نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۴۲۷-۴۱۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 414-427

مقاله پژوهشی

اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا

صابر جمالی[۱]، حسین انصاری[۲]، بهناز هادی[۳]، عباس صفری زاده ثانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) گیاهی است باارزش غذایی مطلوب و پتانسیل تولید مناسب در شرایط نامساعد محیطی که در برابر خشکی تحمل بالایی دارد. به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارهای موردبررسی در این پژوهش ۷ تیمار شامل آبیاری جویچه‌ای مرسوم (TFI)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت (FAFI) و متناوب (VAFI)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان گلدهی و آبیاری جویچه‌ای مرسوم در دوره‌های دیگر (FTT)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی و آبیاری جویچه‌ای مرسوم در دوره‌های دیگر (VTT)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان دانه بستن و آبیاری جویچه‌ای مرسوم در دوره‌های دیگر (FFT) و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان دانه بستن و آبیاری جویچه‌ای مرسوم در دوره‌های دیگر (VVT) بودند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات طول سنبله، قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن سنبله، عملکرد دانه، عملکرد در واحد سطح و بهره‌وری فیزیکی آب (در سطح یک درصد) و بر عرض سنبله (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار شد. همچنین بیشترین عملکرد در واحد سطح (۲/۱۷ تن در هکتار)، عملکرد دانه (۱۸/۱ گرم در بوته)، متوسط ارتفاع بوته (۱۱۳/۳ سانتی‌متر) و بهره‌وری فیزیکی آب (۰/۴۱ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار آبیاری جویچه‌ای مرسوم مشاهده شد استفاده از تیمارهای FAFI، FTT، FFT، VAFI، VTT و VVT سبب کاهش ۳۵/۴، ۲۴/۳، ۳۲/۰، ۲۳/۲، ۱۳/۸ و ۱۷/۷ درصد (عملکرد دانه) نسبت به تیمار TFI شد. اعمال تیمارهای آبیاری FAFI، FFT و FTT سبب کاهش بهره‌وری فیزیکی آب به میزان ۱۹/۵، ۱۴/۶ و ۲/۴ درصد و اعمال تیمارهای آبیاری VAFI، VTT و VVT نیز سبب افزایش ۲/۴، ۱۴/۶ و ۲۴/۴ درصدی بهره‌وری فیزیکی آب نسبت به تیمار TFI شد. بهترین تیمار برای آبیاری کینوا در شرایط مزرعه‌ای، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی و آبیاری جویچه‌ای مرسوم در دوره‌های دیگر (VTT) است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی آب، تابع تولید، خشکی ناحیه ریشه، رقم Titicaca، عملکرد دانه

مقدمه

بسیاری از عوامل محیطی بر روی رشد، عملکرد و کیفیت گیاه تأثیر می‌گذارند که بارزترین آن‌ها تنش خشکی است (Tawfik and El-Mouhamady, 2019; Iqbal et al., 2020). از طرفی افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش تولید محصولات کشاورزی از یک‌سو و کاهش نزولات جوی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی از سوی دیگر فشار زیادی بر منابع آبی ایران به‌عنوان مهم‌ترین نهاده کشاورزی وارد کرده است. محدودیت منابع آبی کشور و همچنین استفاده صنایع مختلف از منابع آب موجود، اهمیت استفاده بهینه از آب را دوچندان کرده است؛ بنابراین شناخت و استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب جهت افزایش عملکرد ضروری به نظر می‌رسد (اردلان و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از روش‌های مدیریتی که می‌توان به آن اشاره نمود کم‌آبیاری است که هدف آن افزایش راندمان کاربرد آب از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت است. کم‌آبیاری تنظیم‌شده از

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران
۲- استاد، علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران
۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران
۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ansary@um.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.6.8

فن‌های توسعه‌یافته در شرایط کمبود آب در سال‌های اخیر است. کم‌آبیاری به روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان از روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب است که به‌صورت ثابت یا متغیر قابل‌اجرا است (نوری و برومند نسب، ۱۳۸۸؛ مولوی و همکاران، ۱۳۹۰). درروش آبیاری جویچه‌ای متناوب، در هر بار آبیاری تنها یکی از جویچه‌های اطراف گیاه آبیاری شده و جویچه‌ی دیگر خشک است، به‌طوری‌که این روش باعث کاهش تبخیر آب از سطح خاک می‌شود، ولی درروش آبیاری جویچه‌ای معمول تمامی جویچه‌ها آبیاری می‌شوند (Sepaskhah and Parand, 2006).

در پژوهش‌های مختلفی اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب گزارش‌شده است که در ادامه به برخی از این آزمایش‌ها اشاره‌شده است. در پژوهشی که در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب، واقع در مشکین‌دشت کرج توسط صمصامی پور و همکاران (۱۳۹۵) روی گیاه ذرت انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل جویچه‌ها در کل دوره‌ی رشد) باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیستی و عملکرد خشک بلال با چوب نشد، از طرفی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب در کلیه تیمارها نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهش دیگری که در استان مازندران روی ذرت علوفه‌ای انجام شد، نتایج نشان داد که در تیمارهای آبیاری یک‌درمیان متناوب، مصرف آب نسبت به تیمار آبیاری معمول کاهش یافت درحالی‌که کاهش عملکرد معنی‌دار نبود، همچنین بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار آبیاری یک‌درمیان متناوب مشاهده شد (اکبری نودهی، ۱۳۹۳). دهقانی و همکاران (۱۳۹۸) در آزمایشی به بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای بر صرفه‌جویی و بهره‌وری مصرف آب ذرت علوفه‌ای در اصفهان پرداختند، تیمارها شامل آبیاری کامل جویچه‌ها، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت بود. نتایج نشان داد که با اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان تا مرحله برداشت ۳۹/۱۲ درصد در آب کاربردی صرفه‌جویی شد و مقادیر بهره‌وری مصرف آب نیز ۳۷ درصد در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب و ۲۷ درصد در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت افزایش یافت. در پژوهشی دیگر در کشور بنگلادش سارکر و همکاران به بررسی روش‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای روی گیاه ذرت پرداخته و نشان دادند که اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب در شرایط محدودیت تأمین آب، باعث بهبود در بهره‌وری مصرف آب گیاه شده است؛ این در حالی است که با اعمال این روش عملکرد دانه ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش نیافت (Sarker et al., 2020). در پژوهش دیگری که توسط خلیلی و همکاران در کرج و به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان روی گیاه ذرت انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد علوفه، تعداد دانه و وزن هزار دانه شد ولی بهره‌وری آب را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Khalili et al., 2020). در پژوهشی که سارکر و همکاران در بنگلادش به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای (آبیاری جویچه‌ای کامل، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت) روی گیاه سیب‌زمینی انجام دادند، نتایج نشان داد که اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب باعث کاهش عملکرد ماده خشک سیب‌زمینی شد که نسبت به تیمار شاهد (آبیاری جویچه‌ای کامل) تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب باعث کاهش ۳۵ درصدی مصرف آب شد و بهره‌وری مصرف آب را به میزان ۵۰ درصد افزایش داد (Sarker et al., 2019).

