

## بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا (رقم Giza-1) تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

صابر جمالی<sup>۱</sup> و حسین انصاری<sup>۲\*</sup>

### چکیده

یکی از روش‌های مؤثر برای تولیدات کشاورزی پایدار و حصول امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، استفاده از گیاهانی است که در تنش‌های محیطی عملکرد و بهره‌وری آب مناسبی داشته باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مدیریت آبیاری بر خواص مورفولوژیکی گیاه «کینوا» در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و به صورت کشت گلدانی بر روی گیاه کینوا رقم Giza-1 اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ مدیریت آبیاری (آبیاری کامل FI، آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD، ثابت FPRD و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی DI) بود. نتایج نشان داد که مدیریت‌های آبیاری بر تعداد برگ، ارتفاع، وزن خشک بوته و ریشه، کارایی مصرف آب و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر طول ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. استفاده از تیمارهای APRD، FPRD و DI منجر به کاهش ارتفاع (۱۳/۳، ۲۶/۸ و ۳۴/۶ درصد) و کاهش عملکرد دانه (۱۳/۵، ۲۷/۴ و ۳۳/۳ درصد) در مقایسه با تیمار FI شد. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از تیمارهای APRD، FPRD و DI منجر به افزایش کارایی مصرف آب به ترتیب به میزان ۳۸/۳، ۱۰/۵ و ۲۳/۸ درصد در مقایسه با تیمار FI شد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده و از آنجایی که از دانه‌های گیاه کینوا نسبت به سایر قسمت‌ها، نظیر برگ بیشتر استفاده می‌شود و با توجه به موضوع کمبود منابع آب شیرین در ایران، می‌توان از تیمار آبیاری بخشی با در نظر گرفتن کاهش عملکرد دانه استفاده کرد. به‌طور کلی استفاده از آبیاری بخشی ریشه برای آبیاری محصولات کشاورزی نظیر گیاه کینوا در کشور با مدیریت مناسب و مطلوب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب در جهت استفاده از آب در شرایط بحران توصیه شود، هرچند که لازم است آزمایش‌های بیشتری (به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای) در جهت تأیید نتایج پژوهش حاضر انجام شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری بخشی ریشه، تنش آبی، شرایط گلخانه‌ای، عملکرد دانه، کم‌آبیاری.

ارجاع: جمالی ص. و انصاری ح. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه کینوا (رقم Giza-1) تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری. مجله پژوهش آب ایران. ۴۲: ۹۹-۹۱.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\* نویسنده مسئول: [Ansary@um.ac.ir](mailto:Ansary@um.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶

## مقدمه

امروزه اکثر کشورهای جهان با مشکل جدی کمیت و کیفیت آب مواجه هستند که این مشکل در دهه‌های پیش‌رو با افزایش جمعیت، بیشتر نیز خواهد شد؛ چراکه پیش‌بینی شده است جمعیت کنونی ۷ میلیاردی، تا سال ۲۰۳۰ به ۸ میلیارد نفر و تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸؛ صمدزاده و همکاران، ۱۳۹۹). برای حل این مشکل باید از روش‌های صحیح مدیریت و فناوری‌های نوین بهره برد. امروزه استفاده از روش‌های مختلف کم‌آبیاری مطرح است که منجر به حداکثر تولید و سود می‌شود. کم‌آبیاری راهکاری درجهت مصرف بهینه آب است که در طی آن، گیاه در طول دوره رشد خود با تنش آبی مواجه می‌شود.

نتایج تحقیقات استیکچ و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گیاه کینوا رقم KVL52 نشان داد که اعمال کم‌آبیاری، سبب کاهش ارتفاع (۵/۲ درصد)، وزن خشک برگ (۱۷/۶ درصد)، ساقه (۱۷/۸ درصد) و ریشه (۳/۱ درصد) در طول فصل رشد شده است. در پژوهشی که در استان فارس بر روی گیاه کینوا انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی (سبزی‌نگی، گلدهی و دانه‌بستن) سبب کاهش در میزان ارتفاع و شاخص سطح برگ شده و بیشترین میزان این صفات در تیمار آبیاری کامل در کل فصل رشد و کمترین مقدار در اعمال کم‌آبیاری در تمامی فصل رشد مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه (۵۱ گرم در مترمربع) بود. از طرفی بیشترین مقدار بهره‌وری به‌ازای ماده خشک در این پژوهش در تیمار اعمال تنش در تمامی فصل رشد حاصل شد (رزاقی و بهادری قصرالدشتی، ۱۳۹۶). جباوی و همکاران (۲۰۱۸) در سوریه بر روی گیاه کینوا پژوهشی را انجام داده و نشان دادند که کم‌آبیاری به میزان ۲۰ درصد نیاز آبی، منجر به افزایش عملکرد دانه (۳/۰ درصد) و ارتفاع (۳/۵ درصد) شده است. همچنین ایشان اظهار داشتند که افزایش شدت تنش از ۲۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش عملکرد دانه (۰/۶ درصد) و ارتفاع (۱۳/۵ درصد) می‌شود. علی و همکاران (۲۰۱۹) در کشور مراکش، پژوهشی را بر روی کینوا اجرا کرده و نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به کاهش ارتفاع در طول رشد گیاه شده است. در پژوهشی که در کشور بوركینافاسو توسط الوارو-بلترن و همکاران

