نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۳۱۷ تا ۳۲۸

# اثر کاربرد تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا بر رشد و عملکرد کینوا در شرایط مزرعه‌ای

محمدرضا بهادری قصرالدشتی[۱]، فاطمه رزاقی[۲و۱*] و علیرضا سپاسخواه[۲و۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳)

## چکیده

**استفاده ناکارآمد از منابع آب محدود و در کنار آن افزایش جمعیت و افزایش تقاضای آب به‌منظور تولید غذا، منابع آب کشاورزی را با تهدیدهای زیادی مواجه کرده است. یکی از راه‌های غلبه با این مشکل، بهبود بهره‌وری آب با معرفی محصولات جدید متحمل به تنش‌های آبی مانند کینوا است. در این مطالعه، اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه (سبزینگی، گلدهی و پر کردن دانه) بر روی پارامترهای گیاهی، عملکرد و بهره‌وری آب کینوا بررسی شد. این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای و تیمارها به‌صورت آزمایش بلوک و در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارتند از: تیمار بدون تنش آبی یا آبیاری کامل (F) و تیمار تنش آبی (D) به میزان ۵۰ درصد نیاز آبیاری کامل در مراحل مختلف رشد. کاربرد کم‌آبیاری در طی مراحل مختلف رشد باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ، پتانسیل آب برگ، عملکرد دانه و بهره‌وری آب شد، درحالی که کم‌آبیاری باعث افزایش دمای پوشش سبز گیاه شد. با توجه به نتایج این پژوهش، مرحله گلدهی کینوا به تنش آبیاری بسیار حساس بوده، به‌طوری که میزان محصول کمتری نسبت به حالتی که تنش آبی در مرحله سبزینگی و یا پرکردن دانه اعمال شود، تولید شده است.**

**واژه‌های کلیدی: دمای پوشش سبز، پتانسیل آب برگ، بهره‌وری آب، کم‌آبیاری، رقم تیتیکاکا**

۱. بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران
۲. مرکز مطالعات خشکسالی، دانشگاه شیراز، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: razzaghi@shirazu.ac.ir

**مقدمه**

آب در کشور ایران، که دارای اقلیم گرم و خشک است، نقش بسیار حیاتی داشته و دارد، به‌طوری که بیشترین تراکم جمعیت در مناطق پر آب از جمله کنار رودخانه‌ها و دریاها و کمترین تراکم جمعیت در مناطقی است که از نظر میزان بارندگی وضعیت چندان مناسبی ندارند (۱۷). ایران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی، سهم ناچیزی از آب شیرین را دارا است. میزان نزولات جوی هم از بعد زمانی و مکانی و هم از نظر کمیت و میزان استفاده در جغرافیای کشور ایران به‌شدت متفاوت است.

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، دقت و صرفه‌جویی در کاربرد آب به‌ویژه در بخش کشاورزی که حجم زیادی از آب مصرفی را به‌خود اختصاص داده است، امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از روش‌هایی که امروزه برای افزایش بازده استفاده از آب توسط متخصصین پیشنهاد می‌شود، کم‌آبیاری است. کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به‌عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است هر چند که همراه با کاهش محصول در واحد سطح همراه است. در این روش گیاه در یک یا چند مرحله خاص رشد (کم‌آبیاری پویا) و یا در تمام مراحل رشد (کم‌آبیاری ایستا) کم‌آبیاری می‌شود (۵ و ۹).

یکی از گیاهانی که مقاوم به تنش خشکی است و به‌خوبی می‌تواند با شرایط نامناسب خاک و شرایط بحرانی آب و هوایی سازگار شود، کینوا است (۴). محصول اصلی گیاه کینوا دانه آن است که دارای ارزش غذایی بالایی است. کینوا تحت عناوین خاویار گیاهی یا برنج اینکا نامگذاری شده اشت. کینوا بسیار خوش هضم بوده و منبع غنی آهن، پروتئین، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین $B_2$ است (۸). دانه‌های این گیاه مقدار سدیم کمتری ولی میزان کلسیم، فسفر، منیزیم، پتاسیم، آهن، مس، منگنز و روی بیشتری از گندم، جو و ذرت دارد (۱۳). کینوا مقدار قابل توجهی پروتئین دارد و ۹ اسید آمینه ضروری را دارا است. با توجه به اهمیت کم‌آبیاری و با توجه به کمبود منابع آب برای رسیدن به حداکثر بهره‌وری آب به‌جای حداکثر محصول در مناطق کوهستانی آند، پژوهش‌هایی روی کم‌آبیاری کینوا در بولیوی صورت گرفت (۴). این پژوهش‌ها اعمال کم‌آبیاری را در بولیوی برای تثبیت محصول کینوا در کل فصل رشد توصیه کردند. آنها برنامه‌ریزی کم‌آبیاری را به‌نحوی که در مراحل بعد از استقرار کامل گیاه، مرحله زایشی (گلدهی تا اوایل پر شدن دانه) میزان تنش آبی محدودتر شود توصیه کردند. بررسی محصول دانه، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب (WUE) نشان داد حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی مرحله ابتدایی پر شدن دانه است (۴). در پژوهش دیگری به بررسی تأثیر عمق آب زیرزمینی شور (۰/۳، ۰/۵۵ و ۰/۸ متر) و کم‌آبیاری (30%FI، 55%FI و 80%FI) بر رشد و محصول کینوا رقم تیتیکاکا در محیط گلخانه، در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار پرداختند (۱۵). نتایج نشان دادند با کاهش ۷۰ درصد از آبیاری تنها ۳۶ درصد محصول دانه کاهش یافت (بیشترین محصول دانه در تیمار عمق ۰/۸ متر با FI 80%) درحالی که موجب کاهش ۱۲ درصدی آب کاربردی شد. ماده خشک ساقه به کم‌آبیاری حساس نبود و کاهش آبیاری از 0.8FI به 0.3FI باعث کاهش ۸ درصدی ماده خشک ساقه در حضور آب‌های زیرزمینی شد. همچنین برای رسیدن به حداکثر محصول دانه در کم‌آبیاری متوسط (0.8FI)، آب زیرزمینی باید در سطح ۰/۵۵ متر یا بالاتر نگهداری شود. به‌طور متوسط با افزایش عمق آب زیرزمینی از ۰/۳ تا ۰/۵۵ متر و از ۰/۳ تا ۰/۸ متر به‌ترتیب باعث کاهش ۲۷ درصد و ۴۱ درصد مقدار کمک آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه کینوا شد. همچنین اثر تنش‌های آبی دوره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام کینوا تحت کشت گلدانی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن هزار دانه (۳/۹۹ گرم)، عملکرد دانه (۲۱/۲ گرم)، ارتفاع (۶۷/۹ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری بدون تنش آبی و بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۲/۱۴ کیلوگرم در متر مکعب) در تیمار تنش در کل دوره رشد مشاهده شد (۷). اثر نوع خاک و خشکی در مرحله پر شدن دانه بر مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه، عملکرد و آب مصرفی کینوا در

