نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هشتم/ شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۳/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۹۵ تا ۱۱۲

بررسی کاربرد آبیاری با زه‌آب کشاورزی در سطوح مختلف شوری و کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (مطالعه موردی در شرایط آب‌وهوایی اهواز)

سعید زندی، سعید برومند نسب* و منا گلابی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۳)

چکیده

کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی است که در برابر شوری تحمل زیادی دارد. استفاده مجدد از زه‌آب کشاورزی یک روش طبیعی و مهم در مدیریت زه‌آب است که موجب افزایش درآمد کشاورزان، تولید پایدار و امنیت غذایی خواهد شد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی آبیاری با زه‌آب کشاورزی و تنش شوری و کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (رقم تیتیکا) تحت سطوح شوری ۲، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و سطوح آبیاری کامل، آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه با سه تکرار و در قالب کرت‌های خردشده و با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز در دو فصل پاییز و بهار در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از هر آبیاری و افزایش رطوبت به مقدار ظرفیت زراعی به روش وزنی انجام شد. تیمارهای آزمایشی پس از جوانه‌زنی بذرها و از ابتدای کشت اعمال شد. پس از رسیدن فیزیولوژیکی گیاه عملیات برداشت به‌صورت بریدن بوته از سطح خاک انجام شد و نمونه‌ها به‌منظور خشک‌کردن تعیین اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شد.

نتایج نشان داد که تنش شوری در مقایسه با تنش کم‌آبی (در سطح احتمال یک درصد) میزان تأثیر بیشتری روی کاهش عملکرد و اجزای عملکرد کینوا داشته است. همچنین بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب در فصل پاییز ۵/۴۵ و ۱/۸ و در فصل بهار ۳/۸۷ و ۰/۷۳ تن در هکتار به‌طور مشابه در تیمارهای S1I1 و S4I3 به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، تنش کم‌آبی، شاخص برداشت، شوروزی

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: boroomand@scu.ac.ir

مقدمه

علاوه بر افزایش جمعیت جهان، عوامل متعدد دیگری ازجمله فرسایش خاک‌های زراعی، تغییرات جهانی آب‌وهوا و تنش‌های محیطی باعث بروز نگرانی‌های جدی در مورد تولید گیاهان زراعی شده است (۱). محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب شده تا امروزه نگاه‌ها به‌سوی استفاده از منابع آب‌شور معطوف شود (۱۲). خشکی و شوری دو عامل اساسی در کاهش عملکرد و رشد گیاهان هستند. مهم‌ترین اثری که افزایش شوری آب آبیاری بر بهره‌وری گیاه می‌گذارد، کاهش توانایی جذب آب موجود در خاک است (۲۹). همچنین نیاز به مواد غذایی سبب شده سطح زیر کشت افزایش یافته و منابع آب شیرین سطحی و زیرزمینی بیش‌ازحد مصرف شده و در حالت بحرانی قرار گیرند (۱۴).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های اساسی کشاورزی در سراسر جهان، کاهش عملکرد گیاهان به‌دلیل شوری آب‌وخاک است (۲). استفاده مجدد از زه‌آب یک روش مهم و طبیعی در مدیریت زه‌آب است که سبب توسعه و حصول بیشترین فایده برای یک منبع آب و کمک به دفع مناسب و صحیح آب زهکش‌ها می‌شود (۳۲). باتوجه‌به کمبود منابع آب در کشور، شناخت روش‌های مدیریتی و زراعی اصلاحی که بتوان از آب‌هایی باکیفیت کمتر استفاده کرد، ضرورت می‌یابد (۶).

یک راهکار عملی برای افزایش عملکرد گیاه به‌منظور تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد جهان، استفاده از گیاهان مقاوم به شوری است (۲۴). کینوا گیاهی است که در شرایط بسیار سخت محیطی کشت می‌شود (۱۰) و به تنش‌های خشکی (۳۰)، سرما و گرما (۵ و ۱۵) و شوری خاک (۱۶) متحمل بوده است. گیاه کینوا یک گیاه شورپسند با تنوع زیاد در بین ژنوتیپ‌های مختلف است (۷) و در بیشتر خاک‌ها از شنی تا رسی با اسیدیته ۴/۵ تا ۹ (۱۰) و شوری بیش از ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند رشد کند (۲۴ و ۱۱).

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که پژوهش‌های محدودی در زمینهٔ استفاده مجدد از زه‌آب کشاورزی به‌عنوان یک منبع آب نامتعارف و شور انجام شده است. بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده مربوط به آبیاری (آب‌شور) با نمک‌های کلسیم کلرید و سدیم کلرید است.

پژوهشی در یزد به‌منظور تعیین اثر سطوح مختلف رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکا) توسط بیرامی و همکاران انجام شد (۴). در این پژوهش کینوا در دو فصل بهار و پاییز ۱۳۹۸ درون لایسیمتر کشت شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری پس از تخلیه ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ کل آب قابل‌دسترس بود. نتایج نشان داد با افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل‌دسترس، میزان عملکرد دانه و زیست‌توده در کشت بهار به میزان ۳۷ و ۲۴ درصد و در کشت پاییز به میزان ۴۷ و ۳۴ درصد کاهش یافت؛ اما اثر افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۲ به ۰/۴ و از ۰/۴ به ۰/۶ معنی‌دار نبود.

در پژوهشی با هدف بررسی تابع آب – عملکرد، تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد کینوا (رقم تیتیکا) توسط مسکینی ویشکایی و همکاران اعمال شد (۱۹). طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار انجام شد. تنش کم‌آبی با شدت متوسط و زیاد (۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی)، کاهش معنی‌داری در میزان عملکرد دانه و زیست‌توده داشت؛ درصورتی‌که اعمال تنش کم‌آبی با شدت کم (۳۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی) در هیچ‌یک از مراحل چهارگانه رشد تأثیر معنی‌داری بر صفات یادشده نداشت.

آزمایشی در منطقه جنوب مراکش به‌منظور بررسی واکنش گیاه کینوا (ICBA Q5) به شوری و کود فسفر انجام شد. بوراس و همکاران این آزمایش را در سه سطح شوری شامل (۵، ۱۲ و ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح کود فسفر (صفر، ۶۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار) در قالب طرح کرت‌های خردشده انجام دادند (۶). نتایج نشان داد وزن بیوماس، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گیاه به‌طور معناداری تحت تأثیر شوری کاهش پیدا کرد. همچنین استفاده از کود فسفر در شرایط اعمال شوری، اثر شوری را کاهش و موجب افزایش عملکرد گیاه شد.

پیغان و همکاران عملکرد گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) را تحت تنش شوری و کم‌آبیاری در دانشگاه شهید چمران اهواز مطالعه کردند (۲۲). تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری مختلف (آب رودخانه کارون به‌عنوان تیمار شاهد، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) و سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) بود و آزمایش در قالب طرح آماری کرت‌های خردشده انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری و کم‌آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا اثر منفی دارد. بااین‌حال گیاه در بیشترین سطح شوری (۲۰ دسی زیمنس بر متر) و با آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبیاری قادر به رشد و تولید محصول بود.

طالب‌نژاد و سپاس‌خواه در مطالعه‌ای اثر عمق‌های متفاوت آب زیرزمینی شور و شوری آب آبیاری را بر عملکرد و بهره‌وری کینوا (رقم تیتیکاکا) در لایسیمتر بررسی کردند (۲۷). عمق‌های آب زیرزمینی شامل ۰/۳، ۰/۵۵ و ۰/۸ متر با شوری معادل آب آبیاری و شوری آب آبیاری شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری کاهش معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) در عملکرد دانه، ماده خشک ساقه، شاخص برداشت، وزن هزاردانه و ارتفاع گیاه داشته است.

رزاقی و همکاران اثر سطوح مختلف شوری و خشکی خاک را بر عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا) در لایسیمتر در پنج سطح شوری (۳۰، ۲۰، ۱۰، ۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) مطالعه کردند (۲۴). سطوح شوری بین ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور چشمگیری عملکرد دانه را کاهش داد. همچنین شوری و خشکی بهره‌وری آب ماده خشک را افزایش داد.

