در پیری برگ در انتهای فصل و انتقال مواد غذایی بیشتر به دانه نسبت داد (Mohammadi *et al*., 2001). در همین رابطه پژوهشی درباره کلزا نشان داد که رشد جانبی کمتر باعث انتقال نیتروژن بیشتر به ریشه و افزایش کارایی نیتروژن شده است(Rathke *et al*., 2006). به‌طورکلی این نتایج بیانگر این است که یک مقدار نیتروژن محدود با یک تراکم نسبتاً بالا باعث افزایش مقدار راندمان مصرف نیتروژن و عملکرد بالاتر شد؛ که این می‌تواند مربوط به اثر جبرانی تراکم و نیتروژن باشد. به‌طوری‌که گیاه اثر منفی مقادیر نیتروژن کم بر عملکرد را با یک تراکم نسبتاً بالا و افزایش راندمان مصرف نیتروژن جبران کرد.

کارایی مصرف آب آبیاری

برهم‌کنش تراکم کاشت و مقادیر نیتروژن نشان داد در تراکم چهار بوته در متر مربع، کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای بیشترین (۱/۱۸ کیلوگرم متر مکعب در هکتار) کارایی مصرف آب آبیاری بود که نسبت به عدم کاربرد کود در همین تراکم کشت (چهار بوته در متر مربع) ۴۱/۵۲ درصد بیشتر بود (جدول ۳). کمترین کارایی مصرف آب آبیاری در تراکم کشت ۱۰ بوته در متر مربع و عدم کاربرد کود (۰/۵۰۹ کیلوگرم متر مکعب در هکتار) و ۵۶/۸۶ درصد کمتر از تیمار برتر (چهار بوته در متر مربع × ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به‌دست آمد. همچنین، با توجه به میانگین تیمارهای کودی در هر سطح از تراکم کاشت، افزایش تراکم بوته در متر مربع منجر به کاهش کارایی مصرف آب آبیاری شد (جدول ۳). با توجه به بیشتر بودن ارتفاع و شاخص سطح برگ بوته آفتابگردان در تراکم چهار بوته در متر مربع، می‌توان این گونه استنباط کرد که بیشتر بودن زیست توده گیاهی نسبت به آب مصرفی باعث افزایش راندمان آب آبیاری شده است. در تراکم‌های بالاتر، به علت رقابت بین بوته‌های یک کرت، زیست توده‌ی کمتری تولید شده است. در آزمایشی به‌منظور مطالعه اثر سطوح مختلف تراکم کشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب کلزا مشاهده شد که تراکم کم و یا متوسط به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری جهت آبیاری معرفی شدند (May *et al*., 2010).

نتیجه‌گیری کلی

در تراکم‌های چهار و شش بوته در متر مربع، رابطه مستقیمی بین عملکرد دانه و مقادیر اوره مشاهده شد. افزایش عملکرد دانه در تراکم هشت بوته در مترمربع تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار روند صعودی داشت اما مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. همچنین، تراکم ۱۰ بوته در مترمربع موجب کاهش چشمگیر عملکرد دانه شد. افزایش بوته در متر مربع تغییرات معنی‌داری در وزن صد دانه ایجاد نکرد. تراکم هشت بوته در مربع بیشترین درصد روغن را دارا بود و با توجه به بیشتر بودن عملکرد دانه در تراکم هشت بوته درمترمربع، بیشترین عملکرد روغن دانه نیز در همین تراکم به‌دست آمد. در مجموع در شرایط آزمایش انجام شده، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و تراکم هشت بوته در مترمربع برای حصول حداکثر عملکرد روغن و دانه در رقم فرخ آفتابگردان مناسب به نظر می‌رسد.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک، کارایی مصرف آب، عملکرد و نیتروژن دانه آفتابگردان تحت تاثیر تیمارهای تراکم کاشت و مقدار نیتروژن