لایسیمتر مورد بررسی قرار گرفت (۱۲) و نتایج نشان داد با وجود اینکه کاربرد مقدار یکسان نیتروژن (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) در سه خاک با بافت‌های شنی، لوم شنی و لوم رسی شنی، حداکثر مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه، تعرق و عملکرد در بافت لوم رسی شنی گزارش شد. همچنین، کم‌آبیاری به‌عنوان راهکاری برای افزایش بهره‌وری آب برای کینوا توصیه شد (۱۲).

لذا با توجه به اینکه گیاه کینوا تحمل زیادی نسبت به تنش آبی دارد (۴ و ۶) و همچنین با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر در ایران (۱) و نیاز به مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، در این پژوهش به بررسی اثر تنش آبی روی مراحل مختلف رشد گیاه و ویژگی‌های کمی گیاه کینوا در شرایط کشت مزرعه‌ای پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش‌های مزرعه‌ای

به‌منظور بررسی اثر تیمار مختلف تنش آبی روی مراحل مختلف رشد گیاه و ویژگی‌های کمی گیاه کینوا، این پژوهش در تاریخ ۱۱ فروردین ماه با کاشت گیاه شروع شد و در تاریخ ۱۲ تیرماه سال ۱۳۹۶ برداشت شد. این پژوهش در اراضی دانشکده کشاورزی شیراز واقع در منطقه باجگاه به طول جغرافیایی ۲۹°۳۶، عرض جغرافیایی ′۵۲ °۳۳ و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا انجام شد. مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط دما و رطوبت نسبی در طول فصل رشد به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. کشت مزرعه‌ای در خاک سیلتی کلی لومی انجام شد که خصوصیات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

### طرح آماری

این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای و به‌صورت آزمایش بلوک و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارتند از: تیمار بدون تنش آبی یا آبیاری کامل (F) و تیمار تنش آبی (D) به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبیاری کامل در مراحل مختلف رشد (سبزینگی، گلدهی و پر کردن دانه) که شامل هشت تیمار آبیاری FFF، FDF، FFD، FDD، DDD، DFF، DFD و DDF اعمال شد. هر کدام از حروف انگلیسی بیانگر نوع تیمار آبیاری به‌ترتیب (از چپ به راست) در مراحل سبزینگی، گلدهی و پر کردن دانه است (به‌عنوان مثال منظور از FDD اعمال تیمار آبیاری کامل در مرحله سبزینگی، سپس اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی و همچنین اعمال تنش آبی در مرحله پرکردن دانه است). همچنین تیمار FFF که در تمامی مراحل رشد به‌صورت کامل آبیاری شده است، به‌عنوان تیمار شاهد انتخاب شد.

بذر گیاه کینوا رقم تیتیکاکا به مقدار ۲۷ کیلوگرم در هکتار در فروردین و در کرت‌هایی با ابعاد ۲ متر در ۲ متر کشت شد. در هر کرت بذر گیاه کینوا در ردیف‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و فاصله هر گیاه ۱۰ سانتی‌متری، در عمق ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متری کاشته شد.

