نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۲۴۶-۲۳۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 237-246

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا تحت مدیریت‌های مختلف آب در مزرعه

صابر جمالی[۱]، محمدجواد امیری[۲*]، زهره دشتبانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آب در مزرعه بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Titicaca، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و در شهرستان نیشابور و در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. در این پژوهش از ۵ مدیریت آب در مزرعه (آبیاری سطحی شیاری (SI)، آبیاری موضعی کم‌فشار با Tape در وسط پشته (TI)، آبیاری موضعی کم‌فشار با Tape در دو طرف پشته به‌صورت یک‌درمیان متناوب (ATI)، آبیاری موضعی کم‌فشار با Tape به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل در دو طرف پشته به‌صورت یک‌درمیان متناوب (0.75 ATI)، آبیاری موضعی کم‌فشار با Tape در وسط پشته به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل (0.75TI)) استفاده شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه و وزن هزار دانه در تیمار SI به‌ترتیب ۱۸۰۵ کیلوگرم در هکتار و ۲/۳۵ گرم مشاهده شد و کمترین میزان از این صفات نیز با ۱۳۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار و ۱/۶۹ گرم در تیمار 0.75TI مشاهده شد. اعمال مدیریت‌های آبیاری با بهره‌گیری از تیمارهای TI، ATI، 0.75ATI و 0.75TI به‌ترتیب منجر به کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۲/۴، ۱۱/۶، ۱۸/۷ و ۲۵/۱ درصد نسبت به روش آبیاری SI شد. بهترین تابع تولید عملکرد- آب آبیاری، تابع خطی (Y=1014 I 0.13+) بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تیپ، آبیاری شیاری، بهره‌وری مصرف آب، تابع تولید، رقم Titicaca.

مقدمه *

امروزه اکثر کشورهای جهان با مشکل جدی کمیت و کیفیت آب مواجه هستند که این مشکل در دهه‌های پیشِرو با افزایش جمعیت، بیشتر نیز خواهد شد؛ چراکه پیش‌بینی‌شده است جمعیت کنونی ۷ میلیاردی، تا سال ۲۰۳۰ به ۸ میلیارد نفر و تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ صمدزاده و همکاران، ۱۳۹۹). برای حل این مشکل باید از روش‌های صحیح مدیریت و فناوری‌های نوین بهره برد. گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) یک شبه غلات بوده که از هزاران سال قبل کشت می‌شده و دانه‌های آن به‌عنوان یک منبع غذایی مهم مورداستفاده قرار می‌گرفته است (Alvar-Beltran et al., 2021). دانه‌های این گیاه مسطح و گاهی بیضی‌شکل که معمولاً به رنگ زرد کم‌رنگ بوده و دامنه تغییرات رنگ‌های آن می‌تواند صورتی، سیاه و سفید نیز باشد (Jacobsen, 2003). اهمیت تغذیه‌ای آن مربوط به ترکیب کامل اسیدهای آمینه، میزان بالای مواد معدنی (کلسیم، آهن، منیزیم و روی)، فیبر رژیمی و ویتامین‌ها است. محتوای پروتئین در دانه کینوا در دامنه ۱۴ تا ۲۰ درصد و غنی از اسیدهای آمینه ضروری مانند متیونین و لیزین است. کینوا به علت داشتن ارزش تغذیه‌ای بالا، به‌عنوان یک غذای عمل‌گرا و یک ابر غذا شناخته می‌شود (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Nowak et al., 2016).

در سال‌های اخیر بر روی کینوا پژوهش‌های متعددی در نقاط مختلف جهان انجام‌شده است. در ادامه به‌اختصار به برخی از این پژوهش‌ها پرداخته شده است. رزاقی و بهادری قصرالدشتی (۱۳۹۶) بر روی گیاه کینوا تنش خشکی دوره‌ای را اعمال کرده و نتایج آن‌ها نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی (سبزینگی، گلدهی و دانه بستن) سبب کاهش در میزان ارتفاع و بهره‌وری آب آبیاری به ازای ماده خشک گیاه می‌شود. قرینه و همکاران (۱۳۹۸) بر روی گیاه کینوا رقم Santamaria تحقیقی را در منطقه هفتکل خوزستان انجام داده و نشان دادند که افزایش آب آبیاری در سطوح

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:mj_amiri@fasau.ac.ir)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.