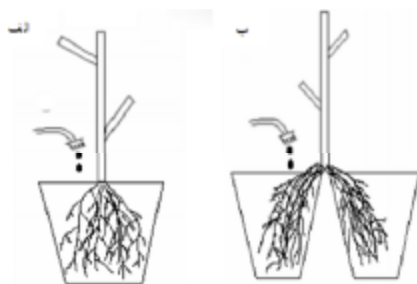
(۲۰۱۹) بر روی گیاه کینوا انجام شده بود، نتایج نشان داد که اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه و ارتفاع بوته نسبت به آبیاری کامل شده است. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل منجر به افزایش کارایی مصرف آب شده است.

در پژوهشی دیگر روی گیاه کینوا لاین NSRCQ1، نتایج محققان نشان داد که کاهش آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد در مراحل مختلف (رویشی، گل‌دهی، دانه‌بستن و کل دوره رشد) منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه به میزان ۱۹/۰، ۹/۰، ۴/۵ و ۲۶/۶ درصد و عملکرد دانه به میزان ۱۹/۳، ۱۱/۸، ۷/۵ و ۲۱/۲ درصد نسبت به آبیاری کامل شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۲/۱۴ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار تنش در کل دوره رشد اتفاق می‌افتد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸). جمالی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گیاه کینوا رقم Titicaca پژوهشی را به‌صورت گلخانه‌ای در دانشگاه فردوسی مشهد با هدف بررسی اثر آبیاری بخشی ریشه متناوب بر روی این گیاه اجرا کردند و نشان دادند که عملکرد دانه با تغییر مدیریت آبیاری از تیمار آبیاری کامل به آبیاری بخشی ریشه متناوب، ۱۰/۲ درصد کاهش داشته و حداکثر و حداقل مقدار آن نیز به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل (۱۹/۷ گرم در بوته) و آبیاری بخشی ریشه متناوب (۱۷/۷ گرم در بوته) به دست آمد. ایشان همچنین استفاده از آبیاری بخشی ریشه متناوب در کشت گلخانه‌ای کینوا را به دلیل کاهش در میزان آب مصرفی، مثبت ارزیابی کرده و این روش را توصیه کردند. در پژوهشی دیگر که در چین بر روی گیاه کینوا انجام شده است، نتایج نشان داد که اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری سبب کاهش ارتفاع بوته به میزان ۱۹/۴ (کم‌آبیاری) و ۱۲/۱ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب)، زیست‌توده هوایی به میزان ۲۸/۹ (کم‌آبیاری) و ۱۹/۱ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب) و عملکرد دانه به میزان ۲۹/۴ (کم‌آبیاری) و ۲۲/۴ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب) شد (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰). ناز و همکاران (۲۰۲۰) به منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر گیاه کینوا در پاکستان، پژوهشی را اجرا کردند و نشان دادند که کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار در وزن خشک بوته و ریشه، ارتفاع و طول ریشه شد.

دو سمت تیغه رشد داشته باشند (شکل ۱). پس از نصب تیغه‌ها در انتهای گلدان‌ها به‌منظور بهبود در زهکشی به‌صورت یکسان از گراول استفاده شده‌است و در ادامه، گلدان‌ها با خاک مرکب (۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد خاک، ماسه، کود دامی و پرلیت) با بافت لومی پر شدند. در ۲۰ اسفند ۱۳۹۷، بذر کینوا رقم Giza-1 در وسط صفحه و قسمت مثلثی کشت شد. در ابتدا برای اینکه بذرها از جای خود -در قسمت مثلثی- جابه‌جا نشود، روزانه ۱۰۰ سی‌سی آب به هر گلدان با استفاده از پست در مدت‌زمان جوانه‌زنی اضافه شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله ۴ برگچه‌ای، تراکم بوته‌ها در گلدان به ۳ بوته تقلیل یافت. لازم به ذکر است که خاک مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی و pH برابر با ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۸۵ بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مورد مطالعه در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. دور آبیاری و عمق آب آبیاری در این طرح متغیر نظر گرفته شد. در این پژوهش عمق آب آبیاری با استفاده از روش وزنی تعیین شد. تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها با استفاده از آب شهری و به میزان ظرفیت زراعی (FC) انجام شد و سپس اعمال تیمارها صورت پذیرفت. دور آبیاری براساس تعیین رطوبت موجود در خاک با استفاده از دستگاه TDR مدل PMS-714 اعمال شد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۱- متوسط دما و رطوبت نسبی