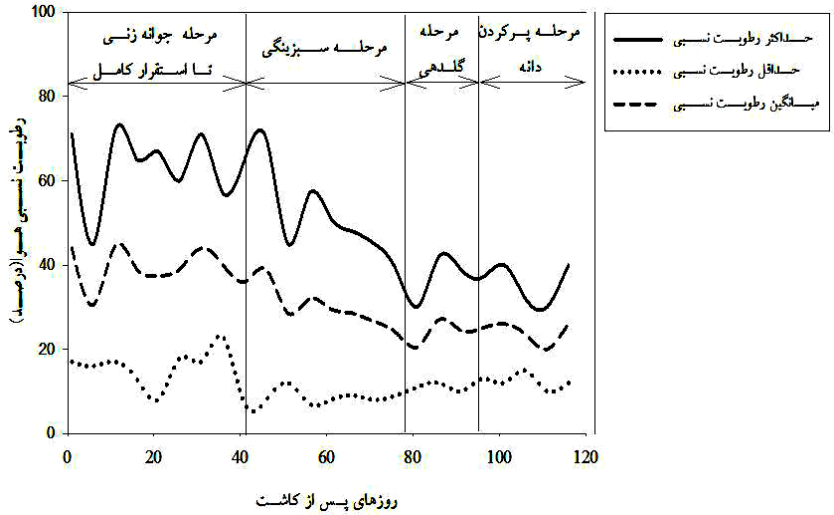
### صفات اندازه‌گیری شده

### نیاز آبیاری

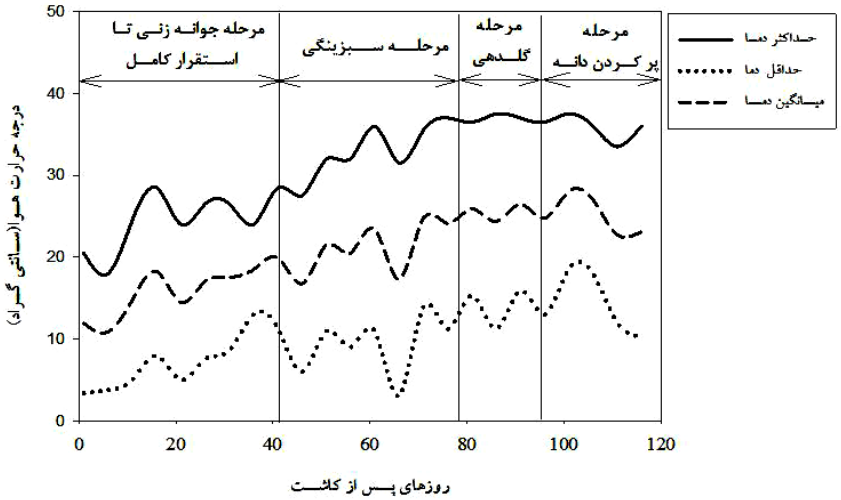
برای تعیین نیاز آبیاری، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه نوترون متر در اعماق ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. مقدار کمبود در هر عمق نسبت به حد ظرفیت بر اساس عمق ریشه گیاه زراعی به‌دست آمد. در هر مرحله از رشد گیاه، عمق ریشه گیاه با برداشت نمونه از خاک، تعیین شد و بر اساس آن، عمق آب مورد نیاز برای رساندن خاک به حد ظرفیت زراعی با استفاده از معادله زیر به‌دست آمد:

$$d = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta z \qquad (۱)$$

که در این معادله d مقدار آب آبیاری برحسب متر، i شماره هر لایه از خاک، n تعداد لایه‌های خاک $\theta_i$ رطوبت خاک در هر عمق قبل از آبیاری ($m^3/m^3$)، $\theta_{fci}$ رطوبت ظرفیت زراعی ($m^3/m^3$) و $\Delta z$ ضخامت لایه‌های خاک (برابر ۰/۳ متر) برحسب متر است.




**شکل ۱. تغییرات درصد رطوبت نسبی هوا در فصل رشد (از تاریخ ۱۱ فروردین ماه تا ۱۲ تیر ماه سال ۱۳۹۶)**




**شکل ۲. تغییرات دمای هوا در فصل رشد (از تاریخ ۱۱ فروردین ماه تا ۱۲ تیر ماه سال ۱۳۹۶)**

**جدول ۱. مشخصات خاک سری دانشکده کشاورزی شیراز (۱۴)**

| مشخصات خاک | مقدار |
|---|---|
| درصد شن | ۱۱ |
| درصد سیلت | ۵۶ |
| درصد رس | ۳۳ |
| بافت خاک | سیلتی کلی لوم |
| چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$) | ۱/۴ |
| رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی (٪) | ۳۲ |
| رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (٪) | ۱۷ |

### دمای پوشش سبز گیاه

اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه با استفاده از دستگاه دماسنج مادون قرمز (KYGRSTSU, 5500) در دوره‌های مختلف در بین ساعت ۱۱ تا ۱۴ بعدازظهر انجام شد. با انجام آزمایش‌های مربوطه، ضریب مربوط به رنگ برگ نیز تعیین شد. برای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه در فاصله حدوداً بین ۰/۳ تا ۰/۵ متری گیاه و زاویه تقریباً ۴۵ درجه گیاه ایستاده و دماسنج را به طرف پوشش گیاهی گرفته شد. در طول کل رشد گیاه ۵ مرتبه دمای برگ اندازه‌گیری شد، مرحله اول ۵۸ روز بعد از کاشت، مرحله دوم ۶۴ روز بعد از کاشت، مرحله سوم ۷۲ روز بعد از کاشت، مرحله چهارم ۸۴ روز پس از کاشت و مرحله پنجم ۱۰۵ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شد.

### شاخص سطح برگ گیاه

شاخص سطح برگ گیاه (LAI) بیان‌کننده مساحت برگ به مساحت اشغال شده گیاه در روی زمین، که از حاصل‌ضرب فاصلهٔ طولی و عرضی (۱۰ در ۲۰ سانتی‌متر) است، به‌دست می‌آید. برای محاسبه مساحت برگ‌ها با استفاده از معادله به دست آمده بین طول و عرض برگ‌ها توسط طالب‌نژاد و سپاسخواه (۱۵) استفاده شد:

$$LA = 0.64(L \times W) \qquad (۲)$$

که در آن LA (Leaf Area) مساحت سطح برگ ($cm^2$) و L طول برگ (cm) و W عرض برگ (cm) است. سپس از معادله زیر، شاخص سطح برگ محاسبه شد:

$$LAI = \frac{LA}{LG} \qquad (۳)$$

که در آن LA مساحت برگ‌ها برحسب سانتی‌متر مربع و LG مساحت اشغال شده هر بوته برحسب سانتی‌متر مربع است. در طول کل رشد گیاه ۵ مرتبه شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد، مرحله اول ۴۵ روز بعد از کاشت، مرحله دوم ۵۸ روز بعد از کاشت، مرحله سوم ۶۴ روز بعد از کاشت، مرحله چهارم ۸۷ روز پس از کاشت و مرحله پنجم ۱۰۷ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شد.

