نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۹۹
۱۱۱-۱۲٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2020.17603.2296

برهم‌کنش نیتروژن و تراکم بوته بر رشد و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

راضیه کرمی[۱]، هوشنگ فرجی[۲*]، محسن موحدی دهنوی[۲] و علیرضا خوشرو[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
[۲]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/٦/۹

چکیده

سابقه و هدف: کینوا، گیاهی از خانواده تاج‌خروسیان است که در حال حاضر به دلیل ارزش غذایی بالا و تحمل تنش‌های زنده و غیر زنده به ویژه خشکی و شوری، به عنوان یک محصول جایگزین برای گیاهان با مصرف آب بالا مطرح است. در میان عناصر غذایی، نیتروژن مهم‌ترین عنصر محدود کننده رشد گیاهان است که نقش مهمی را در افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی ایفا می‌کند. انتخاب تراکم کشت مطلوب گیاهان زراعی، به‌علت وجود رقابت بر سر آب، مواد غذایی و نور، یکی از مهم‌ترین عوامل به‌زراعی است که تأثیر قابل توجهی بر رشد و عملکرد محصولات زراعی دارد. با توجه به استقبال کشاورزان استان فارس در توسعه کشت گیاه کینوا، این پژوهش به منظور ارزیابی برهم‌کنش کود نیتروژن و تراکم بوته بر رشد و عملکرد کینوا در شهرستان ممسنی استان فارس اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهریورماه ۱۳۹۷ در شهرستان ممسنی استان فارس انجام شد. عامل اصلی کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) و عامل فرعی تراکم کاشت در سه سطح (٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع) بود. عملیات برداشت در تاریخ ۱۰ آذر ماه انجام گرفت. در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و طول پانیکول از طریق ۵ نمونه تصادفی برداشت شده از هر کرت اندازه‌گیری شدند. برای تعیین صفت عملکرد زیستی و عملکرد دانه، دو متر مربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. به منظور برآورد شاخص‌های رشدی، دو ردیف میانی از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری اول ۱٤ رز پس از کاشت صورت گرفت و نمونه‌برداری‌های بعدی با فواصل هر ۱٤ روز یک بار تا پایان رشد گیاه انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی و طول پانیکول داشت. افزایش تراکم بوته، باعث کاهش تعداد شاخه جانبی و طول پانیکول شد. با افزایش نیتروژن و تراکم بوته، ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن هزار دانه افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک در بالاترین سطح کود و تراکم به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به برتری سطح ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن و تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع از لحاظ عملکرد دانه، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول چنین به نظر می‌رسد که این مقادیر کود نیتروژن و تراکم کاشت برای حصول عملکرد مناسب در منطقه مورد آزمایش و مناطق مشابه قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: تراکم، شاخص‌های رشد، عملکرد، کینوا، نیتروژن.

*مسئول مکاتبه: hooshangfarajee@yahoo.com

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)، گیاهی یکساله، دولپه، سه‌کربنه و از خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae) می‌باشد (۲٤). کینوا دارای سازگاری بالایی به شرایط خشکی، خاک‌های شور، دامنه وسیعی از دمای روزانه و عوامل زیستی و غیرزیستی است (۸). مزیت کشت کینوا نه تنها مربوط به خصوصیات فیزیولوژیکی آن در پاسخ به تنش‌های زنده و غیر زنده است، بلکه دانه آن نیز از اهمیت بالایی در تغذیه برخوردار است. دانه کینوا دارای پروتئین بالایی (۱٤ تا ۲۰ درصد) می‌باشد و غنی از اسید آمینه‌های لیزین و متیونین است (۱۲).

نیتروژن یکی از پرمصرف‌ترین عناصر مورد نیاز گیاه است، که در سطح جهانی محدودکننده‌ترین عنصر غذایی در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (۱۸). هر چند که مطالعات بر روی کوددهی در کینوا محدود است اما برخی از محققان اهمیت کود نیتروژن در این شبه غله را گزارش کرده‌اند (۸). چالته و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد کینوا از ۱۷۹۰ کیلوگرم به ۳٤۹۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (۲۰). گرین (۲۰۱۵) در بررسی اثر نیتروژن بر عملکرد دانه کینوا، نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) با سطح نیتروژن ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (۹). طبق نتایج پژوهش آدلا و مورسی (۲۰۱۷) حداکثر تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد پانیکول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به دست آمد (۲). نتایج پژوهش شومان (۲۰۱۸) نشان داد که بین تیمارهای مختلف نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن) از نظر تعداد پانیکول در هکتار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما با افزایش مصرف نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، متوسط وزن پانیکول، تعداد دانه در پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه افزایش یافت (۲۲). نتایج پژوهش‌های شمس (۲۰۱۲) و کاکابوکی و همکاران (۲۰۱٤) نیز مؤید این مطلب است که با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد و اجزای عملکرد در کینوا افزایش پیدا کرد (۲۱، ۱۳).

یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد گیاهان زراعی، تراکم بوته در واحد سطح است، در تراکم‌های بیش از حد مطلوب، افزایش رقابت درون گونه‌ای باعث کاهش عملکرد می‌شود و در تراکم‌های کمتر از حد مطلوب، از امکانات محیطی اعم از نور، فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده و در نهایت، سبب کاهش عملکرد می‌گردد (۱۷). عیسی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تراکم بوته اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در کینوا داشت، بالاترین عملکرد دانه از حداکثر تراکم (۱٦۷۰۰۰ بوته در هکتار) بدست آمد که ۳٤/۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه کینوا در تراکم ۵٦۰۰۰ بوته در هکتار بود (۵). آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش تراکم بوته، وزن هزار دانه و درصد پروتئین دانه کینوا کاهش پیدا کرد.

