

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

خوزستان

چکیده

شوری و کم آبی از عوامل محدودکننده تولید کشاورزی پایدار هستند. کشت گیاهان مقاوم به تنش های محیطی، یکی از عوامل کلیدی مدیریتی برای تولید پایدار است. هدف از این پژوهش تعیین نیاز آبی و ضرایب پاسخ به تنش کم آبی (K_y) در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم استان خوزستان است. این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸ بر روی گیاه کینوا رقم تی تی کاکا در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار در شهرستان اهواز اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری کامل و اعمال سه سطح تنش کم آبی (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 به ترتیب 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 میلی متر بود. ضریب پاسخ گیاه به تنش کم آبی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب 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 نمود که اعمال تنش کم آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی دار عملکرد کینوا خواهد شد که در برنامه ریزی کم آبیاری این گیاه باید مدنظر قرار گیرد. **واژه های کلیدی:** تنش خشکی، کشاورزی پایدار، کم آبیاری.

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd) یک گیاه دولپه ای از خانواده تاج خروسیان (Amaranthaceae) و زیر خانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) می باشد (۱۹). با توجه به کیفیت تغذیه ای استثنایی و توانایی رشد در محیط های حاشیه ای، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، کینوا را به عنوان یکی از محصولات که نقش مهمی در تضمین آن ایفا می کند، معرفی کرده است. تا جایی که سال ۲۰۱۳ را به عنوان "سال کینوا" نامگذاری کردند (۹). کینوا به خوبی برای رشد در شرایط نامساعد خاک و شرایط آب و هوایی سازگار است. منحصر به فرد بودن آن در ویژگی قوی آن به تحمل بالای سرما، شوری خاک و خشکسالی است (۱۶). پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین های غیرحیوانی است که از نظر کمی و کیفی بهتر از دانه

غللات 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 می‌باشد 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 می‌تواند 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 می‌باشد 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 قصر دشت 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 سبزی، گلدهی و پرکردن دانه اعمال گردید. 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 نیمه خشک است. مامدی و همکاران (۲۳) نیز کاهش ۱۸ درصدی عملکرد دانه کینوا در شرایط تنش کم‌آبی را گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر، بیرامی و همکاران (۵) تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری در روش قطره‌ای را بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در کشت بهار در استان یزد را بررسی نمودند. 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 براساس شاخص بهره‌وری مصرف آب، مقادیر بهینه دور آبیاری و حجم آب مصرفی در سیستم قطره‌ای و در کشت بهار کینوا در منطقه یزد را حدود ۱۴ روز و ۴۳۵۰ مترمکعب در هکتار پیشنهاد نمودند. در مطالعه‌ای دیگر،

زندگی و همکاران (۳۱) در شرایط اقلیمی خوزستان، اثر شوری‌های مختلف آب آبیاری (آب زه‌آب) بر عملکرد کینوا را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که افزایش شوری آب از دو به ۴۰ دسی زیمنس 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). براساس 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 می‌باشد. 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 براساس 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 گردید. خاک محل آزمایش شور و در سری خاک اهواز، فامیل Fine, carbonatic, hayperthermic, typic, torriorthents قرار داشت. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 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 گردید. براین اساس، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در نظر گرفته شد. توزیع اندازه ذرات خاک

به روش هیدرومتری، واکنش خاک با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی خاک با استفاده از EC سنج در عصاره گل اشباع خاک، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، نیتروژن به روش کج‌دال، 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.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه (اهواز، ۱۳۹۸)