لانگ با هدف ارزیابی ویژگی‌های رشد و عملکرد کینوا تحت تنش شوری، آزمایشی را در دانشگاه ملی کشاورزی ویتنام انجام داد (۱۸). دو رقم کینوا (Green و Red) و چهار غلظت NaCl (شاهد، ۴/۵، ۱۳/۷ و ۲۷/۴ دسی‌زیمنس بر متر) در قالب آزمایش فاکتوریل با سه تکرار قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شوری ارتفاع گیاه، تعداد برگ در ساقه اصلی، طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک ساقه و وزن هزاردانه را کاهش داد.

جکوبسون و همکاران در پژوهشی اثر شوری بر عملکرد دانه در دو رقم گیاه کینوا را مطالعه کردند (۱۵). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد، بین ارقام موردبررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و ارقام گیاه کینوا نیز تفاوت معنی‌داری داشت.

باتوجه‌به دوره رشد کوتاه‌مدت (تقریباً ۱۱۵ روز) رقم Titicaca نسبت به دیگر ارقام دیررس کینوا (با دوره رشد ۲۱۰ روز)، این رقم برای کشت در دو فصل پیاپی پاییز و بهار انتخاب شد. گفتنی است کشت بهاره گیاه کینوا در اهواز تاکنون دیده نشده است. در مناطق گرم و خشک مانند استان خوزستان زهکشی امری اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین باتوجه‌به کاهش کمیت و کیفیت آب منطقه و اهمیت کشت گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه شورپسند، ارائه راهکارهایی که بتواند موجب استفاده مجدد از زه‌آب‌های موجود در استان خوزستان به‌عنوان منبع آب نامتعارف و کاهش خسارات ناشی از آن شود، هدف انجام این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۴۰۱ انجام شد که از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۶۸ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. جدول ۱ داده‌های هواشناسی در طول فصل کشت را نشان می‌دهد. کشت پاییزه گیاه از آبان ماه ۱۴۰۱ آغاز و در اوایل اسفندماه ۱۴۰۱ به پایان رسید. بعد از برداشت اول، کشت بهاره از اواخر اسفند ۱۴۰۱ آغاز و اوایل تیرماه ۱۴۰۲ برداشت انجام شد. در این پژوهش از رقم Titicaca کینوا استفاده شد.

برای آماده‌سازی زمین قبل از کشت، زمین محل آزمایش با استفاده از گاوآهن برگردان دار شخم زده شد. سپس عملیات دیسک زدن برای خرد کردن کلوخه‌ها و آماده‌سازی بستر بذر انجام شد. در مرحله بعد کرت‌بندی انجام شد. طول و عرض

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی در طول دوره کشت پاییز و بهار

پارامتر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۹۵	۲/۶۸	۲/۹۷	۳/۵۸	۳/۵۴	۳/۷۲	۴/۱۸	۴/۹۱	۴/۴۰
متوسط دمای بیشینه (^{O}C)	۳۱/۴	۲۵/۷۷	۱۶/۶۴	۱۸/۱۸	۲۷/۸۵	۳۰/۲۱	۳۹/۰۸	۴۴/۶۳	۴۷/۱۷
متوسط دمای کمینه (^{O}C)	۱۷/۴۷	۱۳/۴۹	۹/۱۶	۸/۳۷	۱۳/۴۲	۱۵/۷۴	۲۱/۸۸	۲۹/۰۳	۲۹/۳۶
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۵۶/۸۹	۵۸/۷۹	۸۶/۷۰	۶۹/۷۸	۵۸/۲۹	۴۸/۹۱	۲۵/۱۶	۱۹/۳۱	۱۵/۵۴
تبخیر از تشت (میلی‌متر)	۳/۰۲	۲/۲۷	۱/۱۴	۱/۹۲	۳/۲۹	۵/۱۵	۸/۷۷	۱۲/۶۵	۱۳/۱۵
مجموع بارش (میلی‌متر)	۱۲/۵۳	۱۵/۵۶	۱۱۱/۲۳	۳۱/۲۳	۴۰/۰۱	۳۲/۰۲	۲/۸۱	۰	۰

کرت‌ها برابر ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. روش کاشت به‌صورت دستی و بر روی ردیف‌های کاشت درون هر کرت انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها، ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی هر ردیف، ۲۰ سانتی‌متر و مقدار بذر بر اساس تراکم ۲۰۰۰۰۰ بوته در هکتار استفاده شد (۲۳ و ۸). به‌منظور یکسان‌بودن شرایط اولیه خاک پس از برداشت گیاه در فصل پاییز، کشت بهاره در کرت‌های آزمایشی جدید در امتداد کرت‌های قبلی انجام شد. گفتنی است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دو فصل کشت یکسان بود. تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها قبل از کشت و در جدول ۲ ارائه شده است.

در پژوهش حاضر از زه‌آب رقیق‌شده که از شبکه‌های آبیاری و زهکشی تحت پوشش شبکه بهره‌برداری زهره و جراحی تهیه‌شده بود، استفاده شد. بعد از تهیه آب آبیاری از زه‌آب رقیق‌شده، تجزیهٔ کیفی آب نیز صورت گرفت. قبل از شروع آزمایش و کشت، برخی از خصوصیات کیفی تیمارهای مختلف آب آبیاری اندازه‌گیری شد که در جدول ۳ ارائه شده است.

به‌منظور دستیابی به اهداف یادشده، این پژوهش روی گیاه کینوا در چهار سطح شوری شامل آب رودخانه کارون (S1 به‌عنوان تیمار شاهد) و زه‌آب با شوری ۱۰ (S2)، ۱۵ (S3) و ۲۰ (S4) دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح کم‌آبی شامل ۱۰۰ (I1)، ۸۰ (I2) و ۶۰ (I3) درصد نیاز آبی به‌عنوان فاکتور فرعی در سه تکرار (R1 تکرار اول، R2 تکرار دوم و R3 تکرار سوم) در قالب کرت‌های خردشده و با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای شوری و آبیاری از همان ابتدای کشت در هر دو فصل اعمال شد.

برای اجرای طرح، تیمارها به‌صورت کاملاً تصادفی در واحدهای آزمایشی قرار گرفتند که این تیماربندی با استفاده از جدول اعداد تصادفی انجام شد. شکل ۱ نمای طرح آماری این پژوهش را نشان می‌دهد.

عمق آب آبیاری بر اساس جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی در محدوده عمق توسعه ریشه گیاه با استفاده از معادله (۱) تعیین شد. بدین منظور قبل از هر نوبت آبیاری، رطوبت خاک به روش وزنی در منطقه توسعه ریشه گیاه اندازه‌گیری شد. چهار کرت با خصوصیات تیمار شاهد (شوری آب کارون و نیاز آبی ۱۰۰ درصد) در کنار دیگر کرت‌ها به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک در نظر گرفته شد.

