

مقاله علمی - پژوهشی

## اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر بهره‌وری مصرف آب و رشد درخت انجیر رقم سبز (*Ficus carica* L.)

سمیه سلطانی گردفرامرزى\*<sup>۱</sup>، محمد فیضی<sup>۲</sup>، محسن قاسمی<sup>۳</sup>، نجمه یرمی<sup>۴</sup>

### چکیده

تشدید بحران آب، کم‌آبیاری را به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی جهت افزایش کارایی مصرف آب به‌منظور تولید بیش‌تر محصول به ازای واحد آب مصرفی، مورد توجه قرار داده است. این پژوهش با هدف بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر بهره‌وری مصرف آب و رشد درخت انجیر رقم سبز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در روستای فروم‌د واقع در استان سمنان اجرا شد. آبیاری در پنج تیمار شامل آبیاری کامل به اندازه آب قابل‌دسترس خاک به‌عنوان تیمار شاهد (FI)، کم‌آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>75</sub>)، کم‌آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>50</sub>)، کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۷۵ درصد آبیاری کامل (RDI<sub>75</sub>) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل (RDI<sub>50</sub>) بود. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری به‌جز اختلاف قطر تنه در ابتدا و انتهای فصل، بر صفات اختلاف ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای فصل، وزن تر و خشک میوه، قطر میوه، شاخص سبزیگی (SPAD)، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، سطح برگ، رطوبت میوه، رشد طولی شاخه، تعداد برگ جدید و بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بین تیمارهای PRD<sub>75</sub> و FI تفاوت معنی‌داری در وزن تر و خشک میوه وجود نداشت. تیمارهای PRD<sub>75</sub>، PRD<sub>50</sub> و RDI<sub>75</sub> و RDI<sub>50</sub> به ترتیب باعث کاهش اختلاف ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای فصل (۱۲/۴۸، ۱۵/۸۹، ۱۵/۵۰ و ۶۲/۵۰ و ۶۷/۰۳ درصد)، قطر میوه (۳/۷۰، ۱۱/۴۹، ۱۸/۶۱ و ۲۵/۵۳ درصد)، شاخص سبزیگی (۷/۳۵، ۱۵/۵۴، ۱۹/۶۵ و ۲۵/۵۶ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۰/۷۱، ۲۰/۰۱، ۲۲/۱۶ و ۳۰/۷۳ درصد)، سطح برگ (۳۳/۴۵، ۴۲/۵۶، ۵۱/۰۴ و ۶۴/۵۹ درصد)، رطوبت میوه (۲/۸۳، ۷/۹۴، ۱۶/۲۹ و ۲۴/۳۶ درصد)، رشد طولی شاخه (۲۱/۶۳، ۲۳/۲۸، ۴۳/۲۱ و ۵۳/۲۱ درصد)، تعداد برگ جدید (۲۲/۲۲، ۴۲/۶۱، ۵۹/۲۸ و ۶۸/۳ درصد) و همچنین باعث افزایش نشت یونی (۳۵/۶۹، ۳۲/۶۳، ۷۴/۴۷ و ۱۰۹/۱۵ درصد) و بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه (۱۲۳/۵۳، ۱۶۷/۶۵، ۳۵/۲۲ و ۱۰۸/۸۲ درصد) شدند. با توجه به نزدیکی نتایج کم‌آبیاری ناقص ریشه به‌ویژه در سطح ۷۵ درصد (PRD<sub>75</sub>) به آبیاری کامل، این روش برای به حداقل رساندن تلفات کمی در شرایط تنش آبی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انجیر، تنش خشکی، مورفولوژی، فیزیولوژی، بهره‌وری مصرف آب

### مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یک تنش غیرزیستی غالب، در سراسر جهان شناخته می‌شود. تقریباً ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان به‌طور مداوم در معرض تنش خشکی قرار دارند (Abdelraheem et al., 2019). طبق پیش‌بینی، تا سال ۲۰۲۵، خشکسالی موجب از دست رفتن ۵۰ درصد از زمین‌های زراعی خواهد شد که با توجه به پیش‌بینی جمعیت تا سال ۲۰۲۵ به ۹/۷ میلیارد نفر، منجر به بحران غذا برای انسان و حیوان خواهد بود (El Sabagh et al., 2021). از طرفی، به علت تغییرات آب و

<sup>۱</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان و عضو پژوهشکده آب، انرژی و محیط زیست، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران (\* نویسنده مسئول: ssoltani@ardakan.ac.ir)

<sup>۲</sup> فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

<sup>۳</sup> معاونت برنامه ریزی شرکت آب منطقه‌ای یزد

<sup>۴</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹

همکاران، ۱۳۹۸ بر پرتقال؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۹ بر ذرت علوفه‌ای؛ حاجی پور و همکاران، ۱۳۹۹ بر خیار؛ غلامی و همکاران، ۱۴۰۰ بر زیتون؛ Wu et al., 2020 بر گل‌ابی؛ Abboud et al., 2021 بر زیتون؛ Zhang et al., 2021 بر بادام‌زمینی و ...). فیروزپور و همکاران (۱۴۰۱) بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج را بررسی کردند. تیمارهای این طرح، کم‌آبیاری تنظیم‌شده، کم‌آبیاری بخشی ریشه و آبیاری غرقابی بودند. نتایج نشان داد که روش کم‌آبیاری بخشی ریشه علاوه بر عملکرد شلتوک بالاتر نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده، موجب صرفه‌جویی بیشتری در مصرف آب شدند. ابود و همکاران در پژوهشی در تونس، تأثیر آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق محصول در دو طرف ریشه (شاهد) و آبیاری بر اساس ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد تبخیر و تعرق محصول فقط در یک قسمت متناوب از ناحیه ریشه را بر برخی خصوصیات سه رقم زیتون بررسی کردند. مطابق با نتایج، در تمام ارقام، آبیاری ناقص ریشه باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب ساقه و تجمع بیش‌تر اسید آسبزیک در ریشه‌های خشک نسبت به ریشه‌های مرطوب شد (Abboud et al., 2021). در پژوهش صورت‌گرفته توسط ژانگ و همکاران که در آن، تأثیر آبیاری تنظیم‌شده (در سطوح ۶۵، ۵۵ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی) به‌طور مستمر بر گیاه بادام‌زمینی در چین مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که تیمار ۵۵ درصد، راندمان مصرف آب برگ را به‌طور پایدار بهبود بخشید. بالاترین عملکرد در تیمار ۶۵ درصد مشاهده شد (Zhang et al., 2021). آگانچیچ و همکاران باهدف بررسی تأثیر تلقیح قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر رشد و عملکرد درختان زیتون تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده و خشک‌کردن جزئی ناحیه ریشه، پژوهشی در اسپانیا انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش تنش، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، رشد رویشی (سطح برگ، طول ساقه و تعداد برگ) کاهش و محتویات پروتئین و قند محلول افزایش یافت. کاهش صفات مذکور، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده نسبت به خشک‌کردن جزئی ناحیه ریشه بیش‌تر بود (Aganchich et al., 2022). پاردو و همکاران

هوایی، کمبود آب نیز به‌تدریج در حال افزایش است و در بسیاری از کشورها، آب موجود برای آبیاری به‌طور چشمگیری کاهش یافته است، بنابراین، نیاز مبرمی برای یافتن یک رویکرد هم‌افزایی جهت حل مشکل فعلی منابع آب ناکافی در بخش کشاورزی برای تأمین بهره‌وری محصول در شرایط اقلیمی آینده احساس می‌شود (Hou et al., 2023). آبیاری ناقص ریشه<sup>۱</sup> و کم‌آبیاری تنظیم‌شده<sup>۲</sup> تکنیک‌های آبیاری جهت صرفه‌جویی در آب هستند که به‌صورت گسترده در جهان برای آبیاری محصولات باغی و زراعی استفاده می‌شوند (Wei et al., 2018). آبیاری ناقص ریشه، شکل پیشرفته‌تر کم‌آبیاری است که در آن، قسمتی از سیستم ریشه به‌طور معمول آبیاری می‌شود درحالی‌که قسمت دیگر آن خشک است و قسمت خشک و مرطوب با فرکانس بر اساس رطوبت خاک و نیاز آبی محصول می‌تواند تغییر می‌کند، بنابراین، باوجود آبیاری کم‌تر، گیاه قادر خواهد بود در تمام طول فصل رشد، از ناحیه ریشه، آب جذب کند. این روش، پتانسیل بالایی در افزایش کارایی مصرف آب محصول، صرفه‌جویی در مصرف منابع آب و بهبود رشد گیاه دارد. از مزایای آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری می‌توان به بهبود کارایی مصرف آب و حفظ عملکرد محصول با مقدار آب آبیاری یکسان اشاره نمود. علاوه بر این، آبیاری ناقص ریشه منجر به افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاه و بهبود کیفیت محصول نیز می‌گردد (Yang et al., 2021). از دیگر مزایای روش آبیاری ناقص ریشه می‌توان به افزایش غلظت شیرۀ آوندی، عدم کاهش در کیفیت و کمیت محصول (de Lima et al., 2015)، بهبود کیفیت محصول از طریق افزایش میزان قند و افزایش کارایی مصرف آب بدون کاهش عملکرد گیاه (Ghrab et al., 2013) اشاره نمود. محققین زیادی در ایران و سایر نقاط دنیا تأثیر این روش را بر گیاهان مختلف زراعی و باغی بررسی کرده‌اند (Mousavi et al., 2010) بر کلزا؛ گلستانی و همکاران، ۱۳۹۶ بر سیب‌زمینی؛ دانش‌پژوه و همکاران، ۱۳۹۷ بر فلفل دلمه‌ای؛ ذونعمت کرمانی و اسدی، ۱۳۹۷ بر آویشن باغی؛ اسدی و همکاران، ۱۳۹۸ بر رزماری؛ ریگی کاروانداری و همکاران، ۱۳۹۸ بر رزماری؛ هوشمند و همکاران، ۱۳۹۸ بر گوجه‌فرنگی؛ سلگی و

