

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر تنش کم آبی دوره‌ای بر عملکرد گیاه کینوا و تعیین تابع تولید آب مصرفی-عملکرد آن در خاک شور (مطالعه موردی: استان خوزستان)

فاطمه مسکینی ویشکایی^{۱*}، آرش تافته^۲، علیرضا جعفرنژادی^۳، محی الدین گوشه^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین تابع آب-عملکرد کینوا با اعمال تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد گیاه بود. این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸ بر روی گیاه کینوا رقم تی تی کاکا 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 کم آبی در چهار مرحله مختلف رشد گیاه بودند. توابع آب - عملکرد دانه کینوا و کارایی مصرف آب به صورت تابع درجه دوم برازش داده شدند. روند افزایش عملکرد به ازاء آب مصرفی تا ۳۲۰۰ مترمکعب در هکتار صعودی بود. از ۳۲۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار مصرف آب، عملکرد تقریباً ثابت و بیشینه بود (۳۶۵ کیلوگرم در هکتار). بیشترین کارایی مصرف آب (۱/۲۲ کیلوگرم در مترمکعب) با مصرف آب حدود ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. از ۲۴۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار مصرف آب، میزان کارایی مصرف آب ۱/۱۲ کیلوگرم در مترمکعب بود. بنابراین مصرف بیشتر آب موجب کاهش کارایی مصرف آب شد. با وجود اینکه تنش کم آبی موجب افزایش کارایی مصرف آب در کشت کینوا شد اما در مدیریت کم آبیاری برای دستیابی به کارایی مناسب، علاوه بر حجم آب مصرفی باید به مرحله رشد گیاه نیز توجه نمود. در شرایط اقلیم استان خوزستان، دوره رشد اولیه و میانی حساس‌ترین دوره‌های رشد کینوا نسبت به تنش کم آبی بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کشاورزی پایدار، کم آبیاری

مقدمه

(Jaramillo Roman, 2021). شوری خاک با سرعت ۱ تا ۲ میلیون هکتار سالانه در سطح جهان در حال گسترش است و بخش قابل توجهی از تولید محصول و اراضی مناسب کشت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه خشک، با توجه به بسیار بیشتر بودن مقدار تبخیر از سطح خاک نسبت به بارندگی، تولید محصول بیشتر متأثر از آبیاری قرار گرفته و نسبت به شوری خاک آسیب‌پذیر است (Hopmans et al., 2021). کم آبیاری یک راهکار برای تولید بهینه محصول تحت شرایط کمبود آب است که اولین نتیجه آن کاهش محصول در واحد سطح است. هدف اساسی از به کارگیری شیوه مدیریتی کم آبیاری، افزایش راندمان کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین اثر را بر روی رشد گیاه داشته و یا در افزایش سود خالص، نقشی ندارند (مهموم سالکویه و همکاران، ۱۳۹۸). کمبود آب آبیاری عمده‌ترین عامل بازدارنده در زراعت آبی محسوب می‌شود. به دلیل بحران فزاینده

شوری خاک یک مشکل جهانی است که بر بهره‌وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد و خاک‌های شور در بیش از ۱۰۰ کشور جهان پخش شده‌اند. از کل اراضی زیر کشت ۲۲۷ مگا هکتار اراضی فاریاب هستند و ۲۰ درصد این اراضی شور هستند (FAO, 2021). علاوه بر این، از اراضی دیم نیز ۲/۵ درصد دارای سطوح مختلف شوری خاک هستند

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۲- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
(*- ایمیل نویسنده مسئول: fatemeh.meskini@yahoo.com)

وری 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 نمودند.

اثرات آبیاری بر تولید محصول به کمک توابع تولید قابل اندازه‌گیری هستند. یکی از روش‌های استفاده بهینه از آب مصرفی تعیین تابع واکنش گیاه نسبت به آب مصرفی به صورت تابع "آب مصرفی - عملکرد محصول" است (ابراهیمی پاک و تافته، ۱۳۹۶). بنابراین در صورت محدود بودن منابع آب، به منظور مصرف بهینه آب لازم است نوع خاک محل کشت، نوع گیاه و نیز مرحله رشد آن مد نظر قرار گیرد و برای اعمال آبیاری بهینه برآوردهای قابل اعتمادی از میزان رطوبت خاک، تنش رطوبتی گیاه و تابع تولید به دست آورد. در چنین شرایطی به منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه باید از منابع آب محدود بر مبنای نیازهای اجتناب‌ناپذیر گیاه استفاده بهینه شود (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳). پژوهشگران مختلف اظهار داشتند که ارتباط عملکرد در برابر تبخیر و تعرق یا آب مصرفی گیاهان در مکان‌های مختلف متفاوت است که احتمالاً دلیل آن تفاوت در توزیع بارندگی، ویژگی‌های خاک، گیاه و شرایط اقلیمی است (Tolk and Howell, 2003; Payero et al., 2006). برای تعیین حد بهینه آب آبیاری استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی - ریاضی و توابع تغییرات مصرف آب - عملکرد اجتناب‌ناپذیر است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵) هدف از آبیاری بهینه، افزایش کارایی مصرف آب است (Popescu et al., 2004). اما درک رابطه آب مصرفی و کارایی مصرف آب به دلیل وجود عوامل متعددی از جمله جنبه‌های زراعی، هیدرو-ژئولوژی، انسانی، اقتصادی و اجتماعی، پیچیده است. کاربرد محدود آب آبیاری آن‌هم فقط در مراحل خاصی از رشد گیاه و به حداقل رساندن کاهش عملکرد محصول ناشی از تنش آبی از راه کارهای افزایش کارایی مصرف آب معرفی شده‌اند (Zhang and Oweis, 1999).

