دو فصلنامه کشاورزی بوم شناختی
دوره دهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹

۱۳۷-۱۴۸

امکان‌سنجی اعمال تنش آبی دوره‌ای بر گیاه کینوا (رقم Titicaca)

صابر جمالی[۱]، مهدی کلاهی[۲*]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
[۲] نویسنده مسئول، استادیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

جمالی، ص.، کلاهی، م.، ۱۳۹۹. امکان‌سنجی اعمال تنش آبی دوره‌ای بر گیاه کینوا (رقم Titicaca). مجله کشاورزی بوم شناختی. ۱۰(۱): ۱۳۷-۱۴۸.

سابقه و هدف: از آنجایی‌که بخش کشاورزی بیشترین میزان مصرف آب را دارد، تمرکز روی روش‌هایی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب نظیر کم‌آبیاری و با در نظر گرفتن اهمیت آن به عنوان یکی از روش‌های مدیریتی در هنگام بروز خشکسالی و کمبود آب ضروری است. در پژوهشی (Aly *et al*., 2018) نشان دادند که با توجه به آبیاری با آب شور و اعمال کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد بر زیست‌توده گیاه کینوا افزوده شده است. تنش آبی می‌تواند بر روی ارتفاع گیاه، سرعت رشد نسبی، رشد سلول، سرعت فتوسنتز و تنفس گیاهان اثر منفی بگذارد (Geerts *et al*., 2006). هرچند که گیاهان زراعی دارای سازوکارهای متعددی برای سازگاری با کم‌آبی هستند، اما پاسخ‌ها و سازگاری گیاهان در کنترل آب مصرفی از طریق تعرق، به حساسیت روزنه و ظرفیت بیشتر جذب آب توسط سیستم ریشه وابسته است (Jayme-Oliveira *et al*., 2017). در پژوهشی (Jamali *et al*., 2020) بر روی گیاه کینوا رقم NSRCQ آزمایشی را انجام داده و نشان دادند که کاهش آب آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد در تیمارهای رویشی، گلدهی، دانه بستن و کل دوره رشد منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه به‌میزان ۱۹/۰، ۹/۰، ۴/۵ و ۲۶/۶ درصد و عملکرد دانه به‌میزان ۱۹/۳، ۱۱/۸، ۷/۵ و ۲۱/۲ درصد شد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا اجرا شده است.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر تنش رطوبتی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه کینوا رقم Titicaca پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد یا تیمار آبیاری در کل دوره رشد، تیمار تنش آبی در مرحله رشد رویشی، تیمار تنش آبی در مرحله گل‌دهی، تیمار تنش آبی در مرحله رسیدن دانه، و تیمار تنش در کل دوره رشد بود. پژوهش حاضر در شمال شرقی ایران و در شهر مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۹۵۸ متر از سطح دریا و در شرایط گلخانه‌ای اجرا شده است. به منظور کاشت بذور کینوا، بذور در عمق ۱/۵ سانتی‌متری کشت شده و با آب چاه آبیاری شدند. قبل از انجام آزمایش خواص فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مورد آزمایش قرار گرفت. پس از گذشت ۴ ماه گیاهان برداشت شده و برخی خواص مورفولوژیکی و عملکردی نظیر ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، تعداد سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست‌توده، وزن خشک ساقه، برگ و سنبله اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS (ver9.0) استفاده شده و برای آزمون مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث: طبق نتایج، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار شاهد (۹۶/۶ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع گیاه در تیمار تنش (۸۰/۳ سانتی‌متر) در کل دوره رشد مشاهده شد. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه گیاه (به‌ترتیب ۴/۰ و ۳/۶ گرم در بوته) به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش و

*Corresponding Author: MahdiKolahi@um.ac.ir

تنش در کل دوره رشد به‌دست آمد. با کاهش ۵۰ درصد میزان آب آبیاری تیمارهای تنشی دوره رویشی، دوره گلدهی، دوره پر شدن دانه و کل دوره رشد، وزن هزاردانه به ترتیب ۲۱/۷، ۲۸/۳، ۳۶/۹ و ۲۶/۱ درصد کاهش یافت. به علاوه، حداکثر و حداقل مقدار عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای تنش در دوره رویشی (۱۵/۳ گرم در بوته) و تنش در دوره دانه بستن (۷/۲ گرم در بوته) اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد دانه در تیمار کم‌آبیاری در کل دوره رشد نسبت به تیمار بدون تنش، به میزان ۵۱/۰ درصد کاهش داشت.

نتیجه‌گیری: به هر حال، جهت اعمال این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است و اعمال این تیمارها بر روی این گیاه در منطقه مشهد برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: امنیت غذایی، امنیت آبی، پایداری زیستی، کشاورزی بوم شناختی، تیمار کم آبیاری.

مقدمه

محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک موجب شده که آب به عنوان مهم‌ترین نهاده تولید تلقی شود. بنابراین انتخاب شیوه و زمان آبیاری درست برای استفاده حداکثر از واحد حجم آب ضروری است. در این راستا کم‌آبیاری جایگاه ویژه‌ای پیدا می‌کند و بایستی به عنوان یکی از اصول، با توجه به نادر بودن آب مدنظر قرار گیرد. کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح همراه می‌باشد. به عبارت دیگر، کم‌آبیاری نوعی مدیریت آبیاری است که در این نوع مدیریت آب مورد نیاز گیاه به طور کامل تأمین نمی‌گردد و به طور طبیعی عملکرد گیاه در این نوع آبیاری نسبت به آبیاری کامل کمتر خواهد بود (Jamali, 2017). البته کم‌آبیاری دارای اثرات و نتایج مثبتی است که عبارت‌اند از افزایش راندمان آبیاری، کاهش هزینه‌های آبیاری و کاهش هزینه‌ی آب بخاطر صرفه‌جویی در مصرف آن. به هر حال، تنش‌ها یکی از علل کاهش رشد و عملکرد محصول در زمین‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. از جمله این تنش‌ها می‌توان به تنش خشکی اشاره کرد که شدیدا باعث کاهش رشد و کاهش محصول در گیاهان می‌شود (Kolenc *et al*., 2017; Yasmeen and Siddiqui, 2018).