استفاده کارآمد از نیتروژن در کشاورزی می‌تواند باعث افزایش عملکرد، کاهش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی گردد. با توجه به استقبال کشاورزان از کشت کینوا در شهرستان ممسنی، ورود آن به الگوی تناوب کشت در استان و کمبود اطلاعات کافی در زمینه کاشت و بررسی نیازهای غذایی آن، این پژوهش به منظور برهم‌کنش نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد گیاه کینوا در شهرستان ممسنی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرستان ممسنی استان فارس با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی، ۵۱ درجه، ۲۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۹۷۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. محل آزمایش از نظر آب و هوا و طبقه‌بندی اقلیمی جز مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. میانگین دمای سالانه در منطقه ۲۱/٤ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در طول ۱۰ سال گذشته حداقل و حداکثر مطلق دمای ثبت شده در این شهرستان به‌ترتیب ۲ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و ٤٥/٥٢ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و میانگین ده ساله بارش سالانه نیز ٤٥٤/٢٣ میلی‌متر می‌باشد. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. نیتروژن به عنوان عامل اصلی در چهار سطح (صفر، ٦٠، ١٢٠ و ١٨٠ کیلوگرم در هکتار) و تراکم بوته به عنوان عامل فرعی در سه سطح (٦٠، ٨٠ و ١٠٠ بوته در متر مربع) بود. ژنوتیپ کینوای مورد کشت Titicaca بود که از مرکز ملی تحقیقات شوری یزد فراهم گردید. در مرحله‌ی آماده‌سازی زمین پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی تهیه گردید. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1- Physicochemical properties of soil.

بافت خاک (درصد) Texture soil	رس (درصد) Clay (%)	لای (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (درصد) N(%)	اسیدیته PH
لوم سیلتی Silty loam	16	64	20	0.6	15	220	0.07	7.23

هر کرت آزمایش دارای طول ۵ متر، عرض ۱/۷۵ متر و شامل ٦ ردیف کاشت به فاصله ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف هم بر اساس تراکم‌های ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ بوته در متر مربع، به ترتیب ٤/٧، ۳/۵ و ۲/۸ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و کرت‌های اصلی دو متر بود. در مرحله ٦-۵ برگی بوته‌ها، جهت دستیابی به تراکم مورد نظر، بوته‌ها تنک شدند. بر اساس تیمارهای آزمایش، یک دوم کود نیتروژن از منبع اوره به صورت سرک در مرحله استقرار بوته‌ها بعد از تنک کردن مزرعه و یک دوم باقیمانده نیز در مرحله رشد سریع ساقه (سه هفته بعد از اعمال مرحله اول) مصرف گردید. آبیاری به صورت نواری و بر اساس نیاز گیاه هر ۷ تا ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. عملیات دفع علف‌های هرز به صورت وجین دستی در طی مراحل مختلف رشد گیاه انجام گرفت. عملیات برداشت در ۱۰ آذر ماه ۱۳۹۷ انجام شد.

جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول از طریق ۵ نمونه تصادفی برداشت شده از هر کرت استفاده شد. برای تعیین صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه، دو مترمربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. به منظور

برآورد شاخص‌های رشدی، دو ردیف میانی هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. تعداد ۵ بوته به عنوان نمونه انتخاب گردید. نمونه‌برداری‌ها به فاصله هر ۱٤ روز یک‌بار تا پایان رشد گیاه صورت پذیرفت. شاخص سطح برگ به روش وزنی محاسبه شد. جهت برآورد سایر شاخص‌های رشدی، در هر مرحله بعد از توزین و قرار دادن نمونه‌ها در آون الکتریکی به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، از روابط زیر استفاده شد (۱۵).

رابطه (۱): $CGR(gm^{-2}day)=\frac{W2-W1}{t2-t1}$

رابطه (۲): $LAI=\frac{LA}{GA}$

در این روابط علائم w1، w2، t1، t2، LA و GA به‌ترتیب وزن خشک گیاه در نمونه‌برداری اول (بر حسب گرم)، وزن خشک گیاه در نمونه‌برداری دوم (بر حسب گرم)، زمان نمونه‌برداری اول (بر حسب GDD)، زمان نمونه‌برداری دوم (بر حسب GDD)، مساحت برگ‌های گیاه (بر حسب متر مربع) و مساحت زمین اشغال شده توسط هر گیاه در هر مرتبه نمونه‌برداری (بر حسب متر مربع) می باشد.

با استفاده از آمار دمای روزانه از کاشت تا برداشت، میزان درجه روز رشد تجمعی (GDD) از کاشت تا هر مرحله از رشد و نمو تمامی تیمارها، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد. در این رابطه Tmax بیشینه درجه حرارت هوا با حد بالایی ۳۷ درجه سانتی‌گراد، Tmin کمینه درجه حرارت هوا با حد پایین ۳ درجه سانتی‌گراد (۹) و T_b حرارت پایه برای کینوا بود که بر اساس پژوهش‌های کاسینا (۲۰۱۹) و هیریچ و همکاران (۲۰۱٤) صفر پایه برای کینوا، ۳ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (٤، ۱۱).

رابطه (۳): $GDD=\sum((T_{max}+T_{min})/2)-T_b$

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه LSMEANS انجام شد. جهت رسم شکل‌های مربوطه از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ متأثر از تیمارهای نیتروژن نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ برای تیمارهای شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن)، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۲/۳۳، ۲/۹۹، ۳/٦۵ و ۳/۹٤ می‌باشد که در تمامی تیمارها پس از دریافت ۱۳۵۹ درجه روز رشد و ٦۰ روز پس از کاشت (مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی) بدست آمد (شکل ۱). گزارشاتی مبنی بر تأثیر مثبت کود نیتروژن بر شاخص سطح برگ ارائه شده است که می‌توان به بصرا و همکاران (۲۰۱٤) و کانسومجت و همکاران (۲۰۱۷) در کینوا اشاره کرد؛ این پژوهشگران نیتروژن را یکی از عوامل مؤثر در توسعه سطح برگ برشمردند که با تأثیر بر اندازه و طول عمر برگ باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (۳، ۱٤).

