

ارزیابی بهره‌وری اقتصادی آب در کشت کینوا با کاربرد آب شور و کم‌آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری در استان فارس

چکیده

در شرایط خشکسالی و کمبود آب در کشور، بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، در گیاهان مقاوم به تنش شوری و خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله به بررسی کشت کینوا پاییزه با توجه به اهمیت این گیاه جهت ورود به الگوی کشت با کاربرد آب آبیاری شور و اعمال کم‌آبیاری با روش آبیاری قطره‌ای نواری (نوار تیپ) از دیدگاه اقتصادی پرداخته شده است. برای انجام این پژوهش، آزمایش به صورت فاکتوریل-اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۰/۶، ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر) و دو سطح آبیاری (آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و سه رقم کینوا شامل (Titicaca, T1, Giza1) بود. نتایج نشان داد که حداکثر مقدار بهره‌وری آب محصول دانه در کینوا ۰/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و ۵۰ درصد آبیاری کامل در رقم تیتیکاکا حاصل شد که به طور یکسان افزایش ۴/۷۶ درصدی نسبت به دو رقم دیگر داشت. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی بیشترین مقدار نسبت منفعت به هزینه کینوا ۲/۶۹ در آبیاری کامل و شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر حاصل شد. بر اساس نتایج تحلیل اقتصادی در تیمار آبیاری کامل در سطوح مختلف شوری آب آبیاری به جز تیمار شوری آب آبیاری ۲۵ دسی زیمنس بر متر نسبت منفعت به هزینه بیشتر از یک و بهره‌وری اقتصادی آب نیز عدد مثبتی حاصل شد. به طوریکه، بهره‌وری اقتصادی آب در آبیاری کامل در سطوح شوری آب آبیاری ۰/۶، ۵ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۵۶ و ۰/۱۹ دلار بر متر مکعب حاصل شد بنابراین این تیمارها توجیه اقتصادی دارند. در حالی که در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل در همه سطوح شوری آب آبیاری نسبت منفعت به هزینه کمتر از یک و بهره‌وری اقتصادی آب عدد منفی بدست آمد. بنابراین اعمال کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد در سطوح مختلف شوری آب آبیاری در کشت کینوا در منطقه مورد مطالعه توجیه اقتصادی ندارد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، کیفیت آب آبیاری، نسبت منفعت به هزینه

Evaluation of Economic Water Productivity in Quinoa Cultivation Using Saline Water and Deficit Irrigation in a Tape Drip Irrigation System in Fars Province

Abstract

In the context of drought and water scarcity in the country, assessing water productivity, conducting economic evaluations, and determining the economic water productivity of crops tolerant to salinity and drought stress are of critical importance. This study investigates the cultivation of autumn quinoa under saline irrigation water and deficit irrigation using a tape drip system, with an emphasis on economic performance. Given the significance of quinoa in sustainable cropping systems, evaluating its water productivity and conducting a comprehensive economic analysis are essential. A factorial split-plot experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications. The study included four levels of irrigation water salinity (0.6, 5, 15, and 25 dS.m⁻¹), two irrigation regimes: full irrigation and 50% of full irrigation and, three quinoa cultivars Titicaca, T1, and Giza1. According to the results the maximum quinoa water productivity was seen at 0.6 dS.m⁻¹ water salinity under 50% full irrigation for Titicaca cultivar. Which was 4.76% higher than two other cultivars. Economic analysis revealed that the highest benefit-cost ratio (2.69) was achieved under full irrigation with 0.6 dS.m⁻¹ saline irrigation water. Under full irrigation, the benefit-cost ratio exceeded one and economic water productivity remained positive across all salinity levels except for the highest salinity treatment (25 dS.m⁻¹). Under full irrigation, the economic water productivity values were 0.64, 0.56, and 0.19 dollars/cubic meter for irrigation water in water salinity levels of 0.6, 5, and 15 dS.m⁻¹, respectively. Therefore, these treatments are economically viable. In contrast, under 50% full irrigation, the benefit-cost ratio was below one and economic water productivity was negative at all water salinity levels. Therefore, the application of 50% deficit irrigation across varying salinity levels is not economically viable for quinoa production in the studied region.

Keywords: Benefit-cost ratio, Drought stress, Irrigation water quality, Water productivity

امروزه مسئله کمبود آب به یکی از نگران‌کننده‌ترین مسائل پیش روی کشور ایران تبدیل شده است. کشور ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، از مناطق کم‌باران دنیا به حساب می‌آید، به‌طوری که میانگین بارش سالانه ۲۵۴ میلی‌متر (بلندمدت) و ۲۱۰ میلی‌متر (دوره خشکسالی)، میانگین سالانه تبخیر پتانسیل ۲۰۰۰ میلی‌متر و تسلط اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بر ۸۵ درصد مساحت آن در یکی از کم‌آب‌ترین منطقه‌های دنیا قرار گرفته است (بذرافشان و همکاران، ۱۴۰۰). اقتصاد بسیاری از کشورهای در حال توسعه متکی بر کشاورزی است و امروزه کشاورزی یک فعالیت اقتصادی است که سهم بسیار مهمی در تولید ناخالص داخلی هر کشور و تأمین امنیت غذایی مردم آن ایفا می‌کند. ایران نیز دارای منابع آب محدود بوده و میزان بارش آن یک سوم میانگین جهانی است و از لحاظ مکانی و زمانی توزیع بارش با نیازهای کشاورزی که مصرف‌کننده اصلی آب است مطابقت ندارد. تنش‌های غیر زیستی با تغییر شرایط آب و هوای جهان به شکل جدیدی در می‌آیند و باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان می‌شود که در نتیجه باعث کاهش معنای محصول می‌شوند. در این راستا، شوری آب آبیاری یک چالش زیست محیطی جهانی است (Zhang et al., 2022). یکی از راه‌های کاهش اثرات مخرب تنش شوری، کاشت محصولات مقاوم به شوری از جمله کینوا است که تحمل یا سازگاری آن با محیط‌های شور بالا است (Hariadi et al., 2011).

استفاده از آبیاری قطره‌ای موجب کاهش تلفات آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و افزایش کیفیت محصول می‌شود (Ouma et al., 2024). در آبیاری قطره‌ای آب به‌طور دقیق و یکنواخت در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد و تغییرات پتانسیل ماتریک در منطقه ریشه را محدود می‌کند، بنابراین اثر کاهنده پتانسیل اسمزی ناشی از آبیاری با آب شور را جبران کرده و پتانسیل آب را برای رشد گیاه را در حد متعادلی حفظ می‌کند. کاربرد سیستم‌های نوین آبیاری همچون آبیاری قطره‌ای به دلیل دور آبیاری کم و بالا نگه‌داشتن رطوبت خاک یکی از گزینه‌های مناسب در مورد کاربرد آب‌های شور می‌باشد (Huang et al., 2019). در آبیاری قطره‌ای با مدیریت صحیح آبیاری، میزان کاهش عملکرد با افزایش شوری در مقایسه با آبیاری سطحی کم‌تر است و آبیاری قطره‌ای به‌عنوان قابل‌اطمینان‌ترین راه سازگار با محیط‌زیست در شرایط کم‌آبی برای استفاده از منابع آب نامتعارف است (Liu et al., 2015; Li et al., 2015). یکی از مهم‌ترین معایب سیستم آبیاری قطره‌ای، احتمال بروز مشکلاتی نظیر ترکیبگی لوله‌های تیپ و یا انسداد قطره‌چکان‌ها است. چنین مشکلاتی می‌تواند کارایی کل سامانه را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به اختلال در توزیع یکنواخت آب گردد (Bhavsar et al., 2023). در این راستا (Li et al., 2015) گزارش کردند که مسأله مسدود شدن قطره‌چکان‌ها همیشه مانع اصلی استفاده از مقیاس بزرگ و ارتقاء فن‌آوری آبیاری قطره‌ای در کاربرد آب‌های نامتعارف بوده است، زیرا این امر به‌طور مستقیم بر عملکرد سیستم و عمر مفید سیستم اثر می‌گذارد. هر چند با طراحی دقیق سیستم کنترل مرکزی و انتخاب فیلترهای مناسب و اسیدشویی دقیق می‌توان این مشکلات را به حداقل رساند.