### پتانسیل آب برگ

پتانسیل آب برگ، با قرار دادن نمونه برگ جدا شده از گیاه در داخل اتاقک دستگاه بمب فشاری به‌دست آمد. پتانسیل آب برگ گیاه کینوا در سه مرحله رشد، در مرحله سبزینگی ۷۴ روز بعد از کاشت، در مرحله گلدهی ۹۳ روز بعد از کاشت و مرحله پر کردن دانه ۱۰۸ روز بعد از کاشت در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

### وزن دانه خشک

برای تعیین وزن دانه خشک گیاه در انتهای فصل، در هر کرت به مساحت یک متر مربع برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان مربوط به هر یک از تیمارها جداگانه و گل آذین آنها به‌صورت جداگانه داخل پاکت قرار داده شد و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک و وزن شدند.

### بهره‌وری آب

بهره‌وری آب (WP) به‌ازای وزن دانه (GY، $kg\ ha^{-1}$) از معادله زیر تعیین می‌شود:

$$WP_{GY} = \frac{GY}{wa} \qquad (۴)$$

که در آن $wp_{GY}$ بهره‌وری آب به‌ازای محصول دانه ($kg\ m^3$)، wa مقدار آب آبیاری در طول دوره رشد ($m^3\ ha^{-1}$) است.

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه‌های آماری و نتایج این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین به‌منظور ترسیم جدول‌ها و شکل‌ها از نرم‌افزار Sigma plot و Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) بر دمای پوشش سبز، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، محصول دانه و بهره وری آب به‌ازای محصول دانه نشان می‌دهد که اثر تیمار آبیاری بر کلیه این

**جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمار آبیاری بر پارامترهای اندازه‌گیری شده**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | دمای پوشش سبز | پتانسیل آب برگ | هدایت روزنه‌ای | محصول دانه | بهره‌وری آب به ازای محصول دانه |
| بلوک | ۲ | ۰/۸۹$^{*}$ | ۰/۲۹$^{ns}$ | ۴۵/۹۰$^{ns}$ | ۲/۷۳$^{ns}$ | ۰/۰۰$^{ns}$ |
| تیمار | ۷ | ۴/۱۷$^{**}$ | ۱۱/۸۱$^{**}$ | ۷۱۲۴/۲۵$^{**}$ | ۳۲۳/۷۶$^{**}$ | ۰/۰۰$^{**}$ |
| خطا | ۱۴ | ۰/۲۱ | ۰/۷۲ | ۶۲/۳۱ | ۱/۱۶ | ۰/۰۰ |
| ضریب تغییرات | | ۱/۳۶ | ۳/۱۶ | ۲/۱۴ | ۲/۸۱ | ۲/۰۴ |

ns، $^{**}$ و $^{*}$ به تربیت بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک و ۵ درصد

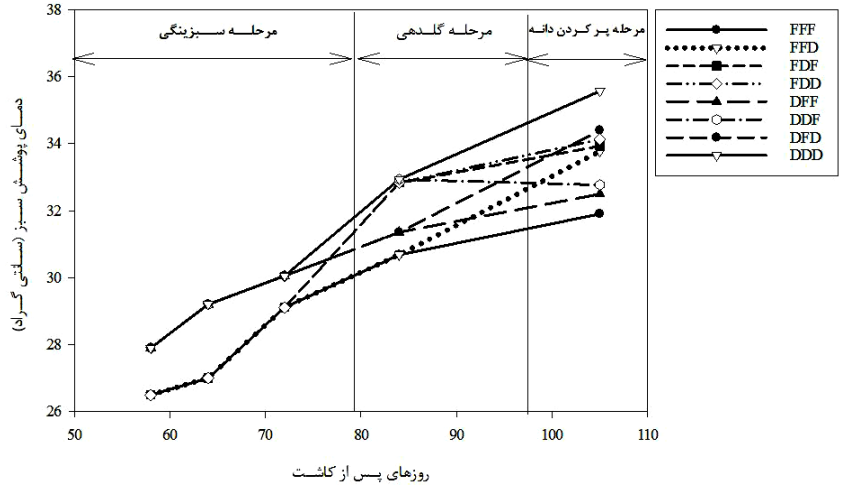
پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. همچنین اثر بلوک تنها روی دمای پوشش سبز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بوده و بر سایر صفات تأثیری نداشته است.