ماه	متوسط دما	
	داخل	بیرون
اسفند	۲۴/۰	۷/۲
فروردین	۲۳/۲	۱۴/۵
اردیبهشت	۲۳/۰	۲۱/۷
خرداد	۲۴/۱	۳۰/۱



شکل ۱- الف) آبیاری کامل، ب) خشکی بخشی ریشه

کمبود منابع آب شیرین و افزایش روزافزون جمعیت، افزایش تقاضای آب و مواد غذایی را به همراه دارد و همچنین در سال‌های اخیر خشکسالی‌ها نیز مزید بر علت شده‌است تا یافتن راهکاری برای بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گیرد. امروزه یکی از مهم‌ترین روش‌ها در بهبود کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی، کشت گیاهان سازگار با تنش آبی و استفاده از روش‌هایی برای بهبود در بهره‌وری مصرف آب است؛ به‌طوری‌که امنیت غذایی و امنیت آبی در کشور را نیز به همراه دارد؛ از این‌رو در این پژوهش از گیاه کینوا به‌عنوان گیاه سازگار با کم‌آبایی و تنش خشکی و روش مدیریتی آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبایی برای بهبود بهره‌وری مصرف آب استفاده شده است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مدیریت آبیاری بر خواص مورفولوژیکی و عملکرد دانه گیاه کینوا رقم Giza-1 اجرا شده است.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبایی بر خواص رشدی و عملکردی گیاه کینوا رقم Giza-1، پژوهشی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بر پایه کشت گلدانی و با سه تکرار در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰ سانتی‌متر (قطر) و ۳۰ سانتی‌متر (ارتفاع) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ مدیریت آبیاری (آبیاری کامل FI<sup>۱</sup>، کم‌آبایی به میزان ۵۰ درصد DI<sup>۲</sup>، آبیاری بخشی ریشه ثابت FPRD<sup>۳</sup> و آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD<sup>۴</sup>) بود. متوسط دما و رطوبت نسبی محل مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در ابتدا تیغه‌های پلی‌کربناتی با توجه به ابعاد صفحه تقارن گلدان، بریده شده (از این صفحات برای جداکردن محدوده توسعه ریشه‌ها استفاده شد) و با چسب آکواریوم در محل خود نصب و آب‌بندی شد. لازم‌به‌ذکر است که قسمت بالای آن به‌صورت مثلثی برش داده شده‌است تا ریشه‌ها بتوانند، در

- 1- Full Irrigation
- 2- Deficit Irrigation
- 3- Fixed Partial Rootzone Drying
- 4- Alternate Partial Rootzone Drying

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

pH	ترکیبات شیمیایی								SAR	کیفیت آب
	EC dS/m	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Mg	Ca	K	Na	Cl		
۸/۲	۱/۲	۷/۸	۱/۷	۲/۸	۴/۴	۰/۶	۴/۱	۲/۴	۱/۷۳	آب چاه

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی مورد استفاده

بافت خاک	دانه	پودری	کلی	کلی	pH	پودری	کلی	کلی	کلی	کلی	کلی
	درصد	درصد	gcm <sup>-3</sup>	dSm <sup>-1</sup>		درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
لوم	۴۳	۴۰	۱۷	۲۵/۴	۱۲/۱	۱/۳	۱۰	۷/۷۸	۵/۰۶	۰/۷۲	۱۰/۸
											۱۰۲/۹

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (VER 9.4)، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

### نتایج و بحث

مدیریت‌های آبیاری براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، بر تعداد برگ، ارتفاع، وزن خشک بوته و ریشه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر طول ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

مقایسه میانگین صفات مورد بررسی مطابق با جدول ۵ نشان داد که اعمال آبیاری بخشی ریشه به‌صورت متناوب و ثابت به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۵/۳ و ۳۴ درصدی تعداد برگ در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شده است.

لازم‌به‌ذکر است که در جدول ۵ اعداد درون پرانتز بیانگر تغییرات هر یک از صفات در مقایسه با آبیاری کامل است.