کینوا یکی از امیدبخش‌ترین محصولات برای مبارزه با گرسنگی و ایجاد امنیت غذایی است (Ruiz et al., 2016). کینوا به دلیل کیفیت غذایی بالا، تنوع ژنتیکی، سازگاری با شرایط نامساعد آب و هوایی، خاک و هزینه تولید پایین به‌عنوان محصول استراتژیک با پتانسیل بالا در کمک به امنیت غذایی و تغذیه‌ای به‌ویژه در مناطقی که دچار سوء تغذیه و خشکسالی‌های مکرر است در نظر گرفته می‌شود. همچنین کشت کینوا جایگزینی برای محصولات پروتئینی در کشورهایی است که محدودیت تولید مواد غذایی دارند تا مجبور به واردات یا دریافت کمک‌های غذایی نشوند (Kadam et al., 2018; Vasconcelos et al., 2019). کینوا می‌تواند باعث بهبود شرایط اقتصادی مناطق فقیر با خاکهای شور در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در سواحل جنوبی دریای مدیترانه گردد. با این حال حد تحمل به شوری کینوا بین ارقام متفاوت است (Elsahaimy et al., 2015).

تا اوایل دهه ۱۹۷۰ کشاورزی سنتی کینوا عمدتاً به کشور مبدأ محدود بود، اما افزایش قیمت کینوا منجر به کشت کینوا در سایر نقاط جهان شد (Angeli et al., 2020). از آنجایی که تقاضا برای این محصول در بازار داخلی و بین‌المللی افزایش می‌یابد، کینوا به‌عنوان یک

^۱ Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

محصول ارگانیک تولید و به بازار عرضه می‌شود و با قیمت‌های بالا برای مصرف‌کننده نهایی به فروش می‌رسد. قیمت بین‌المللی کینوا در سال ۲۰۱۳ به‌طور متوسط ۳۰۰۰ دلار در هر تن و بین ۳۵۰۰ تا ۸۰۰۰ دلار در هر تن برای گونه‌های خاص بود (Small, 2013). محققان با انجام پژوهشی در مراکش قیمت هر کیلو دانه کینوا در مزرعه را ۲/۳۵ دلار گزارش کردند (Mehdi and Abdelaziz, 2018). قیمت دانه کینوا بسته به کیفیت آن در بازار متفاوت است. محققان در ایران قیمت دانه کینوا به ازای هر کیلوگرم را ۴۰۰ هزار ریال در سال ۱۴۰۰ در نظر گرفتند (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰).

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، بهره‌برداری بهینه از منابع موجود و ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی، دستیابی به توسعه پایدار و امنیت غذایی ضروری است. در شرایطی که کشاورزی با چالش‌هایی همچون تغییرات اقلیمی، خشکسالی و شوری آب مواجه است، بررسی راهکارهای مدیریتی نظیر استفاده از آب شور و اعمال کم‌آبیاری می‌تواند نقش مهمی در مدیریت منابع آب ایفا کند. از این رو، انجام تحقیقاتی به منظور بررسی ارقام مختلف گیاه متحمل به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی با روش آبیاری نوار تیپ با توجه به اهمیت این گیاهان جهت ورود به الگو کشت و بررسی اقتصادی آن ضروری می‌باشد. از طرفی با توجه به پژوهش‌های انجام شده اطلاعات محدودی در ایران در مورد ارزیابی اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب در کشت کینوا پاییزه به ویژه در شرایط مزرعه‌ای با کاربرد آب شور وجود دارد. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع در پژوهش حاضر به تعیین بهره‌وری آب عملکرد دانه، ارزیابی اقتصادی در کاشت سه رقم کینوا با کاربرد آب آبیاری شور و کم‌آبیاری در منطقه باجگاه استان فارس پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش

محققان با انجام آزمایشی در جنوب ایران مقدار بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری داخل جویچه در کینوا را در تیمارهای آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند (Mirsafi et al., 2024). در شمال غربی چین با اعمال آبیاری به روش قطره‌ای با مقادیر ۳۳۰۰، ۲۹۲۵ و ۲۵۵۰ متر مکعب در هکتار، مقدار محصول دانه کینوا به ترتیب ۱۷۹۵/۶۱، ۱۴۳۵/۲۶ و ۱۲۳۲/۲۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که در نتیجه مقدار بهره‌وری آب در این سه سطح آبیاری به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۲۸ و ۰/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب بود (Awa et al., 2024). محققان با انجام پژوهشی در مصر بر روی کینوا نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به بهبود در مصرف آب شده است، به‌طوری که با اعمال کم‌آبیاری ۴۰ و ۷۰ درصد آبیاری کامل بهره‌وری آب به ترتیب ۳/۵۸ و ۲/۸۸ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شد، در حالی که در آبیاری کامل ۲/۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد (Telahigue et al., 2017).

تحقیقی در مصر به‌منظور بررسی اقتصادی کشت کینوا برای حل مشکل امنیت غذایی انجام گرفت و نتایج نشان داد کشت کینوا از بازده اقتصادی بالایی برخوردار بود. بنابراین کشت کینوا مقرون به صرفه است زیرا سود به دست آمده بیشتر از هزینه فرصت بود (Mansour et al., 2020). تحلیل اقتصادی به‌منظور ارزیابی سود کشاورز جهت ترویج محصولات کشاورزی در الگوی کشت اهمیت ویژه‌ای دارد، لذا از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. آزمایشی در دانشکده کشاورزی شیراز بر روی کینوا رقم تیتیکا^۲ در شرایط شوری و کم‌آبیاری انجام گرفت و نتایج نشان داد بهره‌وری اقتصادی آب (با توجه به قیمت ۳/۵ دلار در هر کیلو دانه این گیاه) برابر ۲/۸ دلار در مترمکعب است، آنها بیان داشتند که بهره‌وری اقتصادی آب در گیاه کینوا به مراتب از بهره‌وری اقتصادی برنج که ۰/۴۸ دلار بر متر مکعب (با توجه به قیمت ۲/۵ دلاری برنج به ازای هر کیلوگرم) است، بیشتر می‌باشد (Talebnejad and Sepaskhah, 2016). از طرفی محققان در هند نسبت منفعت به هزینه را در روش‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی با تأمین نیاز آبی گیاه کینوا به ترتیب ۶/۴ و ۴/۹ گزارش کردند (Kadam et al., 2018). با انجام یک تحقیق از طریق پرسشنامه از ۲۴۷ کشاورز در اتیوپی مقدار نسبت منفعت به هزینه در کینوا، تف، گندم، باقلا، سورگوم و جو به ترتیب ۱/۷، ۱/۵، ۱/۶، ۲، ۲ و ۱/۷ گزارش شد که کینوا بر اساس نسبت منفعت به هزینه پس از باقلا و سورگوم در رتبه سوم قرار گرفت (Mihiretu and Ayen, 2023).

تحلیل اقتصادی برای کشت سایر محصولات شامل غلات و دانه‌های روغنی نیز از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. به عنوان مثال، آزمایشی به‌منظور تحلیل اقتصادی کشت کلزا تحت شرایط آبی و دیم در استان گلستان انجام گرفت و نتایج نشان داد که نسبت منفعت به هزینه تولید در مزارع آبی ۲/۰۹ و در مزارع دیم ۲/۱۲ بدست آمد که نشان دادند کشت کلزا در آنجا دارای توجیه اقتصادی است (محمدرضا

^۲ Titicaca

درگاهی و همکاران، ۱۳۹۵). محققان با انجام پژوهشی بر روی ذرت و برنج نشان دادند اعمال کم‌آبیاری بهره‌وری آب را افزایش داد و از طرف دیگر کم‌آبیاری از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر بود (Moghimi and Sepaskhah, 2015). طی انجام پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی ساری مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۳۷۹/۸، ۴۱۴/۶ و ۲۷۷/۱ هزار ریال بر متر مکعب حاصل شد (علیخانی مهوار و همکاران، ۱۴۰۳). پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در استان البرز انجام گرفت و نتایج نشان داد سود حاصل از مصرف هر متر مکعب آب آبیاری مصرفی در تولید گندم، جو، کلزا و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱۱۹۱/۱، ۱۰۷۵۰، ۷۲۹۱/۷ و ۱۳۱۲/۲ ریال بر متر مکعب تعیین شد (اسدی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین تحلیل اقتصادی به‌منظور ارزیابی سود کشاورز جهت ترویج محصولات کشاورزی در الگوی کشت اهمیت ویژه‌ای دارد، در این میان توجه به ارقام کینوا به عنوان یک گیاه هالوفیت و مغذی در شرایط کمبود منابع آب در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