**دمای پوشش سبز**

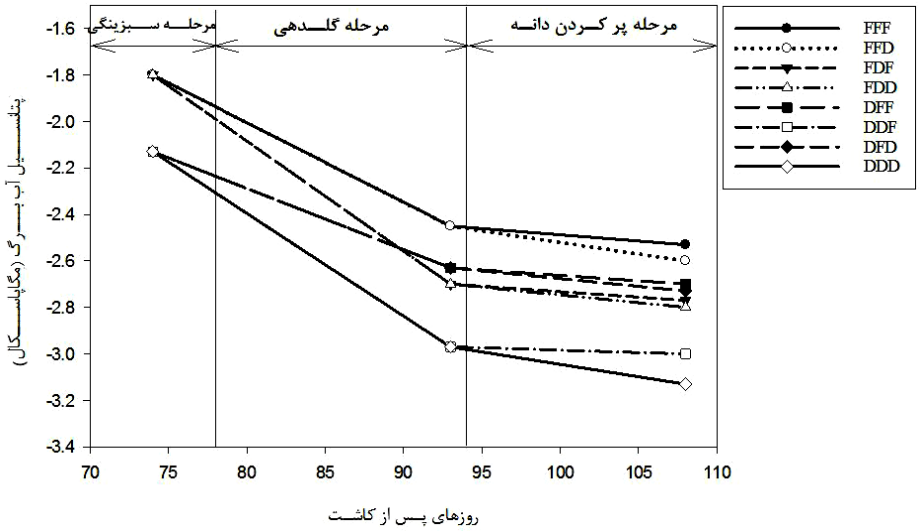
دمای پوشش سبز در هر سه مرحله رشد گیاه کینوا اندازه‌گیری شد (شکل ۳). همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد در مرحله پر کردن دانه (۱۰۵ روز بعد از کاشت) اثرات تیمار کم‌آبیاری (DDD) در مقایسه با شاهد (FFF) اثر معنی‌داری بر میزان دمای پوشش سبز داشت و سبب افزایش دمای گیاه شد که تنش آبی دیده‌اند، اثر آبیاری، در مرحله پر کردن دانه در تیمار DDF که در دو مرحله قبلی کم‌آبیاری شده سبب شد تا به میزان ۸ درصد کاهش دما نسبت به تیمار DDD داشته باشد درحالی که تیمار DDF در مقایسه با تیمار شاهد تنها به میزان ۳ درصد افزایش دما در پی داشته است. در مقایسه بین دو تیمار FDF و FDD افزایش دمای معنی‌داری مشاهده نشد. اثرات تیمار کم‌آبیاری در مرحله گلدهی (۸۴ روز بعد از کاشت) (FDF) و (DDF) در مقایسه با شاهد (FFF) اثر معنی‌داری بر میزان دمای پوشش سبز داشت و سبب افزایش دمای گیاهانی شد که تنش آبی دیده‌اند. به‌طوری که در تیمار کم‌آبیاری (DDF)، میزان دمای پوشش سبز حدود ۱/۱ برابر میزان دما در تیمار شاهد شد. نتایج پژوهشگران نشان داده است که دمای پوشش سبز و تنش آب به همدیگر مرتبط هستند، به‌طوری که محدودیت آب خاک از طریق بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش تعرق (که ساز و کار خنک‌کننده گیاهان است)، می‌شود و درنهایت سبب افزایش دمای پوشش سبز گیاه می‌شود است (۱۱).

**پتانسیل آب برگ**

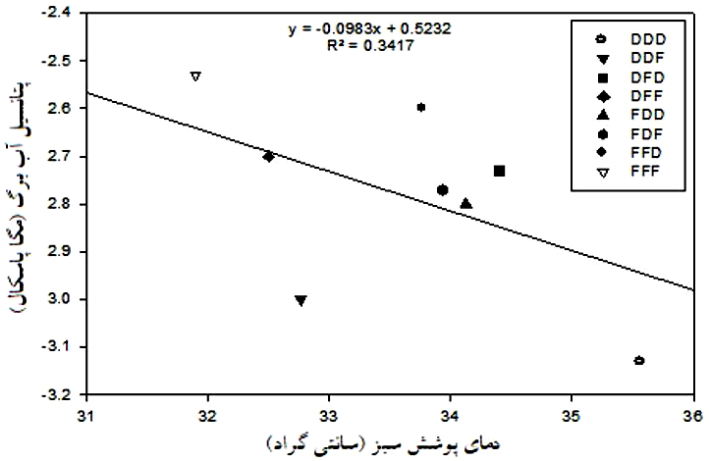
پتانسیل آب برگ گیاه کینوا در هر سه مرحله رشد گیاه کینوا اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که نتایج در شکل ۴ نشان می‌دهد کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد DDD، سبب کاهش معنی‌دار پتانسیل آب برگ گیاه کینوا به‌میزان ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد FFF شده است. در تیمار FFD در مقایسه با تیمار شاهد FFF با وجود اینکه در مرحله آخر رشد کم‌آبیاری شده، اما کاهش پتانسیل آب برگ آن معنی‌داری نبوده است. همچنین در مقایسه بین پتانسیل آب برگ تیمار FDF با تیمار FDD در صورت آبیاری کامل در مرحله آخر رشد تفاوت معنی‌داری بین این دو مشاهده نشد. تفاوت معنی‌داری بین پتانسیل آب برگ تیمارهای DDF با DDD و همچنین DFF با DFD، با وجود آبیاری کامل در مرحله آخر رشد مشاهده نشد. رابطه پتانیسل آب برگ با دما پوشش سبز گیاه در شکل ۵ نشان داده شده است. پتانسیل آب برگ با دمای پوشش سبز رابطه عکس با یکدیگر دارند، افزایش دما سبب کاهش پتانسیل آب برگ در گیاه شده است. با توجه به شکل ۵، تیمار DDD بیشترین دمای




**شکل ۳. تغییرات دمای پوشش سبز گیاه کینوا (سانتی‌گراد) در روزهای بعد از کاشت (DAS)**




**شکل ۴. تغییرات پتانسیل آب برگ گیاه کینوا (مگاپاسکال) در روزهای بعد از کاشت (DAS)**




**شکل ۵. رابطه بین دما پوشش سبز (سانتی‌گراد) با پتانسیل آب برگ (مگاپاسکال) گیاه در مرحله پر کردن دانه کینوا**

پوشش سبز و کمترین مقدار پتانسیل آب برگ کینوا در بین تیمارها را دارد و همچنین تیمار FFF کمترین دمای پوشش سبز و بیشترین پتانسیل آب برگ کینوا در بین تیمارها را دارد. در پژوهش دیگری نشان داده شد که در شرایط کمبود آب، میزان آب برگ لوبیا در اثر تنش خشکی کاهش یافته و سبب کاهش پتانسیل آب برگ و درنتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش دمای پوشش سبز گیاه شده است (۱۰).