<sup>2</sup> Regulated deficit irrigation<sup>1</sup> Partial root-zone drying irrigation

نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، مهم‌ترین نواحی تولید انجیر می‌باشند که در سال‌های اخیر مشکلات فراوانی در تأمین آب مورد نیاز این محصول به دلیل خشک‌سالی‌های متوالی به وجود آمده است. به طوری که موجب کاهش کیفیت و کمیت محصول و ایجاد اوضاع اقتصادی نابسامانی برای پرورش‌دهندگان این محصول شده است. با توجه به تحقیقات انجام شده می‌توان بیان کرد که استفاده از کم آبیاری، ضمن حفظ عملکرد می‌تواند تا حدود زیادی موجب کاهش آب مصرفی در مزرعه شود؛ بنابراین ارائه راهکارهای مدیریت کم آبیاری در شرایط خشک بسیار حائز اهمیت است تا بتوان بدون کاهش محسوس عملکرد گیاه، میزان بهره‌وری مصرف آب در مزرعه را نیز افزایش داد. اگرچه پژوهش‌های زیادی در ارتباط با تأثیر کم آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده بر روی گیاهان مختلف صورت گرفته است ولی تاکنون تأثیر این روش مدیریت کم آبیاری بر درختان انجیر سبز انجام نشده است؛ بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر رشد (صفات فیزیولوژی و مورفولوژی) و بهره‌وری مصرف آب درخت انجیر رقم سبز صورت گرفت.

## مواد و روش

### مشخصات طرح و محل انجام پژوهش

این تحقیق در سال ۱۴۰۰، در روستای فرومد واقع در استان سمنان با مختصات جغرافیایی ° ۳۶٫۵۱۵۱ شمالی و ° ۵۶٫۷۴۹۶ شرقی که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۰۰ متر است، در یک باغ انجیر رقم سبز و بر روی درختان ۵ ساله و با فاصله ۲/۵ متری در ردیف‌هایی به فواصل ۳/۵ متری انجام شد. پژوهش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. آبیاری در پنج تیمار شامل آبیاری کامل به اندازه آب قابل دسترس خاک به عنوان تیمار شاهد (FI)، کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>75</sub>)، کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>50</sub>)، کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۷۵ درصد آبیاری کامل (RDI<sub>75</sub>) و کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۵۰ درصد آبیاری کامل (RDI<sub>50</sub>) بود. به منظور انجام این پژوهش، ابتدا درختان مشابه و یکنواخت انتخاب شد. هر ردیف درخت یک تکرار

پژوهشی تحت عنوان پاسخ‌های فیزیولوژیک جو به کم آبیاری تنظیم شده در سطوح مختلف کم آبیاری در اسپانیا انجام دادند. مطابق با نتایج، کم آبیاری باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و عملکرد و افزایش راندمان مصرف آب شد (Pardo et al., 2022). در پژوهش لیس و همکاران که به منظور بررسی تأثیر کم آبیاری تنظیم شده بر مصرف آب در گیاه سیر در اسپانیا صورت گرفت، مشخص شد که بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب و کاهش عملکرد مربوط به تیمار ۷۰ درصد بود (Léllis et al., 2022). زو و همکاران پژوهشی گلخانه‌ای با هدف بررسی تأثیر آبیاری کامل و کم آبیاری در یک خاک گچی بر گیاه توت‌فرنگی روز کوتاه در چین انجام دادند. نتایج نشان داد که کم آبیاری منجر به افزایش غلظت قند میوه و غلظت آنتوسیانین و کاهش سطح برگ، نسبت وزن خشک برگ به وزن اشباع، وزن خشک تاج‌پوشش، وزن مخصوص برگ، وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک تاج‌پوشش و وزن خشک کل نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Xu et al., 2023). در پژوهش واکچاتور و همکاران که تحت عنوان بررسی تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر گیاه بامیه در شرایط کم آبیاری، در هند صورت گرفت، مشخص شد که با افزایش تنش خشکی، ارتفاع بوته، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (Wakchaure et al., 2023). ونگ و همکاران به منظور بررسی عملکرد بالای ذرت در عین افزایش بهره‌وری آب تحت کم آبیاری بهینه‌شده و کم آبیاری تنظیم شده، آزمایشی مزرعه‌ای در چین انجام دادند. بر اساس نتایج، با افزایش شدت تنش در هر دو روش آبیاری، شاخص سطح برگ، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه و عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل کاهش و بهره‌وری آب افزایش یافت (Wang et al., 2023). هو و همکاران با هدف بررسی اثر افزودن بیوپلاز و روش آبیاری (کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه) بر رشد و کارایی مصرف آب گیاهان پنبه در شرایط تنش شوری، پژوهشی در چین انجام دادند. نتایج نشان داد که راندمان مصرف آب در آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل و کم آبیاری بیش‌تر بود. کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه منجر به کاهش سطح برگ و وزن خشک زیست‌توده (ریشه، ساقه، برگ، پوسته، پنبه‌دانه، غوزه) شد (Hou et al., 2023).

مشخص شده اندازه‌گیری شد. ارتفاع درخت و قطر تنه قبل از شروع آزمایش و پایان آزمایش اندازه‌گیری گردید. شکل (۱) نمای کلی برخی تیمارها در محل اجرای پژوهش و شکل (۲) طرح شماتیک از تیمارهای آزمایش را نشان می‌دهد.

محسوب می‌شد. تعداد سه شاخه در سه جهت مختلف درخت انتخاب شد و برای هر شاخه اتیکت تهیه و شماره‌گذاری گردید و با توجه به سن درخت در محلی از شاخه که ۵ سال از رشد آن گذشته بود، وصل گردید. همه صفات کمی و کیفی در شاخه‌های



شکل ۱- برخی تیمارها در محل اجرای پژوهش



شکل ۲- طرح شماتیک از تیمارهای آزمایش

۱ به ۱۰ اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم و پتاسیم محلول خاک به-روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAY PFP1 ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر کلسیم و منیزیم محلول خاک و بی‌کربنات، از روش تیتراسیون استفاده شد و مقدار کلر به روش رنگ سنجی با استفاده از روش‌های استاندارد ملی ایران در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم (SAR) نیز از تقسیم غلظت سدیم بر جذر میانگین غلظت کلسیم و منیزیم بر حسی میلی اکی والان بر لیتر بدست آمد.

### آنالیز خاک باغ و آب مورد استفاده در آبیاری

در ابتدای آزمایش، خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده و خاک مزرعه (جدول ۱) با بافت لوم شنی (در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) به روش هیدرومتری تعیین شد. نمونه خاک پس از عبور از الک دو میلی‌متر، با آب مقطر مخلوط و گل اشباع تهیه شد. پس از ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه عصاره‌گیر (مدل Parzan Arad-B-55، ساخت ایران)، نمونه‌ها عصاره‌گیری شد. pH عصاره‌های خاک با استفاده از دستگاه pH متر (مدل METROHM-827 ساخت ایران) و EC عصاره‌های خاک با استفاده از دستگاه EC متر (مدل METROHM 644) با نسبت

جدول ۱- مشخصات آب و خاک مورد استفاده در این پژوهش

مشخصات	واحد اندازه‌گیری	آب	خاک
EC	میلی زیمنس بر سانتی‌متر	۲/۸۵	۱/۳۹
pH	-	۷/۴۵	۷/۵۱
سدیم	میلی اکی والان بر لیتر	۲۲/۷	۶/۶۷
پتاسیم	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۲۶	۲/۲
کلسیم	میلی اکی والان بر لیتر	۱/۷	۴/۰
منیزیم	میلی اکی والان بر لیتر	۲/۸	۴/۳
کلر	میلی اکی والان بر لیتر	۲۵/۴	۸/۲
بی‌کربنات	میلی اکی والان بر لیتر	۱/۹	۱/۳
نسبت جذب سدیم (SAR)	-	۱۵/۱	۳/۲۷

### نحوه اعمال تیمار خشکی

روش آبیاری مورد استفاده در این پژوهش، از نوع قطره‌ای سطحی بود. در آبیاری ناقص ریشه، آب آبیاری در یک سمت ریشه به صورت تناوبی در هر دور آبیاری در اختیار گیاه قرار داده شد. آبیاری در تمامی تیمارها به صورت دو لترال در طرفین درختان انجام شد. در تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده، آب به صورت هم‌زمان در دو خط لترال طرفین گیاه وارد شد، اما در تیمارهای کم آبیاری ناقص ریشه، با استفاده از شیرهای مخصوص در ابتدای هر خط، آب در یک طرف جریان داشت. به منظور تعیین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک مزرعه، نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از دستگاه سلول فشاری با فشار ۰/۳ و ۱۵ بار به ترتیب میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی (۲۷ درصد) و نقطه پژمردگی دائم (۱۲ درصد) تعیین شد. دور آبیاری ثابت و ۶ روز بود. برای محاسبه حجم آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل، هر ۶ روز میزان رطوبت خاک با استفاده از روش وزنی و نمونه‌گیری توسط اوگر در سه عمق ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری تعیین و میزان آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I = \sum_{i=1}^n (\theta_{fc} - \theta_{bi}) D_i \quad (1)$$

در این رابطه،  $I$  میزان آب آبیاری (به عمق یک متر)،  $\theta_{fc}$  رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی بر حسب درصد،  $\theta_{bi}$  رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری بر حسب درصد،  $D_i$  عمق هر لایه خاک بر حسب سانتی‌متر،  $n$  تعداد لایه است.

### اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

در پایان فصل کشت، برخی صفات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهی شامل ارتفاع گیاه، قطر تنه، وزن تر و خشک میوه، قطر میوه، شاخص سبزیگی (SPAD) با استفاده از کلروفیل متر (مدل Opti-sciences/ CCM-200)، سطح برگ دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل WinArea-UT-11) ساخت ایران، بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه (از تقسیم وزن خشک میوه انجیر بر میزان آب مصرفی بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب) به دست آمد. رطوبت میوه و وزن تر و خشک میوه از تفاضل وزن تر و خشک ۵۰ عدد میوه به صورت تصادفی از هر تیمار محاسبه شد. رشد طولی شاخه و تعداد برگ جدید نیز اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ به روش ریچی و نگوین (Ritchie and Nguyenet, 1990) و نشت یونی به روش لوتس و همکاران (Lutts et al., 1995) محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ ابتدا از هر تکرار، دو برگ کاملاً توسعه یافته انتخاب و وزن تر (FW) آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت دو رقم اعشار) اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای اتاق قرار گرفت و وزن تورژسانس (TW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد (رابطه ۲). برای اندازه‌گیری نشت یونی نیز از هر تکرار، دو برگ کاملاً توسعه یافته انتخاب و از هر برگ، ۰/۵ گرم جدا شد. قطعه‌های جدا شده با آب مقطر پاک‌سازی شد و درون ویال‌های محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر

در مقایسه با کم‌آبیاری ناقص ریشه، بیش‌تر بود و با افزایش تنش، میزان این کاهش، شدت یافت. ریگی کارواندیری و همکاران (۱۳۹۸) نیز بیان کردند که ارتفاع گیاه رزماری تحت تأثیر آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم‌شده در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. وهبی و همکاران نیز گزارش کردند که طول ساقه درختان زیتون در آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Wahbi et al., 2005). کم‌آبی همچنین باعث کاهش ارتفاع ساقه در گیاهان کنجد (اسکندری و همکاران، ۱۳۸۹) و بامیه (Wakchaure et al., 2023) شد. تنش خشکی منجر به کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی می‌شود و در نتیجه، پتانسیل فشاری جهت بزرگ شدن سلول‌ها کاهش می‌یابد (Marjanović et al., 2015). کاهش رطوبت در خاک موجب افزایش تقلیل آماس سلولی و کاهش تقسیم و توسعه سلولی به‌ویژه در برگ و ساقه می‌گردد (Sreevalli et al., 2000). همچنین، این تنش با تأثیر بر روی اندازه میان‌گره‌ها، باعث کاهش بزرگ شدن سلول‌های در حال رشد در مرحله طویل شدن ساقه می‌شود؛ بنابراین، اولین تأثیر تنش خشکی را می‌توان در کاهش اندازه برگ و کاهش ارتفاع گیاه تشخیص داد (Kusaka et al., 2005). آگانچیچ و همکاران (Aganchich et al., 2022) و ذونعت کرمانی و اسدی (۱۳۹۷) نیز کاهش ارتفاع گیاهان زیتون و آویشن باغی را با افزایش تنش در کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه گزارش کردند که میزان این کاهش، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده نسبت به آبیاری ناقص ریشه بیش‌تر بود. در آبیاری ناقص ریشه، حجم ریشه افزایش یافته و سطح تماس ریشه با خاک زیاد می‌شود که این امر منجر به افزایش توانایی ریشه در جذب عناصر غذایی از خاک در مقایسه با کم‌آبیاری تنظیم‌شده می‌گردد و به‌دنبال آن، عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (de Lima et al., 2015). با بروز تنش خشکی ضمن بسته شدن روزنه‌ها، جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه و انتقال آن به بخش هوایی کاهش می‌یابد. این امر باعث بروز مشکلات تغذیه‌ای و فتوسنتزی برای گیاه و کاهش ارتفاع و قطر ساقه می‌شود (شاهرخ‌نیا و زارع، ۱۴۰۰).

قرار گرفت. ویال‌های محتوی نمونه به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق قرار گرفت و سپس هدایت الکتریکی (EC1) آن‌ها با استفاده از EC متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. ویال‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه داخل اتوکلاو (دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و پس از ۹۰ دقیقه هم‌زدن، مجدداً هدایت الکتریکی آن‌ها (EC2) اندازه‌گیری شد (رابطه ۳).

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} * 100 \quad (2)$$

$$\text{نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} * 100 \quad (3)$$

## آنالیز آماری

آنالیز و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر صفات اختلاف ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای فصل، اختلاف قطر تنه در ابتدا و انتهای فصل، وزن تر و خشک میوه، قطر و رطوبت میوه

در نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده مشاهده شد که اثر تیمارهای آبیاری به‌جز اختلاف قطر تنه در ابتدا و انتهای فصل، بر صفات اختلاف ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک میوه و قطر و رطوبت میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همان‌طور که آزمون مقایسه میانگین در جدول (۳) نشان داده شده است، بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف ارتفاع گیاه به‌ترتیب در تیمارهای FI (۲۹/۳ سانتی‌متر) و RDI<sub>50</sub> (۹/۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد. تیمارهای PRD<sub>75</sub>، PRD<sub>50</sub>، RDI<sub>75</sub> و RDI<sub>50</sub> این پارامتر را به‌ترتیب ۱۲/۴۸، ۱۵/۸۹، ۶۲/۵۰ و ۶۷/۰۳ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش دادند که میزان این کاهش، در کم‌آبیاری تنظیم‌شده

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر صفات اختلاف ارتفاع گیاه و اختلاف قطر تنه در ابتدا و انتهای فصل، وزن تر و خشک میوه، قطر و رطوبت میوه

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
رطوبت میوه	قطر میوه	وزن خشک میوه	وزن تر میوه	اختلاف قطر تنه در ابتدا و انتهای فصل	اختلاف ارتفاع گیاه در ابتدا و انتهای فصل		
۱/۶۹**	۲۲/۱۷**	۱۷۲۱/۷۷**	۸۵۵۵/۵۷**	۱/۵ <sup>ns</sup>	۲۴۶/۵۷**	۴	تیمار
۰/۱۲**	۰/۳۴**	۵۳۶/۶۰ <sup>ns</sup>	۱۸۱/۴۰ <sup>ns</sup>	۳/۱۲ <sup>ns</sup>	۳/۲۷ <sup>ns</sup>	۲	تکرار
۰/۰۰۶	۰/۰۱	۲۵۹/۰۲	۱۷۲/۸۲	۰/۰۵	۰/۲۷	۸	خطا
-	-	-	-	-	-	۱۴	کل
۱۱/۱۶	۱۰/۴۸	۱۳/۶۰	۱۲/۷۴	۱۰/۲۷	۱۲/۵۷	-	ضریب تغییرات (%)

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر برخی صفات رویشی گیاه

FI	PRD <sub>75</sub>	PRD <sub>50</sub>	RDI <sub>75</sub>	RDI <sub>50</sub>	تیمار
<sup>a</sup> ۲۹/۳	<sup>b</sup> ۲۵/۷	<sup>b</sup> ۲۴/۷	<sup>c</sup> ۱۱	<sup>a</sup> ۹/۷	اختلاف ارتفاع (سانتیمتر)
<sup>a</sup> ۵۳۲	<sup>a</sup> ۵۲۵	<sup>b</sup> ۴۹۱/۷	<sup>a</sup> ۴۴۷/۳	<sup>a</sup> ۴۰۶	وزن تر ۵۰ میوه (گرم)
<sup>a</sup> ۲۱۰/۶	<sup>a</sup> ۲۰۲/۱	<sup>b</sup> ۱۸۷/۱	<sup>b</sup> ۱۸۲/۸	<sup>c</sup> ۱۴۸/۳	وزن خشک ۵۰ میوه (گرم)
<sup>a</sup> ۲۷/۰	<sup>b</sup> ۲۶/۰	<sup>c</sup> ۲۳/۹	<sup>a</sup> ۲۲	<sup>c</sup> ۲۰/۱	قطر میوه (میلی‌متر)
<sup>a</sup> ۷/۴۳	<sup>b</sup> ۷/۲۲	<sup>c</sup> ۶/۸۴	<sup>d</sup> ۶/۲۲	<sup>e</sup> ۵/۶	رطوبت میوه (%)

بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد. وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این موضوع است که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