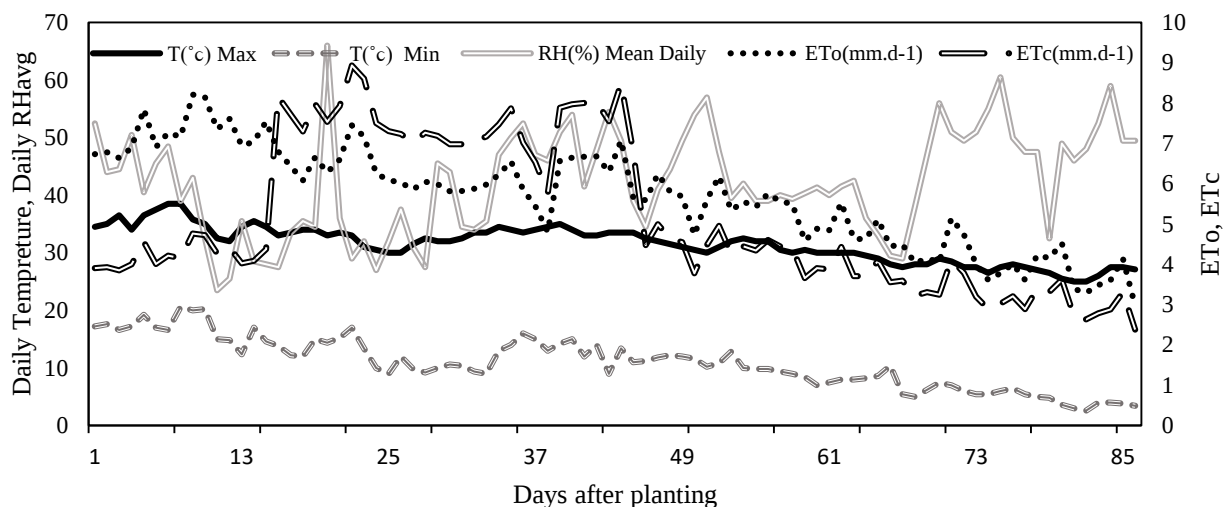
مشخصات محل پژوهش

به‌منظور بررسی اقتصادی کشت پاییزه کینوا در سطوح مختلف شوری آب آبیاری و کم‌آبیاری گیاه کینوا با سه رقم مختلف، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۴۰۱ انجام شد. دانشکده کشاورزی واقع در ۱۶ کیلومتری شمال شیراز با طول جغرافیایی $32^{\circ} 52'$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 39'$ و در ارتفاع ۱۸۱۰ متری از سطح دریای آزاد واقع شده است. جهت انجام پژوهش آزمایش فاکتوریل-اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد، چهار سطح شوری آب آبیاری شامل ۰/۶، ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر (به ترتیب معادل EC1، EC2، EC3 و EC4) در نظر گرفته شد. دو سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (FI) و ۵۰ درصد آبیاری کامل (0.5FI) و سه رقم کینوا شامل T1، Giza1، Titicaca بررسی شدند. انتخاب سطوح شوری با توجه به پژوهش‌های پیشین انجام شده در کشت کینوا در مزرعه در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک انتخاب گردید (علیشاهی، ۱۴۰۱). کیفیت شیمیایی آب آبیاری در تیمار شاهد در جدول ۱ ارائه شده است. برای اعمال تیمارهای شوری آب، آب با شوری‌های مختلف با اضافه نمودن نمک‌های NaCl و $CaCl_2$ به وزن یکسان اکی والانی به آب شاهد با شوری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر در مخزن به حجم ۲۰۰ لیتر تهیه شد و از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای نوار تیب در اختیار تیمارهای آزمایشی قرار گرفت.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش.

شوری عصا ره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	کلر (میلی اکی والانت بر لیتر)	پتاسیم (میلی اکی والانت بر لیتر)	سدیم (میلی اکی والانت بر لیتر)	کلسیم (میلی اکی والانت بر لیتر)	منیزیم (میلی اکی والانت بر لیتر)	نسبت جذبی سدیم
۰/۲۸۲	۱/۶	۱/۲	۰/۴	۰/۲۷	۰/۲	۲/۷۲	۰/۶۹۲

دمای حداکثر، حداقل، میانگین رطوبت نسبی در طول فصل رشد از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جمع آوری شد. میانگین حداکثر و حداقل دما به ترتیب $31/4^{\circ}$ و $10/8^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد بود، و میانگین رطوبت نسبی نیز $42/3\%$ درصد بود (شکل ۱). مقادیر تبخیر تعرق گیاه مرجع (ET_0) در طول دوره رشد (۸۵ روز) گیاه کینوا به صورت روزانه به روش (Razzaghi and Sepaskhah, 2012) محاسبه شد و مجموع تبخیر تعرق گیاه مرجع دوره رشد برابر با $487/8$ میلی‌متر و میانگین روزانه تبخیر تعرق گیاه مرجع برابر با $5/67$ میلی‌متر در روز بوده است.



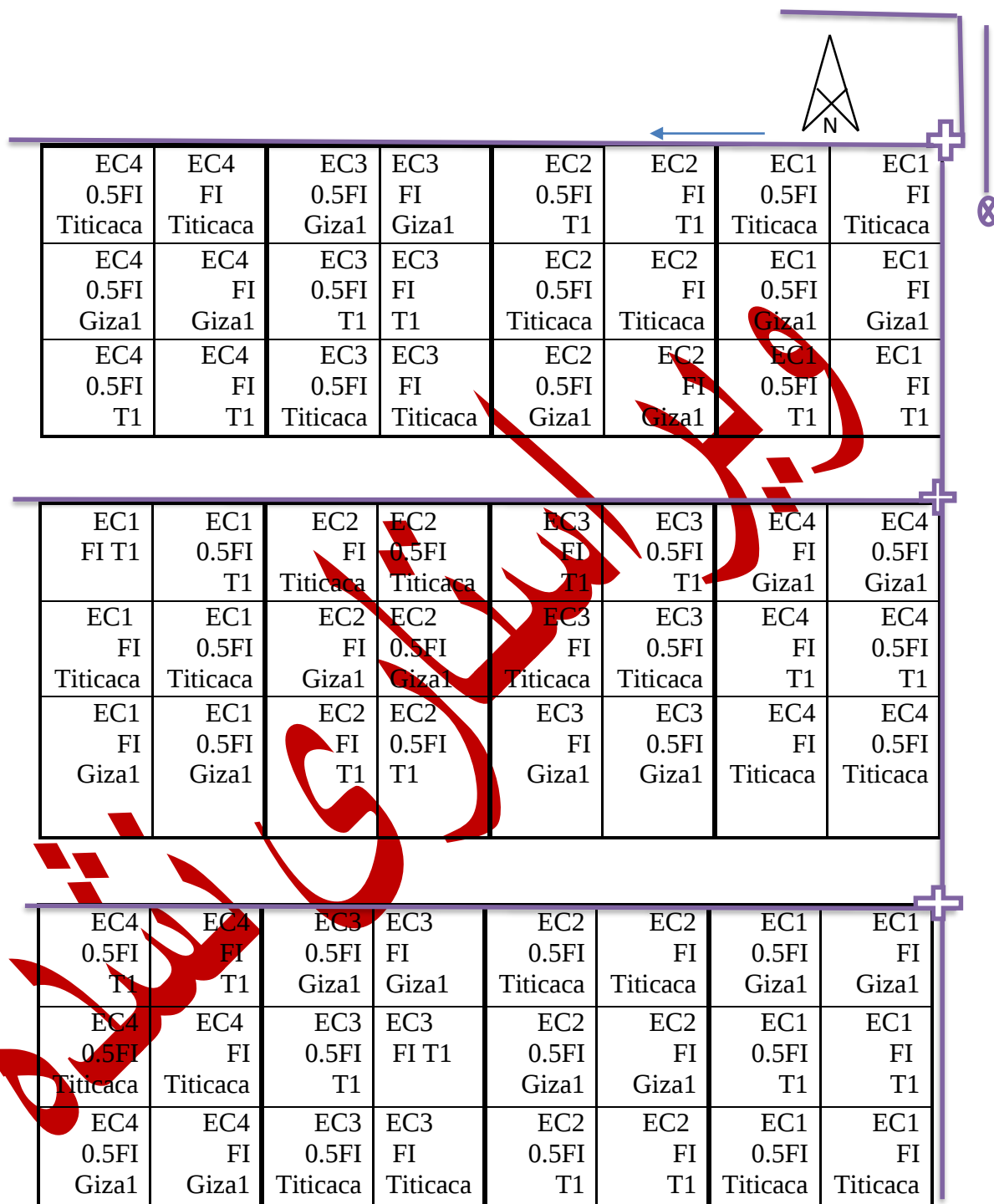
شکل ۱- دمای حداکثر و حداقل روزانه، میانگین رطوبت نسبی روزانه، تبخیر تعرق گیاه مرجع و تبخیر تعرق پتانسیل کینوا در طول دوره کشت در سال ۱۴۰۱.