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

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

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

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 گردید. در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۱۶ آماده‌سازی زمین به صورت جوی و پشته انجام شد. در خصوص واریته و چگونگی کاشت کینوا (تراکم کشت) مطابق با توصیه‌های موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر از رقم تی تی کا و تراکم کاشت ۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. قبل از کشت، قوه نامیه و جوانه‌زنی بذرهای در آزمایشگاه تعیین شد (۹۵ درصد بذرهای پس از گذشت ۲۴ ساعت جوانه زدند). برای کاهش اثرات شوری خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاه، کشت به صورت دستی بر 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 کرت‌ها، از سایه انداز متحرک^۱ 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 براساس 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_{30S1})، توسعه (I_{30S2})، میانی (I_{30S3}) و پایانی (I_{30S4})، کم‌آبیاری با شدت متوسط در مراحل اولیه رشد (I_{50S1})، توسعه (I_{50S2})، میانی (I_{50S3}) و پایانی (I_{50S4}) و کم‌آبیاری با شدت زیاد در مراحل اولیه رشد (I_{70S1})، توسعه (I_{70S2})، میانی (I_{70S3}) و پایانی (I_{70S4}) 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 گردید و سپس براساس مقادیر درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد)، 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 محاسبه و با اندازه‌گیری به تیمارها داده شد. با توجه به شوری بالای خاک (جدول ۱)، جزء آبهویی و راندمان کاربرد به‌ترتیب

^۱ Shelter

برابر با ۰/۷ و ۰/۶ در نظر گرفته شد. اما برای اینکه نتایج این مطالعه برای سایر خاک‌های استان خوزستان با درجات 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 گردید (رابطه ۱).

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

که در آن Y_a : عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)، Y_p : عملکرد گیاه در شرایطی که هیچ گونه 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 براساس بیلان رطوبت خاک محاسبه گردید و میزان تبخیر و تعرق در تیمار آبیاری کامل به عنوان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه در نظر 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٪ 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 ۵-۱۵ دسی زیمنس 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 به طور 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 به دست آمد که با نتایج گزارش گیرتس و همکاران (۱۴) منطبق است. در مطالعات 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 نمودند.

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 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 نمودند. 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 هیچ یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه تاثیر 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).

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

جدول ۵. میانگین مقادیر تبخیر-تعرق، عملکرد دانه و عملکرد کل اندازه گیری شده کینوا در چهار مرحله رشد در تیمارهای مختلف تنش کم آبی در شهرستان اهواز، استان خوزستان

تیمارها	آبیاری کامل	اعمال تنش کم آبی در مرحله اولیه			اعمال تنش کم آبی در مرحله توسعه			اعمال تنش کم آبی در مرحله پایانی		
		شدت			شدت			شدت		
		کم			متوسط			متوسط		
		٪۳۰			٪۵۰			٪۷۰		
صفات	مورد بررسی	شدت	متوسط	کم	شدت	متوسط	کم	شدت	متوسط	کم
ET	mm	۳۱۲	۲۸۰	۲۰۰	۱۶۵	۲۸۲	۲۵۵	۲۱۰	۲۷۹	۲۶۸
عملکرد		a	e	k	m	d	i	j	f	h
دانه		a	ab	e	g	a	d	e	a	d
Kg ha ⁻¹		۳۷۰۰	۳۶۲۰	۲۸۴۰	۲۱۱۳	۳۶۸۰	۳۲۹۶	۲۸۶۰	۳۷۰۰	۳۲۳۳
عملکرد		a	a	e	g	a	d	e	a	c
کل		۸۳۳۰	۸۵۰۰	۵۵۳۳	۴۹۲۳	۷۹۰۰	۶۸۰۰	۶۱۴۰	۸۲۴۰	۷۴۱۷
Kg ha ⁻¹		a	a	f	g	ab	d	e	a	c

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است. ET: تبخیر و تعرق گیاه.

اعمال تیمارهای مختلف تنش کم آبی با شدت های مختلف در مرحله اولیه رشد گیاه با کاهش حدود ۱۰ تا ۴۷ درصد تبخیر و تعرق گیاه موجب کاهش ۰/۲ تا ۴۳ درصد عملکرد دانه کینوا شد. در حالی که اعمال تنش کم آبی 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 می دهد که اعمال تنش کم آبی با شدت کم در مرحله اولیه رشد گیاه، با وجود کاهش حدود ۱۰ درصدی در تبخیر و تعرق گیاه موجب کاهش معنی دار عملکرد دانه کینوا نشد. اعمال تنش کم آبی 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 به ترتیب در مرحله پایانی و مرحله اولیه رشد گردید. اعمال تنش های کم آبی با شدت های مختلف در مرحله پایانی رشد کینوا نسبت به سایر مراحل رشد گیاه، کمترین تاثیر 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 به دست آمد که با وجود کاهش ۴۷ درصدی تبخیر و تعرق، تنها ۴۳ درصد عملکرد دانه کینوا کاهش یافت. مامدی و همکاران (۲۳) نیز گزارش نمودند که

کینوا گیاهی متحمل به شرایط نامطلوب محیطی بوده و در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده 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.