در ایران، شوری و کم‌آبی از مشکلات فراگیر و محدودکننده تولید کشاورزی پایدار هستند. قسمت‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به‌ویژه فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان، مبتلا به سطوح مختلف شوری هستند (مومنی، ۱۳۸۹). علاوه بر این، گیاه کینوا ممکن است جایگزین مناسبی برای مناطق نیمه خشک و خشک باشد که در آن سایر محصولات غلات با کیفیت پایین تولید می‌کنند یا قادر به رشد نیستند (Gómez et al., 2019). بنابراین، آنچه ضرورت تحقیقات بیشتری را طلب می‌نماید، تعیین رابطه میزان محصول با آب مصرفی به منظور رسیدن به نقطه‌ای است که، با مصرف کمترین میزان آب، عملکرد محصول توجیه اقتصادی داشته باشد (کسب بالاترین کارایی مصرف آب از طریق به حداقل رساندن مصرف آب). این موضوعی است که هدف اصلی این تحقیق بوده و سعی بر آن است تا کارایی مصرف آب برای

کمیت و کیفیت منابع آب، بهینه‌سازی مصرف آب شایان توجه است. در مناطقی که قیمت آب زیاد است نیز مصرف بهینه آن غیر قابل اجتناب است. از این رو، اهمیت بهینه‌کردن محصول تولیدی در ازای مصرف آب کم‌تر، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. چنانچه نیاز آبی گیاه تأمین نشود میزان تبخیر-تعرق گیاه کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل شده و در نتیجه تنش آبی رخ داده و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳).

تحمل یک گونه گیاهی به شوری به توانایی گیاه برای رشد و تولید محصول قابل برداشت در خاک‌های متأثر از شوری اشاره دارد (Munns et al., 2020). در میان گونه‌های زراعی سازگار با اراضی شور در اقلیم خشک و نیمه خشک، کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) یک محصول با پتانسیل بالا برای حفظ بهره‌وری و باروری مزرعه در نظر گرفته می‌شود (Rezzouk et al., 2020). کینوا علاوه بر مقاومت زیاد به شرایط نامناسب محیطی، یک دانه بسیار غنی از نظر تغذیه‌ای نیز می‌باشد که در امنیت غذایی کشور به‌ویژه 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 کند و پتانسیل بالایی برای افزایش امنیت غذایی کشورها دارد (Hinojosa et al., 2019). در ایتالیا، پولونتو و همکاران 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 تی تی کاکا 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 (Pulvento et al., 2012). رزاقی و همکاران (۱۳۹۶) 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 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. مامدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز کاهش ۱۸ درصدی عملکرد دانه کینوا در شرایط تنش کم‌آبی را گزارش نمودند. نتایج پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که کاهش آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد در مراحل رویشی، گل‌دهی، دانه‌بستن و کل دوره رشد منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه و عملکرد دانه کینوا شد. در پژوهشی دیگر، بیرامی و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر 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 بهره-

کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک و بر اساس نتایج آزمون خاک و روش‌های استاندارد تعیین گردید (غازان‌شاهی، ۱۳۹۹). براین اساس، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در نظر گرفته شد. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (Gee and Or, 2002)، 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 (غازان‌شاهی، ۱۳۹۹). برای تعیین مقدار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) از دستگاه صفحات فشاری و غشاء فشاری استفاده شد (Done and Hopman, 2002). با توجه به بافت لوم رسی سیلتی خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم معادل رطوبت خاک در مکش‌های ۳۳۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین برخی از ویژگی‌های آب آبیاری مزرعه کینوا در جدول ۲ ارائه شده است.

زراعت کینوا در شرایط اقلیمی و خاک جنوب استان خوزستان، بهینه گردد. منظور از بهینه نمودن، تعیین حدی از آب مصرفی است که بیشترین کارایی مصرف آب در آن حد بدست آید به عبارت دیگر هدف کسب بیشترین میزان عملکرد محصول با صرف حداقل آب مصرفی 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، 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

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مزرعه مورد مطالعه

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

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

کرت‌های آزمایشی استفاده شد (شکل ۱).

در این مطالعه، ۱۳ تیمار شامل آبیاری کامل و 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.