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i).\rho_b.D \qquad (۱)$$

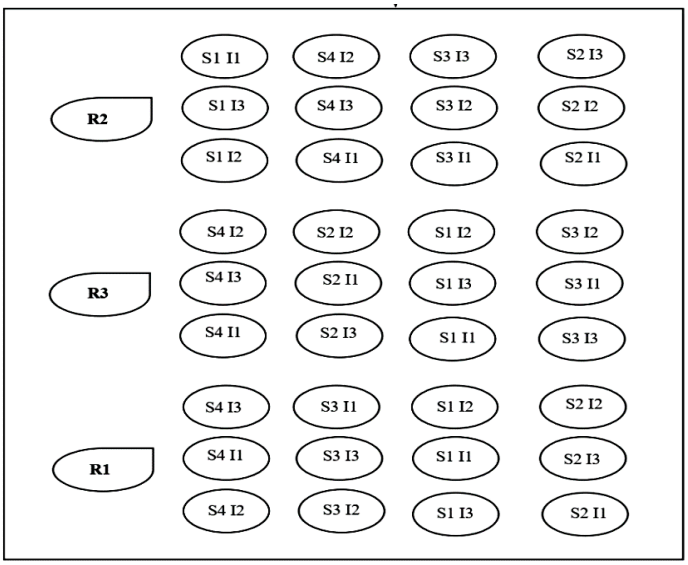
در این معادله θ_i رطوبت جرمی خاک قبل از آبیاری، θ_{fc} رطوبت جرمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک ($g/cm3$) و D عمق ریشه (mm) است. مقدار آب مصرفی گیاه در تیمار شاهد در فصل پاییز و بهار به‌ترتیب ۲۵۵ و ۶۲۵ میلی‌متر و مقدار مجموع بارندگی برای هر دو فصل کشت به‌ترتیب ۱۷۰ و ۳۴ میلی‌متر بود. باتوجه‌به مقدار آب برآوردشده برای هر تیمار

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق (cm)	جرم مخصوص (gr/cm3)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	FC درصد حجمی	PWP درصد حجمی	بافت خاک	درصد اندازه ذرات خاک		
							شن	سیلت	رس
۰-۳۰	۱/۵۴	۴/۳۴	۷/۴۸	۳۰/۸	۱۵/۳	لومی-رسی	۳۱	۳۲	۳۷
۳۰-۶۰	۱/۵۲	۵/۳	۷/۲۷	۳۱	۱۵/۶	لومی-رسی	۳۰	۳۴	۳۶

جدول ۳. مقادیر متوسط خصوصیات کیفی آب آبیاری در تیمارهای مختلف

تیمار	CL^-	HCO^{3-}	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	pH	SAR	EC (dS/m)	SAR	کلاس کیفی آب
	meq/l										
S1	۹/۰۲	۲/۲۰	۰/۱۵	۳/۶۵	۴/۵	۷	۷/۸۰	۱/۵۲	۲	۱/۵۲	C3-S1
S2	۲۱۴/۳۲	۲/۷۸	۰/۴۰	۴۲/۱۷	۱۱	۱۱/۲۰	۷/۴۰	۱۲/۶۶	۱۰	۱۲/۶۶	C4-S2
S3	۲۱۱/۵۰	۲/۶۴	۰/۴۸	۷۸/۲۶	۱۱/۴۰	۱۰/۶۰	۷/۴۰	۲۳/۶۰	۱۵	۲۳/۶۰	C4-S3
S4	۲۱۱/۵۰	۲/۵۴	۰/۶۳	۱۲۴/۳۵	۱۱	۱۰/۸۰	۷/۵۰	۳۷/۶۶	۲۰	۳۷/۶۶	C4-S4



شکل ۱. نمایی از طرح آماری پژوهش

در هر مرحله از آبیاری، اختلاط آب با استفاده از معادله (۲) و باتوجه‌به EC زه‌آب مورداستفاده و EC آب شاهد، شوری‌های مد نظر (۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) تهیه می‌شد.

$$EC_{adj} = \frac{(V_1 * EC_1) + (V_2 * EC_2)}{V_1 + V_2} \qquad (۲)$$

که در آن V_1 و V_2 به‌ترتیب حجم آب شاهد (آب کارون) و حجم زه آب، EC_1 و EC_2 به‌ترتیب شوری آب شاهد و شوری زه آب و EC_{adj} شوری تعادلی است. پس از تعیین عمق آبیاری باتوجه‌به ابعاد کرت‌ها، حجم آب مورد نیاز آبیاری برای هر تیمار تعیین و سپس به‌وسیله کنتور حجمی، آبیاری گیاه به‌صورت سطحی انجام شد.

طی فصل کشت وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. همچنین برای مبارزه با آفات از سم دیازینون با غلظت دو در هزار استفاده شد. برای کشت اول در تاریخ دوم

و سوم اسفند ۱۴۰۱ و کشت دوم در تاریخ چهارم و پنجم تیر ۱۴۰۲ پس از رسیدن فیزیولوژیکی گیاه، عملیات برداشت به‌صورت بریدن بوته از سطح خاک انجام شد و نمونه‌ها به‌منظور خشک‌کردن و توزین به آزمایشگاه منتقل شد. ارتفاع گیاه قبل از برداشت اندازه‌گیری شد. سنبله‌ها از شاخه جدا و پس از کوبیدن به‌منظور جداسازی کاه از دانه از الک شماره ۱۰ عبور داده شد. دانه‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت برای تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و وزن هزاردانه خشک شد. صفات بررسی‌شده در این پژوهش شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت (تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیکی)، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه است. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا و همچنین برازش داده‌ها و رسم منحنی‌ها از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی اثر آبیاری با زه‌آب بر عملکرد گیاه کینوا در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. آنالیز واریانس در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد (جدول ۴ و ۵) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

بررسی نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد، در هر دو فصل کشت اثر تنش شوری بر روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. اثر تنش کم‌آبی روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد و روی شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد دارای اثر معنی‌دار است.

همچنین اثر متقابل تنش شوری و کم‌آبی برای کشت پاییز کینوا در سطح احتمال یک درصد روی عملکرد بیولوژیکی و روی شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است و اثر متقابل تنش شوری و کم‌آبی روی عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه معنی‌دار نیست. درصورتی‌که در فصل بهار اثر متقابل تنش شوری علاوه بر عملکرد بیولوژیکی بر ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ایجاد کرد، بررسی دقیق هر یک از این موارد در ادامه صورت می‌گیرد.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه در تیمارهای شوری مختلف، در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در فصل پاییز با افزایش شوری عملکرد دانه کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که بیشترین مقدار آن ۴/۹۴ تن در هکتار در تیمار شاهد (شوری برابر دو دسی‌زیمنس بر متر) و کمترین مقدار آن در تیمار S4 برابر ۲/۶ تن در هکتار و در تیمارهای S2 و S3 به‌ترتیب برابر ۴/۰۴ و ۳ تن در هکتار است. کاهش عملکرد برای تیمارهای S2، S3 و S4 نسبت تیمار شاهد به‌ترتیب برابر ۱۸/۲۶، ۳۹/۲۱ و ۴۷/۳۸ درصد است و بیانگر این است که میزان کاهش عملکرد به‌ازای هر واحد افزایش شوری (از شوری دو دسی‌زیمنس بر متر تا شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) معادل ۲/۶۳ درصد است. همچنین در فصل بهار بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه به‌ترتیب برابر ۳/۲۹ و ۰/۹۸ تن در هکتار برای تیمارهای S1 و S4 به‌دست آمد. کاهش عملکرد دانه در فصل بهار به‌ازای هر واحد افزایش شوری ۳/۸۸ درصد دیده شد.

در پژوهش رزاقی و همکاران بیشترین مقدار عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا)، ۲/۳ تن در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۱/۵ تن در هکتار و میزان کاهش عملکرد دانه ۳۴/۷۸ درصد گزارش شده است (۲۴). همچنین نتایج پژوهش کویرو و عیسی نشان داد که شوری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه کینوا (رقم *Hualhuas*) داشت (۱۷). تنش شوری باعث افزایش فشار اسمزی، اختلال در جذب آب توسط ریشه، کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش مواد فتوسنتزی و درنتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا در کشت پاییز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	ارتفاع گیاه	وزن هزاردانه	بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۳۶	۰/۰۸	۵۱/۱۴	۱۴۳/۳۰	۰/۰۹	۰/۰۷
تنش شوری (S)	۳	۱۰/۰۲**	۲۴۹/۹۲**	۷۴/۶۳ns	۲۲۲۶/۱۰**	۱/۹۸**	۲/۰۶**
خطای (S)	۶	۰/۴۱	۰/۵۳	۳۹/۲۱	۱۶۴/۶۹	۰/۱۰	۰/۰۷
تنش کم‌آبی (I)	۲	۴/۶۸**	۴۷/۱۰**	۱۰۹/۱۷*	۹۷۳/۰۱**	۰/۵۱**	۰/۰۵ ns
S*I	۶	۰/۱۰ns	۶/۷۱**	۱۲۰/۷۴*	۱۱۰/۱۰ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۷ ns
خطای S*I	۱۶	۰/۱۵	۰/۴۴	۲۹/۶۷	۶۱/۱۳	۰/۰۳	۰/۴۶