تنظیم شده در سطح ۵۰ و ۷۵ درصد، این صفات را در مقایسه با آبیاری کامل کاهش دادند که با افزایش تنش، میزان این کاهش شدت یافت. زگبه و همکاران نیز بیان کردند که وزن تر و خشک میوه گوجه‌فرنگی در آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Zegbe et al., 2004). در پژوهش درای و همکاران، وزن حبه انگور تحت تأثیر کم آبیاری تنظیم شده کاهش یافت ولی آبیاری ناقص ریشه بر آن تأثیری نداشت (Dry et al., 1999). با کاهش مقدار آب آبیاری، فعالیت‌های بیوشیمیایی فتوسنتز در گیاه کاهش یافته و کربوهیدرات کم‌تری در اختیار میوه قرار می‌گیرد. این امر منجر به کاهش حجم سلول‌ها و به دنبال آن، توقف رشد میوه و کاهش اندازه و وزن آن می‌شود (میری و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهش سوتیروپولوس و همکاران مشخص شد که کم آبیاری تنظیم شده وزن تر و خشک میوه هلو را نسبت به آبیاری کامل کاهش داد (Sotiropoulos et al., 2010). دانش‌پژوه و همکاران (۱۳۹۷) و شاهنظری و رضاییان (۱۳۹۴) نیز کاهش وزن تر میوه فلفل دلمه‌ای و توت‌فرنگی را در آبیاری ناقص

در جدول (۳)، همچنین تغییرات وزن تر ۵۰ میوه تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل نشان داده شده است. بیش‌ترین وزن تر، در آبیاری کامل (۵۳۲ گرم) به دست آمد ولی با تیمار PRD<sub>75</sub> (۵۲۵ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین وزن مربوط به تیمار RDI<sub>50</sub> (۴۰۶ گرم) بود. تیمارهای PRD<sub>50</sub>، RDI<sub>75</sub> و RDI<sub>50</sub> به ترتیب باعث کاهش ۷/۵۸، ۱۵/۹۲ و ۲۳/۶۸ درصدی نسبت به آبیاری کامل شدند.

بیش‌ترین وزن خشک ۵۰ میوه نیز، در آبیاری کامل (۲۱۰/۶ گرم) به دست آمد ولی با تیمار PRD<sub>75</sub> (۲۰۲/۱ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان، در تیمار RDI<sub>50</sub> (۱۴۸/۳ گرم) حاصل شد. تیمارهای PRD<sub>50</sub>، RDI<sub>75</sub> و RDI<sub>50</sub> به ترتیب کاهش ۱۰/۷۵، ۱۳/۱۹ و ۲۹/۵۵ درصدی نسبت به آبیاری کامل نشان دادند. بین تیمارهای PRD<sub>50</sub> و RDI<sub>75</sub> نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بین آبیاری کامل و کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد، تفاوت معنی‌داری در وزن تر و خشک میوه وجود نداشت ولی کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد و کم آبیاری

بیان کردند که با افزایش تنش خشکی، قطر میوه زیتون کاهش یافت. در پژوهش ساویچ و همکاران، با وجود اینکه کم آبیاری تنظیم شده باعث کاهش قطر میوه گوجه فرنگی شد ولی آبیاری ناقص ریشه تأثیر چندانی بر آن نشان نداد (Savić et al., 2008). مطابق با جدول (۳)، بیشترین و کمترین رطوبت میوه به ترتیب در آبیاری کامل (۷/۴۳ درصد) و تیمار  $RDI_{50}$  (۵/۶۲ درصد) مشاهده شد. تیمارهای  $PRD_{50}$ ،  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  به ترتیب باعث کاهش ۲/۸۳، ۷/۹۴، ۱۶/۲۹ و ۲۴/۳۶ درصدی این پارامتر نسبت به آبیاری کامل شدند. کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، رطوبت میوه را کاهش دادند که میزان این کاهش، در کم آبیاری تنظیم شده بیش تر از کم آبیاری ناقص ریشه بود و با افزایش تنش، میزان این کاهش، شدت یافت. به عقیده گارسیا-ترو و موریل-فرناندز علت کاهش رطوبت میوه در شرایط خشکی، افزایش هورمون اسید آبسزیک و غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی می باشد (García-Tejero and Muriel-Fernández, 2011).

#### نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر صفات شاخص سبزینگی (SPAD)، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، سطح برگ، رشد طولی شاخه، تعداد برگ جدید و بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر تیمارهای آبیاری بر صفات محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه، رشد طولی شاخه، شاخص سبزینگی (SPAD)، نشت یونی و تعداد برگ جدید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود که بیشترین شاخص سبزینگی، در آبیاری کامل (۶۲/۶۰) و کمترین مقدار، در تیمار  $RDI_{50}$  (۴۶/۶۰) به دست آمد. تیمارهای  $PRD_{50}$ ،  $PRD_{75}$ ،  $RDI_{50}$  و  $RDI_{75}$  این پارامتر را به ترتیب ۷/۳۵، ۱۵/۵۴، ۱۹/۶۵ و ۲۵/۵۶ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش دادند. کم آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش شاخص سبزینگی شدند. در هر دو روش کم آبیاری، با

ریشه و کم آبیاری معمولی نسبت به آبیاری کامل گزارش کردند. روهنده (۱۳۹۴) نیز بیان کرد که وزن تر و خشک میوه زیتون در آبیاری ناقص ریشه به مراتب بیش تر از کم آبیاری تنظیم شده بود. در پژوهش تریبی و همکاران، وزن میوه پرتقال در شرایط کم آبیاری به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی و حجم سلول نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Treeby et al., 2007). در پژوهش سلگی و همکاران (۱۳۹۹)، روش‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری بر وزن میوه پرتقال والنسیا نشان نداد.

مطابق نتایج جدول (۳) تغییرات قطر میوه تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل نشان داده شده است. بیشترین و کمترین قطر میوه به ترتیب در آبیاری کامل (۲۷/۰۳ میلی‌متر) و تیمار  $RDI_{50}$  (۲۰/۱۳ میلی‌متر) به دست آمد. تیمارهای  $PRD_{50}$ ،  $PRD_{75}$ ،  $RDI_{50}$  و  $RDI_{75}$  به ترتیب کاهش ۳/۷۰، ۱۱/۴۹، ۱۸/۶۱ و ۲۵/۵۳ درصدی نسبت به آبیاری کامل در پی داشتند. قطر میوه در کم آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری تنظیم شده در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. میزان این کاهش، در کم آبیاری تنظیم شده به مراتب بیش تر از کم آبیاری ناقص ریشه بود و افزایش تنش، میزان این کاهش را شدت داد. در پژوهش Dry et al., (1999)، اگرچه اندازه حبه انگور تحت تأثیر کم آبیاری تنظیم شده کاهش یافت ولی آبیاری ناقص ریشه بر آن تأثیری نداشت. سلگی و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که بیشترین قطر میوه پرتقال والنسیا در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. دانش پژوه و همکاران (۱۳۹۷) نیز کاهش قطر میوه فلفل دلمه‌ای را در آبیاری ناقص ریشه و کم آبیاری معمولی نسبت به آبیاری کامل گزارش کردند. علت کاهش قطر میوه در شرایط کم آبیاری می‌تواند به کاهش رشد سلول‌های گیاهی و کاهش شکل‌گیری سلول‌های آوند چوبی نسبت داد. کمبود آب همچنین باعث کاهش فضای بین سلولی و نیز کاهش تقسیم سلولی شده که این تغییرات در اندازه برگ، ساقه و میوه نمایان می‌گردد (Rigling et al., 2003). در پژوهش اسپریر و همکاران نیز آبیاری ناقص ریشه، اندازه میوه انبه را نسبت به کم آبیاری تنظیم شده افزایش داد (Spreer et al., 2007). کم آبیاری همچنین باعث کاهش قطر میوه در درختان زیتون شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۳). غلامی و همکاران (۱۴۰۰)

افزایش تنش، این شاخص کاهش یافت و بین تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده در سطح ۷۵ درصد و کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید ولی در کل، کم آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم آبیاری تنظیم شده، شاخص سبزیگی را به میزان کمتری کاهش داد. کاهش شاخص سبزیگی در اثر افزایش تنش خشکی می‌تواند ناشی از اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تخریب و کاهش رنگدانه باشد. سلطانی گردفرامری، هو و همکاران، رونگا و همکاران بیان کردند که شاخص سبزیگی در گیاهان پنبه و گوجه‌فرنگی در شرایط آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت (Soltani-Gerdefaramarzi et al., 2021; Hou et al., 2019; Ronga et al., 2023). این افزایش، به ضخیم‌تر شدن برگ‌های گیاه تحت تنش خشکی نسبت داده شد (Arunyanark

et al., 2008). همچنین، در آبیاری ناقص ریشه، گیاه می‌تواند با کاهش هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز و شاخص سبزیگی را در سطح بالاتری حفظ نماید (Romero et al., 2015; Sarker et al., 2016). در پژوهش اسحق‌نصرآبادی و همکاران (۱۳۹۲)، بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص سبزیگی در برگ ذرت به ترتیب در آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد و کم آبیاری معمولی در سطح ۵۵ درصد به دست آمد. سلطانی گردفرامری و همکاران نیز بیان کرد که شاخص سبزیگی، تحت تأثیر کم آبیاری، کاهش یافت (Soltani-Gerdefaramarzi et al., 2021). در پژوهش اکبرزاده (۱۳۹۳)، بیش‌ترین شاخص سبزیگی در برگ نعنای فلفلی، در آبیاری ناقص ریشه به دست آمد و بین کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر صفات شاخص سبزیگی (SPAD)، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، سطح برگ، بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه، رشد طولی شاخه و تعداد برگ جدید

میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سبزیگی (SPAD)	محتوای نسبی آب برگ	نشت یونی	سطح برگ	بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه	رشد طولی شاخه	تعداد برگ جدید
تیمار	۴	۱۳۱/۵۶**	۹۰/۱۰**	۵۶۸/۷۷**	۷۰۳۴۲۴۷۹**	۰/۶۴**	۷۵۱/۲۳**	۹۷/۴۰**
تکرار	۲	۱۹/۰۸**	۹/۸۷ <sup>ns</sup>	۳۱/۲۷ <sup>ns</sup>	۱۳۹۸۹۸۶۰/۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۷/۲۰ <sup>ns</sup>	۱۰/۴۰**
خطا	۸	۱/۹۰	۲/۴۵	۹/۰۲	۶۲۶۱۹۴۱/۳۰	۰/۰۱	۷/۷۸	۰/۹۰
کل	۱۴	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۵۶	۱۴/۰۳	۱۶/۱۱	۲۰/۳۶	۱۹/۵۴	۱۷/۸۸	۱۸/۹۵

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر برخی صفات فیزیولوژی و مورفولوژی گیاه

تیمار	RDI <sub>50</sub>	RDI <sub>75</sub>	PRD <sub>50</sub>	PRD <sub>75</sub>	FI
SPAD	<sup>e</sup> ۴۶/۶	<sup>d</sup> ۵۰/۳	<sup>c</sup> ۵۲/۹	<sup>b</sup> ۵۸/۰	<sup>a</sup> ۶۲/۶
محتوای نسبی آب برگ (%)	<sup>d</sup> ۳۲/۳	<sup>c</sup> ۳۶/۳	<sup>c</sup> ۳۷/۳	<sup>b</sup> ۴۱/۶	<sup>a</sup> ۴۶/۷
نشت یونی (%)	<sup>a</sup> ۶۸/۳	<sup>b</sup> ۵۷/۰	<sup>c</sup> ۴۴/۲	<sup>c</sup> ۴۳/۳	<sup>d</sup> ۳۲/۷
سطح برگ (میلی‌متر)	<sup>c</sup> ۷۰/۵۶	<sup>bc</sup> ۹۷/۵۵	<sup>bc</sup> ۱۱۴/۴۵	<sup>b</sup> ۱۳۲/۶۱	<sup>a</sup> ۱۹۹/۲۶
بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	<sup>b</sup> ۱/۴۲	<sup>c</sup> ۰/۹۲	<sup>a</sup> ۱/۸۲	<sup>b</sup> ۱/۵۲	<sup>d</sup> ۰/۶۸
رشد طولی شاخه (میلی‌متر)	<sup>e</sup> ۱۶/۳	<sup>d</sup> ۲۶/۶	<sup>c</sup> ۳۲/۳	<sup>b</sup> ۴۴/۷	<sup>a</sup> ۵۷
تعداد برگ جدید	<sup>e</sup> ۵/۷	<sup>d</sup> ۷/۳	<sup>c</sup> ۱۰/۳	<sup>b</sup> ۱۴	<sup>a</sup> ۱۸

وجود حروف لاتین مشترک بیانگر این موضوع است که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در آبیاری کامل (۴۶/۶۷ درصد) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان مربوط به تیمار  $RDI_{50}$  (۳۲/۳۳ درصد) بود. بین تیمارهای  $RDI_{75}$  (۳۶/۳۳ درصد) و  $PRD_{50}$  (۳۷/۳۳ درصد) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰/۷۱، ۲۰/۰۱، ۲۲/۱۶ و ۳۰/۷۳ درصدی این پارامتر نسبت به آبیاری کامل شدند. محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. میزان این کاهش در کم‌آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده کم‌تر بود، گرچه بین تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۷۵ درصد و کم‌آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) نیز کاهش محتوای نسبی آب برگ را در درختان انجیر در شرایط کم‌آبیاری گزارش کردند. تنش خشکی، همچنین باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان زیتون و آووکادو شد (ضرابی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Chartzoulakis, 2002). این پارامتر، یکی از شاخص‌های مهم به‌منظور ارزیابی تحمل گیاه در برابر تنش خشکی است که کاهش آن در این شرایط نشان‌دهنده از دست رفتن تورژسانس سلولی و کاهش آب قابل‌دسترس گیاه به‌منظور فرآیند سلولی و رشد و نمو گیاه می‌باشد (Tátrai et al., 2016). تنش خشکی باعث ترشح هورمون اسید آسزیک از ریشه گیاه می‌شود که طی فرآیند تعرق، از طریق شیره گیاهی به اندام‌های فتوستنز کننده انتقال می‌یابد و از طریق کاهش عوامل مؤثر در فتوستنز (مانند بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت رشد برگ‌ها) منجر به کاهش تلفات آب می‌شود. به‌همین دلیل، تلفات آب در آبیاری ناقص ریشه به‌مراتب کم‌تر از کم‌آبیاری تنظیم‌کننده است و محتوای نسبی آب برگ در این روش، بیش‌تر است (Davies and Zhang, 1991). ژو و همکاران بیان کردند که تغییرات پتانسیل اسمزی ناشی از آبیاری ناقص ریشه به‌صورت تناوبی منجر به آماس بیش‌تر سلول‌های برگ شده و در نتیجه، مقاومت گیاه را در برابر پژمردگی افزایش می‌دهد (Xu et al., 2023). عبود و همکاران بیان کردند که آبیاری ناقص ریشه باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در ارقام زیتون شد

مطابق با نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین نشت یونی به‌ترتیب در تیمار  $RDI_{50}$  (۶۸/۳۳ درصد) و آبیاری کامل (۳۲/۶۷ درصد) به‌دست آمد. تیمارهای  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  این پارامتر را به‌ترتیب ۳۵/۶۹، ۳۲/۶۳، ۷۴/۴۷ و ۱۰۹/۱۵ درصد نسبت به آبیاری کامل افزایش دادند. نشت یونی در کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل افزایش یافت. میزان این افزایش در کم‌آبیاری تنظیم‌شده به‌مراتب بیش‌تر از کم‌آبیاری ناقص ریشه بود و با افزایش تنش، میزان این افزایش، شدت گرفت. داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری سبب افزایش نشت یونی در درختان انجیر شد. تنش خشکی در گیاهان گوار (حسین‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۲)، مریم‌گلی (غیاث و همکاران، ۱۴۰۱) و نهال پسته (Soltani-Gerdefaramarzi et al., 2021) نیز این پارامتر را افزایش داد. نشت یونی نشان‌دهنده میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی می‌باشد. با افزایش تنش خشکی، برخی از ترکیبات فعال اکسیژن نظیر رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدرواکسیدیل افزایش می‌یابد. این امر باعث تخریب غشای سلولی و تراوش محتویات سلولی به بیرون می‌شود (پروانک، ۱۳۹۸).

آزمون مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیش‌ترین سطح برگ، در آبیاری کامل (۱۹۹۲۶ میلی‌متر مربع) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان در تیمار  $RDI_{50}$  (۷۰۵۶ میلی‌متر مربع) حاصل شد. گرچه با تیمارهای  $PRD_{50}$  (۱۱۴۴۵ میلی‌متر مربع) و  $RDI_{75}$  (۹۷۵۵ میلی‌متر مربع) تفاوت معنی‌داری نداشت. بین تیمارهای  $PRD_{75}$  (۱۳۲۶۱ میلی‌متر مربع)،  $PRD_{50}$  (۱۱۴۴۵ میلی‌متر مربع) و  $RDI_{75}$  (۹۷۵۵ میلی‌متر مربع) نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. تیمارهای  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  به‌ترتیب کاهش ۳۳/۴۵، ۴۲/۵۶، ۵۱/۰۴ و ۶۴/۵۹ درصدی نسبت به آبیاری کامل

کاهش، شدت یافت. محدودیت در رشد شاخه، ناشی از فشار تورگر در اثر کم‌آبی می‌باشد. تنش خشکی شدید باعث از دست رفتن مقادیر زیادی آب سلولی می‌شود و این امر، تا زمانی که فقط آب پیوندی باقی بماند، ادامه می‌یابد و در نتیجه، منجر به خسارات شدید به سلول و محدودیت در رشد و فتوسنتز گیاه می‌شود (جوادی و بهرام‌نژاد، ۱۳۸۹). داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری سبب کاهش رشد شاخه در درختان انجیر شد. در پژوهش روهنده (۱۳۹۴) نیز آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده، رشد شاخه‌های سال جاری را در درختان زیتون افزایش داد. (Wahbi et al., 2005)، کاهش ۳۵ درصدی رشد طولی شاخه‌های درختان زیتون را در آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل گزارش کردند. در آبیاری ناقص ریشه، هورمون سیتوکسین در نوک شاخه‌ها، ریشه‌ها و جوانه‌ها، کاهش می‌یابد که این امر، کاهش رشد شاخه‌ها را به همراه دارد (Stoll et al., 2000). (Iniesta et al., 2009) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری باعث کاهش ۵۰ درصدی رشد طولی شاخه‌های درخت زیتون رشد.