براساس نتایج جدول ۵، اعمال کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در طول فصل رشد سبب کاهش ۴۱/۳ درصدی در این صفت شده است (اعداد میانگین ۳ تکرار است). از طرفی بیشترین و کمترین میزان از این صفت در تیمار FI و DI، ۱۰۰/۷ و ۵۸/۷ عدد بود (جدول ۵). در شرایط اعمال تنش‌های آبی، گیاه برای مقابله با تنش و زنده‌مانی، از سطح برگ خود کاسته تا کمبود آب موجود تعدیل شود (برگ‌های مسن‌تر خشک شدند)؛ به‌طوری‌که در پی کاهش سطح برگ از تعرق گیاه نیز

به‌منظور اعمال آبیاری بخشی ریشه، پس از طی یک دور آبیاری، در روش آبیاری بخشی ریشه متناوب نیمی از حجم خاک گلدان، مقدار آبی، برابر با نصف نیاز آبی تیمار آبیاری کامل داده شد؛ به‌عبارت‌دیگر، ۵۰ درصد از نیاز آبی آبیاری کامل، به نصف گلدان تیمار آبیاری بخشی اضافه و نیمه دیگر خشک نگه داشته شد. در دور بعدی آبیاری، قسمتی از خاک که خشک بود، آبیاری شد؛ ولی در آبیاری بخشی ریشه ثابت تا انتهای دوره رشد، یک سمت از گلدان همواره خشک بود. وجین علف‌های هرز با دست و در طی چهار مرحله انجام شد. در ۱۰ تیر ۱۳۹۸ گیاهان کف‌بری و برداشت شدند و صفات مورفولوژیکی گیاه (تعداد برگ، ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه و عملکرد دانه) اندازه‌گیری شد. اندام‌های برداشت‌شده در هر تیمار به‌صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، با استفاده از ترازو بادقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن شدند و برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها تعیین شد. کارایی مصرف آب با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$WUE = \frac{GY}{CWR} \quad (1)$$

پارامترهای CWR، WUE و GY به‌ترتیب بیانگر میزان آب آبیاری برحسب مترمکعب، کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم در مترمکعب و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار است. در پایان بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و

همکاران، ۲۰۰۹)؛ به عبارتی دیگر و به اعتقاد هامرونی و همکاران (۲۰۰۱) خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود؛ زیرا تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر کاهش فشار اسمزی درون سلول کاهش می‌یابد. از طرفی کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی در جهت ارائه به اندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. نتایج این پژوهش با نتایج علی و همکاران (۲۰۱۹)، آلوارو بلترن (۲۰۱۹) و جباوی و همکاران (۲۰۱۸) بر روی کینوا و صالحی تیزابی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گوجه‌فرنگی مطابقت داشت. در صفت وزن خشک ریشه بین تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد (جدول ۵). در صفت وزن خشک بوته، کاهش ۱۲/۷، ۳۹/۲ و ۵۵/۷ درصدی و در صفت وزن خشک ریشه، کاهش ۳۷/۹، ۴۱/۸ و ۴۰/۵ درصدی به ترتیب در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب، آبیاری بخشی ریشه ثابت و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۵). خشکی با ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی که در گیاه به وجود می‌آورد، با متوقف کردن گسترش سلول‌ها و کاهش فشار آماس می‌تواند بر روی وزن تر و خشک گیاه تأثیر گذاشته و آن‌ها را کاهش دهد. خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه می‌شود و باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک نسبت به تیمار آبیاری کامل شده است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸؛ صالحی تیزابی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج این پژوهش با یانگ و همکاران (۲۰۱۶) و جمالی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی کینوا و صالحی تیزابی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گوجه‌فرنگی مطابقت داشت.

کاسته می‌شود (پورقاسمیان و مرادی، ۱۳۹۶) که خود دلیلی بر تولید کمتر مواد فرآوری‌شده در اثر فتوسنتز در گیاه است و در این شرایط از میزان عملکرد و ماده خشک اندام‌های مختلف گیاه کاسته می‌شود (سارکر و همکاران، ۲۰۰۵). کاهش در تعداد برگ در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به دلیل انباشتگی اتیلن در برگ و پیری زودرس گیاه باشد که یک سازش مورفولوژیکی برای اجتناب از خشکی، انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه و کاهش تعرق است (خورانا و سینگ، ۲۰۰۰؛ دوله و ویلکینز، ۲۰۰۵).

در صفت ارتفاع به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار از این صفت در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۸۹/۷ و ۵۸/۷ سانتی‌متر مشاهده شد. در صفت طول ریشه نیز بیشترین مقدار این صفت در تیمار آبیاری کامل (۱۵/۳ سانتی‌متر) و کمترین مقدار از این صفت در آبیاری بخشی ریشه ثابت (طول ریشه ۱۱/۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۵). اعمال تیمارهای مدیریتی آبیاری نظیر آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش این صفات به ترتیب به میزان ۱۳/۸، ۲۶/۸ و ۳۴/۶ درصد (ارتفاع) و ۱۳/۱، ۲۵/۵ و ۱۶/۳ درصد (طول ریشه) شد (جدول ۵). همچنین در صفت طول ریشه نتایج نشان‌دهنده عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی است. افزایش شدت تنش آبی در گیاه منجر به افزایش آبسزیک اسید در گیاه می‌شود که رشد گیاه را کاهش می‌دهد (بهرام‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). کاهش در صفت ارتفاع بوته در شرایط تنش آبی (به‌عنوان یک عامل بازدارنده در رشد) می‌تواند علاوه بر افزایش میزان آبسزیک اسید، به دلیل کاهش جذب آب و به تبع آن آماس سلولی در بافت‌های مختلف گیاه و در پی آن کاهش توسعه سلولی و متابولیت‌های لازم برای تقسیم سلولی در گیاه باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسکالیا و

