نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۴(۶۸)، زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۴۹۲-۴۷۵

مقاله پژوهشی DOI:

تأثیر کم‌آبیاری مدیریت شده و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*)

حسن فاطمی‌کیان[۱]، مریم تاتاری[۲*]، محمدرضا تکلو[۳]، معصومه صالحی[۴] و کمال حاج محمدنیاقالی‌باف[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۴

چکیده

فراهمی مواد آلی در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند راه حلی عملی برای تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش خشکی باشد. به‌منظور بررسی اثر دو عامل کم‌آبیاری و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی کینوا آزمایشی در سال ۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های‌کامل تصادفی در دو مکان (مشهد و نیشابور) و در سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف کم‌آبیاری در کرت اصلی و تیمارهای کودی درکرت‌های فرعی قرار گرفت. سطوح کم‌آبیاری شامل I_0: آبیاری کامل، I_1 :کم‌آبیاری مرحله سبز شدن، I_2: کم‌آبیاری مرحله طویل شدن ساقه، I_3: کم‌آبیاری مرحله گلدهی، I_4: کم‌آبیاری مرحله دانه بستن بود و تیمارهای کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی بر اساس توصیه کودی، ۱۰تن کود دامی و ۲۰تن کود دامی در هکتار بودند. بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۲۰ تن کود دامی و تیمار I_2 در نیشابور به‌دست آمد. کمترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۰ و ۲۰ تن کود دامی و کم‌آبیاری I_1 در نیشابور حاصل شد. کمترین عملکرد دانه در تیمار I_1 در نیشابور و بیشترین عملکرد دانه در تیمار I_0 با کاربرد ۲۰ تن کود دامی در مشهد مشاهده شد. اعمال تیمارهای کودی سرعت رشد محصول را در هر دو مکان آزمایش افزایش داد، اما تأثیر کودهای دامی بر افزایش سرعت رشد محصول بیش از تأثیر کود شیمیایی بود. در مجموع تیمار I_2 همراه با مصرف ۱۰ تن کود دامی در هکتار در هر دو مکان، عملکرد دانه و تولید ماده خشک بالایی داشت.

واژگان کلیدی: شاخص سطح برگ، کود دامی، سرعت رشد نسبی، کینوا.

۱- دانشجوی دکتری زراعت (فیزیولوژی گیاهان زراعی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، بجنورد، ایران.

۴- استادیار مرکز ملی شوری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، یزد، ایران.

۵- استادیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نگارنده مسئول maryamtatari@yahoo.com

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa*) بومی کوه‌های آند در بولیوی، شیلی و پرو است و مهم‌ترین تولید کنندگان این گیاه بولیوی، پرو و اکوادور است (Vega-Galvez *et al*., 2010). کینوا از نظر گیاه‌شناسی متعلق به تیره‌ی Chenopodiaceae، جنس Chenopodium و یکی از دانه‌هایی است که به عنوان شبه‌غله در نظر گرفته شده است. ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا باعث شده که توسط FAO با شیر خشک مقایسه شده و آن را خاویار گیاهی نامیده‌اند (James, 2009). توجه جهانی بر روی این گیاه به دلیل ارزش غذایی بالای آن زیاد است (Nowak *et al*., 2016). کینوا دارای میزان بالایی پروتئین، آهن و کلسیم بوده و از نظر تعادل اسیدهای آمینه بهتر از گندم و برنج است (James, 2009). هیچ محصول دیگری غیر از کینوا وجود ندارد که در برابر ترکیبی از عوامل محیطی تنش‌زا مقاومت کند (Jacobsen *et al*., 2005). به‌طورکلی، کینوا نسبت به سایر گونه‌های زراعی کمتر تحت تأثیر سرما (Jacobsen *et al*., 2005)، شوری (Razzaghi *et al*., 2011)، خاک‌های فقیر (Jacobsen *et al*., 2005) و تنش خشکی (Hirich *et al*., 2012) قرار می‌گیرد. به عقیده محققان وجود چندین مکانیسم مقاومت در برابر کم‌آبی در گیاه کینوا، آن را برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب ساخته است (Hirich *et al*., 2012). تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزنده در دنیا است و رشد و عملکرد گیاهان را در جهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت مواجه ساخته است (Wang *et al*., 2014). عمده قسمت‌های ایران با کمبود آب مواجه هستند و کمبود آب شیرین عامل محدود کننده اصلی برای به‌دست آوردن عملکردهای بالا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. لذا، با مدیریت صحیح آب و خاک و استفاده از فنون پیشرفته می‌توان از بارندگی‌های پراکنده و سایر منابع محدود آب به روش بهینه استفاده کرد. علی‌رغم اثرات منفی ناشی از تنش خشکی، استراتژی کم‌آبیاری راهکار مناسبی برای افزایش بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی است. اعمال روش کم‌آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک که از کمبود آب رنج می‌برند، بسیار کارآمد است (Hirich and Choukr-Allah, 2014). تغییر آب و هوای ایران به سمت گرم و خشک و نیز شور شدن تدریجی خاک‌های زراعی کشور از یک سو و تحمل بالای گیاه کینوا در مقابل خشکی از سوی دیگر، به‌طور منطقی بیانگر این موضوع است که از کینوا می‌توان به‌عنوان گیاهی مناسب برای رسیدن به کشاورزی پایدار، تغذیه مناسب و تولید صنعتی استفاده کرد (Tavousi and Lotfali Ayene, 2017). کودهای آلی به‌خصوص کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به‌عنوان منابعی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار آیند و به مرور این عناصر را در اختیار گیاهان قرار دهند، علاوه بر آن آلودگی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کند (Darzi., 2012). افزودن مواد آلی، ظرفیت نگه‌داری آب خاک تحت شرایط کم‌آبی را افزایش می‌دهد (Ahmadian *et al*., 2009).

از آنجا که توسعه کشت محصولات زراعی و میزان عملکرد آن به آبیاری و عوامل تغذیه‌ای وابسته است و با توجه به اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز اقلیمی کشور به‌حساب می‌آید،

یکی از راهکارهـای مقابله با این مشکلات، اجرای تحقیقات در زمینه کم‌آبیاری و مدیریت مصرف کود روی گیاهانی مانند کینوا که پتانسیل رشد با نهاده‌های کمتر و تحمل تنش بالاتر را دارد، است. این تحقیق به‌منظور تعیین اثر دو عامل کم‌آبیاری مدیریت شده و منابع کودی مختلف بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی کینوا در دو مکان مشهد و نیشابور انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو مکان، مزرعه ایستگاه تحقیقات طرق شهرستان مشهد و مزرعه‌ای در شهرستان نیشابور در سال ۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های‌کامل تصادفی در دو مکان و سه تکرار انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل سطوح مختلف کم‌آبیاری در کرت اصلی و تیمارهای کودی درکرت‌های فرعی قرار گرفت. سطوح کم‌آبیاری شامل I_0: آبیاری کامل، I_1: کم‌آبیاری مرحله سبز شدن، I_2: کم‌آبیاری مرحله طویل شدن ساقه، I_3: کم‌آبیاری مرحله گلدهی، I_4: کم‌آبیاری مرحله دانه بستن بود که با توجه به مراحل فنولوژیک گیاه کینوا تعیین شد (Sosa Zuniga *et al.*, 2017). تیمارهای کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی بر اساس توصیه کودی، ۱۰ تن کود دامی و ۲۰ تن کود دامی در هکتار بود. لازم به ذکر است که توصیه کودی کینوا در ایران شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفاته، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسه و ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژنه است (Bagheri *et al.*, 2020). قبل از اجرای آزمایش نمونه خاک به‌صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر زمین محل اجرای آزمایش در هر دو مکان، برداشت و جهت تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل شد، که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. مشخصات اقلیمی دو مکان نیز در جدول ۲ ارایه شده است. طول کرت‌های فرعی سه متر و عرض آن دو متر بود. به‌منظور آماده‌سازی زمین، ابتدا از شخم برگردان‌دار و پس از آن از دیسک استفاده شد. پس از عملیات تسطیح و کرت‌بندی، کود دامی به مقدار تعیین شده در کرت‌ها پخش و با بیل کاملاً با خاک مخلوط شد. سپس در هر کرت ۶ ردیف با فاصله ۲۵سانتی متر ایجاد و بذورکینوا به‌صورت دستی در تاریخ کشت و روی کرت‌ها با خاک تا حدود یک سانتی‌متر پوشانده شد. بذر مورد استفاده در این آزمایش رقم titicaca بود که از مرکز تحقیقات شوری یزد، تهیه شد. بعد از کشت به‌منظور حصول یکنواختی سبز شدن، اولین آبیاری در تمامی کرت‌ها به‌طور یکسان انجام و نوبت دوم آبیاری نیز با فاصله سه روز انجام شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه، تیمارهای کم‌آبیاری مطابق مراحل نموی ذکر شده، اجرا شد. سیستم آبیاری به‌صورت کرتی بود و فواصل آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و نیاز آبی کینوا با استفاده از نرم‌افزار cropwat تعیین شد. صفات مورد مطالعه شامل وزن هزار دانه، طول و عرض پانیکول، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول بود. در طول فصل رشد به فاصله هر ۷ روز یک‌بار نمونه‌برداری تخریبی از سطح مزرعه (پنج مرحله) انجام و سرعت رشد محصول یا سرعت رشد گیاه، که میزان ماده‌ی خشک تولید شده در واحد سطح زمین در واحد زمان است با استفاده از معادله‌ی (۱) محاسبه گردید.