دو پاسخ مهم گیاه به تنش خشکی، کاهش سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه است. از طرف دیگر، در تنش خشکی پاسخ برگ نسبت به ریشه و ساقه بیشتر است. قابلیت دسترسی به آب نقش مهمی در ساختار برگ دارد. کاهش تعداد و سطح برگ در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش ناحیه سطحی تعرق، افزایش جذب آب از خاک و در نهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. کاهش سطح برگ می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد (Osuagwu *et al*., 2010; Lobato *et al*., 2008) و افزایش نسبت ریشه به ساقه عمدتاً مربوط به کاهش بیشتر زیست‌توده اندام هوایی نسبت به ریشه در شرایط تنش خشکی است. به همین دلیل، سیستم ریشه‌ای در جذب آب اهمیت زیادی دارد. سیستم‌های ریشه‌ای عمیق و گسترده قادرند رطوبت را از بخش‌های زیرین خاک با کارایی بالاتر جذب نمایند. بنابراین توسعه سیستم ریشه‌ای، سبب افزایش کارایی جذب آب از خاک می‌شود. در همین راستا، شواهد موجود حاکی از آن است که افزایش آبسزیک اسید (ABA) در پتانسیل‌های پایین آب، اثرات متفاوتی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی دارد، به طوری‌که رشد اندام‌های هوایی را متوقف ساخته اما رشد ریشه تداوم می‌یابد (Creelman *et al*., 1990).

در تحقیقی که به منظور بررسی اثر تنش‌های دوره‌ای بر روی گیاه کینوا اجرا شد (Geerts *et al*., 2006)، تیمارهای مورد بررسی شامل تنش در مرحله ۲-۶ برگی، ۱۲-۶ برگی، قبل از گلدهی، گلدهی، شیری شدن دانه، سفت شدن دانه، تنش در کل دوره رشد و بدون تنش بود. نتایج این پژوهش نشان داد که متوسط عملکرد دانه در تیمار تنش در مرحله ۶-۲ برگی بیشترین میزان (۵۳/۵ گرم) و کمترین آن در تنش در کل دوره رشد (۱۰/۹ گرم) مشاهده شد. همچنین این پژوهش نشان داد که بین تیمارهای بدون تنش، تنش در مرحله ۶-۲ برگی و ۱۲-۶ برگی در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشته است. اعمال تنش در مرحله سفت شدن دانه (۳۹ گرم) نیز نسبت به تیمار شاهد (۴۵/۴ گرم) تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. از طرف دیگر، در پژوهش (Iqbal *et al*., 2018) که به‌منظور بررسی اعمال تنش آبی بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا انجام شد، نتایج گویای کاهش

وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود و ژنوتیپ 2-Want در مقایسه با بقیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مقابل تنش خشکی تحمل‌پذیرتر است. (Aly *et al*., 2018) در تحقیقی اثر کم‌آبیاری را بر روی گیاه کینوا در عربستان سعودی انجام داده و بیان کردند که کم‌آبیاری باعث کاهش خواص رشدی و عملکردی این گیاه (خواص مورد بررسی: طول ریشه، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه) در سطح احتمال ۵ درصد شد. همچنین نتایج پژوهش سایر محققین نیز بیانگر کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته در اثر کم‌آبیاری سبب است (Aziz *et al*., 2018). بر اساس پژوهش محققین برزیلی بر روی گیاه کینوا، کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد باعث کاهش ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه، برگ، سنبله و دانه می‌شود (Jayme-Oliveira *et al*., 2017). علاوه بر آن، نتایج تحقیق (Jamali, 2017) در منطقه گرگان نشان داد که وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و عملکرد دانه در گیاه کینوا (رقم Titicaca) تحت سطوح مختلف رطوبتی کاهش می‌یابد، همچنین ایشان اظهار داشتند که با در نظر گرفتن محدودیت آب در منطقه و عدم تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در عملکرد دانه، می‌توان در این منطقه گیاه کینوا را با ۷۵ درصد نیاز آبی آبیاری نمود. نتایج پژوهش (Shaabani *et al*., 2009) بر روی گیاه کلزا، گویای این موضوع است که کمبود آب سبب کاهش ارتفاع بوته (به خصوص در تیمار دیم)، وزن خشک گیاه (به ویژه در تیمار تنش آبی پیوسته در دوره رشد گیاه)، شاخص سطح برگ، پتانسیل آب گیاه و افزایش دمای پوشش سبز گیاه به دلیل کاهش تبخیر و تعرق گردید.