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه گیاه کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد برگ	ارتفاع	وزن خشک بوته	وزن خشک ریشه	طول ریشه
رژیم‌های آبیاری	۳	۱۰۷۵/۰**	۵۵۴/۴**	۱۲/۳**	۰/۲۹**	۷/۹*
خطا	۸	۱۳	۳/۴	۰/۳	۰/۰۰۸	۰/۴
ضریب تغییرات		۴/۷	۲/۶	۱۱/۱	۸/۲	۴/۸
کارایی مصرف آب						۷۰/۴**
						۰/۰۸۱**
						۰/۰۰۴
						۵/۳

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، \* معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و \*\* عدم معنی‌داری

جدول ۵- اثر رژیم‌های آبیاری بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه کینوا

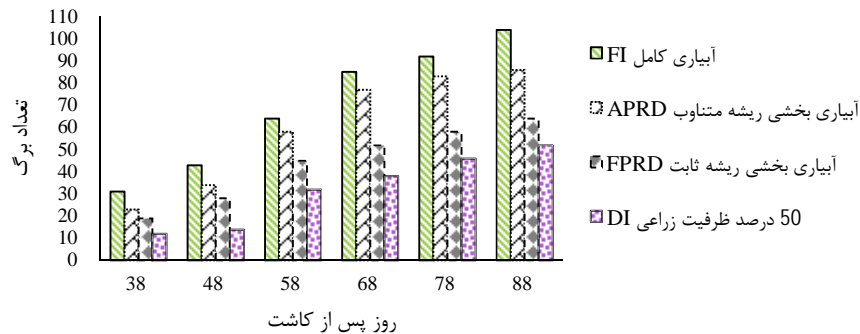
ترکیبات تیماری	تعداد برگ	ارتفاع	طول ریشه	وزن خشک بوته	وزن خشک ریشه	عملکرد دانه
	سانتی‌متر	سانتی‌متر	گرم	گرم	گرم	گرم
آبیاری کامل FI	۱۰۰/۷ <sup>a</sup>	۸۹/۷ <sup>a</sup>	۱۵/۳ <sup>a</sup>	۷/۹ <sup>a</sup>	۱/۵۳ <sup>a</sup>	۱۵/۵ <sup>a</sup>
آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD	۸۴/۷ <sup>b</sup>	۷۷/۳ <sup>b</sup>	۱۳/۳ <sup>b</sup>	۶/۹ <sup>a</sup>	۰/۹۵ <sup>b</sup>	۱۳/۴ <sup>b</sup>
	(-۱۵/۳)	(-۱۳/۸)	(-۱۳/۱)	(-۱۲/۷)	(-۳۷/۹)	(-۱۳/۵)
آبیاری بخشی ریشه ثابت FPRD	۶۶/۰ <sup>c</sup>	۶۵/۷ <sup>c</sup>	۱۱/۴ <sup>c</sup>	۴/۸ <sup>b</sup>	۰/۸۹ <sup>b</sup>	۱۱/۱ <sup>c</sup>
	(-۳۴/۰)	(-۲۶/۸)	(-۲۵/۵)	(-۳۹/۲)	(-۴۱/۸)	(-۲۷/۴)
۵۰ درصد ظرفیت زراعی DI	۵۸/۷ <sup>d</sup>	۵۸/۷ <sup>d</sup>	۱۲/۸ <sup>b</sup>	۳/۵ <sup>c</sup>	۰/۹۱ <sup>b</sup>	۱۰/۲ <sup>c</sup>
	(-۴۱/۳)	(-۳۴/۶)	(-۱۶/۳)	(-۵۵/۷)	(-۴۰/۵)	(-۳۳/۳)
LSD (۰/۰۵)	۶/۸	۳/۵	۱/۲	۱/۱	۰/۱۷	۱/۱