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار

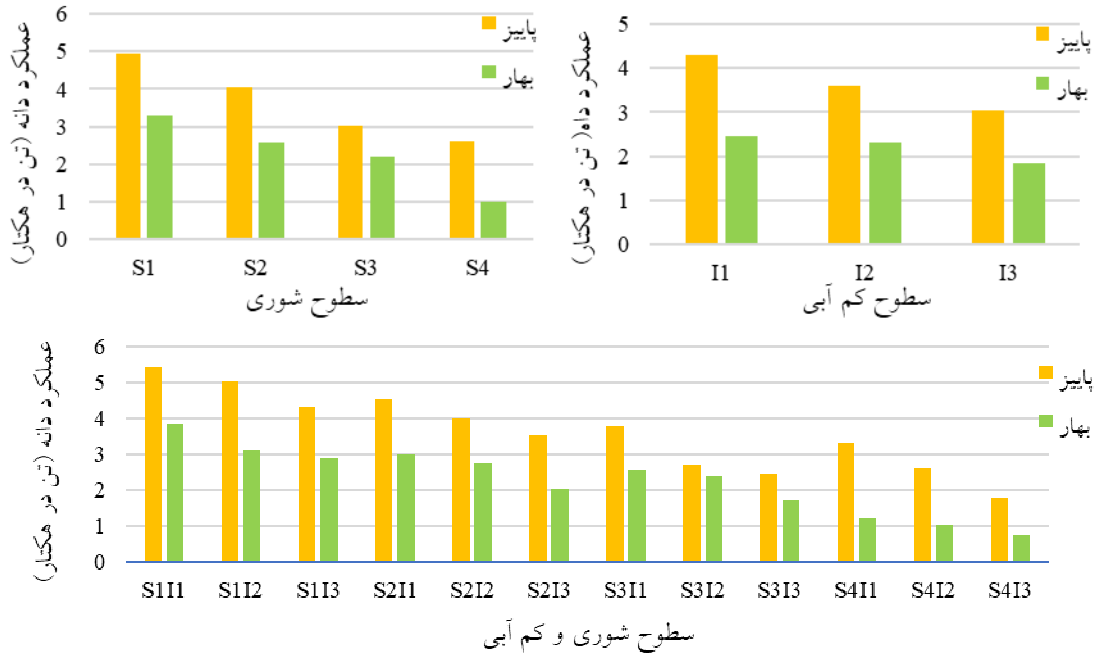
جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا در کشت بهار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	ارتفاع گیاه	وزن هزاردانه	بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۱۱	۰/۲۷	۵/۸۵	۱/۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
تنش شوری (S)	۳	۸/۳۹**	۵۹/۸۹**	۵/۱۶ns	۲۴۹۳**	۲/۷۳**	۰/۳۲**
خطای (S)	۶	۰/۱۱	۰/۱۴	۱۱/۶۹	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
تنش کم‌آبی (I)	۲	۱/۹۷**	۲۳/۵۸**	۶۸/۰۲*	۴۴۸**	۰/۲۲**	۰/۰۰۲ns
S*I	۶	۰/۱۱ns	۱/۰۱**	۴۱/۶۹ns	۱۷/۷۷**	۰/۰۵**	۰/۰۰۴ns
خطای S*I	۱۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۱۷/۴۸	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار

مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه در تیمارهای کم‌آبی در شکل ۲ نشان می‌دهد، بیشترین مقدار عملکرد دانه در فصل پاییز در تیمار I1 برابر ۴/۲۹ تن در هکتار است و پس از آن عملکرد دانه در تیمارهای I2 و I3 به‌ترتیب با مقادیر عملکرد برابر ۳/۶۱ و ۳/۰۴ تن در هکتار کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش ۱۵/۸ درصد برای تیمار I2 و ۲۹/۰۹ درصد برای تیمار I3 نسبت به تیمار شاهد است. بر اساس نمودار شکل ۲، بیشترین مقدار عملکرد در فصل بهار در تیمار I1 برابر ۲/۶۴ و کمترین مقدار آن ۱/۸۴ تن در هکتار در تیمار I3 دیده شد و کاهش ۳۰ درصد عملکرد دانه در اثر افزایش تنش کم‌آبی را بیان می‌کند.

تنش خشکی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر فتوسنتز تأثیر گذاشته و درنهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود. همچنین تنش خشکی از طریق کاهش اندازه یا توقف رشد برگ، سطح فتوسنتزکننده گیاه را کاهش داده و از این طریق باعث کاهش رشد و درنهایت عملکرد رویشی گیاه می‌شود. مسکینی ویشکایی و همکاران بیان کردند با اعمال تنش کم‌آبی از شدت کم (۳۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی)، شدت متوسط (۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی) و شدت زیاد (۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی)، مقدار عملکرد دانه کینوا (رقم تیتیکاکا) کاهش پیدا کرده است (۱۹)؛ به‌طوری که بیشترین میزان آن در آبیاری کامل



شکل ۲. تغییرات عملکرد دانه در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

برابر ۳/۷ تن در هکتار و کمترین میزان آن برابر ۲/۱۱ تن در هکتار گزارش شد. تیلاهیجو و همکاران نیز گزارش کردند با افزایش تنش آبی در تیمارهای آبیاری کامل، آبیاری با ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه روی پنج رقم کینوا (KVL-SRA-2، KVL-SRA-3، Regalona، Q-37 و Q-52)، در هر رقم با افزایش تنش آبی عملکرد محصول کاهش پیدا کرده است (۲۸).

بر اساس جدول ۴ و جدول ۵، اثر متقابل تنش‌های شوری و کم‌آبی بر عملکرد دانه کینوا به‌طور مشابه در فصل پاییز و فصل بهار معنی‌دار نبود. در بررسی تیمارهای شوری و کم‌آبی با یکدیگر در نمودار شکل ۲، دیده می‌شود که تیمار S1I1 با ۵/۴۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه و تیمار S4I3 در بیشترین سطح شوری آب آبیاری و کمترین سطح آبیاری، با ۱/۸ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را در فصل پاییز داشتند. بررسی نمودار اثر متقابل تنش شوری و کم‌آبی در فصل بهار نشان می‌دهد، تیمار S1I1 و تیمار S4I3 با مقادیر ۳/۸۷ و ۰/۷۳ به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه هستند.

پیغان و همکاران در بررسی اثر توأم تنش شوری و تنش کم‌آبی، بیشترین مقدار عملکرد دانه کینوا (رقم تیتیکاکا) را در تیمار با آبیاری کامل و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر برابر ۶/۷۹ تن در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری ۵۰ در نیاز آبی گیاه و شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۰/۸۶ تن در هکتار گزارش کردند (۲۲).

عملکرد بیولوژیکی

با توجه شکل ۳ دیده می‌شود که عملکرد بیولوژیکی با افزایش شوری (از دو دسی‌زیمنس بر متر تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش می‌یابد. عملکرد بیولوژیکی در فصل پاییز از مقدار ۱۲/۱۷ تن در هکتار در تیمار شوری S1 به مقدار ۵/۷۱ تن در هکتار در تیمار شوری S4 رسیده و این کاهش حدود ۵۳/۰۸ درصد است. میزان کاهش عملکرد بیولوژیکی به‌ازای هر واحد افزایش شوری حدود ۲/۹۴ درصد به‌دست آمد. کاهش عملکرد بیولوژیکی در شوری‌های S2 و S3 نسبت به شوری S1 به‌ترتیب ۱۷/۴۱ و ۴۶/۸۳ درصد محاسبه شد. در فصل بهار بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیکی ۹/۱۵ در تیمار S1 و کمترین مقدار آن ۲/۹۷ تن در هکتار به‌دست آمد باتوجه‌به نتایج، مقدار

شکل ۳. تغییرات عملکرد بیولوژیکی در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

کاهش عملکرد بیولوژیکی به‌ازای هر واحد افزایش شوری در فصل بهار ۳/۷۵ درصد است. افزایش دما در کشت بهاره و به تبع آن افزایش تبخیر از سطح خاک و تجمع نمک در خاک سبب کاهش سهم گیاه از مقدار آب آبیاری شد. این عوامل اثر تنش‌هاش شوری و کم‌آبی بر عملکرد بیولوژیکی گیاه را تشدید کرد؛ بنابراین میزان کاهش عملکرد بیولوژیکی در فصل بهار نسبت به فصل پاییز بیشتر بود.