مختلف آبیاری (آبیاری کامل بر مبنای ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبت از آب قابل‌دسترس خاک، آبیاری مؤثر فقط در زمان کاشت و آبیاری تکمیلی با دومرتبه آبیاری مؤثر (زمان کاشت و گلدهی) و عدم آبیاری (شرایط دیم) باعث بهبود در خصوصیات عملکردی و مورفولوژیکی این گیاه نظیر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. جمالی و همکاران (۱۳۹۸) باهدف بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر روی لاین NSRCQ-1 در شرایط گلخانه‌ای در مشهد پژوهشی را انجام و نشان دادند که اعمال تنش منجر به کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع در این لاین شده و اعمال تنش در مرحله گلدهی و دانه بستن نسبت به سایر تیمارها سبب کاهش در عملکرد و وزن هزار دانه گیاه به میزان بیشتری شده است. نتایج مطالعه‌ای که توسط محققین باهدف بررسی تنش آبی بر ارقام مختلف گیاه کینوا (Titicaca، Giza-1 و Q29) در منطقه جوپار استان کرمان انجام شده، نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه، ارتفاع بوته و شاخص برداشت می شود (کشتکار و همکاران، ۱۳۹۹). ضیایی و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بررسی تنش آبی بر عملکرد گیاه کینوا در آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان از سه سطح آبیاری (۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) استفاده کرده و نشان دادند که عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر از بیشتر به کمتر تغییر می‌کند. در پژوهش‌هایی که در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه فردوسی مشهد بر روی ارقام Titicaca و Giza-1 انجام‌شده، از مدیریت‌های مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل (FI)، آبیاری بخشی ریشه متناوب (APRD)، آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD) استفاده شد. نتایج نشان داد که با قبول کاهش عملکرد به دلیل کمبود آب شیرین، استفاده از روش APRD نسبت به روش FPRD منجر به تولید مناسب گیاه کینوا تحت شرایط گلخانه‌ای می‌گردد. به‌طورکلی استفاده از آبیاری بخشی ریشه برای آبیاری محصولات کشاورزی نظیر گیاه کینوا در کشور با مدیریت مناسب و مطلوب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب در جهت استفاده از آب در شرایط بحران توصیه شود، هرچند که لازم است آزمایش‌های بیشتری (به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای) در جهت تأیید نتایج پژوهش حاضر انجام شود (جمالی و انصاری ۱۴۰۰؛ جمالی و همکاران، ۱۳۹۹) جمالی و همکاران (۱۴۰۰-الف) در مطالعه‌ای در مشهد به بررسی اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر روی گیاه کینوا رقم Titicaca پرداخته و اظهار داشتند که در شرایط اقلیمی مشهد بهترین تیمار جهت حصول بهره‌وری آب و عملکرد حداکثری این گیاه در شرایط مزرعه‌ای، آبیاری یک‌درمیان متناوب جویچه‌ها تا مرحله گلدهی و پس‌ازآن از آبیاری جویچه‌ای مرسوم استفاده گردد. نتایج تحقیقات صادقی زاده و همکاران (۱۴۰۰) و جهانبخش و همکاران (۱۳۹۹) که در شهرستان‌های بردسیر و کرمان بر روی رقم Titicaca انجام شد، نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش وزن هزار دانه، طول و قطر پانیکول و عملکرد دانه در این گیاه شد.

نتایج پژوهش‌هایی که بر روی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف کینوا توسط سلیم و همکاران در عراق، ناز و همکاران در پاکستان، پینتو و همکاران در شیلی، بوزکارت کولاک و همکاران در کشور ترکیه، خالد و همکاران در مصر و داسیلوا و همکاران در برزیل، والدیویا-سیا و همکاران در شیلی، وانگ و همکاران در چین و آلوارو بلترن و همکاران در بورکینافاسو انجام شد، نشان داد که اعمال تنش آبی منجر به کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت شد (da-Siva et al., 2021; Bozkurt Çolak et al., 2021).

ازآنجایی‌که گیاه کینوا بر اساس اذعان نتایج پژوهش‌های ذکرشده به سایر تنش‌های محیطی مقاوم است (Alvar-Beltrán et al., 2021) و همچنین منبع غنی مواد موردنیاز بدن است (Jacobsen, 2003)، کشت و توسعه این گیاه در کشور با توجه به بحران آبی موجود و همچنین ممنوعه بودن دشت نیشابور، می‌تواند به امنیت غذایی در این منطقه کمک کند. تاکنون تحقیقات بسیاری به منظور ارزیابی اثر کم‌آبیاری بر روی گیاهان مختلف در دشت نیشابور انجام شده ولی تحقیقات اندکی از جهت کشت این گیاه که از نظر ارزش غذایی با شیر خشک برابری کرده در این اقلیم گزارش شده است. لازم به ذکر است که این پژوهش به منظور معرفی و با هدف توسعه کشت این گیاه در شرایط اقلیمی نیشابور کشت شده است. از طرفی، با توجه به اینکه مطالعه‌ای در شرایط اقلیمی نیشابور بر روی این گیاه انجام‌نشده، در پژوهش حاضر اثر تیمارهای مختلف آبیاری (شیاری و موضعی با نوار تیپ) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا در این منطقه، مورد بررسی قرار گرفت.

