نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۲۷۵ تا ۲۸۶

تعیین نیاز آبی کینوا و ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم خوزستان

فاطمه مسکینی ویشکایی[1*]، آرش تافته[2] و محی‌الدین گوشه[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۴)

چکیده

شوری و کم‌آبی از عوامل محدودکننده تولید کشاورزی پایدار هستند. کشت گیاهان مقاوم به تنش‌های محیطی، یکی از عوامل کلیدی مدیریتی برای تولید پایدار است. هدف از این پژوهش تعیین نیاز آبی و ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی (K_y) در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم استان خوزستان است. این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸ بر روی گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار در شهرستان اهواز اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری کامل و اعمال سه سطح تنش کم‌آبی (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک) در چهار مرحله مختلف رشد گیاه اعمال شدند. طول دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی کینوا به‌ترتیب برابر با ۲۴، ۲۸، ۳۲ و ۱۸ روز تعیین شد (کل دوره رشد= ۱۰۲ روز). بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) با نیاز آبی ۳۱۲ میلی‌متر بود. ضریب پاسخ گیاه به تنش کم‌آبی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب برابر با ۰/۸، ۰/۶۵، ۰/۷۴ و ۰/۴۷ تعیین شد. با وجود اینکه کینوا گیاهی متحمل به خشکی است اما باید توجه کرد که اعمال تنش کم‌آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم‌آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا خواهد شد که در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری این گیاه باید مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کشاورزی پایدار، کم‌آبیاری

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۲. بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fatemeh.meskini@yahoo.com

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa Willd*) یک گیاه دولپه‌ای از خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae) و زیرخانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) است (۱۹). با توجه به کیفیت تغذیه‌ای استثنایی و توانایی رشد در محیط‌های حاشیه‌ای، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، کینوا را به‌عنوان یکی از محصولاتی که نقش مهمی در تضمین آن ایفا می‌کند، معرفی کرده است. تا جایی که سال ۲۰۱۳ را به‌عنوان "سال کینوا" نامگذاری کردند (۹). کینوا به خوبی برای رشد در شرایط نامساعد خاک و شرایط آب و هوایی سازگار است. منحصربه‌فردبودن آن در ویژگی قوی آن به تحمل بالای سرما، شوری خاک و خشکسالی است (۱۶). پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین‌های غیرحیوانی است که از نظر کمّی و کیفی بهتر از دانه غلات دیگر است مقدار پروتئین در دانه کینوا (۱۲ تا ۲۰ درصد) نسبت به ذرت (۱۰ درصد)، برنج (۸ درصد) یا گندم (۱۳ درصد) بیشتر است. اما، ویژگی ارزشمند اصلی کینوا کیفیت ترکیب اسیدهای آمینه آن است. کینوا تمام اسیدهای آمینه موردنیاز زندگی انسان را داراست و مقادیر این اسیدهای آمینه تعادل مناسبی برای تغذیه انسان و دام دارد (۲۶). کینوا علاوه بر مقاومت زیاد به شرایط نامناسب محیطی، یک دانه بسیار غنی از نظر تغذیه‌ای نیز است که در امنیت غذایی کشور به ویژه در شرایط خشک‌سالی نقش مهمی را ایفا می‌کند و ارزش اقتصادی زیادی نیز در میان محصولات کشاورزی در بازار جهانی دارد. تولید کینوا به امنیت غذایی کمک می‌کند و پتانسیل بالایی برای افزایش امنیت غذایی در کشور دارد. همچنین، در منطقه مدیترانه و سایر نقاط در حال توسعه جهان قابل کشت و توسعه است (۱۷). کینوا یک گیاه امیدبخش برای تأمین کالری مورد نیاز بشر از طریق کشت در اراضی کم بازده و شور است. طبق مستندات موجود، کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است که کشت آن تا سطح شوری آب دریا امکان‌پذیر است (۱).

معمولاً در مناطقی با کمبود آب، آبیاری کامل برای افزایش عملکرد یک گزینه کاربردی نخواهد بود، اما، کم‌آبیاری به‌عنوان مثال با تأمین آب تنها در مراحل بحرانی رشد گیاه ممکن است راه حل مناسبی باشد (۱۴). در ایتالیا، پولونتو و همکاران (۲۶) گزارش کردند که در هر دو شرایط رشد تحت آبیاری کامل (۳۰۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر) و کم‌آبیاری (۲۰۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر) در طول فصل رشد، عملکرد کینوا رقم تیتی‌کاکا در دامنه ۲/۳ تا ۲/۷ تن در هکتار بود. بنابراین، این مطالعه نشان داد که در اثر کاهش مصرف آب، کاهش عملکرد معنی‌داری رخ نمی‌دهد. بهادری قصردشت و رزاقی (۳) در پژوهشی در شرایط مزرعه‌ای اثر تیمارهای مختلف آبی را بر رشد و محصول گیاه کینوا بررسی کردند. بدین منظور دو سطح آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل و اعمال تنش کم‌آبی در دوره‌های مختلف رشد سبزینگی، گلدهی و پرکردن دانه اعمال شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی در تمام مراحل رشد گیاه، موجب تولید عملکرد مشابه با تیمارهای اعمال تنش کم‌آبی در یک یا دو مرحله از رشد گیاه شد که نشان‌دهنده پتانسیل گیاه برای رشد در شرایط خشک و نیمه‌خشک است. مامدی و همکاران (۲۳) نیز کاهش ۱۸ درصدی عملکرد دانه کینوا در شرایط تنش کم‌آبی را گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، بیرامی و همکاران (۵) تأثیر دورهای مختلف آبیاری در روش قطره‌ای را بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در کشت بهار در استان یزد را بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که اثر حجم آب آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی به غیر از عرض پانیکول و تعداد پانیکول در هر بوته معنی‌دار بود. آنها بر اساس شاخص بهره‌وری مصرف آب، مقادیر بهینه دور آبیاری و حجم آب مصرفی در سیستم قطره‌ای و در کشت بهاره کینوا در منطقه یزد را حدود ۱۴ روز و ۴۳۵۰ مترمکعب در هکتار پیشنهاد کردند. در مطالعه‌ای دیگر، زندی و همکاران (۳۱) در شرایط اقلیمی خوزستان، اثر شوری‌های مختلف آب آبیاری (آب زه‌آب) بر عملکرد کینوا را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که افزایش شوری آب از دو به ۴۰ دسی‌زیمنس در متر، عملکرد دانه کینوا را به میزان ۶۲/۸ درصد کاهش داد.