**هدایت روزنه‌ای برگ**

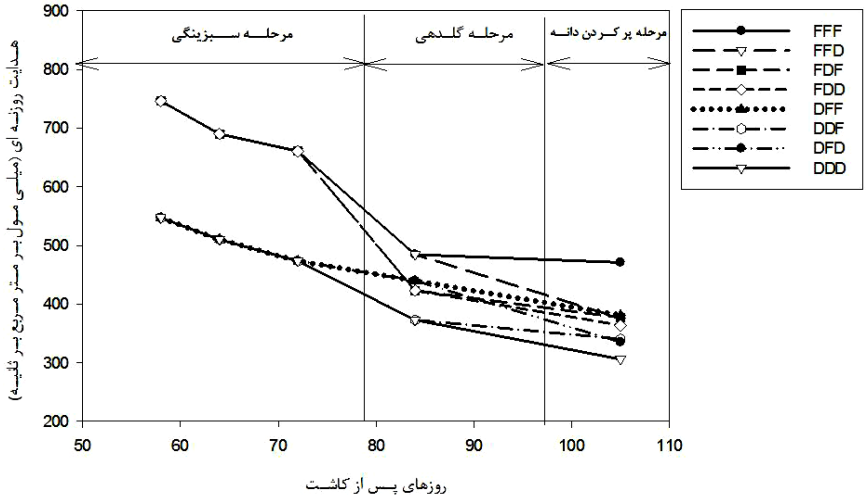
هدایت روزنه‌ای برگ در هر سه مرحله رشد گیاه کینوا اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که نتایج در شکل ۶ نشان می‌دهد کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد DDD سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ گیاه کینوا به‌میزان ۳۵ و ۲۳ درصد به‌ترتیب در مرحله پر کردن دانه و گلدهی نسبت به تیمار شاهد FFF شده است. در آزمایشی که در شرایط کشت مزرعه‌ای انجام شده، نشان دادند که تنش آبی در مرحله پر کردن دانه کینوا، سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ به اندازه ۱۷/۴ درصد شده است (۱۲). پژوهشگران در مطالعات خود نشان دادند که گیاه کینوا در هنگام خشکی برای حفظ پتانسیل آب برگ اقدام به بسته شدن روزنه‌های برگ خود می‌کنند به این ترتیب مصرف آب و فتوسنتز افزایش می‌یابد و همچنین بهره‌وری در شرایط کم‌آبیاری افزایش می‌یابد (۴ و ۱۶). در شکل ۷ رابطه بین هدایت روزنه‌ای برگ با پتانسیل آب برگ در مرحله پر کردن دانه آورده شده است. معادله به‌دست آمده معنی‌دار بوده و هدایت روزنه‌ای برگ با پتانسیل آب برگ رابطه مستقیم و اثرگذار داشته است. در پژوهشی نشان داده شد که دمای گیاه در شروع تنش کم‌آبیاری شروع به افزایش می‌کند اما ادامه پیدا کردن تنش خشکی سبب افزایش بیشتر دما، محدودیت فتوسنتز و کاهش هدایت روزنه‌ای برگ را در پی داشته است (۳).

**محصول دانه و بهره‌وری آب به ازای محصول**

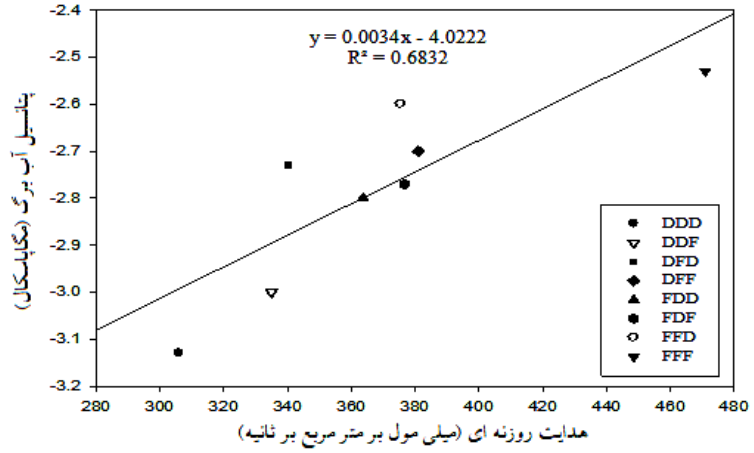
وزن دانه کینوا برحسب گرم بر متر مربع در جدول ۳ آورده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وزن دانه در تیمار FFF برابر است با ۵۷/۴۱ گرم بر مترمربع (معادل ۰/۵۷ تن در هکتار) و کمترین مقدار وزن خشک دانه در تیمار DDD برابر است با ۲۶/۲۶ گرم بر متر مربع (معادل ۰/۲۶ تن در هکتار) است. مقایسه بین تیمار FFD با تیمار شاهد، نشان داد که تنش آبی در مرحله آخر رشد سبب کاهش معنی‌دار ۱۶/۲ درصد شد. مقایسه بین سه تیمار DDF، DFD و FDD نشان داد که تیمار DFD نسبت به دو تیمار دیگر به‌طور معنی‌داری سبب افزایش دانه کینوا شد. مقدار دانه تیمار DFD برابر است با ۳۵/۵ گرم بر مترمربع و همچنین تیمار DFF در مقایسه با تیمار DFD، آبیاری کامل در مرحله پر کردن دانه سبب افزایش ۲۲ درصدی وزن دانه کینوا در تیمار DFF شده است. در مقایسه دیگری بین تیمار FFD با تیمارهای FDF و DFF مشاهده شد که آبیاری کامل در دو مرحله سبزینگی و گلدهی سبب افزایش معنی‌دار وزن دانه نسبت به دو تیمار FDF و DFF شده است. در مقایسه دو تیمار DFF با FDF تنش آبی در مرحله گلدهی مؤثرتر بوده و سبب کاهش معنی‌دار (۱۲/۵ درصد) وزن دانه شده است.