اثر تراکم بوته بر شاخص سطح برگ نشان داد که این شاخص برای تراکم‌های ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۲/۹۲، ۳/۳۳ و ۳/٤۳ می‌باشد که در تمامی تراکم‌ها پس از دریافت ۱۳۵۹ درجه روز رشد به دست آمد (شکل۲). نتایج نشان داد که با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ نیز افزایش پیدا می‌کند. در این رابطه، لباسچی و همکاران (۱۳۸۷) بیان کردند گرچه با افزایش تراکم بوته در هکتار اندازه بوته‌ها و تعداد و اندازه برگ در تک بوته

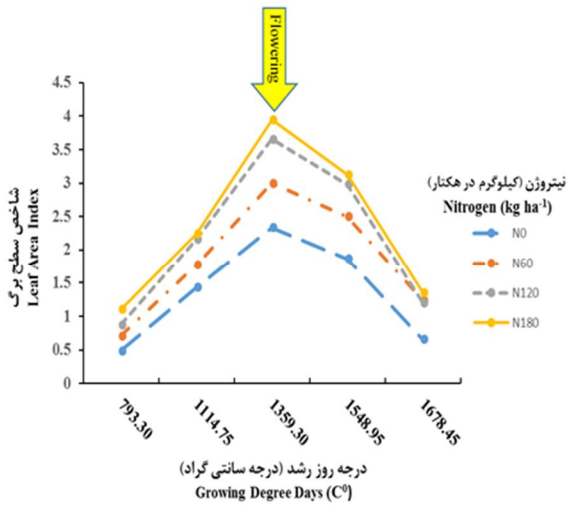
کاهش پیدا می‌کند، اما افزایش تراکم بوته در واحد سطح باعث افزایش سطح سبز در واحد سطح شده و دوام آن نیز افزایش پیدا می‌کند (١٦).

سرعت رشد محصول: به‌طور کلی سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم نور خورشید که توسط گیاه جذب می‌شود، کم است. با نمو گیاهان زراعی افزایش سریعی در سرعت شد گیاه به وجود می‌آید، زیرا سطح برگ‌ها توسعه می‌یابد و نور کمتری از لابه لای پوشش گیاهی به سطح خاک می‌رسد. با توجه به نتایج بدست آمده (شکل ٣)، حداکثر سرعت رشد گیاه برای تیمارهای شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن)، ٦٠، ١٢٠ و ١٨٠ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ٠/٣٦، ٠/٤٠، ٠/٤٢ و ٠/٤٤ گرم بر متر مربع بر درجه روز رشد بود. بیشترین سرعت رشد گیاه در تمامی تیمارها پس از دریافت ١٣٥٩ درجه روز رشد و حدود ٦٠ روز پس از کاشت (مرحله ٥٠ درصد گل‌دهی) بدست آمد. نتایج نشان داد که پاسخ سرعت رشد محصول به کاربرد کود نیتروژن افزایشی بود. بصرا و همکاران (٢٠١٤) و کانسومجت و همکاران (٢٠١٧) در پژوهش خود، تأثیر مثبت کود نیتروژن بر سرعت رشد محصول را گزارش دادند (٣، ١٤).

نتایج نشان داد که با افزایش تراکم کاشت، سرعت رشد محصول نیز افزایش پیدا کرد (شکل٤). حداکثر سرعت رشد محصول برای تراکم‌های ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ بوته در مترمربع به‌ترتیب ٠/٣٩، ٠/٤١ و ٠/٤٢ گرم بر متر مربع بود. لباسچی و همکاران (١٣٨٧) بیان کردند که در تراکم‌های بالا، شاخص سطح برگ افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش درصد جذب تابش خورشید توسط پوشش گیاهی شده و سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (١٦).

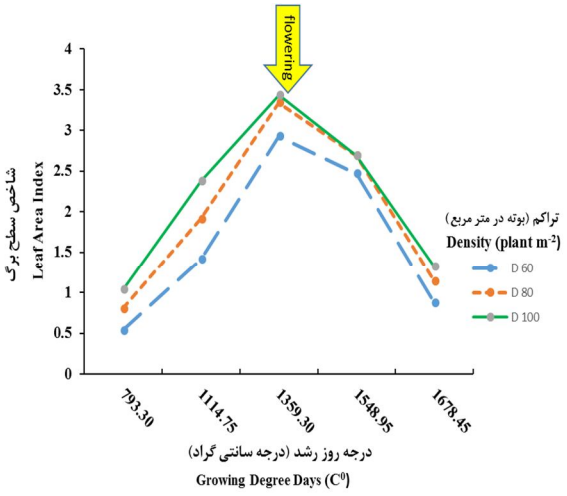
تجمع ماده خشک: بررسی روند تجمع ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای مختلف نیتروژن نشان داد که مقدار آن برای تیمار شاهد، ٦٠، ١٢٠ و ١٨٠ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب از ١٩٣/٣٣، ٢٣٨/٧٨، ٢٥٨/٨٧ و ٢٧٣/٦٨ گرم بر مترمربع (در مرحله هشت برگی) به ٤٥٩/٢٩، ٥٤٨/٤٨، ٥٩١/٤٤ و ٦٢٧ گرم بر متر مربع (در مرحله ٥٠ درصد رسیدگی) و پس از دریافت ١٥٤٨ درجه روز رشد افزایش پیدا کرد و بعد از آن به علت کاهش رشد رویشی، پیری و زوال برگ مقدار آن کاهش یافت (شکل٥). مصرف نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود، که این امر باعث جذب بیشتر نور خورشید و افزایش میزان فتوسنتز در گیاه می‌شود و در نهایت ماده خشک بیشتری تولید خواهد شد.