مقادیر ضریب حساسیت گیاه کینوا به کم‌آبی در محدوده ۰/۶۶ و ۰/۸۵ گزارش شده است و نشان می‌دهد که این گیاه نسبت به تنش کم‌آبی مقاوم بوده و می‌توان در مدیریت کم‌آبیاری در شرایط کمبود آب در الگوی کشت از آن بهره برد (۸). در ایران، شوری یک مسئله فراگیر و محدودکننده تولید کشاورزی پایدار است و قسمت‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به‌ویژه فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان، مبتلا به سطوح مختلف شوری هستند (۲۵). بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود، بیشتر خاک‌های استان خوزستان دارای مسائل و مشکلاتی نظیر شوری بالا، آهک زیاد و عدم تعادل تغذیه‌ای هستند (۴). کشت گیاهان مقاوم یکی از عوامل کلیدی مدیریتی برای تولید پایدار است. بنابراین، با کشت محصولات مقاوم به خشکی و شوری مانند کینوا می‌توان بهره‌وری را در سطح مزرعه افزایش داد و معیشت در مناطق مستعد خشکسالی و مستعد شوری را در حد مطلوبی ارتقا داد (۳۰). علاوه بر این، با توجه به محدودیت شدید منابع آب، توسعه و ترویج کشت گیاهان جدید مستلزم تعیین نیاز آبی و تدوین برنامه‌ریزی آبیاری یا کم‌آبیاری بر اساس ویژگی‌های گیاه، شرایط خاک، آب و اقلیم هر منطقه است (۱۲). بنابراین، هدف این پژوهش تعیین نیاز آبی کینوا در اقلیم استان خوزستان و بررسی حساسیت مراحل مختلف رشد گیاه به تنش کم‌آبی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان خوزستان در ایستگاه تحقیقاتی گلستان شهرستان اهواز (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان) با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی با متوسط بارندگی سالیانه، ۲۲۴/۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت نیز ۲۲ درجه سانتیگراد در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. خاک محل آزمایش شور و در سری خاک اهواز، فامیل Fine,carbonatic, hayperthermic, typic, torriorthents قرار داشت. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک، از محل اجرای آزمایش یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد (جدول ۱). مقادیر کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک و بر اساس نتایج آزمون خاک و روش‌های استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب تعیین شد. بر این اساس، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در نظر گرفته شد. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری، واکنش خاک با استفاده از pHمتر، هدایت الکتریکی خاک با استفاده از ECسنج در عصاره گل اشباع خاک، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند (۱۵). برای تعیین مقدار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) از دستگاه صفحات فشاری و غشاء فشاری استفاده شد (۱۰). با توجه به بافت سنگین خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم معادل رطوبت خاک در مکش‌های ۳۳۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین برخی از ویژگی‌های آب آبیاری مزرعه کینوا در جدول ۲ ارائه شده است.

در این پژوهش علاوه بر تعیین نیاز آبی گیاه کینوا با استفاده از تیمار آبیاری کامل، حساسیت هر یک از مراحل رشد و نمو چهارگانه گیاه کینوا نسبت به شرایط کم‌آبی نیز تعیین شد. در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۱۶ آماده‌سازی زمین به‌صورت جوی و پشته انجام شد. در خصوص واریته و چگونگی کاشت کینوا (تراکم کشت) مطابق با توصیه‌های مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر از رقم تی‌تی‌کاکا و تراکم کاشت ۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. قبل از کشت، قوه نامیه و جوانه‌زنی بذرها در آزمایشگاه تعیین شد (۹۵ درصد بذرها پس از گذشت ۲۴ ساعت جوانه زدند). برای کاهش اثرات شوری خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاه، کشت به صورت دستی روی دو طرف پشته در محل دوغاب و عمق یک سانتی‌متری در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۲۴ انجام شد، سپس سم‌پاشی زمین برای علف‌های هرز و اولین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۲۵ صورت گرفت. با توجه به پیش‌بینی سالی پر بارش در استان خوزستان و نیاز به کنترل آب ورودی در

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	FC (%)	PWP (%)	pH (-)	OC (%)	EC ($dS\ m^{-1}$)	فسفر ($mg\ Kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ Kg^{-1}$)	نیتروژن کل ($mg\ Kg^{-1}$)
لوم‌رسی	۲۴	۳۶	۴۰	۳۷/۹	۲۶	۸/۲	۰/۸۲	۱۱/۲	۱۶/۳	۲۴۳	۰/۰۸