با توجه به مقایسه بین تیمارها، حساس‌ترین مرحله رشد به کم‌آبیاری مشخص شد که مرحله گلدهی بوده است و کم‌آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش معنی‌دار محصول می‌شود. مقدار محصول در تیمار شاهد کمتر از تیمار شاهد سایر پژوهش‌ها بوده است. علت آن می‌تواند بالا بودن دمای محیط (شکل ۱) و در کنار آن عواملی مانند وجود آفت‌ها نیز در طول کشت نیز باشد. زیرا دمای بهینه رشد گیاه کینوا ۳۶ تا ۶۸ درجه فارنهایت معادل با ۲ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و دمای بیشتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش محصول ۵۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد می شود (۲ و ۱۶). همچنین، اعمال تنش خشکی درمرحله گلدهی کینوا از طریق عقیم شدن دانه های گرده و اختلال در گرده‌افشانی سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (۷).

بهره‌وری آب به‌ازای محصول کینوا (جدول ۳) نشان می‌دهد




**شکل ۶. تغییرات هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) برگ گیاه کینوا در روز های بعد از کاشت (DAS)**




**شکل ۷. رابطه بین هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) برگ با پتانسیل آب برگ (مگاپاسکال) گیاه در مرحله پر کردن دانه کینوا**

**جدول ۳. محصول دانه گیاه و بهره‌وری آب به‌ازای محصول دانه کینوا در رژیم‌های مختلف آبیاری**

| سطوح آبیاری | وزن خشک دانه (گرم بر مترمربع) | بهره وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|---|---|---|
| FFF | ۰/۵۷ a* | ۰/۰۴۵ a |
| FFD | ۰/۴۸ b | ۰/۰۴۳ a |
| FDF | ۰/۳۸ d | ۰/۰۳۳ c |
| FDD | ۰/۳۳ e | ۰/۰۳۳ c |
| DFF | ۰/۴۳ c | ۰/۰۳۹ b |
| DDF | ۰/۲۸ f | ۰/۰۲۹ d |
| DFD | ۰/۳۵ d | ۰/۰۳۹ b |
| DDD | ۰/۲۶ f | ۰/۰۳۳ c |

* در هر ستون، حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

که بیشترین مقدار در تیمار FFF و کمترین مقدار در تیمارهای DDF مشاهده شد. تیمار DDD در مقایسه با تیمار DDF با وجود آبیاری کامل در مرحله آخر رشد، کاهش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ درصد) بهره‌وری آب به مقدار ۱۲/۲ درصد مشاهده شد. در تیمار DDD، ۲۷ درصد کاهش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ درصد) نسبت به شاهد FFF مشاهده شد. در تیمار DFD در شرایطی که تنها در مرحله گلدهی آبیاری کامل شده در مقایسه با تیمار FFF، ۱۳ درصد کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب به‌ازای محصول، حاصل شد. آبیاری کامل در مرحله گلدهی (DFD) مؤثرتر بود و سبب افزایش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ درصد) بهره‌وری آب به‌ازای محصول نسبت به آبیاری کامل در مرحله سبزینگی (FDD) و پر کردن دانه (DDF) شد. در پژوهش دیگری روی گیاه کینوا در شرایط گلخانه‌ای، بالاترین بهره‌وری آب به‌ازای محصول دانه کینوا برای تیمار آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در کل دوره رشد برابر با ۲/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد و کمترین مقدار بهره‌وری آب برابر با ۱/۳۳ برای تیمار آبیاری کامل حاصل شد (۷) که در مقایسه با مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق، بالاتر است. پایین‌تر بودن مقدار بهره وری آب در تحقیق حاضر به‌علت تفاوت در نوع واریته و مکان انجام آزمایش (آزمایش مزرعه‌ای) است.

## نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان محصول کم حاصل شده در تیمار شاهد به‌دلیل وجود آفت‌ها و بالا بودن دمای هوا در طول فصل کشت (بیش از دمای بهینه رشد گیاه کینوا) باشد و همچنین نتایج نشان داد گیاه کینوا به تنش خشکی، بسیار حساس است. بیشترین محصول دانه و بیشترین بهره‌وری آب به‌ازای دانه در تیمار شاهد (FFF) به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش حساس‌ترین مرحله رشد گیاه کینوا به تنش آبی، مرحله گلدهی گزارش می‌شود.