در بررسی اثر تراکم بوته بر میزان تجمع ماده خشک مطابق با شکل ٦، بیشترین تجمع ماده خشک برای تراکم‌های ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ بوته در مترمربع به‌ترتیب ٥٠٢/٤، ٥٥٦/٩٥ و ٦١٠/٣٠ گرم بر مترمربع پس از دریافت ١٥٤٨ درجه روز رشد مشاهده شد. ملاحظه گردید که با افزایش تراکم بوته، میزان تجمع ماده خشک افزایش پیدا کرد. لباسچی و همکاران (١٣٨٧) علت برتری تراکم بالای بوته در تجمع بالای ماده خشک را به افزایش تعداد بوته در هکتار و استفاده بهتر گیاهان از عوامل محیطی نسبت دادند، که باعث افزایش سطح برگ، دوام برگ و در نتیجه تولید ماده خشک بیشتر می‌شود (١٦).



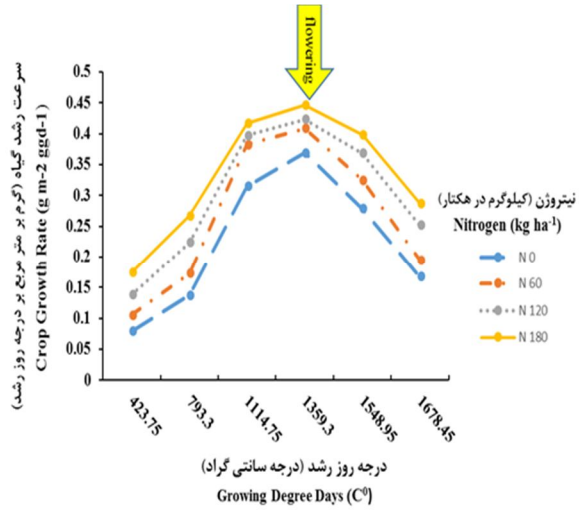
شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت سطوح مختلف نیتروژن در کینوا.

Figure 1- Changing trends of leaf area index under different levels of nitrogen in quinoa.



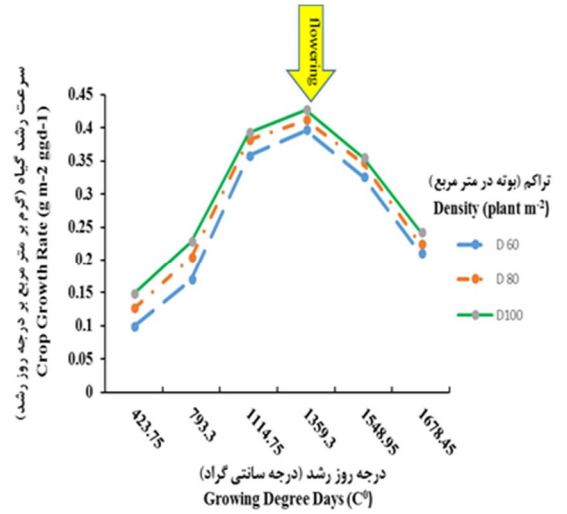
شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت سطوح مختلف تراکم بوته در کینوا.

Figure 2- Changing trends of leaf area index under different levels of plant density in quinoa.



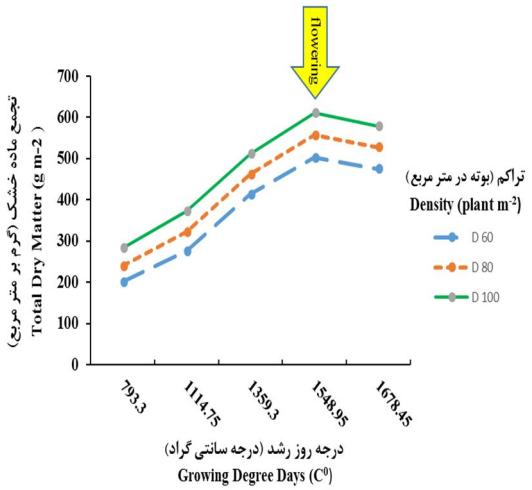
شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت سطوح مختلف نیتروژن در کینوا.

Figure 3- Changing trends of crop growth rate under different levels of nitrogen in quinoa.



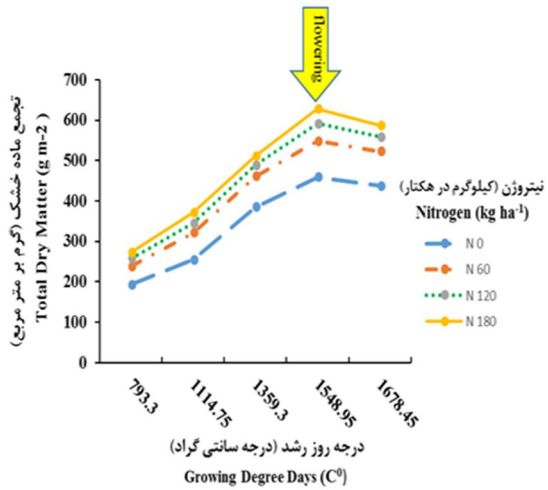
شکل ٤- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت سطوح مختلف تراکم بوته در کینوا.

Figure 4- Changing trends of crop growth rate under different levels of plant density in quinoa.



شکل ٦- روند تغییرات تجمع ماده خشک تحت سطوح مختلف تراکم بوته در کینوا.

Figure 6- Changing trends of total dry matter under levels of plant density in quinoa.



شکل ٥- روند تغییرات تجمع ماده خشک تحت سطوح مختلف نیتروژن در کینوا.

Figure 5- Changing trends of total dry matter under different levels of nitrogen in quinoa.