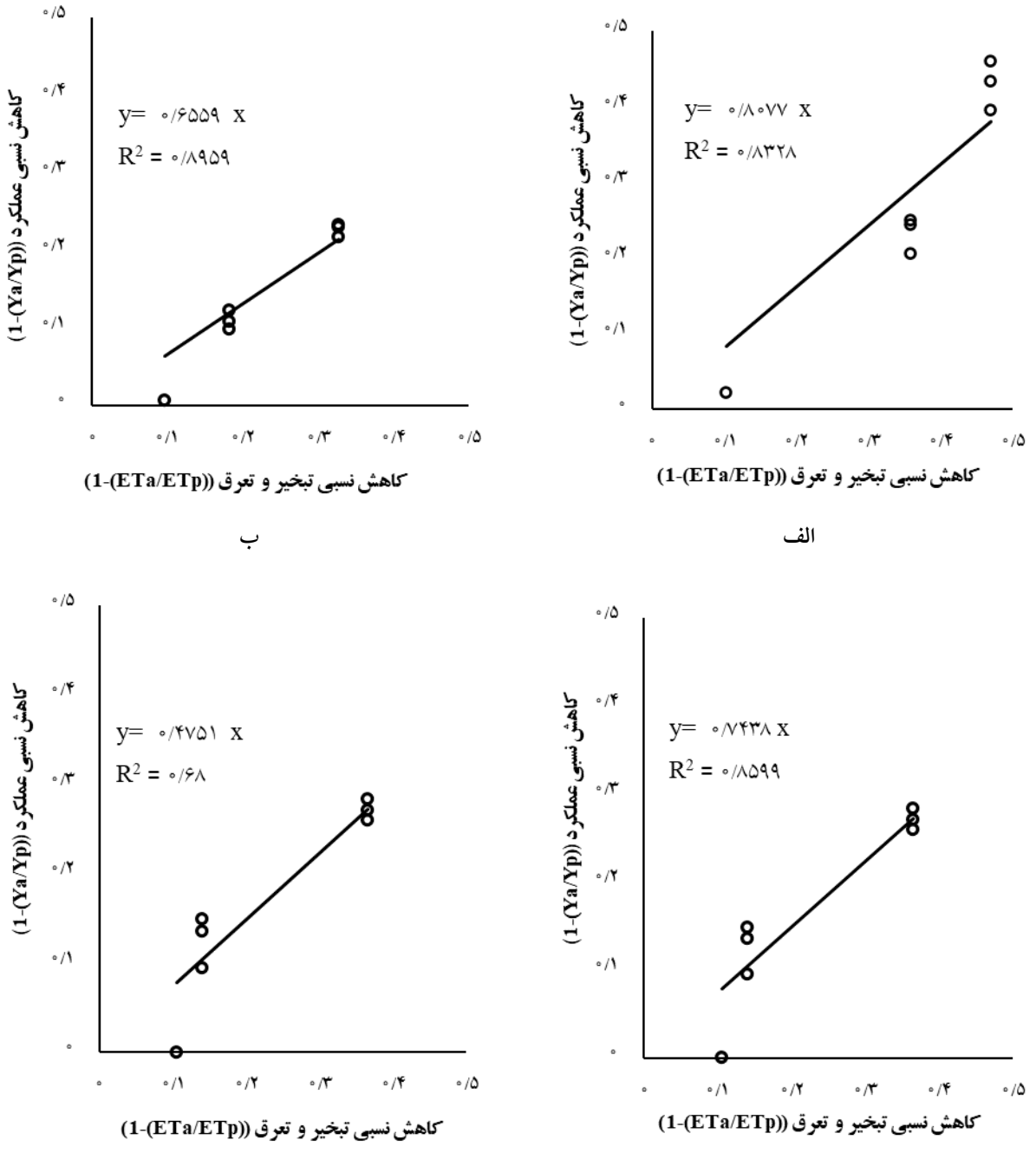
EC: هدایت الکتریکی خاک؛ OC: کربن آلی خاک، pH: واکنش خاک؛ PWP: رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم و FC: رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های آب آبیاری

EC ($dS\ m^{-1}$)	SAR (-)	pH (-)	کلسیم ($mg\ l^{-1}$)	منیزیم ($mg\ l^{-1}$)	سدیم ($mg\ l^{-1}$)	کلراید ($mg\ l^{-1}$)	بی‌کربنات ($mg\ l^{-1}$)
۱/۳	۷	۷/۹	۸/۸	۵/۸	۱۸/۹	۱۸/۴	۳/۲

کرت‌ها، از سایه‌انداز متحرک (Shelter) برای جلوگیری از ورود آب باران به کرت‌های آزمایشی استفاده شد (شکل ۱). در این مطالعه، ۱۳ تیمار شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری با اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم (۳۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، متوسط (۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک) و زیاد (۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک) در چهار مرحله رشد گیاه شامل مرحله اولیه، متوسعه، میانی و پایانی رشد کینوا در سه تکرار (۳۹ کرت آزمایشی به ابعاد ۲/۲۵ در ۲ متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. دوره رشد گیاه بر اساس نشریه FAO 56 به صورت چهار مرحله متمایز اولیه، توسعه ، میانی و پایانی در نظر گرفته شد. مرحله اولیه رشد گیاه از تاریخ کشت شروع و نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد پایان می‌یابد. مرحله دوم رشد (توسعه گیاه) از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد آغاز و تا زمان پوشش مؤثر کامل ادامه می‌یابد. زمان پوشش مؤثر کامل برای بسیاری از گیاهان مصادف با شروع گل‌دهی است. بنابراین، مرحله دوم رشد، همان رشد رویشی یا ساقه‌دهی خواهد بود. مرحله سوم رشد (مرحله میانی) از زمان گل‌دهی شروع شده و تا رسیدن محصول ادامه می‌یابد و مرحله پایانی رشد از شروع رسیدن محصول تا زمان برداشت آن ادامه دارد که برابر با مرحله پرشدن دانه خواهد بود (۲). بنابراین، در این پژوهش، تیمارهای مطالعاتی شامل تیمار آبیاری کامل (I_{Full})، کم‌آبیاری با شدت کم در مراحل اولیه رشد ($I_{30}S_1$)، توسعه ($I_{30}S_2$)، میانی ($I_{30}S_3$) و پایانی ($I_{30}S_4$)، کم‌آبیاری با شدت متوسط در مراحل اولیه رشد ($I_{50}S_1$)، توسعه ($I_{50}S_2$)، میانی ($I_{50}S_3$) و پایانی ($I_{50}S_4$) و کم‌آبیاری با شدت زیاد در مراحل اولیه رشد ($I_{70}S_1$)، توسعه ($I_{70}S_2$)، میانی ($I_{70}S_3$) و پایانی ($I_{70}S_4$)بود. در هر تیمار، کم‌آبیاری با شدت مشخص (۳۰، ۵۰ یا ۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک) در یک مرحله مشخص از رشد گیاه اعمال شده و در بقیه فصل رشد گیاه، آبیاری به صورت کامل انجام شده است.