آماده‌سازی زمین در تاریخ ۱۳۹۸/۷/۱۶ به صورت جوی و پشته انجام شد. در خصوص وارپته 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 بذر 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 سایه‌انداز متحرک^۱ برای جلوگیری از ورود آب باران به

1- Shelter

محصول تا زمان برداشت آن ادامه دارد که برابر با مرحله پرشدن دانه خواهد بود (Allen et al., 1998). طول دوره‌های فنولوژیک مختلف رشد کینوا در شهرستان اهواز در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- نمایی از محل اجرای پژوهش و استقرار سایه انداز به منظور اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی در ایستگاه تحقیقاتی گلستان، شهرستان اهواز (سال ۱۳۹۸)

که در آن WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)؛ Y: عملکرد و W: مقدار آب مصرفی برحسب مترمکعب در هکتار است. 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

جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه، وزن زیست توده، وزن هزار دانه، آب مصرفی و کارایی مصرف آب کینوا در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین میانگین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵) که از مقادیر گزارش شده توسط زندگی و همکاران (۱۳۹۹) در استان خوزستان بیشتر است (عملکرد ۲۴۶۰ کیلوگرم در هکتار در شوری خاک و آب به ترتیب ۱۲/۵ و ۲ دسی‌زیمنس در متر). دلیل این امر، علاوه بر کمتر بودن مقدار شوری آب و خاک در این مطالعه، کشت کینوا در شرایط مزرعه‌ای و در کرت‌هایی با ابعاد بزرگتر (مساحت ۴/۵ مترمربع) نسبت مطالعه زندگی و همکاران (۱۳۹۹) است (لایسیمتر با قطر ۶۰ سانتی‌متر و مساحت کمتر از نیم مترمربع). علاوه بر این که شیوه کاشت کینوا در شرایط جوی و پشته‌ای و کاشت بر روی دو طرف پشته در محل دوغاب نیز موجب کاهش اثرات منفی شوری خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاه و در نتیجه عملکرد بیشتر شد.

جدول ۳- طول دوره‌های رشد اندازه‌گیری شده کینوا در مزرعه (شهرستان اهواز، ۱۳۹۸)

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

با توجه به تیمارهای آبیاری رطوبت تا عمق توسعه ریشه گیاه با استفاده از نمونه‌برداری و تعیین رطوبت به روش وزنی انجام شد (رابطه ۱) 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 آبشویی و راندمان کاربرد به ترتیب 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.

$$100 \times \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب}}{\text{وزن خاک خشک}} = \text{درصد رطوبت خاک} \quad (1)$$

کارایی مصرف آب تیمارها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (2)$$

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش کم آبی بر عملکرد دانه، وزن زیست توده، وزن هزار دانه، آب مصرفی و کارایی مصرف آب کینوا (اهواز، ۱۳۹۸)

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن زیست توده	وزن هزار دانه	آب مصرفی	کارایی مصرف آب
تیمارهای کم آبی	۱۲	۸۸۷۹۵۶۹/۳ ^{**}	۳۸۹۸۱۷۹۱/۴ ^{**}	۰/۲۸۴ ^{**}	۸۹۳۲۵۶/۶ ^{**}	۰/۰۰۹ ^{**}
بلوک	۲	۲۸۴/۶ ^{ns}	۵۹۶۶۴/۱ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۶/۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}
خطا	۳۸	۳۱۶۱/۵	۷۲۶۳۸/۴۶	۰/۰۰۷	۱۷/۷	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (%)		۱۴/۸	۱۵/۹	۸/۴	۱۷/۴	۵/۳

جدول ۵- میانگین مقادیر عملکرد دانه، وزن زیست توده، وزن هزار دانه و آب مصرفی کینوا در تیمارهای مختلف آبیاری در شهرستان اهواز، استان خوزستان (سال ۱۳۹۸)

تیمارها	اعمال تنش کم آبی در مرحله آبیاری			اعمال تنش کم آبی در مرحله میانی			اعمال تنش کم آبی در مرحله توسعه			اعمال تنش کم آبی در مرحله اولیه			کامل	صفا	مورد بررسی
	شدت کم	متوسط	شدت زیاد	شدت کم	متوسط	شدت زیاد	شدت کم	متوسط	شدت زیاد	شدت کم	متوسط	شدت زیاد			
عملکرد دانه	۳۶۲۰	۲۸۴۰	۲۱۱۳	۳۶۸۰	۳۲۹۶	۲۸۶۰	۳۷۰۰	۳۲۳۳	۲۶۹۶	۳۶۵۰	۲۵۶۶	۳۴۹۰	۳۷۰۰	عملکرد دانه	Kg ha ⁻¹
وزن	۸۵۰۰	۵۵۳۳	۴۹۲۳	۷۹۰۰	۶۸۰۰	۶۱۴۰	۸۲۴۰	۷۴۱۷	۶۷۸۳	۸۱۷۰	۷۵۲۰	۶۴۲۳	۸۳۲۰	وزن	Kg ha ⁻¹
زیست توده	۳/۸۵	۳/۹۸	۳/۸۸	۳/۷	۳/۸۴	۳/۷۲	۳/۵	۳/۳۳	۲/۸۸	۳/۷	۳/۷۱	۳/۲۲	۳/۹	وزن هزار دانه	g
نیاز خالص	۳۳۶۰	۲۴۰۰	۱۹۸۰	۳۳۸۰	۳۰۶۰	۲۵۲۰	۳۳۵۰	۳۲۲۰	۲۳۷۶	۳۵۴۰	۳۴۴۴	۳۳۲۴	۳۷۴۴	نیاز خالص	m ³ ha ⁻¹
آبیاری	۰/۹۸۸	۱/۰۷۷	۱/۱۸۳	۱/۰۸۷	۱/۰۷۷	۱/۱۳۶	۱/۱۰۵	۱/۰۰۵	۱/۱۳۵	۱/۰۳۱	۱/۰۳۵	۱/۰۵۰	۰/۹۸۸	کارایی مصرف آب	kg m ⁻³