عملیات زراعی

آماده سازی زمین و کاشت

پس از شخم و دیسک زمین، ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص به صورت کود سوپر فسفات تریپل ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) که حاوی ۴۶ درصد P_2O_5 است با لایه سطحی خاک مخلوط می شود و به عنوان کود شیمیایی مورد نیاز به مزرعه داده شد و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به صورت اوره با خلوص ۴۶ درصد، طی دو مرحله در ابتدای کاشت (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در ۱۲ مرداد ۱۴۰۱) و آغاز گلدهی (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار در ۲۴ شهریور ۱۴۰۱) به مزرعه داده شد (Bahrami et al., 2022). سپس، کرت ها با ردیف هایی به فاصله ۳۰ سانتی متر از یکدیگر، ایجاد شد و بذرها در عمق ۱ تا ۲ سانتی متر از سطح خاک کاشته شد. فاصله بذرها از یکدیگر روی ردیف ۵ سانتی متر بود. بذرهای ارقام مورد آزمایش کینوا از مؤسسه تحقیقات بذر و نهال کرج تهیه شد. تاریخ کاشت و برداشت کینوا به ترتیب در ۱۲ مرداد و ۵ آبان ۱۴۰۱ انجام شد. ۱۰ الی ۱۴ روز بعد از قطع آبیاری برداشت انجام شد و پس از خشک شدن محصول وزن محصول دانه با ترازو به دقت (۰/۰۰۱ گرم) اندازه گیری گردید. نمای مزرعه مورد آزمایش در شکل (۲) ارائه شده است. به منظور کنترل آفات از سم دیازینون به مقدار یک در هزار یکبار در طول فصل رشد استفاده گردید. از آن جهت که وجود علف های هرز در استفاده از آب و نور کافی ایجاد رقابت با گیاه می کند کنترل علف های هرز دوبار در طی فصل رشد انجام گرفت. به منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و کم آبیاری در آبیاری قطره ای نواری (نوار تیپ) بر محصول دانه و بهره وری آب محصول دانه در سه رقم کینوا از تجزیه واریانس و آزمون LSD مقایسه میانگین ها، در نرم افزار SAS^۳ نسخه 9.4 استفاده گردید.

³ Statistical Analysis System



شکل ۲- نمای از مزرعه مورد آزمایش.

نیاز آبی و روش آبیاری

مقدار آب آبیاری با توجه به مقدار تبخیر-تعرق بالقوه روزانه گیاه مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی کینوا با استفاده از معادله پنمن-مانتیت فائو محاسبه شد (Allen et al., 1998). این معادله با توجه به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه، طبق اصلاحات ارائه شده توسط Razzaghi and Sepaskhah, (2012) به کار گرفته شد. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی واقع در دانشکده کشاورزی تهیه شد. به کمک معادله پنمن-مانتیت فائو اصلاح شده، تبخیر-تعرق گیاه مرجع محاسبه و مقدار ضریب گیاهی کینوا برای مراحل رشد ابتدایی و توسعه‌ای و پایانی به ترتیب ۰/۵۸، ۱/۲ و ۰/۸ در نظر گرفته شد (Talebnejad and Sepaskhah, 2015) و تبخیر-تعرق کینوا و نیاز آبی خالص کینوا بر اساس معادلات (۱) تا (۳) محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

$$D_R = ET_c \times A \times K_r \quad (2)$$

$$K_r = [GC + 0.15(1 - GC)] \quad (3)$$

در روابط فوق ET_c تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه ($mm.d^{-1}$)، K_c ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع ($mm.d^{-1}$)، K_r ضریب سایه‌انداز، D_R نیاز آبی خالص گیاه ($L.d^{-1}$)، A مساحت مربوط به هر بوته و GC درصد پوشش گیاهی است. آبیاری مزرعه به صورت قطره‌ای-نواری (تیپ) با فواصل خروجی ۱۰ سانتی‌متر و دبی ۲ لیتر بر ساعت انجام گردید. دور آبیاری هفت تا ده روز با توجه به شرایط رطوبتی خاک در نظر گرفته شد. حجم آب آبیاری مورد نیاز برای تیمار آبیاری کامل با استفاده از مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل روزانه کینوا و با در نظر گرفتن راندمان کاربرد آب در مزرعه (۹۵ درصد) تعیین شد. مقدار کل آب آبیاری در فصل رشد در روش آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۴۶۲۵ و ۲۰۶۲/۵ متر مکعب در هکتار بود.

بهره‌وری آب محصول دانه WP_I

بهره‌وری آب محصول دانه^۴ (WP_I) از نسبت مقدار محصول دانه به آب آبیاری اعمال شده در طول فصل رشد (معادله ۴) محاسبه گردید (Fernández et al., 2020):

$$WP_I = \frac{Y}{IWU} \quad (4)$$

که در آن WP_I بهره‌وری آب محصول دانه ($kg.m^{-3}$)، Y مقدار محصول دانه ($kg.ha^{-1}$) و IWU مقدار آب کاربردی ($m^3.ha^{-1}$) است.

ارزیابی اقتصادی

در این مطالعه با هدف ارزیابی اقتصادی کاشت ارقام مختلف کینوا، از روش‌های اقتصاد مهندسی یعنی ارزش کنونی^۵ (NPV)، و نسبت منفعت به هزینه^۶ (BCR) استفاده شد.

روش تحلیل ارزش کنونی

یکی از روش‌های متداول تحلیل اقتصادی و مقایسه پروژه‌های سرمایه‌گذاری، محاسبه معادل ارزش کنونی هر پروژه است. در این روش، گردش نقدی پیش‌بینی شده آینده را با استفاده از ضرایب ارزش کنونی پرداخت یکبار، سری یکنواخت و یا سری متغیر و حداقل نرخ قابل قبول، به معادل ارزش کنونی آن تبدیل می‌شود. سپس، این رقم با هزینه اولیه پروژه جمع شده تا معیاری برای مقایسه پروژه‌ها بدست آید.

⁴ Water Productivity

⁵ Net Present Value

⁶ Benefit-Cost Ratio

بر اساس این معیار، پروژه بهینه پروژه‌ای است که از بالاترین ارزش کنونی مثبت و یا کمترین ارزش کنونی منفی برخوردار باشد. لازم به ذکر است که هزینه‌ی پروژه به‌طور قراردادی با علامت منفی و منافع یا درآمدهای پروژه با علامت مثبت نشان داده شد. منظور از زمان کنونی، ابتدای سال شروع سرمایه‌گذاری است که در اصطلاح اقتصاد مهندسی، سال صفر نامیده می‌شود. برای تبدیل ارزش آینده F به حال از معادله (۵) استفاده شد (Sullivan et al., 2014).

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} = F(P/F, i, n) \quad (۵)$$

که در آن، P مبلغ کنونی، F ارزش آینده، i نرخ بهره و n عمر مفید اقتصادی است در این پژوهش در کشت کینوا نرخ بهره ۱۸٪ و n یک سال در نظر گرفته شده است.

روش منفعت به هزینه

در این روش، نسبت میانگین منافع احتمالی سالانه و یا معادل یکنواخت منافع احتمالی سالانه به معادل هزینه یکنواخت سالانه محاسبه شد. نسبت محاسبه شده، با معیار یک مقایسه گردید. در صورتی که این نسبت بزرگتر از یک بود پروژه قبول و در غیر این صورت رد می‌شود. در این مطالعه با استفاده از معادله (۶) معادل درآمد یکنواخت سالانه^۷ (EUAB)، و معادله (۷) معادل هزینه یکنواخت سالانه^۸ (EUAC) محاسبه گردید و بر اساس معادله (۸) نسبت منفعت به هزینه (BCR) محاسبه شد (Sullivan et al., 2014).

$$EUAB = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] = F \left(\frac{A}{F}, i\%, n \right) \quad (۶)$$

$$EUAC = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = P \left(\frac{A}{P}, i\%, n \right) \quad (۷)$$

$$BCR = \frac{EUAB}{EUAC} \quad (۸)$$

که در آن‌ها F ارزش آینده هزینه‌ها یا درآمدها، P ارزش حال هزینه‌ها یا درآمدها، A هزینه‌ها و درآمدهای یکنواخت سالانه، i نرخ بهره و n عمر مفید اقتصادی است.