جدول (۵) نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد برگ جدید به ترتیب در آبیاری کامل (۱۸ عدد) و تیمار  $RDI_{50}$  (۵/۷ عدد) حاصل شد. تیمارهای  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  به ترتیب کاهش ۲۲/۲۲، ۴۲/۶۱، ۵۹/۲۸ و ۶۸/۵۳ درصدی نسبت به آبیاری کامل در پی داشتند. کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش تعداد برگ جدید شدند. میزان این کاهش در کم‌آبیاری تنظیم‌شده به مراتب بیش‌تر از کم‌آبیاری ناقص ریشه بود و با افزایش تنش، میزان این کاهش، شدت یافت. در پژوهش داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) نیز کم‌آبیاری سبب کاهش تعداد برگ جدید در درختان انجیر شد. ضربایی و همکاران (۱۳۸۷) نیز کاهش تعداد برگ را در درختان زیتون تحت تنش خشکی گزارش کردند. آگانچیچ و همکاران بیان کردند که تعداد برگ درختان زیتون با افزایش تنش خشکی، کاهش یافت که میزان این کاهش، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده نسبت به آبیاری ناقص ریشه بیش‌تر بود (Aganchich et al., 2022).

در پی داشتند (جدول ۵). کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش سطح برگ شدند. کمبود آب باعث چروکیدگی شدن سلول‌ها و سستی دیواره سلولی می‌شود. از طرفی، تا زمانی که سلول به اندازه کافی رشد نکند، فرآیند تقسیم سلولی صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین، تأثیر کم‌آبی بر رشد سلول‌ها بیش‌تر بوده که در نهایت، سطح برگ را کاهش می‌دهد. همچنین، رشد سطح برگ رابطه مستقیمی با میزان فتوسنتز گیاه دارد. هر عاملی که تولید ماده فتوسنتزی گیاه را کاهش دهد باعث ایجاد محدودیت در افزایش سطح برگ می‌شود (Ram et al., 2006). هو و همکاران در پژوهش نیز سطح برگ در گیاه پنبه تحت تأثیر آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Hou et al., 2023). کاهش سطح برگ در آبیاری ناقص ریشه، پاسخی فیزیولوژیکی در قسمت خشک ریشه است که در نتیجه تولید اسید آبسزیک در ریشه و انتقال آن به بخش‌های هوایی گیاه به وجود می‌آید. با کاهش سطح برگ، گیاه روزه‌های خود را به صورت نسبی بسته و زمینه را برای حفظ فتوسنتز و کاهش معنی‌دار عملکرد فراهم می‌کند (Mousavi et al., 2010). هوشمند و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که بیش‌ترین سطح برگ در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر آبیاری ناقص ریشه به دست آمد. داوری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری سبب کاهش سطح برگ در درخت انجیر شد. کاهش سطح برگ در گیاهان مقاوم به خشکی، باعث افزایش ذخیره رطوبتی برگ تحت کم‌آبی شدید می‌شود. شاهنظری و رضاییان (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش سطح برگ در توت‌فرنگی شدند.

بیش‌ترین رشد طولی شاخه، در آبیاری کامل (۵۷ میلی‌متر) به دست آمد و کم‌ترین میزان، مربوط به تیمار  $RDI_{50}$  (۱۶/۳۳ میلی‌متر) بود (جدول ۵). تیمارهای  $PRD_{75}$ ،  $PRD_{50}$ ،  $RDI_{75}$  و  $RDI_{50}$  به ترتیب کاهش ۲۱/۶۳، ۴۳/۲۸، ۵۳/۲۱ و ۷۱/۳۵ نسبت به آبیاری کامل نشان دادند. رشد طولی شاخه تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. میزان این کاهش، در کم‌آبیاری تنظیم‌شده نسبت به کم‌آبیاری ناقص ریشه بیش‌تر بود و با افزایش تنش، میزان این

کردند که با افزایش تنش خشکی در کم‌آبیاری تنظیم‌کننده، کارایی مصرف آب در گیاهان جو و سیر افزایش یافت (Léllis et al., 2022; Pardo et al., 2022). هوشمند و همکاران (۱۳۹۸)، کاهش کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی در اثر افزایش تنش در کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه گزارش کردند. در پژوهش سلگی و همکاران (۱۳۹۹) نیز روش‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری بر بهره‌وری آب در درختان پرتقال والنسیا نداشت.

### نتیجه‌گیری

مقایسه انجام شده برای صفات مختلف گیاه بین تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که گیاه آب مورد نیاز خود را به طور کامل دریافت کند. در اکثر صفات بررسی شده، کمترین اختلاف نتایج در مقایسه دو به دو مربوط به تیمار آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد مشاهده شد که ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، امکان استفاده بهتر از رطوبت خاک حتی در حالت تنش رطوبتی را فراهم می‌کند. در صورتیکه کم‌آبیاری تنظیم شده بیشترین اختلاف معنی‌دار با تیمارهای دیگر را به خود اختصاص داد. بین آبیاری کامل و سطوح مختلف آبیاری در کم‌آبیاری ناقص ریشه تفاوت معنی‌داری در وزن تر و خشک میوه به عنوان یک صفت مهم در درخت انجیر مشاهده نشد. تیمارهای کم‌آبیاری، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر میوه، شاخص سبزی‌نگی، محتوای نسبی آب برگ، رشد طولی شاخه، تعداد برگ جدید و سطح برگ را نسبت به آبیاری کامل کاهش دادند که میزان این کاهش، در کم‌آبیاری تنظیم‌شده در مقایسه با کم‌آبیاری ناقص ریشه، بیش‌تر بود و با افزایش تنش، میزان این تغییرات، شدت یافت. نشت یونی و بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه نیز در کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل افزایش یافتند. تنش خشکی در گیاهانی که دارای قابلیت بازدهی تولید بالایی هستند از طریق بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق، کارایی مصرف آب را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر اعمال مدیریت کم‌آبیاری مناسب مانند روش کم‌آبیاری ناقص ریشه در کنار مصرف آب کمتر اثرات منفی

بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری مصرف آب عملکرد میوه به ترتیب مربوط به تیمارهای PRD<sub>50</sub> (۱/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و آبیاری کامل (۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول ۵). تیمارهای PRD<sub>75</sub>، PRD<sub>50</sub>، RDI<sub>75</sub> و RDI<sub>50</sub>، این پارامتر را به ترتیب ۱۲۳/۵۳، ۱۶۷/۶۵، ۳۵/۲۲ و ۱۰۸/۸۲ درصد نسبت به آبیاری کامل افزایش دادند. کارایی مصرف آب عملکرد میوه تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل به شدت افزایش یافت. میزان این افزایش در سطوح مختلف کم‌آبیاری ناقص ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده بیش‌تر بود گرچه بین تیمارهای کم‌آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد و کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۵۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تنش خشکی در گیاهانی که دارای قابلیت بازدهی تولید بالایی هستند از طریق بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق، کارایی مصرف آب را بهبود می‌بخشد (Boyer and Kramer, 1999). در پژوهش هو و همکاران، آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، کارایی مصرف آب را در گیاه پنبه افزایش داد (Hou et al., 2023). این افزایش، عمدتاً به علت بسته شدن نسبی روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی است که با حفظ سرعت فتوسنتز، تعرق را کاهش می‌دهد (Liu et al., 2006) و بدین ترتیب، منجر به افزایش کارایی مصرف آب در مقیاس‌های مختلف می‌شود. از طرف دیگر، در این روش، قسمت مرطوب ریشه، باعث می‌شود آب به میزان مطلوب در گیاه حفظ شود و رشد ادامه یابد. همچنین، در تکنیک آبیاری ناقص ریشه، با فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، ممکن است اثرات مضر تنش خشکی بر مکانیسم‌های فتوسنتزی کاهش یابد و ضمن حفظ بازدهی محصول، کارایی مصرف آب افزایش یابد (Dbara et al., 2016). ریگی کارواندردی و همکاران (۱۳۹۸) نیز بیان کردند که کارایی مصرف آب در گیاه زمازی تحت تأثیر آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، ۹/۱۲ درصد افزایش یافت. در پژوهش ذونعمت کرمانی و اسدی (۱۳۹۷) بیان کردند که بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی مصرف آب در آویشن باغی به ترتیب در آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد و کم‌آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۵۵ درصد مشاهده شد. پارادو و همکاران و لیس و همکاران، بیان

جوادی، ت. و بهرام‌نژاد، ب. ۱۳۸۹. محتوای نسبی آب و تبادلات گازی سه ژنوتیپ وحشی گلابی در شرایط تنش آبی. علوم باغبانی. ۲۳(۲): ۲۲۳-۲۳۳.

حاجی پور، ع. بابازاده، ح. یزدانپناه، ن. و پذیرا، ا. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد خیار گلخانه‌ای تحت روش و سطوح مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۳): ۸۲۸-۸۱۷.

دانش‌پژوه، پ. قاسمی، ا. ر. نوری، م. ر. و برزگر، ر. ۱۳۹۷. اثر آبیاری بخشی منطقه ریشه و ژئولیت بر کارایی مصرف آب و خصوصیات فیزیولوژیک فلفل دلمه‌ای. نشریه آب و خاک. ۳۲(۴): ۶۷۵-۶۹۰.