سطح زیر کشت کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*.) و مصرف دانه آن در سال‌های اخیر به‌دلیل خاصیت غذایی و توانایی رشد آن در شرایط نامساعد مانند خشکسالی افزایش یافته است (Gámez *et al*., 2019)، از این رو با توجه به ارزش غذایی بالای گیاه کینوا و همچنین از آنجا که در این زمینه بر روی این گیاه در منطقه مشهد کار نشده بود، این پژوهش با هدف بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش‌های دوره‌ای آبی بر روی گیاه دارویی کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*.) رقم Titicaca پژوهشی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (با دمای محیط حدود ۲۴ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی حدود ۷۵ درصد) با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا گردید. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی بر پایه‌ی کشت گلدانی انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۵ سطح (W_1: آبیاری به‌میزان نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد، W_2: اعمال کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در دوره رویشی گیاه تا سنبله‌دهی، W_3: اعمال کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در دوره گلدهی گیاه، W_4: اعمال کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در دوره پر شدن دانه‌های گیاه، W_5: اعمال کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشدی گیاه) بود. در این پژوهش دور آبیاری ثابت و ۶ روز در نظر گرفته شد و عمق آبیاری نیز متغییر بود که با استفاده از تشت تبخیر کلاس A این میزان محاسبه شد (رابطه ۱) (Alizadeh, 2007). لازم به ذکر است که تشت تبخیر در گلخانه قرار داشته است.

$$ET_c = K_c K_p E_p \qquad (1)$$

در رابطه فوق، میزان ضریب تشت (K_p) بر اساس پژوهش (Amiri *et al*., 2011)، برابر با ۱/۱۵ در نظر گرفته شد. میزان ضریب گیاهی (K_c) نیز بر اساس پژوهش (Talebnejad and Sepaskhah, 2015) محاسبه گردید که در جدول (۱) ارائه شده است. تبخیر از سطح تشت (E_p) نیز روزانه برآورد شده و در پایان ۶ روز به‌صورت تجمعی محاسبه و در رابطه فوق مورد استفاده قرار گرفت. همچنین میزان نیاز آبی گیاه در شکل ۱ ارائه شده است.

خاک مورد استفاده در این پژوهش دارای بافت سیلتی لومی بوده که دارای شوری ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۸۵ و چگالی ظاهری ۱/۳۴ گرم در سانتی‌متر مکعب بود. در این پژوهش از خاک مرکب استفاده شد که دارای ۵۰ درصد خاک، ۲۰ درصد کود دامی، ۱۵ درصد پرلیت و ۱۵ درصد کود برگ بود. لازم به ذکر است که در انتهای هر یک از گلدان‌ها به منظور بهبود زهکشی، گراول ریخته شد و پس از آن گلدان‌ها با خاک مرکب پر شدند. به منظور جلوگیری از نشست و رسیدن به چگالی ظاهری خاک مزرعه، گلدان‌ها به‌صورت لایه‌ای پر

جدول ۱- ضریب گیاهی، گیاه کینوا رقم Titicaca در شرایط گلخانه‌ای (Talebnejad and Sepaskhah, 2015)
Table 1- Kc pf Quinoa plant (cv. Titicaca) in greenhouse conditions

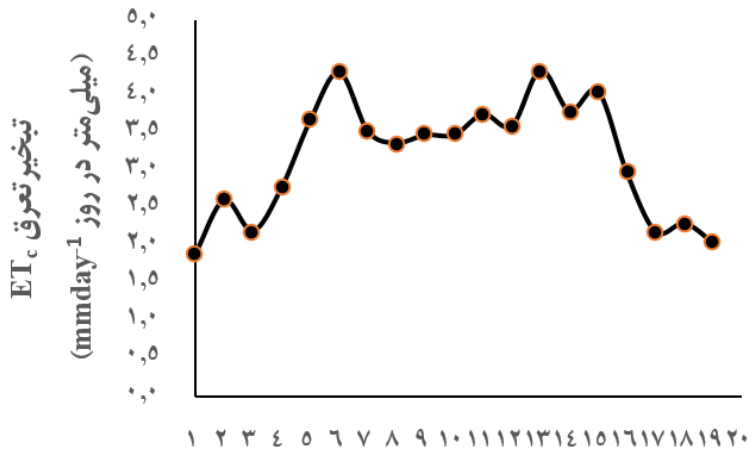
مرحله رشدی Growth stage	میزان ضریب گیاهی Kc
ابتدایی (K_{ini})	0.55
میانی (K_{mid})	1.2
انتهایی (K_{end})	0.75

شدند که با کوبش همراه بود. گلدان‌های مورد استفاده دارای قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بودند. پس از رسیدن به مرحله چهار برگی، تراکم بوته در هر یک از گلدان‌ها به سه عدد رسید. تا زمان رسیدن به مرحله چهار برگی، آبیاری به‌صورت یک در میان انجام شد و برای هر یک از گیاهان به‌میزان نیاز آبی آن گیاه، آبیاری اعمال شد. به‌منظور رشد بهتر گیاهان، در سه مرحله، کود عناصر ریز مغذی بر روی برگ گیاهان، محلول‌پاشی شد. همچنین در این پژوهش، علف‌های هرز در سه مرحله به‌صورت مکانیکی (با دست) وجین شدند. آب مورد استفاده در این پژوهش، آب چاه بوده که به خواص شیمیایی آن در جدول ۲ اشاره شده است. در ادامه، در تاریخ ۱۵ اسفند ۱۳۹۷، گیاهان هر یک از گلدان‌ها کف‌بری شدند و برای اندازه‌گیری صفات وزن خشک ساقه، سنبله و برگ؛ وزن خشک ریشه، زیست‌توده کل، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله و شاخه فرعی و ارتفاع، گیاهان مذکور به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خالی کردن گلدان‌ها، جهت جداسازی ریشه‌ها از خاک، ریشه‌شویی در چند مرحله انجام شد و ریشه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تعیین عملکرد برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۲-۴) استفاده شد. که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح (Kgm^{-2}) و I میزان آب مصرفی (میلی‌متر) می‌باشد. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (Root Mean Square Error)، ضریب تبیین R (Coefficient of determination)، حداکثر خطا ME (Maximum Error) و کارآیی مدلسازی EF (Modeling Efficiency) استفاده شد (روابط ۵-۸)، که در آن مقادیر عملکرد محاسبه شده، عملکرد متوسط، متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهدات می‌باشد. در انتها جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (ver. 9.1) استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. ترسیم شکل مربوط با هر یک از صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