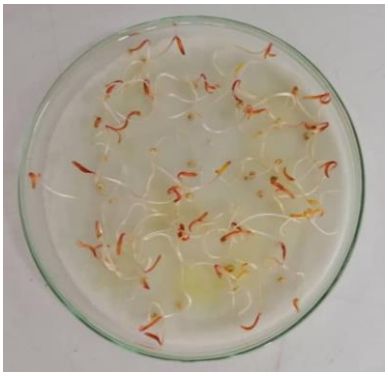
مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی نیشابور، پژوهشی در سال ۱۳۹۷ با ۳ تکرار انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی اجرا شد. فاکتور مدیریت آبیاری شامل ۵ سطح (آبیاری سطحی شیاری (SI)، آبیاری موضعی (قطره‌ای) با نوار Tape در وسط پشته (TI)، آبیاری موضعی با Tape در دو طرف پشته به‌صورت یک‌درمیان متناوب (ATI)، آبیاری موضعی کم‌فشار با Tape به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل در دو طرف پشته به‌صورت یک‌درمیان ثابت (ATI 0.75)، آبیاری موضعی کم فشار با Tape در وسط پشته به میزان ۷۵ درصد آبیاری کامل (TI 0.75)) در نظر گرفته شد. انتخاب تیمارها در درجه اول جهت مقایسه تأثیر آبیاری شیاری (SI) و آبیاری موضعی (قطره‌ای) با نوار Tape بر روی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه

کینوا می باشد. از طرفی جهت تأثیر آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده، کم آبیاری ناقص ریشه و ترکیب این دو روش کم آبیاری در آبیاری موضعی با نوار Tape به‌ترتیب تیمارهای TI، 0.75 TI، ATI و 0.75 ATI در نظر گرفته شد. در تیمار آبیاری متناوب از دو نوار تیپ که بر روی پشته‌ها با فاصله ۵۰ سانتی‌متری از هم قرار داشت استفاده گردید تا اثر آبیاری بخشی ریشه در شرایط استفاده از آبیاری موضعی نیز مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی‌که در برخی پژوهش های نگارندگان بر روی کینوا در شرایط آبیاری بخشی ریشه (جویچه‌ای) اثر این تیمار در شرایط کم‌آبی با حصول عملکرد مطلوب همراه بوده، نگارندگان در پی رسیدن به حداکثر بهره وری آب بوده و به همین منظور از این تیمار استفاده شده است.

آزمایش در ۱۵ کرت (به ابعاد ۳ × ۳ مترمربع) که شامل ۶ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی متر از یکدیگر و به طول ۳ متر و در زمینی به مساحت ۳۶۰ مترمربع (۳۰×۱۲ مترمربع) اجرا شد (شکل ۱). در تاریخ ۱۵ تیر ۱۳۹۷، در آزمایشگاه آزمایش جوانه‌زنی بذور بر روی بذرهای کینوا (رقم Titicaca) انجام شده و درصد جوانه‌زنی بذرها به‌طور میانگین ۹۴ درصد تعیین گردید (شکل ۲). با استفاده از دستگاه کارنده پیاز کالیبره شده برای گیاه کینوا، بذرها در تاریخ ۱ مرداد ۱۳۹۷ و در عمق ۱/۵ سانتی‌متری (۱۲ کیلوگرم در هر هکتار با تراکم بوته‌ای ۶۰ بوته در هر مترمربع) کاشته شد. عملیات آماده‌سازی زمین، شامل شخم نیمه عمیق، کولتیواتور، دیسک و لولر در پاییز و بهار سال اجرای طرح بود.

شکل ۱- مراحل آماده‌سازی زمین، اجرای سامانه‌های آبیاری شیاری و کم‌فشار (Tape)



شکل ۲- آزمون جوانه‌زنی بذر در شرایط آزمایشگاهی

قبل از کشت و پس از آماده‌سازی زمین نمونه مرکبی از خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی از چند نقطه از زمین تهیه و نتیجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه‌شده است. آبیاری گیاهان در این پژوهش با استفاده از سیستم آبیاری جویچه‌ای و موضعی (قطره‌ای) با نوارهای تیپ (Tape) و انتقال آب تا زمین زراعی با استفاده از لوله‌های PVC و شیرهای تعبیه‌شده بر روی آن انجام شد. حجم آب تحویلی به هر یک از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی آب، اندازه‌گیری شد. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌صورت تقسیطی ۲۵:۵۰:۲۵ درصد به ترتیب قبل از کشت، شروع گل‌آذین و دانه بستن به گیاهان به‌صورت محلول در آب داده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت	عمق (سانتی‌متر)	EC (dSm^{-1})	pH	ماده آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)
لوم سیلتی	۳۰-۰	۰/۵۸	۷/۹۲	۱/۰۷	۰/۶۲	۰/۰۵۸	۲۹/۲	۱۸۶