ارتفاع گیاه: نتایج آزمایش نشان داد که اثر نیتروژن و تراکم بوته و برهم‌کنش آن‌ها بر ارتفاع گیاه معنی‌دار گردید (جدول۲). بیشترین ارتفاع بوته (۹۹/۸۰ سانتی‌متر) از مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد. در حالی که تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) در تراکم ٦٠ بوته در متر مربع کمترین ارتفاع (۵۲/۵۲ سانتی‌متر) را به وجود آورد (شکل۷). نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه با افزایش مصرف نیتروژن و تراکم کاشت، افزایش پیدا کرد. مصرف مقادیر بالای کود نیتروژن با گسترش سطح ریشه و افزایش جذب آب و عناصر از خاک، موجب تحریک رشد رویشی گیاه شده و از طریق افزایش سطح برگ و سطح فتوسنتزی گیاه، میزان آسمیلات‌هایی را که در اختیار گیاه قرار می‌دهد افزایش داده و در نتیجه از طریق تقسیم و طویل شدن سلول‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود.

طول پانیکول: نتایج نشان داد که اثر نیتروژن و تراکم بوته و برهم‌کنش آن‌ها بر طول پانیکول معنی‌دار شد (جدول۲). طبق نتایج شکل ۸ بیشترین طول پانیکول (٢٤/٦٦ سانتی‌متر) از مصرف ۱۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن در تراکم ٦٠ بوته در متر مربع به دست آمد که با تراکم ۸۰ بوته در هکتار (۲۲/۹۰ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت، و کمترین (۱۱/۵۸ سانتی‌متر) آن مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع بود که با سطوح ۸۰ بوته در متر مربع (۱۲/۱۳ سانتی‌متر) و ٦٠ بوته در متر مربع (۱۳/۳۸ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد، نیتروژن از طریق فراهم کردن شرایط مناسب برای رشد پوشش گیاهی، شاخص و دوام سطح برگ بیشتر، باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و تولید بوته‌هایی با ارتفاع، قطر، تعداد برگ بیشتر و گل‌آذین بلندتر و قطورتر گردید. نتایج جدول همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین طول پانیکول با شاخص سطح برگ ($r=۰/٦٦^{**}$) و سرعت رشد گیاه ($r=۰/۵۷^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. از سوی دیگر، در کشت‌های متراکم به دلیل جمعیت بالای گیاهی رقابت درون گونه‌ای افزایش و

توان فتوسنتزی تک بوته کاهش پیدا می‌کند و این امر می‌تواند منجر به کاهش مواد تخصص یافته به پانیکول شود (۱۹).

تعداد شاخه‌های جانبی: نتایج نشان داد که تأثیر نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی کینوا معنی‌دار شد، در حالی که برهم‌کنش آن‌ها برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول۲). مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر تعداد شاخه جانبی نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، تعداد شاخه جانبی افزایش پیدا کرد (جدول ۳). بیشترین شاخه جانبی، از مصرف ۱۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد، و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) بود. به طور کلی، افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده موجب افزایش جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های انتهایی و مریستم جانبی می‌شود و در نتیجه، مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم انتهایی و مریستم جانبی و افزایش تولید شاخه‌های جانبی کلزا در سطح بالای نیتروژن می‌گردد (٦). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول۳) نشان داد که بیشترین شاخه جانبی از تراکم ٦٠ بوته در متر مربع و کمترین آن از تیمار ۱۰۰ بوته در مترمربع حاصل شد. به طور معمول افزایش تراکم باعث کاهش تعداد شاخه جانبی در گیاه می‌شود. این مسأله به دلیل رقابت ایجاد شده در تراکم‌های بالاتر است که با کاهش فضای اختصاص یافته به هر بوته کاهش می‌یابد (۱۰).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک کینوا تحت سطوح مختلف کود نیتروژنه و تراکم بوته در گیاه کینوا

Table 2- Analysis of variance for morphological traits under different nitrogen fertilizer and plant dendites levels in quinoa plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		ارتفاع بوته Plant height	طول پانیکول Panicle length	تعداد شاخه جانبی Number of branches / plant
تکرار Replication	2	17.40	1.34	0.12
نیتروژن Nitrogen (A)	3	2252. 24**	150.97**	50.03**
خطای عامل اصلی Error (A)	6	1.69	0.31	0.60
تراکم Density (B)	2	323.965**	52.25**	5.05**
نیتروژن × تراکم A × B	6	13.95**	3.85*	0.06
خطای عامل فرعی Error (B)	16	4.43	1.37	0.25
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)		3.80	6.53	8.18

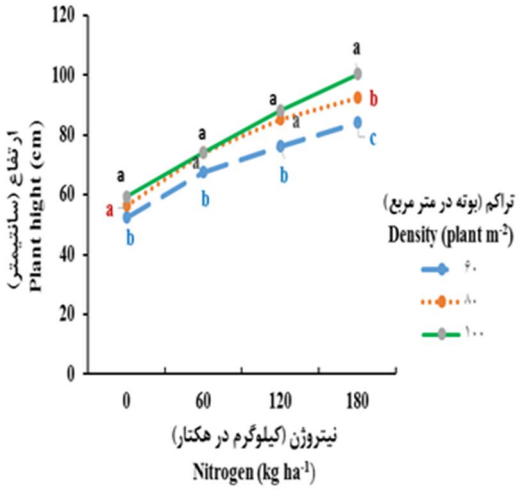
**، * به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد .

**, * Significant at 1 and 5% probability level, respectively.

جدول ۳- جدول مقایسه میانگین اثرات نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی در گیاه و وزن هزار دانه در گیاه کینوا.

