نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۷۸-۹۶۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 967-978

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا (رقم تیتیکاکا) در شرایط لایسیمتری

حسین بیرامی[1*]، محمدحسن رحیمیان[1]، معصومه صالحی[2]، رستم یزدانی بیوکی[1]، هادی پیراسته انوشه[1]، مهدی شیران تفتی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

چکیده

منابع آب و خاک کشور محدود می‌باشد و استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی مستلزم تعیین دقیق میزان آب مورد نیاز گیاهان و ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد می‌باشد. کینوا یکی از گیاهانی است که در بین شورزیست‌ها دارای ویژگی‌های برجسته اقتصادی و زراعی بوده، که در تولید روغن و پروتئین نیز حائز اهمیت است. تحقیق حاضر به‌منظور تعیین حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا رقم تیتیکاکا در شرایط کنترل شده (لایسیمتر) در دو کشت بهار و پاییز سال ۱۳۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطح رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۴ به ۰/۲ کل آب قابل‌دسترس، میزان زیست‌توده و عملکرد بذر به ترتیب کاهش معنی‌دار ۲۴ و ۳۷ درصدی در کشت بهار و کاهش ۳۴ و ۴۷ درصدی در کشت پاییز داشتند، ولی کاهش سطوح رطوبتی از ۰/۸ به ۰/۶ و ۰/۶ به ۰/۴ موجب کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه و زیست‌توده در هر دو کشت بهار و زمستان نشد. بر اساس نتایج عملکرد و کارایی مصرف آب، حداکثر تخلیه مجاز در هر دو فصل ۶۰ درصد کل آب دردسترس برآورد گردید. همچنین ضریب گیاهی کینوا رقم تیتیکاکا در کشت بهار برابر ۰/۴۲ در ابتدای فصل رشد، ۰/۹۵ در میانه فصل رشد و ۰/۳۳ در انتهای فصل رشد بود. در کشت پاییز ضریب گیاهی کینوا برابر ۰/۳۶ در ابتدای فصل رشد، ۱/۰۹ در میانه فصل و ۰/۵۶ در انتهای فصل رشد بود. میزان نیاز آبی خالص تیمارهای مختلف در کشت بهار بین ۶۱۸/۱ تا ۲۹۵/۵ میلی‌متر و در کشت پاییز بین ۵۹۷/۸ تا ۳۳۴/۸ میلی‌متر متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تعرق، ضریب گیاهی، کینوا، لایسیمتر

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز به غذا از یک طرف و محدودیت استفاده از منابع آب متعارف و توسعه تدریجی شوری منابع آب و خاک از طرف دیگر سبب شده است که راهکارها و اقدامات پایدار تولید در منابع آب و خاک نامتعارف (شور) اهمیت دوچندان پیدا کنند (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵؛ بیرامی و همکاران، الف۱۳۹۹). کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) جزو زیر خانواده Chenopodiaceae از خانواده Amaranthaceae بوده و یک گیاه امیدبخش برای تأمین کالری مورد نیاز از طریق کشت در اراضی کم بازده و شور می‌باشد (Adolf et al., 2010; Jacobsen et al., 2001). کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی است، همچنین این گیاه دارای سیستم بسیار کارآمد برای تنظیم فشار اسمزی در مقابل تنش افزایش ناگهانی شوری بوده (Hariadi et al., 2010) و آن را می‌توان در بسیاری از محیط‌های حاشیه‌ای با بهره‌وری بسیار پایین در شرایط اعمال تنش‌های محیطی (نظیر شوری و خشکی)، کشت کرد (Jacobsen et al., 2007؛ بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸). ایران دارای تنوع اقلیمی فراوانی است و کشت کینوا از نظر تولید به‌خصوص در مناطق جنوبی موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی و تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸). کینوا از گیاهانی با خصوصیات برجسته اقتصادی و زراعی در بین شورزیست‌ها بوده و علاوه بر تولید دانه‌های روغنی و پروتئین، از نظر تولید علوفه نیز حائز اهمیت است (Bhargava et al., 2007).

کمبود آب یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های رشد، بهره‌وری و سازگاری گیاهان بوده و در مناطق خشک و نیم خشک جهان کمبود منابع آب و نامنظم بودن بارش‌ها پایداری تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مناطق دارای منابع محدود آب شیرین و

۱- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۲- دانشیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۳- محقق، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
(* نویسنده مسئول: (Email: beyrami.h@hotmail.com

افزایش تقاضای غذا برای جمعیت رو به رشد، نیاز به مدیریت منابع آب و همچنین تولید محصولات مقاوم در برابر محدودیت‌های اقلیمی را بیش از پیش ضروری می‌سازد؛ از این‌رو کشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی و شوری یکی از عوامل کلیدی مدیریتی برای تولید پایدار است و کشت محصولات مقاوم مانند کینوا می‌تواند بهره‌وری را در سطح مزرع افزایش داده و معیشت در مناطق مستعد خشک‌سالی و شوری را در حد مطلوبی ارتقا دهد (تافته و امداد، ۱۴۰۰). همچنین بوزکورت چولاک و همکاران بیان داشتند که با توجه به عملکرد و بهره‌وری آب کینوا، کم آبیاری جایگزین خوبی برای آبیاری کامل برای تولید پایدار کینوا در مناطق مدیترانه‌ای است (Bozkurt Çolak et al., 2021).

با توجه به اهمیت کینوا به‌عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به خشکی و شوری و همچنین وسعت رو به افزایش زمین‌های شور و نیز با توجه به کاهش و کمبود منابع آب کشور و نیز کاهش کیفیت آن، ضروری است با توجه به ارزش غذایی این گیاه بر روی موضوعات نیاز آبی و نیز مناسب‌ترین مدیریت آبیاری آن در شرایط با و بدون محدودیت آب در مناطق مورد توصیه کشت کینوا تحقیقات جامعی به‌منظور توسعه کشت این محصول انجام پذیرد(تافته و امداد، ۱۴۰۰). بنابراین پارامترهایی که در تولید آن در شرایط اقلیمی کشور دخیل هستند بایستی تعیین و مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اینکه کشت کینوا در ایران جدید و درحال‌توسعه می‌باشد و تاکنون در ایران تحقیقات گسترده‌ای بر روی ضریب گیاهی، نیاز آبی و مدیریت آبیاری آن انجام نشده است. با تعیین دقیق مقدار دقیق مقدار نیاز آبی گیاهان می‌توان برنامه آبیاری را به‌درستی تنظیم نمود و مقدار آب بهینه در اختیار گیاه قرار داد و از مشکلاتی ناشی از بیش‌بود و کمبود آب جلوگیری کرد.