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of morphological traits, irrigation water productivity, yield and seed nitrogen of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in different plant density and levels of nitrogen.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سبزینگی Green-ness	شاخص سطح برگ LAI	ارتفاع بوته Plant height	وزن صد دانه 100-Seed Weight	عملکرد دانه Seed yield	محتوی نیتروژن دانه SNC	محتوی روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield	کارایی آب آبیاری IWP
تکرار Replication	2	127.1 ns	0.27ns	1315.1*	0.067 ns	8577 ns	18.6 ns	24.3 **	30337 ns	0.0054 *
تراکم Plant density (D)	3	446.6 **	1.81**	4833.2**	3.34 **	1700903**	722 *	7.33 **	427413**	0.40 **
خطای کرت اصلی Main error	6	29.1	0.096	252.8	0.28	31697	77.9	0.54	7082	0.00057
مقدار نیتروژن Nitrogen rate (N)	4	129.8**	1.41**	1036.7*	0.48 *	1576014**	338.6**	13.1 **	366232**	0.13 **
D × N	12	3.16 ns	0.17*	340.1 ns	0.11 ns	112887 **	32.7 ns	0.59 ns	19216 **	0.014**
خطا Error	32	32.2	0.069	338.07	0.13	14478	26.29	0.29	3283	0.0037
ضریب تغییرات C.V. (%)		11.2	13.9	12.7	7.06	4.03	10.2	1.24	4.39	7.51

ns، *و ** به ترتیب نشان دهنده‌ی عدم معنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

LAI: leaf area index; SNC: seed nitrogen productivity; IWP: irrigation water productivity; CV: coefficient variance. ns: not significant; **: significant at p≤0.01 level; *: significant at p≤0.05 level

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین شاخص سبزینگی برگ، ارتفاع گیاه، وزن صد دانه، محتوی نیتروژن دانه و محتوی روغن دانه تحت تأثیر اثرات ساده تراکم کاشت و میزان نیتروژن

Table 2- Mean comparison of leaf green ness, plant height, 100-seed weight, seen nitrogen content and oil content affected by plant density and nitrogen levels

Plant density (Plant per m^2)	Green-ness	Plant height (cm)	100-Seed Weight (g)	SNC ($kg.ha^{-1}$)	Oil content (%)
4	54.01 a	166.4 a	5.84 a	56.3 a	43.2 bc
6	54.4 a	144.4 b	5.03 b	50.8 a	43.5 b
8	50.4 a	140.9 b	4.72 b	52.9 a	44.5 a
10	42.6 b	122.7 c	5.20 b	40.2 b	42.8 c
Nitrogen rate ($kg.ha^{-1}$)					
0	45.3 b	128.2 b	4.91 b	41.4 c	42.4 d
50	49.2 ab	142.2 ab	5.1 ab	48.7 b	43.7 c
100	51.2 a	151.4 a	5.22 ab	52.9 ab	44.7 a
150	52.7 a	149.3 a	5.4 a	54.7 a	44.2 b
200	53.5 a	147.1 a	5.36 a	52.7 ab	42.5 d

حروف مشابه در ستون میانگین، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by duncan test.
SNC: Seed nitrogen content

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر دوگانه تیمارهای اعمال شده بر شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد روغن و کاریی مصرف آب آبیاری در گیاه آفتابگردان

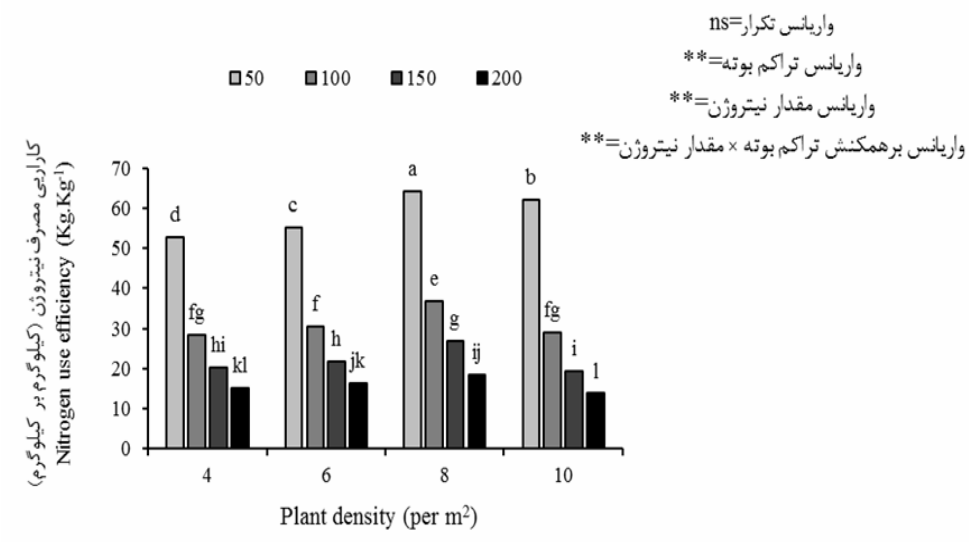
Table 3- Two way interaction of applied treatments on LAI, seed yield, oil yield and IWP of sunflower