داوری‌نژاد، غ. ح. شیربانی، س. و زارعی، م. ۱۳۹۴. اثر رژیم‌های کم آبیاری روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چهار رقم انجیر. نشریه علوم باغبانی. ۲۹(۲): ۵۱۷-۵۰۱.

ذونعمت کرمانی، م. و اسدی، ر. ۱۳۹۷. تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر ویژگی‌های کمی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.). نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۱): ۱۶۱-۱۴۸.

روهنده، م. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری ناقص ریشه بر رشد و عملکرد درختان بالغ زیتون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۹۱ ص.

ریگی کارواندری، ا. مهربان، ا. گنجعلی، ح. ر. میری، خ. و مبصر، ح. ر. ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های رشد گیاه رزماری تحت تأثیر کم آبیاری. علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۳(۴): ۳۳۹-۳۲۹.

سلگی، م. هاشمی گرمدره، س. ا. و عبادی، ه. ۱۳۹۹. تأثیر کم آبیاری و آبیاری بخشی ریشه بر خصوصیات رشدی درخت و میوه پرتقال والنسیا. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۵): ۱۱۳۶-۱۱۲۸.

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): ۳۸-۲۹.

شاهنظری، ع. و رضاییان، م. ۱۳۹۴. تأثیر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی. نشریه آب و خاک. ۲۹(۴): ۱۴۷-۱۳۵.

تنش خشکی را بهبود می‌بخشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، روش کم آبیاری ناقص ریشه به‌ویژه در سطح ۷۵ درصد، دارای نزدیک‌ترین نتایج به آبیاری کامل بود و تأثیرات مثبت آن در صفات گیاه مشاهده شد؛ بنابراین، با در نظر گرفتن اقلیم گرم و خشک منطقه، هرچند پیشنهاد می‌شود این آزمایش به‌صورت چندساله انجام شده و تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر توزیع عناصر غذایی در خاک و گیاه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع

اسحق‌نصیرآبادی، ا. شاهنظری، ع. ضیاء تبار احمدی، م. خ. آقاجانی، ق. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۲. بررسی پارامترهای کمی و کیفی گیاه ذرت تحت تأثیر کم آبیاری معمولی و کم آبیاری ناقص ریشه. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۷(۳): ۸۱-۷۴. اسدی، ر. حسن‌پور، ف. مهربانی، م. باقی‌زاده، ا. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۸. ارزیابی خصوصیات کمی گیاه رزماری با استفاده از دو سیستم آبیاری قطره‌ای تحت تأثیر اعمال کم آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۴): ۱۰۳۸-۱۰۲۷.

اسکندری، ح. زهتاب، س. و قاسمی گل‌عدانی، ک. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مصرف آب و عملکرد دانه ارقام کنجد در شرایط آبیاری متفاوت به‌عنوان کشت دوم. مجله دانش کشاورزی پایدار. ۲(۱): ۳۳-۲۵.

اکبرزاده، ع. ۱۳۹۳. تأثیر آبیاری کامل، کم آبیاری تنظیم شده (RDI) و کم آبیاری بخشی ریشه (PRD) روی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع‌فللی (*Mentha piperita* L.)، در شرایط مزرعه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۵۳ ص.

بیات، ج. قیصری، م. لندی، ا. مجید، م. م. و محمدزاده، ف. ۱۳۹۳. تأثیر کم آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌های سنگریزه‌دار بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیکی میوه زیتون رقم زرد. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۵(۱): ۵۱۸-۵۰۷. پروانک، ک. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و درصد اسانس گونه مریم‌گلی سهندی (*Salvia sahendica* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دانشگاه بیرجند. ۱۲(۴): ۱۲۳۷-۱۲۳۷.

- M. 2021. Water status, biochemical and hormonal changes involved in the response of *Olea europaea* L. to water deficit induced by partial root-zone drying irrigation (PRD). *Scientia Horticulturae*, 276 (1): 109737-109750.
- Abdelraheem A. Esmaeili N. O'Connell M. and Zhang J. 2019. Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. *Industrial Crops and Products*, 130 (1): 118-129.
- Aganchich B. Wahbi S. Yaakoubi A. El-Aououad H. and Bota J. 2022. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on growth and physiology performance of olive tree under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *South African Journal of Botany*, 148 (1): 1-10.
- Arunyanark A. Jogloy S. Akkasaeng C. Vorasoot N. Kesmala T. Nageswara Rao R.C. Wright G.C. and Patanonthai A. 2008. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194 (2): 113-125.
- Boyer J.S. and Kramer P.J. 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press, Inc. 367 p.
- Chartzoulakis K. Patakas A. Kofidis G. Bosabalidis A. and Nastou A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia horticulturae*. 95 (1-2): 39-50.
- Dbara S. Haworth M. Emiliani G. Ben Mimoun M. Gómez-Cadenas A. and Centritto M. 2016. Partial root-zone drying of olive (*Olea europaea* var. 'Chetoui') induces reduced yield under field conditions. *PLoS One*. 11 (6): 157089-157101.
- de Lima R.S.N. de Assis F.A.M.M. Martins A.O. de Deus B.C.D.S. Ferraz T.M. de Assis Gomes M.D.M. de Sousa E.F. Glenn D.M. and Campostrini, E. 2015. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. *Scientia Horticulturae*. 183 (1): 13-22.
- Davies W.J. and Zhang J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual review of plant biology*. 42 (1): 55-76.
- Dry P. Stoll M. Mc Carthy M. and Loveys B. 1999. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. Paper presented at the III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. 537: 348-362.
- ضرابی، م. م. طلائی، ع. ر. و لسانی، ح. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و آناتومیکی چند رقم زیتون. *مجله علوم باغبانی ایران*. ۳۹ (۱): ۱۱۷-۱۰۹.
- غلامی، ر. ا. ارجی، ع. و حاجی امیری، ا. ۱۴۰۰. پایداری عملکرد و ویژگی پومولوژیکی ارقام تجاری زیتون کنسروالیا، زرد و آمفی سیس در شرایط تنش کم آبیاری و محلول پاشی سالیسیلیک اسید. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*. ۳۱ (۴): ۲۲۲-۲۳۳.
- غیث، ش. شیرمردی، م. مفتاحی زاده، ح. و دهستانی اردکانی، م. ۱۴۰۱. تأثیر بیوچار و هیدروژل بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مریم گلی (*Salvia officinalis* L. تحت تنش خشکی. *تولیدات گیاهی*. ۴۵ (۱): ۶۷-۸۰.
- فیروزپور، ر. شاهنظری، ع. اکبرزاده، ع. و یوسفیان، م. ۱۴۰۱. بررسی تاثیر روش های کم آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام). *مدیریت آب و آبیاری*. ۱۲ (۳): ۴۶۷-۴۸۱.
- گلستانی کرمانی، س. نوری امامزاده ئی، م. ر. شایان نژاد، م. شاهنظری، ع. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر روش های کم آبیاری بخشی و سنتی در آبیاری قطره ای بر برخی از صفات سبب زمینی در شهرکرد. *مجله پژوهش آب ایران*. ۱۱ (۲): ۹-۱.
- میری، ف. س. شاهنظری، ع. ضیاء تبار احمدی، م. خ. زبردست رستمی، ح. ع. ۱۳۹۳. اثر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال. *نشریه علوم باغبانی*. ۲۸ (۱): ۸۶-۸۰.
- نادری، ن. فضل اولی، ر. شاهنظری، ع. و خاوری خراسانی، س. ۱۳۹۹. اثر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری بخشی ریشه (ثابت و متغیر) بر خصوصیات رشدی ریشه در ذرت علوفه ای. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۴ (۶): ۱۹۷۳-۱۹۶۴.
- هوشمند، م. برومندنسب، س. الباجی، م. و عالمزاده انصاری، ن. ۱۳۹۸. تأثیر روش های مختلف مدیریت کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه فرنگی در کشت هیدروپونیک. *مجله پژوهش آب ایران*. ۱۳ (۳): ۹۴-۸۵.
- Abboud S. Vives-Peris V. Dbara S. Gómez-Cadenas A. Pérez-Clemente R.M. Abidi W. and Braham