$$CGR\ (g/m2/day) = W2 - W1/T2 - T1 \quad \text{معادله(۱)}$$

سرعت رشد نسبی، که تولید ماده‌ی خشک گیاه را نسبت به وزن اولیه‌ی آن تعیین می‌نماید نیز با استفاده از معادله‌ی (۲) محاسبه شد.

معادله (۲) $$RGR = (LnW2 - LnW1)/(t2 - t1)$$

که در این معادلات W_1 وزن خشک اولیه (بر حسب گرم)، W_2 وزن خشک ثانویه (بر حسب گرم)، T_1 زمان نمونه برداری اولیه و T_2 زمان نمونه‌برداری ثانویه است. بعد از برداشت برگ‌ها در مرحله رشد (طویل شدن ساقه) اقدام به اندازه‌گیری سطح برگ برای هر بوته با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (ΔT- Leaf Area Meter) شد. سپس با در دست داشتن سطح زمین اختصاص یافته به هر گیاه، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید.

معادله (۳) $$LAI = \frac{A_{all\,leaves}}{A_{plant}}$$

که در آن، LAI: شاخص سطح برگ (بدون بعد)، $A_{all\ leaves}$: مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه (سانتی‌متر مربع) و A_{plant}: سطح زمین اختصاص یافته برای هر گیاه (سانتی‌متر مربع) می‌باشد.

در انتهای فصل رشد، ۱۵ بوته از هر کرت به صورت تصافی انتخاب و طول و عرض پانیکول توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه در هر کرت نمونه‌برداری توسط کوادرات ۱×۱ متر به‌صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه از داخل کرت‌ها انجام شد. از دانه‌های برداشت شده از داخل هر کرت، ۱۰ نمونه‌ی ۱۰۰ تایی به‌صورت تصادفی انتخاب و توسط ترازوهای حساس دیجیتالی توزین و به‌عنوان وزن هزار دانه برای هر کرت منظور گردید.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و شکل‌ها به‌وسیله Excel رسم گردید. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده کم‌آبیاری در صفات وزن هزار دانه، طول و عرض پانیکول و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و در صفت شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثرات ساده کود در تمام صفات مورد آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل کم‌آبیاری و مکان آزمایش در صفات عملکرد دانه و شاخص سطح برگ به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج‌درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل کم‌آبیاری و کود در صفات وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مکان و تیمار کودی در صفات عرض پانیکل، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه کم‌آبیاری، کود و مکان در تمامی صفات به استثنای شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳).

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) در هر دو مکان و در تیمارهای عدم مصرف کود و مصرف ۲۰ تن کود دامی سبب کاهش وزن هزاردانه نسبت به آبیاری کامل شد، درحالی‌که اعمال سایر تیمارهای کم‌آبیاری وزن هزار دانه را در تمام سطوح کودی افزایش داد (جدول ۴).

بررسی جدول ۴ نشان داد که سطوح کود دامی (۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) میانگین وزن هزار دانه کینوا را بیش از مصرف کود شیمیایی افزایش داد. هرچند در تیمارهای کم‌آبیاری I_1 در نیشابور و I_3 در مشهد، کاهش میانگین وزن هزار دانه در اثر مصرف کود دامی مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۲۰ تن کود دامی و کم‌آبیاری در مرحله طویل شدن ساقه (I_2) در نیشابور به‌دست آمد (جدول ۴). کمترین وزن هزاردانه نیز در تیمار ۱۰ و ۲۰ تن کود دامی و کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن در نیشابور حاصل شد (جدول ۴). همانطور که مشاهده می‌شود، پاسخ به تیمارهای آزمایشی در دو مکان آزمایش متفاوت بود که علت این تفاوت می‌تواند تفاوت در عوامل اقلیمی (دما، رطوبت، ساعات آفتابی و ...) و عوامل خاکی (شوری خاک یا بافت خاک) باشد. در نیشابور کم‌آبیاری (به استثنای I_1) وزن هزاردانه را افزایش داد، در حالی‌که در مشهد (به استثنای I_1) میانگین وزن هزار دانه تقریباً ثابت ماند. رسیدگی فیزیولوژیک دانه مرحله‌ای است که دانه به بالاترین وزن خود رسیده و مشارکت دو عامل سرعت و طول دوره پرشدن دانه تعیین کننده‌ی وزن نهایی دانه است (Álvaro-Fuentes *et al*., 2008). نتایج تحقیقات دیگر در رابطه با تأثیر تنش خشکی و تغییر دفعات آبیاری بر وزن هزار دانه مانند نتایج این آزمایش متضاد است. بیرامی و همکاران (Beyrami *et al*., 2020) کاهش وزن هزار دانه با افزایش فواصل آبیاری را در کینوا گزارش کردند و سزن و همکاران (Sezen *et al*., 2016) نیز در تحقیقات خود کاهش وزن هزار دانه در اثر کم آبیاری را گزارش و بیان کردند که تیمار آبیاری کامل بیشترین وزن هزار دانه را تولید نمود. اما برخی از گزارش‌ها نیز دلالت بر افزایش وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش خشکی دارد (Goksoy *et al*., 2004). احتمالاً با مصرف کود به‌دلیل کاهش میزان حذف فیزیولوژیک گل‌ها و افزایش سطح سبز گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته و نیز با افزایش طول دوره‌ی گلدهی و باروری گل‌ها وزن هزار دانه افزایش یافت.

طول و عرض پانیکول: تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش طول و عرض پانیکول در مقایسه با آبیاری کامل شد، اما میزان کاهش در سطوح مختلف کودی و در دو مکان آزمایش متفاوت بود (جدول ۴). در نیشابور بیشترین کاهش طول و عرض پانیکول (۱۷ و ۲۴ درصد) در کم‌آبیاری مرحله سبز شدن (I_1) مشاهده شد ولی در مشهد بیشترین کاهش طول و عرض طول و عرض پانیکول از تیمار آبیاری کامل و ۲۰ تن کود دامی در مشهد و کمترین طول و عرض پانیکول از تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) در نیشابور به‌دست آمد (جدول ۴). طول گل‌آذین خود جزو مهمی در تعیین عملکرد دانه محسوب می‌شود. فراهم بودن عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک باعث می‌گردد که شرایط گرده‌افشانی به نحو مطلوب‌تری انجام گیرد، به‌طوری‌که باروری گیاه با مشکل مواجه نشود و طول پانیکول و به تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش یابد. اما کم‌آبیاری به‌ویژه در مرحله تشکیل گل آذین، سبب ایجاد تنش خشکی و کاهش ابعاد گل‌آذین می‌شود (Gardner *et al*., 2017).