Plant density (Plant per m^2)	Nitrogen rate ($kg.ha^{-1}$)	LAI	Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	IWP ($kg.m^3.ha^{-1}$)
4	0	1.34 gh	2016 l	861 j	0.69 gh
	50	2.29 abcd	2641 ij	1160 h	1.005 bc
	100	2.57 ab	2826 ghi	1254 efgh	1.08 b
	150	2.67 a	3020 efg	1312 def	1.06 b
	200	2.78 a	3047 defg	1279 defg	1.18 a
6	0	1.26 h	2460 kj	1048 i	0.68 gh
	50	1.62 efgh	2760 hi	1222 fgh	0.81 ef
	100	1.92 cdef	3043 defg	1365 cde	0.79 ef
	150	2.12 bcde	3270 cd	1438 c	0.94 cd
	200	2.38 abc	3290 c	1390 cd	0.92 cd
8	0	1.35 gh	2718 hi	1179 gh	0.68 gh
	50	1.92 cdef	3216 cde	1435 c	0.77 fg
	100	2.1 bcde	3690 b	1675 b	0.88 de
	150	2.12 bcde	4016 a	1827 a	0.87 def
	200	1.83 defg	3680 b	1605 b	0.81 ef
10	0	1.27 h	2340 k	966 i	0.509 j
	50	1.47 fgh	3098 cdef	1314 def	0.56 ij
	100	1.66 efgh	2893 fgh	1284 defg	0.63 hi
	150	1.55 fgh	2906 fgh	1283 defg	0.69 gh
	200	1.44 fgh	2753 hi	1161 h	0.63 hi

حروف مشابه در ستون میانگین، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by duncan test.

LAI: Leaf are index; IWP: Irrigation water productivity.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر دوگانه تراکم بوته و مقدار نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن در گیاه آفتابگردان

Figure 1- Two-way interaction of plant density and nitrogen levels on nitrogen use efficiency of sunflower

References منابع مورد استفاده

- Ali, A., and S. Ullah. 2012. Effect of nitrogen on achene protein, oil, fatty acid profile, and yield of sunflower hybrids. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72(4): 564-568.
- Amanullah, M.J.H., S. Archana, S. Manoharan, and S. Subramanian. 2012. Influence of iron and Am inoculation on metabolically active iron, chlorophyll content and yield of hybrids maize in calcareous soil. *Journal of Agronomy*. 11: 27-30.
- Arnall, D.B., A.P. Mallarino, M.D. Ruark, G.E. Varvel, J.B. Solie, M.L. Stone, J.L. Mullock, R.K. Taylor, and W.R. Raun. 2013. Relationship between grain crop yield potential and nitrogen response. *Agronomy Journal*. 105: 1335-1344. https://doi.org/10.2134/agronj 2013.0034
- Beljkas, B., J. Matic, I. Milovanovic, P. Jovanov, A. Misanand, and L. Saric. 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: 555-561.
- Cucci, G., G. Lacolla, and G. Caranfa. 2017. Spatial distribution of roots and cracks in soils cultivated with sunflower. *Archive Agronomy Soil Science*. 64: 13-24. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1325470
- Dordas, C. 2017. Nitrogen nutrition index and leaf chlorophyll concentration and its relationship with nitrogen use efficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 40(8): 1190-1203.
- EL-Satar, M.A.A., A.A.E. Ahmed, and T.H.A. Hassan. 2017. Response of seed yield and fatty acid compositions for some sunflower genotypes to plant spacing and nitrogen fertilization. *Information Processing in Agriculture*. 4 (3): 241-252. http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.05.003.
- Fakhri, K., S. Sayfzadeh, M. Sarajooghi, S.A. Valad Abadi, and I. Hadidi Masouleh. 2023. Fesibility Study on Increasing Water Use Efficiecy in (*Thymus vulgaris* L.) in Different Planting Pattern and Partial with Using Biochar. *Journal of Crop Ecophysiology*. 17(66(2)): 169-186. doi: 10.30495/JCEP.2023.1926358.1792 (In Persian)
- Ghaderi, A., M. Moghaddam, L. Mehdizadeh, and H. Ebrahimi.2016. The effects of different levels of nitrogen and plant density on nitrogen, phosphorus and potassium uptake, nitrogen use and uptake efficiency in cumin (*Cuminum cyminum*) fruit. *Plant Production Technology.* 8(2): 153-165. (In Persian).
- Gholamhoseini, M., A. Ghalavand, A. Dolatabadian, E. Jamshidi, and A. Khodaei-Joghan. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management.* 117: 106- 114. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.007
- Hosseini Valiki, S.R., S. Ghanbari, S. Golmohammadzadeh, and K. Riahi Kiasari. 2015. Effect of different plant density on growth and yield of three cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Biology Forum an International Journal*. 7(1): 1524-1528.
- Johnson, B.L., and B.K. Hanson. 2003. Row spacing interception on spring canola performance in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 95(1): 703-708.
- Kaiser, D.E., J.A. Lamb, and R. Eliason. 2011. Fertilizer recommendations for agronomic crops in Minnesota. Univ. Minn. Ext. Publ. BU-06240-S (Rev.). University of Minnesota, Saint Paul.