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتایج نشان داد که اعمال تنش کم آبی با شدت کم (تخلیه مجاز رطوبتی خاک ۳۰ درصد) در هیچ یک از مراحل چهارگانه رشد کینوا تاثیر معنی داری بر کاهش عملکرد دانه و وزن زیست توده در شرایط مورد مطالعه در استان خوزستان نداشت. در حالی که، میانگین مقدار مصرف آب (نیاز خالص آبیاری) در تیمارهای تنش کم آبی با شدت کم در هر چهار مرحله رشد کینوا نسبت به تیمار آبیاری کامل، کاهش معنی داری را نشان داد (جدول ۵). به عبارت دیگر، با اعمال تنش کم آبی با شدت کم در طول دوره رشد گیاه با وجود کاهش معنی دار مقدار مصرف آب، عملکرد دانه کینوا کاهش معنی داری نخواهد داشت ($p > 0.05$). مامدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش نمودند که کینوا گیاهی متحمل به شرایط نامطلوب محیطی بوده و در برابر تنش های زنده و غیرزنده مقاومت بالایی از خود نشان می دهد، از نظر نیازهای رشد، گیاهی کم توقع است که در خاک های با حاصلخیزی کم هم به خوبی محصول می دهد. اعمال تنش کم آبی متوسط و شدید (تخلیه مجاز رطوبتی خاک ۵۰ و ۷۰ درصد) موجب کاهش معنی دار در هر دو صفت عملکرد دانه و وزن زیست توده کینوا شد (جدول ۵). کمترین میانگین مقدار عملکرد دانه کینوا در دو تیمار اعمال تنش کم آبی با شدت زیاد در دو مرحله اولیه (۲۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) و میانی (۳۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که به ترتیب مبین کاهش ۴۳ و ۲۷ درصد میانگین عملکرد دانه کینوا نسبت به تیمار آبیاری کامل بود. کمترین میانگین مقدار وزن زیست توده نیز در تیمار اعمال تنش کم آبی شدید در مرحله اولیه رشد گیاه (۴۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). در بیشتر مطالعات، حساس ترین مرحله رشد کینوا به تنش کم آبی در مرحله گل دهی گزارش شده است (Mujica and Jacobsen, 1999; Jacobsen, 2014). تافته و همکاران (۱۴۰۰) نیز در منطقه کرج، مرحله میانی رشد کینوا را به عنوان حساس ترین مرحله رشد گیاه به تنش کم آبی 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 کم آبی داشته و اعمال تنش کم آبی متوسط و شدید در هر دو مرحله اولیه و میانی رشد موجب کاهش معنی دار عملکرد کینوا گردید. محمودزاده ورزی نیز دو مرحله اولیه و میانی را به عنوان حساس ترین

مقدار عملکرد دانه کینوا در دو تیمار اعمال تنش کم آبی با شدت زیاد در دو مرحله اولیه (۲۱۱۳ کیلوگرم در هکتار) و میانی (۲۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که به ترتیب مبین کاهش ۴۳ و ۲۷ درصد میانگین عملکرد دانه کینوا نسبت به تیمار آبیاری کامل بود. کمترین میانگین مقدار وزن زیست توده نیز در تیمار اعمال تنش کم آبی شدید در مرحله اولیه رشد گیاه (۴۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). در بیشتر مطالعات، حساس ترین مرحله رشد کینوا به تنش کم آبی در مرحله گل دهی گزارش شده است (Mujica and Jacobsen, 1999; Jacobsen, 2014). تافته و همکاران (۱۴۰۰) نیز در منطقه کرج، مرحله میانی رشد کینوا را به عنوان حساس ترین مرحله رشد گیاه به تنش کم آبی 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 کم آبی داشته و اعمال تنش کم آبی متوسط و شدید در هر دو مرحله اولیه و میانی رشد موجب کاهش معنی دار عملکرد کینوا گردید. محمودزاده ورزی نیز دو مرحله اولیه و میانی را به عنوان حساس ترین

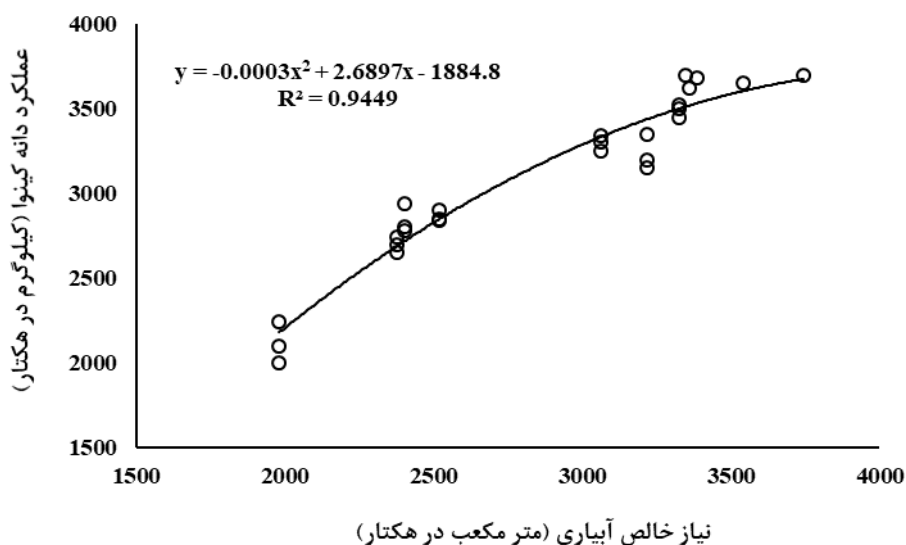
به ۴۱ و ۳۶ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد.

