

## بررسی اثر تنش خشکی بر ارقام گلرنگ و ارائه حدود بحرانی تنش بر اساس دمای پوشش سبز گیاه

محمدعلی شاهرخ‌نیا<sup>۱\*</sup> و حمیدرضا خادم حمزه<sup>۲</sup>

### چکیده

در مناطق کم‌باران، خشکی مهم‌ترین تنش محیطی است که تولید گیاهان را به شدت کاهش می‌دهد. به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر برخی صفات زراعی و عملکردی ارقام گلرنگ، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ انجام شد. سطوح آبیاری (قطع آبیاری در مرحله تکمه‌دهی I<sub>۱</sub>، تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی تا پایان فصل رشد به ترتیب I<sub>۲</sub>، I<sub>۳</sub>، I<sub>۴</sub> و I<sub>۵</sub>) به عنوان کرت‌های اصلی و ارقام محلی اصفهان، گلدشت، صفه و فرامان به عنوان کرت‌های فرعی بودند. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف کشت به طول ۶ متر و فاصله ردیف و فاصله بوته روی ردیف به ترتیب ۶۰ و ۵ سانتی‌متر بود. در پایان فصل زراعی صفاتی از جمله روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته در زمان برداشت و عملکرد اندازه‌گیری شد. شاخص تنش آبی گیاه و بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب محاسبه و تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نیز انجام شد. میزان آب مورد نیاز هر تیمار به صورت روزانه با روش پنمن مانیتیت محاسبه و با استفاده از کنتورهای حجمی اندازه‌گیری و تحویل شد. داده‌های به دست آمده با نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد. بالاترین عملکرد دانه در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I<sub>۵</sub>) از رقم فرامان (۲۶۸۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در تیمار قطع آب در مرحله تکمه‌دهی (I<sub>۱</sub>) مربوط به ارقام صفه و محلی اصفهان به ترتیب با عملکردهای ۷۵۸ و ۷۷۹ کیلوگرم در هکتار بود که در یک کلاس آماری بودند و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشترین میزان بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل به ترتیب مربوط به تیمار قطع آبیاری و تیمار آبیاری ۷۵ درصد با مقادیر ۰/۳۸۳ و ۰/۲۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بهره‌وری اقتصادی آب نیز در تیمار آبیاری ۷۵ بیشتر بود. با در نظر گرفتن همه شاخص‌ها، تیمار آبیاری ۷۵ درصد به عنوان مناسب‌ترین تیمار آبیاری ارقام گلرنگ تشخیص داده شد.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری آب، تنش آبی، کم‌آبیاری، نیاز آبی.

ارجاع: شاهرخ‌نیا م.ع. و خادم حمزه ح.ر. ۱۴۰۱. بررسی اثر تنش خشکی بر ارقام گلرنگ و ارائه حدود بحرانی تنش بر اساس دمای پوشش سبز گیاه. مجله پژوهش آب ایران. ۱۶-۱: ۴۶. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.13839.2394>

۱- دانشجویار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.  
۲- مربی پژوهشی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

\*نویسنده مسئول: [mashahrokh@yahoo.com](mailto:mashahrokh@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲

## مقدمه

گیاهان پیوسته تحت تأثیر عوامل تنش‌زا، از جمله خشکی قرار دارند که باعث کاهش رشد و نمو آن‌ها می‌شود. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات در سیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید. در این مناطق آب عامل اصلی محدودکننده رشد گیاه بوده و پایداری تولید محصولات زراعی به دلیل محدودیت‌های محیطی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاهش بارندگی و تغییر الگوهای بارش می‌تواند باعث خشک‌سالی‌های مکرر و کاهش عملکرد گیاهان زراعی شود. کمبود آب نیز مهم‌ترین مشکل تأثیرگذار بر رشد و عملکرد محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است؛ از این رو به دلیل محدودیت منابع آبی، بهینه‌سازی مدیریت آب یا استفاده از تکنیک کم‌آبیاری ضروری است. در دهه‌های اخیر، توسعه کشاورزی از یک طرف و کاهش بارندگی از طرف دیگر باعث فشار شدیدی به منابع آب زیرزمینی شده است. به‌عنوان نمونه در استان فارس که یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور از لحاظ تولید محصولات کشاورزی است، بیش از ۷۰ درصد از آب مورد نیاز کشاورزی از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. این موضوع باعث افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده است. توسعه سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به راندمان پتانسیل بالا می‌تواند به استفاده متعادل از منابع آبی کمک کند. البته با توجه به گزارش جدید فائو (Perry and Steduto, 2017)، سامانه نوین آبیاری به‌تنهایی کافی نبوده و در کنار آن بایستی به کنترل تخصیص آب نیز توجه شود. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی آبیاری که در آن زمان شروع و خاتمه آبیاری با دقت تعیین می‌شود، می‌تواند در کاهش مصرف آب در مزارع و باغ‌ها مؤثر باشد (بهادر و سینگ، ۲۰۲۱؛ کریمی و همکاران، ۲۰۲۰ و وود و همکاران، ۲۰۲۰). در داخل کشور نیز تحقیقاتی در زمینه مقایسه روش‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری انجام شده است. شاهرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۴)، روش‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری شامل اندازه‌گیری مکش آب خاک با تانسومتر، مقاومت الکتریکی خاک با بلوک گچی، درصد رطوبت خاک، دمای پوشش سبز گیاه با دماسنج مادون قرمز و سند ملی آب را در باغ‌های مرکبات مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده

از روش‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری می‌توان به مقدار قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و بهره‌وری آب را، هم در محصولات زراعی و هم محصولات باغی افزایش داد. برنامه‌ریزی آبیاری تکمیلی باغ‌های انجیر دیم منطقه استهبان فارس نیز با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه انجام شده است (شاهرخ‌نیا و زارع، ۱۳۹۹، ۱۴۰۰). با در نظر گرفتن مجموع شاخص‌های اقتصادی، درصد صرفه‌جویی آب، بهره‌وری آب، سهولت کاربرد و اولویت انتخاب روش توسط کشاورزان، روش اندازه‌گیری پوشش سبز گیاه با استفاده از دماسنج مادون قرمز می‌تواند برای برنامه‌ریزی آبیاری محصولات زراعی و باغی مورد توجه قرار گیرد.