نیاز آبی گیاهان (Etc) تابعی از تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی (Kc) است (Allen et al., 1998). خصوصیات و شرایط اقلیمی در متغیر ET_0 و مشخصه‌های گیاهی در ضریب Kc نهفته است. میزان ET_0 از طریق روش‌های مستقیم و یا محاسباتی به دست می‌آید. در روش مستقیم، ET_0 با استفاده از لایسیمترهای وزنی یا حجمی بر پایه اصول و معادلات بیلان آب در خاک تخمین زده می‌شود. ولی در روش‌های محاسباتی ET_0 با استفاده متغیرهای اقلیمی به‌صورت غیرمستقیم به دست می‌آید. علاوه بر متغیر ET_0، ضریب گیاهی (Kc) نیز از عوامل اثرگذار بر تعیین میزان نیاز آبی گیاه است. شایان ذکر است که به غیر از شرایط اقلیمی عوامل دیگری مانند نوع واریته گیاه و تاریخ کشت باعث ایجاد تفاوت در مقادیر به دست آمده برای ضریب گیاهی می‌گردد (رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۹۸). ال گسیبی و همکاران اثر دوره‌های مختلف آبیاری (دو بار در هفته، یک‌بار در هفته و یک‌بار در دو هفته) را بر روی رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش حجم آب مصرفی صفات زراعی مانند شاخص برداشت، تعداد دانه و عملکرد محصول (دانه و علوفه) کاهش یافت. همچنین آنان مقدار ضرایب گیاهی کینوا در ابتدا، میانه و انتهای فصل رشد را به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۰/۲۵ برآورد نمودند (Algosaibi et al., 2017). گلستانی فر و همکاران (۱۴۰۱) نیز در تحقیقات خود میزان نیاز آبی کینوا در آبیاری با آب آبیاری حدود ۳/۹ دسی زیمنس بر متر ۵۵۳۴ متر مکعب بر هکتار به‌دست آوردند. همچنین آنان مقدار ضریب گیاهی کینوا (Kc) در مرحله اول (دوره ۲۱ روزه)، مرحله دوم (دوره ۲۶ روزه)، مرحله سوم (دوره ۳۸ روزه) و مرحله چهارم رشد کینوا (دوره ۳۴ روزه) در روش پنمن-مانتیث به ترتیب برابر ۰/۴۲، ۰/۶۶، ۱/۰۳ و ۰/۷۳، در روش بالنی-کریدل به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۸۸، ۱/۲۸ و ۰/۸۲ و در روش پریستلی-تیلور به ترتیب ۰/۴، ۰/۶۲، ۰/۹۷ و ۰/۶۸ گزارش نمودند. مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقت خود نیاز آبی کینوا و ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. آنان بیان نمودند که بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) با نیاز آبی ۳۱۲ میلی‌متر بود. ضریب پاسخ گیاه به تنش کم‌آبی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب برابر با ۰/۸، ۰/۶۵، ۰/۷۴ و ۰/۴۷ تعیین شد. همچنین آنان بیان نمودند که، با وجود اینکه کینوا گیاهی متحمل به خشکی است اما باید توجه کرد که اعمال تنش کم‌آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم‌آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا خواهد شد که در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری این گیاه باید مدنظر قرار گیرد. مصطفائی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی با هدف بررسی تراکم بهینه کینوا در سطوح مختلف آبیاری، بیان داشتند که اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم‌آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش داشته است.

یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین سؤالاتی که در این زمینه مطرح می‌باشد، میزان آب مصرفی کینوا و یا به عبارتی تعیین ضریب گیاهی (Kc)برای این گیاه می‌باشد. علاوه بر این، تعیین حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) آن، یکی از پارامترهای مؤثر در مدیریت آبیاری این گیاه می‌باشد که کمتر تا کنون مطالعه‌ای در این مورد در داخل کشور صورت گرفته است. بنابراین، با توجه به اینکه امکان کشت و توسعه کینوا (به‌عنوان یک گیاه غیربومی) با آب‌های شور داخلی و حتی آب‌های شور ساحلی (Adolf et al., 2010; Jacobsen et al., 2001) و با توجه به اینکه کشت گونه‌های مختلفی از کینوا در بخش‌های مختلف ایران توسعه یافته است لذا ضروری است که اطلاعات پایه و موردنیاز این گیاه مانند ضریب گیاهی و حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی تعیین و در اختیار دست‌اندرکاران امر و تصمیم‌گیران الگوی کشت قرار گیرد (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای واقع در شمال غرب شهرستان یزد با

مختصات جغرافیایی ″۰۶/۰۳ ′۵۵ °۳۱ شمالی و ″۵۷/۴۳ ′۱۶ °۵۴ شرقی انجام شد. بر اساس روش دومارتن اصلاح شده، این منطقه از نظر اقلیمی دارای اقلیم فرا خشک سرد می‌باشد. بر اساس نتایج دریافتی از اداره کل هواشناسی استان یزد، میانگین بارندگی سالانه ۶۹ میلی‌متر، میانگین تبخیر سالانه ۳۰۹۰/۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشینه و کمینه مطلق دمای سالانه به ترتیب ۴۴ و ۶/۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. هدف از این آزمایش تعیین حداکثر مقدار مجاز تخلیه رطوبتی (MAD)، ضریب گیاهی (Kc) و نیاز آبی کینوا رقم تیتیکاکا بود. شروع کشت پاییز، اول شهریور سال ۱۳۹۸ و شروع کشت بهار، اول اسفند سال ۱۳۹۸ و تاریخ برداشت در هر دو فصل حدود سه ماه پس از کشت بود (جدول ۳). این پژوهش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل سطوح رطوبتی شروع آبیاری ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل دسترس[1] در سه تکرار انجام گرفت. بدین منظور تعداد ۱۲ عدد لایسیمتر وزنی با ابعاد تقریبی ۵۰×۵۰×۴۰ سانتی‌متر تهیه شده و پس از پرکردن با خاکی با بافت سبک (لوم شنی که بافت غالب خاک منطقه است) با چگالی یکنواخت ۱٫۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب، بر روی پایه و ترازوهای الکترونیکی مجزا قرار داده شدند (شکل ۱). خصوصیات عمومی فیزیکی (مانند بافت، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) و شیمیایی (مانند pH ،EC) در خاک مورد نظر قبل از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده گردید. خاک مورد نظر دارای بافت لوم شنی، شوری نسبتاً بالا و pH خنثی بود. این خاک دارای ماده آلی ناچیزی بوده و ازت کل در آن نیز مقدار بسیار کمی داشت. قبل از کاشت لوازم و اتصالات آبیاری، مخازن ذخیره آب برای تأمین آب با شوری مورد نیاز تهیه شد. همچنین خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده برای آبیاری در این پژوهش در جدول ۲ آورده شده است.