جمالی و همکاران (۱۳۹۸) اثر تنش دوره‌ای آبی بر روی کینوا لاین NSRCQ-1 در شرایط گلخانه‌ای را در مشهد موردبررسی قرار داده و نشان دادند که کاهش آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد در تیمارهای رویشی، گلدهی، دانه‌بستن و کل دوره رشد منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه به میزان ۱۹/۰، ۹/۰، ۴/۵ و ۲۶/۶ درصد و عملکرد دانه به میزان ۱۹/۳، ۱۱/۸، ۷/۵ و ۲۱/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش) شد. همچنین آن‌ها اظهار داشتند که بهترین تابع تولید آب مصرفی–عملکرد در شرایط تیماری مورداستفاده تابع تولید درجه دوم است. لازم به ذکر است که نتایج پژوهش این محققین نشان‌دهنده‌ی افزایش بهره‌وری مصرف آب در شرایط اعمال تنش است، به‌طوری‌که بیشترین میزان بهره‌وری در شرایط اعمال تنش در کل دوره رشد (۲/۱۴ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد. در پژوهشی دیگر که در شرایط گلخانه‌ای و در مشهد انجام شد، نتایج نشان داد که با کاهش ۵۰ درصد میزان آب آبیاری از تیمار FI به تیمار PRD، وزن هزار دانه ۹/۱ درصد کاهش یافت، بیشترین و کمترین وزن هزار دانه گیاه به ترتیب ۴/۰ و ۳/۶ گرم در بوته در تیمارهای FI و PRD به دست آمد. عملکرد دانه با تغییر مدیریت آبیاری از تیمار FI به PRD، ۱۰/۲ درصد کاهش داشت و حداکثر و حداقل مقدار آن به ترتیب در تیمارهای FI (۱۹/۷ گرم در بوته) و PRD (۱۷/۷ گرم در بوته) اندازه‌گیری شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹).

جباوی و همکاران در سوریه بر روی گیاه کینوا پژوهشی را انجام داده و نشان دادند که کم‌آبیاری به میزان ۲۰ درصد نیاز آبی منجر به افزایش عملکرد دانه (۳/۰ درصد) و ارتفاع (۳/۵ درصد) شده است، همچنین ایشان اظهار داشتند که افزایش شدت تنش از ۲۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش عملکرد دانه (۰/۶ درصد) و ارتفاع (۱۳/۵ درصد) می‌شود (Jbawi et al., 2018). در تحقیقی دیگر علی و همکاران نشان دادند که کاهش میزان آب آبیاری منجر به کاهش طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی عربستان سعودی در سطح احتمال ۵ درصد شد (Aly et al., 2018). علی و همکاران در کشور مراکش

پژوهشی را بر روی کینوا اجرا کرده و نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به کاهش ارتفاع، هدایت روزنه‌ای، RWC و محتوای کلروفیل برگ در طول رشد گیاه شده است (Ali et al., 2019). در پژوهشی که در کشور بورکینافاسو بر روی گیاه کینوا انجام‌شده بود، نتایج نشان داد که اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه و ارتفاع بوته نسبت به آبیاری کامل شده است. نتایج پژوهش این محققین نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل منجر به افزایش کارایی مصرف آب، شده است (Alvar-Beltrán et al., 2019). در پژوهشی دیگر که در چین بر روی گیاه کینوا انجام‌شده، نتایج نشان داد که اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری سبب کاهش ارتفاع بوته به میزان ۱۹/۴ (کم‌آبیاری) و ۱۲/۱ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب)، زیست‌توده هوایی به میزان ۲۸/۹ (کم‌آبیاری) و ۱۹/۱ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب) و عملکرد دانه به میزان ۲۹/۴ (کم‌آبیاری) و ۲۲/۴ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب) شد (Yang et al., 2020).

ازآنجایی‌که گیاه کینوا به سایر تنش‌های محیطی مقاوم بوده (Jacobsen et al., 2009) و این گیاه می‌تواند به امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند و همچنین پژوهشی در شرایط اقلیمی مشهد با استفاده از آبیاری بخشی ریشه در مراحل مختلف رشدی روی این گیاه انجام‌نشده، انجام این پژوهش ضروری است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات روش‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بهره‌وری مصرف آب و پارامترهای رشدی کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی زمین

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. مساحت زمین در نظر گرفته‌شده برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای حدود ۳۶۰ مترمربع (۳۰ متر در ۱۲ متر) بود. آزمایش در ۲۱ کرت به ابعاد سه × سه (مترمربع) اجرا شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به طول سه متر بود. جهت آماده‌سازی زمین برای کاشت، دومرتبه شخم نیمه‌عمیق (شخم اول در پاییز سال قبل و شخم دوم در بهار) زده شد و پس‌ازآن عملیات کولتیواتور، دیسک و لولر در بهار برای تکمیل فرایند آماده‌سازی زمین صورت گرفت. قبل از کشت و پس از آماده‌سازی زمین نمونه مرکبی از خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی از چند نقطه از زمین تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱). در جدول (۲) کیفیت آب آبیاری ارائه‌شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	EC	pH	کربن آلی	ماده آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
		dS/m		(%)			ppm	
۳۰-۰	Silty loam	۰/۵۸	۷/۹۲	۰/۶۲	۱/۰۷	۰/۰۵۸	۲۹/۲	۱۸۶/۰

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی آب مورداستفاده

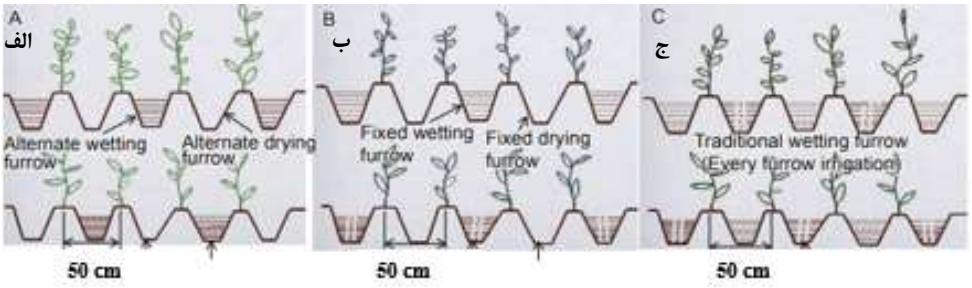
کیفیت آب	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	pH	EC
	(meq/lit)								dS/m
آب چاه	۳/۷	۰/۰	۳/۱	۲/۶	۳/۰	۱/۹	۴/۴	۷/۹	۰/۹۳

خصوصیات گیاه کینوا

گیاه کینوا بانام علمی (Chenopodium quinoa Willd) گیاهی یک‌ساله و دارای شباهت ظاهری با علف هرز سلمک یا سلمه‌تره است. این گیاه به مادر دانه‌ها معروف است و جزو خانواده تاج‌خروسیان (*Amaranthaceae*) و زیر خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) بوده و شرایط رشد و برگ‌های آن شبیه اسفناج است. علاوه بر دانه آن، از برگ گیاهان جوان به‌عنوان سبزی تازه و یا به‌صورت پخته استفاده می‌شود. این گیاه دارای سیستم ریشه‌ای قوی بوده و نسبت به استرس خشکی مقاوم است. طول دوره رشد این گیاه بین ۹۰ تا ۱۲۵ روز متغیر است. اهمیت غذایی کینوا مربوط به پروتئین بالا، ترکیب کامل و متعادل اسیدآمینه‌ها، کلسیم، پتاسیم، فسفر، منیزیم و آهن بالا و سدیم پایین است که باعث محبوبیت آن شده است. این گیاه ارزشمند و با خاصیت دارویی و غذایی مطلوب، بومی کشورهای کوهپایه‌ای مانند بولیوی، پرو، اکوادور و شیلی در آمریکای جنوبی است. کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا و توازن اسیدآمینه‌ای بسیار مطلوبی که دارد توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO[1]) با شیر خشک مقایسه شده است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه بذرهای رقم Titicaca در عمق یک و نیم سانتی‌متری خاک و به

1- Food and Agriculture Organization

فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر و بافاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر (تراکم بوته در هر کرت ۱۲۰ بوته بود)، در تاریخ ۵ مرداد ۱۳۹۷ کاشته شدند و پس از ۱۰ روز جوانه زدند.