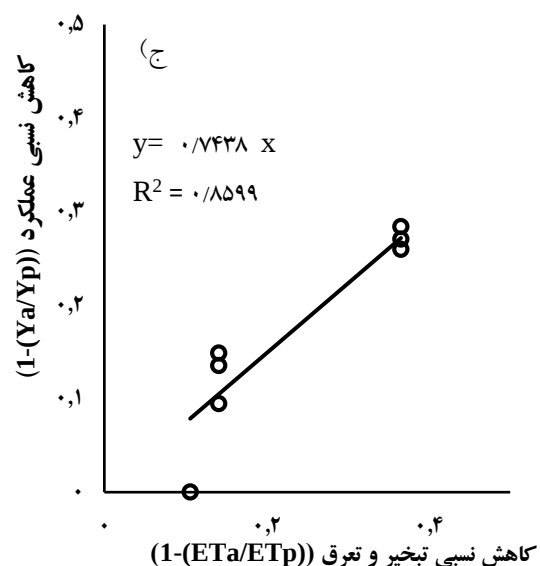
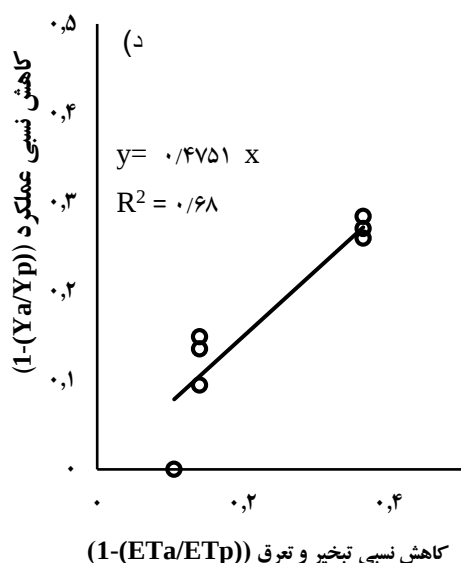
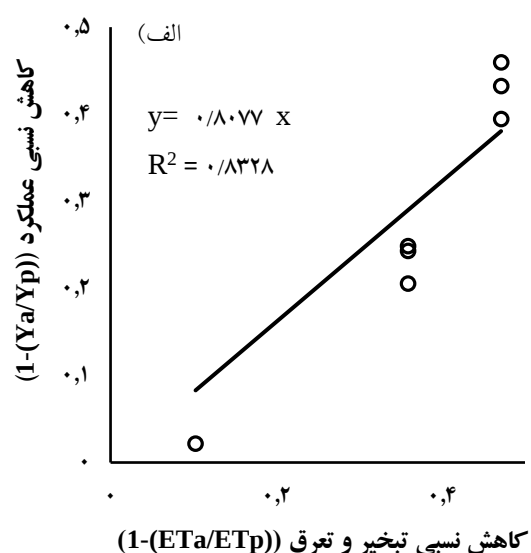
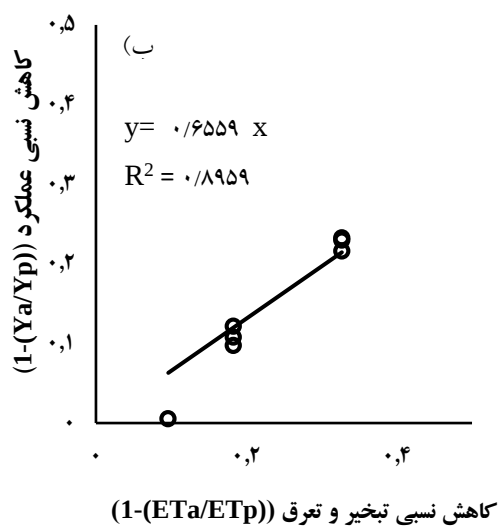
شیب کاهش نسبی تبخیر-تعرق به کاهش نسبی عملکرد دانه کینوا در دوره‌های مختلف رشد گیاه در شکل ۱ ارائه شده است.