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

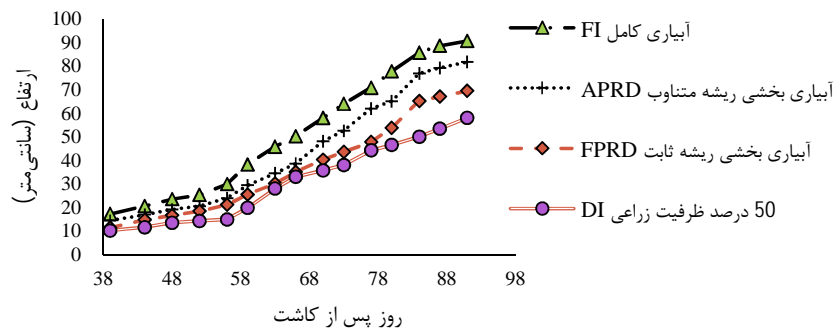
در شکل ۲، تغییرات زمانی تعداد برگ در تیمارهای مورد بررسی ارائه شده و نشان از آن دارد که در تمامی زمان‌های داده‌برداری در تیمار کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی این صفت نسبت به سایر تیمارها از تعداد برگ کمتری برخوردار است. لازم به ذکر است که در تمامی روزهای داده‌برداری در طول فصل رشد، تعداد برگ در تیمار آبیاری کامل < آبیاری بخشی ریشه متناوب < آبیاری بخشی ریشه ثابت < کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در شکل ۳، تغییرات زمانی ارتفاع بوته ارائه شد و نشان از آن دارد که از زمان ساقه‌روی تا ابتدای سنبله‌دهی (بین روزهای ۴۸ تا ۵۸ پس از کاشت)، تیمارهای مدیریتی بخشی ریشه تأثیر معنی‌داری بر روی ارتفاع ندارد و از آن پس روند تغییرات دارای شیب تندتری است. پس از این مرحله و در مرحله سنبله‌دهی تا دانه‌بستن بین تیمارهای مدیریت بخشی ریشه ثابت و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد، ظرفیت زراعی تفاوت زیادی وجود ندارد.

در تمامی روزهای داده‌برداری در طول فصل رشد ارتفاع بوته در تیمار آبیاری کامل < آبیاری بخشی ریشه متناوب < آبیاری بخشی ریشه ثابت < کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در شکل ۴، میزان آب آبیاری در طول دوره رشدی گیاه در آبیاری کامل ارائه شده است و نشان‌دهنده افزایش میزان آب آبیاری در بازه زمانی ۳۴ تا ۸۶ روز پس از کاشت است که می‌تواند به دلیل افزایش ضریب  $K_c$  (توسعه رشدی گیاه) و افزایش تبخیر و تعرق گیاه باشد.

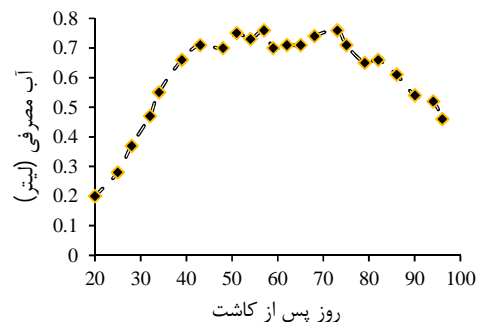
عملکرد دانه در اثر اعمال تیمارهای مدیریتی آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت همانند سایر صفات مورفولوژیکی کاهش یافته و میزان این تغییرات به ترتیب در هر یک از مدیریت‌ها، ۱۳/۵ و ۲۷/۴ درصد بود. همچنین در تیمار کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز این صفت کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری کامل و به میزان ۳۳/۳ درصدی از خود نشان داد (جدول ۵). بیشترین و کمترین میزان این صفت به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل (۱۵/۵ گرم) و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۰/۲ گرم) مشاهده شد (جدول ۵). بین تیمارهای آبیاری بخشی ثابت و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (جدول ۵). علت کاهش عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری می‌تواند کاهش زیست‌توده و به تبع آن کاهش مواد فتوسنتزی رسیده به فاز زایشی گیاه (دانه) باشد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹). از طرفی برخی از محققان معتقدند که کاهش عملکرد دانه، بر اثر کاهش میزان شیره پرورده رسیده به دانه یا کاهش زمان پُرشدن دانه است (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹۸). از طرفی، برخی از محققان بر این باورند که در شرایط تنش آبی، کلروفیل و هدایت روزه‌ای کاهش می‌یابد و برگ‌ها سریع‌تر پیر می‌شوند که خود عاملی برای کاهش میزان دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز است و کاهش عملکرد دانه را نیز به همراه دارد (تدین و کریم‌زاده سورشجانی، ۱۳۹۸؛ ناز و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۹)، ضیائی و همکاران (۱۳۹۹)، جباوی و همکاران (۲۰۱۸) و رزاقی و بهادری (۱۳۹۶) بر روی کینوا مطابقت دارد.



شکل ۲- روند زمانی تغییرات تعداد برگ گیاه کینوا در مدیریت‌های آبیاری



شکل ۳- روند زمانی تغییرات ارتفاع گیاه کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری



شکل ۴- حجم آب آبیاری مصرفی در تیمار آبیاری کامل در طول دوره رشد

براساس نتایج جدول ۴، تجزیه واریانس داده‌های کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. براساس نتایج جدول ۶ بیشترین و کمترین میزان از کارایی مصرف آب، به ترتیب در تیمارهای APRD (۱/۳۸) کیلوگرم در مترمکعب) و FI (۱/۰) کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد.