برازش تابع تولید آب- عملکرد دانه کینوا در شکل ۲ ارائه شده است. رابطه (۳)، تابع برازش داده شده در محدوده معینی از آب مصرفی (۱۹۸۰ تا ۳۷۵۰ مترمکعب در هکتار) را نشان می‌دهد ($R^2 =$

$$Y = -1884.8 + 2.6897x - 0.0003x^2; 1800 < x < 4000 \quad (3)$$

در این رابطه، Y: عملکرد دانه کینوا (برحسب کیلوگرم در هکتار) و X: مقدار آب مصرفی (برحسب مترمکعب در هکتار) است. اصولاً توابع تولید آب به عملکرد (یا کارایی مصرف آب)، از سه فاز تشکیل می‌شوند که فاز اول روند صعودی عملکرد در ازاء آب مصرفی را نشان می‌دهد. در فاز دوم یا مرحله پایا، روند صعودی متوقف شده و به ازاء افزایش هر واحد آب مصرفی، عملکرد تقریباً یک مقدار ثابت خواهد بود. در فاز سوم معمولاً به ازاء افزایش میزان آب مصرفی عملکرد کاهش پیدا می‌کند. لذا با توجه به رابطه (۳)، روند افزایش عملکرد دانه به ازاء آب مصرفی تا حد ۳۲۰۰ مترمکعب در هکتار صعودی بوده است. مقدار حداکثر عملکرد دانه در این میزان مصرف آب، ۳۶۵۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. از حدود ۳۲۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار آب مصرفی، مقدار عملکرد تقریباً ثابت و بیشینه بود.

مراحل رشد گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی گزارش نمود (Mahmoudzadeh Varzi, 2016). دلیل حساسیت بالای کینوا به تنش کم‌آبی در مرحله اولیه رشد در اقلیم خوزستان در کشت پاییزه، علاوه بر شوری بالای خاک و سنگین بودن بافت خاک، احتمالاً می‌تواند ناشی از بالا بودن دمای هوا در زمان کاشت، خشک شدن سریع سطح خاک در تیمارهای تنش کم‌آبی و افزایش مقاومت مکانیکی خاک در برابر جوانه‌زنی بذر باشد. هرچند ذکر این نکته حائز اهمیت است که استفاده از روش جوی و پشته، کشت در دوطرف پشته در محل دوغاب و در عمق کم (روش کشت کینوا در این مطالعه)، تا حد زیادی اثرات منفی شوری و بافت سنگین خاک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کینوا را تعدیل می‌کند؛ اما با در نظر گرفتن اینکه در طول مرحله اولیه، گیاه از آب برای جوانه‌زنی استفاده می‌کند بنابراین، کمبود آب موجب کاهش جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه در واحد سطح و در نهایت کاهش عملکرد نهایی گیاه می‌شود (Mahmoudzadeh Varzi, 2016). علاوه بر این، نتایج پژوهش مامدی و همکاران (۱۳۹۴) 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 به ترتیب



شکل ۲- برازش تابع تولید آب مصرفی (نیاز خالص آبیاری) به عملکرد دانه کینوا در تمام تیمارهای مورد مطالعه (شهرستان اهواز، ۱۳۹۸)

وجود معنی‌دار 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 کم‌آبی در دو مرحله از رشد کینوا (مرحله اولیه و مرحله میانی رشد کینوا) می‌تواند موجب کاهش شدیدتر

با توجه به اینکه کینوا دارای هدایت روزه‌ای نسبتاً زیاد است (Hinojosa et al., 2018) و می‌تواند پتانسیل آب برگ و تراکم روزه‌ای را حتی در شرایط تنش آبی در حد بالا حفظ نماید (Issa Ali et al., 2019)، به همین دلیل حتی در شرایط تنش کم‌آبی شدید، با

می‌توان برآورد مناسبی از کاهش عملکرد دانه گیاه داشت و براساس آن، مدیریت مناسب آب در مزرعه را برنامه‌ریزی نمود. در جدول ۶ تابع آب عملکرد دانه کینوا برحسب اعمال تنش کم‌آبی در هر یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه ارائه شده است. نتایج نشان داد که رابطه مقدار آب مصرفی و عملکرد دانه کینوا در دو مرحله رشد اولیه و پایانی به صورت تابع درجه دوم و در دو مرحله توسعه و میانی رشد کینوا به صورت رابطه خطی است.

عملکرد دانه کینوا گردد. بنابراین، در مدیریت کم‌آبیاری برای دستیابی به کارایی مناسب، علاوه بر حجم آب مصرفی باید به مرحله رشد گیاه نیز توجه نمود. نتایج مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان داد که تاثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد گیاه به شدت تنش و مرحله رشد گیاه وابسته است.