ارزش و اهمیت غذایی دانه‌های روغنی از نظر تأمین کالری و انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. با وجود کشت دانه‌های روغنی مختلف در کشور، بخش عمده‌ای از روغن مصرفی از منابع خارجی تأمین می‌شود؛ از این رو توسعه کشت دانه‌های روغنی در کاهش وابستگی به واردات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب‌وهوایی ایران، می‌توان به گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) اشاره کرد. گلرنگ یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی است که معمولاً در مقیاس کوچک کشت می‌شود. از گلرنگ در رنگ‌آمیزی، طعم‌دهنده غذاها، داروها و خوراک دام استفاده می‌شود. همچنین به دلیل کیفیت بالای روغن و توانایی رشد در دماهای بالا و شرایط خشکی و شوری مورد توجه قرار گرفته است (افتخار حسین و همکاران، ۲۰۱۶). توسعه کشت این گیاه اخیراً مورد توجه بیشتری قرار گرفته و سطح زیرکشت آن در سال ۲۰۱۹ برابر با ۶۵۲۷۸۰ هکتار بوده است. با توجه به اینکه ایران در تقسیم‌بندی جهانی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گلرنگ به‌عنوان یک گیاه بومی، می‌تواند جایگزین ارقام و گیاهان روغنی حساس به خشکی شود. گلرنگ در مرحله رشد رویشی در قیاس با مراحل بعدی نمو به کمبود آب مقاوم‌تر است و عدم آبیاری در این مرحله باعث گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش مقاومت آن نسبت به شرایط گرم و خشک می‌شود (اشرفی و رزمجو، ۱۳۸۸). بروز تنش خشکی در مراحل نهایی نمو زایشی، موجب تسریع پیری و کاهش مدت پرشدن دانه

تکمدهمی I1، تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی تا پایان فصل رشد به ترتیب I2، I3، I4 و I5) به عنوان کرت‌های اصلی و ارقام محلی اصفهان، گلدشت، صفه و فرامان به عنوان کرت‌های فرعی بودند. کشت در اوایل اسفند ۱۳۹۸ انجام و اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله تکمدهمی انجام پذیرفت. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف کشت به طول ۶ متر و فاصله ردیف و فاصله بوته روی ردیف به ترتیب ۶۰ و ۵ سانتی‌متر بود. بین هر پلات فرعی یک پشته نکاشت و بین هر پلات اصلی سه پشته نکاشت و فاصله بین تکرارها ۳ متر در نظر گرفته شد. در پایان فصل زراعی علاوه بر عملکرد دانه، روز تا رسیدگی و ارتفاع بوته در زمان برداشت نیز ثبت شد. کودهای فسفره به صورت سوپر فسفات تریپل و پتاسه به صورت سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و هم‌زمان با آماده‌سازی زمین و کود نیتروژنه به صورت اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز در سه نوبت (کاشت، شروع ساقه‌روی و شروع گلدهی) استفاده شدند. مدیریت علف‌های هرز و کنترل آفات و بیماری‌ها در طول دوره انجام شد.

نیاز آبی گیاه به صورت روزانه با استفاده از روش پنمن مانیتیت برآورد شد و در سطوح مختلف توسط سیستم آبیاری قطره‌ای نواری به گیاه داده شد. تیمارهای اصلی آزمایش عبارت بودند از: ۱- قطع آب از مرحله تکمدهمی (I1)، ۲- تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (I2)، ۳- تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (I3)، ۴- تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (I4)، ۵- تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (I5). اطلاعات هواشناسی مورد نیاز روزانه برای محاسبه نیاز آبی از ایستگاه هواشناسی زرقان که کمتر از ۲۰۰ متر از محل انجام تحقیق فاصله داشت اخذ شد. با توجه به در اختیار بودن آب به صورت دو روز در هفته در مزرعه، برنامه آبیاری به گونه‌ای تنظیم شد که آبیاری فقط در همین دو روز (یکشنبه و چهارشنبه) انجام شود و حجم آب آبیاری در هر نوبت از میزان آب قابل‌ذخیره در خاک بیشتر نباشد. برای اندازه‌گیری میزان آب تحویلی در هر کدام از تیمارها، از کنتورهای واسنجی‌شده استفاده شد. با توجه به عدم امکان اندازه‌گیری دمای پوشش گیاه در مراحل اولیه رشد، حساسیت زیاد گیاه گلرنگ به کم‌آبی در مرحله رشد رویشی و بارش بارندگی قابل‌توجه در اسفند و فروردین، تیمارهای تنش آبی از زمان استقرار گیاه به بعد (از ابتدای

گلرنگ می‌شود (خواج‌پور، ۱۳۷۷). عفت‌دوست (۱۳۸۲) گزارش کرد که تنش خشکی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی موجب کاهش چشمگیر عملکرد دانه گلرنگ شد. آچپال (۲۰۱۶) نیز تفاوت چشمگیری از لحاظ طول دوره رشد، ارتفاع بوته و عملکرد دانه را در تیمارهای آبیاری در بین ژنوتیپ‌های گلرنگ گزارش کرده‌است. کافی و رستمی (۱۳۸۶) نیز بیان کرده‌اند کمبود آب رشد گلرنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به طوری که افزایش شدت تنش خشکی منجر به کاهش صفات مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع بوته می‌شود. رحمنی و همکاران (۱۳۹۹) نیز تأثیر تنش خشکی بر ارتفاع ارقام مختلف گلرنگ را گزارش کرده‌اند. بوتواله‌پرو و سیلوا (۲۰۱۷) در بررسی پاسخ فیزیولوژیک شش لاین گلرنگ به تنش خشکی گزارش کردند که آبیاری براساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، سبب واکنش متفاوت لاین‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد.