کشت به‌صورت بذری در ابتدای هر فصل کشت کاملاً یکنواخت در لایسیمترها صورت گرفت. برای ممانعت از اثر واحه‌ای و انتقال گرما از اطراف به لایسیمترها، کشت بافر در پیرامون لایسیمترها در مزرعه انجام یافت. شکل ۱ گیاه کینوا را در مراحل ابتدایی رشد در کشت بهار نشان می‌دهد. آبیاری با آب دارای شوری ۵ دسی زیمنس بر متر بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاک و اعمال ضریب آبشویی (حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد) در هر نوبت انجام شد. شروع آبیاری زمانی بود که میزان رطوبت به سطح مورد نظر (براساس تیمار خاص به یکی از سطوح ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل دسترس) برسد که با توجه به پایش وزن هر لایسیمتر در زمان‌های مختلف تعیین شد.

مقدار کل آب قابل دسترس (TAW) با استفاده از اختلاف بین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) و با درنظر گرفتن عمق خاک در ناحیه ریشه قابل محاسبه است (رابطه ۱). برای لایسمترهای موجود مقدار TAW مورد محاسبه قرار گرفته و سطح رطوبتی مورد نظر بر اساس وزن و حجم خاک موجود تعیین شد. برای هریک از سطوح هنگامی‌که مقدار وزن لایسیمتر در اثر تبخیر و تعرق به مقدار مورد نظر رسید، آبیاری شروع شد.

$$TAW = Z_r(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \quad (۱)$$

که در این معادله TAW عمق کل آب در دسترس (cm)، θ_{FC} رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (cm^3/cm^3)، θ_{PWP} رطوبت نقطه پژمردگی دائم، و Z_r عمق ناحیه ریشه (cm) می‌باشد. در این تحقیق با توجه به شرایط، عمق لایسیمترها به عنوان عمق توسعه ریشه در نظر گرفته شد.

در هر نوبت آبیاری وزن لایسیمتر به وزن اولیه مشخص شده که مجموع رطوبت در حالت ۱۰۰ درصدFC به علاوه رطوبت مورد نیاز آبشویی است، رسانده شد. پایش شوری و حجم زه‌آب خروجی از ناحیه ریشه نیز در هر نوبت آبیاری انجام شد. مقدار زه‌آب خروجی به صورت وزنی با استفاده از کاهش وزن ترازوهای لایسیمتر در اثر تخلیه مخزن زه‌آب اندازه‌گیری شدند. ضریب آبشویی به صورتی اعمال گردید که مقدار شوری در خاک در دامنه شوری ابتدایی یعنی حول و حوش ۵ دسی زیمنس بر مترکنترل گردد و بالاتر از آستانه تحمل به شوری کینوا نباشد. همچنین با هدف کنترل شوری خاک، شوری زه‌آب مورد در هر بار زهکشی اندازه‌گیری و پایش می‌گردید. میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک و علائم کمبود به‌خصوص از نظر نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در سه مرحله قبل از کشت، غنچه‌دهی و گل‌دهی، هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفر (۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار قبل از کشت) و پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار قبل از کشت) به‌صورت کودی به خاک اضافه شد. در نهایت تبخیر و تعرق واقعی گیاه (Eta) به روش بیلان رطوبتی خاک بر اساس حجم آب ورودی و خروجی لایسیمترها در طول فصل رشد و برای تیمارهای مختلف دور آبیاری اندازه‌گیری شده و تبخیر و تعرق مرجع (Eto) بر اساس آمار هواشناسی روزانه ایستگاه سینوپتیک یزد در طول دوره رشد (حدود سه ماه و نیم در هر دور کشت) به روش پنمن ماتیث فائو محاسبه شد. سپس ضریب گیاهی (Kc) کینوا بر اساس نسبت Eta/Eto در مراحل مختلف رشد تعیین گردید. همچنین اجزای عملکرد کینوا پس از برداشت در هر دو کشت اندازه‌گیری شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 16.0 استفاده گردید و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

1- Total available water

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زمان شروع آزمایش

ویژگی	مقدار
شن (٪)	۶۸/۵۸
سیلت (٪)	۱۵/۴۲
رس (٪)	۱۶
کلاس بافت خاک	لوم شنی (SL)
EC_e ($dS\ m^{-1}$)	۵/۲
pH	۷/۴۶
کربن آلی (٪)	۰/۲۱
ازت کل (٪)	۰/۰۱۸
پتاسیم (av) ($mg\ kg^{-1}$)	۱۴۴
فسفر (av) ($mg\ kg^{-1}$)	۲۰/۱۲
رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) (%)	۲۵
رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) (%)	۹

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری تیمارهای آزمایش

ویژگی	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	SAR
			($meq\ l^{-1}$)								
مقدار	۵/۰	۸/۰۵	۱/۹۷	۵/۶	۰/۰	۱/۷	۳۹/۶	۰/۱۰	۴۱/۶	۳/۹	۱۶/۱

شکل ۱- نمایی از گیاهان کشت شده در لایسیمتر در هفته‌های ابتدایی فصل رشد در کشت بهار (سال ۹۹-۹۸)

نتایج و بحث

رابطه بین عملکرد و آب مصرفی

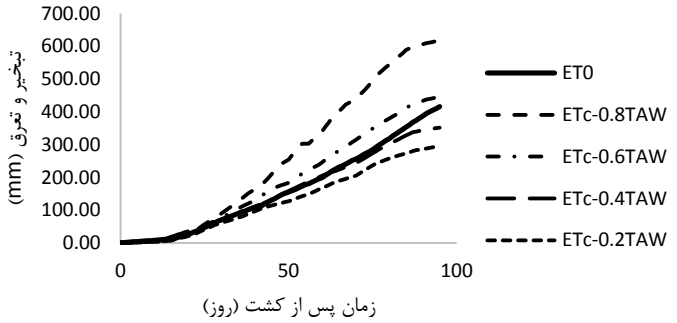
در این پژوهش اقدام به محاسبه شاخص کارآیی مصرف آب (میزان عملکرد بر اساس میزان نیاز آبی خالص) در هر تیمار شد. میزان تبخیر و تعرق تجمعی تیمارها مختلف (از سطح شروع آبیاری ۰/۸ تا ۰/۲ درصد کل آب دردسترس) در کشت بهار بین ۶۱۸/۱ تا ۲۹۵/۵ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۶۱۸۱ تا ۲۹۵۵ مترمکعب در هکتار) و در کشت پاییز بین ۵۹۷/۸ تا ۳۳۴/۸ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۵۹۷۸ تا ۳۳۴۸ مترمکعب در هکتار) متغیر بود (شکل ۲ و ۳). همچنین میانگین عملکرد دانه گیاه کینوا در تیمارها مختلف (از سطح