شکل ۱- شماتیکی از آبیاری جویچه‌ای الف) مرسوم، ب) یک‌درمیان متناوب و ج) یک‌درمیان ثابت

معرفی تیمارها و مرحله داشت

برای اجرای این پژوهش از طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد و تیمارهای موردبررسی شامل آبیاری جویچه‌ای مرسوم TFI[1]، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت در کل دوره رشد FAFI[2] (در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت آبیاری می‌شد)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب در کل دوره رشد VAFI[3] (در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت آبیاری می‌شد)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان گلدهی FTT(در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان گلدهی آبیاری می‌شد و پس‌ازآن تمامی جویچه‌ها آبیاری می‌شدند)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان دانه بستن FFT (در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان دانه بستن آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی VTT (در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان گلدهی آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان دانه بستن VVT (در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان دانه بستن آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد) بود (جدول ۳). لازم به ذکر است که شماتیکی از طرح در شکل (۱) ارائه‌شده است.

در این پژوهش به‌صورت سرک و مرحله‌ای، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به گیاهان داده شد (به میزان ۲۵ درصد قبل از کشت، ۵۰ درصد در زمان شروع نمایان شدن گل‌آذین و ۲۵ درصد دیگر در زمان دانه بستن). دور آبیاری برای این پژوهش بر اساس شرایط زارعین و شرایط رایج در منطقه (با توجه به اینکه کشت عمده در این مزرعه ذرت بوده، مدار آبیاری بر اساس آن تنظیم شد)، هفتگی بود. برای تعیین متوسط مقدار تبخیرتعرق گیاه در مراحل مختلف رشد، از داده‌های ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه استفاده و مقدار تبخیر تعرق گیاه بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد (لازم به ذکر است که برای تعیین K_c، مقادیر جدول (۵) مورداستفاده قرار گرفت.) که برای این منظور در ابتدا ضریب تشت با استفاده از روش پیشنهادی در نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن‌که عاری از گیاه بوده (به‌طور میانگین ۰/۷) تعیین گردید (Allen et al., 1998).

پس‌ازآن، مقدار تجمعی آب تبخیر شده از تشت تبخیر محاسبه و درنهایت نیاز آبیاری بر اساس رابطه (۲) به دست آمد. آبیاری گیاهان در این پژوهش با استفاده از سیستم آبیاری جویچه‌ای بود و انتقال آب تا زمین زراعی با استفاده از لوله‌های با جنس PVC و شیرهای تعبیه‌شده بر روی آن بود. کنترل حجم آب تحویلی به هر یک از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی آب، انجام شد. برای اعمال آبیاری، روی هر یک از لوله‌هایی که در هر یک از نوارها قرار داشتند، شیرهایی تعبیه‌شده بود که برای تیمارهای یک‌درمیان، شیرها بسته‌شده و در آبیاری متداول، شیرها باز بود. لازم به ذکر است که در هر یک از تیمارها به‌صورت جداگانه کنتور حجمی تعبیه شد و در هر یک از تکرارها به میزان محاسبه‌شده با استفاده از روابط (۱) و (۲) و بر اساس مساحت هر کرت، میزان آب آبیاری تخصیص داده شد. شکل ۲ تیمارها و شمایی از طرح را نشان می‌دهد. شماتیکی و نمایی از آزمایش حاضر ارائه‌شده است. جهت تعیین نیاز آبی گیاه در هر دور آبیاری، تبخیر تجمعی از تشت تبخیر اندازه‌گیری شده و با استفاده از ضریب گیاهی (جدول ۴) و ضریب تشت و مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$ETc = Kc \times Kp \times (Epan) \quad (۱)$$

$$CWR = ETc \times A \quad (۲)$$

در این روابط ET_c، K_p، E_{pan}، K_c، A و CWR به ترتیب تبخیر

1- Traditional Furrow Irrigation
2- Fixed Alternate Furrow Irrigation
3- Variable Alternate Furrow Irrigation

تعرق روزانه گیاه برحسب میلی‌متر بر روز، ضریب تشت، تبخیر از سطح تشت برحسب میلی‌متر در روز، ضریب گیاهی، سطح زیر کشت در هر تکرار برحسب مترمربع و میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب است (Allen et al., 1998).

جدول ۳- معرفی تیمارها

ردیف	تیمار	علامت اختصاری	شرح تیمار
۱	آبیاری جویچه‌ای مرسوم	TFI	آبیاری تمامی جویچه‌ها در کل دوره رشد
۲	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت در کل دوره رشد	FAFI	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت آبیاری می‌شد.
۳	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان گلدهی	FTT	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان گلدهی آبیاری می‌شد و پس‌ازآن تمامی جویچه‌ها آبیاری می‌شدند
۴	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان دانه بستن	FFT	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت ثابت، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان دانه بستن آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد.
۵	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب در کل دوره رشد	VAFI	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت آبیاری می‌شد.
۶	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی	VTT	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان گلدهی آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد.
۷	آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان دانه بستن	VVT	در هر نوبت آبیاری و به‌صورت تناوبی، تنها یک‌طرف ردیف کشت تا زمان دانه بستن آبیاری می‌شود و پس‌ازآن آبیاری تمامی جویچه‌ها صورت می‌گیرد

جدول ٤- ضریب گیاهی (K_c) کینوا (Talebnejad and Sepaskhah, 2015)

دوره رشدی	ابتدایی	میانی	انتهایی
K_c	۰/۵۵	۱/۲	۰/۷۵

برداشت محصول

برداشت محصول در تاریخ ۱۰ آبان ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت از سطح یک مترمربع وسط هر کرت صورت گرفت. پس از عملیات برداشت، گیاهان در هوای آزاد خشک‌شده و برای برآورد عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مربوط به هر تیمار به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری صفات وزن سنبله، عملکرد دانه و عملکرد در واحد سطح با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد.