- Keshavarz, H., Modarres-Sanavy, S.A.M., and M. Mahdipour-Afra. 2021. Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two mint species. *Journal of Essential Oil Bearing Plant*. 21(6): 1674-1681.
- Li, J., Z. Qu, J. Chen, B. Yang, and Y. Huang. 2019. Effect of planting density on the growth and yield of sunflower under mulched drip irrigation. *Water*. 11: 752. https://doi.org/10.3390/w11040752
- Malligawad, L.H., K.G. Parameshwarappa, and K. Giriraj. 2004. Studies on the effect of ratios and level of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizer nutrients of the productivity of hybrid sunflower under rainfed farming situations. Proceedings of the 16th International Sunflower Conference, Fargo, ND. 29 Aug.–2 Sept. 1: 377– 386.
- May, W.E., S.A. Brandt, Y. Gan, H.R. Kutcher, C.B. Holzapfel, and G.P. Lafond. 2010. Adaptation of oilseed crops across Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*. 90: 667-677. https://doi.org/10.4141/CJPS09179
- Mohammadi, K., G. Heidari, M. Javaheri, A. Rokhzadi, T.K. Nezhad, Y. Soharabi, and R. Talebi. 2013. Agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in different tillage systems. *Industrial Crops and Production*. (44): 446- 451.
- Nemati, A.R., and R. Seyed Sharifi. 2012. Effects of rates and nitrogen application timing on yield, agronomic characterstics and nitrogen use efficiency in corn. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4: 534-539.
- Ozer, H. 2003. The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. *Plant Soil Environment.* 49(9): 422-426.
- Pereira, M.L., and A.J. Hall. 2019. Sunflower oil yield responses to plant population and row spacing: Vegetative and reproductive plasticity. *Field Crops Research*. 230: 17-30. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.09.014
- Ramesh, S. 2017. Response of seed yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiency to different sources of vermicompost and inorganic fertilizer in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 34: 1145-1148.
- Rathke, G., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve grain yield, oil content and nitrogen efficiency of winter rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 117(2-3): 80-108.
- Salifu, M., and L.F. Dóka. 2019. Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield of maize under irrigation condition. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 115-118. https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/2381
- Schultz, E., T. DeSutter, L. Sharma, G. Endres, R. Ashley, H. Bu, S. Markell, A. Kraklau, and D. Franzen. 2018. Response of sunflower to nitrogen and phosphorus in North Dakota. *Agronomy Journal*. 110(2): 685-695. https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0222.
- Shabani, A., M. Agha Alikhani, F. Nadali, S. Yousefzadeh, and K. Mohammadi. 2013. Phenology evaluation and yield comparison of twenty five sunflower genotypes in Shahrod region. *Journal of Crop Production Research* (Environmental Stresses in Plant Sciences). 5(3): 237-250. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=455012. (In Persian).
- Shahri, A., H.T. Ganjali, and H.R. Fanayi. 2013. Effect of drought on quantitative and qualitative yield of safflower (Goldasht cultivar) in different planting densities. *International Journal of Agriculture Crop Science*. 6(19): 1342-1346.
- Soltani, H., A. Ghanbari, M. Rastgoo, and G.A. Asadi. 2018. Surveying some strategies of cultural management on species growth indices and yield in the field of soybean. *Journal*

of Plant Protection. 31 (3): 396-408. https://doi.org/10.22067/jpp.v31i3.52862. (In Persian).