$$Y = a_0 + a_1 I \quad (۲)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \quad (۳)$$

$$Y = a_0 + a_1 Ln(I) \quad (۴)$$



شکل ۱- نیاز آبی گیاه کینوا در طول فصل رشد
Figure 1- Quinoa plant water requirement during growth period

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی تیمارهای آب مورد استفاده
Table 2- chemical properties of used fresh water

کیفیت آب	ترکیبات شیمیایی Chemical properties									
Water Quality	SAR	Na (meq/L)	K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	SO_4 (meq/L)	HCO_3 (meq/L)	EC_{25} (dS/m)	PH
آب چاه Freshwater	۱/۷۳	۴/۱	۰/۶	۴/۴	۲/۸	۲/۴	۱/۷	۷/۸	۱/۲	۸/۲

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i-Y_i)}{n}} \quad (۵)$$

$$ME=MAX\ |Y_i-\hat{Y}_i| \quad (۶)$$

$$EF=\frac{\sum Y_i-\sum \hat{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (۷)$$

$$R^2=\frac{(\sum(I-\bar{I})(Y-\bar{Y}))^2}{\sum(I-\bar{I})^2\sum(Y-\bar{Y})^2} \quad (۸)$$

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس‌ها (جدول ۳)، نتایج نشان دهنده‌ی اثر معنی‌دار تنش‌های آبی دوره‌ای بر روی صفات وزن خشک ساقه، سنبله و برگ، زیست‌توده کل، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و ارتفاع در سطح احتمال یک درصد بوده و بر روی صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. لازم به ذکر است که تیمارهای مورد بررسی بر روی وزن خشک ریشه گیاه کینوا در هیچ یک از سطوح معنی‌داری، معنی‌دار نشد. مطابق جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) بیشترین میزان وزن خشک ساقه، سنبله و برگ در تیمار بدون تنش آبی به‌ترتیب با ۲۱/۴، ۱۶/۹ و ۱۵/۱ گرم مشاهده شد. از طرفی کمترین مقدار این صفات نیز در تیمار تنش در کل دوره رشدی بترتیب با ۱۱/۳، ۶/۳ و ۷/۵ گرم مشاهده شد. ولی مطابق با جدول ۴، در صفت وزن خشک ساقه میان تیمارهای تنش در دوره گلدهی و پر کردن دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌داری مشاهده نشد در حالی‌که در بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. در دو صفت دیگر بین تمامی تیمارها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. نتایج گویای این موضوع است که تنش آبی منجر به کاهش این صفات شده است و تنش در کل دوره رشد به دلیل توسعه کمتر و ریزش برگ‌ها، کاهش طویل شدن و آماس سلولی در دوره رویشی و ساقه‌روی و مقابله گیاه با صدمات حاصل از خشکی در زمان توسعه اندام‌های هوایی که بیشترین میزان از شیره پرورده را صرف توسعه ریشه خود کرده است، می‌تواند دلیلی بر کاهش وزن اندام‌های هوایی باشد. از طرفی کاهش وزن سنبله در تیمارهای تنش در دوره گلدهی و پر کردن دانه می‌تواند به این دلیل باشد که این دو مرحله جز حساس‌ترین مراحل در توسعه رشدی گیاه می‌باشند و این کاهش وزن قابل انتظار است. در صفت زیست‌توده کل، بیشترین میزان مربوط به تیمار بدون تنش (۵۳/۵ گرم) و کمترین مقدار مربوط به تنش در کل دوره رشد (۲۵/۱ گرم) بود. همچنین در این صفت نتایج نشان از این دارد که بین تیمارهای تنش در دوره رویشی و گلدهی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. زیست‌توده کل از زمان رشد تا زمان ساقه‌روی مرحله رویشی بیشتر تحت تأثیر وزن برگ است ولی از این مرحله به بعد به دلیل رشد ساقه و تولید شاخه‌های فرعی وزن گیاه بیشتر تحت تأثیر ساقه و شاخه‌های جانبی است. از این رو، دلیل کاهش زیست‌توده کل در تنش دوره رویشی نسبت به شاهد می‌تواند این باشد که در این دوره به دلیل کاهش شاخه‌های فرعی از میزان آن کاسته شده است. پس از این مرحله نیز زیست‌توده کل با توجه به خشک شدن برگ‌ها بیشتر تحت تأثیر وزن سنبله‌ها و دانه است. در تیمار تنش در دوره گلدهی و دانه بستن به دلیل کاهش وزن سنبله و عملکرد دانه، این کاهش زیست‌توده قابل انتظار است. (Sharma *et al*.,1990) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش رشد و شاخص‌های مربوط به آن می‌گردد. با کاهش مقدار آب، میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد و افت قابل توجه سرعت رشد نسبی بیانگر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخه و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد محصول باشد (Molden *et al*. 2001).

از مهمترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره تنش را می‌توان به اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکردی گیاه کینوا
Table 3- Analysis of variance of yield characteristics of Quinoa

منابع تغییرات Source of Varianc	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square									
		وزن ساقه Stem weight	وزن سنبله Panicle weight	وزن برگ Leaf weight	وزن ریشه Root weight	زیست‌توده کل Total biomass	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه kernel weights 1000	تعداد سنبله Panicle number	تعداد شاخه فرعی Branches number	ارتفاع بوته Plant height
تنش دوره‌ای Periodic stress	4	44.8 **	51.1 **	25.1 **	5.9 ns	310.9 **	36.3 **	1.2 **	6.3 *	3.74 *	137.7 **
خطا Error	10	0.3	0.24	0.2	5.1	0.5	0.6	0.004	2	1.1	6.3
ضریب تغییرات CV		4.2	4.3	3.5	22.2	2.9	6.9	3.1	25.9	16.2	2.9

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

** Significant 1 % levels, * significant 5 % levels, and ns non-significant

شامل رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن دانست. رشد و نمو یک گیاه به تقسیم سلولی و رشد و تمایز سلول‌ها وابسته است. رشد سلولی یکی از حساس‌ترین واکنش‌های گیاهان در برابر تنش خشکی می‌باشد. نتیجه کاهش اندازه سلول در رابطه با الگوی رشد گیاه به زمان وقوع کمبود آب از نظر فنولوژی گیاه بستگی دارد. اگر تنش آبی در ابتدای چرخه رشد گیاه اتفاق بیافتد، سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه تثبیت کربن در فصل رشد کاهش خواهد یافت. دیگر اثرات ثانویه حاصل از کاهش سطح برگ شامل تغییر در الگوی مصرف آب و نیتروژن می‌باشد (Emam and Niknejad, 2011). آب یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد، نمو و میزان مواد مؤثره گیاهان دارد. تنش آب به طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز و به طور غیرمستقیم بر ورود دی اکسید کربن به درون روزنه‌ها اثر بگذارد که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار کاهش می‌شود (Jacobsen *et al*., 2009; Khan *et al*., 2011). (Jacobsen *et al*., 2009) نشان دادند که گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان آب، روزنه‌های برگ خود را می‌بندند که خود موجب حفظ پتانسیل برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک می‌گردد. از طرف دیگر، ریشه در طول خشک شدن خاک، آبسزیک اسید تولید کرده که باعث تنظیم فعالیت روزنه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود. به هر حال، طبق نتایج پژوهش حاضر (جدول ۴)، صفت عملکرد دانه و وزن هزار دانه به بیشترین میزان به‌ترتیب با ۱۴/۳ و ۴/۶ مربوط به تیمار بدون تنش و کمترین مقدار نیز به‌ترتیب با ۷/۲ و ۲/۹ گرم در تیمار تنش در دوره پر شدن دانه مشاهده شد. لازم به ذکر است که در صفت عملکرد دانه در تک بوته بین تیمارهای بدون تنش و تنش در دوره رویشی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به اینکه تنش در دوره پر شدن دانه و دوره گلدهی منجر به کاهش شیره پرورده تخصیص یافته به دانه‌ها می‌شود انتظار کاهش این دو صفت در این تیمارها وجود دارد که در این پژوهش نیز در این دو صفت کاهش نسبت به تیمار شاهد مشاهده شده است. البته میزان این صفات در تیمار تنش در کل دوره رشدی با توجه به اینکه گیاه نسبتا با شرایط تنشی سازگار شده است، نسبت به تنش در دوره پر شدن دانه، بیشتر است. در این راستا، (Clark *et al*.,1983) به این نتیجه رسیدند که در زمان پر شدن دانه، کمبود آب از طریق تقلیل فتوسنتز باعث کاهش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود. خشکی در مرحله پر شدن دانه مخصوصاً اگر با افزایش دما همراه باشد، موجب تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره پر شدن دانه، میانگین وزن دانه‌ها و عملکرد می‌شود. این عمل توسط کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال توسعه صورت می‌پذیرد. (Emam *et al*., 2007) نتیجه گرفتند که با وجود شرایط