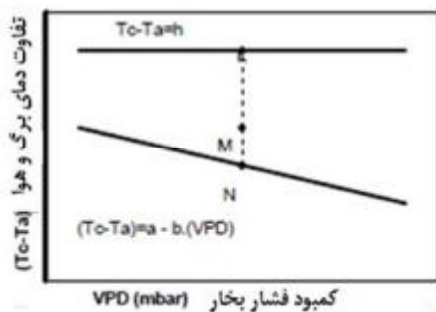
نتایج تحقیقات گذشته در داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد که به منظور کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، بایستی به برنامه‌ریزی آبیاری مزارع و باغ‌ها توجه بیشتری کرد. با توجه به مقاومت نسبی گیاه گلرنگ به کم‌آبی و اهمیت این محصول در کشور، موضوع برنامه‌ریزی آبیاری و تأثیر تنش آبی بر کمیت و کیفیت محصول ارقام مختلف گلرنگ موضوع مهمی است که در این تحقیق به آن پرداخته شده‌است؛ بنابراین در این تحقیق دو هدف اصلی مد نظر بوده‌است: ۱- بررسی اثر تنش آبی بر ارقام مختلف گلرنگ، ۲- تعیین خطوط بحرانی تنش آبی با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد و بهره‌وری آب ارقام گلرنگ (هدف اول پژوهش)، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ انجام شد. بافت خاک زمین مورد کشت لوم رسی سیلتی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی خاک با اندازه‌گیری توسط سلول‌های فشاری در آزمایشگاه به ترتیب ۳۱ و ۱۶ درصد حجمی به دست آمد. سطوح آبیاری (قطع آبیاری در مرحله

اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه، دمای هوا و رطوبت هوا، قبل از هر آبیاری در همه تیمارها و ارقام مورد بررسی انجام می‌شد. در این روش شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) براساس خط مبنای پایینی (خط بی‌تنش) و بالایی (خط بیشترین تنش) معرفی می‌شود. این خطوط رابطه، تفاوت مقادیر دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا را به کمبود فشار بخار هوا نشان می‌دهند (شکل ۱). در این شکل برای «دمای پوشش سبز گیاه»، «دمای هوا» و «کمبود فشار بخار هوا» به ترتیب از نمادهای « $T_c$ »، « $T_a$ » و « $vpd$ » استفاده شد. اندیس‌های  $u$ ،  $l$  نشان‌دهنده خطوط مبنای پایینی و بالایی است. بدین ترتیب شاخص تنش آبی را به صورت معادله (۴) می‌توان بیان کرد. ایدسو خطوط بالایی و پایینی تنش آبی را برای بعضی از گیاهان ارائه کرد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که در یک روز خاص با یک کمبود فشار بخار ( $vpd$ ) خاص، هرچه میزان تنش آبی بیشتر شود، تفاوت دمای گیاه و دمای هوا افزایش یافته، نقطه  $M$  به سمت بالا حرکت کرده و مقدار شاخص تنش آبی (CWSI) با توجه به رابطه ۱ افزایش می‌یابد.

$$CWSI = \frac{MN}{LN} = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_u}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_u} \quad (4)$$



شکل ۱- موقعیت خط تنش بالایی و پایینی به روش ایدسو

### نتایج و بحث

جدول ۱ مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی ارقام گلرنگ در تیمارهای آبیاری را نشان می‌دهد. در این بررسی هر رقم به‌طور مستقل از سایر ارقام در نظر گرفته شده و تأثیر تیمارهای آبیاری بر روی آن مطالعه شده‌است. در تک‌تک ارقام مشاهده شد با کاهش مقدار آبیاری صفات رشد و عملکردی گیاه کاهش یافت. در جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر صفات زراعی و

اردیبهشت) اعمال شد. داده‌های عملکرد و بهره‌وری آب به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام و تیمار برتر انتخاب و معرفی شد. شاخص بهره‌وری آب از نسبت مقدار عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) از معادله زیر به‌دست آمد:

$$WP = \frac{CY}{CW} \quad (1)$$

که در آن:  $WP$  = بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب آب آبیاری در طول فصل رشد)،  $CY$  = عملکرد گلرنگ (کیلوگرم در هکتار در سال)،  $CW$  = حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) است. برای برآورد شاخص بهره‌وری آب کل در مخرج کسر معادله (۱)، بارش مؤثر نیز به حجم آب آبیاری اضافه شد. میزان بارش مؤثر نیز به روش سرویس حفاظت خاک اداره کشاورزی آمریکا از معادلات (۲) و (۳) برآورد شد. در این معادله  $R$  و  $Re$  به ترتیب باران مؤثر و باران به میلی‌متر است.

$$Re = R \frac{(125 - 0.2 R)}{125} \quad R < 250 \text{ mm} \quad (2)$$

$$Re = 125 + 0.1R \quad R > 250 \text{ mm} \quad (3)$$

به‌منظور برآورد بهره‌وری اقتصادی آب (بر حسب ریال بر مترمکعب)، بایستی در صورت کسر معادله (۱)، سود خالص به‌دست‌آمده در هر هکتار را لحاظ کرد. بدین‌منظور کل هزینه‌های کاشت، داشت، برداشت و آبیاری مزرعه گلرنگ در سال انجام تحقیق برآورد شد. مقدار درآمد ناخالص نیز از حاصل ضرب قیمت فروش محصول در میزان عملکرد به‌دست آمد. شاخص‌های نسبت منفعت به هزینه و تفاضل منفعت و هزینه نیز محاسبه و ارقام و تیمارهای آبیاری مختلف مورد بررسی قرار گرفت و تیمار و رقم برتر از لحاظ اقتصادی معرفی شد.

برای رسیدن به هدف دوم پژوهش، از زمان اعمال تیمارهای تنش آبی تا پایان فصل، دمای پوشش سبز گیاه به کمک دماسنج مادون قرمز دستی و دمای هوا با دماسنج هوا در ظهر روز قبل از آبیاری (بین ساعت ۱۲ تا ۱۴) در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد تا بتوان بدین‌وسیله تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا را محاسبه و مورد ارزیابی قرار داد. رطوبت نسبی هوا نیز هم‌زمان به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج دستی اندازه‌گیری شد. خطوط بالایی و پایینی تنش گیاهی از روش ایدسو (۱۹۸۲) و ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) استخراج شد.

طولانی‌تر بودن آن است. مقایسه میانگین اثر رقم بر روز تا رسیدگی (جدول ۳) نشان داد رقم محلی اصفهان بیشترین طول فصل رشد (۱۴۹ روز) و رقم فرامان کمترین طول فصل رشد (۱۴۰ روز) را داشتند.

جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین صفات زراعی ارقام گلرنگ را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر روز تا رسیدگی (جدول ۲) نشان داد این صفت در تیمار I۵ بیشترین (۱۴۹ روز) و در تیمار I۱ کمترین (۱۳۹ روز) بود که بیانگر تأثیر رطوبت بر ادامه فصل رشد و

جدول ۱- مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی ارقام گلرنگ در تیمارهای آبیاری

ارقام	تیمارهای آبیاری	روز تا رسیدگی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
صفه	۱	۱۴۲ <sup>d</sup>	۱۳۳ <sup>c</sup>	۷۵۸ <sup>e</sup>
	۲	۱۴۶ <sup>c</sup>	۱۳۴ <sup>bc</sup>	۱۰۷۳ <sup>d</sup>
	۳	۱۴۸ <sup>b</sup>	۱۳۸ <sup>b</sup>	۱۴۹۵ <sup>c</sup>
	۴	۱۵۱ <sup>a</sup>	۱۴۳ <sup>a</sup>	۲۲۱۳ <sup>b</sup>
	۵	۱۵۱ <sup>a</sup>	۱۴۳ <sup>a</sup>	۲۴۹۷ <sup>a</sup>
	میانگین	۱۴۸	۱۳۸	۱۶۰۷
فرامان	۱	۱۳۵ <sup>d</sup>	۱۰۳ <sup>d</sup>	۹۴۳ <sup>e</sup>
	۲	۱۳۹ <sup>c</sup>	۱۰۳ <sup>d</sup>	۱۲۲۹ <sup>d</sup>
	۳	۱۴۰ <sup>c</sup>	۱۱۱ <sup>c</sup>	۱۵۱۱ <sup>c</sup>
	۴	۱۴۲ <sup>b</sup>	۱۱۹ <sup>b</sup>	۲۲۱۱ <sup>b</sup>
	۵	۱۴۵ <sup>a</sup>	۱۲۲ <sup>a</sup>	۲۶۸۸ <sup>a</sup>
	میانگین	۱۴۰	۱۱۲	۱۷۱۶
محلی اصفهان	۱	۱۴۲ <sup>c</sup>	۱۳۴ <sup>b</sup>	۷۷۹ <sup>e</sup>
	۲	۱۴۸ <sup>d</sup>	۱۳۵ <sup>b</sup>	۹۲۷ <sup>d</sup>
	۳	۱۵۱ <sup>c</sup>	۱۳۷ <sup>b</sup>	۱۲۱۰ <sup>c</sup>
	۴	۱۵۲ <sup>b</sup>	۱۴۳ <sup>a</sup>	۱۸۵۴ <sup>b</sup>
	۵	۱۵۴ <sup>a</sup>	۱۴۳ <sup>a</sup>	۲۱۷۵ <sup>a</sup>
	میانگین	۱۴۹	۱۳۸	۱۳۸۹
گلدشت	۱	۱۳۶ <sup>d</sup>	۹۷ <sup>d</sup>	۹۴۷ <sup>e</sup>
	۲	۱۳۸ <sup>c</sup>	۱۰۷ <sup>b</sup>	۱۰۵۱ <sup>d</sup>
	۳	۱۴۱ <sup>b</sup>	۱۰۸ <sup>b</sup>	۱۵۵۱ <sup>c</sup>
	۴	۱۴۵ <sup>a</sup>	۱۱۱ <sup>b</sup>	۲۰۹۰ <sup>b</sup>
	۵	۱۴۵ <sup>a</sup>	۱۱۸ <sup>a</sup>	۲۳۸۲ <sup>a</sup>
	میانگین	۱۴۱	۱۰۸	۱۶۰۴

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر برخی از صفات زراعی ارقام گلرنگ

تیمارهای آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	روز تا رسیدگی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
۱	۸۵۶/۹ <sup>c</sup>	۱۳۹ <sup>c</sup>	۱۱۷ <sup>e</sup>
۲	۱۰۷۰/۰ <sup>d</sup>	۱۴۳ <sup>d</sup>	۱۲۰ <sup>d</sup>
۳	۱۴۴۱/۶ <sup>c</sup>	۱۴۵ <sup>c</sup>	۱۲۳ <sup>c</sup>
۴	۲۰۹۱/۹ <sup>b</sup>	۱۴۸ <sup>b</sup>	۱۲۹ <sup>b</sup>
۵	۲۴۳۵/۸ <sup>a</sup>	۱۴۹ <sup>a</sup>	۱۳۳ <sup>a</sup>
LSD 5%	۵/۸۲	۰/۷۶	۲/۲۲

کاهش ۱۱/۴ درصدی را به همراه داشت. در تمام تیمارهای آبیاری ارقام صفه و محلی اصفهان از ارتفاع بیشتری نسبت به ارقام فرامان و گلدشت برخوردار بودند

مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم نشان داد میانگین ارتفاع بوته ارقام در تیمار I۵ برابر با ۱۳۲ سانتی‌متر و در تیمار I۱ برابر با ۱۱۷ سانتی‌متر بود که

یافته و کاهش رشد و به دنبال آن کاهش ارتفاع را به همراه دارد.

عکس العمل ارقام در هریک از تیمارهای آبیاری نیز متفاوت بود به گونه‌ای که در تیمار I۱، ارقام فرامان و گلدشت و در تیمار I۲ ارقام فرامان و صفه برتر و در یک کلاس آماری قرار داشتند. در تیمار I۳ همه ارقام به جز رقم محلی اصفهان در یک کلاس آماری و در جایگاه برتر قرار داشتند. در تیمار I۴ ارقام صفه و فرامان در یک کلاس آماری و از عملکرد دانه بیشتری نسبت به ارقام گلدشت و محلی اصفهان برخوردار بودند و در تیمار I۵ رقم فرامان با عملکرد دانه ۲۶۸۸ کیلوگرم در هکتار برتر از سایر ارقام بود. بررسی عکس العمل ارقام در تمام تیمارهای آبیاری نشان داد رقم فرامان در هر کدام از سطوح آبیاری برتری نسبی داشت که می‌تواند بیانگر تحمل ذاتی این رقم به شرایط محیطی متفاوت و سازگاری بالا با سطوح مختلف تنش خشکی باشد.