نتایج نشان می‌دهد که تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار در میزان عملکرد بیولوژیکی گیاه کینوا شده است؛ زیرا در شرایط تنش شوری وزن خشک اندام هوایی هم از طریق کاهش میزان رشد رویشی و هم از طریق کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش رشد رویشی و وزن خشک به‌دلیل کاهش آماس سلول‌ها در شرایط تنش شوری و متأثر از فرایندهای اسمزی است (۲۱). از علل دیگر کاهش رشد عملکرد گیاه در اثر شوری، افزایش مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجم است که در محیط به مقدار فراوان وجود دارند. درنتیجه مصرف مقدار زیادی از انرژی سلولی برای سازش و مقابله با تنش شوری است و درنهایت رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (۱۳). نتایج پژوهش لانگ نشان داد که تنش شوری موجب کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه کینوا (Green و Red) شده است (۱۸). طالب‌نژاد و همکاران بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) را به‌ترتیب مقدار ۷/۹۳ و ۷/۳۸ تن در هکتار در سطوح شوری ۱۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند (۲۷).

تنش کم‌آبی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیکی کینوا شد. بیشترین عملکرد بیولوژیکی کینوا در تیمارهای مختلف آبیاری، تحت آبیاری کامل دیده شد که معادل ۱۰/۲۱ تن در هکتار بود. با کاهش سطح آبیاری به ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب با ۹/۸ و ۳۷/۴۲ درصد کاهش، به ۹/۲۱ و ۶/۳۹ تن در هکتار کاهش یافت. همچنین به‌طور مشابه بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیکی در فصل بهار تحت آبیاری کامل با مقدار ۷/۶۷ تن در هکتار و پس از آن به‌ترتیب ۶/۵۶ و ۴/۸۹ تن در هکتار برای تیمارهای I2 و I3 دیده شد. در پژوهش مسکینی ویشکایی و همکاران کمترین میزان عملکرد بیولوژیکی گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در تنش آبی با شدت زیاد (۷۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی)، برابر ۴/۹ تن در هکتار به‌دست آمد (۱۹).

با مقایسه تیمارهای شوری و کم‌آبی دیده می‌شود که تنش شوری نسبت به تنش آبی اثر بیشتری در کاهش عملکرد بیولوژیکی داشته است. در فصل پاییز و بهار اعمال تنش آبی در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش ۳۷/۴۲ و ۳۶/۲ درصدی عملکرد بیولوژیکی کینوا در مقایسه با تیمار شاهد شد؛ اما آبیاری با شوری ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، سبب کاهش ۵۳/۰۸ و ۶۷/۵۴ درصدی شد.

تأثیر توأم تنش‌های شوری و خشکی روی میانگین‌های عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بوده و در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. در هر سطح شوری با کاهش یافتن مقدار آب آبیاری موردنیاز گیاه، عملکرد بیولوژیکی آن کاهش یافته است؛ به‌طوری که در فصل پاییز بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیکی در تیمار S1I2 برابر ۱۴/۴۳ تن در هکتار بود، اما تیمار S4I3 با ۷۰ درصد کاهش نسبت به تیمار S1I2، عملکرد بیولوژیکی برابر ۴/۲ تن در هکتار داشت که در مقایسه با دیگر تیمارها، کمترین بود. همچنین بیشترین و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیکی با مقادیر ۱۰/۱۴ و ۱/۹۵ به‌ترتیب برای تیمارهای S1I1 و S4I3 در فصل بهار دیده شد. در پژوهش پیغان و همکاران اثر متقابل تنش شوری و کم‌آبی بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار نبود؛ اما در هر سطح شوری با افزایش تنش کم‌آبی مقدار عملکرد بیولوژیکی کاهش پیدا کرد (۲۲).

شاخص برداشت

تغییرات شاخص برداشت در شوری‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. باتوجه‌به نمودار، در فصل پاییز شوری شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار داده؛ اما این تأثیر دارای روند خاصی نیست. بیشترین مقدار شاخص برداشت ۴۶/۷۵ درصد در تیمار S3 و کمترین مقدار آن ۴۰/۴۹ درصد در تیمار S2 است. بین تیمارهای S1 و S3 و همچنین بین تیمارهای S1، S2 و S4 در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. تغییرات شوری روی شاخص برداشت فصل بهار در بین تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری نداشت و بیشترین و کمترین مقدار شاخص برداشت ۳۶/۷ و ۳۴/۸۵ به‌ترتیب در تیمار S2 و S4 دیده شد.

طالب‌نژاد و سپاس‌خواه کاهش شاخص برداشت کینوا (رقم تیتیکاکا) با افزایش سطوح شوری از ۱۰ تا ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش را کردند (۲۷). زندی و همکاران نشان دادند که تغییرات شوری موجب شد تغییرات شاخص برداشت معنی‌دار شود. همچنین پیغان و همکاران گزارش کردند که برای شاخص برداشت در سطوح مختلف شوری آب آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد(۳۲ و ۲۲).

شاخص برداشت خود شاخصی وابسته به عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گیاه است. اگرچه شوری باعث روند کاهشی در میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گیاه شده است؛ اما شدت کاهش دو پارامتر یادشده تحت شوری متفاوت است؛ بنابراین چنین به نظر می‌رسد باتوجه‌به اثرپذیری شاخص عملکرد دانه و شاخص عملکرد بیولوژیکی گیاه، شاخص برداشت ممکن است دارای روند کاهشی معنادار، بدون روند خاص و یا بدون تفاوت معنی‌دار در سطوح مختلف شوری باشد.

تنش کم‌آبی موجب اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت کینوا در سطح احتمال پنج درصد شد. در کشت پاییز برای تیمار I3 که آبیاری به میزان ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه انجام شد، شاخص برداشت ۴۷/۴۸ درصد محاسبه شد که از دو تیمار دیگر بیشتر بود. مقادیر شاخص برداشت در تیمارهای I1 و I2 که ازنظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نیستند و در یک گروه قرار می‌گیرند نیز به‌ترتیب برابر ۴۲/۵۳ و ۴۲/۰۲ به‌دست آمد.

در کشت بهار نیز اثر تنش کم‌آبی مانند اثر تنش شوری معنی‌دار نبود و همه تیمارها از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. بیشترین مقدار شاخص برداشت در تیمار I3 و پس از آن تیمار I2 و I1 به‌ترتیب با مقادیر ۳۸/۱۲، ۳۵/۹ و ۳۳/۳۷ درصد قرار گرفتند. بر اساس نتایج پژوهش بیرامی و همکاران اثر تیمارهای مختلف رطوبتی در دو فصل کشت بهار و پاییز بر شاخص برداشت کینوا (رقم تیتیکاکا) معنی‌دار نبود (۴).

شکل ۴ -تغییرات عملکرد بیولوژیکی در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

اثر متقابل تنش شوری و کم‌آبی ازنظر آماری بر شاخص برداشت معنی‌دار بود. باتوجه‌به نمودار بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب مربوط به تیمارهای S1I3 و S1I2 با مقادیر ۵۲/۸۲ و ۳۵/۲۵ درصد است. به جز در تیمار S1I3 که دارای بیشترین مقدار شاخص برداشت است، در هر سطح شوری با افزایش تنش کم‌آبی مقدار شاخص برداشت روند افزایشی داشته است. از نظر مرتبه نیز باتوجه‌به آنچه در نمودار میانگین‌ها دیده می‌شود، تیمارهای مختلف هرکدام در گروه‌های مختلفی قرار دارند و با هم تفاوت معنی‌داری پیداکرده‌اند.