از کسر مقادیر رطوبت خاک در دو نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم (جدول ۱)، مقدار رطوبت قابل دسترس خاک محاسبه شد و سپس بر اساس مقادیر درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (۳۰، ۵۰ و ۷۰درصد)، مقدار رطوبت خاک معادل زمان شروع آبیاری در هر تیمار محاسبه شد. رطوبت تا عمق توسعه ریشه گیاه با استفاده از نمونه‌برداری و تعیین رطوبت به روش وزنی انجام شد و پس از رسیدن رطوبت خاک تیمارها به مقادیر مورد نظر، آبیاری کرت‌ها با رساندن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد. حجم آب آبیاری هر یک از کرت‌های آزمایشی بر اساس سطح کرت و عمق آب مورد نیاز



شکل ۱. شیب کاهش نسبی تبخیر- تعرق ($1-Et_a/Et_p$) به کاهش نسبی عملکرد ($1-Y_a/Y_p$) در دوره اولیه رشد (الف)، مرحله توسعه (ب)، مرحله میانی (ج) و مرحله پایانی (د)

محاسبه و با اندازه‌گیری به تیمارها داده شد. با توجه به شوری بالای خاک (جدول ۱)، جزء آبشویی و راندمان کاربرد به‌ترتیب برابر با ۰/۷ و ۰/۶ در نظر گرفته شد. اما برای اینکه نتایج این مطالعه برای سایر خاک‌های استان خوزستان با درجه‌های مختلف شوری نیز قابل استفاده باشد، مقادیر آب مصرفی بر حسب نیاز خالص آبیاری گزارش شدند. در ۹ بهمن ماه ۱۳۹۸، پس از

حذف اثر حاشیه‌ای از سطح یک مترمربع در هر کرت آزمایشی، برداشت کینوا انجام شد. پس از برداشت گیاه و تجزیه و تحلیل، نتایج میانگین ضرایب واکنش به کم‌آبی گیاه کینوا (K_y) در مراحل مختلف رشد به همراه مراحل حساس به آب با استفاده از رابطه دورنبوس و کاسام (۱۱) تعیین و ارائه شد (رابطه ۱).

$$1-(\frac{Y_a}{Y_p}) = K_y - (1-\frac{ET_a}{ET_p}) \quad (۱)$$

که در آن Y_a: عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)، Y_p: عملکرد گیاه در شرایطی که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد (کیلوگرم در هکتار)، Et_a: تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_p: تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر)، K_y: ضریب پاسخ گیاه به تنش کم‌آبی است. در این مطالعه، میزان تبخیر و تعرق در هر از تیمارهای مورد مطالعه بر اساس بیلان رطوبت خاک محاسبه شد و میزان تبخیر و تعرق در تیمار آبیاری کامل به‌عنوان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه درنظر گرفته شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS v. 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

با وجود اینکه شوری خاک مورد مطالعه (۱۱/۲ دسی زیمنس در متر) بیشتر از حد آستانه تحمل به شوری بسیاری از گیاهان زراعی در کشت پاییزه همچون گندم (۶ دسی زیمنس در متر) بود. اما کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است و بسته به رقم در شرایط غیر شور تا شوری زیاد می‌تواند رشد کند (۷). گزارش شده است که در شوری متوسط خاک (دامنه ۱۵-۵ دسی‌زیمنس در متر)، تولید بذر کینوا تا حدی افزایش می‌یابد (۱۹).

طول مراحل مختلف رشد و نمو کینوا در اقلیم خوزستان (شهرستان اهواز) در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی دوره رشد اولیه کینوا ۲۴ روز، دوره توسعه ۲۸ روز، دوره میانی ۳۲ روز و دوره پایانی ۱۸ روز بود. کل دوره رشد این گیاه در استان خوزستان، شهرستان اهواز ۱۰۲ روز به‌دست آمد که با نتایج گزارش گیرتس و همکاران (۱۴) منطبق است. در مطالعه‌های مختلف در نقاط مختلف دنیا طول دوره رشد کینوا بین ۹۰ تا ۱۲۵ روز گزارش شده است (۶). کاوتار و همکاران (۲۱) در مراکش با بررسی پنج رقم مختلف کینوا، طول مراحل مختلف رشد کینوا شامل مرحله اولیه در محدوده ۱۷ تا ۲۰ روز، مرحله توسعه ۳۳ تا ۴۰ روز، مرحله میانی ۴۰ تا ۴۵ روز و مرحله پایانی رشد را ۲۹ تا ۳۳ روز گزارش کردند. تافته و امداد (۲۷) نیز دوره رشد کینوا در شهرستان کرج را ۹۰ روز تعیین کردند.

جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر تبخیر و تعرق گیاه، عملکرد کل و عملکرد دانه کینوا در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین عملکرد کینوا (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل با میزان تبخیر و تعرق ۳۱۲ میلی‌متر مشاهده شد (جدول ۵) که معادل نیازآبی کینوا در منطقه مورد مطالعه است. تافته و امداد (۲۷) نیز تبخیر و تعرق واقعی کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در منطقه کرج و کشت پاییزه را ۲۹۶ میلی‌متر گزارش کردند. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه کینوا در تیمارهای مختلف (جدول ۵) نشان می‌دهد که در تمام مراحل رشد گیاه، بین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل و تیمارهای تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم (تخلیه مجاز رطوبتی ۳۰ درصد)، در هیچ‌یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر کاهش عملکرد کینوا در شرایط مورد مطالعه در استان خوزستان نداشت. اما، اعمال تنش کم‌آبی متوسط و شدید (تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ و ۷۰ درصد) موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کینوا شد. کمترین میانگین مقدار عملکرد دانه کینوا در دو تیمار اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد در دو مرحله اولیه (۲۱۱۳ کیلوگرم در هکتار) و میانی (۲۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که به‌ترتیب مبین کاهش ۴۳ و ۲۷ درصد میانگین عملکرد دانه کینوا نسبت به تیمار آبیاری کامل بود (جدول ۵).

اعمال تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی با شدت‌های مختلف در مرحله اولیه رشد گیاه با کاهش حدود ۱۰ تا ۴۷ درصد تبخیر و

جدول ۳. طول دوره‌های رشد اندازه‌گیری شده کینوا در مزرعه در شهرستان اهواز، خوزستان

دوره رشد کینوا	اولیه	توسعه	میانی	پایانی	کل
تعداد روز	۲۴	۲۸	۳۲	۱۸	۱۰۲

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی با شدت‌های مختلف بر مقدار تبخیر و تعرق، عملکرد کل و عملکرد دانه کینوا در شهرستان اهواز، خوزستان

منبع تغییرات	درجه آزادی	تبخیر و تعرق (ET)	عملکرد کل	عملکرد دانه
تیمارهای کم‌آبی	۱۲	۷۴۷۲۰/۴ **	۳۸۹۸۷۹۱/۴ **	۸۸۷۹۵۶۹/۲ **
بلوک	۲	۷/۳۶ ns	۵۹۶۶۴/۱ ns	۲۸۴/۶ ns
خطا	۳۸	۱۳/۳۳	۷۲۶۳۸/۴۶	۳۱۶۱/۵
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۸/۵	۱۵/۹	۱۴/۸

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، **: وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۵. میانگین مقادیر تبخیر-تعرق، عملکرد دانه و عملکرد کل اندازه‌گیری‌شده کینوا در چهار مرحله رشد در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی در شهرستان اهواز، استان خوزستان

تیمارها / صفات موردبررسی	آبیاری کامل	اعمال تنش کم‌آبی در مرحله اولیه			اعمال تنش کم‌آبی در مرحله توسعه			اعمال تنش کم‌آبی در مرحله میانی			اعمال تنش کم‌آبی در مرحله پایانی		
		شدت کم ٪۳۰	شدت متوسط ٪۵۰	شدت زیاد ٪۷۰	شدت کم ٪۳۰	شدت متوسط ٪۵۰	شدت زیاد ٪۷۰	شدت کم ٪۳۰	شدت متوسط ٪۵۰	شدت زیاد ٪۷۰	شدت کم ٪۳۰	شدت متوسط ٪۵۰	شدت زیاد ٪۷۰
ET mm	۳۱۲ a	۲۸۰ e	۲۰۰ k	۱۶۵ m	۲۸۲ d	۲۵۵ i	۲۱۰ j	۲۷۹ f	۲۶۸ h	۱۹۸ l	۲۹۵ b	۲۸۷ c	۲۷۷ g
عملکرد دانه Kg ha^{-1}	۳۷۰۰ a	۳۶۲۰ ab	۲۸۴۰ e	۲۱۱۳ g	۳۶۸۰ a	۳۲۹۶ d	۲۸۶۰ e	۳۷۰۰ a	۳۲۳۳ d	۲۶۹۶ f	۳۶۵۰ ab	۳۵۶۶ bc	۳۴۹۰ c
عملکرد کل Kg ha^{-1}	۸۳۳۰ a	۸۵۰۰ a	۵۵۳۳ f	۴۹۲۳ g	۷۹۰۰ ab	۶۸۰۰ d	۶۱۴۰ e	۸۲۴۰ a	۷۴۱۷ c	۶۷۸۳ d	۸۱۷۰ a	۷۵۳۰ bc	۶۴۲۳ de

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. ET: تبخیر و تعرق گیاه

تعرق گیاه موجب کاهش ۰/۲ تا ۴۳ درصد عملکرد دانه کینوا شد. درحالی که اعمال تنش کم‌آبی با شدت زیاد (تیمار تخلیه مجاز رطوبتی ۷۰ درصد) در مرحله توسعه گیاه، با کاهش حدود ۳۳ درصدی تبخیر و تعرق گیاه موجب کاهش ۲۳ درصد عملکرد دانه کینوا شد. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در مرحله اولیه رشد گیاه، با وجود

کاهش حدود ۱۰ درصدی در تبخیر و تعرق گیاه موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کینوا نشد. اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط (تیمار تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ درصد)، با کاهش حدود ۸ تا ۳۶ درصد مقدار تبخیر و تعرق گیاه موجب کاهش ۴ تا ۲۳ درصد عملکرد دانه کینوا به‌ترتیب در مرحله پایانی و مرحله اولیه رشد شد. اعمال تنش‌های کم‌آبی با شدت‌های مختلف در مرحله پایانی رشد کینوا نسبت به سایر مراحل رشد گیاه، کمترین تأثیر را بر کاهش مقدار تبخیر و تعرق و عملکرد دانه گیاه داشت. کمترین عملکرد در تیمار تخلیه مجاز رطوبتی ۷۰ درصد و در مرحله رشد اولیه گیاه به‌دست آمد که با وجود کاهش ۴۷ درصدی تبخیر و تعرق، تنها ۴۳ درصد عملکرد دانه کینوا کاهش یافت. مامدی و همکاران (۲۳) نیز گزارش کردند که کینوا گیاهی متحمل به شرایط نامطلوب محیطی بوده و در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد، از نظر نیازهای رشد، گیاهی کم توقع است که در خاک‌های با حاصلخیزی کم هم به خوبی محصول می‌دهد.