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری

بهره‌وری اقتصادی آب میزان سود خالص به ازای آب آبیاری است. هدف از این روش تعیین میزان سود حاصل از هر مترمکعب آب است، جهت تعیین بهره‌وری اقتصادی آب پس از جمع‌آوری اطلاعات هزینه و درآمد، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری^۹ (EWP) بر اساس معادله (۹) محاسبه شد (Fernández et al., 2020):

$$EWP = \frac{EUAB - EUAC}{IWU} \quad (۹)$$

که در آن EWP بهره‌وری اقتصادی به ازای هر واحد حجم آبیاری (USD.m⁻³)، EUAB معادل یکنواخت درآمد سالانه و EUAC معادل یکنواخت هزینه سالانه (USD.ha⁻¹)، IWU حجم آب آبیاری کاربردی (m³.ha⁻¹) است. هزینه‌های کشت در هر هکتار کینوا در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۴۰۱ در جدول ۲ ارائه شده است.

^۷ Equivalent Uniform Annual Benefit

^۸ Equivalent Uniform Annual Cost

^۹ Economic Water Productivity

جدول ۲- هزینه‌های کشت هر هکتار کینوا (دلار) در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۴۰۱

نوع عملیات	مقدار	واحد	قیمت واحد	هزینه کل
شخم	۱	مرحله	۱۵/۵	۱۵/۵
دیسک	۱	مرحله	۱۰/۳	۱۰/۳
لولر	۱	مرحله	۱۰/۳	۱۰/۳
تیپ	۳۰۰۰	متر	۰/۰۲	۶۲۰/۶
کود شیمیایی اوره	۲۵۰	کیلوگرم	۰/۱۷	۴۳/۱
کود شیمیایی فسفات	۳۰	کیلوگرم	۰/۲۷	۸/۲۷
سم حشره کش، آفت کش و علف کش	-	لیتر	۳۲	۳۲
بذر	۸	کیلوگرم	۲/۰۶	۱۶/۵
کود پاشی	۳	نفر	۱۷/۲	۵۱/۷
سم پاشی	۳	نفر	۱۷/۲	۵۱/۷
وجین کردن	۲	نفر	۱۷/۲	۳۴/۵
تنک کردن	۲	نفر	۱۷/۲	۳۴/۵
کارگری	۱۰	نفر	۱۷/۲	۱۷۲/۴
کمباین	-	دسکاه	-	۳۴/۵
بارگیری و حمل	۳/۱	تن	۱۳/۸	۴۲/۷
هزینه متفرقه (برق و استهلاک پمپ)	-	دلار در هکتار	-	۱۰/۳
هزینه اولیه اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری	-	دلار در هکتار	-	۵۱۷/۲
جمع کل هزینه تولید	-	دلار در هکتار	-	۱۷۶۸/۶

نتایج و بحث

محصول دانه

نتایج تجزیه واریانس محصول دانه در تیمارهای مختلف نشان داد که اثر اصلی شوری آب آبیاری، کم آبیاری و رقم و برهمکنش شوری آب آبیاری و کم آبیاری اثر معنی دار در سطح پنج درصد بر محصول دانه کینوا داشته ولی برهمکنش سایر عواملها بر محصول دانه معنی دار نبوده است (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش شوری آب آبیاری و کم آبیاری در کینوا نشان داد که حداکثر مقدار محصول دانه کینوا ۳۱۰۶ کیلوگرم در هکتار در شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و آبیاری کامل بدست آمد و کمترین مقدار ۸۴۲/۸ کیلوگرم در هکتار در شوری آب آبیاری ۲۵ دسی زیمنس بر متر با ۵۰ درصد آبیاری کامل حاصل شد (جدول ۴). افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۶ به ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر در آبیاری کامل به ترتیب باعث کاهش ۵/۸۸، ۳۱/۶ و ۵۰/۳ درصد و در ۵۰ درصد آبیاری کامل باعث کاهش ۲۱/۳، ۳۶/۵ و ۴۹/۷ درصدی محصول دانه گردید.

اثر تنش خشکی و شوری بر کاهش عملکرد گیاهان زراعی به عوامل متعددی وابسته است. کاهش رشد سلولی موجب محدود شدن اندازه و توسعه اندام‌های هوایی و ریشه می‌شود و در نتیجه جذب نور نیز کاهش می‌یابد. کاهش جذب نور، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را محدود کرده و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد که در نهایت عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Okwany et al., 2012). همزمانی کمبود آب و تنش اسمزی ناشی از افت پتانسیل ماتریکس خاک می‌تواند موجب عدم تعادل یونی و کمبود عناصر غذایی گردد (Nyawade et al., 2021) پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تنش خشکی با کاهش رشد و عملکرد کینوا همراه است (Jensen et al., 2000)؛ زیرا این تنش

علاوه بر کاهش کارایی فتوسنتز به دلیل کمبود آب در سلول‌های برگ و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، موجب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود (Aziz et al., 2018; Fuentes and Bhargava, 2011). همچنین، شرایط تنش آبی جذب آب توسط ریشه را محدود کرده و به کاهش فتوسنتز، تعرق و جذب عناصر غذایی منجر می‌گردد (Nyawade et al., 2021; Bistgani et al., 2018). تجمع مواد فتوسنتزی و کاهش نرخ رشد نسبی، ناشی از دسترسی ناکافی آب، باعث کاهش عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش رطوبتی می‌شود (Jbawi et al., 2018). افزون بر این، بروز همزمان خشکی و شوری در مزرعه تنش اسمزی را تشدید کرده و انتقال مواد پرورده به دانه را محدود می‌سازد که در نتیجه محصول دانه کینوا کاهش می‌یابد.

جدول ۳- تجزیه واریانس محصول دانه و بهره‌وری آب در محصول دانه

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
بهره‌وری آب محصول دانه	محصول دانه		
۰/۰۵۱۱**	۲۸۰۹/۲۵**	۵	تکرار
۰/۹۷۰۵**	۱۰۲۵۸۴۰/۲۶**	۳	شوری
۰/۱۲۸۵**	۵۰۸۴۴۷۹/۵۹**	۱	آبیاری
۰/۰۲۸۳**	۱۴۴۷۷۰۸/۱۵**	۲	شوری × آبیاری
۰/۰۰۲۱*	۱۵۵۹/۳۳**	۳۵	شوری × آبیاری × تکرار
۰/۰۰۲۱**	۷۰۰۵/۶۰**	۲	رقم
۰/۰۰۰۳**	۴۸۴/۷۵ ^{ns}	۶	رقم × شوری
۰/۰۰۰۷**	۸۰۴۵ ^{ns}	۲	رقم × آبیاری
۰/۰۰۰۳**	۳۷۱/۲۳**	۶	رقم × شوری × آبیاری
۰/۰۰۰۰۶	۳۸۰/۵۴	۸۰	خطا
۱/۴۰۴۹	۱/۰۶۷۸		ضریب تغییرات (%)

ns, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد

جدول ۴- مقایسه میانگین محصول دانه (کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای مختلف رژیم آبیاری و شوری آب آبیاری

رژیم آبیاری		شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)
۵۰ درصد آبیاری کامل	آبیاری کامل	
۱۶۷۳/۷۸ ^d	۳۱۰۶/۱۹ ^a	۰/۶
۱۳۳۲/۲۰ ^f	۲۹۲۷/۱۷ ^b	۵
۱۰۶۹/۰۰ ^g	۲۱۲۷/۹۴ ^c	۱۵

طبق جدول ۵، اثرات اصلی رقم نشان داد که تفاوت معنی‌دار بین رقم‌های گیزاوان و T-1 در محصول دانه وجود نداشت. همان‌طور که اشاره شد، در این پژوهش حداکثر مقدار محصول دانه ۳۱۰۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و آبیاری کامل حاصل شد که با نتایج تحقیقات (Maliri et al., 2017) و (Talebnejad and Sepaskhah, 2015) مطابقت دارد. آنها نیز حداکثر مقدار محصول دانه کینوا رقم تیتیکا را در مالاوی و دانشگاه شیراز به ترتیب ۳۱۰۹ و ۳۱۱۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. همسو با نتایج این پژوهش محققان در مراکش نشان دادند افزایش شوری آب آبیاری سبب کاهش محصول دانه شد. به‌طوری که آنها مقدار کاهش محصول دانه کینوا در تیمارهای شوری آب آبیاری ۱۲ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شوری آب آبیاری ۴ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۳۱ و ۵۲ درصد گزارش کردند. از طرفی محصول دانه در شوری‌های ۳۰ و ۵۰ دسی زیمنس بر متر نسبت به شوری ۴ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۴۴ و ۹۷ درصد کاهش یافت (El Mouttaqi et al., 2023). در تحقیقی دیگر (Razzaghi et al., 2011) نشان دادند در شوری آب آبیاری ۴۰ دسی زیمنس بر متر مقدار محصول دانه کینوا در رقم تیتیکا نسبت به آب شیرین ۵۰ درصد کاهش یافت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد کم‌آبیاری باعث کاهش محصول دانه کینوا در هر سه رقم شد، که نتایج تحقیقات (Awa et al., 2024) و (Jensen et al., 2000) نیز همین مسأله را به ترتیب در رقم‌های JL-1 و تیتیکا نشان داد. در این راستا (Mirsaifi et al., 2024) در جنوب ایران نشان دادند که با اعمال کم‌آبیاری از آبیاری کامل به ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل مقدار محصول دانه کینوا در رقم تیتیکا به ترتیب ۱۲ و ۴۲/۵ درصد کاهش یافت.