ارتفاع گیاه

با مقایسه جدول ۴ و جدول ۵، کاهش ارتفاع گیاه در شوری‌های مختلف تفاوت معنی‌دار داشته است. بیشترین ارتفاع گیاه در فصل پاییز با میانگین ۹۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار شوری S1 و کمترین آن ۵۶/۶۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار S4 است. کاهش ارتفاع گیاه در شوری‌های S2، S3 و S4 نسبت به شوری S1 به‌ترتیب ۹/۶۷، ۲۲/۵۷ و ۳۹/۰۶ درصد محاسبه شد. در فصل بهار بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار S1 مقدار ۸۰/۹ سانتی‌متر و کمترین آن با ۴۴/۹ درصد در تیمار S4 دیده شد.

تنش شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه و درنتیجه کاهش عملکرد بیولوژیکی شده است. به نظر می‌رسد کاهش ارتفاع گیاه با افزایش شوری آب آبیاری را می‌توان به اختلال در سیستم فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارسال به بخش‌های در حال رشد گیاه و در ادامه عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. افزایش شوری در محیط آب و ریشه باعث کاهش شدید رشد در اندام‌های هوایی و ساقهٔ گیاهان می‌شود و این امر سبب ایجاد خسارت زیادی به عملکرد گیاهان می‌شود (۲۱).

اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه به علت پتانسیل اسمزی کم محلول خاک (تنش اسمزی)، اثرهای ویژه یونی (تنش شوری) و عدم تعادل عناصر غذایی یا مجموعهٔ این عوامل ایجاد می‌شود؛ بنابراین هنگامی‌که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و منجر به کاهش طول ساقه می‌شود (۱۳).

در پژوهش لانگ بیشترین ارتفاع گیاه برای میانگین دو رقم کینوا (Green و Red) مقدار ۲۷/۴۱ سانتی‌متر در تیمار شاهد و کمترین ارتفاع مقدار ۲۳/۰۹ سانتی‌متر در سطح شوری ۳۰۰ میلی‌مول گزارش شد (۱۸). طالب‌نژاد و سپاس‌خواه (۲۰۱۵) در پژوهش خود بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) را به‌ترتیب ۱/۳۷ و ۰/۸۸ متر گزارش کردند (۲۷). نتایج زندی و همکاران نشان داد که تنش شوری موجب کاهش ارتفاع گیاه کینوا (رقم سانتاماریا) شده و با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۳۲).

تنش کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار در ارتفاع کینوا شد. در فصل پاییز تیمار I1 با ۸۵/۲۵ سانتی‌متر بیشترین مقدار و با کاهش سطح آبیاری به ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، ارتفاع گیاه در تیمار I2 و I3 با کاهش ۹/۹۶ و ۲۱/۱۱ درصد به‌ترتیب به ۷۶/۷۵ و ۶۷/۲۵ سانتی‌متر دیده شد. با کاهش میزان آبیاری از آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل در فصل بهار، ارتفاع گیاه برای تیمارهای I1، I2 و I3 به‌ترتیب ۶۶/۸۹، ۶۰/۵۴ و ۵۴/۶۷ سانتی‌متر ثبت شد. همچنین تنش آبی در فصل بهار موجب کاهش ۹/۵ و ۱۸/۲۶ درصد در تیمارهای I2 و I3 نسبت به تیمار I1 شد.

آلوار–بلتران و همکاران گزارش کردند کاهش میزان آبیاری موجب کاهش ارتفاع گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) شد و بیان کردند، بین تیمار آبیاری کامل و آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ اما در تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی کاهش چشمگیری در ارتفاع گیاه داشت (۳). یازار و همکاران و بیرامی و همکاران نیز اعلام داشتند که تنش کم‌آبی کاهش ارتفاع گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) به‌دنبال داشته است (۴ و ۳۱) .

مقایسه میانگین ارتفاع در تیمارهای شوری و تیمارهای کم‌آبی نشان می‌دهد، تنش شوری بیشینه نسبت به تیمار شاهد سبب کاهش ۳۹/۰۶ و ۴۴/۹ درصدی ارتفاع در فصل پاییز و بهار بوده؛ درصورتی‌که اعمال تنش آبی در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه تنها ۲۱/۱۱ و ۱۸/۲۶ درصد از ارتفاع کینوا را در مقایسه با تیمار آبیاری کامل کاهش داد که بیانگر این است که تنش شوری بیش از تنش کم‌آبی روی ارتفاع گیاه تأثیر دارد.

بررسی جدول ۴ و جدول ۵ بیان می‌کند اثر متقابل شوری و کم‌آبی روی ارتفاع گیاه در فصل پاییز معنی‌دار نبوده؛ اما روی ارتفاع گیاه در فصل بهار دارای اثر معنی‌دار است. مشاهده روند کلی نمودار شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش تنش شوری و افزایش تنش کم‌آبی در هر سطح شوری، ارتفاع گیاه کاهش پیدا کرده است. بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار S1I1 (تیمار شاهد با کمترین سطح شوری و آبیاری کامل) برابر ۱۰۹/۹۹ سانتی‌متر در فصل پاییز و ۸۸/۳۳ سانتی‌متر در فصل بهار و کمترین مقدار آن در تیمار S4I3 با بیشترین تنش شوری و کمترین میزان آب آبیاری برابر ۵۳ سانتی‌متر در فصل پاییز و ۴۰/۸۷ در فصل بهار به‌دست آمد. بیرامی و همکاران و پیغان و همکاران در پژوهش‌های خود بیان کردند، اثر متقابل تنش شوری و تنش کم‌آبی بر ارتفاع گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) معنی‌دار نبوده است (۴ و ۲۲) .

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که ازنظر وزن هزاردانه بین سطوح مختلف شوری و کم‌آبی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار بود. شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش شوری وزن هزاردانه کاهش پیدا کرده است؛ به‌طوری که بیشترین مقدار آن ۳/۴۴ گرم مربوط به تیمار S1 و کمترین مقدار آن در تیمار S4 به ۲/۴۱ گرم رسیده است و این میزان کاهش معادل ۲۹/۹۴ درصد کاهش در وزن هزاردانه است. در فصل بهار نیز با افزایش شوری موجب کاهش وزن هزاردانه شد. در تیمار S1 بیشترین میزان وزن هزاردانه ۳/۷۲ گرم و کمترین میزان آن در تیمار S4، ۲/۳۹ گرم دیده شد.

به‌طور کلی با افزایش شوری آب آبیاری، علاوه بر کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژکی و ارتفاع گیاه، وزن هزاردانه نیز کاهش می یابد؛ زیرا با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد شده که درنتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید، افزایش یافته و سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۲۱).

شکل ۵. تغییرات ارتفاع گیاه در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

شکل ۶. تغییرات هزاردانه در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

در شرایط شوری، جذب مواد غذایی مختل شده و بنابراین کمبود مواد غذایی ممکن است باعث عدم تکامل و توسعه دانه شود. نتایج پژوهش‌های کویرو و عیسی و لانگ نشان داد، وزن هزاردانه در تیمارهای مختلف شوری تفاوت معنی‌دار داشته است و نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش را تأیید می‌کند (۱۷ و ۱۸).

اثر متقابل تنش‌های شوری و کم‌آبی در کنار یکدیگر، بر

وزن هزاردانه کینوا در فصل پاییز تأثیر معناداری نداشت؛ اما در فصل بهار تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کرد. تغییر وزن هزاردانه در تیمارهای این آزمایش، از ۳/۶۱ گرم برای تیمار S3I1 تا ۲/۰۳ گرم برای تیمار S4I3 به‌دست آمد. همچنین در فصل بهار به‌ترتیب در تیمارهای S1I1 و S4I3 با مقادیر ۳/۹۲ و ۲/۱۸ گرم بیشترین و کمترین مقدار وزن هزاردانه دیده شد.