شیب کاهش نسبی تبخیر- تعرق به کاهش نسبی عملکرد دانه کینوا در دوره‌های مختلف رشد گیاه در شکل ۱ ارائه شده است. با وجود اینکه گیاه کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی است، کاهش عملکرد کینوا در اثر تنش کم‌آبی ممکن است کاملاً خطی نباشد (همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود). این نتایج با مشاهدات گارسیا و همکاران (۱۳) نیز مطابقت دارد. افزایش کمی در مقدار مصرف آب، موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد کینوا می‌شود که احتمالاً به دلیل الاستیسیته کم برگ کینوا است که توسط جنسن و همکاران (۲۰) نیز گزارش شده است.

نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی به‌ترتیب مربوط به مرحله اولیه (۰/۸۰)، میانی (۰/۷۴)، توسعه (۰/۶۵) و سپس مرحله پایانی (۰/۴۷) بود. گیاه در مرحله رشد پایانی نسبت به دوره‌های اولیه، توسعه و میانی از مقاومت بیشتری برخوردار بوده و در این دوره کمترین حساسیت را به تنش کم‌آبی را از خود نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که متوسط ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی در کل دوره رشد گیاه ۰/۶۸ است که با گزارش بزکارت و همکاران (۸) منطبق است. علاوه بر این، به مقدار ضریب فصلی پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی گزارش شده توسط گارسیا و همکاران (۱۳) در منطقه بولیوی نیز بسیار نزدیک است (۰/۶۷). مقدار ضریب پاسخ کینوا از مقادیر ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی گزارش شده برای تمام گیاهان دیگر کمتر است (۲ و ۱۱). کمترین مقدار ضریب پاسخ گیاهان به تنش خشکی مربوط به دو گیاه بادام زمینی و پنبه به‌ترتیب برابر با ۰/۷ و ۰/۸۵ است (۲). کم‌بودن ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی به دلیل استراتژی کینوا در تعدیل اثرات منفی تنش خشکی از طریق کاهش شدید پتانسیل آب برگ و بهینه‌سازی راندمان مصرف آب با استفاده از کاهش تبادل گازی است (۲۹). تافته و امداد (۲۷) نیز متوسط دوسالانه ضریب حساسیت به تنش آبی کینوا در منطقه کرج را برابر با ۰/۷۵ گزارش کردند. تریانا و همکاران (۲۸) نیز تعیین کردند که ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی در اقلیم مدیترانه در محدوده ۰/۳ تا ۱/۶ تغییر می‌کند.

بر اساس نتایج این پژوهش در استان خوزستان، بیشترین حساسیت گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در برابر تنش کم‌آبی در مرحله اولیه و سپس مرحله میانی رشد کینوا است. در بیشتر مطالعات، حساس‌ترین مرحله رشد کینوا به تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی گزارش شده است (۲۹). تافته و امداد (۲۷) در منطقه کرج، مرحله میانی رشد کینوا رقم تی‌تی‌کاکا را به‌عنوان حساس‌ترین مرحله رشد گیاه به تنش کم‌آبی گزارش کردند. اما نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط خاک شور و اقلیم خوزستان، علاوه بر مرحله میانی رشد، مرحله اولیه رشد کینوا نیز حساسیت زیادی به تنش کم‌آبی داشته و اعمال تنش کم‌آبی متوسط و شدید در هر دو مرحله اولیه و میانی رشد موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا شد. محمدزاده ورزی (۲۲) نیز دو مرحله اولیه و میانی را به‌عنوان حساسترین مراحل رشد گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی گزارش کردند. دلیل حساسیت بالای کینوا به تنش کم‌آبی در مرحله اولیه رشد در اقلیم خوزستان در کشت پاییزه، علاوه بر سنگین‌بودن بافت خاک، احتمالاً می‌تواند ناشی از بالابودن دمای هوا در زمان

کاشت، خشک‌شدن سریع سطح خاک در تیمارهای تنش کم‌آبی و افزایش مقاومت مکانیکی خاک در برابر جوانه‌زنی بذر باشد. به‌عبارتی دیگر، در طول مرحله اولیه، گیاه از آب برای جوانه‌زنی استفاده می‌کند و کمبود آب موجب کاهش جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه در واحد سطح و درنهایت کاهش عملکرد نهایی گیاه می‌شود (۲۲). علاوه براین، نتایج پژوهش مامدی و همکاران (۲۳) نیز نشان داد با افزایش تنش‌های خشکی و شوری، پنجره‌ی مجاز دمایی برای جوانه‌زنی بذر کینوا (دماهای کاردینال) محدودتر می‌شود به گونه‌ای که دمای بیشینه‌ی مجاز برای جوانه‌زنی بذر در مکش‌های ۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ سانتی‌متر از ۵۴ درجه سلسیوس به‌ترتیب به ۴۱ و ۳۶ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد.