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.



شکل ۱. شیب کاهش نسبی تبخیر-تعرق ($1-E_t/E_{tp}$) به کاهش نسبی عملکرد ($1-Y_a/Y_p$) در دوره اولیه رشد (الف)، مرحله

توسعه (ب)، مرحله میانی (ج) و مرحله پایانی (د)

نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی به ترتیب مربوط به مرحله اولیه ($0/80$)، میانی ($0/74$)، توسعه ($0/65$) و سپس مرحله پایانی ($0/47$) 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 $0/68$ است که با گزارش بزرکارت و همکاران (۸) منطبق است. علاوه براین، به مقدار ضریب فصلی پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی گزارش شده توسط گارسیا و همکاران (۱۳) در منطقه بولیوی نیز بسیار نزدیک است ($0/67$). 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 به ترتیب برابر با $0/7$ و $0/85$ است (۲). کم بودن 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 راندهان 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 $0/75$ گزارش نمودند. تریانا و همکاران (۲۸) نیز تعیین نمودند که ضریب پاسخ کینوا به تنش کم‌آبی در اقلیم مدیترانه در محدوده $0/3$ تا $1/6$ تغییر می‌کند.

براساس 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 به عنوان حساس‌ترین مرحله رشد گیاه به تنش کم‌آبی گزارش نمودند. 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 گردید. محمدزاده ورزی (۲۲) نیز دو مرحله اولیه و میانی را به عنوان حساس‌ترین مراحل رشد گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی گزارش نمودند. دلیل حساسیت بالای کینوا به تنش کم‌آبی در مرحله اولیه رشد در اقلیم خوزستان در کشت پاییزه، علاوه بر سنگین بودن بافت خاک، احتمالاً می‌تواند ناشی

از بالا بودن دمای هوا در زمان کاشت، خشک شدن سریع سطح خاک در تیمارهای تنش کم آبی و افزایش مقاومت مکانیکی خاک در برابر جوانه زنی بذر باشد. به عبارتی دیگر، در طول مرحله اولیه، گیاه از آب برای جوانه زنی استفاده می کند و کمبود آب موجب کاهش جوانه زنی بذر و استقرار گیاه در واحد سطح و در نهایت کاهش عملکرد نهایی گیاه می شود (۲۲). علاوه بر این، نتایج پژوهش مامدی و همکاران (۲۳) نیز نشان داد با افزایش تنش های خشکی و شوری، پنجره ای مجاز دمایی برای جوانه زنی بذر کینوا (دماهای کاردینال) محدودتر می شود به گونه ای که دمای بیشینه ای مجاز برای جوانه زنی بذر در مکش های ۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ سانتی متر از ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب به ۴۱ و ۳۶ درجه سلسیوس کاهش می یابد.

اعمال تنش کم آبی با شدت متوسط و زیاد در دو مرحله اولیه و میانی بیشترین تاثیر را بر کاهش عملکرد دانه کینوا داشت. بنابراین، دو مرحله رشد اولیه و میانی بیشترین حساسیت را به تنش کم آبی نشان داد. بیشترین عملکرد دانه ۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری کامل بود که از مقادیر گزارش شده توسط زندگی و همکاران (۳۱) در استان خوزستان بیشتر است (عملکرد ۲۴۶۰ کیلوگرم در هکتار در شوری خاک و آب به ترتیب ۱۲/۵ و ۲ دسی زیمنس در متر). دلیل این امر، علاوه بر کمتر بودن مقدار شوری آب و خاک در این مطالعه، کشت کینوا در شرایط مزرعه ای به روش جوی و پشته ای و کاشت بر روی دو طرف پشته در محل دوغاب در کرت هایی با ابعاد بزرگتر (مساحت ۴/۵ مترمربع) نسبت مطالعه زندگی و همکاران (۳۱) است (لایسمتر با قطر ۶۰ سانتیمتر و مساحت کمتر از نیم مترمربع) که موجب کاهش اثرات منفی شوری خاک بر جوانه زنی و رشد گیاه و در نتیجه عملکرد بیشتر کینوا شده است.