اعمال تیمارهای APRD، FPRD و DI نسبت به تیمار FI منجر به افزایش کارایی مصرف آب به ترتیب به میزان ۳/۳۸، ۵/۱۰ و ۸/۲۳ درصد شد. نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۸) و آوار بلترن و همکاران

براساس نتایج شکل ۴، حجم آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل (۱۵/۶ لیتر که معادل ۴۹۷۰ مترمکعب در هکتار) و در سه تیمار دیگر این میزان ۸/۳ لیتر (معادل ۲۶۴۵ مترمکعب در هکتار) بود. دلیل اختلاف در میزان آب آبیاری در این پژوهش با سایر پژوهش‌هایی که در شرایط گلخانه‌ای و در دانشگاه فردوسی مشهد بر روی این گیاه انجام شد، می‌تواند تفاوت در ارقام و شرایط کاشت، داشت و برداشت متفاوت باشد. براساس نتایج پژوهش حاضر، صرفه‌جویی در مصرف آب در تیمارهای APRD، FPRD و DI، به میزان ۸/۴۶ درصد نسبت به تیمار FI است.

درجهت استفاده در شرایط بحران آب توصیه شود؛ هرچند که لازم است آزمایش‌های بیشتری (به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای) به‌منظور تأیید نتایج پژوهش حاضر انجام شود.

### منابع

- آذری نصرآباد ع. موسوی‌نیک س. م. گلوی م. خزاعی م. بهشتی س. ع. و سیروس مهر ع. ۱۳۹۸. بررسی ارتباط برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای با عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۲(۳): ۷۲۵-۷۳۳.
- بهرام‌پور م. دهستانی اردکانی م. شیرمردی م. و غلام‌نژاد ج. ۱۳۹۸. تأثیر بسترهای کشت مختلف و نانوکود پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک همیشه‌بهار زیر تنش خشکی. علوم و فنون باغبانی ایران. ۲۰(۱): ۶۵-۷۸.
- بیرامی ح. رحیمیان م. ح. صالحی م. و یزدانی بیوکی ر. ۱۳۹۸. تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در کشت بهاره. تولید گیاهان زراعی. ۱۲(۴): ۱۱۱-۱۲۰.
- پورقاسمیان ن. و مرادی ر. ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش خشکی و آسکوربیک اسید بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی در گیاه همیشه‌بهار. فرایند و کارکرد گیاهی. ۶(۱): ۷۷-۸۸.
- تدین م. ر. و کریم‌زاده سورشجانی ه. ۱۳۹۸. تأثیر ژنولیت بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک ارزن پروسو تحت مدیریت کم‌آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۲(۲): ۴۱۵-۴۲۷.
- جمالی ص. انصاری ح. و زین‌الدین س. م. ۱۳۹۹. اثر آبیاری بخشی ریشه و بستر کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا. آب و خاک. ۳۴(۱): ۱-۱۰.
- جمالی ص. گلدانی م. و زین‌الدین س. م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش آبی دوره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRCQ). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۶): ۱۶۸۷-۱۶۹۷.
- حقیقتی ب. برومندنسب س. و ناصری ع. ۱۳۹۴. تأثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری در روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری بر عملکرد

(۲۰۱۹) بر روی کینوا، حقیقتی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی سیب‌زمینی و صالحی تیزابی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گوجه فرنگی مطابقت داشت.

ازجمله دلایلی که برای بروز تفاوت در مقدار کارایی مصرف آب می‌توان بیان کرد، این است که ارقام گیاهی استفاده‌شده در پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۸) و آلوار بلترن و همکاران (۲۰۱۹) با رقم Giza-1 که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته، متفاوت بوده است و این تفاوت با توجه به تغییراتی که در میزان عملکرد دانه به‌دلیل تفاوت ژنتیکی و فنولوژیکی گیاه وجود دارد، قابل‌توجه است.

جدول ۶- اثر مدیریت آبیاری بر کارایی مصرف آب کینوا

ترکیبات تیماری	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
آبیاری کامل FI	۱/۰۰ <sup>c</sup>
آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD	۱/۳۸ <sup>a</sup> (+۳۸/۲)
آبیاری بخشی ریشه ثابت FPDR	۱/۱۰ <sup>c</sup> (+۱۰/۵)
۵۰ درصد ظرفیت زراعی DI	۱/۲۴ <sup>b</sup> (+۲۳/۸)
LSD (۰/۰۵)	۰/۱۲

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم‌معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان از کاهش بسیاری از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کینوا رقم Giza-1 در شرایط اعمال تیمارهای مورد بررسی بود؛ به‌طور مثال، در صفت ارتفاع بوته و عملکرد دانه، استفاده از تیمارهای APRD، FPRD و DI در مقایسه با FI منجر به کاهش این صفات شد؛ به‌طوری‌که در صفت ارتفاع بوته در تیمار FI > APRD > DI > FPRD بود؛ همچنین در صفت عملکرد دانه نیز در تیمار FI > APRD > FPRD > DI بود.