- resistance. *Journal of Experimental Botany*. 46 (12): 1843-1852.
- Marjanović M. Jovanović Z. Stikić R. and Radović B.V. 2015. The effect of partial root-zone drying on tomato fruit growth. *Procedia Environmental Sciences*. 29 (1): 87-100.
- Mousavi S.F. Soltani-Gerdefamarzi S. and Mostafazadeh-Fard B. 2010. Effects of partial rootzone drying on yield, yield components, and irrigation water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.). *Paddy and Water Environment*. 8 (1): 157-163.
- Pardo J.J. Sánchez-Virosta A. Léllis B.C. Domínguez A. and Martínez-Romero A. 2022. Physiological basis to assess barley response to optimized regulated deficit irrigation for limited volumes of water (ORDIL). *Agricultural Water Management*. 274 (1): 107917-107930.
- Ram D. Ram M. and Singh R. 2006. Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (*Mentha arvensis* L.) through sugarcane trash mulch in a sandy loam soil of semi-arid subtropical climate. *Bioresource Technology*. 97 (7): 886-893.
- Rigling A. Brühlhart H. Bräker O.U. Forster T. and Schweingruber F.H. 2003. Effects of irrigation on diameter growth and vertical resin duct production in *Pinus sylvestris* L. on dry sites in the central Alps, Switzerland. *Forest Ecology and Management*. 175 (1-3): 285-296.
- Ritchie S.W. Nguyen H.T. and Holaday A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*. 30 (1): 105-111.
- Romero P. Muñoz R.G. Fernández-Fernández J.I. del Amor F.M. Martínez-Cutillas A. and García-García J. 2015. Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown Monastrell grapevines by partial root zone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 149 (1): 55-73.
- Ronga D. Caradonia F. Francia E. Morcia C. Rizza F. Badeck F.W. Ghizzoni R. and Terzi V. 2019. Interaction of tomato genotypes and arbuscular mycorrhizal fungi under reduced irrigation. *Horticulturae*. 5 (4):79-92.
- Sarker K.K. Akanda M.A.R. Biswas S.K. Roy D.K. Khatun A. and Goffar M.A. 2016. Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, El Sabagh A. Islam M.S. Skalicky M. Ali Raza M. Singh K. Anwar Hossain M. Hossain A. Mahboob W. Iqbal M.A. Ratnasekera D. and Singhal R.K. 2021. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*. 3 (1): 661932-661948.
- García-Tejero I. and Muriel-Fernández J.L. 2011. Long-term impact of sustained-deficit irrigation on yield and fruit quality in sweet orange cv. Salustiana (SW Spain). *Comunicata Scientiae*. 2 (2): 76-84.
- Ghrab M. Gargouri K. Bentaher H. Chartzoulakis K. Ayadi M. Mimoun M.B. Masmoudi M.M. Mechlia N.B. and Psarras G. 2013. Water relations and yield of olive tree (cv. Chemlali) in response to partial root-zone drying (PRD) irrigation technique and salinity under arid climate. *Agricultural Water Management*. 123 (1): 1-11.
- Hou J. Zhang J. Liu X. Ma Y. Wei Z. Wan H. and Liu F. 2023. Effect of biochar addition and reduced irrigation regimes on growth, physiology and water use efficiency of cotton plants under salt stress. *Industrial Crops and Products*. 198 (1): 116702.
- Iniesta F. Testi L. Orgaz F. and Villalobos F.J. 2009. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*. 30 (4): 258-265.
- Kusaka M. Lalusin A.G. and Fujimura T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. *Plant Science*. 168 (1): 1-14.
- Léllis B.C. Martínez-Romero A. Schwartz R.C. Pardo J.J. Tarjuelo J.M. and Domínguez A. 2022. Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in garlic. *Agricultural Water Management*. 260 (1): 107280-107296.
- Liu F. Shahnazari A. Andersen M.N. Jacobsen S.E. and Jensen C.R. 2006. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*. 57 (14): 3727-3735.
- Lutts S. Kinet J.M. and Bouharmont J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity

- conditions under arid climate: I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 106 (2-3): 289-301.
- Wakchaure G.C. Minhas P.S. Kumar S. Khapte P.S. Dalvi S.G. Rane J. and Reddy K.S. 2023. Pod quality, yields responses and water productivity of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) as affected by plant growth regulators and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 282 (1): 108267-108280.
- Wang F. Meng H. Xie R. Wang K. Ming B. Hou P. Xue J. and Li S. 2023. Optimizing deficit irrigation and regulated deficit irrigation methods increases water productivity in maize. *Agricultural Water Management*. 280 (1): 108205-108213.
- Wei Z. Du T. Li X. Fang L. and Liu F. 2018. Interactive effects of CO<sub>2</sub> concentration elevation and nitrogen fertilization on water and nitrogen use efficiency of tomato grown under reduced irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 202 (1): 174-182.
- Wu Y. Zhao Z. Liu S. Huang X. and Wang W. 2020. Does partial root-zone drying have advantages over regulated deficit irrigation in pear orchard under desert climates? *Scientia Horticulturae*. 262 (1): 109099-109113.
- Xu X. Zou G. Li Y. Sun Y. and Liu F. 2023. Silicon application improves strawberry plant antioxidation ability and fruit nutrition under both full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*. 309 (1): 111684-111700.
- Yang X. Bornø M.L. Wei Z. and Liu F. 2021. Combined effect of partial root drying and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on the physiology and fruit quality of two genotypes of tomato plants with contrasting endogenous ABA levels. *Agricultural Water Management*. 254 (1): 106987-107000.
- Zegbe J.A. Behboudian M.H. and Clothier B.E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural water management*. 68 (3): 195-206.
- Zhang J. Wang Q. Xia G. Wu Q. and Chi D. 2021. Continuous regulated deficit irrigation enhances peanut water use efficiency and drought resistance. *Agricultural Water Management*. 255 (1): 106997-107011.
- water use efficiency, quality and profitability. *Journal of integrative agriculture*. 15 (10): 2380-2392.
- Savić S. Stikić R. Radović B.V. Bogičević B. Jovanović Z. and Šukalović V.H.T. 2008. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. *Scientia horticulturae*. 117 (1): 15-20.
- Soltani-Gerdefaramarzi S. Beik-Khormizi V. Azizian A. and Yarami N. 2021. Effect of deficit irrigation with treated wastewater on water use efficiency, nutrient uptake, and growth of pistachio seedlings in an arid area. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(3): 2153-2163.
- Sotiropoulos T. Kalfountzos D. Aleksiou I. Kotsopoulos S. and Koutinas N. 2010. Response of a clingstone peach cultivar to regulated deficit irrigation. *Scientia Agricola*. 67 (1): 164-169.
- Spreeer W. Nagle M. Neidhart S. Carle R. Ongprasert S. and Müller J. 2007. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. 'Chok Anan'). *Agricultural water management*. 88 (1-3): 173-180.
- Sreevalli Y. Baskaran K. Chandrashekara R.S. and Kulkarni R.N. 2000. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. 22 (4a): 356-358.
- Stoll M. Loveys B. and Dry P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of experimental botany*. 51 (350): 1627-1634.
- Tátrai Z.A. Sanoubar R. Pluhár Z. Mancarella S. Orsini F. and Gianquinto G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*. 1: 4165750.
- Treeby M.T. Henriod R.E. Bevington K.B. Milne D.J. and Storey R. 2007. Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. *Agricultural water management*. 91 (1-3): 24-32.
- Wahbi S. Wakrim R. Aganchich B. Tahi H. and Serraj R. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field

## The effect of Regulated Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying on Water Use Efficiency and Growth of Fig Tree (*Ficus carica* L.)

S. Soltani-Gerdefaramarzi<sup>1</sup>, M. Feizi<sup>2\*</sup>, M. Ghasemi<sup>3</sup>, N. Yarami

### Abstract

The aggravation of the water crisis has drawn attention to low irrigation as one of the management methods to increase the efficiency of water consumption in order to produce more products per unit of water consumed. This research was conducted with the aim of studying the effect of Regulated Deficit Irrigation (RDI) and Partial Root zone drying (PRD) on the growth of green fig trees in the form of a randomized complete block design with three replications at a farm in Forumed village, located in Semnan province. Irrigation method in five treatments including full irrigation based on the readily available water in the soil as the control treatment (FI), PRD at 75% of full irrigation (PRD<sub>75</sub>), PRD at 50% of full irrigation (PRD<sub>50</sub>), RDI at 75% of full irrigation (RDI<sub>75</sub>) and RDI at 50% of full irrigation (RDI<sub>50</sub>). The results showed that, except for trunk diameter changes at the beginning and end of the season, irrigation treatments had significant effects, at the 1% level on plant height difference, stem diameter difference, fresh and dry fruit weight, fruit diameter, greenness index (SPAD), relative leaf water content, electrolyte leakage, leaf area, water use efficiency, fruit moisture, branch longitudinal growth and number of new leaves and water use efficiency based on fruit yield. There was no significant difference between PRD<sub>75</sub> and FI in terms of fresh and dry fruit weight. Compared to the control, the treatments PRD<sub>75</sub>, PRD<sub>50</sub>, RDI<sub>75</sub>, and RDI<sub>50</sub> reduced plant height difference by 12.48, 15.89, 62.50 and 67.03%, fruit diameter by 3.7, 11.49, 18.61 and 25.53%, SPAD index by 7.35, 15.54, 19.65 and 25.56%, relative leaf water content by 10.71, 20.01, 22.16 and 30.73%, leaf area by 33.45, 42.56, 51.04 and 64.59%, fruit moisture by 2.83, 7.94, 16.29 and 24.36%, branch length growth by 21.63, 43.28, 53.21 and 71.35%, number of new leaf by 22.22%, 42.61, 59.28 and 68.3%. These treatments also increased electrolyte leakage by 35.69, 32.63, 74.47 and 109.15% and water use efficiency of fruit yield by 123.53, 167.65, 35.22 and 108.82%, respectively. Given the similarity of PRD<sub>75</sub> to full irrigation in many key parameters, the PRD<sub>75</sub> method is recommended to minimize quantitative losses under water stress conditions.

**Keywords:** Figs, drought stress, morphology, physiology, water use efficiency

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University and Member of the Water, Energy and Environment Research Institute, Ardakan, Iran (\*Corresponded Author Email, ssoltani@ardakan.ac.ir)

<sup>2</sup> Graduated Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

<sup>3</sup> Planning Deputy of Yazd Regional Water Company

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University

Received: 29 Aug 2024

Accepted: 10 Oct 2024