جدول ۵- اثر اصلی رقم در محصول دانه (کیلوگرم در هکتار)

۱۸۴۰/۳۱ ^A	Titicaca	رقم
۱۸۱۹/۲۹ ^B	Giza1	
۱۸۲۰/۹۵ ^B	T1	

بهره‌وری آب محصول دانه

نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری آب محصول دانه در کینوا نشان داد اثر سه گانه رقم و شوری آب آبیاری و کم‌آبیاری، برهمکنش دو گانه رقم و شوری آب آبیاری، شوری آب آبیاری و کم‌آبیاری، رقم و کم‌آبیاری و اثرات اصلی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه گانه نشان داد حداکثر مقدار بهره‌وری آب محصول دانه در کینوا ۰/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب در شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و ۵۰ درصد آبیاری کامل در رقم تیتیکا (که به‌طور یکسان افزایش ۴/۷۶ درصدی نسبت به دو رقم دیگر داشت) و حداقل آن ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب در شوری آب آبیاری ۲۵ دسی زیمنس بر متر و آبیاری کامل در هر سه رقم بدست آمد (جدول ۶).

اثر برهمکنش سه گانه رقم و شوری آب آبیاری و کم‌آبیاری نشان داد در شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زیمنس بر متر در آبیاری کامل بین رقم‌ها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و مشابه این اثر در تیمارهای شوری آب آبیاری ۵، ۱۵ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر نیز مشاهده گردید. همچنین در ۵۰ درصد آبیاری کامل در شوری آب آبیاری ۵ و ۲۵ دسی زیمنس بر متر نیز نتایج مشابهی حاصل شد. در حالی که در شوری

آب آبیاری ۰/۶ دسی زمینس بر متر در ۵۰ درصد آبیاری کامل رقم تیتیکاکا با دو رقم دیگر اختلاف معنی دار داشت و در شوری آب آبیاری ۱۵ دسی زمینس بر متر رقم گیزاوان و تیتیکاکا اختلاف معنی دار داشتند. نتایج کایا و همکاران (۲۰۱۵) در ترکیه نشان داد که در ۵۰ درصد آبیاری کامل بهره‌وری آب محصول دانه در کینوا ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد در حالی در آبیاری کامل به ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب رسید (Kaya et al., 2015). اعمال کم آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب محصول دانه و افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش آن شد. این مورد با نتایج Hussain et al. (2020) که گزارش کردند شوری بر بهره‌وری آب آبیاری کینوا اثر منفی داشته است همخوانی دارد. به‌طور کلی کاهش آب مصرفی باعث افزایش بهره‌وری آب محصول دانه شده است، با این حال باید تأثیر کم آبیاری بر کاهش محصول دانه نیز در نظر گرفته شود تا بتوان تحلیل دقیقی از بهره‌وری آب ارائه کرد.

جدول ۶- مقایسه میانگین بهره‌وری آب محصول دانه (کیلوگرم بر متر مکعب) در رژیم‌های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف شوری در رقم‌های مختلف.

رژیم آبیاری	رقم	شوری آب آبیاری (دسی زمینس بر متر)			
		۰/۶	۵	۱۵	۲۵
آبیاری کامل	Titicaca	۰/۶۸ ^a	۰/۶۴ ^d	۰/۴۷ ^g	۰/۳۴ ⁱ
	Giza1	۰/۶۸ ^c	۰/۶۴ ^d	۰/۴۶ ^g	۰/۳۴ ⁱ
	T1	۰/۶۸ ^c	۰/۶۴ ^d	۰/۴۶ ^g	۰/۳۴ ⁱ
	Titicaca	۰/۸۴ ^a	۰/۶۴ ^d	۰/۵۳ ^e	۰/۴۱ ^h
۵۰ درصد آبیاری کامل	Giza1	۰/۸۰ ^b	۰/۶۴ ^d	۰/۴۹ ^f	۰/۴۰ ^h
	T1	۰/۸۰ ^b	۰/۶۴ ^d	۰/۵۱ ^{ef}	۰/۴۰ ^h

تحلیل اقتصادی

محاسبات اقتصادی کینوا با در نظر گرفتن قیمت فروش ۲/۰۶ دلار به ازای هر کیلوگرم (۶۰۰ هزار ریال به ازای هر کیلوگرم) در هر سه رقم محاسبه گردید. با توجه به نتایج ارزیابی اقتصادی کشت کینوا بیشترین مقدار ارزش کنونی، نسبت منفعت به هزینه و بهره‌وری اقتصادی آب در تیمار آبیاری کامل با شوری آب آبیاری ۰/۶ دسی زمینس بر متر حاصل شد. از طرفی در تیمار آبیاری کامل در سطوح مختلف شوری آب آبیاری به جز تیمار شوری آب آبیاری ۲۵ دسی زمینس بر متر نسبت منفعت به هزینه بیشتر از یک و بهره‌وری اقتصادی آب نیز عدد مثبتی حاصل شد. در حالی که در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل در همه سطوح شوری آب آبیاری نسبت منفعت به هزینه کمتر از یک و بهره‌وری اقتصادی آب عدد منفی بدست آمد. بنابراین از لحاظ نسبت منفعت به هزینه و بهره‌وری اقتصادی آب تیمار شوری آب آبیاری ۲۵ دسی زمینس بر متر در آبیاری کامل و تیمار ۵۰ درصد کم آبیاری در سطوح مختلف شوری آب آبیاری توجیه اقتصادی ندارد (جدول ۷). در آبیاری کامل، با توجه به اینکه محصول دانه در تمام سطوح شوری آب آبیاری نسبت به شرایط کم آبیاری مقدار بیشتری دارد، کشت کینوا از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سود حاصل از کشت کینوا تحت آبیاری کامل و شوری آب تا ۱۵ دسی زمینس بر متر اقتصادی است. کینوا یک گیاه شوری پسند است و طبق این پژوهش مقاومت آن به تنش خشکی زیاد نمی‌باشد. محققان در هند نسبت منفعت به هزینه را در روش آبیاری قطره‌ای با تأمین نیاز آبی گیاه کینوا با قیمت فروش بازار ۱۲۰ روپیه به ازای هر کیلوگرم، ۶/۴ گزارش کردند (Kadam et al., 2018). هم‌چنین محققان در ایتوبی با مقدار محصول دانه ۱۰۶۷/۸ کیلوگرم در هکتار نسبت منفعت به هزینه در کینوا را ۱/۷ گزارش کردند (Mihiretu and Ayen, 2023). در این راستا Talebnejad and Sepaskhah (2016) در شیراز و Mansour et al. (2020) در مصر نشان دادند کشت کینوا مقرون به صرفه است. نتایج نشان داد با کم آبیاری به دلیل کاهش محصول دانه کینوا، نسبت منفعت به هزینه و بهره‌وری اقتصادی آب به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. بر اساس نتایج اثر اصلی رقم در محصول دانه نیز ارزیابی اقتصادی صورت گرفت تا به مقایسه سود اقتصادی ارقام مختلف نیز پرداخته شود. طبق نتایج این پژوهش، نسبت منفعت به هزینه در رقم تیتیکاکا ۱/۱۵ و در دو رقم گیزاوان و T-1 نیز ۱/۱۳ حاصل شد (جدول ۸).

جدول ۷- تحلیل اقتصادی کشت کینوا در رژیم‌های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف شوری آب آبیاری در منطقه باجگاه استان فارس در سال ۱۴۰۱.