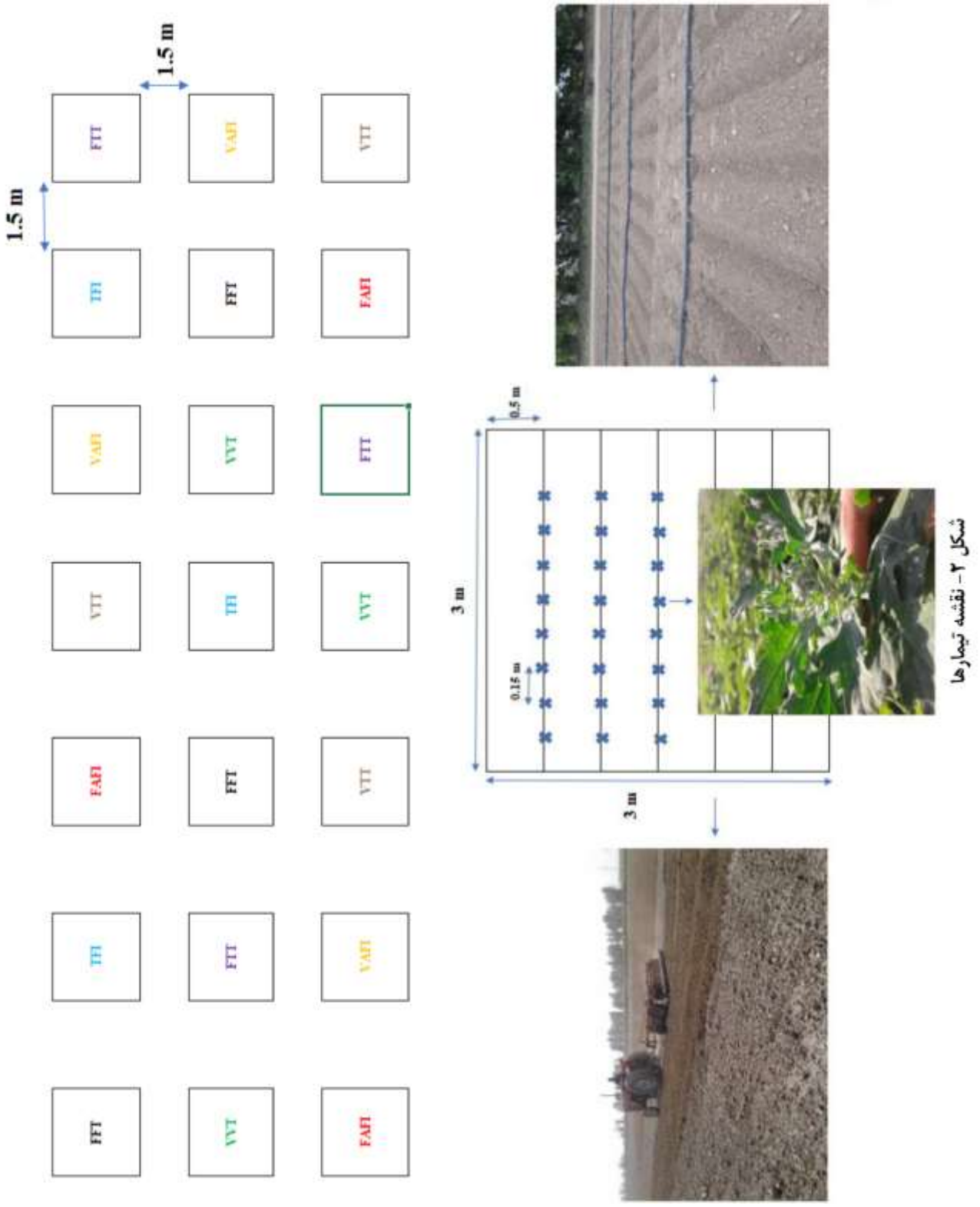
طول و قطر سنبله و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شده و متوسط ارتفاع بوته نیز با استفاده از خط‌کش مورداندازه‌گیری قرار گرفت (برای تعیین متوسط ارتفاع بوته، ارتفاع ۱۰ بوته از هر کرت که به‌صورت تصادفی انتخاب‌شده بود، اندازه‌گیری و مدنظر قرار گرفت). برای تعیین بهره‌وری مصرف آب با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 و برای آزمون مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودار صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

$$WP = \frac{GY}{CWR} \quad (۳)$$

در این رابطه پارامترهای WP و GY به ترتیب بیانگر بهره‌وری مصرف آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و عملکرد دانه (به‌عنوان عملکرد اقتصادی گیاه کینوا) برحسب کیلوگرم در هکتار است (صمصامی پور و همکاران، ۱۳۹۴).

نتایج و بحث

در شکل (۳) مقدار نیاز آبی گیاه (همان تبخیر تعرق گیاه است و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید) در طول فصل رشد ارائه‌شده است، لازم به ذکر است که به‌منظور استقرار گیاه در خاک و تا قبل از اعمال تیمارهای آبیاری گیاهان در سه نوبت و به میزان ۴/۵ مترمکعب آبیاری شدند و پس‌ازآن بر اساس تیمارهای موردبررسی و بر اساس نیاز آبی گیاه به گیاهان آب، داده شد.



شکل ۲- نقشه تیمارها

جدول ۵- تجزیه واریانس

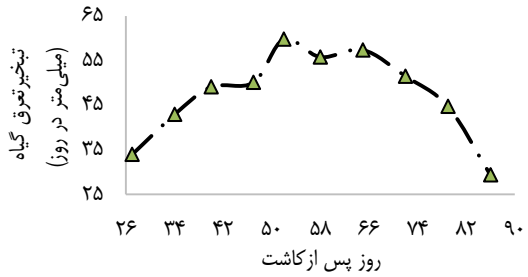
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول سنبله	قطر سنبله	ارتفاع	قطر ساقه	وزن سنبله	عملکرد دانه	عملکرد در واحد سطح	بهره‌وری فیزیکی مصرف آب
بلوک	۲	^{ns}۱/۲	^{ns}۱/۹	^{ns}۴۵/۲	^{ns}۰/۰۰۲	^{ns}۱/۸	^{ns}۰/۰۸	^{ns}۰/۰۰۴	^{ns}۰/۰۰۳
مدیریت آبیاری	۶	**۶۷/۰۵	*۴/۹۸	**۳۲۱/۱	**۰/۰۳	**۳۱۶/۷	**۱۳/۹	**۰/۵۲	**۰/۰۱۲
خطا	۱۲	۱/۴	۰/۴	۱۰/۷	۰/۰۰۲	۸/۹	۰/۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات		۶/۱	۹/۴	۳/۴	۴/۴	۵/۹	۲/۵	۳/۳	۳/۵

*، ** و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ٦- اثر روش‌های آبیاری بر خصوصیات رشدی، عملکرد، میزان آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب گیاه کینوا

تیمار	طول سنبله	قطر سنبله	ارتفاع	قطر ساقه	وزن سنبله	عملکرد دانه	عملکرد در واحد سطح	آب آبیاری	بهره‌وری مصرف آب
	سانتی‌متر				گرم در بوته		تن در هکتار	$m^3.ha^{-1}$	$Kg\ m^{-3}$
آبیاری جویچه‌ای مرسوم	a۳۶/۷	a۹/۰	a۱۱۳/۳	a۱/۰۴	a۶۸/۷	a۱۸/۱	a۲/۱۷	a۵۲۵۰	c۰/۴۱
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت	e۱۴/۳	d۶/۳	e۸۳/۷	c۰/۷۷	e۴۰/۰	e۱۱/۷	f۰/۹۸	d۲۹۲۸	d۰/۳۳
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا دوره گلدهی	d۱۶/۷	d۶/۱	c۹۴/۷	c۰/۸۳	d۴۵/۷	d۱۳/۷	d۱/۴۳	b۴۱۲۱	d۰/۳۵
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا دوره دانه‌بستن	e۱۴/۳	e۵/۰	de۸۷/۰	c۰/۷۹	e۴۰/۰	e۱۲/۳	e۱/۳۱	c۳۲۹۸	c۰/۴۰
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب	d۱۸/۷	bcd۶/۷	cd۹۰/۷	b۰/۹۲	c۵۲/۰	d۱۳/۹	e۱/۲۳	d۲۹۲۸	c۰/۴۲
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا دوره گلدهی	b۲۳/۷	b۷/۷	b۱۰۳/۳	b۰/۹۷	b۵۷/۷	b۱۵/۶	b۱/۹۴	b۴۱۲۱	b۰/۴۷
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا دوره دانه‌بستن	c۲۱/۳	bc۷/۳	b۱۰۱/۰	b۰/۹۳	bc۵۳/۳	c۱۴/۹	c۱/۶۷	c۳۲۹۸	a۰/۵۱
LSD (0.05)	۲/۱	۱/۱	۵/۸	۰/۰۷	۵/۳	۰/۶۵	۰/۰۹	۲/۲	۰/۰۳

حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر اساس آزمون LSD



شکل ۳- نیاز آبی کینوا در طول دوره رشد

پس از پایان عملیات مزرعه‌ای، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۵) ارائه‌شده است. بر اساس نتایج این جدول، اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر طول سنبله، ارتفاع، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد در واحد سطح و بهره‌وری فیزیکی آب (در سطح یک درصد) و بر قطر سنبله (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار شد. جدول (۶) مقایسه میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین طول سنبله به ترتیب با ۲۶/۷ و ۱۴/۳ سانتی‌متر در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای مرسوم (TFI) و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت در کل دوره رشدی (FAFI) و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا زمان دانه بستن (FFT) مشاهده شد. بیشترین مقدار قطر سنبله نیز در تیمار TFI (۹ سانتی‌متر) و کمترین مقدار در تیمار FFT (۵ سانتی‌متر) مشاهده شد.