دور آبیاری در نظر گرفته‌شده برای این پژوهش با توجه به مدار آبیاری ذرت در مزرعه و بر اساس شرایط زارعین و شرایط رایج در منطقه در نظر گرفته شد. دور آبیاری در این پژوهش در ابتدا تا زمان ساقه‌روی گیاهان سه روزه بوده و با توجه به اینکه کشت عمده در مزرعه مورد نظر گیاه ذرت بوده و از مدار آبیاری ۷ روزه برای آبیاری این گیاه استفاده می‌شد، گیاهان کینوا نیز با همین مدار آبیاری شدند. نیاز آبی بر اساس مقدار تجمعی آب تبخیر شده از تشت تبخیر، پس از اعمال ضریب تشت محاسبه و از روش پیشنهادشده در نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به‌طور میانگین ۰/۷) تعیین شد. برای تعیین متوسط مقدار تبخیر - تعرق گیاه در مراحل رشدی از داده‌های تشت تبخیر واقع در مزرعه استفاده و مقدار تبخیر - تعرق گیاه بر اساس رابطه (۱) برآورد شد. در طول فصل رشد ۳ مرحله علف‌های هرز وجین شدند.

$$ET_c = K_c \times K_p \times (E_{pan}) \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، ET_c (تبخیر تعرق روزانه برحسب میلی‌متر بر روز)، K_p (ضریب تشت)، E_{pan} (تبخیر از سطح تشت برحسب میلی‌متر در روز) و K_c (ضریب گیاهی) است که در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۵۵، ۱/۲ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (Talebnejad and Sepaskhah, 2015) . آبیاری گیاهان تا ۲ هفته قبل از برداشت اعمال شد. محصول پس از رسیدگی با حذف حاشیه‌ها در هر کرت آزمایشی، در تاریخ ۱۰ آبان بوته‌های واقع در یک مترمربع وسط هر کرت کف بری شدند. پس از عملیات برداشت گیاهان در هوای آزاد خشک‌شده و برای برآورد عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مربوط به هر تیمار به آزمایشگاه منتقل شدند.

پس از تعیین عملکرد برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۴ تا ۶) استفاده شد که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح ($Kg\ m^{-2}$) و I میزان آب آبیاری (میلی‌متر) است. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه (روابط ۷ تا ۱۱) از شاخص‌های آماری RMSE، R^2، ME، CRM و EF استفاده شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). در این روابط $\hat{Y}_i$ مقادیر عملکرد محاسبه‌شده، $\overline{Y}$ عملکرد متوسط، $\overline{I}$ متوسط آب آبیاری و n تعداد مشاهدات است. در انتها نتایج با نرم‌افزار SAS (ver. 9.4) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودار و جداول نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel و Minitab ترسیم شد.

$$\text{بهره‌وری فیزیکی آب} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب آبیاری}} \quad (۳)$$

$$Y = a_0 + a_1 I \quad (۴)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \quad (۵)$$

$$Y = a_0 I^{a_1} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)}{n}} \quad (۷)$$

$$R^2 = \frac{(\sum(I - \bar{I})(Y - \bar{Y}))^2}{\sum(I - \bar{I})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (۸)$$

$$ME = MAX|Y_i - \hat{Y}_i| \quad (۹)$$

$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \hat{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (۱۰)$$

$$EF = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 - \sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۱۱)$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول ۲، اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار ارتفاع بوته با ۸۱/۰ و ۶۰/۳ سانتی‌متر به ترتیب درروش آبیاری شیاری و آبیاری کم‌فشار (با نوار تیپ) به‌صورت یک‌درمیان مشاهده شد. لازم به ذکر است که ارتفاع بوته در تیمار آبیاری نواری به میزان تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی نیز ۶۰/۳ سانتی‌متر بود (جدول ۳). بر اساس نتایج جدول ۲، اعمال تیمارهای TI، ATI، 0.75 ATI و 0.75TI به ترتیب منجر به کاهش ارتفاع بوته به میزان ۹/۰، ۱۹/۴، ۲۵/۶ و ۲۵/۶ درصد نسبت به تیمار SI شد. بیشترین میزان عملکرد دانه و وزن هزار دانه نیز بر اساس نتایج جدول (۳)، در تیمار SI به ترتیب ۱۸۰۵ کیلوگرم در هکتار و ۲/۳۵ گرم مشاهده شد؛ همچنین کمترین میزان از این صفات نیز با ۱۳۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار و ۱/۶۹ گرم در تیمار 0.75TI مشاهده شد. روش‌های آبیاری TI، ATI، 0.75 ATI و 0.75TI نسبت به روش آبیاری SI به ترتیب منجر به کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۲/۴، ۱۱/۶، ۱۸/۷ و ۲۵/۱ درصد شد، از طرفی اعمال تیمارهای مذکور سبب کاهش ۲۴/۳، ۱۴/۰، ۲۵/۶ و ۲۸/۱ درصد وزن هزار دانه شد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی گیاه کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن هزار دانه	عملکرد دانه	ارتفاع	بهره‌وری مصرف آب
روش آبیاری	4	0.22 **	77056 **	244.3 *	0.009 **
خطا	10	0.003	141	21.7	0.000005
ضریب تغییرات		3.1	1.7	6.8	1.6

** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک و ۵ درصد است.

جدول ۳- اثر مدیریت‌های آبیاری بر برخی خواص رشدی و عملکردی گیاه

ترکیبات تیماری	ارتفاع	عملکرد	وزن هزار دانه
	سانتی‌متر	کیلوگرم در هکتار	گرم
SI	81.0 a	1805 a	2.35 a
TI	73.7 ab	1581.7 bc	1.78 c
ATI	65.3 bc	1596 b	2.02 b
0.75 ATI	60.3 c	1466.7 c	1.75 c
0.75 TI	60.3 c	1352.7 d	1.69 c

حروف مشابه در هر یک از پارامترها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

کاهش ارتفاع بوته در شرایط اعمال تیمارهای آبیاری موضعی با نوار تیپ، می‌تواند به دلیل کاهش فراهمی و سهولت دسترسی به آب و همچنین توسعه ریشه نسبت به آبیاری سطحی باشد. کاهش در ارتفاع بوته به دلیل کمبود آب می‌تواند به دلیل کاهش آماس سلولی و تقسیم سلول‌ها باشد (جمالی و انصاری، ۱۴۰۰). از طرفی در تیمار یک‌درمیان ثابت با توجه به اینکه تنها یک قسمت از ریشه توسعه‌یافته، آب و مواد غذایی کمتری توسط گیاه نسبت به تیمار یک‌درمیان متناوب (چون به‌طور تناوبی هر دو سمت ریشه آبیاری می‌شود، درنتیجه هر دو سمت توسعه‌یافته و به آب و مواد غذایی دسترسی دارند) دریافت می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که رفتار ریشه گیاه متأثر از محدودیت آب در خاک بوده و با افزایش تنش آبی به‌عنوان عامل محدودکننده، ریشه‌ها در سمتی که رطوبت بیشتری

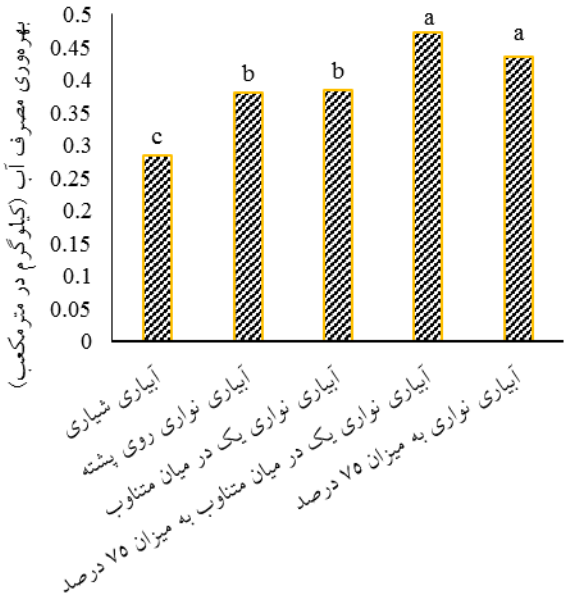
وجود دارد، توسعه می‌یابند. از طرفیکاهش ارتفاع در تیمار آبیاری بخشی ریشه ثابت به دلیل خشک بودن یک سمت از پشته و نبودن رطوبت نسبت به آبیاری بخشی ریشه متناوب محتمل است. شایان ذکر است که ریشه گیاه در سمتی از پشته که خشک است توسعه حداقلی داشته و حجم کمی دارد و پس از سازگاری گیاه با شرایط تنها از قسمت مرطوب آب و مواد غذایی خود را جذب می‌کند (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰ ب). از طرفی کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در شرایط اعمال آبیاری موضعی، می‌تواند به دلیل کاهش در توسعه ریشه که با صرف انرژی بیشتر برای جذب آب توسط گیاه انجام می‌شود، شیره پرورده کمتری در اختیار گیاه بوده (Wang et al., 2020) و به همین دلیل در تیمارهای آبیاری موضعی یک‌درمیان ثابت و متناوب و همچنین کم‌آبیاری موضعی کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشهود است. بر اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد گیاه رشد یافته در شرایط آبیاری بخشی ریشه متغیر (ATI) نسبت به سایر تیمارها با شرایط تنشی بیشتر سازگاری یافته و اثر منفی تنش خشکی نیز کاهش‌یافته است. گیاه جهت مقابله با تنش آبی که بر روی آن اعمال می گردد، سازوکارهای مختلفی را انجام داده تا در شرایط تنشی زنده بماند و عملکردی داشته باشد (کشتکار و همکاران، ۱۳۹۹؛ Salim et al., 2020; Naz et al., 2020)، به‌طوری‌که در این شرایط برای زنده□مانی از سطح سبزینه ای خود کاسته تا آب کمتری در اثر تبخیر – تعرق از دسترس گیاه خارج گردد و همچنین در این شرایط روزنه‌های خود را جهت کاهش تبخیر– تعرق بسته نگاه می‌دارد (Pinto et al., 2021; Valdivia-Cea et al., 2021). در شرایط تنشی گیاه سهم بیشتری از انرژی تولیدی که در اثر فعالیت‌های فتوسنتزی به دست می‌آورد را صرف جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه‌ها می‌کند و کاهش ارتفاع و وزن اندام‌های فوقانی در شرایط کم‌آبیاری به این دلیل است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Alvar-Beltran et al., 2021). با توجه به اینکه گیاه بیشتر انرژی تولیدی را صرف جذب آب می کند، شیره پرورده کمتری در اختیار داشته و به همین دلیل دانه بستن مختل شده و احتمال کاهش در وزن هزار دانه گیاه وجود دارد، به‌تبع آن عملکرد دانه نیز که تابع تعداد و وزن دانه است، کاهش می‌یابد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Alvar-Beltran et al., 2020؛ Wang et al., 2020).