عملکرد دانه: واکنش عملکرد دانه کینوا نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری و سطوح مختلف کودی اعمال شده در دو مکان آزمایش مشابه

نبود. طبق نتیجه مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کمترین عملکرد دانه در تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) در نیشابور و بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل با کاربرد ۲۰ تن کود دامی در مشهد مشاهده شد (جدول ۴). تیمارهای کم‌آبیاری عملکرد دانه را کاهش داد، اما میزان کاهش در تمام سطوح مشابه نبود. بیشترین کاهش عملکرد دانه (۷۱/۷ درصد) در مقایسه با آبیاری کامل در تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) در نیشابور مشاهده شد. کم‌آبیاری در مرحله گلدهی (I_3) نیز عملکرد دانه را در نیشابور کاهش داد (جدول ۴). محققان گزارش کردند که میزان فتوسنتز بالا و سطح برگ کینوا در مراحل اولیه رشد، امکان جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای بزرگ‌تر را فراهم کرده و به گیاه کمک می‌کند در مراحل بعدی از تنش خشکی اجتناب کند (Geerts *et al*., 2008)، شاید به‌همین علت کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن عملکرد دانه را بیشتر از سایر سطوح کم‌آبیاری کاهش داد. امام و همکاران (Emam *et al*., 2007) نتیجه گرفتند که با وجود شرایط مساعد رطوبتی تا پیش از گلدهی، تنش خشکی از گلدهی تا رسیدن دانه بر عملکرد دانه اثر بارزی دارد و سبب افت عملکرد دانه می‌گردد. به گزارش هیریچ و همکاران (Hirich *et al*., 2014) پتانسیل عملکرد کینوا در شرایط بهینه متغیر است و بستگی به شرایط آب و هوایی، خاک، تاریخ کاشت و رقم دارد. در این تحقیق نیز نوسانات عملکرد در دو مکان آزمایش و بین تیمارهای اعمال شده نسبتاً زیاد بود (جدول ۴). در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی و شوری جزو تنش‌های اصلی غیرزنده مؤثر بر عملکرد پتانسیل بوده و موجب بی‌ثباتی عملکرد در کینوا هستند (Fuentes and Bhargava, 2011; Razzaghi *et al*., 2012). گریتس و همکاران (Geerts *et al*., 2008) حداکثر عملکرد کینوا را در شرایط آبیاری کامل ۲/۰۴ تن در هکتار و در شرایط کم‌آبیاری ۲/۰۱ تن درهکتار گزارش کردند در حالی‌که در شرایط دیم عملکرد دانه کینوا تا ۱/۶۸ تن در هکتار کاهش یافت. همچنین رزاقی (Razzaghi *et al*., 2011) عملکرد دانه کینوا را در شرایط بهینه ۲/۳ تن در هکتار گزارش کردند. به گزارش محققان دیگر نیز کم‌آبیاری و تنش خشکی کینوا سبب کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی و شاخص برداشت گردید (Razzaghi *et al*., 2012; Hirich *et al*., 2014). در زمان پر شدن دانه، کمبود آب از طریق کاهش فتوسنتز باعث کاهش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود. خشکی در مرحله پر شدن دانه، موجب تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره پر شدن دانه، میانگین وزن دانه‌ها و عملکرد می‌شود. این عمل توسط کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال رشد صورت می‌پذیرد (Saeidi *et al*., 2017). اعمال تیمارهای کودی نیز پاسخ‌های متفاوتی در پی داشت. در تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن در نیشابور، کاربرد کودهای شیمیایی و دامی سبب کاهش عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف کود شد. در مشهد در تیمار آبیاری در مرحله دانه بستن، کاربرد تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. اما در بقیه تیمارهای کم‌آبیاری در دو مکان، استفاده از کودهای شیمیایی و دامی عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۴). از آنجا که مصرف کودهای دامی می‌تواند سبب افزایش میزان نیتروژن در دسترس گیاه گردد و چون نیتروژن جزو مهمی از مولکول کلروفیل است لذا هر چه عرضه آن بیشتر گردد

برگ‌ها بزرگ‌تر شده و سطح کربن‌گیری افزایش می‌یابد و افزایش ساخته شدن مواد هیدروکربنه منجر به افزایش محصول می‌شود. به گزارش ریجر و همکاران (Rieger *et al*., 2008)، وجود عناصر غذایی به‌میزان کافی در خاک، سبب بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، افزایش کارایی تبدیل مواد فتوسنتزی به ماده‌ی خشک و در نتیجه افزایش تعداد سنبله‌ی بارور و عملکرد در گندم می‌شود. کائول و همکاران (Kaul *et al*., 2005) گزارش کردند که کینوا به شدت به مصرف کود نیتروژن واکنش نشان می‌دهد و باعث افزایش رشد رویشی و روند سوخت و ساز در کینوا و همچنین افزایش تجمع ماده خشک گیاه می‌شود (Gomaa, 2013). نیتروژن به‌دلیل نقش تحریک کننده فعالیت متابولیکی، میزان متابولیت‌هایی که در عملکرد و اجزای عملکرد نقش اساسی دارند را افزایش می‌دهد (Shams, 2012). مطالعه تأثیر مواد آلی بر ظرفیت نگهداری آب توسط خاک به ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک بر روی چندین محصول زراعی نشان داد که افزودن کودهای آلی ظرفیت مزرعه، محتوای آب خاک و هدایت هیدرولیکی خاک را افزایش داده و تأثیر مثبتی بر رشد، تولید و عملکرد داشت (Hirich *et al*., 2014). طبق گزارش هارتلی و همکاران (Hartley *et al*., 2010) کود دامی در خاک بعد از معدنی شدن مواد آلی آن، خاک را از نظر عناصر غذایی تقویت نموده و دسترسی عناصر غذایی را افزایش خواهد داد. در نتیجه جذب عناصر غذایی، رشد و تولید گیاه بهبود می‌یابد.

شاخص سطح برگ: مقایسه میانگین اثر متقابل مکان و کم‌آبیاری نشان داد که تغییرات شاخص سطح برگ با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری در دو مکان آزمایش مشابه نبوده است. در نیشابور تیمارهای کم‌آبیاری شاخص سطح برگ را در مقایسه با آبیاری کامل کاهش دادند، در حالی‌که در شرایط مشهد، تنها تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) شاخص سطح برگ را کاهش داد (شکل ۱-الف). مقایسه میانگین اثر متقابل مکان و کود نیز نشان داد که در نیشابور تیمارهای کودی دامی به‌کار رفته سبب افزایش شاخص سطح برگ شد، اما در مشهد شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (شکل ۱-ب). بنابراین، در مجموع شاخص سطح برگ کینوا در مشهد تقریباً ثابت بود و کمتر تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. تفاوت‌های مشاهده شده را می‌توان به تفاوت در میزان دما، نور و بارندگی در مشهد و نیشابور نسبت داد. قدرت منبع، در تولید مواد پرورده در پر شدن دانه و عملکرد نهایی عامل مهمی محسوب می‌شود که به معنای اندازه‌ی منبع × فعالیت منبع است، اندازه‌ی سطح سبز برگ، تخمینی از اندازه‌ی منبع است و موجودی برگ گیاه زراعی را نشان می‌دهد و از آنجا که با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع و فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد، بنابراین تولید ماده خشک در گیاه وابسته به این شاخص است. کاهش سطح برگ با کاهش عملکرد در تیمارهای کم‌آبیاری مطابقت داشت. کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر می‌شود و از این طریق نیز رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین با کاهش سطح برگ، سطح تعرق گیاه نیز کاهش می‌یابد و این اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با خشکی محسوب می‌شود (Shao *et al*., 2008). در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ در گیاه کدو تخم کاغذی شده ولی کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، غلظت پرولین برگ و فتوسنتز در اثر افزایش تنش افزایش یافتند