بهره‌وری اقتصادی آب (دلار بر متر مکعب)	نسبت منفعت به هزینه	معادل درآمد یکنواخت سالیانه (دلار)	معادل هزینه یکنواخت سالیانه (دلار)	ارزش کنونی (دلار)	محصول دانه (کیلوگرم بر هکتار)	شوری آب آبیاری	رژیم‌های آبیاری
۰/۶۴	۲/۶۹	۴۷۷۲/۶	۱۷۶۸/۶	۴۳۶۶/۸	۳۱۰۶/۱۹	۰/۶	آبیاری کامل
۰/۵۶	۲/۴۸	۴۳۹۸/۸	۱۷۶۸/۶	۴۰۳۴/۷	۲۹۲۷/۱۷	۵	
۰/۱۹	۱/۵	۲۶۷۰	۱۷۶۸/۶	۲۴۴۲/۹	۲۱۲۷/۹۴	۱۵	
-۰/۰۷	۰/۷۹	۱۴۱۰/۴	۱۷۶۸/۶	۱۲۹۰/۵	۱۵۴۵/۶۷	۲۵	
-۰/۱	۰/۸۷	۱۶۸۷/۶	۱۷۶۸/۶	۱۵۴۴	۱۶۷۳/۷۸	۰/۶	۵۰ درصد آبیاری کامل
-۰/۴	۰/۵۲	۹۳۷	۱۷۶۸/۶	۸۴۸/۲	۱۳۳۲/۲۰	۵	
-۰/۶	۰/۲	۳۷۱/۱	۱۷۶۸/۶	۳۳۹/۵	۱۰۶۵/۱۷	۱۵	
-۰/۹	-۰/۰۶	-۱۰۹/۷	۱۷۶۸/۶	-۱۰۰/۳	۸۴۲/۸۸	۲۵	

جدول ۸- تحلیل اقتصادی ارقام کینوا در منطقه باجگاه استان فارس در سال ۱۴۰۱.

بهره‌وری اقتصادی آب (دلار بر متر مکعب)	نسبت منفعت به هزینه	معادل درآمد یکنواخت سالیانه (دلار)	معادل هزینه یکنواخت سالیانه (دلار)	ارزش کنونی (دلار)	محصول دانه (کیلوگرم بر هکتار)	رقم
۰/۰۵۸	۱/۱۵	۲۰۴۷/۱	۱۷۶۸/۶	۱۸۷۳	۱۸۴۰	Titicaca
۰/۰۴۸	۱/۱۳	۲۰۰۱/۷	۱۷۶۸/۶	۱۸۳۱/۵	۱۸۱۹	Giza-1
۰/۰۴۸	۱/۱۳	۲۰۰۳/۸	۱۷۶۸/۶	۱۸۳۳/۴	۱۸۲۰	T-1

نتیجه‌گیری

طبق نتایج این پژوهش، در شرایط کمبود آب، نسبت منفعت به هزینه در تمام سطوح شوری کمتر از یک بوده و کشت کینوا از نظر اقتصادی توجیه ندارد، در حالی که تحت آبیاری کامل و تا شوری آب آبیاری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، کشت آن همچنان اقتصادی است. نتایج نشان داد که کینوا در این شرایط شوری قادر به تولید محصول با توجیه اقتصادی است، در حالی که اعمال ۵۰ درصد آبیاری کامل باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه و کاهش سودآوری اقتصادی می‌شود. این یافته‌ها نشان‌دهنده مقاومت بالاتر کینوا به شوری آب نسبت به کم‌آبیاری است. طبق نتایج این پژوهش بر اساس نسبت منفعت به هزینه و سود خالص به ازاء حجم آب مصرفی در آبیاری کامل با افزایش شوری آب آبیاری تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز کاشت کینوا در منطقه مورد نظر از لحاظ اقتصادی به صرفه است. از این رو، گیاه کینوا به دلیل

مقاومت بالا در برابر شوری آب آبیاری می‌تواند در منطقه مورد نظر به‌عنوان یک کشت سودآور و اقتصادی برای بهبود مدیریت مصرف آب در شرایط وجود آب نامتعارف با آبیاری کامل پیشنهاد گردد. با توجه به نتایج اثر اصلی رقم نیز نسبت منفعت به هزینه در هر سه رقم بزرگتر از یک تعیین شد، این رو می‌توان به این نتیجه رسید که کینوا در رقم‌های تیتیکاکا، گیزاوان و T-1 در شرایط شوری آب آبیاری قادر به حفظ محصول خود است و به‌عنوان یک انتخاب مناسب برای سودآوری اقتصادی در شرایط خشکسالی و کاهش منابع آبی می‌توان کشت نمود. به طور کلی در شرایط کمبود آب شیرین در دسترس، ضمن در نظر گرفتن مدیریت شوری خاک، کاربرد آب شور تا سطح ۱۵ دسی زیمنس بر متر در آبیاری کامل توجیه‌پذیری اقتصادی دارد.

منابع

اسدی، هرمز؛ محمودی، مریم و زارع، شجاعت. (۱۴۰۰). تعیین سودآوری و بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی در تولید محصولات زراعی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵(۶)، ۱۴۰۴-۱۴۱۱.

بذرافشان، جواد؛ خللی، علی؛ زندپارسا، شاهرخ؛ سپاسخواه، علیرضا؛ علیزاده، امین و فرهودی، جواد. (۱۴۰۰). بررسی اسنادی وضعیت منابع و مصارف آب کشاورزی در ایران: تحلیل وضعیت موجود، آسیب‌شناسی و راه‌های برون‌رفت از چالش‌ها. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱(۶)، ۳۵-۵۰.

جمالی، صابر؛ انصاری، حسین و صالح‌نیا، نرگس. (۱۴۰۰). تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان برای کشت کینوا. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۸(۲)، ۱-۱۴.

درگاهی، محمدرضا؛ جهان، محسن؛ ناصری‌پور یزدی، محمدتقی و قربانی، رضا. (۱۳۹۵). ارزیابی بیان انرژی و تحلیل اقتصادی کلزا در استان گلستان. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۳۹(۳)، ۵۰-۶۲.

علیشاهی، ف. ۱۴۰۱. برهمکنش شوری آب آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر رشد و محصول کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز.

علیخانی مهوار، حجت؛ بابازاده، حسین؛ قدمی فیروزآبادی، علی و سرائی تبریزی، مهدی. (۱۴۰۳). ارزیابی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب تحت شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه گیاه آفتابگردان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۸(۴)، ۶۵۵-۶۶۵.

REFERENCES

- Awa, M., Zhao, J., & Tumaerbai, H. (2024). Deficit Irrigation-Based Improvement in Growth and Yield of Quinoa in the Northwestern Arid Region in China. *Sustainability*, 16(10), 4136.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: food and agriculture organization of the United Nations, 56(97), e156.
- Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192-203.
- Alikhani-Mahvar, H., Babazadeh, H., Ghadami Firoozabadi, A., & Sarai Tabrizi, M. (2024). Evaluation of physical and economic water productivity under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying of sunflower crop. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 18(4), 665-655. (In Persian)
- Asadi, H., Mahmoodi, M., & Zare, S. (2022). Determining profitability and the economic productivity of agricultural water in crop production. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6), 1404-1411. (In Persian)
- Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., ... & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the "golden grain" and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216.
- Bahrami, M., Talebnejad, R., Sepaskhah, A. R., & Bazile, D. (2022). Irrigation regimes and nitrogen rates as the contributing factors in quinoa yield to increase water and nitrogen efficiencies. *Plants*, 11(15), 2048.
- Bazrafshan, J., Khalili, A., Zad-Parsa, S., Sepaskhah, A. R., Alizadeh, A., & Farhoodi, J. (2021). Documentary study of the situation of agricultural water resources and uses in Iran: Analysis of the current situation, pathology and solutions to the challenges. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(1), 35-50. (In Persian)
- Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Maggi, F., et al. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Ind. Crop. Prod.* 121, 434-440.