بر اساس نتایج شکل ۳، بیشترین و کمترین میزان آب آبیاری به ترتیب با ۶۳۵۰ و ۳۱۱۰ مترمکعب در هکتار در تیمارهای SI و 0.75TI مشاهده شد. بین تیمارهای TI و ATI و تیمارهای 0.75ATI و 0.75TI در سطح احتمال پنج درصد در مقایسه میانگین‌ها، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین اعمال تیمارهای TI، ATI، 0.75 ATI و 0.75TI به ترتیب منجر به کاهش آب آبیاری به میزان ۳۴/۶، ۳۴/۶، ۳۴/۶ و ۵۱/۰ درصد یا به‌عبارتی‌دیگر ۲۲۰۰، ۲۲۰۰، ۳۲۴۰ و ۳۲۴۰ مترمکعب در هکتار شد. بیشترین میزان بهره‌وری آب، در تیمار 0.75 ATI با ۰/۴۷۲ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد (شکل ۴)؛ همچنین کمترین میزان از این صفت نیز با ۰/۲۸۴ کیلوگرم در مترمکعب در تیمار SI مشاهده شد. تیمارهای آبیاری TI، ATI، 0.75 ATI و 0.75TI باعث افزایش بهره‌وری آب به میزان ۳۴/۲، ۳۵/۶، ۶۶/۲ و ۵۳/۲ درصد نسبت به تیمار آبیاری SI شد. بر اساس نتایج شکل ۴، بین تیمارهای TI و ATI و تیمارهای 0.75 ATI و 0.75TI در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری در صفت بهره‌وری آب مشاهده نشد. کاهش در میزان آب آبیاری در تیمارهای آبیاری کم‌فشار نسبت به آبیاری شیاری، به دلیل کاهش سطح خیس شدگی و کاهش تبخیر است. در تیمارهای مختلف آبیاری موضعی نسبت به آبیاری شیاری دلیل افزایش بهره‌وری نیز می‌تواند همین کاهش میزان آب مصرفی باشد. جهت تعیین تابع تولید آب آبیاری–عملکرد دانه از رگرسیون استفاده شده و نتایج تخمین توابع تولید عملکرد – آب مصرفی به‌صورت توابع خطی، درجه ۲ و لگاریتمی در جدول ۴، ارائه‌شده شده است. پس از به دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، EF، ME، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورداستفاده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرارگرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که برای CRM، RMSE و ME مقادیر کمتر رتبه یک و به ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند، ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به ترتیب مقادیر کمتر رتبه های دیگر را به خود اختصاص دادند (نتایج در جدول ۴ ارائه شده است). بر اساس نتایج جدول (۴)، رابطه خطی ساده بهترین برازش را به میزان آب مصرفی و عملکرد دانه نشان داده است و پس‌ازآن استفاده از تابع لگاریتمی بهترین تابع است. نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی کینوا، یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی کلزا و جورونی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی ذرت مطابقت داشت. در در این پژوهش، تابع $Y=1014 +0.13\ I$ بهترین برازش را بر روی‌داده‌ها نشان داد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا رقم Titicaca تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف آب در مزرعه متفاوت بوده، به‌طوری‌که نتایج نشان داد که مدیریت‌های آبیاری روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب و ارتفاع گیاه اثر معنی‌داری (در سطح ۹۵ درصد) دارد. بیشترین مقدار عملکرد دانه و وزن هزار دانه در تیمار SI به □ترتیب ۱۸۰۵ کیلوگرم در هکتار و ۲/۳۵ گرم و کمترین مقدار از این صفات نیز با ۱۳۵۲/۷ کیلوگرم در هکتار و ۱/۶۹ گرم در تیمار 0.75TI مشاهده شد.