(Aghaei and Ehsanzadeh, 2011). کامانن و همکاران (Kammann *et al*., 2011) نشان دادند که با کاهش فراهمی آب از ۱۰۰ به ۶۰ و ۲۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، سطح برگ گیاه کینوا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بالا بودن شاخص سطح برگ در اثر کاربرد تیمارهای کودی می‌تواند به‌دلیل تأثیر مثبت نیتروژن در اندازه و طول عمر برگ باشد (Patel *et al*., 2006). مصرف کود نیتروژن همچنین باعث افزایش عملکرد سرشاخه‌ها، تعداد برگ‌ها، نسبت برگ به ساقه و شاخص سطح برگ می‌شود (Anwar *et al*., 2005). در مقابل کمبود عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن از طریق پایین آوردن شاخص سطح برگ و نیز بهم خوردن سنتز و تخریب پروتئین، پیری زودرس برگ‌ها را سبب گردیده و با تأثیر بر آنزیم روبیسکو بر فرآیند فتوسنتز گیاه و به تبع آن روی پر شدن دانه تأثیر منفی می‌گذارد (Wolton, 2005) که این نتایج با مشاهدات تحقیق فوق مطابقت نداشت.

سرعت رشد نسبی: سرعت رشد نسبی بیان کننده وزن خشک اضافه شده به وزن اولیه در یک فاصله زمانی معینی است که با گذشت زمان و به‌دلیل افزایش سایه‌اندازی و افزایش قسمت‌های ساختمانی و غیرمؤثر در فتوسنتز مقادیر این شاخص در مرحله‌ی ابتدایی رشد افزایشی بوده و سپس روند نزولی دارد. از آنجا که با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، وزن افزایش یافته نسبت به وزن اولیه کمتر می‌شود، سرعت رشد نسبی نیز روند کاهشی نشان می‌دهد و حداقل مقادیر این شاخص نیز در انتهای فصل رشد به‌دلیل توقف رشد گیاه حاصل می‌گردد.

مقادیر عددی سرعت رشد نسبی در کشت نیشابور بالاتر از مشهد بود. بررسی روند تغییرات RGR در طی زمان تحت تأثیر سطوح کم‌آبیاری در شکل ۲ ارایه شده است. مطابق شکل ۲ در مشهد روند کاهش RGR با شیب کمتری در مقایسه با نیشابور اتفاق افتاد. بین سطوح مختلف کم‌آبیاری روند تغییرات RGR در طول زمان در نیشابور تقریباً مشابه بود. کم‌آبیاری در مرحله پر شدن دانه (I_4) کمترین تأثیر منفی را بر RGR داشت. اما در مشهد بین سطوح کم‌آبیاری از نظر مقادیر RGR اختلاف وجود داشت. به‌طوری‌که سرعت رشد نسبی در شرایط کم‌آبیاری در مرحله طویل شدن ساقه (I_2) حتی از تیمار آبیاری کامل نیز بالاتر بود. کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) نیز کمترین RGR را در هر دو مکان داشت (شکل ۲). گزارش کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh-asl *et al*., 2004) حاکی از افزایش شیب نزولی سرعت رشد نسبی آفتابگردان بر اثر کمبود آب است. زیرا گیاه با مواجه با تنش خشکی به‌عنوان مکانیسم فرار، هرچه سریع‌تر دوره رشدی خود را پایان می‌دهد. مطالعه روند تغییرات RGR تحت تأثیر سطوح کودی در مشهد و نیشابور نشان داد که در مجموع کاربرد تیمارهای کودی سبب افزایش RGR در نیشابور شد. اما در مشهد تنها تیمارهای کود دامی بر روند سرعت رشد نسبی تأثیر مثبت داشت و سرعت رشد نسبی تیمار مصرف کود شیمیایی در مشهد حتی از تیمار عدم مصرف کود نیز کمتر بود (شکل ۳). کاربرد کودها سبب افزایش رشد رویشی و شاخ و برگ در گیاه می‌شود، در نتیجه گیاهان سریع‌تر رشد رویشی را تکمیل کرده و سطح زمین را اشغال می‌کنند و رقابت برای دریافت نور و منابع ایجاد می‌شود و از طرفی افزایش تنفس، میزان تولید خالص و سرعت رشد نسبی را کاهش می‌دهد.

سرعت رشد محصول: سرعت رشد محصول نمایانگر میزان تجمع ماده خشک گیاهان در یک فاصله زمانی مشخص در واحد سطح خاک است (Hunt, 2012). به‌طورکلی این شاخص، تا مرحله‌ی سوم (ساقه‌دهی) روند افزایشی سریعی داشت، زیرا تا این مرحله گیاه در مرحله‌ی رشد رویشی سریع و تشکیل برگ‌های جدید بود و طبیعتا سرعت فتوسنتز و رشد بالا بود ولی پس از آن، روند کاهشی نشان داد که می‌تواند به‌دلیل کاهش رشد رویشی و سایه‌اندازی برگ‌ها باشد و در مراحل انتهایی نیز به‌دلیل پیری و ریزش برگ‌هایی که در موقعیت پایین‌تر کانوپی قرار داشته‌اند، کاهش ادامه یافت. CGR کینوا نیز تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری و کود در دو مکان آزمایش قرار گرفت. در سطوح مختلف کم‌آبیاری مقادیر عددی CGR در مشهد بالاتر از نیشابور بود. همچنین، شیب کاهش سرعت رشد محصول از مرحله سوم به بعد در نیشابور نسبت به مشهد افزایش داشت. در مشهد تیمارهای کم‌آبیاری مرحله طویل شدن ساقه (I_2) و مرحله پر شدن دانه (I_4) بالاترین CGR را داشتند. اما در نیشابور به استثنای تیمار کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) بقیه سطوح کم‌آبیاری و آبیاری کامل روند CGR نسبتاً مشابهی به‌ویژه در نقطه حداکثر رشد محصول (مرحله سوم نمونه‌گیری) داشتند. در هر دو مکان آزمایش کم‌آبیاری در مرحله سبز شدن (I_1) کمترین CGR را داشت (شکل ۴). به گزارش کرم و همکاران (Karam *et al*., 2007)، کمترین سرعت رشد محصول را کم‌آبیاری در اوایل گلدهی و سپس کم‌آبیاری در اواسط گلدهی داشته و کم‌آبیاری در اوایل تشکیل دانه تأثیر معنی‌داری در کاهش سرعت رشد محصول نداشت. به گزارش کریمی‌کاخکی و همکاران (Karimi Kakhki *et al*., 2010) اعمال کم‌آبیاری موجب رسیدگی زودتر محصول شده و سرعت رشد محصول در تیمارهای کم‌آبیاری زودتر به حداقل مقدار خود می‌رسد، که با نتایج این تحقیق همخوانی نداشت. بررسی تأثیر سطوح کودی به کار رفته بر CGR نشان داد که تیمارهای کودی سرعت رشد محصول را در هر دو مکان آزمایش افزایش دادند، اما تأثیر کودهای دامی بر افزایش CGR بیش از تأثیر کود شیمیایی بود. به‌طوری‌که مصرف ۲۰ تن کود دامی در هکتار بیشترین CGR را در مشهد و نیشابور داشت (شکل ۵). به نظر می‌رسد که افزایش مصرف کود دامی با فراهمی تدریجی نیتروژن در طی فصل رشد، سبب افزایش دوام و شاخص سطح برگ شده و شرایط مطلوب‌تری برای استفاده از نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی فراهم کرده، که در نهایت سبب افزایش سرعت رشد محصول شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که پتانسیل عملکرد کمی و کیفی دانه کینوا تحت تأثیر آبیاری و منبع کودی مورد مصرف قرار می‌گیرد. طبق نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، هنگام اتخاذ راهبرد کم‌آبیاری، تنش خشکی وارد شده به محصول به‌ویژه در مراحل سبز شدن و گلدهی، اثرات منفی بر عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی کینوا اعم از CGR و RGR داشت. اما کاربرد کود دامی با اصلاح مواد آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده و آب بیشتری در اختیار گیاه قرار داد و تولید ماده خشک را بهبود بخشید. در نتیجه عملکرد دانه با اعمال کم‌آبیاری در مراحل غیرحساس (مرحله طویل شدن ساقه و مرحله پر شدن دانه)، کاهش شدیدی نشان نداد. در نهایت می‌توان گفت که تیمار کم‌آبیاری در