با تعیین توابع آب عملکرد در هر یک از مراحل رشد گیاه با فرض وقوع تنش کم‌آبی یا اعمال کم‌آبیاری به دلیل محدودیت منابع آب

جدول ۶- توابع برازش داده شده برای بیان رابطه بین مقدار آب مصرفی و عملکرد دانه کینوا در صورت اعمال تنش کم‌آبی با شدت‌های مختلف در هر یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه (اهواز، ۱۳۹۸)

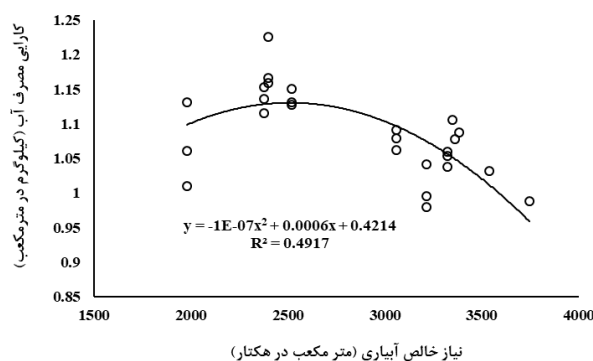
مرحله رشد گیاه	نوع تابع	رابطه ریاضی تابع	ضریب تبیین
مرحله اولیه	تابع درجه دو	$Y = -0.0006x^2 + 4/30.79x - 4.065/4$	۰/۹۸
مرحله توسعه	خطی	$Y = 0.7587x + 968/89$	۰/۹۵
مرحله میانی	خطی	$Y = 0.7589x + 884/53$	۰/۹۰
مرحله پایانی	تابع درجه دو	$Y = -0.0007x^2 + 5/57.06x - 7124/6$	۰/۸۶

صعودی منحنی تا این حدود نیاز خالص آبیاری است. تافته و امداد (۱۴۰۰) نیز، بیشینه کارایی مصرف آب کینوا در منطقه کرج را در نیاز آبی خالص حدود ۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند. از حدود ۲۴۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار نیاز خالص آبیاری، میزان کارایی مصرف تقریباً ثابت و حدود ۱/۱۲ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد (فاز پایانی منحنی). با مصرف بیشتر آب (بیش از ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار)، کارایی مصرف آب نیز کاهش یافت (شکل ۳). باید به این نکته توجه نمود که توابع آب - عملکرد یا کارایی مصرف آب تنها در مقیاس منطقه‌ای معتبر می‌باشند و نمی‌توان از آن‌ها در برنامه‌ریزی-های بزرگ مقیاس برای مدیریت آب در کشاورزی استفاده نمود (Dehghanisanij et al., 2009).

شکل ۳ رابطه بین میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب را به شکل یک تابع تولید (رابطه ۴) نشان می‌دهد. اگرچه شدت همبستگی بین آب مصرفی و کارایی مصرف آب به اندازه آب و عملکرد نبود، اما همبستگی خوب و معنی‌دار بین آن دو برقرار است ($R^2 = 0.49$).

$$Y = 0.4214 + 0.0006x - 0.0000001x^2; 1800 < x < 4000 \quad (4)$$

که در این معادله Y کارایی مصرف آب (برحسب کیلوگرم در مترمکعب) و x میزان نیاز خالص آبیاری (برحسب مترمکعب در هکتار) می‌باشند. در عمل، این معادله در بازه معینی از نیاز خالص آبیاری (بین ۱۸۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) کاربرد دارد. بیشترین کارایی مصرف آب (۱/۲۲ کیلوگرم در مترمکعب) در میزان نیاز خالص آبیاری حدود ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار حاصل شده است و در واقع فاز



شکل ۳- برازش تابع تولید آب مصرفی (نیاز خالص آبیاری) به کارایی مصرف آب در تمام تیمارهای مورد مطالعه (شهرستان اهواز، ۱۳۹۸)

مترمکعب) تا حد زیادی به میانگین کارایی مصرف آب کشاورزی کشور (۱/۲ کیلوگرم در متر مکعب) براساس گزارش عباسی و همکاران (۱۳۹۶) نزدیک است. هرچند در بسیاری از مطالعات، به ویژه

نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط در مراحل خاصی از رشد کینوا و کشت در شرایط خاک شور، محدوده کارایی مصرف آب کینوا در اقلیم استان خوزستان ۱/۲۲- ۰/۹۸ کیلوگرم در

سدیمی نیز ارزیابی شود.

منابع

ابراهیمی پاک، ن.ع. ۱۳۹۳. تعیین ضریب واکنش عملکرد سیب زمینی نسبت به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد در شهرکرد. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۴ (۱۵): ۵۰-۳۹.

ابراهیمی پاک، ن.ع. و تافته، آ. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید محصول- آب مصرفی چغندرقد در قزوین. چغندرقد. ۳۳ (۱): ۶۳-۴۷.

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

تافته، آ. و امداد، م.ر. ۱۴۰۰. تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Kv) در مدیریت های کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۸ (۲): ۱۰۶-۱۰۱.

جمالی، ص.، گلدانی، م. و زین الدین، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRCQ). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶ (۱۳): ۱۶۹۷-۱۶۸۷.

رزاقی، ف.، رزاقی، ف. و بهادری قصردشتکی، م.ر. ۱۳۹۶. اثر کم- آبیاری بر محصول و بهره وری آب کینوا در استان فارس. اولین همایش ملی شورورزی. یزد. ایران.