شکل ۳- میزان آب مصرفی در روش‌های مختلف آبیاری



شکل ٤- بهره‌وری آب گیاه کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری

جدول ٤- شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید

شاخص آماری	تابع لگاریتمی $Y = 59.65\ I^{0.39}$		تابع خطی $Y = 0.13\ I + 1014$		تابع درجه دوم $Y = -0.00004\ I^2 + 0.51\ I + 195.1$	
	مقدار شاخص	رتبه تابع	مقدار شاخص	رتبه تابع	مقدار شاخص	رتبه تابع
RMSE	۰/۴۳	۲	۰/۲۴	۱	۰/۷۸	۳
CRM	-۰/۰۰۰۱	۲	-۰/۰۰۰۰۴	۱	-۰/۰۰۰۴	۳
EF	۰/۹۵	۲	۰/۹۲	۱	۰/۹۸	۳
ME	۳۹/۱	۲	۶۳/۵	۳	۳۵/۷	۱
R^2	۰/۹۵	۲	۰/۹۲	۳	۰/۹۹	۱
رتبه‌بندی نهایی	۲		۱		۳	

اعداد برجسته‌شده با رنگ زرد بیانگر ارجحیت تابع تولید بر اساس معیار ارزیابی است.

اعمال مدیریت‌های آبیاری با بهره‌گیری از تیمارهای TI، ATI، 0.75 ATI و 0.75TI باعث کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری SI شده و عملکرد دانه در تیمار SI>ATI>TI>075ATI>0.75TI بود. بهترین تابع تولید عملکرد-آب آبیاری، بر اساس شاخص‌های آماری مورداستفاده و رتبه‌بندی توابع، تابع خطی (Y=1014 +0.13 I) است. بر اساس نتایج، بهترین تیمار برای آبیاری کینوا در شرایط مزرعه‌ای و با قبول کاهش عملکرد نسبت به آبیاری سطحی، آبیاری Tape به‌صورت متناوب یک‌درمیان و به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه است. با توجه به کمبود آب و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی بر روی ارقام زودرس و همچنین در تاریخ‌های مختلف کشت جهت بهره‌مندی از آب باران انجام شود.

منابع

بیرامی، ح.، رحیمیان، م.ح.، صالحی، م.، یزدانی بیوکی، ر.، شیران تفتی، م. و نیکخواه، م. ۱۳۹۹. تأثیر دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (Chenopodium quinoa) درشرایط شور. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۰(۳): ۳۴۷-۳۵۷.

جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۳۹۸. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری

روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۳): ۳۳۹-۳۵۲.

جمالی، ص.، گلدانی، م. و زین‌الدین، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۶۸۷-۱۶۹۷.

جمالی، ص.، انصاری، ح. و زین‌الدین، س.م. ۱۳۹۹. اثر آبیاری بخشی ریشه و بستر کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا. آب و خاک. ۳۴(۱): ۱-۱۰.

جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۴۰۰. بررسی مدیریت آبیاری بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا (رقم Giza1) در شرایط گلخانه‌ای. روابط خاک و گیاه. ۱۲(۳): ۱۲-۱.

جمالی، ص.، انصاری، ح.، هادی، ب. و صفری زاده ثانی، ع. ۱۴۰۰ الف. اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۲): ۴۱۴-۴۲۷.

جمالی، ص.، انصاری، ح. و زین‌الدین، م. ۱۴۰۰ ب. ارزیابی اثر کود نیتروژن و روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر کارایی کاربرد آب درکشت گیاه کینوا. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۲): ۹۹-۱۱۲.

جورونی، ا.، عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا. و ملکی، ع. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده ی خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۲۴۱-۲۵۶.

جهانبخش، ص.، خواجویی نژاد، غ.، مرادی، ر. و نقی زاده، م. ۱۳۹۹. اثر تاریخ کاشت و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر فنولوژی و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی کینوآ تحت شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۳(۴): ۱۱۴۹-۱۱۶۷.

رزاقی، ف. و بهادری قصرالدشتی، م.ر. ۱۳۹۶. اثر کم‌آبیاری بر محصول و بهره‌وری آب کینوا در استان فارس. اولین همایش ملی شوروزی. مرکز تحقیقات شوری. یزد.

صادقی زاده، ح.، خواجویی‌نژاد، غ. و قنبری، ج. ۱۴۰۰. کارایی مصرف آب و پاسخ کمی و کیفی کینوا به کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید تحت شرایط کم آبیاری. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۴۳): ۳۴۵-۳۵۹.

صمدزاده، ع.، زمانی، غ. و فلاحی، ح. ۱۳۹۹. امکان‌سنجی تولید کینوا در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی تحت تأثیر تاریخ و تراکم کاشت. پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۳(۱): ۸۲-۱۰۴.

ضیائی، س.م.، سلیمی، خ. و امیری، س.ر. ۱۳۹۹. بررسی کشت کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت فواصل مختلف آبیاری و محلول پاشی در منطقه سراوان. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(۱) :۱۱۳-۱۲۵.