مرحله طویل شدن ساقه در هر دو مکان، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، عملکرد قابل قبولی نیز داشت. ضمن اینکه تیمار ۱۰ تن کود دامی نیز بر اغلب صفات مورد مطالعه تأثیر مثبتی داشت. هرچند به‌دلیل کودپذیری بالای کینوا، کاربرد ۲۰ تن کود دامی در هکتار در صورت دارا بودن صرفه اقتصادی توصیه می‌شود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دو محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of the soil in two experiment locations (0-30 cm depth)

SAR	Lime (%)	K (ppm)	P (ppm)	OC (%)	Total N (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	بافت Texture	Location موقعیت
4.95	17.73	217	3.4	0.742	0.07	7.93	0.899	لومی loam	Neyshabur نیشابور
8.23	13.75	145	3.5	0.362	0.03	7.74	2.34		Mashhad مشهد

جدول۲- خصوصیات هواشناسی و موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح در نیشابور و مشهد

Table 2 - Meteorological and geographical characteristics of Neyshabour and Mashhad

Location موقعیت	Longitude طول جغرافیایی	Latitude عرض جغرافیایی	Altitude above sea level (m) ارتفاع از سطح دریا	Average annual rainfall (mm) میانگین بارندگی سالانه	Average temperature (°C) دمای میانگین	Max temperature (°C) حداکثر دما	Min temperature (°C) حداقل دما
Neyshabur نیشابور	58°50'E	36°10'N	1250	240	14.7	22.5	6.8
Mashhad مشهد	59°35'E	36°20'N	950	222.3	16.5	23	9.4

جدول ۳- تجزیه مرکب صفات مختلف کینوا تحت سطوح مختلف تیمارهای کم‌آبیاری و کودی در مشهد و نیشابور

Table 3- Compound analysis of various quinoa traits under deficit irrigation and fertilizers in Mashhad and Neishbour

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	1000-seed weight وزن ۱۰۰۰ دانه	Panicle length طول خوشه	Panicle diameter عرض خوشه	Seed yield عملکرد دانه	LAI شاخص سطح برگ
Location (L) موقعیت	1	0.06^{ns}	365.75^{ns}	53.33^{ns}	189210.21^{ns}	272.28^{*}
Rep (L) تکرار	4	0.02	78.92	11.73	35545.08	16.25
Deficit irrigation (D) کم آبیاری	4	0.68^{**}	57.63^{**}	10.04^{**}	152903.93^{**}	3.91^{*}
D × L	4	0.07^{ns}	9.05^{ns}	2.59^{ns}	20796.38^{**}	2.82^{*}
Error a خطایa	16	0.1	9.06	1.53	10972.53	0.91
Fertilizer (F) کود	3	0.37^{**}	32.1^{**}	2.73^{**}	67648.28^{**}	6.88^{**}
D × F	12	0.11^{*}	5.67^{ns}	0.27^{ns}	10650.94^{*}	0.34^{ns}
F× L	3	0.01^{ns}	8.37^{ns}	1.26^{**}	22080.36^{**}	8.43^{**}
L × D × F	12	0.12^{*}	7.41^{*}	0.61^{**}	9037.06^{*}	0.48^{ns}
Error b خطایb	60	0.05	3.61	0.23	4470.06	0.47
C.V.(%) ضریب تغییرات		10.14	8.22	11.48	21.03	9.07

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non- significant and significant in probabilitie levels of 5 and 1 %, respectively.

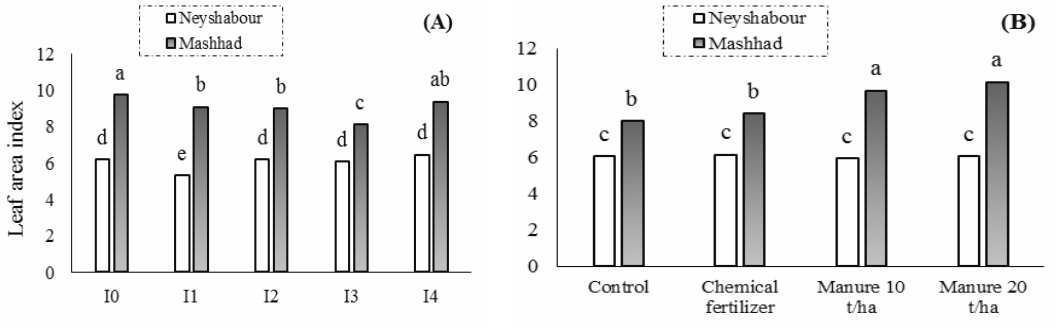
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر میانگین اثر متقابل مکان، کم‌آبیاری و کود بر برخی صفات کینوا

Table 4- Mean comparisons for interaction between locations, deficit irrigation and fertilizer treatments on some traits of quinoa