که بیانگر برتری اثر ژنتیکی بر اثر محیطی در مورد این صفت است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) و اچپال و همکاران (۲۰۱۶) نیز در گزارش‌های خود، کاهش ارتفاع با تنش خشکی در گلرنگ را گزارش کرده‌اند. معمولاً ارتفاع گیاه بارزترین مشخصه ژنتیکی در گیاهان زراعی است که در اثر تغییرات محیطی دچار نوسان می‌شود. یکی از عوامل مدیریتی که منجر به تغییرات محیطی می‌شود، آبیاری است که مبتنی بر اهداف، منابع و محدودیت‌ها انتخاب شده و بر رشد و نمو گیاه زراعی اثرگذار است؛ از این رو تأمین نیاز آبی گیاه از جمله عوامل مؤثر بر رشد مطلوب گیاه است. در شرایط رطوبتی نرمال، جذب آب و مواد معدنی و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی افزایش و به رشد رویشی اختصاص می‌یابد و باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود، اما هنگامی که تنش خشکی اتفاق می‌افتد، به دلیل کاهش جذب آب از خاک و بسته شدن روزنه‌ها، فرایند فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی کاهش

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی ارقام گلرنگ

رقم	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	روز تا رسیدگی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
صفه	۱۶۰۷/۴ <sup>b</sup>	۱۴۷/۵ <sup>b</sup>	۱۳۸/۴ <sup>a</sup>
فرامان	۱۷۱۶/۳ <sup>a</sup>	۱۴۰/۱ <sup>d</sup>	۱۱۱/۷ <sup>b</sup>
محلی اصفهان	۱۳۸۹/۱ <sup>c</sup>	۱۴۹/۳ <sup>a</sup>	۱۳۸/۳ <sup>a</sup>
گلدشت	۱۶۰۴/۱ <sup>b</sup>	۱۴۱/۲ <sup>c</sup>	۱۰۸/۴ <sup>c</sup>
LSD 5%	۷/۳۳	۰/۵۶	۱/۵

بیشتر از سایر تیمارها بود (به ترتیب ۰/۲۷۴ و ۰/۲۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب). کمترین میزان بهره‌وری آب کل مربوط به تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد آبیاری بود (به ترتیب ۰/۲۲۲ و ۰/۲۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب).

جدول ۷ مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل به تفکیک نوع رقم را نشان می‌دهد. ترتیب ارقام مورد بررسی از نظر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل، از بیشترین به کمترین مقدار، فرامان، گلدشت، صفه و محلی اصفهان بود. تفاوت مقادیر بهره‌وری آب در ارقام مختلف از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی دار بود.

جدول ۸ میانگین بهره‌وری آب و مقدار شاخص تنش آبی ارقام گلرنگ در تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. در رقم صفه بیشترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار آبیاری ۷۵ درصد و تیمار قطع آب به وقوع پیوسته است (۰/۳۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب). بیشترین میزان بهره‌وری آب کل

### بهره‌وری آب در ارقام گلرنگ

جدول ۴ و ۵ نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری آب ارقام گلرنگ در رژیم‌های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. مقدار نیاز آبی ناخالص در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی برابر با ۷۸۰۰ مترمکعب در هکتار بود. میزان بارندگی مؤثر معادل ۱۱۹ میلی‌متر به دست آمد. جدول ۶ مقایسه میانگین بهره‌وری آب ارقام مورد بررسی در اثر تیمارهای آبیاری و حجم آب آبیاری داده شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌وری آب آبیاری در تیمار قطع آب از سایر تیمارها بیشتر بوده است (۰/۳۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب). پس از آن تیمار آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد بهره‌وری آب آبیاری بیشتری داشتند (به ترتیب ۰/۳۲۲ و ۰/۳۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب). کمترین میزان بهره‌وری آب آبیاری مربوط به تیمار آبیاری ۵۰ درصد بود (۰/۲۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب). بهره‌وری آب کل در تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد

مربوط به رقم صفه (۰/۲۶) و رقم فرامان (۰/۱۸) بود. به‌طور کلی میانگین شاخص تنش آبی در ارقام گلدشت و محلی اصفهان بیشتر از ارقام صفه و فرامان بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش آبی، فرامان و پس از آن رقم صفه عملکرد و بهره‌وری آب بهتری خواهند داشت. جدول ۹ مقادیر بهره‌وری اقتصادی آب و دو شاخص اقتصادی تفاضل منفعت و هزینه (سود خالص) و نسبت منفعت به هزینه را برای ارقام مختلف نشان می‌دهد. میانگین مقادیر شاخص‌های اقتصادی مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۱۰ آورده شده‌است. ملاحظه می‌شود که در همه ارقام مورد بررسی، مقدار سود خالص در تیمار ۵ که آبیاری به‌صورت کامل انجام شده بیشتر بوده‌است. تفاوت سود خالص تیمار ۴ و ۵ حدود ۲۰ میلیون ریال در هکتار بود. نسبت منفعت به هزینه نیز با افزایش میزان آب آبیاری افزایش یافت؛ لیکن تفاوت بین تیمار ۴ و ۵ در همه ارقام قابل توجه نبود. مقادیر بهره‌وری اقتصادی آب نشان می‌دهد که بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب در همه ارقام در تیمار ۴ (آبیاری به اندازه ۷۵ درصد نیاز گیاه) به‌دست آمده‌است.

در رقم صفه مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد بود (۰/۲۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب). در رقم فرامان بیشترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار قطع آبیاری (۰/۴۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و بیشترین میزان بهره‌وری آب کل در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شد (۰/۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب). کمترین میزان بهره‌وری آب این رقم در تیمار آبیاری ۵۰ درصد به‌وقوع پیوست. در رقم محلی اصفهان نیز بیشترین میزان بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل به‌ترتیب در تیمار قطع آب و تیمار آبیاری ۷۵ درصد با مقادیر ۰/۳۴۷ و ۰/۲۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. در رقم گلدشت بیشترین میزان بهره‌وری آب آبیاری (۰/۴۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و بهره‌وری آب کل (۰/۲۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار قطع آب آبیاری به‌وقوع پیوست. ضمن اینکه بهره‌وری آب کل در تیمار قطع آب آبیاری و تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. در تیمار آبیاری ۲، بیشترین و کمترین مقدار شاخص تنش آبی به‌ترتیب مربوط به رقم گلدشت (۰/۷۹) و رقم صفه (۰/۵۱) بود. در تیمار ۴، بیشترین و کمترین مقدار شاخص تنش آبی به‌ترتیب