قرینه، م.ح.، بخشنده، ع.، اندرزیان، ب. و شیرالی، م. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر تاریخ کاشت و رژیمهای آبیاری بر خصوصیات مرفولوژیکی و عملکرد کینوا در شرایط آب و هوایی خوزستان. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۰(۳): ۱۴۹-۱۵۶.

کشتکار، آ.، آیین، ا.، نقوی، ه. و نجفی‌نژاد، ح. ۱۴۰۰. بررسی اثر محلول پاشی جاسمونیک اسید و تنش خشکی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۴(۲): ۴۰۳-۴۱۴.

یزدانی، و.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، و کافی، م. ۱۳۹۳. اثرات تنش شوری و کم‌آبیارس بر شاخص کارایی مصرف آب دو رقم کلزا. مجله مهندسی منابع آب . ۷(۴): ۶۷-۸۴.

Alvar-Beltrán, J. Napoli, M. Dao, A. Ouattara, A. Verdi, L. Orlandini, S. and Dalla Marta, A. 2021. Nitrogen, phosphorus and potassium mass balances in an irrigated quinoa field. Italian Journal of Agronomy. 16(3).

Bozkurt Çolak, Y., Alghory, A., and Tekin, S. 2021. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for differentially irrigated quinoa with surface and subsurface drip systems. Irrigation Science, 39(1): 81-100.

da Silva, P.C. Ribeiro Junior, W.Q. Ramos, M.L.G. Celestino, S.M.C. Silva, A.D.N. Casari, R.A.D.C.N. Santana, C.C. de Lima, C.A. Williams, T.C.R. and Vinson, C.C. 2021. Quinoa for the brazilian cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. Plants. 10(8):1591.

Jacobsen, S. E. 2003. The worldwide potential for quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Reviews International. 19: 167–177.

Naz, H.I.R.A. Akram, N.A. and Kong, H. 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Subjected to varying water regimes. Pakistan journal of Botany. 52(5):1553-1559.

Nowak, V., Du, J., Ruth., and Charrondière, U. 2016. Assessment of the Nutritional Composition of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Chemistry. 193(3): 47-54.

Pinto, A.A. Fischer, S. Wilckens, R. Bustamante, L. and Berti, M.T. 2021. Production Efficiency and Total Protein Yield in Quinoa Grown under Water Stress. Agriculture. 11(11): 1089.

Valdivia-Cea, W., Bustamante, L., Jara, J., Fischer, S., Holzapfel, E., and Wilckens, R. 2021. Effect of soil water availability on physiological parameters, yield, and seed quality in four quinoa genotypes (Chenopodium quinoa Willd.). Agronomy. 11(5): 1012.

Wang, N. Wang, F. Shock, C.C. Meng, C. and Qiao, L. 2020. Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. Agronomy. 10(3): 445.

Salim, S.A. Hadeethi, I.K.H. and Hadithi, R.A.G.M. 2020. Water stress on different growing stages for quinoa (Chenopodium quinoa willd.) and its infleunce on water requiriments and yield. Iraqi journal of agriculture sciences. 51(3): 953-966.

Talebnejad, R. and Sepaskhah, A. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. Agricultural water management. 148:177-88.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 237-246

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۲۴۶-۲۳۷

Evaluation of yield and yield components of Quinoa under different water managements

S. Jamali[1], M.J. Amiri[2*], Z. Dashtbani
Recived: Sep.01, 2021 Accepted: Jan.01, 2023

Abstract

In order to investigate the effect of different water managements on yield and yield components of Quinoa (c.v. Titicaca), a factorial experiment based on a complete randomized block design was conducted with three replications at Neyshabur city in 2018. Five irrigation water management (furrow irrigation (SI), low-pressure drip irrigation by Tape in the middle of furrow ridge (TI), low-pressure drip irrigation by Tape on both sides of the furrow ridge in alternate every other furrow (ATI), low-pressure drip irrigation by Tape at 75% full irrigation on both sides of the furrow ridge in alternate every other furrow (0.75 ATI), low-pressure drip irrigation by Tape in the middle of furrow ridge at 75% full irrigation (0.75 TI) were employed. The results of comparing the averages showed that the highest amounts of Quinoa grain yield and 1000 kernel weights were 1805 Kg ha^{-1} and 2.35 gr, respectively, for SI while the lowest ones were 1352.7 Kg ha^{-1} and 1.69 gr, respectively, for 0.75 TI. The TI, ATI, 0.75 ATI, and 0.75 TI treatments lead to a decrease in the Quinoa grain yield of 12.4, 11.6, 18.7, and 25.1%, respectively, as compared to the SI treatment. The best production function of yield-irrigation water was a linear function (Y=1014 +0.13 I).

Keywords: Furrow irrigation, Production function, Tape irrigation, Titicaca cv, Water productivity.

1 Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2 Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. (* Corresponding Author: mj_amiri@fasau.ac.ir)
3 MSc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.