مطابق نتایج جدول (۷)، طول و قطر سنبله در شرایط اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۴۶/۴ و ۳۰/۰ (کل دوره رشد FAFI)، ۳۷/۵ و ۳۲/۲ (تا دوره گلدهی FTT)، ۴۶/۴ و ۴۴/۴ درصد (تا دوره دانه بستن FFT) کاهش معنی‌دار در مقایسه میانگین‌ها (در سطح احتمال ۵ درصد) مواجه شد. از طرفی اعمال تیمارهای آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب (VAFI)، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی (VTT) و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان دانه بستن (VVT) سبب کاهش ۳۰/۰، ۱۱/۲ و ۲۰/۲ درصد (طول سنبله) و ۲۵/۶، ۱۴/۴ و ۱۸/۹ درصد (قطر سنبله) شد. لازم به ذکر است که بین تیمارهای FAFI و FFT و بین تیمارهای VAFI و FTT در صفت طول سنبله اختلاف معنی‌دار آماری در مقایسه میانگین‌ها وجود نداشت. اعمال تیمارهای آبیاری FAFI، FFT و FTT سبب کاهش ارتفاع (به ترتیب ۲۶/۱، ۱۶/۴ و ۲۳/۲ درصد) و قطر ساقه (۲۶/۰، ۲۰/۲ و ۲۴/۰ درصد) در گیاه کینوا نسبت به تیمار TFI شد؛ همچنین صفات مذکور در شرایط اعمال تیمارهای VAFI، VTT و VVT نیز به میزان ۱۹/۹، ۸/۸ و ۱۰/۹ درصد (ارتفاع) و ۱۱/۵، ۶/۷ و ۱۰/۶ درصد (قطر ساقه) کاهش نسبت به تیمار TFI نشان داد.

اعمال خشکی ناحیه ریشه تا زمان گلدهی و دانه بستن بر روی طول و عرض سنبله به‌عنوان یکی از مهمترین صفات مرتبط با عملکرد دانه اثر منفی کمتری بر روی این صفات نسبت به اعمال این تنش در کل دوره رشدی در هر دو شیوه متناوب و ثابت داشت؛ به‌عبارت‌دیگر کم‌آبیاری در روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان، طول و قطر سنبله را کاهش داده و وزن و عملکرد دانه به‌عنوان عملکرد اقتصادی گیاه کینوا را تحت تأثیر قرار داده است که دلیل این کاهش در شرایط اعمال تیمارهای خشکی ناحیه ریشه، می‌تواند اختلال در توسعه ریشه، کاهش جذب آب و مواد غذایی و صرف انرژی تولیدی در اثر فتوسنتز برای مقاومت و مقابله با خشکی باشد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ غلامحسینی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Sepaskhah and Parand, 2006). نتایج نشان داد که اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب در مراحل رشدی گیاه کینوا اثر منفی کمتری بر روی صفات رشدی گیاه (قطر و طول سنبله، ارتفاع و قطر ساقه) نسبت به آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت در مراحل رشدی این گیاه داشته است. جاکوبسن و همکاران اظهار داشتند که گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان آب، با سازوکارهای خاص خود با تنش آبی مقابله کرده و در ابتدا روزنه‌های برگ خود را بسته تا موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک گردد، همچنین این گیاه برای مقابله با کم‌آبی در ناحیه توسعه ریشه، مبادرت به تولید آبسزیک اسید (عامل محدودکننده رشد گیاه) در طول خشک شدن خاک می‌کند و با این سازوکار باعث تنظیم فعالیت روزنه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود؛ ازاین‌رو کاهش در توسعه اندام‌های مختلف نظیر ارتفاع، قطر ساقه و طول و عرض سنبله امری محتمل است (Jacobsen et al., 2009).

جدول ۷- تغییرات صفات رشدی، عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب گیاه کینوا تحت آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان

ترکیبات تیماری	طول سنبله	قطر سنبله	ارتفاع	قطر ساقه	وزن سنبله	عملکرد دانه	عملکرد در واحد سطح	میزان مصرف آب	بهره‌وری فیزیکی مصرف آب
آبیاری جویچه‌ای مرسوم	–	–	–	-	-	-	-	-	-
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت	۴۶/۴-	۳۰/۰-	۲۶/۱-	۲۶/۰-	۴۱/۸-	۳۵/۴-	۵۴/۸-	-۴۴/۲	۱۹/۵-
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا دوره گلدهی	۳۷/۵-	۳۲/۲-	۱۶/۴-	۲۰/۲-	۳۳/۵-	۲۴/۳-	۳۴/۱-	-۲۱/۵	۱۴/۶-
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت تا دوره دانه‌بستن	۴۶/۴-	۴۴/۴-	۲۳/۲-	۲۴/۰-	۴۱/۸-	۳۲/۰-	۳۹/۶-	-۳۷/۲	۲/۴-
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب	۳۰/۰-	۲۵/۶-	۱۹/۹-	۱۱/۵-	۲۴/۳-	۲۳/۲-	۴۳/۳-	-۴۴/۲	+۲/۴
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا دوره گلدهی	۱۱/۲-	۱۴/۴-	۸/۸-	۶/۷-	۱۶/۰-	۱۳/۸-	۱۰/۶-	-۲۱/۵	+۱۴/۶
آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا دوره دانه‌بستن	۲۰/۲-	۱۸/۹-	۱۰/۹-	۱۰/۶-	۲۲/۴-	۱۷/۷-	۲۳/۰-	-۳۷/۲	+۲۴/۴

لازم به ذکر است که علائم + و – بیانگر افزایش و کاهش در هر صفت نسبت به تیمار آبیاری جویچه‌ای مرسوم (تیمار شاهد) است.