		1000-seed weight(g) وزن ۱۰۰۰ دانه		Panicle length (cm) طول خوشه		Panicle diameter (cm) عرض خوشه		Seed yield ($g.m^{-2}$) عملکرد دانه	
		Neyshbour	Mashhad	Neyshbour	Mashhad	Neyshbour	Mashhad	Neyshbour	Mashhad
I_0	شاهد Control	2.00^{g-j}	2.13^{d-j}	25.33^{c-g}	22.33^{g-l}	5.67^{g-i}	4.33^{e-g}	227^{jk}	240.3^{i-k}
	کود شیمیایی Chemical	1.93^{h-j}	2.27^{b-i}	29.33^{ab}	22.33^{g-m}	6.33^{b}	4.3^{e-g}	281.3^{g-j}	373.3^{b-g}
	کود دامی Manure10t.ha^{-1}	2.37^{b-g}	2.02^{f-j}	30.33^{a}	24.33^{d-i}	6.33^{b}	4.07^{f-h}	340^{c-i}	384.7^{b-g}
	کود دامی Manure 20 t.ha^{-1}	2.29^{b-h}	2.4^{b-f}	25.67^{d-g}	23.33^{f-l}	7.67^{a}	4^{f-h}	510.7^{a}	394^{b-f}
I_1	شاهد Control	1.97^{h-j}	1.85^{ij}	20.33^{l-o}	19.67^{m-o}	3.67^{f-h}	3^{i}	169^{k-m}	152.3^{k-m}
	کود شیمیایی Chemical	2.07^{f-j}	1.87^{ij}	21^{j-o}	18.33^{o}	4.33^{e-g}	3^{i}	204^{j-l}	81^{m}
	کود دامی Manure10t.ha^{-1}	1.83^{j}	2.03^{f-j}	27.67^{a-c}	18.67^{no}	5^{c-e}	3.33^{hi}	244.3^{i-k}	97^{lm}
	کود دامی Manure 20 t.ha^{-1}	1.83^{j}	2.3^{b-h}	25^{c-h}	19.67^{m-o}	5.33^{cd}	3.33^{hi}	398.3^{b-f}	63.7^{m}
I_2	شاهد Control	2.2^{e-j}	2.03^{f-j}	25.33^{c-g}	21.33^{i-o}	4^{f-h}	3^{i}	298.7^{f-j}	217.7^{jk}
	کود شیمیایی Chemical	2.27^{b-i}	2.3^{b-h}	24^{e-j}	21.67^{i-n}	4^{f-h}	3.67^{g-i}	435^{a-c}	305.7^{d-i}
	کود دامی Manure10t.ha^{-1}	2.27^{b-i}	2.47^{b-e}	26.33^{b-f}	22^{h-l}	4.33^{e-g}	3.67^{g-i}	384.3^{b-g}	387^{b-g}
	کود دامی Manure 20 t.ha^{-1}	3.07^{a}	2.63^{b}	27.33^{a-d}	22^{h-m}	5^{c-e}	3.67^{g-i}	474^{ab}	355^{c-h}
I_3	شاهد Control	2.23^{c-i}	2.4^{b-f}	22^{h-m}	20.33^{l-o}	4^{f-h}	3.3^{hi}	348.3^{c-i}	211.7^{jk}
	کود شیمیایی Chemical	2.47^{b-e}	2.3^{b-h}	22.33^{g-l}	21^{j-o}	4^{f-h}	3.33^{hi}	380^{b-g}	338^{c-i}
	کود دامی Manure10t.ha^{-1}	2.53^{bc}	2.03^{f-j}	21.67^{i-n}	22.33^{g-l}	4.67^{d-f}	3.67^{g-i}	372^{b-g}	301.3^{e-j}
	کود دامی Manure 20 t.ha^{-1}	2.37^{b-f}	2.17^{c-j}	26.5^{b-e}	22^{i-m}	3.67^{g-i}	3.33^{hi}	420.3^{a-c}	385^{b-g}
I_4	شاهد Control	2.3^{b-h}	2.1^{e-j}	22.33^{g-m}	20.67^{k-o}	4.33^{e-g}	3^{bc}	413^{a-d}	256.3^{h-k}
	کود شیمیایی Chemical	2.37^{b-g}	2.2^{c-j}	23.67^{e-k}	21.67^{i-n}	5^{c-e}	3.33^{hi}	410^{a-e}	416.3^{a-c}
	کود دامی Manure10 t.ha^{-1}	2.5^{b-d}	2.43^{b-f}	26^{c-f}	22.33^{g-l}	4.67^{d-f}	4.33^{e-g}	413.3^{a-d}	355.7^{c-h}
	کود دامی Manure 20 t.ha^{-1}	2.4^{b-f}	2.43^{b-f}	25^{c-h}	21.33^{i-o}	5.67^{bc}	3.33^{hi}	428.7^{a-c}	248^{h-k}

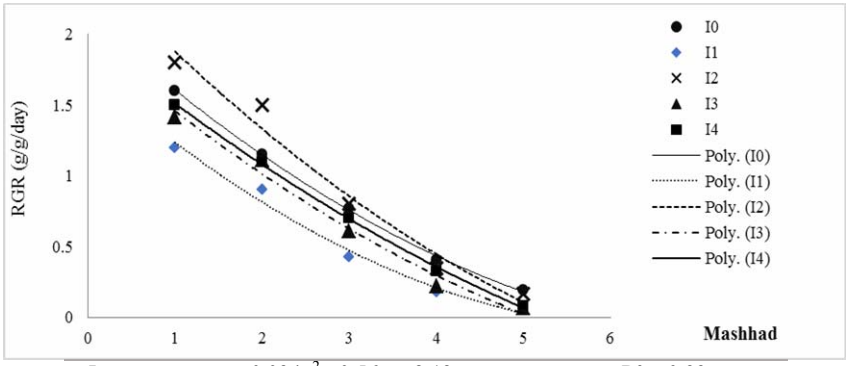
در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters base on Duncan test are not significantly different at the 5% level.

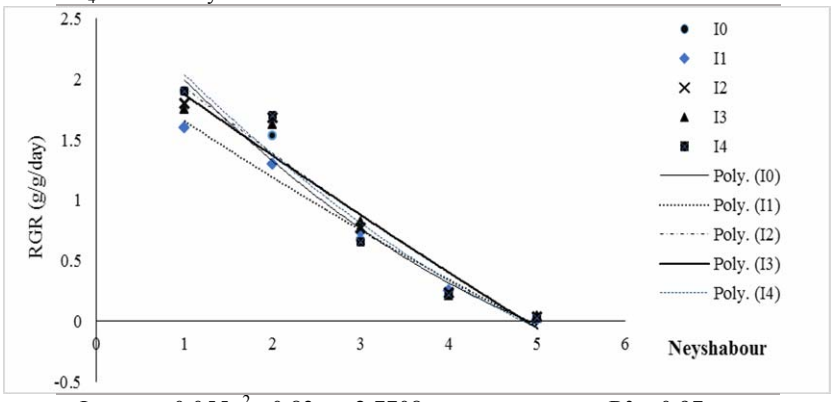


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل الف) مکان و کم‌آبیاری و ب) مکان و کود بر شاخص سطح برگ

Figure 1 - Mean comparisons for interaction between A) location and deficit irrigation and B) treatments on leaf area index location and fertilizer



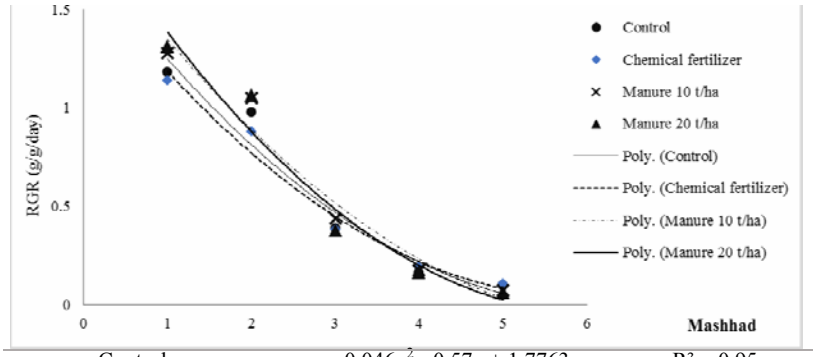
I_0	$y = 0.034x^2 - 0.56x + 2.13$	$R^2 = 0.99$
I_1	$y = 0.04x^2 - 0.54x + 1.74$	$R^2 = 0.98$
I_2	$y = 0.034x^2 - 0.64x + 2.49$	$R^2 = 0.97$
I_3	$y = 0.029x^2 - 0.53x + 1.96$	$R^2 = 0.98$
I_4	$y = 0.023x^2 - 0.50x + 1.98$	$R^2 = 0.99$



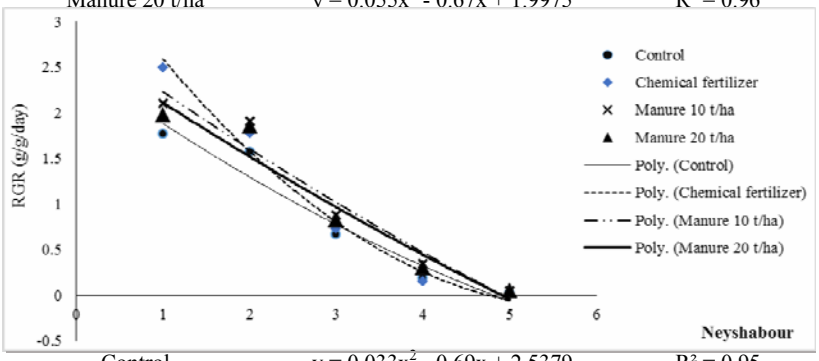
I_0	$y = 0.055x^2 - 0.83x + 2.7708$	$R^2 = 0.97$
I_1	$y = 0.014x^2 - 0.51x + 2.15$	$R^2 = 0.98$
I_2	$y = 0.0152x^2 - 0.5879x + 2.502$	$R^2 = 0.94$
I_3	$y = 0.0077x^2 - 0.5287x + 2.393$	$R^2 = 0.95$
I_4	$y = 0.0452x^2 - 0.794x + 2.7843$	$R^2 = 0.94$