جدول ۴- تجزیه واریانس بهره‌وری آب ارقام گلرنگ در رژیم‌های مختلف آبیاری

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
بهره‌وری آب کل	بهره‌وری آب آبیاری		
۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱۱	۲	تکرار
۰/۰۰۰۶۳۵**	۰/۰۱۷۲۳**	۴	آبیاری
۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۳۸	۸	خطای a
۰/۰۰۰۷۱۴**	۰/۰۱۲۲۸**	۳	رقم
۰/۰۰۰۰۶۱**	۰/۰۰۱۲۲**	۱۲	آبیاری * رقم
۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱۳	۳۰	خطای b
۳/۵	۳/۵۳	-	ضریب تغییرات

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۱ درصد

جدول ۵- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر رقم در هر سطح آبیاری برای بهره‌وری آب

میانگین مربعات		درجه آزادی	تیمار آبیاری
بهره‌وری آب کل	بهره‌وری آب آبیاری		
۰/۰۰۰۲۶۹**	۰/۰۰۰۶۴۲**	۳	۱
۰/۰۰۰۰۲۰۳**	۰/۰۰۰۳۲۷**	۳	۲
۰/۰۰۰۱۷۶**	۰/۰۰۰۳۱۷**	۳	۳
۰/۰۰۰۱۴۵**	۰/۰۰۰۱۸۹**	۳	۴
۰/۰۰۰۱۶۶**	۰/۰۰۰۲۳۹**	۳	۵

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۱ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر بهره‌وری آب ارقام گلرنگ

تیمارهای آبیاری	شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب کل (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱	۱/۰۰	۲۲۴۰	۰/۳۸۳ <sup>a</sup>	۰/۲۴۹ <sup>b</sup>
۲	۰/۶۶	۳۶۳۰	۰/۲۹۴ <sup>cd</sup>	۰/۲۲۲ <sup>c</sup>
۳	۰/۴۱	۵۰۲۰	۰/۲۸۸ <sup>d</sup>	۰/۲۳۲ <sup>c</sup>
۴	۰/۲۳	۶۴۶۰	۰/۳۲۲ <sup>b</sup>	۰/۲۷۴ <sup>a</sup>
۵	۰/۰۰	۷۸۰۰	۰/۳۱۲ <sup>bc</sup>	۰/۲۷۲ <sup>a</sup>
LSD 5%				
	-	-	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴

جدول ۷- مقایسه میانگین بهره‌وری آب ارقام گلرنگ

رقم	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب کل (کیلوگرم بر مترمکعب)
صفه	۰/۳۲۰ <sup>c</sup>	۰/۲۴۹ <sup>c</sup>
فرامان	۰/۳۴۹ <sup>a</sup>	۰/۲۷۳ <sup>a</sup>
محلی اصفهان	۰/۲۸۱ <sup>d</sup>	۰/۲۲۱ <sup>d</sup>
گلدشت	۰/۳۳۰ <sup>b</sup>	۰/۲۵۷ <sup>b</sup>
LSD 5%		
	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶

جدول ۸- مقایسه میانگین بهره‌وری آب و شاخص تنش آبی ارقام گلرنگ در تیمارهای آبیاری

ارقام	تیمارهای آبیاری	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب کل (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)
صفه	۱	۰/۳۴۰ <sup>a</sup>	۰/۲۲۰ <sup>c</sup>	۱/۰۰
	۲	۰/۲۹۷ <sup>b</sup>	۰/۲۲۰ <sup>c</sup>	۰/۵۱
	۳	۰/۳۰۰ <sup>b</sup>	۰/۲۴۰ <sup>b</sup>	۰/۳۸
	۴	۰/۳۴۰ <sup>a</sup>	۰/۲۹۰ <sup>a</sup>	۰/۲۶
	۵	۰/۳۲۳ <sup>a</sup>	۰/۲۷۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰
میانگین				
فرامان	۱	۰/۴۲۳ <sup>a</sup>	۰/۲۷۳ <sup>b</sup>	۱/۰۰
	۲	۰/۳۳۷ <sup>b</sup>	۰/۲۵۷ <sup>c</sup>	۰/۶۳
	۳	۰/۳۰۳ <sup>c</sup>	۰/۲۴۳ <sup>c</sup>	۰/۳۷
	۴	۰/۳۴۰ <sup>b</sup>	۰/۲۹۰ <sup>a</sup>	۰/۱۸
	۵	۰/۳۴۳ <sup>b</sup>	۰/۳۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۰
میانگین				
محلی اصفهان	۱	۰/۳۴۷ <sup>a</sup>	۰/۲۲۷ <sup>b</sup>	۱/۰۰
	۲	۰/۲۵۷ <sup>c</sup>	۰/۱۹۳ <sup>c</sup>	۰/۶۹
	۳	۰/۲۴۰ <sup>c</sup>	۰/۱۹۷ <sup>c</sup>	۰/۴۶
	۴	۰/۲۸۷ <sup>b</sup>	۰/۲۴۳ <sup>a</sup>	۰/۲۴
	۵	۰/۲۷۷ <sup>b</sup>	۰/۲۴۳ <sup>a</sup>	۰/۰۰
میانگین				
گلدشت	۱	۰/۴۲۳ <sup>a</sup>	۰/۲۷۷ <sup>a</sup>	۱/۰۰
	۲	۰/۲۸۷ <sup>c</sup>	۰/۲۲۰ <sup>c</sup>	۰/۷۹
	۳	۰/۳۱۰ <sup>b</sup>	۰/۲۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۲
	۴	۰/۳۲۳ <sup>b</sup>	۰/۲۷۳ <sup>a</sup>	۰/۲۲
	۵	۰/۳۰۷ <sup>b</sup>	۰/۲۶۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰
میانگین				
	۰/۳۳	۰/۲۵۷	۰/۴۹	۰/۴۹



بخار را محاسبه کرد. سپس با تلاقی مقدار کمبود فشار بخار با خط تنش آبی مربوط، مقدار تفاضل دمای برگ و دمای هوا به دست می‌آید؛ به عبارت دیگر در هر زمان، با اندازه‌گیری دمای هوا، رطوبت هوا و دمای برگ می‌توان تشخیص داد که رقم گلرنگ مورد بررسی در چه سطحی از تنش آبی قرار دارد و زمان شروع آبیاری را تعیین کرد؛ مثلاً اگر در رقم صنفه تیمار آبیاری ۴ انتخاب شود (شاخص تنش آبی =  $0/26$ )، بایستی هر روز ظهر دمای هوا، دمای پوشش سبز و رطوبت هوا را اندازه گرفت. سپس در معادله خط مربوط که از جدول ۱۱ اخذ می‌شود (شیب خط  $0/77 -$  و عرض از مبدا  $4/25$ )، مقدار کمبود فشار بخار (vpd) را گذاشت تا تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا (Tc-Ta) به دست آید. اگر این تفاوت دما از تفاوت دمای واقعی که اندازه‌گیری شده است، کمتر یا مساوی باشد، زمان انجام آبیاری فرارسیده است.