با توجه به اینکه کینوا دارای هدایت روزنه ای نسبتا زیاد است (۱۶) و می تواند پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه ای را حتی در شرایط تنش آبی در حد بالا حفظ نماید (۱۸). به همین دلیل حتی در شرایط تنش کم آبی شدید، با وجود معنی دار بودن کاهش عملکرد دانه، مقدار عملکرد دانه مقرون به صرفه است. هرچند باید به این نکته توجه داشت که براساس نتایج این پژوهش اعمال تنش کم آبی در دو مرحله از رشد کینوا (مرحله اولیه و مرحله میانی رشد کینوا) می تواند موجب کاهش شدیدتر عملکرد دانه کینوا و در نتیجه کاهش بهره وری مصرف آب گردد. بنابراین، در مدیریت کم آبیاری برای دستیابی به بهره وری مناسب، علاوه بر حجم آب مصرفی باید به مرحله رشد گیاه نیز توجه نمود. نتایج مسکینی ویشکایی و همکاران (۲۴) نیز نشان داد که تاثیر تنش کم آبی بر عملکرد گیاه به شدت تنش و مرحله رشد گیاه وابسته است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان بیان نمود که دوره اولیه و میانی حساس ترین دوره های رشد کینوا نسبت به تنش کم آبی بوده و در این دوره ها می بایست از نظر مدیریت آبیاری این گیاه تا حد ممکن با تنش آبی مواجه نگردد. هرچند تنش کم آبی با شدت کم، تقریبا در تمام دوره رشد

کینوا، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه کینوا نداشت. به طور کلی گیاه کینوا نسبت به تنش کم‌آبی مقاوم بوده و در اراضی با محدودیت در کمیت و کیفیت منابع آب و خاک، به خوبی می‌توان از این گیاه استفاده نمود.

نتیجه‌گیری کلی

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، تاثیر 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، تاثیر کشت این گیاه بر بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- (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. The first national conference of Haloculture. Yazd, Iran. (In Farsi)
- (4) Belali, M.R., P. Mohajer Milani, Z. M.S. Khademi, Dorudi, H.H. Mashaiekh 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-Bioui, 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. doi:10.1017/S0021859621000265.
- (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. p. 671-720
- (11) Doorenbos, J. and A.H. Khassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy.
- (12) Fallahgh Ghalhari, Gh., M. Baaghdeh 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 & 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, 296 pp. (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. DOI:10.1111/jac.12080.
- (20) Jensen, C. R., S. E. Jacobsen, M. N. Andersen, N. Nunˆez, 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. DOI: 10.1002/ird.2116
- (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 (Soil and Water Sci.)* 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): 202-205. (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. *Agric. Ecosyst. Environ.* 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)

Determining the quinoa water requirement and plant response coefficients to water stress in different growth stages in Khuzestan climate

ABSTRACT

Salinity and water scarcity are limiting factors for sustainable agricultural production. Cultivation of resistant plants to environmental stresses is one of the important management factors for sustainable production. The aim of this study was to determine the water requirement and plant response coefficients to water deficit stress (K_y) in different growth stages in climatic of Khuzestan province. This study was performed on quinoa cultivar Titicaca in Ahvaz city in 2019 in a randomized complete block design with 13 treatments and three replications. Treatments including 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, but it should be noted that the water stress in two initial and middle stages (quinoa sensitive growth stages to water stress), significantly reduces the quinoa yield that should be considered in planning of deficit irrigation.

Keywords: Drought, Sustainable agriculture, Deficit irrigation.