شروع آبیاری ۰/۸ تا ۰/۲ درصد کل آب دردسترس) در کشت بهار بین ۲۹۰۸ تا ۱۷۸۰ کیلوگرم بـر هکتـار و در کشـت پـاییز بـین ۳۶۳۸ تـا ۱۸۴۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود.

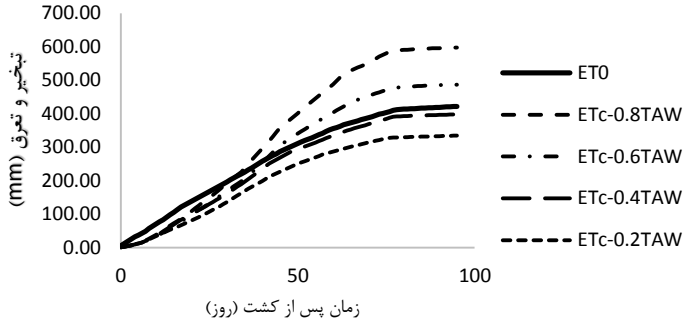
با اعمال حـدود ۲۰ درصـد نیـاز آبشـویی، عمـق آب مصـرفی در تیمارهای ۰/۸ TAW تا ۰/۲ TAW در کشت بهار بین ۴۷۰ تـا ۳۵۵ میلی‌متر و در کشت پاییز بین ۷۱۸ تا ۴۰۱ میلی‌متر متغیر بود. مقایسه میانگین آب مصرفی در تیمارهای مختلف در شکل‌هـای ۴ و ۵ آورده شده است. همانگونه که در شکل‌هـای ۴ و ۵ مشـاهده مـی‌شـود، بـا کاهش سطح رطوبتی در هر دو تـاریخ کشـت اخـتلاف معنـی‌دار (در سطح ۵ درصد) بین میزان آب مصرفی مشاهده می‌شود.

جدول ۳- مراحل فنولوژی کینوا در دو فصل کشت در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹

مراحل رشدی	کشت بهار	کشت پاییز
کاشت	۱ اسفند	۱ شهریور
سبز شدن	۸ اسفند	۶ شهریور
غنچه دهی	۳ فروردین	۳۱ شهریور
گلدهی	۲۴ فروردین	۲۴ مهر
تغییر رنگ (پرشدن دانه)	۲ اردیبهشت	۱۵ آبان
برداشت	۲۹ اردیبهشت	۱ آذر

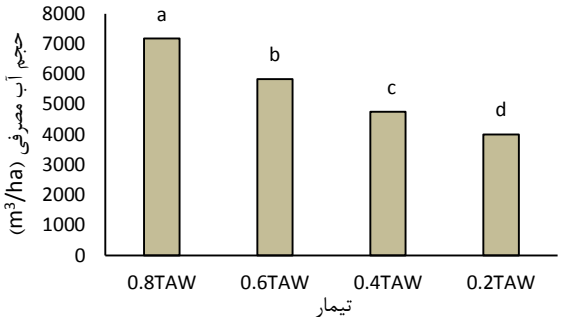


شکل ۲- میزان تبخیر و تعرق تجمعی در تیمارهای مختلف در کشت بهار (سال ۹۹-۱۳۹۸)



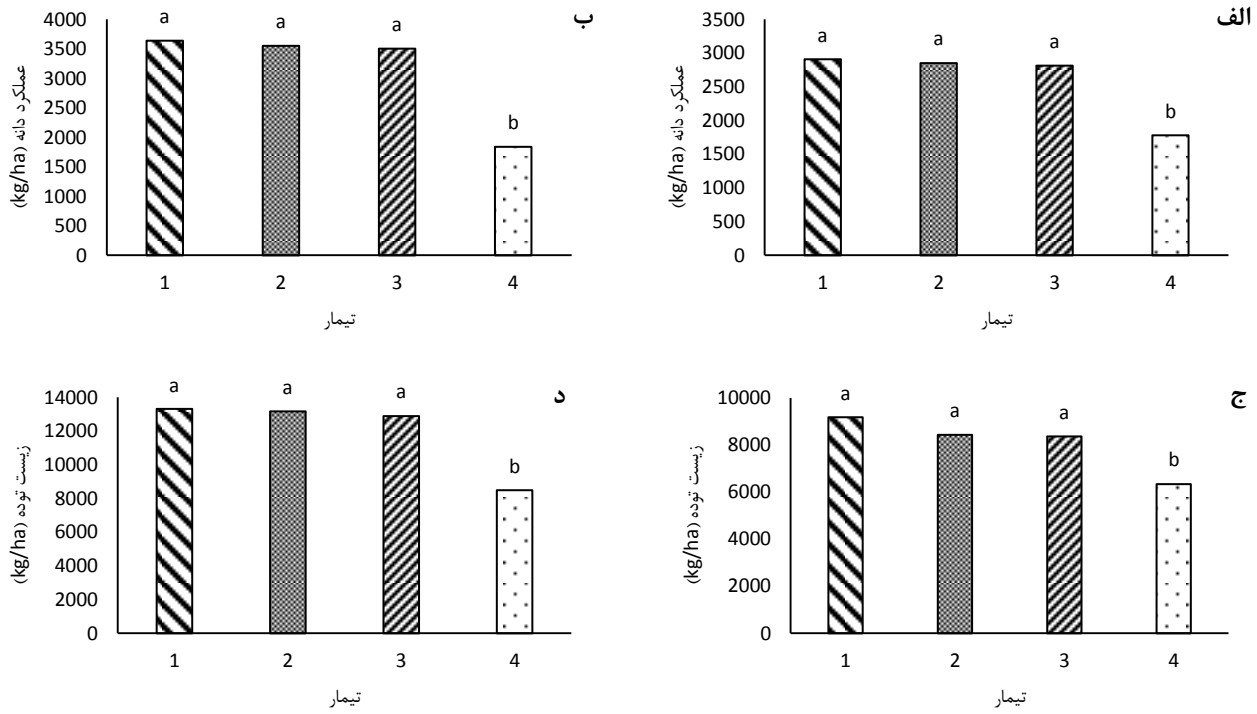
شکل ۳- میزان تبخیر و تعرق تجمعی در تیمارهای مختلف در کشت پاییز (سال ۹۹-۱۳۹۸)