با توجه به اینکه با بحران جدی کمبود آب مواجه هستیم، باید به‌دنبال این بود که با کمترین آبیاری بیشترین بهره‌وری آب به‌دست آید. درصورت کشت گیاه کینوا در این مناطق (خشک و نیمه‌خشک) با توجه به بالا رفتن دمای هوا در مراحل گلدهی و پر کردن دانه گیاه کینوا، توصیه می‌شود با احتیاط بیشتری این گیاه کشت شود و از رقم‌های مقاوم به دمای هوای بالا استفاده شود. کشت گیاه کینوا در شرایط کمبود آب برای دست یافتن به بیشترین بهره‌وری آب، آبیاری کامل تنها در مرحله گلدهی و کم‌آبیاری در مراحل سبزینگی و پر کردن دانه توصیه می‌شود، اما در مناطقی که کمبود آب نداشته باشیم آبیاری کامل در هر سه مرحله سبزینگی، گلدهی و پر کردن دانه کینوا توصیه می‌شود.

## سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه شیراز و همچنین حمایت مرکز مطالعات خشکسالی و قطب علمی مدیریت آب در مزرعه تشکر و قدردانی می‌کند.

## منابع مورد استفاده

1. Alizadeh-Choobari, O. and M. S. Najafi. 2018. Extreme weather events in Iran under a changing climate. *Climate Dynamics* 50: 249-260.
2. Bois, J. F., T. Winkel, J. P. Lhomme, J. P. Raffaillac and A. Rocheteau. 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy* 25(4): 299-308.
3. Galle, A., I. Florez-Sarasa, M. Tomas, A. Pou, H. Medrano, M. Ribas-Carbo and Flexas, J. 2009. The role of mesophy conductance during waterstress and recovery in tobacco (Nicotiana sylvestris): acclimation or limitation. *Journal of Experimental Botany* 60(1): 2379-2390.
4. García, M., D. Raes, S-E. Jacobsen and T. Miche. 2007. Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. *Journal of Arid Environments* 71(1): 109-121.

5. Gupta, N., S. Gupta and A. Kumar. 2001. Effect of water stress on physiological attributes and growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science* 186(1): 55-62.
6. Jacobsen S-E., C. R. Jensen and F. Liu. 2012. Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crops Research* 128(1): 34-47.
7. Jamali, S., M. Goldani and S. M. Zeynodin. 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13(6): 1687-1697.
8. James, L. E. A. 2009. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research* 58(1): 1-31.
9. Mokari, M., H. Dehghan and M. Taherian. 2020. Effects of dynamic and static new deficit irrigation strategies on the yield and water productivity of two field grown corn cultivars. *Journal of Water and Soil Science* 23(4): 199-213.
10. Karimzadeh, H., A. Nezami, M. Kafi and M. Tadayon. 2016. Investigation of changes in stomatal conductivity, canopy temperature and relative leaf water content of pinto bean genotypes. *Crop physiology Journal* 8(30): 105-120.
11. Patel, N. R., A. N. Mehta and A. M. Shekh. 2001. Canopy temperature and water stress quantificaiton in rainfed pigeonpea. *Agricultural and Forest Meteorology* 109(1): 223-232.
12. Razzaghi, F., F. Plauborg, S. E. Jacobsen, C. R. Jensen and M. N. Andersen. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management* 109(1): 20-29.
13. Sepahvand, N. A., M. Tavazoa and M. Kahbazi. 2010. Quinova, valuable plant for food security and sustainable agriculture in Iran. 11th Iranian Crop Science Congress. Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
14. Shabani, A., A. R. Sepaskhah and A. A. Kamgar-Haghighi. 2013. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *International Journal of Plant Production* 7(2): 313-340.
15. Talebnejad, R. and A. R. Sepaskhah. 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. *Agricultural Water Management* 148: 177-188.
16. Yang, A., S. S. Akhtar, M. Amjad, S. Iqbal and S-E. Jacobsen. 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202(6): 445-453.
17. Zare Abyaneh, H., A. ghasemi, M. Bayat Varkeshi and S. Marofi. 2009. Assessment of Artificial Neural Network (ANN) in prediction of garlic evapotranspiration ($ET_C$) with lysimeter in Hamedan. *Journal of Water and Soil* 23(3): 176-185 .

**Journal of Water and Soil Science**
**Vol. 26, No. 3, Fall 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Effect of Water Stress at Different Growth Stages on Growth and Yield of Quinoa under Field Conditions

**M. R. Bahadori Ghasroaldashti[1], F. Razzaghi[1,2*] and A. R. Sepaskhah [1,2]**

(Received: May 4-2021 ; Accepted: August 25-2021)

## Abstract

Inefficient use of limited water resources, along with increasing population and increasing water demand for food production has severely threatened agricultural water resources. One way to overcome this problem is to improve water productivity by introducing new crops that tolerate water stresses such as quinoa. In this study, the effect of water stress at different stages of plant growth (vegetative, flowering, and grain filling) was studied on plant parameters, yield, and water productivity of quinoa (cv. Titicaca). This study was conducted under field conditions and the treatments were performed as a block experiment in a completely randomized design with four replications. Experimental factors were: treatment without water stress or full irrigation (F) and water stress treatment (D) at 50% of the need for full irrigation at different stages of quinoa growth. The application of deficit irrigation during different stages of plant growth decreased stomatal conductance, leaf area index, leaf water potential, seed yield, and water productivity, while deficit irrigation increased the green canopy temperature. According to the results of the present study, the flowering stage of quinoa was very sensitive to water stress leading to produce lower yield compared with the amount of yield obtained when vegetative and or grain filling stages are under water stress conditions.

**Keywords**: Canopy temperature, Leaf water potential, Water productivity, Deficit irrigation, Titicaca cultivar

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Drought Research Center, Shiraz University, Shiraz, Iran.
*: Corresponding author, Email: razzaghi@shirazu.ac.ir