مساعد رطوبتی تا پیش از گلدهی، تنش خشکی از گلدهی تا رسیدن دانه بر عملکرد دانه اثر بارزی دارد و سبب افت عملکرد دانه می‌گردد. نتایج حاصل از پژوهش (Brisson *et al*., 2001) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد سنبله می‌گردد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارند. پژوهشگران اظهار داشته‌اند که ترکیبات پرورده برای پر شدن دانه‌ها تنها به وسیله فتوسنتز جاری برگ‌ها و بخش‌های سبز گیاه تأمین نمی‌شود. بلکه به وسیله انتقال کربوهیدرات‌های سایر اندام‌های گیاه نیز تأمین می‌شود که مسئول پایداری وزن هر دانه در گیاه است. ذخایر ساقه در غلات به ویژه در شرایط تنش می‌تواند تأثیر معنی‌داری روی عملکرد از طریق انتقال این ترکیبات به دانه‌ها داشته باشد (Lobato *et al*., 2008). اثر تنش رطوبت در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار بارز است، چون عملکرد بالقوه بسته به وزن هر دانه دارد که این مستلزم تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها می‌باشد (Fisher and Maurer, 1988). افزایش رقابت درون بوته‌ای به دلیل عرضه محدودتر مواد پرورده، ممکن است بر بقای پنجه‌ها، نمو سنبلک و پر شدن دانه تأثیر گذارد و دوام فرآیند یاد شده نیز ممکن است به وسیله میزان مسن شدن سایه انداز و سایر فرآیندهای بیوشیمیایی، تعیین شود. بنابراین، خشکی بر حسب زمان، طول و شدت دوره تنش می‌تواند عملکرد دانه را از طریق تأثیر بر هر یک از اجزاء یا ترکیبی از آن‌ها کاهش دهد. با وجود شواهد خوبی در تأیید این نظر، انتقال مجدد مواد پرورده ذخیره شده می‌تواند کاهش عرضه مواد پرورده را پس از گلدهی، تا زمانی که ساقه و سنبله سبز می‌باشند، جبران کند (Emam and Niknejad, 2011). مواد جمع شده در دانه از دو منبع فتوسنتز در خود دانه و انتقال مواد فتوسنتزی از قسمت‌های گیاه به دانه تأمین می‌گردد (Fisher and Maur-er, 1988). مطابق با جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، در تیمار بدون تنش بیشترین میزان از صفت تعداد شاخه فرعی و تعداد سنبله به ترتیب با ۷/۷ و ۵/۷ عدد (اعداد میانگین سه تکرار است) مشاهده شد. از طرفی در این صفات کمترین میزان (به‌ترتیب با ۵/۰ و ۲/۰ عدد) در تیمار تنش در کل دوره رشدی مشاهده شد. در صفت تعداد شاخه جانبی بین تیمارهای مورد

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی کینوا
Table 4- Mean Comparison of yield and yield components of Quinoa plant

تیمار Treatment	وزن ساقه Stem weight	وزن سنبله Panicle weight	وزن برگ Leaf weight	وزن ریشه Root weight	زیست‌توده کل Total biomass	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه kernel weights 1000	تعداد سنبله Panicle number	تعداد شاخه فرعی Branches number	ارتفاع بوته Plant height
	gr						-			cm
بدون تنش Non-stress	a 21.4	16.9 a	15.1 a	10.9 a	53.5 a	14.3 a	4.6 a	5.7 a	7.7 a	96.6 a
تنش در دوره رویشی Stress in vegetative stage	c 13.8	13.6 b	12.2 b	9.9 a	39.5 b	15.3 a	3.6 b	4.54 b	5.7 bc	81.3 c
تنش در دوره گلدهی Stress in flowering stage	b 16.8	11.7 c	11.4 c	10.1 a	39.9 b	12.7 b	3.3 c	4.3 b	6.3 b	88.5 b
تنش در دوره دانه بستن Stress in grain filling stage	b 17.7	8.9 d	9.2 d	8.9 a	35.8 c	9.2 d	2.9 d	3.0 c	6.5 b	92.4 a
تنش در کل دوره رشدی Stress in all of growth stage	d 11.3	6.3 e	7.5 e	9.4 a	25.1 d	11.0 c	3.4 c	2.0 c	5.0 c	80.3 c
LSD (0.05)	0.9	0.9	0.7	4.1	1.4	1.5	0.1	1.1	1.2	4.2

جدول ۵- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای معادلات مختلف تابع تولید آب-عملکرد
Table 5- Statistical indices calculated for production functions of water-yield

شاخص آماری Statistical indices	لگاریتمی Cobb-Douglas	خطی ساده Linear	درجه دوم Quadratic
	Y = 3.859 Ln (I) - 2.3628	Y = 0.945 I + 7.9375	Y = 0.0033 I^2 - 0.1962 I + 13.974
RMSE	۰/۰۳	۰/۱	۰/۱۴
رتبه Grade	۱	۲	۳
CRM	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲
رتبه Grade	۱	۲	۳
EF	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۷
رتبه Grade	۲	۳	۱
ME	۳/۶۶	۳/۶۸	۳/۴۴
رتبه Grade	۲	۳	۱
R^2	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲
رتبه Grade	۳	۲	۱
امتیاز Point	۹	۱۲	۹

بررسی (به جز بدون تنش) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در صفت تعداد سنبله بین تیمارهای تنش در دوره رویشی و گلدهی و بین تیمارهای تنش در کل دوره و دوره پر شدن دانه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوتی مشاهده نشد. بیشترین میزان ارتفاع بوته نیز در تیمار بدون تنش (۹۶/۶ سانتی‌متر) و کمترین میزان آن در تیمار تنش در کل دوره رویشی (۸۰/۳ سانتی‌متر) مشاهده شد. لازم به ذکر است که بین تیمارهای تنش در دوره رویشی و تنش در کل دوره رشدی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. دلیل عدم معنی‌داری ارتفاع بین تیمارهای بدون تنش و تنش در مرحله دانه بستن می‌تواند این باشد که در زمان اعمال تنش در این مرحله ارتفاع گیاه تقریبا به حداکثر خود رسیده ولی در تیمار تنش در دوره گلدهی از رشد ارتفاع کاسته است. نتایج این پژوهش با نتایج (Geerts *et al*., 2006)، (Jamali, 2017)، (Aly *et al*., 2018) و (Aziz *et al*., 2018) بر روی کینوا مطابقت دارد.

نتایج تخمین توابع تولید عملکرد-آب مصرفی به‌صورت توابع خطی، درجه ۲ و لگاریتمی در جدول ۵ ارائه شده است. پس از به‌دست 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 مورد استفاده به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد به‌طوری‌که برای RMSE، ME و CRM، مقادیر کمتر، رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر بیشتر، رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند. ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به‌ترتیب مقادیر کمتر، رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند (نتایج به تفصیل در جدول ۵ ارائه شده است). به هر حال، مقایسه ضرایب و مجموع رتبه‌بندی نشان دهنده این است که تابع لگاریتمی و درجه دوم در مقایسه با تابع خطی دارای قدرت برازش بیشتری بر روی مدل است.