شکل ٤- مقایسه میانگین آب مصرفی در تیمارهای مختلف در کشت بهار (سال ۹۹-۱۳۹۸) (آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد)



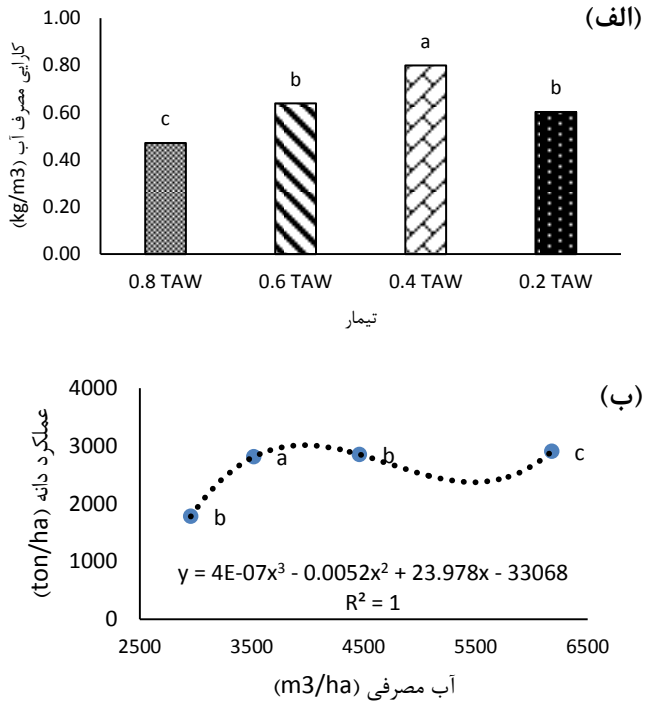
شکل ۵- مقایسه میانگین آب مصرفی در تیمارهای مختلف در کشت پاییز (سال ۹۹-۱۳۹۸) (آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد)

شکل ۶ (الف تا د) میانگین عملکرد بذر کینوا (رقم تیتیکاکا) و همچنین زیست توده تولیدی در سطوح مختلف رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۸ تا ۰/۲ کل آب قابل دسترس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود تا سطح رطوبتی شروع آبیاری در ۰/۴ کل آب قابل‌دسترس (یا به عبارتی تخلیه رطوبتی ۶۰ درصد) عملکرد دانه و زیست توده کینوا کاهش معنی‌دار نداشته و بعد از آن افت شدیدی در عملکرد دانه و وزن زیست توده مشاهده می‌گردد. همانگونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، به‌طور کلی عملکرد دانه کشت پاییز در هر یک از تیمارهای رطوبتی به‌صورت متناظر بیشتر از عملکرد دانه در کشت بهار است، که دلیل آن می‌تواند گرمای بالای هوا در زمان گل‌دهی و پرشدن دانه در کشت بهار باشد که تأثیر کاهشی بر عملکرد داشته است. اما وقتی مقایسه بین سطوح رطوبتی شروع آبیاری در هر فصل بصورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد، با کاهش رطوبت شروع آبیاری از ۰/۴ به ۰/۲ کل آب قابل دسترس، میزان کاهش در کشت پاییز بیشتر از کشت بهار است با اینکه مقدار کمی عملکرد دانه در تیمار شروع آبیاری در سطح رطوبتی ۰/۲ کل اب قابل دسترس در کشت پاییز (۱۸۳۹ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از کشت بهار (۱۷۷۹ کیلوگرم در هکتار) است.



شکل ٦- عملکرد دانه و وزن زیست توده کینوا در تیمارهای مختلف رطوبتی در کشت بهار (الف و ج) و کشت پاییز (ب و د)
(تیمار ۱= ۰/۸ TAW، تیمار ۲= ۰/٦ TAW، تیمار ۳= ۰/٤ TAW، تیمار ٤= ۰/۲ TAW)

شاخص کارآیی مصرف آب بر اساس اندازه‌گیری‌های حجم آب مصرفی و عملکرد دانه در هر دو فصل کشت در شکل ۷ (الف) و ۸ (الف) آورده شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده، شاخص کارآیی مصرف آب کینوا (WUE) در کشت بهار بین ۰/۴۷ تا ۰/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در کشت پاییز بین ۰/۵۵ تا ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. شکل ۷ و ۸ همچنین بیان‌گر آن است که بیشترین کارایی مصرف آب در کشت بهار و پاییز در سطح رطوبتی شروع آبیاری برابر ۰/۴ کل آب قابل دسترس مشاهده شد. کمترین میزان کارایی مصرف آب در کشت بهار تیمار سطح رطوبتی برابر ۰/۸ و در کشت پاییز در تیمار سطح رطوبتی برابر ۰/۲ مشاهده شد. توابع عملکرد – آب مصرفی نیز در شکل‌های ۷ (ب) و ۸ (ب) آورده شده است. در شکل‌های ۶ و ۷ دیده می‌شود بالاترین میزان عملکرد دانه و وزن زیست توده تولیدی در تیمار شروع آبیاری سطح رطوبتی ۰/۴ کل آب قابل دسترس (۶۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی) در هر دو تاریخ کشت بهار و پاییز حاصل شده است.