زندى، س.، سلطانی محمدی، ا.، گلابی، م. و اندرزبان، ب. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر آبیاری با زه آب بر عملکرد کینوا در شرایط آب و هوایی اهواز. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۳ (۳): ۵۲-۴۵.

سپاسخواه، ع.ر.، توکلی، ع.ر. و موسوی، س.ف. ۱۳۸۶. اصول و کاربرد کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۸۸ صفحه.

عباسی، ف.، عباسی، ن. و توکلی، ع.ر. ۱۳۹۶. بهره وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش ها و چشم اندازها. مجله آب و توسعه پایدار. ۴ (۱): ۱۴۴-۱۴۱.

غازان شاهی، ج. ۱۳۹۹. کتاب آنالیز خاک و گیاه. انتشارات آبیژ. ۲۷۲ صفحه.

مامدی، آ.، افشاری، رت.، سپهوند، ن.ع. و اوپسی، م. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر دما بر جوانه زنی بذر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تنش شوری. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶ (۴): ۵۸۹-۵۸۳.

در کشت تابستانه کینوا، مقادیر کارایی مصرف آب کینوا کمتر از یک کیلوگرم در متر مکعب گزارش شده است (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Colak et al., 2021). نتایج نشان می دهد با افزایش مصرف آب در تیمار آبیاری کامل، کارایی مصرف آب کاهش یافت؛ به گونه ای که با مصرف ۳۵ درصد آب بیشتر در تیمار آبیاری کامل (نسبت به مقدار بهینه برابر با ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار) و با وجود ۲۳ درصد افزایش عملکرد دانه کینوا، کارایی مصرف آب به مقدار ۲۴ درصد کاهش یافت (۰/۹۹ کیلوگرم در متر مکعب). نتایج یک پژوهشی گلخانه ای در ایران نیز نشان دهنده افزایش کارایی آب کینوا با اعمال کم آبیاری و کاهش مصرف آب آبیاری بود (Talebnejad and Sepaskhah, 2015). جمالی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی بر روی رقم دیگری از کینوا (رقم NSRCQ) نیز بیشترین کارایی مصرف آب (۲/۱۴ کیلوگرم در مترمکعب) را با اعمال تنش کم آبی در تمام دوره رشد کینوا (کاهش ۵۰ درصد آب مصرفی نسبت به تیمار آبیاری کامل) گزارش نمودند.

نتیجه گیری

در این پژوهش، توابع آب- عملکرد کینوا در سناریوهای مختلف کم آبیاری و اعمال تنش کم آبی با شدت های مختلف در چهار مرحله رشد کینوا بررسی شد. نتایج نشان داد با اعمال تنش کم آبی با شدت کم در هر یک از چهار مرحله مختلف رشد گیاه، با وجود کاهش معنی دار مقدار مصرف آب، عملکرد دانه کینوا کاهش معنی داری نخواهد داشت. حتی در شرایط تنش کم آبی شدید، با وجود معنی دار بودن کاهش عملکرد دانه، مقدار عملکرد دانه مقرون به صرفه است که مبین این حقیقت است کینوا گیاهی مقاوم به خشکی است و حتی در اثر وقوع تنش در مراحل حساس به تنش کم آبی نیز، عملکرد قابل قبولی خواهد داشت. در شرایط این مطالعه در اقلیم استان خوزستان، دوره رشد 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. علاوه بر این، تابع آب- عملکرد دانه کینوا و آب- کارایی مصرف آب به صورت تابع درجه دو برازش داده شد. نتایج این مطالعه نشان داد با وجود اینکه با افزایش مصرف آب تا ۳۲۰۰ مترمکعب در هکتار، عملکرد دانه کینوا افزایش یافت، اما بیشینه کارایی مصرف آب با مصرف ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد، که نشان می دهد کم آبیاری یا اعمال تنش کم آبی در مراحل خاصی از رشد گیاه (مراحل با حساسیت کمتر به تنش کم آبی شامل مرحله توسعه و پایانی رشد گیاه) می تواند موجب افزایش کارایی مصرف آب کینوا گردد. پیشنهاد می شود با توجه به مقاومت بالای این گیاه و توانایی رشد آن در خاک های شور، امکان استقرار و رشد کینوا در خاک هایی با درجات مختلف شور و