اعمال تنش کم‌آبی با شدت متوسط و زیاد در دو مرحله اولیه و میانی بیشترین تأثیر را بر کاهش عملکرد دانه کینوا داشت. بنابراین، دو مرحله رشد اولیه و میانی بیشترین حساسیت را به تنش کم‌آبی نشان داد. بیشترین عملکرد دانه ۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل بود که از مقادیر گزارش شده توسط زندی و همکاران (۳۱) در استان خوزستان بیشتر است (عملکرد ۲۴۶۰ کیلوگرم در هکتار در شوری خاک و آب به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۲ دسی‌زیمنس در متر). دلیل این امر، علاوه بر کمتربودن مقدار شوری آب و خاک در این مطالعه، کشت کینوا در شرایط مزرعه‌ای به روش جوی و پشته‌ای و کاشت روی دو طرف پشته در محل دوغاب در کرت‌هایی با ابعاد بزرگتر (مساحت ۴/۵ مترمربع) نسبت مطالعه زندی و همکاران (۳۱) است (لایسیمتر با قطر ۶۰ سانتی‌متر و مساحت کمتر از نیم مترمربع) که موجب کاهش اثرات منفی شوری خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاه و در نتیجه عملکرد بیشتر کینوا شده است.

با توجه به اینکه کینوا دارای هدایت روزنه‌ای به‌نسبت زیاد است (۱۶) و می‌تواند پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه‌ای را حتی در شرایط تنش آبی در حد بالا حفظ نماید (۱۸). به همین دلیل حتی در شرایط تنش کم‌آبی شدید، با وجود معنی‌دار بودن کاهش عملکرد دانه، مقدار عملکرد دانه مقرون به صرفه است. هرچند باید به این نکته توجه داشت که بر اساس نتایج این پژوهش اعمال تنش کم‌آبی در دو مرحله از رشد کینوا (مرحله اولیه و مرحله میانی رشد کینوا) می‌تواند موجب کاهش شدیدتر عملکرد دانه کینوا و در نتیجه کاهش بهره‌وری مصرف آب شود. بنابراین، در مدیریت کم‌آبیاری برای دستیابی به بهره‌وری مناسب، علاوه بر حجم آب مصرفی باید به مرحله رشد گیاه نیز توجه کرد. نتایج مسکینی ویشکایی و همکاران (۲۴) نیز نشان داد که تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد گیاه به شدت تنش و مرحله رشد گیاه وابسته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که دوره اولیه و میانی حساس‌ترین دوره‌های رشد کینوا نسبت به تنش کم‌آبی بوده و در این دوره‌ها می‌بایست از نظر مدیریت آبیاری این گیاه تا حد ممکن با تنش آبی مواجه نشود. هرچند تنش کم‌آبی با شدت کم، تقریباً در تمام دوره رشد کینوا، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه کینوا نداشت. به‌طور کلی گیاه کینوا نسبت به تنش کم‌آبی مقاوم بوده و در اراضی با محدودیت در کمّیت و کیفیت منابع آب و خاک، به خوبی می‌توان از این گیاه استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نیاز آبی کینوا و حساسیت مراحل مختلف رشد گیاه نسبت به تنش کم‌آبی بررسی شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم در هیچ یک از مراحل رشد کینوا، تأثیر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه کینوا نداشت. با وجود کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کینوا در تیمارهایی با تنش کم‌آبی شدید، باز هم عملکرد دانه کینوا مقرون به صرفه بود؛ که مبین این حقیقت است که کینوا گیاهی مقاوم به خشکی است و حتی در اثر وقوع تنش در مراحل حساس به تنش کم‌آبی نیز، عملکرد قابل قبولی خواهد داشت. در اقلیم استان خوزستان و در اراضی با بافت خاک سنگین و شور، دو مرحله از رشد کینوا شامل مرحله اولیه و میانی بیشترین حساسیت را نسبت به تنش کم‌آبی نشان داد که در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری این گیاه باید در نظر گرفته شود. پیشنهاد می‌شود با توجه به مقاومت بالای این گیاه و توانایی رشد آن در خاک‌های شور، امکان استقرار و رشد کینوا در خاک‌هایی با درجات مختلف شور و سدیمی نیز ارزیابی شود. علاوه بر این لازم است در مطالعات آتی، تأثیر کشت این گیاه بر بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Adolf, V. I., S. E. Jacobsen and S. Shabala. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92: 43-54.
2. Allen, R. G., L. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy.
3. Bahadori-ghasre dashti, M. R. and F. Razzaghi. 2017. Effect of deficit irrigation on crop production and water productivity of quinoa in Fars province. *In:* The First National Conference of Halo Culture, Yazd, Iran (In Farsi).
4. Belali, M. R., P. Mohajer Milani, Z. M. S. Khademi, H. H. Dorudi, F. Mashaiekhi and M. J. Malakouti. 2001. Comprehensive computer model recommending chemical fertilizers for sustainable agricultural production of wheat. Publication of agricultural education, Karaj, Iran (In Farsi).
5. Beyrami, H., M. H. Rahimian, M. Salehi, 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. *Journal of Agricultural Science* 30(3): 347- 357 (In Farsi).
6. Bilalis, D., A. Karkanis, I. Travlos, V. Triantafyllidis and D. Hela. 2012. Seed and saponin production of organic Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) for different tillage and fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40(1): 42-46.
7. Bosque-Sanchez, H., R. Lemeur, P. Van Damme and S. E. Jacobsen. 2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Food Reviews International* 19: 111-119.
8. Bozkurt Çolak, Y., A. Yazar, A. Alghory and S. Tekin. 2021. Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. *The Journal of Agricultural Science* 1-12.
9. Choukr-Allah, R., N. K. Rao, A. Hirich, M. Shahid, A. Alshankiti, K. Toderich, S. Gill, R. Ur and K. Butt. 2016. Quinoa for marginal environments: toward Future Food and Nutritional Security in MENA and Central Asia Regions. *Frontiers in Plant Science* 7: 346-358.
10. Dane, J. H. and J. Hopmans. 2002. Water retention and storage. *In:* J. H. Dane and G.C. Clake (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, USA.
11. Doorenbos, J. and A. H. Khassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy.
12. Fallahgh Ghalhari, G., M. Baaghideh and H. Rezaei. 2016. Estimation for potato products water requirement in Torbat Heidariyah region and determining the actual Evapotranspiration based on the reference Evapotranspiration. *Human and Environment* 14(2): 49-60 (In Farsi).
13. Garsia, M., D. Raes and S. Jacobsen. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirement of quinoa (chenopodium quinoa) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60: 119-134.
14. Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, O. Condori, J. Mamani, R. Miranda, J. Cusicanqui, C. Taboada and J. Vacher. 2008. Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (Chenopodium quinoa Willd) in the Southern Bolivian Altiplano? *Agricultural Water Management* 95: 909-917.
15. Ghazan Shahi, J. 2006. Soil and Plant Analysis. Aiizh Publications, Iran (In Farsi).
16. Hinojosa, L., J. González, F. Barrios-Masias, F. Fuentes and K. Murphy. 2018. Quinoa abiotic stress responses: a review. *Plants* 7: 106-119.
17. Hinojosa, L., N. Kumar, K. S. Gill and K. M. Murphy. 2019. Spectral reflectance indices and physiological parameters in quinoa under contrasting irrigation regimes. *Crop Science* 59: 1927-1944.
18. Issa, A. O., R. Fghire, F. Anaya, O. Benlhabib and S. Wahbi. 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (Chenopodium quinoa willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanz* 71: 123-133.
19. Jacobsen, S. E. 2014. New climate-proof cropping systems in dry areas of the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200(5): 399-401.
20. Jensen, C. R., S. E. Jacobsen, M. N. Andersen, N. Nun˜ez, S. D. Andersen, L. Rasmussen and V. O. Mogensen. 2000. Leaf gas exchange and water relations of field quinoa (Chenopodium quinoa Willd) during soil drying. *European Journal of Agronomy* 13: 11-25.
21. Kaoutar, F., H. Abdelaziz, B. Ouafah, R. Choukr-Allah and R. Ragab. 2017. Yield and dry matter simulation using the SALTMED model for five quinoa (Chenopodium Quinoa) accessions under deficit irrigation in south Morocco. *Irrigation and Drainage* 66(3): 340-350.
22. Mahmoudzadeh Varzi, M. 2016. Crop water production functions-A review of available mathematical method. *Journal of Agricultural Science* 8(4): 76-83.
23. Mamedi, A., R. Tavakkol afshari, N. A. Sepahvan and M. Oweysi. 2017. Evaluation of various temperatures on Quinoa plant seeds under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science* 46(4): 583-589 (In Farsi).