شکل ۷- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف سطوح رطوبتی (الف) و تابع تولید (ب) در کشت بهار (سال ۹۹-۹۸)

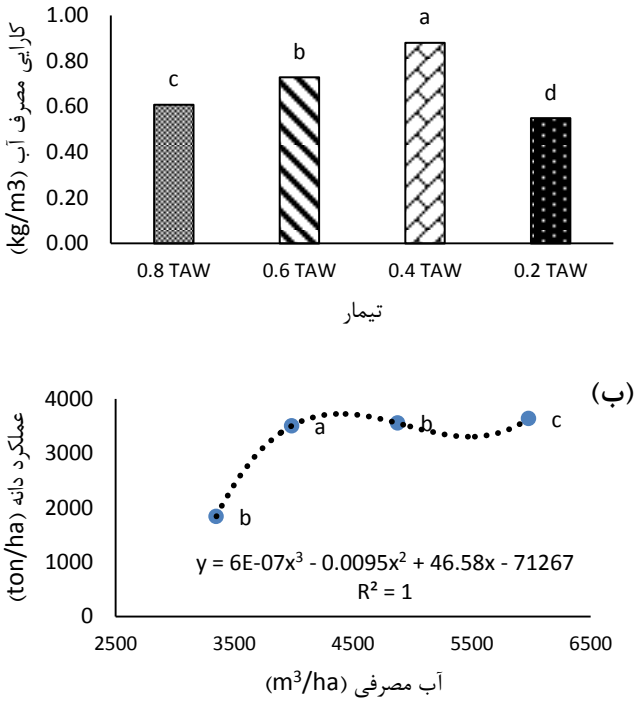
حداکثر مقدار مجاز تخلیه رطوبتی یا مقدار تخلیه مجاز مدیریتی (MAD)

نتایج به دست آمده با توجه به عملکرد بذر و عملکرد زیست‌توده کینوا در مقادیر متفاوت سطوح رطوبتی شروع آبیاری بیانگر این بود که تا سطح رطوبتی حدود ۰/۴، مقدار عملکرد بذر، عملکرد زیست‌توده تغییر معنی‌داری نداشته و بنابراین افزایش فواصل آبیاری و به عبارتی کاهش مقدار رطوبت شروع آبیاری در خاک تا این سطح بر کاهش میزان عملکرد تأثیر معنی‌داری نخواهد داشت. همچنین نتایج کارایی مصرف آب کینوا (شکل‌های ۷و ۸) در سطوح رطوبتی متفاوت نیز نشان‌گر این است که تیمار ۰/۴ TAW دارای بیشترین کارایی مصرف آب بود و با کاهش یا افزایش سطح رطوبتی شاهد کاهش کارایی مصرف آب می‌باشیم؛ بنابراین با توجه به این نتایج، حداکثر مقدار مجاز تخلیه رطوبتی (MAD) برای کینوا حدود ۰/۶ می‌باشد، یا به عبارتی می‌توان آبیاری را زمانی در کینوا شروع نمود که کاهش ۶۰ درصدی رطوبت قابل دسترس اتفاق افتاده باشد که در این صورت مقدار عملکرد نیز به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار نخواهد گرفت.

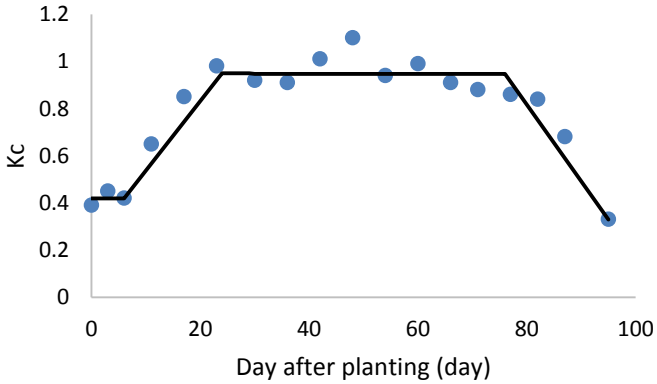
ضریب گیاهی

شکل‌های ۹ و ۱۰ ضریب گیاهی کینوا در مقادیر سطوح رطوبتی متفاوت در فصل رشد به ترتیب در کشت بهار و پاییز را نشان می‌دهند. ضریب گیاهی این کینوا به‌صورت کلی برابر ۰/۴۲ در ابتدای فصل رشد، ۰/۹۵ در میانه فصل رشد و ۰/۳۳ در انتهای فصل رشد در

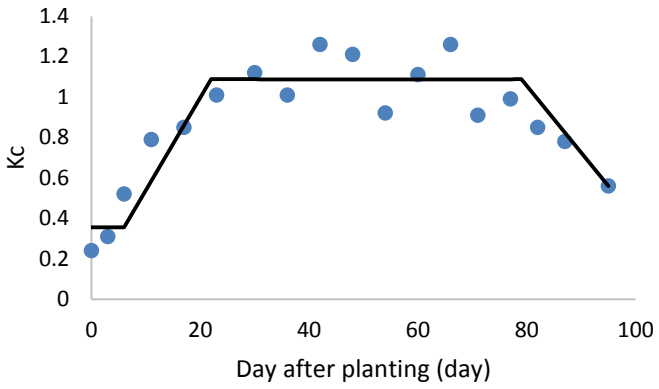
کشت بهار می‌باشد. ضریب گیاهی در فصل پاییز به‌صورت کلی برابر ۰/۳۶ در ابتدای فصل رشد، ۱/۰۹ در میانه فصل و ۰/۵۶ در انتهای فصل رشد در خاک منطقه با بافت غالب لوم شنی می‌باشد.



شکل ۸- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف سطوح رطوبتی (الف) و تابع تولید (ب) در کشت پاییز (سال ۹۹-۹۸)



شکل ۹- ضریب گیاهی کینوا در مراحل مختلف رشد در کشت بهار (سال ۹۹-۱۳۹۸)



شکل ۱۰- ضریب گیاهی کینوا در مراحل مختلف رشد در کشت پاییز (سال ۹۹-۱۳۹۸)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تا حدی از کاهش رطوبت خاک (یعنی MAD برابر ۰/۶) صفات رشدی و عملکردی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد اما با افزایش فواصل آبیاری یعنی شروع آبیاری در رطوبت خاک پایین‌تر یعنی سطح رطوبتی ۰/۲ کل آب در دسترس، این صفات به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. ال‌گسیبی و همکاران در گزارشات خود بیان نمودند که افزایش در رشد رویشی تا دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده شد. با این وجود در فواصل آبیاری طولانی‌تر یا به عبارتی، وقتی‌که در سطوح رطوبتی پایین‌تری آبیاری شروع می‌شود ایجاد تنش موجب کاهش وزن زیست‌توده و ارتفاع گیاه در فواصل آبیاری طولانی‌تر شده اس (Algosaibi et al., 2017). البته در برخی تحقیقات کاهش وزن زیست‌توده در دوره‌های آبیاری نزدیک‌تر یا فواصل آبیاری کوتاه‌تر مشاهده شده که ناشی از شستشوی عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد رویشی بود (McDonald and Davis, 1996؛ بیرامی و همکاران، ب۱۳۹۹). یازار و همکاران نیز بیان نمودند که تنش آبی در تیمارهای کم‌آبیاری، عملکرد زیست‌توده گیاه را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Yazar et al., 2015). این را می‌توان با این بدین‌صورت توضیح داد که شوری و تنش خشکی در کنار یکدیگر باعث افزایش مقاومت روزنه می‌شوند (Sezen et al., 2016).

نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که این گیاه دارای توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود بوده که گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌سازد (Go´mez-Pando et al., 2010; Jacobsen et al., 2001)؛ بنابراین با توجه به این‌که گیاه کینوا مکانیسم‌های متفاوتی جهت مقاومت به خشکی دارد (Jensen et al., 2000)، بنابراین کشت کینوا در مناطقی که دچار کمبود آب می‌باشند توصیه می‌شود. نیاز آبی خالص برآورد شده برای کینوا در طول فصل در کشت بهار و پاییز در MAD تعیین شده به ترتیب ۳۵۱/۹ و ۳۹۸/۳ میلی‌متر بود. گارسیا و همکاران نیز در تحقیقات خود کل آب مصرف محاسبه شده از بیلان آب خاک را ۴۵۰ میلی‌متر در هر فصل گزارش کردند و بیان نمودند که کمی این مقدار کمتر از ۵۰۰-۶۵۰ میلی‌متر در فصل است که برای غلاتی مانند جو محاسبه شده است (Garcia et al., 2003). در تحقیق حاضر ضریب گیاهی کینوا برابر ۰/۴۲ در ابتدای فصل رشد، ۰/۹۵ در میانه فصل رشد و ۰/۳۳ در انتهای فصل رشد در کشت بهار به دست آمد. ضریب گیاهی کینوا در کشت پاییز به‌صورت کلی برابر ۰/۳۶ در ابتدای فصل رشد، ۱/۰۹ در میانه فصل و ۰/۵۶ در انتهای فصل رشد برآورد گردید. گارسیا و همکاران نیز دامنه اعداد مشابهی برای مقدار ضریب گیاهی کینوا گزارش نمودند. آنان در ابتدای فصل (از سبز شدن تا ۱۰ درصد پوشش زمین) ضریب گیاهی حدود ۰/۵ به دست آوردند (Garcia et al., 2003). بر اساس نظر دورنباس و پرویت این مقدار تابعی از دور یا تواتر آبیاری و تقاضای جوی (ET_0) است (Doorenbos and Pruitt, 1986). گارسیا و همکاران بیان نمودند که مرحله رشد رویشی یک دوره رشد پویا با مقدار افزایشی است که در ابتدای مرحله میانی فصل (دوره گلدهی و پر شدن بذر) به مقدار نسبتاً ثابتی حدود حداکثر حدود یک افزایش می‌یابد (Garcia et al., 2003). مقادیر Kcبرای اواسط فصل در غلات به‌طورکلی بالاتر (حدود ۱/۱۵) از مقادیر مشاهده شده در برای کینوا است (Alen et al., 1998; Tyagi et al., 2000). مقادیر پایین Kc به معنای کاهش نیاز آب است، یعنی میزان تبخیر و تعرق کینوا کمتر از غلات است (Garcia et al., 2003). همچنین ال گسیبی و همکاران مقدار ضرایب گیاهی کینوا در ابتدا، میانه و انتهای فصل رشد را به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۰/۲۵ برآورد نمودند (Algosaibi et al., 2017). لابودی و همکاران در تحقیقی در الجزایر با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث، تبخیر تعرق مرجع را ارزیابی کردند و از لایسیمترهای غیر وزنی در پنج منطقه در اقلیم‌های مختلف برای تخمین تعادل آبی گندم استفاده کردند. میزان

Etاز ۱ تا ۲/۶ در ناحیه مرطوب و در ناحیه خیلی خشک از ۲/۱۴ تا ۹/۴۳ میلی‌متر در روز تغییر می‌کند. مقادیر ضریب گیاهی در ناحیه مرطوب و خیلی خشک به‌ترتیب ۱/۰۴-۰/۷۸ و ۱/۳۵-۰/۵ بود (Laaboudi et al., 2015).

نتایج این مطالعه نشان داده که بیشترین کارایی مصرف آب در کشت بهار و پاییز، به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۰/۴ کل آب در دسترس به دست آمد. گارسیا و همکاران بیان نمودند که پروژه‌های آبیاری عمدتاً به‌منظور تأمین آب در حساس‌ترین فاز کینوا به خشکی (اواسط فصل) است و بنابراین داده‌های فوق نشان می‌دهد که برآورد نیاز آبیاری کینوا با استفاده از Kc غلات منجر به برآورد بیش از حد نیاز آبی خالص تا حدود ۱۵ درصد می‌شود. داده‌های مربوط به اثر تنش خشکی نشان می‌دهد که برای به حداکثر رساندن راندمان مصرف آب، پروژه‌های آبیاری کینوا باید به‌گونه‌ای طراحی شود که کمتر از نیاز آبی کامل را برآورده کند (Garcia et al., 2003).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، این گیاه تا حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ۰/۶ مقاومت خوبی در برابر تنش رطوبتی داشته و عملکرد دانه و زیست‌توده کاهش معنی‌دار نداشته‌اند یا به عبارتی با تنش مواجه نشده است، بنابراین این سطح را می‌توان در هر دو تاریخ کشت به‌عنوان حداکثر مقدار مجاز تخلیه رطوبتی (MAD) تعیین نمود. با توجه به این نتایج، مناسب‌ترین مدیریت آبیاری برای این گیاه به‌گونه‌ای که با تنش خشکی مواجه نشود، آبیاری بر اساس تخلیه مجاز مدیریتی ۰/۶ کل آب در دسترس می‌باشد. در مقدار حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) برابر ۶۰ درصد، در کاشت گیاه کینوا رقم تیتیکاکا در اقلیم گرم و خشکی مانند یزد، نیاز آبی خالص برای کشت بهار و پاییز به ترتیب ۳۵۲ و ۳۹۸ میلی‌متر می‌باشد. چنانکه در سطوح رطوبتی بالاتر آبیاری شروع گردد، با افزایش شدید مقدار آب مصرفی مواجه خواهیم بود و در نتیجه کارایی مصرف آب (WUE) کاهش معنی‌دار خواهد داشت، بدون اینکه افزایش معنی‌داری در عملکرد داشته باشیم. بنابراین، آبیاری با دور کمتر (سطح MAD کمتر) به دلیل افزایش میزان تبخیر و کاهش کارآیی مصرف آب توصیه نمی‌گردد. علاوه بر این، بر اساس نتایج، ضریب گیاهی کینوا رقم تیتیکاکا در این MAD در کشت بهار برابر ۰/۴۲ در ابتدای فصل رشد، ۰/۹۵ در میانه فصل رشد و ۰/۳۳ در انتهای فصل رشد و در کشت پاییز برابر ۰/۳۶ در ابتدای فصل رشد، ۱/۰۹ در میانه فصل و ۰/۵۶ در انتهای فصل رشد بود.