بر اساس نظر امام و همکاران کاهش میزان آب منجر به کاهش و اختلال در فتوسنتز گیاه شده و شیره پرورده که محصول فتوسنتز است را نیز کاهش می‌دهد. کاهش در عرضه شیره پرورده در گیاه، رقابتی را بین سایر اندام‌ها برای استفاده از آن ایجاد می‌کند که بر روی نمو سنبله‌ها و پر شدن دانه مؤثر است و دوام این رقابت بر اساس فرآیندهای بیوشیمیایی و پیر شدن برگ و سطح فتوسنتز کننده، تعیین می‌شود (Emam et al., 2007). کلونک و همکاران اظهار داشتند که تنش آبی به‌صورت مستقیم بر فتوسنتز و غیرمستقیم بر ورود دی‌اکسید کربن به درون روزنه‌ها اثر می‌گذارد، به‌طوری‌که منجر به محدودیت در عرضه فرآورده‌های فتوسنتزی شده و رشد گیاه و در پی آن عملکرد را کاهش می‌دهد (Kolenc et al., 2016). کاهش ارتفاع بوته در شرایط اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای مرسوم، می‌تواند به دلیل کاهش توسعه ریشه‌ها و کاهش آب در دسترس گیاه باشد (Sepaskhah and Parand, 2006)؛ به‌عبارت‌دیگر کاهش دسترسی به آب در ناحیه توسعه ریشه، کاهش جذب آب توسط گیاه را در پی دارد. از طرفی کاهش جذب آب توسط گیاه، کاهش آماس سلولی و تقسیم سلولی را به همراه داشته، ازاین‌رو در این تیمارها کم شدن ارتفاع امری محتمل است (صمصامی پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ Cakir, 2004). وزن سنبله در شرایط اعمال تیمارهای FAFI، FTT، FFT، VAFI، VTT و VVT به میزان ۴۱/۸، ۳۳/۵، ۴۱/۸، ۲۴/۳، ۱۶/۰ و ۲۲/۴ درصد نسبت به تیمار TFI کاهش یافت. بر اساس نتایج، اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب از اثر منفی خشکی ناحیه ریشه در مراحل رشدی گیاه کاسته و در وزن سنبله که خود به طول و قطر سنبله وابسته است نیز مشهود است. بیشترین و کمترین میزان از این صفت نیز در تیمار TFI (۶۸/۷ گرم) و FAFI و FFT (۴۰/۰ گرم) مشاهده شد. کاهش در صفت وزن سنبله به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکردی سبب تأثیر مستقیم بر روی عملکرد دانه می‌شود و در شرایط اعمال تنشی، کاهش در عملکرد دانه گیاه نیز محتمل است. بر اساس نتایج جدول (۶ و ۷) در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت و متغیر در عملکرد دانه گیاه کینوا کاهش اتفاق افتاده، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان از این صفت نیز در تیمارهای TFI (۱۸/۱ گرم) و FAFI (۱۱/۷ گرم) مشاهده شد. لازم به ذکر است که تیمارهای FAFI، FTT، FFT، VAFI، VTT و VVT، کاهش ۳۵/۴، ۲۴/۳، ۳۲/۰، ۲۳/۲، ۱۳/۸ و ۱۷/۷ درصدی نسبت به تیمار TFI را در عملکرد دانه سبب شدند. از طرفی دلیل این امر می‌تواند کاهش در اجزای مهم عملکردی گیاه نظیر وزن، طول و قطر سنبله به‌عنوان محل تشکیل دانه اشاره کرد. بر طبق نظر برخی از محققین این کاهش می‌تواند به دلیل کم شدن رشد سلول‌ها، اندازه و توسعه اندام هوایی و ریشه باشد. علاوه بر آن ممکن است کاهش جذب نور نیز اتفاق افتد. در پی کاهش جذب نور، از ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاسته می‌شود و فراورده‌های فتوسنتزی کمتری در این شرایط تولیدشده و متعاقب آن در عملکرد گیاه نقصان ایجاد می‌کند (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ Okwany et al., 2011؛ Okwany et al., 2012). اعمال خشکی ناحیه ریشه و کاهش جذب رطوبت کافی موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی خواهد شد که به کاهش میزان زیست‌توده کل اندام هوایی در تیمارهای تحت تنش انجامید (جعفری و همکاران، ۱۳۹۷). سپاسخواه و قاسمی در پژوهش خود دلیل کاهش در عملکرد در شرایط اعمال آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان را کاهش آب مصرفی در آبیاری به این شیوه نسبت به آبیاری مرسوم، گزارش کردند (Sepaskhah and Ghasemi, 2008). کاهش میزان فتوسنتز به علت تخریب رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و همچنین مصرف کربوهیدرات‌های تولید برای تولید اسمولیت‌ها در شرایط تنش، از علت‌های کاهش وزن خشک اندام‌های مختلف به شمار می‌رود (نوبخت و همکاران، ۱۳۹۷).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش بیشترین و کمترین

عملکرد در واحد سطح با ۲/۱۷ و ۰/۹۸ تن در هکتار در تیمارهای TFI و FAFI مشاهده شد. اعمال تیمارهای آبیاری FAFI، FFT و FTT سبب تغییراتی نسبت به تیمار TFI در عملکرد در واحد سطح (به ترتیب ۵۴/۸-، ۳۴/۱- و ۳۹/۶- درصد)، میزان آب آبیاری (به ترتیب ۴۴/۲-، ۲۱/۵- و ۳۷/۲- درصد) و بهره‌وری فیزیکی آب (۱۹/۵-، ۱۴/۶- و ۲/۴- درصد) در گیاه کینوا شده است؛ همچنین صفات مذکور در شرایط اعمال تیمارهای VAFI، VTT و VVT نیز به میزان ۴۳/۳-، ۱۰/۶- و ۲۳/۰- درصد (عملکرد در واحد سطح)؛ ۴۲/۲-، ۲۱/۵- و ۳۷/۲- درصد (میزان آب آبیاری) و ۲/۴+، ۱۴/۶+ و ۲۴/۴+ درصد (بهره‌وری فیزیکی آب)، نسبت به تیمار TFI تغییر نشان دادند. نتایج این پژوهش با نتایج سایر محققین بر روی کینوا، ذرت علوفه‌ای، گندم، آفتابگردان، برنج و گوجه‌فرنگی همخوانی داشت (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ صالحی تیزابی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ چراغی زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ یوسفیان و همکاران، ۱۳۹۷؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۷؛ صمصامی پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ Ahmad et al., 2020؛ Salim et al., 2020؛ Çolak et al., 2020؛ Alvar-Beltrán et al., 2019).

نتایج تخمین توابع تولید عملکرد- آب مصرفی به‌صورت توابع خطی، درجه ۲ و لگاریتمی در جدول (۸) ارائه‌شده است. پس از به دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آن‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، EF، ME، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورداستفاده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرارگرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد. جهت رتبه‌بندی هر یک از توابع تولید برای شاخص‌های آماری RMSE، ME و CRM هرچه مقادیر کمتر بود، رتبه آن تابع بر اساس شاخص آماری یک بوده و افزایش هر شاخص منجر به بیشتر شدن رتبه‌ی تابع تولید شد. در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر این شاخص‌ها بودند رتبه یک را به خود اختصاص داده است. همچنین توابع تولیدی که مقادیر کمتر این مشخصه‌ها را به خود اختصاص داده بود، رتبه تابع تولید در آن مشخصه بیشتر شد (جدول ۸). مقایسه ضرایب و مجموع رتبه‌بندی نشان‌دهنده این است که تابع درجه دوم در مقایسه با دو تابع دیگر دارای قدرت برازش بیشتری بر روی مدل است. لازم به ذکر است که در این مطالعه تابع خطی برازش بهتری نسبت به تابع لگاریتمی (کاپ داگلاس) داشت؛ بنابراین تابع تولید آب مصرفی- عملکرد در گیاه کینوا، به‌صورت تابع درجه دوم "$Y = -0.0000001I^2 + 0.0009\ I - 0.93$" است (شکل ۴). بر اساس این شکل با افزایش میزان آب آبیاری در هر یک از روش‌های آبیاری جویچه‌ای مرسوم، متناوب و ثابت عملکرد افزایش‌یافته است.