24. Meskini-Vishkaee, F., A. R. Jafarnejadi and N. Davatgar. 2020. Evaluation of the effect of water deficit stress on wheat yield in a moderate-textured soil in Khuzestan Province. *Journal of Water Research* 34(2): 229-242 (In Farsi).
25. Momeni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of Iranian soil resources. *Iranian Journal of Soil Research* 24(3): 202-215 (In Farsi).
26. Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, G. Iafelice, E. Marconi and R. d'Andria. 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198(4): 254-263.
27. Tafte, A. and M. R. Emdad. 2022. Determination of crop yield response factor (ky) in deficit irrigation management at different stages of Quinoa Plant Growth. *Water Management in Agriculture* 8(2): 101-116 (In Farsi).
28. Triana, F., N. Nassi, O. Di Nasso, G. Ragaglini, N. Roncucci and E. Bonari, 2015. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of giant reed (Arundo donax L.) and miscanthus (Miscanthus ×giganteus Greef et Deu.) in a Mediterranean environment. *GCB Bioenergy* 7: 811-819.
29. Vacher, J. 1998. Responses of two main crops, quinoa (Chenopodium quinoa Willd) and papa amarga (Solanum juzepczukii Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: significance of local adaptation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 68: 99-108.
30. Yazar, A. and Ç. İnce Kaya. 2014. A new crop for salt affected and dry agricultural areas of Turkey: quinoa (Chenopodium quinoa Wild). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences* 2: 1440-1446.
31. Zandi, S., A. Soltani Mohammadi, M. Golabi and S. B. Andarzian. 2020. The effect of irrigation with drainage water on quinoa performance in Ahvaz weather conditions. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)* 43(3): 45-56 (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Determining the Quinoa Water Requirement and Plant Response Coefficients to Water Stress in Different Growth Stages in Khuzestan Climate

F. Meskini-Vishkaee[1*], A. Tafteh[2] and M. Goosheh[1]

(Received: August 15-2022 ; Accepted: December 25-2022)

Abstract

Salinity and water scarcity are limiting factors for sustainable agricultural production. The cultivation of resistant plants to environmental stresses is one of the important management factors for sustainable production. The objective of this study was to determine the water requirement and plant response coefficients to water deficit stress (K_y) in different growth stages under the Khuzestan province climate. This study was performed on the quinoa cultivar Titicaca in Ahvaz City in 2019 in a randomized complete block design with 13 treatments and three replications. Treatments include full irrigation and application of three levels of water deficit stress (30, 50, and 70% of allowable soil moisture depletion) at four different stages of plant growth. The duration of the initial, developmental, middle, and late growth stages of quinoa was 24, 28, 32, and 18 days, respectively (total growth period=102 days). The highest quinoa yield was obtained in full irrigation treatment (3700 kg ha^{-1}) with a water requirement of 312 mm. Plant response coefficient to water deficit stress in the initial, developmental, middle, and late stages were 0.8, 0.65, 0.74, and 0.47, respectively. Although quinoa is a drought-resistance plant, it should be noted that the water stress in the two initial and middle stages (quinoa sensitive growth stages to water stress) reduces the quinoa yield significantly that should be considered in the planning of deficit irrigation.

Keywords: Drought stress, Sustainable agriculture, Deficit irrigation

1. Department of Soil and Water Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
2. Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding author, Email: Fatemeh.meskini@yahoo.com