با توجه به موضوع بحران در کمیت و کیفیت منابع آب در ایران و براساس نتایج پژوهش حاضر که مصرف دانه نسبت به اندام‌های دیگر این گیاه بیشتر است، می‌توان از تیمار آبیاری بخشی با در نظر گرفتن کاهش عملکرد دانه استفاده کرد. به‌طور کلی روش APRD با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کاهش آب‌های باکیفیت، در منطقه مورد مطالعه، عملکرد دانه قابل‌قبولی داشته‌است و در شرایط گلخانه‌ای برای آبیاری این رقم توصیه می‌شود؛ بنابراین استفاده از آبیاری بخشی ریشه برای آبیاری محصولات کشاورزی نظیر گیاه کینوا در کشور با مدیریت مناسب و مطلوب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب



- Yield of Quinoa in Syria. Agriculture Research: OAJAR-100007, 1-11.
19. Khurana E. and Singh J. S. 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. *Annals of Botany*. 86: 1185-1190.
20. Naz H. Akram N. A. and Kong H. 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of Quinoa subjected to water regimes. *Pakistan Journal of Botany*. 52(5): 1553-1559.
21. Sarker B. C. Hara M. and Uemura M. 2005. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae*. 103: 387-402.
22. Scalia R. Oddo E. Saiano F. and Grisafi F. 2009. Effect of salinity a *Puccinellelia distans* (L.) Parl. treated with NaCl and foliarly applied glycine betaine. *Plant Stress*. 3: 49-54.
23. Stikić R. Jovanović Z. Marjanović M. and Đorđević S. 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo i povrtarstvo* 52(2): 80-84.
24. Yang A. Akhtar S. S. Iqbal S. Amjad M. Naveed M. Zahir Z.A. and Jacobsen S.E. 2016. Enhancing salt tolerance in quinoa by halotolerant bacterial inoculation. *Functional Plant Biology*. 43: 632-642.
25. Yang A. Akhtar S. S. Li L. Fu Q. Li Q. Naeem M.A. He X. Zhang Z. and Jacobsen S.E. 2020. Biochar Mitigates Combined Effects of Drought and Salinity Stress in Quinoa. *Agronomy*. 10(6): 1-14.
- سیب‌زمینی و بهره‌وری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۲): ۱۸۱-۱۹۳.
۹. رزاقی ف. و بهادری قصرالدشتی م. ۱۳۹۶. اثر کم‌آبایی بر محصول و بهره‌وری آب کینوا در استان فارس. اولین همایش ملی شورورزی. یزد. مرکز ملی تحقیقات شوری. زمان برگزاری همایش و تعداد صفحات مقاله؟
۱۰. صالحی تیزابی س. گلدانی م. و نباتی ج. ۱۳۹۹. الف. تأثیر آبیاری بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبایی. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۲): ۴۲۶-۴۳۵.
۱۱. صمدزاده ع. ر. زمانی غ. ر. و فلاحی ح. ر. ۱۳۹۹. امکان‌سنجی تولید گیاه جدید کینوا در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی تحت تأثیر تاریخ و تراکم کاشت. پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۳(۱): ۸۲-۱۰۴.
۱۲. ضیائی س. م. سلیمی خ. و امیری س. ر. ۱۳۹۹. بررسی کشت کینوا تحت فواصل مختلف آبیاری و محلولپاشی در منطقه سراوان. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(۱): ۱۱۳-۱۲۵.
13. Ali O. I. Fghire R. Anaya F. Benlhabib O. and Wahbi S. 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen*. 71(2): 123-133.
14. Alvar-Beltrán J. Saturnin C. Dao A. Dalla Marta A. Sanou J. and Orlandini S. 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions in Burkina Faso. *Italian Journal of Agrometeorology*. 1: 33-43.
15. Dole J. M. and Wilkins H. F. 2005. *Floriculture: Principales and species*. Published by Prentice Hall. 595 p.
16. Farooq M. Wahid A. Kobayashi N. Fujita D. and Basra S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185-212.
17. Hamrouni I. Salah H. and Marzouk B. 2001. Effects of water-deficit on oil of safflower aerial parts. *Phytochemistry*. 58(2): 277-280.
18. Jbawi E. A. Danoura R. and Yaacoub A. 2018. Effect of Deficit Irrigation and Manure Fertilizer on Improving Growth and