شکل ۲– شاخص رشد نسبی (RGR) تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری در مشهد و نیشابور

Figure 2 – Relative growth rate (RGR) under deficit irrigation levels in Mashhad and Neyshabour



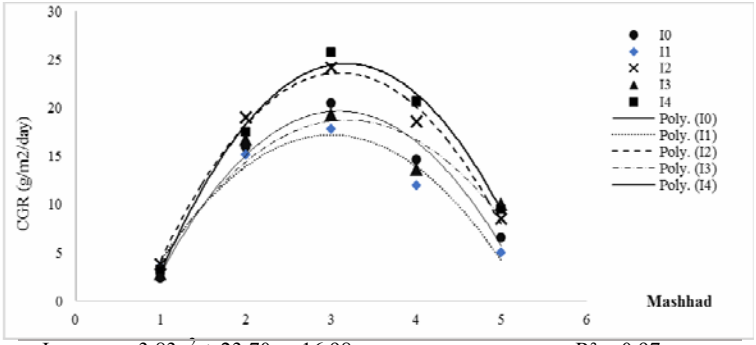
Control	$y = 0.046x^2 - 0.57x + 1.7763$	$R^2 = 0.95$
Chemical fertilizer	$y = 0.0465x^2 - 0.55x + 1.6924$	$R^2 = 0.97$
Manure 10 t/ha	$y = 0.043x^2 - 0.59x + 1.8916$	$R^2 = 0.96$
Manure 20 t/ha	$y = 0.055x^2 - 0.67x + 1.9975$	$R^2 = 0.96$



Control	$y = 0.033x^2 - 0.69x + 2.5379$	$R^2 = 0.95$
Chemical fertilizer	$y = 0.116x^2 - 1.36x + 3.83$	$R^2 = 0.98$
Manure 10 t/ha	$y = 0.021x^2 - 0.69x + 2.89$	$R^2 = 0.95$
Manure 20 t/ha	$y = 0.017x^2 - 0.64x + 2.74$	$R^2 = 0.94$

شکل ۳– شاخص رشد نسبی (RGR) تحت تأثیر سطوح مختلف کود در مشهد و نیشابور

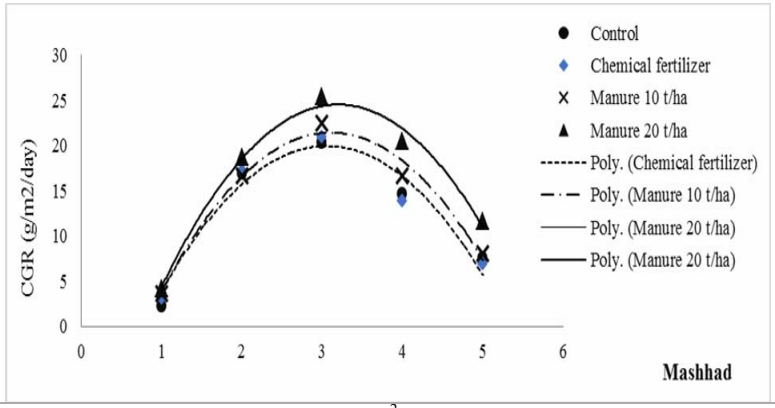
Figure 3 – Relative growth rate (RGR) under fertilizer treatments in Mashhad and Neyshabour



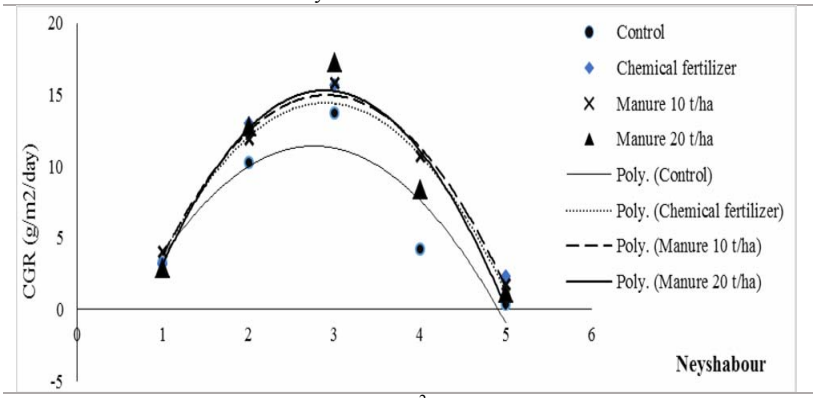
I_0	$y = -3.83x^2 + 23.70x - 16.98$	$R^2 = 0.97$
I_1	$y = -3.26x^2 + 19.53x - 12.09$	$R^2 = 0.95$
I_2	$y = -4.39x^2 + 27.22x - 18.62$	$R^2 = 0.99$
I_3	$y = -3.09x^2 + 19.66x - 12.57$	$R^2 = 0.89$
I_4	$y = -4.57x^2 + 28.99x - 21.42$	$R^2 = 0.99$
I0	y = -3.238x2 + 18.21x - 9.2	$R^2 = 0.95$
I1	y = -1.638x2 + 9.115x - 5.0	$R^2 = 0.88$
I2	y = -3.286x2 + 19.28x - 12.35	$R^2 = 0.98$
I3	y = -3.126x2 + 17.86x - 10.88	$R^2 = 0.88$
I4	y = -3.664x2 + 21.26x - 15.05	$R^2 = 0.90$

شکل ۴– شاخص رشد محصول (CGR) تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری در مشهد و نیشابور

Figure 4 – Crop growth rate (CGR) under deficit irrigation levels in Mashhad and Neyshabour



Control	$y = -3.75x^2 + 23.32x - 16.39$	$R^2 = 0.95$
Chemical fertilizer	$y = -3.77x^2 + 23.07x - 15.34$	$R^2 = 0.94$
Manure 10 t/ha	$y = -3.93x^2 + 24.44x - 16.59$	$R^2 = 0.98$
Manure 20 t/ha	$y = -4.16x^2 + 26.61x - 18.06$	$R^2 = 0.99$



Control	$y = -2.463x^2 + 13.59x - 7.36$	$R^2 = 0.84$
Chemical fertilizer	$y = -2.97x^2 + 17.16x - 10.38$	$R^2 = 0.92$
Manure 10 t/ha	$y = -3.06x^2 + 17.78x - 10.87$	$R^2 = 0.99$
Manure 20 t/ha	$y = -3.40x^2 + 19.59x - 12.96$	$R^2 = 0.93$

شکل ۵– شاخص رشد محصول (CGR) تحت تأثیر سطوح مختلف کود در مشهد و نیشابور

Figure 5 – Crop growth rate (CGR) under fertilizer treatments in Mashhad and Neyshabour