منابع

بیرامی، ح.، رحیمیان، م.ح.، صالحی، م. و یزدانی بیوکی، ر. ۱۳۹۸. تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد کینوا (Chenopodium quinoa) در کشت بهاره. تولید گیاهان زراعی. ۲(۴): ۱۱۱-۱۲۰.

بیرامی، ح.، رحیمیان، م.ح. و دهقانی، ف. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۴(۳): ۴۰۱-۴۱۴.

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

تافته، آ.،و امداد، م.ر. ۱۴۰۰. تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Ky) در مدیریت‌های کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا .مدیریت آب در کشاورزی ۸(۲): ۱۰۱-۱۱۶.

جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۳۹۸. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۳): ۳۳۹-۳۵۲.

جمالی، ص.، شریفان، ح.، هزار جریبی، ا. و سپهوند، ن.ع. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه زنی و شاخص‌های رشد دو رقم گیاه کینوا. نشریه حفاظت منابع آب و خاک.۶(۱): ۸۷-۹۸.

گلستانی فر، ف.، خاشعی سیوکی، ع.، و محمودی، س. ۱۴۰۱. تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۶(۴): ۴۰۵-۴۲۰.

مسکینی ویشکایی، ف.، تافته، آ.، گوشه، م. ۱۴۰۲. تعیین نیاز آبی کینوا و ضرایب پاسخ به تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم خوزستان. علوم آب و خاک. ۲۷(۱): ۲۷۵-۲۸۶.

مصطفائی، م.، جامی الاحمدی، م. صالحی، م. و شهیدی، ع. ۱۴۰۲. بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته. پژوهشهای زراعی ایران. ۲۱(۱): ۲۹-۴۶.

رحیمی خوب، ح.، سهرابی، ت. و دلشاد، م. ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل شده گلخانه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۱۰): ۲۴۶۵-۲۴۷۲.

experimental botany. 62(1): 185-193.

Jacobsen S.E., Quispe, H. and Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soilsin the Andes. In: Scientists and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. CIP Program Report 1999–2000, 403–408.

Jacobsen, S.E., Monteros, C., Corcuera, L.J., Bravo, L.A., Christiansen, J.L. and Mujica, A. 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy. 26: 471–475.

Jensen, C.R., S.E. Jacobsen, M.N. Andersen, N. Nuñez, S.D. Andersen, L. Rasmussen. and Mogensen, V.O. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of fi eld quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European* Journal of Agronomy. 13: 11–25.

Laaboudi, A., Allaoua, C., Hafouda, L., Ballague, D., Sbargoud, S., Meterfi, J. and Herda, F. 2015. Crop coefficient and water requirement for wheat (*Triticum aestivum*) in different climate regimes of Algeria. International Journal of Agricultural Policy and Research. 3 (8): 328-336.

McDonald, A. J. S., and Davis, W. J. 1996. Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. Advances in Botanical Research. 22: 229-300.

Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S. and Yildiz, M. 2016. Use of dranage water for irrigation of quinoa in a mediterranean environment. 2nd World Irrigation Forum (WIF2) 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.

Tyagi, N.K., Sharma, D.K. and Lutra, S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural Water Management. 45(1): 41–54.

Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M. and Jacobsen, S.E. 2015. Saline water irrigation of quinoa (Chenopodium quinoa) under Mediterranean conditions. Crop Pasture Science. 66(10): 993-1002.

Adolf V.I., Jacobsen S.E. and Shabala S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany. 92: 43–54.

Algosaibi A.M., Badran, A.E., Almadini, A.M. and El-Garawany M.M. 2017. The Effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. Journal of Agricultural Science. 9(9): 182-191.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998.Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.

Bhargava A., Shukla S., Rajan S. and Ohri D. 2007 Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution. 54:167-173.

Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, A. and Tekin, S. 2021. Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. The Journal of Agricultural Science, 159(1-2): 116-127.

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1986. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome, Italy.

Garcia, M., Raes, D. and Jacobsen, S.E. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management. 60: 119–134.

Go´mez-Pando, L. R., lvarez-Castro, R. and Eguiluz-de Ia Barra, A. 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of Chenopodium quinoa Willd. a promising crop. Journal of Agronomy and Crop Science. 196: 391–396.

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. (2010). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. Journal of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 967-978

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۹۷۸-۹۶۷

Determination of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Crop Coefficient and Water Requirement in Lysimetric Condition

H. Beyrami[1]*, M.H. Rahimian[1], M. Salehi[2], R. Yazdani- Biouki[1], H. Pirasteh-Anosheh[1], M. Shiran-Tafti[1]
Recived: Jun.20, 2023 Accepted: Aug.19, 2023

Abstract

The water and soil resources are limited, and the optimal use of water resources in the agriculture needs the most accurate determination of the amount of crop water requirement and crop coefficients in different stages of growth. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is one of the plants that has outstanding economic and agronomic characteristics in the production of oil and protein among the sorghums. The present research was conducted to determine the maximum allowable depletion, crop coefficient and water requirement of quinoa under controlled conditions (lysimeter) in two spring and autumn cropping season. The results showed that with a decrease in the moisture level at the beginning of irrigation from 0.4 to 0.2 total available water, the amount of biomass and seed yield had a significant decrease of 24 and 37% in spring cropping and 34 and 47% in autumn cropping, respectively. But the decrease in moisture levels from 0.8 to 0.6 and 0.6 to 0.4 did not cause a significant decrease in seed yield and biomass in both spring and winter cropping. Based on the results, Maximum Allowable Depletion (MAD) was estimated to be 0.6 in both cropping seasons. Overall, the crop coefficient of quinoa (Titicaca variety) in spring cropping was equal to be 0.42 at the beginning of the growing season, 0.95 in the middle of the growing season, and 0.33 at the end of the growing season. In the autumn cropping, the crop coefficient of quinoa was equal to be 0.36 at the beginning of the growing season, 1.09 in the middle of the season, and 0.56 at the end of the growing season.The net water requirement of different treatments varied between 618.1 to 295.5 mm in spring cropping season and between 597.8 to 334.8 mm in autumn cropping season.

Keywords: Crop coefficient, Evapotranspiration, Lysimeter, Quinoa

1- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
2- Associate Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
3- Researcher, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
(*-Corresponding Author Email: beyrami.h@hotmail.com)