نتیجه‌گیری

از آنجایی‌که گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه دارویی شناخته شده و از نظر تولید این گیاه در زمین‌های حاشیه‌ای و خاک‌های با کیفیت پایین نیز قادر به تولید محصول بوده، می‌تواند در امنیت غذایی با توجه ارزش این گیاه کمک‌ساز باش، از طرفی با توجه به اینکه از اکثر اندام‌های آن استفاده می‌شود و از دانه این گیاه در سبد غذایی نسبت به سایر اندام‌های گیاه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ با توجه به نتایج این پژوهش که در شرایط اعمال تنش آبی در دوره‌های مختلف رشدی وزن هزاردانه گیاه کینوا کاهش یافته و کمترین میزان کاهش در دوره رویشی اتفاق افتاده است، از این رو این تیمار برای تولید بیشترین میزان وزن دانه (یا به عبارت دیگر دانه‌های با مواد مغذی بیشتر با توجه به کمتر بودن تنشی که بدان اعمال شده)

توصیه می‌گردد؛ همچنین بیشترین میزان کاهش وزن هزار دانه در شرایطی رخ داده که در مرحله پرشدن دانه گیاه با تنش مواجه شده است. عملکرد دانه نیز در شرایط اعمال تنش دوره‌ای آبی گیاه دچار کاهش شده و بیشترین میزان کاهش ان در شرایط اعمال تنش در دوره پر شدن دانه رخ داده و بیشترین میزان عملکرد نیز در تیمار آبیاری کامل مشاهده شده است. با توجه به حداقل بودن اثر کم‌آبیاری در دوره رویشی نسبت به سایر دوره‌های رشدی گیاه در صفت عملکرد دانه، می‌توان این تیمار را جهت آبیاری گیاه کینوا در شرایط مشابه با این پژوهش توصیه کرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده بهترین تابع تولید آب-عملکرد در این پژوهش تابع لگاریتمی بود. جهت اعمال این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است و اعمال این تیمارها بر روی این گیاه در منطقه مشهد برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌گردد.

منابع

Alizadeh, A., 2007. Soil, Water and Plant Relationship. 6 ed. Imam Reza university publications, 470 pp (in Persian).

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.

Amiri, M., Abedi-Koupai, J. and Eslamian S., 2011. Evaluation of the performance of evaporation pans in greenhouse environment. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center. 2 (1), 63-73 (in Persian with English abstract).

Aziz, A., Akram, N.A. and 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.

Brisson, N., Guevara, E., Maturano, M. and Goca, G., 2001. Response of five wheat cultivare to early drought in the Pampas. Agronomy. 21, 483-349.

Clark, J.M., Smith, T. F., Cage MCt, N. and Gerr, D., 1983. Growth analysis of spring Wheat Cultivars of Varying drought resistance. Crop Science. 24, 537– 41.

Creelman, R.A., Mason, H.S., Bensen, R.J., Boyer, J.S. and Mullet J.E., 1990. Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. Plant Physiology. 92, 205-214

Emam, Y. and Niknejad, V., 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Performance. 3ed. Shiraz University publications. 571 pp (in Persian).

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.

Fisher, R.A. and Maurer, R., 1988. Drought resistance in spring wheat cultivars I: grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Research. 29, 897 – 912.

Gámez, A.L., Soba, D., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Aranjuelo, I. and Morales, F., 2019. Effect of Water Stress during Grain Filling on Yield, Quality and Physiological Traits of Illpa and Rainbow Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Cultivars. Plants. 8(6), 173.

Geerts, S., Mamani, R.S., Garcia, M. and Raes, D., 2006. Response of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to differential drought stress in the Bolivian Altiplano: Towards a deficit irrigation strategy within a water scarce region. In Proceedings of the 1st International Symposium on Land and Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture. Adana Turkey.

Hyskova, V.D., Miedzinska, L., Dobra, J., Vankova, R. and Ryslava, H., 2014. Phosphoenolpyruvate carboxylase, NADPmalic enzyme, and pyruvate, phosphate dikinase are involved in the acclimation of Nicotiana tabacum L. to drought stress. Journal of Plant Physiology. 171, 19-25.

Iqbal, H., Yaning, C., Waqas, M., Shareef, M. and Raza, S.T., 2018. Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H2O2 in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidant capacity. Ecotoxicology and environmental safety. 164, 344-354.

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 Horticulturae. 122(2), 281-287.

Jamali, S., 2017. Investigation the effects of different levels of salinity and deficit irrigation on yield and yield components of Quinoa. MSc thesis. Gorgan university of Agriculture science and Natural resource (in Persian with English abstract).

Jayme-Oliveira, A., Ribeiro Júnior, W.Q., Ramos, M.L.G., Ziviani, A.C. and Jakelaitis, A., 2017. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 52(8), 561-571.

Khan, H.R., Paull, J., Siddique, K.H.M. and Stoddard, F.L., 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments: a physiological and agronomic perspective. Field Crops Research. 115, 279-286.

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.

Lobato, A.K.S., Oliveira Neto, C.F., Santos Filho, B.G., Costa, R.C.L., Cruz, F.J.R., Neves, H.K.B. and Lopes, M.J.S., 2008. Physiological and biochemical behavior in soybean (Glycine max cv. Sambaiba) plants under water deficit. Australian Journal Crop Science. 2, 25-32.