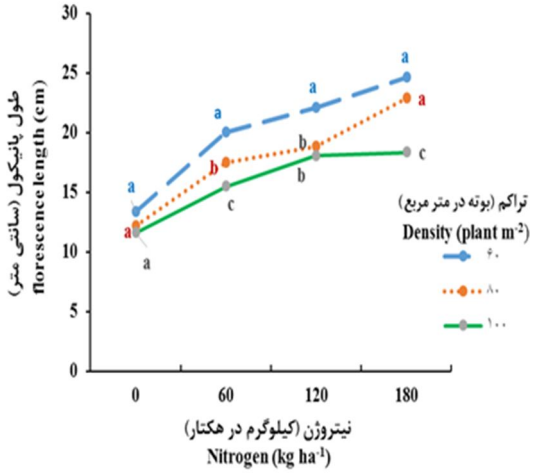
Table 3- comparison of the average effects of nitrogen and plant density on number of branches in plant and 1000 grain weight in quinoa plant.

عامل‌های آزمایش Treatments	تعداد شاخه جانبی Number of branches/ plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000 grain weight (gr)
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg ha^{-1})		
0	3.11^{d}	2.38^{c}
60	5.72^{c}	3.11^{b}
120	7.47^{b}	3.12^{b}
180	8.49^{a}	3.97^{a}
تراکم (بوته در متر مربع) Density (plant m^{-2})		
60	6.88^{a}	3.17^{a}
80	6.12^{b}	3.21^{a}
100	5.59^{b}	3.06^{b}



شکل ۷- روند تغییرات و مقایسه میانگین سطوح تراکم بوته در هر سطح از نیتروژن برای ارتفاع در گیاه کینوا (رویه **LSMEANS**).

Figure 7- Changing trends and mean comparison of the plant density in each nitrogen levels for plant height in quinoa plant (LSMEANS Procedure).



شکل ۸- روند تغییرات و مقایسه میانگین سطوح تراکم در هر سطح از نیتروژن برای طول پانیکول در گیاه کینوا (رویه **LSMEANS**).

Figure 8- Changing trends and mean comparison of the plant density in each nitrogen levels for panicle length in quinoa plant (LSMEANS Procedure).

در هر سطح نیتروژن میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری بر اساس LSMEANS ندارند.

at each nitrogen level the averages with the same do not differ significantly based on LSMEANS

عملکرد زیستی: نتایج نشان داد که تأثیر نیتروژن، تراکم بوته و برهم‌کنش آن‌ها برای عملکرد زیستی کینوا معنی‌دار شد (جدول٤). بیشترین عملکرد زیستی (٥٨٧٣/٦٦ کیلوگرم در هکتار) از سطح نیتروژن ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع به دست آمد که با عملکرد زیستی در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع (٥٧١١/٣٣ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت؛ در حالی که کمترین عملکرد زیستی (٣٠٦٣/٣٣ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) در تراکم ٦٠ بوته در متر مربع به‌دست آمد (شکل ۹). در مقادیر بالای نیتروژن، سرمایه‌گذاری مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و

ساقه افزایش یافته و باعث افزایش زیست توده گیاهی می‌شود و به دنبال آن شاخص سطح برگ و در نتیجه پوشش‌دهی بهتر سطح مزرعه، کارآیی استفاده از نور افزایش می‌یابد، که خود منجر به افزایش عملکرد زیستی گیاهان می‌گردد. همچنین، در تراکم‌های بالا به دلیل استفاده بهتر گیاه از خاک و آب، مقدار زیست توده افزایش می‌یابد. در این پژوهش نیز همبستگی مثبت معنی‌داری که بین عملکرد زیستی با شاخص سطح برگ (r=۰/۹۲**) تعداد شاخه‌های جانبی (r=۰/۸۳**) سرعت رشد گیاه (r=۰/۹۰**) و همچنین، تجمع ماده خشک (r=۰/۹۰**) وجود دارد (جدول ۵)، نیز مؤید این مطلب می‌باشد. کاکابوکی و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که تجمع زیست توده به صورت خطی و مثبت تحت تأثیر عرضه نیتروژن قرار می‌گیرد و حداکثر تجمع زیست توده در بالاترین سطح از نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (۱۳).

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر نیتروژن، تراکم بوته و برهم‌کنش نیتروژن و تراکم بوته برای عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول٤). بیشترین عملکرد دانه (۳٤۰۵/٦٦ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع بود که با عملکرد دانه در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع (۳۲۸٦/۱۱ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالی که کمترین عملکرد دانه (۸۵۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) در تراکم ٦۰ بوته در متر مربع بود (شکل۱۰). مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن باعث افزایش ۲/۹۹ برابری عملکرد نسبت به شاهد شد. افزایش در عملکرد با افزایش مصرف نیتروژن، به دلیل وظایف متعدد این عنصر در فرآیندهای حیاتی گیاه از جمله افزایش رشد رویشی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، افزایش در تعداد شاخه جانبی، تعداد گل در گیاه، افزایش تولید ماده خشک ذخیره‌ای و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌باشد (۲٤). در این پژوهش نیز همبستگی مثبت معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد شاخه جانبی (r=۰/۸۲**)، شاخص سطح برگ (r=۰/۹٦**) و تجمع ماده خشک (r=۰/۹۰**) وجود داشت.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نیتروژن و تراکم بوته بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد، ولی برهم‌کنش آن‌ها برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول٤). نتایج مقایسه میانگین (جدول۳) نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه از مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود نیتروژن) بود. روند تغییرات وزن هزار دانه نشان داد که با افزایش نیتروژن، وزن هزاردانه در کینوا افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن، سبب طولانی‌تر شدن دوره پر شدن موثر دانه‌ها می‌شود و در نتیجه دانه‌ها فرصت بیشتری برای پر شدن و سنگین‌تر شدن دارند (۷). نتایج پژوهش شومان (۲۰۱۸) نشان داد که بالاترین میزان وزن هزاردانه در کینوا (٤/۷۵ گرم) از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص بدست آمد (۲۲). در بررسی اثر تراکم بوته بر وزن هزار دانه، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه (۳/۱۷ گرم) از تراکم ٦۰ بوته در متر مربع بدست آمد که با وزن هزار دانه از تیمار ۸۰ بوته در متر مربع (۳/۲۱ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که کمترین آن (۳/۰۳ گرم) مربوط به تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع بود. با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح افزایش می‌یابد و در نتیجه قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای هر دانه کمتر و منجر به کاهش وزن دانه می‌شود.