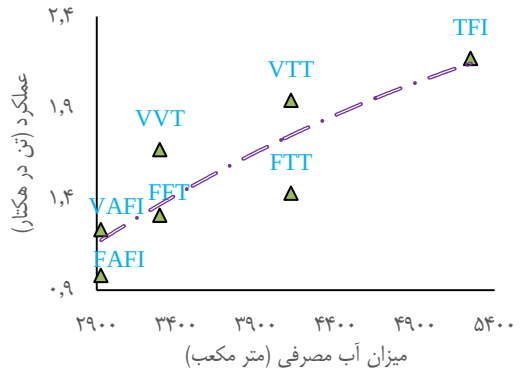
نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که اعمال خشکی ناحیه ریشه در آبیاری جویچه‌ای بر صفات موردبررسی در این مطالعه شامل خصوصیات رشدی، عملکرد دانه، عملکرد در واحد سطح، بهره‌وری فیزیکی آب و میزان آب آبیاری اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار کمی صفات موردمطالعه در تیمار آبیاری جویچه‌ای مرسوم (TFI) و کمترین آن در تیمار آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت در طول دوره رشد (FAFI) به دست آمد. حداکثر عملکرد محصول و حداکثر بهره‌وری مصرف آب در تیمار TFI و VVT با ۲/۱۷ تن در هکتار و ۰/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد.

جدول ۸- توابع تولید آب مصرفی- عملکرد

شاخص آماری	تابع لگاریتمی	تابع خطی	تابع درجه دوم
	$Y = 0.0002\ I^{1.0736}$	$Y = 0.0004\ I - 0.0381$	$Y = -0.0000001\ I^2 + 0.0009\ I - 0.93$
RMSE	(۲) ۰/۱۲۸	(۳) ۰/۱۳۳	(۱) ۰/۱۲۱
CRM	(۲) -۰/۰۱۰۶	(۳) -۰/۰۱۱۵	(۱) -۰/۰۰۹۵
EF	(۳) ۰/۷۳۷	(۲) ۰/۷۳	(۱) ۰/۷۲۷
ME	(۳) ۰/۳۴	(۱) ۰/۲۹	(۲) ۰/۳۳
R^2	(۳) ۰/۷۱	(۲) ۰/۷۳	(۱) ۰/۷۴
مجموع رتبه‌بندی	۱۳	۱۱	۶

اعداد درون پرانتز بیانگر رتبه هر تابع در شاخص آماری است.



شکل ٤- تابع تولید آب مصرفی-عملکرد

همچنین مشاهده شد که استفاده از تیمارهای FAFI، FTT، FFT، VAFI، VTT و VVT سبب کاهش ۳۵/۴، ۲۴/۳، ۳۲/۰، ۲۳/۲، ۱۳/۸ و ۱۷/۷ درصد (عملکرد دانه) و ۴۴/۲، ۲۱/۵، ۳۷/۲، ۴۴/۲، ۲۱/۵ و ۳۷/۲ (میزان آب آبیاری) نسبت به تیمار TFI شد. لازم به ذکر است که اعمال تیمارهای آبیاری FAFI، FFT و FTT نسبت به تیمار TFI سبب کاهش در بهره‌وری فیزیکی آب به میزان ۱۹/۵، ۱۴/۶ و ۲/۴ درصد و اعمال تیمارهای آبیاری VAFI، VTT و VVT نیز سبب افزایش ۲/۴، ۱۴/۶ و ۲۴/۴ درصدی این صفت نسبت به تیمار TFI شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش گیاه کینوا نسبت به تنش آبی در دوره گلدهی نیمه متحمل بوده و اعمال خشکی ناحیه ریشه به‌صورت ثابت عملکرد را بیشتر از روش متناوب تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو بهترین تیمار برای آبیاری گیاه کینوا با قبول کاهش عملکرد و با توجه به کمبود آب باکیفیت و در شرایط مزرعه‌ای، آبیاری به‌صورت جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب تا زمان گلدهی (VTT) است. پیشنهاد می‌گردد با توجه به کمبود منابع آب و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری این آزمایش به‌صورت آبیاری تیپ نیز در شرایط مزرعه و بر روی ارقام دیگر این گیاه انجام گردد.

منابع

اردلان، و.، آقایاری، ف.، پاک نژاد، ف.، صادقی شعاع، م.، اسماعیل زاده خراسانی، ش. و فاطمی ریکا، ز. ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و شیوه‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم ذرت. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۸ (۳): ۱۸۹-۱۷۵.

اکبرزاده، ع.، شاهنظری، ع.، ضیاءتبار احمدی، م.خ. و اکبرزاده، م. ۱۳۹۷. اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع فلفلی. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۱ (۴): ۱۰۷-۱۱۸.

اکبری نودهی، ا. ۱۳۹۳. تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در مازندران. مجله علوم آب و خاک. ۹ (۷): ۲۴۵-۲۵۴.

جعفری، ن.، آقایاری، ف. و پاک‌نژاد، ف. ۱۳۹۷. تأثیر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم رقم پارسی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲ (۴): ۵۸۱-۵۹۸.

جمالی، ص.، شریفان، ح. و سجادی، ف. ۱۳۹۷. اثر توأم رژیم‌های مختلف آب دریا و کم‌آبیاری بر خصوصیات برگ گیاه کینوا (رقم Titicaca). مجله مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۱۷۷-۱۹۱.

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

جمالی، ص.، انصاری، ح. و زین‌الدین، س.م. ۱۳۹۹. اثر آبیاری بخشی ریشه و بستر کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا. مجله آب و خاک. ۳۴ (۱): ۱-۱۰.

چراغی زاده، م.، شاهنظری، ع. و ضیاءتبار احمدی، م.خ. ۱۳۹۷. بررسی اثر کم‌آبیاری بخشی ریشه در دوره‌های آبیاری مختلف بر کارایی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان. مجله آب و خاک. ۳۲ (۳): ۵۰۱-۵۱۶.

دهقانی، م.، نوری امامزاده‌ای، م. ر.، شاهنظری، ع. و قیصری، م. ۱۳۹۸. تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در اصفهان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۸): ۱۸۹۹-۱۹۱۰.

صالحی تیزابی، س.، گلدانی، م. و نباتی، ج. ۱۳۹۹. تأثیر خشکی ناحیه‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۲): ۴۲۶-۴۳۵.

صمصامی پور، م.، افراسیاب، پ.، امداد، م.ر.، دلبری، م.، کاراندیش، ف. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در مدیریت آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶ (۱): ۱۱-۱۸.

صمصامی پور، م.، امداد، م. ر.، افراسیاب، پ. و دلبری، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر کم‌آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متناوب در مراحل مختلف رشد ذرت. مجله مهندسی منابع آب. ۹: ۶۶-۵۷.

غلامحسینی، م.، قلاوند، ا. و جمشیدی، ا. ۱۳۸۷. تاثیر رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی بر عملکرد دانه و غلظت عناصر در برگ و دانه آفتابگردان. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۲۱ (۲): ۹۱-۱۰۰.

مولوی، ح.، محمدی، م. و لیاقت، ع. ۱۳۹۰. اثر آبیاری کامل و یک‌درمیان جویچه‌ای بر عملکرد، اجزا عملکرد و کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی. مجله دانش آب و خاک. ۲۱ (۳): ۱۱۵-۱۲۶.

نوبخت، پ.، عبادی، ع.، پرمون، ق. و نیکخواه بهرامی، ر. ۱۳۹۷. اثر محلول پاشی پراکسید هیدروژن بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی در شرایط محدودیت آبی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی. ۲۷: ۱۹-۲۹.

نوری، م.، برومند نسب، س. ۱۳۸۸. بررسی اثر آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر در مراحل مختلف رشد روی عملکرد کمی وکیفی نیشکر رقم CP69-1062. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۲ (۱): ۵۶-۴۹.