Moaddab shabestary, M. and Mojtahedi, M., 1991. Crop physiology. PublishingCenterof Tehran University (in Persian).

Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivandival, R. and Makin, I., 2001. A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water Productivity. Wadduwe, Sri-Lanka, 12-13 November.

Osuagwu, G.G.E., Edeoga, H.O. and Osuagwu, A.N., 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves Ocimum gratissimum L. Recent Research in Science and Technology. 2, 27-33.

Shaabani, A., Kamgar Haghighi, A., Spaskhah, A., Emam, Y. and Honar, T. 2009. Effect of Water Stress on Physiological Parameters of oil Seed Rape (Brassica napus). Journal of Water and Soil Science. 13(49), 31-42.

Sharma, B.D., Sharma, U.C. and Kaul, H.N., 1990. Physiological traits for highyield in potato. Indian Journal of Hill Farming. 3(1), 41-46.

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

Yasmeen, R. and Siddiqui, Z.S., 2018. Ameliorative effects of Trichoderma harzianum on monocot crops under hydroponic saline environment. Acta Physiologiae Plantarum. 40(1), 4.

Journal of Agroecology
Vol. 10 / No. 1 /Spring & Summer 2020

137-148

Feasibility Study of Periodic Water Stress on Quinoa (cv. Titicaca)

Saber Jamali[1] and Mahdi Kolahi[2*]

[1] PhD student, Department of Water Engineering and Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
[2] Corresponding Author, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 2019.09.26 Accepted: 2020.02.19

Jamali, S., Kolahi, M., 2020. Feasibility Study of Periodic Water Stress on Quinoa (cv. Titicaca). Journal of Agroecology. 10(1), 137-148.

Introduction Since agricultural activity is the main water consumer, it is imperative to use approaches to increase water use efficiency. As a management practice, deficit irrigation strategy is applied to cope with water shortages, especially during drought periods. For example, (Aly *et al*., 2018) showed that quinoa plants can tolerate water stress (50%FC) when irrigated with moderately saline water (T1 and T2, respectively). Furthermore, salinity stress increases quinoa drought tolerance in terms of biomass production. Neither osmotic stress nor ions deficiency/toxicity seems to be determinant under T1 and 100%FC. Moreover, Quinoa showed the best performance in the treatment with the upper-middle water level among the other evaluated species. Water stress can affect plants by reducing plant height, relative growth rate, cell growth, photosynthetic rate, and respiration activation (Geerts *et al*., 2012). However, cultivated plants have several mechanisms of adaptation to water deficit, but responses are complex and adaptation is attributed to ability of plants to control water losses by transpiration, which depends on the stomatal sensitivity and greater capacity of water absorption by the root system, among other factors (Jayme-Oliveira *et al*., 2017). (Jamali *et al*., 2020) showed that 50% irrigation requirement reduction in vegetative stage, flowering stage, grain filling staged and deficit irrigation in all growth stage compared to full irrigation in all growth stage treatment, 1000 kernel weights were decreased by 19.0, 9.0, 4.5, and 26.6 % and Grain yield was decreased by 19.3, 11.8, 7.5 and 21.2% respectively. In the current study, a greenhouse experiment was conducted to investigate the impact of water and salt stress in Quinoa plants. In other words, the study aims to evaluate the effects of periodic water stress on yield and yield components of Quinoa in experimental research under greenhouse conditions.

Materials and Methods Titicaca cultivar of Quinoa was planted and experimental design was completely randomized with five treatments and three replications. Treatments were full irrigation in all growth stages, water stress in a vegetative stage, water stress in flowering stages, water stress in grain filling stage, and deficit irrigation in all growth stage treatment with supplemental irrigation in time of planting. This research was conducted at Ferdowsi University

*Corresponding Author: MahdiKolahi@um.ac.ir

of Mashhad during 2018-2019. It is located in the northeast of Iran at 36° 16' N latitude and 59° 38' E longitude, with 958 meters height from sea level. The seeds of Quinoa were planted at a depth of 1.5 centimeters in the soil of each pot and were irrigated with tap water. The physical and chemical properties of irrigation water and soil were determined before the experiment. Plants harvested after four months, and some characteristics were measured such as plant height, branches number, panicle number, thousand kernel weights, grain yield, biomass, stem, leaf, and panicle dry weights. The obtained data analyzed using statistical software of SAS (Ver. 9.0) and the means were compared using LSD test at 5 % percent levels.

Results and Discussion Results showed that the highest plant height (96.6 cm) was in full irrigation in all growth stage treatment and the shortest plant height (80.3 cm) was in deficit irrigation in all growth stage treatment. The highest of 1000 kernel weights were measured in full irrigation in all growth stage (4.6 g), and grain yield was measured in vegetative stages (15.3 g per plant), But the least of 1000 kernel weights and grain yield were measured in full irrigation in grain filling stage (2.9 and 7.2 g per plant, respectively). With a 50% reduction of water in the vegetative stage, flowering stage, grain filling staged and also deficit irrigation in all growth stage compared to full irrigation in all growth stage treatment, 1000 kernel weights were decreased by 21.7, 28.3, 36.9, and 26.1 %, respectively. Moreover, grain yield was decreased by 51.0%, changing from full irrigation in all growth stages to deficit irrigation in all growth stages.

Conclusions To apply these stresses at the farm level, more researches are needed. In other words, using these treatments on Quinoa in Mashhad region is recommended for future researches.

Keywords: Food Security, Water Security, Bio-Sustainability, Ecological Agriculture, Irrigation Treatment.