در بین ارقام مورد بررسی، بیشترین و کمترین مقادیر شاخص‌های اقتصادی مورد بررسی به ترتیب متعلق به ارقام فرامان و محلی اصفهان بود. جدول ۱۱، ضرایب خطوط تنش آبی گلرنگ در ارقام و تیمارهای آبیاری مورد بررسی را نشان می‌دهد. در این جدول به ازای تک‌تک تیمارهای آبیاری، ضرایب خط تنش آبی که از معادله خط راست پیروی می‌کند، نمایش داده شده است. این خطوط تنش رابطه تفاضل دمای برگ و دمای هوا با کمبود فشار بخار را نشان می‌دهد. براساس فرضیات ایدسو (۱۹۸۰) خطوط مربوط به تیمار قطع آب را می‌توان به عنوان خطوط مبنای تنش بالایی و خطوط مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد را می‌توان به عنوان خطوط مبنای تنش پایینی در نظر گرفت. فایده خطوط تنش استخراج شده این است که در هر زمان می‌توان ابتدا با اندازه‌گیری دمای هوا و رطوبت هوا، مقدار کمبود فشار

جدول ۹- مقادیر بهره‌وری اقتصادی آب و شاخص‌های اقتصادی ارقام گلرنگ در تیمارهای آبیاری

ارقام	تیمارهای آبیاری	بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب)	سود خالص (ریال در هکتار)	نسبت منفعت به هزینه
صنفه	۱	۱۹۶۶۳	۴۴۰۴۴۳۰۰	۱/۳۲
	۲	۱۹۵۰۲	۷۰۷۹۲۰۵۰	۱/۴۱
	۳	۲۰۳۰۱	۱۰۱۹۱۰۷۵۰	۱/۴۹
	۴	۲۵۳۰۵	۱۶۳۴۷۱۰۵۰	۱/۶۲
	۵	۲۳۴۷۵	۱۸۳۱۰۲۴۵۰	۱/۶۲
	میانگین	۲۱۶۴۹	۱۱۲۶۶۴۱۲۰	۱/۴۹
فرامان	۱	۲۳۰۳۶	۵۱۶۰۱۵۵۰	۱/۳۸
	۲	۲۱۲۵۷	۷۷۱۶۴۶۵۰	۱/۴۵
	۳	۲۰۴۳۱	۱۰۲۵۶۴۳۵۰	۱/۴۹
	۴	۲۵۲۹۲	۱۶۳۳۸۹۳۵۰	۱/۶۲
	۵	۲۴۴۷۵	۱۹۰۹۰۴۸۰۰	۱/۶۵
	میانگین	۲۲۸۹۸	۱۱۷۱۲۴۹۴۰	۱/۵۲
محلی اصفهان	۱	۲۰۰۴۶	۴۴۹۰۲۱۵۰	۱/۳۳
	۲	۱۷۸۵۹	۶۴۸۲۷۹۵۰	۱/۳۷
	۳	۱۷۹۸۲	۹۰۲۶۸۵۰۰	۱/۴۳
	۴	۲۳۰۳۵	۱۴۸۸۰۵۹۰۰	۱/۵۶
	۵	۲۱۷۸۸	۱۶۹۹۴۸۷۵۰	۱/۵۸
	میانگین	۲۰۱۴۲	۱۰۳۷۵۰۶۵۰	۱/۴۶
گلدشت	۱	۲۳۱۰۹	۵۱۷۶۴۹۵۰	۱/۳۸
	۲	۱۹۲۵۴	۶۹۸۹۳۳۵۰	۱/۴۰
	۳	۲۰۷۵۷	۱۰۴۱۹۸۳۵۰	۱/۵۰
	۴	۲۴۵۲۷	۱۵۸۴۴۶۵۰۰	۱/۶۰
	۵	۲۲۸۷۲	۱۷۸۴۰۴۷۰۰	۱/۶۱
	میانگین	۲۲۱۰۴	۱۱۲۵۴۱۵۷۰	۱/۵۰

جدول ۱۰- میانگین مقادیر شاخص‌های اقتصادی در تیمارهای آبیاری

تیمارهای آبیاری	نسبت منفعت به هزینه	سود خالص (ریال در هکتار)	بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب)
۱	۱/۳۵	۴۸۰۷۸۲۳۸	۲۱۴۶۳
۲	۱/۴۱	۷۰۶۶۹۵۰۰	۱۹۴۶۸
۳	۱/۴۸	۹۹۷۳۵۴۸۸	۱۹۸۶۸
۴	۱/۶۰	۱۵۸۵۲۸۲۰۰	۲۴۵۴۰
۵	۱/۶۱	۱۸۰۵۹۰۱۷۵	۲۳۱۵۳
میانگین	۱/۴۹	۱۱۱۵۲۰۳۲۰	۲۱۶۹۸

جدول ۱۱- مقادیر ضرایب معادله خطوط تنش آبی ارقام گلرنگ در تیمارهای آبیاری

ارقام	تیمارهای آبیاری	شیب خط	عرض از مبدأ (درجه سانتی‌گراد)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )
صفه	۱	-۰/۰۳	۶/۰۵	۰/۰۰۴
	۲	-۰/۴۹	۴/۷۴	۰/۷۰
	۳	-۰/۶۰	۴/۳۳	۰/۵۳
	۴	-۰/۷۷	۴/۲۵	۰/۸۶
	۵	-۱/۱۷	۴/۱۶	۰/۷۲
فرامان	۱	۰/۰۲	۶/۹۱	۰/۰۰۱
	۲	-۰/۷۱	۶/۶۱	۰/۶۳
	۳	-۱/۲۳	۶/۴۲	۰/۸۶
	۴	-۱/۵۵	۶/۱۰	۰/۶۹
	۵	-۱/۸۹	۵/۸۸	۰/۷۹
محلی اصفهان	۱	-۰/۰۱	۵/۰۹	۰/۰۰۱
	۲	-۰/۵۷	۴/۷۰	۰/۶۸
	۳	-۱/۰۰	۴/۴۷	۰/۷۳
	۴	-۱/۴۱	۴/۲۶	۰/۸۴
	۵	-۱/۹۰	۴/۲۰	۰/۷۱
گلدشت	۱	-۰/۰۶	۸/۰۷	۰/۰۰۱
	۲	-۰/۵۳	۷/۸۵	۰/۷۱
	۳	-۱/۲۹	۷/۲۵	۰/۷۶
	۴	-۱/۷۲	۷/۱۰	۰/۷۸
	۵	-۲/۱۷	۶/۶۹	۰/۷۵