بهره‌وری آب مصرفی

تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در سطح احتمال یک درصد در هر دو فصل پاییز و بهار شد. بر اساس نمودار شکل ۷، در فصل پاییز بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در تیمار آبیاری‌شده با آب رودخانه کارون (S1) برابر ۲/۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. تیمار S4 که متحمل بیشترین شوری آب آبیاری یعنی ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر شده بود، با ۴۹/۰۸ درصد کاهش، تنها ۱/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب را در این ویژگی ثبت کرد. بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه در تیمارهای S2 و S3 نیز به‌ترتیب برابر ۱/۷۸ و ۱/۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. در فصل بهار بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه در تیمارهای S1 و S2 به‌ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جداول ۴ و ۵) در دو فصل کشت پاییز و بهار، اثر تنش کم‌آبی روی بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) معنی‌دار نبود. در فصل پاییز گیاه کینوا تحت آبیاری کامل، به‌ازای هر متر مکعب آب مصرفی، ۱/۶۷ کیلوگرم دانه را ثبت کرد. کم‌آبیاری در سطوح ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نیز، بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه را به‌ترتیب به ۱/۵۷ و ۱/۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب تغییر داد. همچنین در فصل بهار مقدار بهره‌وری آب مصرفی نسبت به عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در سطوح مختلف تنش کم‌آبی I1، I2 و I3 به‌ترتیب برابر با ۰/۴۴، ۰/۴۴ و ۰/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد.

اثر متقابل تنش‌های شوری و کم‌آبی روی بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در دو فصل پاییز و بهار معنی‌دار نبود. این ویژگی در فصل پاییز برای گیاه کینوا از ۲/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار S1I3 تا ۰/۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار S4I3 و در فصل بهار از ۰/۷۱ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار S1I3 تا ۰/۱۹ در تیمار S4I3 متغیر بود.

بررسی نمودار شکل ۷ بیان می‌کند، بهره‌وری آب مصرفی گیاه در فصل بهار نسبت به فصل پاییز در تمام سطوح شوری و کم‌آبی کاهش پیدا کرد. در کشت پاییز در تیمار شاهد (آبیاری کامل و با شوری آب رودخانه کارون) گیاه کینوا با نیاز آبی ۲۵۵ میلی‌متر و ۱۷۰ میلی‌متر بارندگی در طول دوره رشد (جدول ۱)، عملکرد دانه برابر ۵/۴۵ تن در هکتار داشت؛ درصورتی‌که در کشت بهار با افزایش دما و افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه در تیمار شاهد با ۶۲۵ میلی‌متر نیاز آبی (افزایش ۲/۴۵ برابر نیاز آبی گیاه نسبت به فصل پاییز)، عملکرد دانه ۳/۸۷ تن در هکتار به‌دست آمد.

به‌عبارت‌دیگر با استفاده از آب مصرفی گیاه در فصل بهار می‌توان سطح زیر کشت را میزان ۲/۴۵ برابر در فصل پاییز افزایش داد که نتیجه آن افزایش بهره‌وری آب و تولید ۱۳/۳۷ تن دانه (در سطح زیر کشت معادل) با استفاده از توسعه افقی سطح زیر کشت است. صالحی و همکاران در کشت بهاره کینوا با شوری آب آبیاری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در یزد بیشترین عملکرد دانه را ۱۴۲۲ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند؛ درصورتی‌که مختاران و همکاران بیان کردند که در کشت زمستانه کینوا در خوزستان تولید بذر صورت نگرفت و عملکرد به‌صورت علوفه‌ای بود (۲۷ و ۲۲). بنابراین باتوجه‌به محدودیت منابع آب در استان خوزستان و عدم بارندگی و نیاز آبی زیاد در دوره کشت بهاره گیاه کینوا، کشت این محصول در فصل بهار توصیه نمی‌شود.

شکل ۷. تغییرات بهره‌وری نسبت به عملکرد دانه آب مصرفی در سطوح شوری، سطوح کم‌آبی و سطوح شوری و کم‌آبی به‌صورت توأم

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر آبیاری با زه‌آب کشاورزی در سطوح مختلف شوری و کم‌آبی روی گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در دو فصل کشت پاییز و بهار بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا) نشان داد که شوری و کم‌آبی روی برخی از صفات عملکردی کینوا اثر کاهشی معنی‌داری داشته است.

شوری میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را به میزان ۴۷/۳۸ و ۵۳/۰۸ درصد در فصل پاییز و به میزان ۷۰ و ۶۷/۵۴ درصد در فصل بهار کاهش داد؛ درصورتی‌که تنش کم‌آبی با کاهش ۲۹/۰۹ و ۳۷/۴۲ درصد در فصل پاییز و ۳۰ و ۳۶/۲ درصد روی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی اثر معنی‌دار ایجاد کرد. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده می‌توان این‌چنین نتیجه گرفت که تنش شوری در مقایسه با تنش کم‌آبی میزان تأثیر بیشتری روی کاهش عملکرد و اجزای عملکرد کینوا داشته است.

با بررسی نتایج حاصل از این پژوهش دیده شد کاهش عملکرد دانه گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در فصل پاییز برای تیمارهای شوری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت تیمار شاهد (۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌ترتیب برابر ۱۸/۲۶، ۳۹/۲۱ و ۴۷/۳۸ درصد بود که در بیشترین سطح شوری (۲۰ دسی‌زیمنس بر متر)، مقدار کاهش عملکرد کمتر از ۵۰ درصد بوده است. با در نظر گرفتن عملکرد قابل قبول گیاه کینوا (۱۸/۲۶ درصد کاهش در عملکرد دانه) در شرایط استفاده از زه‌آب کشاورزی به‌عنوان یک منبع آب نامتعارف، کشت گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در فصل پاییز تحت آبیاری با زه‌آب کشاورزی با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر پیشنهاد می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که باتوجه‌به محدودیت منابع آب شیرین و وجود شبکه‌های زهکشی در استان خوزستان، کینوا می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مناسب برای کشت پاییز در شرایط شور و کم آب، به‌ویژه در مناطق با منابع آب محدود استفاده شود.

بااین‌حال برای بهینه‌سازی عملکرد گیاه، مدیریت مناسب تنش شوری و کم‌آبی ضروری است. این پژوهش اطلاعات مفیدی را برای کشاورزان و پژوهشگران در زمینهٔ کشت کینوا در شرایط تنش شوری و کم‌آبی ارائه می‌دهد. یافته‌های این

مطالعه می‌تواند به توسعه روش‌های پایدار برای تولید کینوا در مناطق با منابع آب محدود کمک کند.