- Bhavsar, D., Limbasia, B., Mori, Y., Aglodiya, M. I., & Shah, M. (2023). A comprehensive and systematic study in smart drip and sprinkler irrigation systems. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100303.
- Dargahi, M. R., Jahan, M., Naseripour Yazdi, M. T., & Ghorbani, R. (2016). Evaluation of energy balance and economic analysis of rapeseed in Golestan province. *Applied Agricultural Research*, 29(3), 50-62. (In Persian)
- Elsouhaimy, S. A., Refaay, T. M., & Zaytoun, M. A. M. (2015). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305.
- Fuentes, F., & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(2), 124-134.
- Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., & Cuevas, M. V. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high-density olive tree orchard. *Agricultural water management*, 237, 106074.
- Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2011). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 185-193.
- Huang, M., Zhang, Z., Zhu, C., Zhai, Y., & Lu, P. (2019). Effect of biochar on sweet corn and soil salinity under conjunctive irrigation with brackish water in coastal saline soil. *Scientia Horticulturae*, 250, 405-413.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Ahmed, M., Asghar, M. A., & Al-Dakheel, A. J. (2020). Agro-morphological, yield and quality traits and interrelationship with yield stability in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under saline marginal environment.
- Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., Andersen, M. N., Nunez, N., Andersen, S. D., Rasmussen, L., & Mogensen, V. O. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European journal of Agronomy*, 13(1), 11-25.
- Jbawi, E. A., Danoura, R., & Yaacoub, A. (2018). Effect of deficit irrigation and manure fertilizer on improving growth and yield of quinoa in Syria. *Open Acc J Agri Res: OAJAR-100007*, 2018(01).
- Jamali, S., Ansari, H., & Salehnia, N. (2022). Economic productivity analysis of water and nitrogen in alternate furrow irrigation for quinoa. *Water Management in Agriculture*, 8(2), 1-14. (In Persian)
- Kadam, V. P., Devi, K. S., Hussain, S. A., & Devi, M. U. (2018). Growth, yield attributes, yield and economics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as influenced by variable irrigation water supply through drip and surface methods. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), 3428-3438.
- Kaya, Ç. I., Yazar, A., & Sezen, S. M. (2015). SALTMED model performance on simulation of soil moisture and crop yield for quinoa irrigated using different irrigation systems, irrigation strategies and water qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 108-118.
- Li, X., Kang, Y., Wan, S., Chen, X., & Chu, L. (2015). Reclamation of very heavy coastal saline soil using drip-irrigation with saline water on salt-sensitive plants. *Soil and Tillage Research*, 146, 159-173.
- Liu, Z., Li, P., Hu, Y., & Wang, J. (2015). Wetting patterns and water distributions in cultivation media under drip irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 200-208.
- Mansour, S. F. (2020). The economics study of quinoa production to reduce food poverty gap in new valley Governorate-Egypt. *EPH-International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 6(2), 23-29.
- Moghimi, M. M., & Sepaskhah, A. R. (2015). Consideration of water productivity for farm water management in different conditions of water availability for dominant summer crops. *Iran Agricultural Research*, 33(2), 47-62.
- Mirsafi, S. M., Sepaskhah, A. R., & Ahmadi, S. H. (2024). Physiological traits, crop growth, and grain quality of quinoa in response to deficit irrigation and planting methods. *BMC Plant Biology*, 24(1), 809.
- Mihiretu, A., & Ayen, K. (2023). A Cost-benefit Analysis of the Advantages of Quinoa Compared with Major Competing Crops in Wag-Himira Zone, Ethiopia. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 70(4), 401-410.
- Maliro, M. F., Guwela, V. F., Nyaika, J., & Murphy, K. M. (2017). Preliminary studies of the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of Central Malawi. *Frontiers in Plant Science*, 8, 227.
- Mehdi, C., & Abdelaziz, H. (2018). Analysis of International Market of Quinoa based products. In *Conference: Managing Water Scarcity in River Basins: Innovation and Sustainable Development*, Agadir, Morocco.
- Nyawade, S. O., Gitari, H. I., Karanja, N. N., Gachene, C. K., Schulte-Geldermann, E., & Parker, M. L. (2021). Yield and evapotranspiration characteristics of potato-legume intercropping simulated using a dual coefficient approach in a tropical highland. *Field Crops Research*, 274, 108327.
- Ouma, G., Wanyama, J., Kabenge, I., Jjagwe, J., Diana, M., & Muyonga, J. (2024). Assessing the effect of deficit drip irrigation regimes on crop performance of eggplant. *Scientia Horticulturae*, 325, 112648.
- Okwany, R. O., Peters, R. T., Ringer, K. L., & Walsh, D. B. (2012). Sustained deficit irrigation effects on peppermint yield and oil quality in the semi-arid pacific northwest, USA. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(4), 551-558.

- Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*, 109, 20-29.
- Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., & Andersen, M. N. (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.
- Ruiz, K. B., Biondi, S., Martínez, E. A., Orsini, F., Antognoni, F., & Jacobsen, S. E. (2016). Quinoa—a model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150(2), 357-371.
- Small, E. (2013). 42. Quinoa—is the United Nations' featured crop of 2013 bad for biodiversity?. *Biodiversity*, 14(3), 169-179.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2014). Decision Making Considering Multiattributes. *Engineering Economy* (16th ed., p. 580). Harlow, England: Pearson.
- Telahigue, D. C., Yahia, L. B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 1, 222-232.
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2015). Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management*, 148, 177-188.
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2016). Physiological characteristics, gas exchange, and plant ion relations of quinoa to different saline groundwater depths and water salinity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(10), 1347-1367.
- Vasconcelos, E. S. D., Echer, M. D. M., Kliemann, M. A., & Lang, M. J. (2019). Selection and recommend of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes based on the yield genotypic adaptability and stability. *Revista Ceres*, 66, 117-123.
- Zhang, Y., Hou, K., Qian, H., Gao, Y., Fang, Y., Xiao, S., & Ren, W. (2022). Characterization of soil salinization and its driving factors in a typical irrigation area of Northwest China. *Science of the Total Environment*, 837, 155808.

Evaluation of Economic Water Productivity in Quinoa Cultivation Using Saline Water and Deficit Irrigation in a Tape Drip Irrigation System in Fars Province

Extended Abstract

Introduction

Agriculture remains a cornerstone of the economy in many developing countries, contributing significantly to gross domestic product and ensuring food security. In Iran, agricultural development faces particular challenges due to water scarcity, as national rainfall averages only one-third of the global mean and its temporal and spatial distribution often misaligns with agricultural demand. Furthermore, water salinity has emerged as a major global environmental issue. One approach to mitigating salinity stress is the cultivation of salt-tolerant crops, such as quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), which can thrive in highly saline conditions. In addition, drip irrigation particularly tape drip systems offer advantages such as reduced water loss, and improved crop quality. It enables precise and uniform water application directly to the root zone, helping maintain matric potential and mitigating osmotic stress associated with saline irrigation. Quinoa is a resilient crop with high nutritional value, exceptional adaptability to harsh environmental conditions, and potential to enhance food and nutritional security, especially in arid and semi-arid regions. Its high market value and low production costs make it a promising option for sustainable agriculture. However, salt tolerance varies among quinoa cultivars, and limited research exists on its field performance under drip irrigation systems in saline and deficit irrigation conditions, particularly in Iran. Given this context, the present study aimed to assess seed yield, water productivity, economic evaluation, and determine economic water productivity of quinoa cultivated with saline water and under deficit irrigation using a tape drip system in the Bajgah region of Fars Province.

Materials and Methods

A field experiment was conducted at the Research Farm of the Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University (located in Bajgah, 16 km north of Shiraz; 32°52' N, 32°29' E; elevation: 1810 m above sea level). The study followed a factorial-split plot design in a randomized complete block with three replications. The treatments included: Four irrigation water salinity levels: 0.6, 5, 15, and 25 dS.m⁻¹ (designated EC1 to EC4), Two irrigation levels: full irrigation (FI) and 50% of full irrigation (0.5FI), Three quinoa cultivars: Titicaca, T1, and Giza-1. Irrigation was applied using a tape drip system with emitters spaced at 10 cm intervals and a discharge rate of 2 L.ha⁻¹. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and the LSD test for mean comparisons, performed in SAS 9.4. To evaluate the economic feasibility of quinoa cultivation under the experimental treatments, engineering economic methods including net present value (NPV), and benefit-cost ratio (BCR) were employed.

Results and Discussion

The highest seed yield (3106 kg.ha⁻¹) was observed under full irrigation with 0.6 dS.m⁻¹ irrigation water salinity. Under full irrigation, seed yield declined by 5.88%, 31.6%, and 50.3% with increasing irrigation water salinity (from 0.6 to 5, 15, and 25 dS.m⁻¹, respectively). Under deficit irrigation, yield reductions were more pronounced 21.3%, 36.5%, and 49.7% for the same irrigation water salinity levels. Water productivity improved under deficit irrigation but decreased with rising irrigation water salinity. The maximum water productivity (0.84 kg.m⁻³) was achieved by the Titicaca cultivar under 50% irrigation with 0.6 dS.m⁻¹ salinity. In contrast, the lowest value (0.34 kg.m⁻³) occurred at 25 dS.m⁻¹ salinity with full irrigation.

For economic evaluation, a quinoa selling price of \$2.06 per kg was assumed. The highest NPV, BCR, and economic water productivity were recorded under full irrigation and 0.6 dS.m⁻¹ salinity. The BCR exceeded one for all salinity levels under full irrigation, except at 25 dS.m⁻¹. Under deficit irrigation, the BCR was below one across all salinity levels due to significant yield losses. Notably, even under salinity levels as high as 15 dS.m⁻¹, quinoa cultivation under full irrigation remained economically viable. Among the cultivars, Titicaca exhibited the highest economic performance with a BCR of 1.15, followed by Giza-1 and T1, both with a BCR of 1.13.

Keywords: Benefit-cost ratio, Drought stress, Irrigation water quality, Water productivity