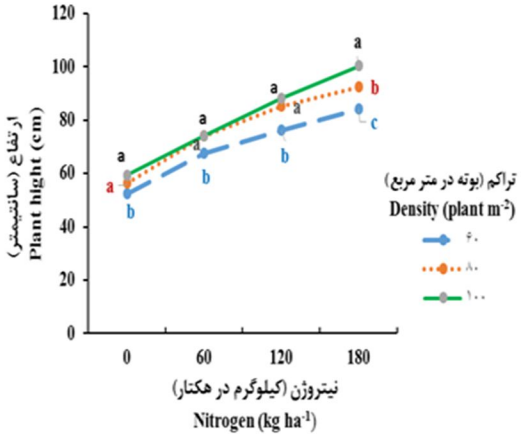
جدول ٤- تجزیه واریانس عملکرد کینوا تحت سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بوته در گیاه کینوا.

Table 4- Analysis of variance for yield under different niteogen fertilizer and plant density levels in quinoa plant.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000 grain weight
تکرار Replication	2	9796.73	28.01	0.007
نیتروژن Nitrogen (A)	3	10715690.72**	8864640.10**	3.84**
خطای عامل اصلی Error (A)	6	11653.33	15426.27	0.01
تراکم Density (B)	2	1029580.91**	921240.44**	0.07**
نیتروژن × تراکم A × B	6	137326.53**	73685.96**	0.39
خطای عامل فرعی Error (B)	16	6612.29	8560.58	0.01
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)		2.69	4.07	4.24

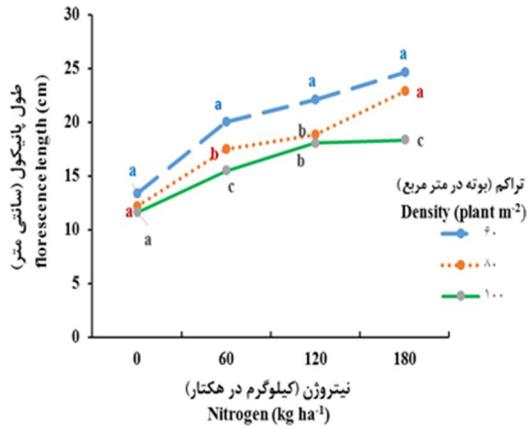
**، * به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد

**, * Significant at 1 and 5% probability level respectively



شکل ۷- روند تغییرات و مقایسه میانگین سطوح تراکم بوته در هر سطح از نیتروژن برای ارتفاع در گیاه کینوا (رویه **LSMEANS**).

Figure 7- Changing trends and mean comparison of the plant density in each nitrogen levels for plant height in quinoa plant (LSMEANS Procedure).



شکل ۸- روند تغییرات و مقایسه میانگین سطوح تراکم در هر سطح از نیتروژن برای طول پانیکول در گیاه کینوا (رویه **LSMEANS**).

Figure 8- Changing trends and mean comparison of the plant density in each nitrogen levels for panicle length in quinoa plant (LSMEANS Procedure).

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد اندازه‌گیری در کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و تراکم بوته.

Table 5- Correlation between measured traits in Quinoa affected by different levels of nitrogen fertilizer and plant density.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ANT	1													
MUT	0.98**	1												
H	0.72**	0.72**	1											
SD	0.85**	0.85**	0.97**	1										
NLB	0/86**	0.87**	0.80**	0.95**	1									
PL	0.84**	0.84**	0.67**	0.90**	0.90**	1								
B	0.68**	0.68**	0.93**	0.86**	0.83**	0.70**	1							
Y	0.73**	0.73**	0.96**	0.88**	0.82**	0.69**	0.95**	1						
HI	0.72**	0.72**	0.95**	0.85**	0.79**	0.67**	0.91**	0.98**	1					
TGW	0.91**	0.90**	0.83**	0.88**	0.86**	0.85**	0.87**	0/82**	0.83**	1				
PP	0.75**	0.77**	0.81**	0.94**	0.94**	0.87**	0.88**	0.85**	0.81**	0.77**	1			
TDW	0.54**	0.52**	0.92**	0.72**	0.62**	0.46**	0.90**	0.90**	0.89**	0.66**	0.67**	1		
LAE	0.86**	0.69**	0.95**	0.84**	0.78**	0.66**	0.92**	0.96**	0.95**	0.80**	0.71**	082**	1	
CGR	0.67**	0.86**	0.69**	0.79**	0.71**	0.57**	0.90**	0.93**	0.92**	0.80**	0.72**	0.96**	0.94**	1

1- درصد نیتروژن اندام‌های هوایی در مرحله گل‌دهی (ANT) 2- درصد نیتروژن اندام‌های هوایی در مرحله رسیدگی (MUT). 3- ارتفاع (H). 4- قطر ساقه (SD). 5- تعداد شاخه جانبی (NLB). 6- طول پانیکول (PL). 7- **عملکرد زیستی** (B). 8- **عملکرد دانه** (Y). 9- **شاخص برداشت** (HI). 10- **وزن هزاردانه** (TGW). 11- **درصد پروتئین دانه** (PP). 12- **میزان تجمع ماده خشک در مرحله گل‌دهی** (TDM). 13- **شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی** (LAI). 14- **سرعت رشد محصول** (CGR).