### نتیجه‌گیری

بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری بر روی چهار رقم گلرنگ در این تحقیق نشان داد که به‌طور کلی تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و سایر خصوصیات رشدی ارقام گلرنگ معنی‌دار بود. از نظر میزان عملکرد دانه، به‌ترتیب ارقام فرامان، صفه، گلدشت و محلی اصفهان قرار گرفتند. از نظر میزان آب آبیاری، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه، به‌ترتیب در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و تیمار قطع آب به‌دست آمد. از نظر بهره‌وری آب آبیاری، بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری به‌ترتیب در تیمار قطع آب آبیاری و تیمار آبیاری ۵۰ درصد به‌دست آمد.

درحالی‌که بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری آب کل به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد و تیمار آبیاری ۲۵ درصد بود. بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب نیز مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد بود. ترتیب ارقام مورد بررسی از نظر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل، از بیشترین به کمترین مقدار، فرامان، گلدشت، صفه و محلی اصفهان بود. با جمع‌بندی تمام پارامترهای مورد بررسی مشخص می‌شود که بهترین تیمار آبیاری ارقام گلرنگ تیمار آبیاری ۷۵ درصد بوده‌است که اگرچه ۲۵ درصد کمتر از تیمار آبیاری کامل آبیاری شده‌است، از نظر عملکرد تفاوت زیادی با تیمار آبیاری کامل نداشته؛ اما

۷. شاهرخ‌نیا م. ع. زارع ا. و دهقانی سانجی ح. ۱۳۹۴. مقایسه ابراهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری قطره‌ای مرکبات در خاک با بافت متوسط و سنگین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۳): ۴۴۸-۴۵۸.

۸. عفت‌دوست ن. ۱۳۸۲. ارزیابی اثر تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل. ۱۰۲ ص.

۹. کافی م. و رستمی م. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱(۵): ۱۲۱-۱۳۲.

10. Achhale D. 2016. Screening of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes for drought tolerance. Thesis master of science in agriculture (plant breeding and genetics). Rajmata vijayaraje scindia krishi vishwa vidyalaya, gwalior college of agriculture, indore (mp). 75 p.
11. Bahadur A. and Singh J. 2021. Optimization of Tensiometer-Based Drip Irrigation Scheduling and Its Effect on Growth, Yield and Water Use Efficiency in Tomato (*Solanum lycopersicum*). Agricultural Research. doi: 10.1007/s40003-020-00529-5
12. Bortolheiro F. P. A. P. and Silva M. A. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 89(4): 3051-3066.
13. Cormier J. Depardieu C. Letourneau G. Boily C. Gallichand J. and Caron J. 2020. Tensiometer-based irrigation scheduling and water use efficiency of field-grown strawberries. Agronomy Journal. 112: 2581-2597.
14. Hussain M. I. Lyra D. A. Farooq M. Nikoloudakis N. and Khalid N. 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. Agronomy for Sustainable Development. 36(1): 4.
15. Idso S. B. 1982. Non-water stressed base line: A key to measuring and interpreting plant water stress. Agric. Meteorol. 27: 59-70.
16. Idso S. B. Jackson R. D. Pinter P. J. Reginato R. J. and Hatfield J. L. 1981. Normalizing the stress-degree day parameter for environmental variability. Agric Meteorol. 24: 45-55.
17. Perry C. and Steduto P. 2017. Does improved irrigation technology save water?

بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب را داشته‌است. با استفاده از خطوط تنش آبی به‌دست‌آمده برای هر رقم می‌توان با اندازه‌گیری دمای برگ، دمای هوا و رطوبت هوا در هر روز، زمان وقوع تنش‌های آبی مختلف را به‌دست آورد و براساس آن زمان شروع آبیاری را تعیین کرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی فارس در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

### منابع

۱. ابراهیمی ف. مجیدی م. م. ارزانی ا. محمدی‌نژاد ق. و دهقان کوهستانی ر. ۱۳۹۶. پتانسیل تولید و تحمل به خشکی تعدادی از ژنوتیپ‌های داخلی و خارجی گلرنگ در سه منطقه ایران. نشریه تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. ۱-۱۸.
۲. اشرفی ا. و رزمجو م. ۱۳۸۸. بررسی اثر هیدروپرایمینگ بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گلرنگ تحت تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱: ۳۴-۴۳.
۳. خواجه‌پور م. ر. ۱۳۷۷. تولید نباتات صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۷۲ ص.
۴. رحمنی ف. سیف‌زاده س. جباری ح. ولدآبادی ع. ر. و حدیدی ماسوله ا. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴۷: ۲۷-۴۳.
۵. شاهرخ‌نیا م. ع. و زارع ح. ۱۴۰۰. زمان مناسب آبیاری تکمیلی درختان انجیر دیم با اندازه‌گیری دمای برگ، رطوبت خاک و داده‌های هواشناسی. نشریه هواشناسی کشاورزی. ۹(۲): ۲۹-۳۸.
۶. شاهرخ‌نیا م. ع. و زارع ح. ۱۳۹۹. تعیین بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آبیاری درختان انجیر دیم استهبان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳(۳): ۳۳۴-۳۱۷.

- A review of the evidence. Technical report  
FAO May 2017.
18. Wood C. W. Krutz L. J. Henry W.B. Irby T.  
Orlowski J. M. Bryant C. J. Atwill R. L.  
Spencer G. D. and Mills B. E. 2020.  
Developing sensor-based irrigation  
scheduling that maximizes soybean grain  
yield, irrigation water use efficiency, and  
returns above irrigation costs. Crop, Forage  
and Turfgrass Management. 6(1) doi:  
10.1002/cft2.20029