یوسفیان، م.، شاهنظری، ع.، ضیاءتبار احمدی، م.خ.، رایینی سرجاز، م. و عربزاده، ب. ۱۳۹۷. اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و خشکی بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج درروش جوی و پشته و کرتی. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲ (۳): ۳۴۱-۳۵۰.

Ahmad, S., Raza, M.A.S, Saleem, M.F., Zaheer, M.S., Iqbal, R., Haider, I., Aslam, M.U., Ali, M. and Khan, I.H. 2020. Significance of partial root zone drying and mulches for water saving and weed suppression in wheat. Journal of Animal and Plant Sciences. 30:154–162

Ali, O.I., Fghire, R., Anaya, F., Benlhabib, O. and Wahbi, S. 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (Chenopodium quinoa Willd.) to drought stress. Gesunde Pflanzen. 71(2):123-133.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome. Italy.

Alvar-Beltrán, J., Saturnin, C., Dao, A., Dalla Marta, A., Sanou, J. and Orlandini, S. 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) under field conditions in Burkina Faso. Italian Journal of Agrometereology. 1: 33-43.

Aly, A.A., Al-Barakah, F.N. and El-Mahrouky, M.A. 2018. Salinity Stress Promote Drought Tolerance of Chenopodium Quinoa Willd. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49(11): 1331-1343.

Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89(1): 1-16.

Çolak, Y. B., Yazar, A., Alghory, A. and Tekin, S. 2020. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for differentially irrigated quinoa with surface and subsurface drip systems. Irrigation Science. 38(4): 1-20.

Emam, Y., Ranjbari, A. and Bohrani, M.J. 2007. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under drought stress condition after anthesis. Journal Agriculture Natural Resource Science Technology. 11: 317-327.

Iqbal, R., Raza, M.A.S., Toleikiene, M., Ayaz, M., Hashemi, F., Habib-ur-Rahman, M., Zaheer, M.S., Ahmad, S., Riaz, U., Ali, M., Aslam, M.U. and Haider, I. 2020. Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. Bulletin of the National Research Centre. 44(1): 1-15.

Jbawi, E.A., Danoura, R. and Yaacoub, A. 2018. Effect of Deficit Irrigation and Manure Fertilizer on Improving Growth and Yield of Quinoa in Syria. Agriculture Research. OAJAR-100007: 1-11.

Jacobsen S.E., Liu, F. and Jensen, C.R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulture. 122(2): 281-287.

Khalili, F., Aghayari, F. and Ardakani, M.R. 2020. Effect of Alternate Furrow Irrigation on Maize Productivity in Interaction with Different Irrigation Regimes and Biochar Amendment. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 51(6): 757-768.

Kolenc, Z., Vodnik, D., Mandelc, S., Javornik, B., Kastelec, D. and Čerenak, A. 2016. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology. Plant physiology and biochemistry. 105: 67-78.

Okwany, R. O., Peters, T. R., Ringer, K. L., Walsh, D. B. and Rubio, M. 2011. Impact of sustained deficit irrigation on spearmint (*Mentha spicata* L.) biomass production, oil yield, and oil quality. Irrigation Science. 30 (3): 213-219.

Okwany, R. O., Peters, R. T., Ringer, K. L. and Walsh,

Sepaskhah, A.R. and Parand, A.R. 2006. Effects of alternate furrow irrigation with supplemental every-furrow irrigation at different growth stages on the yield of maize (*Zea mays* L.). Plant production science. 9(4): 415-421.

Sepaskhah, A.R. and Ghasemi, M. 2008. Every-other-furrow irrigation with different intervals for sorghum. Pakistan Journal of Biological Sciences. 11(9): 1234-1239.

Talebnejad, R. and Sepaskhah, A. 2015. Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on onyield and water productivity of quinoa. Agricultural Water Management. 159: 225-238.

Tawfik R.S. and El-Mouhamady, A.B.A. 2019. Molecular genetic studies on abiotic stress resistance in sorghum entries through using half diallel analysis and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. Bulletin of the National Research Centre. 43:117.

Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A., He, X., Zhang, Z. and Jacobsen, S.E. 2020. Biochar Mitigates Combined Effects of Drought and Salinity Stress in Quinoa. Agronomy. 10(6):912.

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.

Salim, S.A., Hadeethi, I.K.H. and Hadithi, R.A.G.M. 2020. Water stress on different growing stage for Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) and its influence on water requirement and yield. Iraqi journal of agriculture sciences. 51(3): 953-966.

Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Kundu, B.C., Barman, A. and Akter, F. 2019. Yield and quality of potato tuber and its water productivity are influenced by alternate furrow irrigation in a raised bed system. Agricultural Water Management. 224: 105750.

Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Malone, S.L., Alam, M.K. and Bazzaz, M. 2020. Alternate furrow irrigation can maintain grain yield and nutrient content, and increase crop water productivity in dry season maize in sub-tropical climate of South Asia. Agricultural Water Management. 238: 106229.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 15, Jan.-Jul. 2021, p. 414-427

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۵، خرداد - تیر ۱۴۰۰، ص. ۴۲۷-۴۱۴

The Effects of Alternate Furrow Irrigation of Quinoa Yield and Water Productivity at Its Different Growth Stages

S. Jamali[1], H. Ansari[2*], B. Hadi[3], A. Safarizadeh-Sani[4]

Recived: Dec.1, 2020 Accepted: Mar.07, 2021

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) is a nutritious herb with favorable nutrition and potential for suitable production in adverse environmental conditions that can withstand drought. This study aimed was to evaluate the effects of alternate furrow irrigation at its different growth stages on Quinoa yield and water use efficiency in the Ferdowsi University of Mashhad (FUM) experimental farm research during 2018-19. This research was conducted to completely block randomized design with seven treatments and three replications. In this study, 7 treatments consisted of traditional furrow irrigation (TFI), fixed alternate furrow irrigation (FAFI), variable alternate furrow irrigation (VAFI), fixed alternate furrow irrigation at the vegetative stage and traditional furrow irrigation at other stages (FTT), fixed alternate furrow irrigation at the vegetative and flowering stages and traditional furrow irrigation at other stages (FFT), variable alternate furrow irrigation at the vegetative stage and traditional furrow irrigation at other stages (VTT), variable alternate furrow irrigation at the vegetative and flowering stages and traditional furrow irrigation at other stages (VVT) treatment with supplemental irrigation in time of planting. The results showed that the effect of treatments on panicle length, stem diameter, plant height, panicle weights, grain yield, yield per m^2, and water productivity were highly significant (P>0.01) and panicle width was significant at the 5 % levels. Results showed that the highest yield (2.17 ton/ha), grain yield (18.1 g per plant), average plant height (113.3 cm), and physical water productivity (0.41 Kg/m^3) were in TFI treatments. Used FAFI, FTT, FFT, VAFI, VTT, and VVT treatments compared to TFI, grain yield decreased by 35.4, 24.3, 32.0, 23.2, 13.8, and 17.7 percent, respectively. Used FAFI, FTT, and FFT treatments compared to TFI, physical water productivity decreased by 19.5, 14.6, and 2.4 percent, respectively. Used VAFI, VTT, and VVT treatments compared to TFI, physical water productivity increased by 2.4, 14.6, and 24.4 percent, respectively. Therefore, the best irrigation treatment for the Quinoa in the field conditions is VTT methods.

Keywords: Grain yield, Physical water productivity, Production function, Partial root-zone drying, Titicaca cultivar

1- PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
3- MSc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
4- PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ansary@um.ac.ir)