1- nitrogen Percentage of shoots in flowering stage (ANT) 2- nitrogen Percentage of shoots in maturity stage (MUT). 3- Height (H). 4- Stem diameter (SD). 5- Number of lateral branches (NLB). 6- Panicle length (PL). 7- Biological yield (B). 8- Grain yield (Y). 9- Harvest index (HI). 10- Thousand-grain weight (TGW). 11- Percentage of grain protein (PP). 12- Dry matter accumulation in flowering stage (TDM). 13- Leaf area index in flowering stage (LAI). 14- Crop growth rate (CGR).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که افزایش نیتروژن و تراکم بوته، تأثیر معنی‌داری بر افزایش شاخص سطح برگ مصرف، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک دارد که نتیجه آن افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی است. ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به همراه ۱۰۰ بوته در متر مربع، در شرایط آزمایش باعث بهبود صفات اقتصادی در کینوا می‌شود و بیشترین ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن هزار دانه از این سطح تیماری حاصل می‌گردد.

منابع

1.Ansari Ardali, S., and Agha Alikhani, M. 2015. Effect of plant density and nitrogen fertilizer rate on forage yield and quality of cultivated amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). J. Crop Sci. 17: 1. 35-36. (In Persian).

2.Awadalla, A., and Morsy, S.M. 2017. Influence of planting dates and nitrogen fertilization on the performance of quinoa genotypes under Toshka conditions. Egypt. J. Agron. 39: 1. 27-40.

3.Basra, S.M.A., Iqbal, S., and Afzal, I. 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. Int. J. Agric. Biol. 16: 5. 886-892.

4.Cacini, P. 2019. Seed yield of two quinoas (*Chenopodium quinoa* Willd) breeding lines as affected by sowing date in central Italy. Acta Agric. Slov.113: 1. 51-62.

5.Eisa, S.S., Abb El Samad, E.H., Hussin, S.A., Ebrahim, A., Gonzalez, A., El-Bordeny, N.E., and Abdel-Ati, A.A. 2018. Quinoa in Egypt- Plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. Middle East J. Appl. Sci. 8: 2. 515- 522.

6.Fathi, G., Banisaidy, A., Siadat, A., and Ebrahimipour, F. 2002. Effect of different levels nitrogen and plant density on grain yield of rapeseed, cultivar PF7045 in Khuzestan conditions. Sci. J. Agric. 25: 1. 43-58. (In Persian).

7.Omidi Ardeli, GH., and Bohrani, M.J. 2012. Effect of drought stress, nitrogen application levels and times on yield and yield components Sunflower at different growth stages. J. Agric. Sci. Tech. Reso, Water and Soil Sci. 15: 54. 199-207. (In Persian).

8.Garcia, M., Condori, B., and Del Castillo, C. 2015. Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in South America. *Quinoa:* Improvement and Sustainable Production. John Wiley and Sons edition, New Jersey, Pp: 25-41.

9.Geren, H. 2015. Effect of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. Turkish J. Field Crops. 20: 1. 59-64.

10.Gimplinger, D.M. Schulte Erley, G., Dobos, G., and Kaul, H.P. 2008. Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. Europ. J. Agron. 28: 119-125.

11.Hirich, A., Choukr-Allan, R., and Jacobsen, S.E. 2014. Quinoa in morocco- Effect of sowing dates on development and yield. J. Agron. Crop Sci. 200: 5. 371-377.

12.Jancurova, M., Minarovicoa, L., and Dandar, A. 2009. Quinoa- a review. Czech J. Food. Sci. 27: 2. 71-79.

13.Kakabouki, D., Bilalis, A., Karakanis, G., Zervas, E., and Hela, D. 2014. Effect of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. J. Sci. Food Agric. 26: 1. 18-24.

14.Kansomjet, P., Thobunluepop P., Lermongkol, S., Sarobol, E., Keawsuwan, P., Junhaeng, P., Junhaeng, P., Pipttanawong., N., and Ivan, M.T. 2017. Response of physiological characteristics, seed yield and seed quality of quinoa under difference of

nitrogen fertilizer management. Am. J. Plant Physio. 12: 1. 20-27.
15. Karimi, M.M., and Siddique., H.M. 1991. Crop growth rates of old and modern wheat cultivars. Aust. J. Agric. Res. 42: 13-20.
16. Lebaschi, M.H., Bakhtiari Ramezani, M.H., and Sharifi Ashourabadi, A. 2008. The effects of plant densities on growth indices of (*Carthamus tinctorius* L.) under Damavand dryland condition. Iranian J. Med. Arom Plants. 24: 4. 444-454. (In Persian).
17. Miguele, Z., Frade, M.M., and Valenciano, J.B. 2005. Effect of sowing density on the yield and yield components of spring-sowing irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) growing in Spain. New Zeeland. J. Crop. Hort. Sci. 33: 367-371.
18. Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D., and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. Field Crops Res. 99: 23. 114- 421.
19. Mousavi, Gh., Arefi, R., and Seghaal-Islami, M. 2016. Effect of different levels of nitrogen and plant density on morphological traits and grain yield of sorghum grains. J. Appl. Res. Plant Ecophysiol. 3: 2. 141-160. (In Persian).
20. Schulte, M., Erley, G., Kaul, H.P., and Aufhammer, W. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudo cereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. Europ. J. Agron. 22: 1. 95-100.
21. Shams, A.S. 2011. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil. Int. J. Water Res. Environ. 1: 5. 318-325.
22. Shoman, H.A. 2018. Effect of sowing dates and nitrogen on productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at desert areas. Int. J. Plant Prod. 9: 4. 327-332.
23. Siddiqui, M.H., Mohammad, F., Khan, M.N., Al-Whaibi, M., and Bahkali, A. 2010. Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotypes grown under salt stress. Agri. Sci. China. 9: 5. 671-680.
24. Sosa-Zuniga,V., Brito, V., Fuentes, F., and Steinfort, U. 2017. Phonological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) based on the BBCH scale. Ann. Appl. Biol. 171: 1. 117-124.
25. Zhang, Y.L., Fan, J.B., Wang, D.S., and Shen, Q.R. 2009. Genotypic differences in grain yield and physiological nitrogen use efficiency among rice. Soil Sci. Soc. China. 19: 681-691.