- regimes. *Crop Science*. 59: 1927-1944.
- Hopmans, J. W., Qureshi, A. S., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S. R., Rengasamy, P., Ben-Gal, A., Assouline, S., Javaux, M., Minhas, P. S. 2021. Critical Knowledge Gaps and Research Priorities in Global Soil Salinity. *Advances in Agronomy*. 169: 1-191.
- Issa Ali, O., Fghire, R., Anaya, F., Benlhabib, O. and Wahbi, S. 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa willd.*) to drought stress. *Gesunde Pflanz*. 71: 123-133.
- 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.
- Jaramillo Roman, V. 2021. Salt Tolerance Strategies of the Ancient Andean Crop Quinoa; Wageningen University: Wageningen, The Netherlands.
- Mahmoudzadeh Varzi, M. 2016. Crop water production functions—A review of available mathematical method. *Journal of Agricultural Science*. 8(4): 76-83.
- Mujica, A. and Jacobsen, S. E. 1999. Resistencia de la quinua a la sequía y otros factores abióticos adversos, y su mejoramiento. In: S. E. Jacobsen, A. Mujica (eds.), *Fisiología de la Resistencia a Sequía en Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)*. CIP, Lima, Peru, pp. 71-78.
- Munns, R., Day, D.A., Fricke, W., Watt, M., Arsova, B., Barkla, B.J., Bose, J., Byrt, C.S., Chen, Z.-H. and Foster, K.J. 2020. Energy Costs of Salt Tolerance in Crop Plants. *New Phytol*. 225: 1072-1090.
- Payero J. O., Melvin, S. R., Irmak, S. and Tarkalson, D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*. 84(1-2): 101-112.
- Popescu, G. and Gafiteanu, D. 2004. Water efficiency evaluation in some irrigated crops in Moldavia. *Cretari- Agronomic in Moldova*. 23: 2:21-29.
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E. and d'Andria, R. 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.
- Rezzouk, F. Z., Shahid, M. A., Elouafi, I. A., Zhou, B., Araus, J. L. and Serret, M. D. 2020. Agronomic Performance of Irrigated Quinoa in Desert Areas: Comparing Different Approaches for Early Assessment of Salinity Stress. *Agric. Water Manag.* 240: 106-205.
- Talebnejad, R. and Sepaskhah, A. R. 2015. Effect of deficit irrigation and different saline groundwater
- مسکینی ویشکایی، ف.، جعفرنژادی، ع.ر. و دواتگر، ن. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد گندم در یک خاک با بافت متوسط در استان خوزستان. فصلنامه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴ (۲): ۲۲۹-۲۴۱.
- مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. نشریه پژوهش های خاک. ۲۴ (۳): ۲۱۵-۲۰۳.
- مهموم سالکویه، ص.، هزارجریبی، ا.، قربانی نصرآباد، ق. و ذاکری نیا، م. ۱۳۹۷. تعیین تابع تولید و ضریب حساسیت دو رقم پنبه (گلستان و ب ۵۵۷). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۳(۱): ۲۲-۱۳.
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D. and Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy.
- Colak, Y. B., Yazar, A., Alghory, A. and Tekin, S. 2021. Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. *Journal of Agricultural Science*. 1: 1-12.
- Dane, J. H. and Topp, G. C. 2002. *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. SSSA Book Series, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI.
- Dehghanianij, H., Nakhjavani, M. M., Zeggaf Tahiri, A. and Anyoji, H. 2009. Assessment of wheat and maize water productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions. *Irrigation and Drainage*. 58: 105-115.
- Fao: Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Global Map of Salt-Affected Soils*. 2021. Available online: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/> (accessed on 3 January 2022).
- Gamez, A. L., Soba, D., Zammarreno, A. M., Garcia-Mina, J. M., Aranjuelo, I. and Morales, F. 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of illpa and rainbow Quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) cultivars. *Plants*. 8: 173-188.
- Gee, G. W. and Or, D. 2002. Particle-size analysis. In J.H. Dane and G.C. Topp (eds.), *Methods of Soil Analysis- Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison. pp. 255- 293.
- Hinojosa, L., González, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F. and Murphy, K. 2018. Quinoa abiotic stress responses: a review. *Plants*. 7: 106-119.
- Hinojosa, L., Kumar, N., Gill, K. S. and Murphy, K. M. 2019. Spectral reflectance indices and physiological parameters in quinoa under contrasting irrigation

59 (2): 97-111.

Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. *Agricultural Water Management*. 38: 195-211.

depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management*. 159: 225-238.

Tolk, J. A. and Howell, T. A. 2003. Water use efficiencies of grain sorghum in three USA southern Great Plains soils. *Agricultural Water Management*.

Investigating the Effect of Periodic Water Deficit Stress on Quinoa Plant Yield and Determining the Quinoa Water-Yield Function in a Saline Soil (Case Study -Khuzestan Province)

F. Meskini-Vishkaee^{1*}, A. Tafteh², A. R. Jafarnejadi³, M. Goosheh¹

Recived: Aug.09, 2021

Accepted: Oct.23, 2022

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the quinoa water-yield function by applying water deficit stress in different growth stages. 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 at four different stages of plant growth. The functions of water - quinoa seed yield and water use efficiency were fitted as a quadratic function. The trend of yield increase per water consumption up to 3200 m³ ha⁻¹ was upward. From 3200 to 4000 m³ ha⁻¹ of water consumption, the yield was almost constant and maximum (3650 kg ha⁻¹). The most water use efficiency (1.22 kg m⁻³) was achieved with water consumption of about 2400 m³ ha⁻¹. From 2400 to 3000 m³ ha⁻¹ of water consumption, the water use efficiency was 1.12 kg m⁻³. Therefore, more water consumption decreased the water use efficiency. Although water scarcity stress increased the water use efficiency in quinoa cultivation, in order to achieve proper efficiency in deficit irrigation management, in addition to the amount of water consumption, the plant growth stage should also be considered. In the climatic conditions of Khuzestan province, initial and middle stages were the most sensitive growth stages of quinoa to water deficit stress.

Keywords: Deficit irrigation, Drought stress, Sustainable agriculture

1- Assistant professor, 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- Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Associate Professor, Department of Soil and Water Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Fatemeh.meskini@yahoo.com)