- Valipour dastenaei, M., A.H Shiranirad, S.A. Valadabadi, S. Seifzadeh, and H. R. Zakerin. 2020. Effect of Winter Planting Date on Qualitative Traits and Yield of Spring Rapeseed (Brassica napus) Cultivars by Using Zinc Spray in Karaj Region. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(52(4)): 589-604. doi: 10.30495/jcep.2020.671175 (In Persian).
- Zaman Fashami, M., A.H. Shiranirad, M.R. Dadashi, and A. Khorghami. 2019. Evaluation of yield and yield components of spring rapeseed varieties in winter cultivation of different plant densities under selenium treatment. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 53(1): 90-103.
- Zareei Siahbidi, A., and A. Rezaizad. 2017. Effect of plant density on agronomic characteristics of new sunflower hybrids in summer cropping. *Seed and Plant Production*. 33 (1). 31-45. (In Persian). https://10.22092/SPPJ.2017.113757
- Zhu, X., J. Zhang, Z. Zhang, A. Deng, and W. Zhang. 2016. Dense planting with less basal nitrogen fertilization might benefit rice cropping for high yield with less environmental impacts. *European Journal of Agronomy*. 75: 50-59.

Research Article DOI:

Evaluation of Growth, Yield, Oil Content, Irrigation Water Productivity and Nitrogen Use Efficiency of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) at Different Levels of Plant Density and Nitrogen Content

Morteza Motamed[1], Shahram Rezvan[2*], Zarin Taj Alipour[2], Ghanbar Laie[3] and Jafar Masoud Sinaki[2]

Received: January 2022 , Revised: 15 March 2022, Accepted: 24 April 2022

Abstract

In order to investigate the effect of planting densities and different amounts of nitrogen on leaf greenness index and leaf area index, seed yield and oil yield, irrigation water productivity and nitrogen use efficiency in sunflower, an experiment was conducted as a split plot in the form of randomized complete blocks design with three replications in the research farm of Agriculture Institute in Semnan province in the spring of 2019. Plant density in four levels (4, 6, 8 and 10 plants per m^2) as a main plot and the amount of nitrogen levels (0. 50, 100, 150 and 200 kg urea ha^{-1}) as sub plot was considered. Leaf greenness index, plant height, 100-seed weight, seed nitrogen content and seed oil content were significantly affected by the simple effect of planting density, which decreased with increasing density of the above traits. Also, the nitrogen levels significantly affected the studied traits, so that with increasing the amount of nitrogen consumption, from control (0 kg urea ha^{-1}) to 200 kg urea ha^{-1}, the leaf greenness index increased by 15.3%. The highest amount of plant height, 100-seed weight and grain nitrogen were obtained in the treatment of 150 kg urea ha^{-1} and 14.13, 9.07 and 24.3% more than no application, respectively. Mean comparing the results of water use efficiency showed that at a density of four plants per m^2 and an increase in nitrogen levels, along with increasing height and leaf area index, water use efficiency also increased, but higher levels of density led to smaller plant yield, less plant biomass and water efficiency were reduced. The highest nitrogen use efficiency was obtained in the density of 8 plants per m^2 and no application of nitrogen fertilizer. Finally, maximum grain yield (4016 $kg.ha^{-1}$) and oil yield (1827 $kg.ha^{-1}$) were obtained by consuming 150 kg urea per ha^{-1} and density of 8 plants per m^2.

Key words: Oil yield, plant density, seed nitrogen, Urea.

1- Department of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.
2- Department of Agriculture, Production and Technology of Herbal Medicines Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan Iran.
3- Department of Agriculture, Strategic Crops and Garden Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.
**Corresponding Authors: shahram_rezvan@yahoo.com & rezvanshahram92@gmail.com*