به‌منظور تکمیل نتایج این پژوهش، نویسندگان این مقاله پیشنهاد می‌کنند کشت گیاه طی چند فصل کشت بهاره تحت شرایط شوری و کم‌آبی با روش‌های آبیاری مختلف انجام شود و عملکرد آن تعیین شود. همچنین پیشنهاد می‌شود باتوجه‌به اهمیت مدیریت شوری در خاک در شرایط استفاده از زه‌آب به‌عنوان منبع آب نامتعارف، تغییرات کیفی خاک در تیمارهای مختلف در انتهای فصل کشت بررسی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.WI1402.281) تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alaei, J., M. Mokari and A. H. Ghaderi. 2023. The Simultaneous Effects of Salinity and Drought Stresses on the Yield and Yield Components of Safflower (Carthamus tinctorius) under Climatic Conditions of Kashmar. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 17(3): 401-411 (in Farsi).
2. Aliyar, S., N. Aliasgharzad, A. DabbaghMohammadiNasab and S. Ostan. 2022. Effects of endophytic fungus Serendipitaindica on growth and nutritional characteristics of quinoa undersalinity. stress conditions. *Journal of Sol Biology* 10(1): 1-20 (in Farsi).
3. Alvar-Beltrán, J., C. Saturnin, A. Dao, A. Dalla Marta, J. Sanou and S. Orlandini. 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under field conditions in Burkina Faso. *Italian Journal of Agrometereology* 1: 33-43.
4. Beyrami, H., R. Yazdani- Biouki and M. Salehi. 2024. Effects of Different Levels of drought Stress on Yield and Yield Components of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.). *Journal of Water and Sustainable Development* 10(4): 49-58 (in Farsi).
5. Bois, J.F., T. Winkel, J.P. Lhomme, J.P. Raffaillac and A. Rocheteau. 2006. Response ofsome Andean cultivars of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to temperature:effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of agronomy* 25(4): 299–308.
6. Bouras, H., R. Choukr-Allah, Y. Amouaouch, A. Bouaziz, K.P. Devkota, A. El Mouttaqi and A. Hirich. 2022. How Does Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Respond to Phosphorus Fertilization and Irrigation Water Salinity?. *Plants*11(2): 216.
7. Cai, Z.Q. and Q. Gao. 2020. Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. *BMC Plant Biology* 20(1): 1-15.
8. Cocozza, C., C. Pulvento, A. Lavini, M. Riccardi, R. d'Andria and R. Tognetti. 2013. Effects of Increasing Salinity Stress and Decreasing Water Availability on Ecophysiological Traits of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Grown in a MediterraneanType Agroecosystem. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199(4): 229-240.
9. Dehghani, M., G. Shiresmaili and F. Parsadoost. 2014. Investigating the effect of irrigation water salinity on three commercial sunflower hybrids. *Journal of Water Research in Agriculture* 28(1):191-199 (in Farsi).
10. Geerts, S.D., M. Raes, R. Gracia, J.A. Miranda, C. Cusicanqui, J. Taboada, R. Mendoza, A. Huanca, O. Mamani, J. Condori, B. Mamani, V. Morales and P. Osco. 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. *Agronomy Journal* 101(3): 499-508.
11. Hariadi, Y., K. Marandon, Y. Tian, S.E. Jacobsen and S. Shabala. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of experimental botany* 62(1): 185–193.
12. Heidarinia, M., S. Boroomand Nasab, A. Naseri and M. Albaji. 2017. AquaCrop model evaluation to estimate of Maize yield and soil salinity under different agriculture managements and irrigation with saline water. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 48(1): 49-61 (in Farsi).
13. Homaee, M. 2003. Plant Responses to Salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Tehran, Iran (in Farsi).
14. Hosseini, T., M. Khosh Ravesh, M. Ziyatbar Ahmadi and A. Ghadami Firouzabadi. 2016. Evaluation of Soybean Yield by AquaCrop Model under Salinity and Deficit Irrigation Management. *Journal of Water Research in*

Agriculture 30(3): 361-372 (in Farsi).
15. Jacobsen, S.E., C. Monteros, J.L. Christiansen, L.A. Bravo, L.J. Corcuera and A. Mujica. 2005. Plant responses of quinoa (Chenopodium quinoa Will.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronom*y 22(2): 131–139.
16. Jacobsen, S.E., A. Mujica and C. R. Jensen. 2003. The Resistance of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International* 19(1-2): 99–109.
17. Koyro, H.W. and S.S. Eisa. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa Willd. *Plant and Soil* 302(1-2): 79-90.
18. Long, N.V. 2016. Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences* 14(3): 321-327.
19. Meskini-Vishkaee, F., A. Tafteh, A. Jafarnejadi and M. Goosheh. 2023. 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). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 16(6): 1255-1265 (in Farsi).
20. Mokhtaran, A., M. Tavoosi, P. Varjavand and S. Sepehri Sadeghian. 2020. Investigation of the Eeffects of Sugarcane Drainage Water for Quinoa Cultivation in Southern Khuzestanon on Crop Yield and Soil Salinity and Sodictiy Changes. *Journal of Water Research in Agriculture* 34(3): 337-354 (in Farsi).
21. Nasrolahi, A.H. 2014. The study on effect of drip irrigation different managements with saline water on corn yield and salt distribution in root zone. Ph.D Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, I.R. Iran.
22. Peyghan, K., M. Golabi and M. Albaji. 2020. Simulation of quinoa (Chenopodium quinoa) yield and soil salinity under salinity and water stress using the SALTMED model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(18): 2361-2376.
23. 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.
24. Razzaghi, F., S.H. Ahmadi, V.I. Adolf, C.R. Jensen, S.E. Jacobsen and M.N. Andersen. 2011. Water relations and transpiration of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197(5): 348–360.
25. Sadegh Mansoory, R., M. Golabi, S. Broumand Nasab and M. Salehi. 2019. The Effect of Salinity and Water Deficit on Yield and Yield Components of Kochia Scoparia L. in Hot and Dry Weather Conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(7): 1825-1841 (in Farsi).
26. Salehi, M., F. Dehghany, V. Soltani Gerdfaramarzi and N. Besharat. 2021. Identify the effective traits for the selection of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) lines in spring cultivation under saline condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 14(4): 1041-1054 (in Farsi).
27. Talebnejad, R. and A.R. Sepaskhah. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management* 148(Supplement C): 177-188.
28. Telahigue, D.C., L.B. Yahia, F. Aljane, K. Belhouchett and L. Toumi. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture* 1:222-232.
29. Tooragzadeh, O., H. Piri, A. Naserin and M.M. Chari. 2023. Investigation the effect of biochar and irrigation water salinity on yield indicators and protein percentage of quinoa in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 17(4): 597-610 (in Farsi).
30. Vacher, J.J. 1998. Responses of two main Andean crops, quinoa (Chenopodiumquinoa Willd.) and papa amarga (Solanum juzepczukii Buk.) to drought on theBolivian Altiplano: significance of local adaptation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 68(1-2): 99–108.
31. Yazar, A., C. Incekaya, S.M. Sezen and S.E. Jacobsen. 2015. Saline water irrigation of quinoa (Chenopodium quinoa) under Mediterranean conditions. *Crop and Pasture Science* 66(10):993-1002.
32. 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* 43(3): 45-52 (in Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 28, No. 4, Winter 2025, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of the Use of Irrigation with Drainage Water at Different Salinity and Water Stress Levels on Quinoa Yield and Yield Components (Case Study: Ahvaz Climatic Conditions)

S. Zandi, S. Borumand Nasab* and M. Golabi[1]

(Received: June 29-2024 ; Accepted: September 24-2024)

Abstract

Quinoa, a nutritionally rich crop with remarkable adaptability to unfavorable environments, exhibits a high tolerance to salinity. Reusing agricultural drainage water is a natural and important method in drainage management that increases farmers' income, sustainable production, and food security. The objective of this study was to investigate the effects of irrigation with agricultural drainage water, salinity stress, and water deficit on the yield and yield components of quinoa (Titicaca) under salinity levels of 2, 10, 15, and 20 dS/m and irrigation levels of full irrigation, 80%, and 60% of the crop water requirements. The experiment was conducted with three replications using a split-plot design with a randomized complete block design (RCBD) at the experimental farm of the Faculty of Water and Environmental Engineering at Shahid Chamran University of Ahvaz, during the fall and spring seasons of the years 2022 and 2023. The water requirement of Qinoa was determined gravimetrically by measuring soil moisture before each irrigation and increasing it to field capacity. The experimental treatments were imposed after seed germination and from the start of cultivation. The plants were harvested and transported to the laboratory for drying and yield component analysis upon physiological maturity. The results revealed that salinity stress had a more pronounced impact on reducing quinoa yield and yield components compared to water stress. The highest and lowest grain yields were observed in the autumn season, reaching 5.45 and 1.8 t/ha under the treatments of S1I1 and S4I3, respectively. Similarly, in the spring season, the highest and lowest grain yields were 3.87 and 0.73 t/ha under the same treatments, respectively.

Keywords: Unconventional waters, Water stress, Harvest index, Haloculture

1. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
*: Corresponding author, Email: boroomand@scu.ac.ir