References منابع مورد استفاده

- Aghaei, A.H., and P. Ehsanzadeh. 2011. Effect of water deficit stress and nitrogen on yield and some physiological parameters of oilseed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Horticulture Science.* 42(3): 291-299. (In Persian).
- Ahmadian, A., A. Ghanbari, and M. Golvi. 2009. The interaction effect of water stress and animal manure on yield components, essential oil and chemical composition of *Cuminum cyminum. Iranian Journal of Field Crop Science*. 40(1): 173-180. (In Persian).
- Álvaro-Fuentes, J., M.V. López, C. Cantero-Martínez, and J.L. Arrúe. 2008. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean dryland agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*. 72(2): 541-547.
- Anwar, M., D.D. Patra, S. Chand, K. Alpesh, A.A. Naqvi, and S.P.S. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 36(13-14): 1737-1746.
- Bagheri, M., Z. Anafjeh, S. Keshavarz, and B. Foladi. 2020. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of new quinoa genotypes in spring cultivation at Karaj. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 18(4): 465-475. (In Persian).
- Beyrami, H., M.H. Rahimian, M. Slehi, R. Yazdani Biouki, M. Shiran-Tafti, and M. Nikkhah. 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline condition. *Agricultural Science and Sustainable Production.* 30(3): 347-357. (In Persian).
- Darzi, M.T. 2012. Effects of organic manure and biofertilizer application on flowering and some yield traits of coriander (*Coriandrum sativum*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4(3):103-107.
- Emam, Y., A.M. Ranjbar, and M.J. Bahrani. 2007. Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 11(1): 317-328. (In Persian).
- Fuentes, F., and A. Bhargava. 2011. Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197(2): 124-134.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 2017. Physiology of crop plants. (No. Ed. 2). Scientific Publishers.
- Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, J. Vacher, R. Mamani, J. Mendoza, R. Huanca, B. Morales, R. Miranda, J. Cusicanqui, and C. Taboada. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy.* 28(3): 427-436.
- Goksoy, A.T., A.O. Demir, Z.M. Turan, and N.A.Z.A.N. Dağüstü. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*. 2(87): 167-178.
- Gomaa, E.F. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on quinoa plant. *Journal of Applied Sciences Research.* 9(8): 5210-5222.
- Hartley, I.P., D.W. Hopkins, M. Sommerkorn, and P.A. Wookey. 2010. The response of organic matter mineralisation to nutrient and substrate additions in sub-arctic soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 42(1): 92-100.

- Hirich, A., and R. Choukr-Allah. 2014. Faba bean (*Vicia faba* L.) production under deficit irrigation with treated wastewater applied during vegetative stage. *Desalination and Water Treatment*. 52(10-12): 2214-2219.
- Hirich, A., R. Choukr‐Allah, and S.E. Jacobsen. 2014. Deficit irrigation and organic compost improve growth and yield of quinoa and pea. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200(5): 390-398.
- Hirich, A., R.C. Allah, S.E. Jacobsen, L. El Youssfi, and H. El Homaria. 2012. Using deficit irrigation with treated wastewater in the production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Morocco. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(3): 570-583.
- Hunt, R. 2012. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Springer Science & Business Media.
- Jacobsen, S.E. 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19(1-2): 167-177.
- Jacobsen, S.E., C. Monteros, J.L. Christiansen, L.A. Bravo, L.J. Corcuera, and A. Mujica. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*. 22(2): 131-139.
- James, L.E.A., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*. 58: 1-31.
- Kammann, C.I., S. Linsel, J.W. Gößling, and H.W. Koyro. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil–plant relations. *Plant and Soil.* 345(1): 195-210.
- Karam, F., R. Lahoud, R. Masaad, R. Kabalan, J. Breidi, C. Chalita, and Y. Rouphael. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management.* 90(3): 213-223.
- Karimi Kakhki, M., A. Sepehri, and M.A. Aboutalebian. 2010. Effect of deficit irrigation at reproductive growth stages on growth and yield of four new sunflower cultivar. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 41(3): 599-612. (In Persian).
- Karimzadeh-asl, Kh., D. Mazaheri, and S.A. Peyghambari. 2004. Effect of four irrigation intervals on seed yield and physiological indeces of three sunflower cultivars. *Biaban*. 9(2): 255–266. (In Persian).
- Kaul, H.P., M. Kruse, and W. Aufhammer. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*. 22(1): 95-100.
- Nowak, V., J. Du, and U.R. Charrondière. 2016. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry.* 193: 47-54.
- Patel, J.B., V.J. Patel, and J.R. Patel. 2006. Influence of different methods of irrigation and nitrogen levels on crop growth rate and yield of maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Crop Science*. 1(1and2): 175-177.
- Razzaghi, F., S.H. Ahmadi, S.E. Jacobsen, C.R. Jensen, and M.N. Andersen 2012. Effects of salinity and soil–drying on radiation use efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 198(3): 173-184. (In Persian).

- Razzaghi, F., S.H. Ahmadi, V.I. Adolf, C.R. Jensen, S.E. Jacobsen, and M.N. Andersen. 2011. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 197(5): 348-360. (In Persian).
- Rieger, S., W. Richner, B. Streit, E. Frossard, and M. Liedgens. 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *European Journal of Agronomy*. 28(3): 405-411.
- Saeidi, M., F. Moradi, and M. Abdoli. 2017. Impact of drought stress on yield, photosynthesis rate, and sugar alcohols contents in wheat after anthesis in semiarid region of Iran. *Arid Land Research and Management*. 31(2): 204-218.
- Sezen, S.M., A. Yazar, S. Tekin, and M. Yildiz. 2016. Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. 2nd World Irrigation Forum (WIF2) 6-8 November, Chiang Mai, Thailand.
- Shams, A.S. 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. In Proc. 13th International Conference of Agronomy. Faculty of Agriculture, Benha University, Egypt. 9-10.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, and C.X. Zhao. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies.* 331(3): 215-225.
- Sosa‐Zuniga, V., V. Brito, F. Fuentes, and U. Steinfort. 2017. Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 171(1): 117-124.
- Tavousi, M., and G.A. Lotfali Ayene. 2017. Quinoa cultivation and related research results. Tehran: Agricultural Education Publishing.
- Vega Gálvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente, and E.A. Martínez. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(15): 2541-2547.
- Wang, X., M. Vignjevic, D. Jiang, S. Jacobsen, and B. Wollenweber. 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Vinjett. *Journal of Experimental Botany.* 65(22): 6441-6456.
- Wolton, W. 2005. Leaf area index and radiation as related to corn yield. *Agronomy Journal*. 65: 459-461.

Research Article DOI:

Effect of Managed Deficit Irrigation and Different Fertilizer Levels on Yield and some Physiological Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Hassan Fatemi Kian[1], Maryam Tatari[2*], Mohammadreza Tookalloo[3], Masomeh Salehi[4] and Kmal haj Mohammadnia Ghalibaf[5]

Received: July 2021 , Revised: 31 January 2022, Accepted: 13 June 2022

Abstract

The availability of organic matter in deficit irrigation conditions can be a practical solution to compensate the negative effects of drought stress. In order to investigate the effect of deficit irrigation and chemical fertilizers on yield and some physiological traits of quinoa an experiment was conducted in 2019 as split plot based on a randomized complete block design in two locations (Mashhad and Neishabour). Irrigation levels included, I_0: full irrigation, I_1: irrigation at emergence stage, I_2: irrigation at stem elongation stage, I_3: irrigation at flowering stage, I_4: irrigation at seed setting stage. Fertilizer treatments included control (no fertilizer application); chemical fertilizer application according to local practices; manure application of 10 tons; and manure application of 20 tons per hectare. Seed yield and yield components, leaf area index, crop growth rate and relative growth rate were measured. The highest 1000-seed weight was obtained in 20 tons of manure and I_2 treatment in Neishabour. The lowest 1000-seed weight was obtained in 10 and 20 tons of manure and I_1 in Neishabour. The lowest grain yield in I_1 treatment was observed in Neishabour and the highest grain yield in I_0 treatment with 20 $t.ha^{-1}$ manure was observed in Mashhad. Fertilizer treatments increased crop growth rate in both experimental sites, but the effect of manure on increasing crop growth rate was greater than the effect of chemical fertilizer. However, due to the high fat content of quinoa, the use of 20 tons of manure per hectare is recommended if it is purely economic. In general, I_2 treatment along with the application of manure in both places had high grain yield and dry matter production.

Key words: Leaf area index, Manure, Relative growth rate, Quinoa.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Bojnurd Branch, Islamic Azad University, Bojnurd, Iran.
4- Assistant Professor, Salinity National Cemter, Yazd Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Yazd, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agro Technology, University of Ferdowsi Mashhad, Mashhad, Iran.
**Corresponding Authors: maryamtatari@yahoo.com*