تأثیرکائولین بر عملکرد، کارایی مصرف آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نارنگی پیج (*Citrus reticulate*) تحت تنش رطوبتی

زینب رفیعی‌راد[۱]، احمد گلچین*[۱]، یحیی تاجور[۲]، جواد فتاحی مقدم[۲]

[۱] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، [۲] مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه-گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲)

چکیده

با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب به‌منظور افزایش عملکرد میوه و کارایی مصرف آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به این منظور، اثر سه سطح کائولین (صفر، ۵ و ۷ درصد) در سه سطح شرایط رطوبتی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) روی نارنگی پیج به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر در سال ۱۳۹۶ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تحت تنش رطوبتی، عملکرد میوه، کارایی مصرف آب، مقادیر کلروفیل a، b و کل، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای، به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. در حالیکه مصرف کائولین، میزان کل مواد جامد محلول، عملکرد میوه و کارایی مصرف آب را افزایش و مقدار پرولین، قندهای محلول در آب، دمای سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و آفتاب‌سوختگی میوه را بطور معنی‌داری کاهش داد. همچنین مصرف کائولین ۵ درصد در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش عملکرد میوه (۹۱ درصد)، کلروفیل a (۷۰ درصد) و کل (۵۲ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۷۶ درصد)، پتانسیل آب برگ (۱۹ درصد) و هدایت روزنه‌ای (۸۷ درصد) نسبت به شرایط عدم‌مصرف کائولین گردید. بنابراین مصرف کائولین در تابستان و شرایط تنش رطوبتی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، به‌منظور ایجاد اثرات مثبت بر کاهش تولید گونه‌های اکسیژن فعال حاصل از تنش اکسیداتیو، کاهش آفتاب‌سوختگی، افزایش عملکرد میوه و کارایی مصرف آب در نارنگی پیج توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آفتاب‌سوختگی میوه، پرولین، دمای سطح برگ، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

خشکی یکی از عوامل محیطی است که سبب کاهش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان به‌ویژه نواحی مدیترانه‌ای می‌شود (Jaleel *et al.*, 2009). بالارفتن دمای هوا و کم‌آبی باعث افزایش نیاز آبی گیاه شده و با افزایش تغییرات اقلیمی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پدیده تغییر اقلیم یا گرمایش جهانی بزرگ‌ترین رخداد طبیعی در دهه‌های اخیر بوده که به‌دلیل افزایش دمای سطح کره زمین و آشفتگی نظام بارندگی ایجاد می‌گردد. از این‌رو به‌واسطه اثرات منفی افزایش دما بر چرخه آب پدیده خشکسالی در آینده چشمگیر خواهد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: agolchin2011@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

بود (IPCC, 2007). با توجه به اینکه ایران یکی از مناطق کم آب جهان به‌شمار می‌رود و میانگین نزولات جوّی آن از میانگین جهانی کمتر است لذا وقوع خشکسالی‌های اخیر به‌ویژه در فصل تابستان آثار مخربی بر تولیدات کشاورزی گذاشته است (Alizadeh, 2008).

گیاهان به‌منظور افزایش تحمل‌پذیری در برابر تنش رطوبتی سازوکارهای مختلفی مانند تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمایی دارند. اولین واکنش گیاه به شرایط کم‌آبی همراه با افزایش دما، کاهش هدایت روزنه‌ای و درنتیجه کاهش انتقال دی‌اکسید کربن به بافت‌های مزوفیل و کلروپلاست برگ است که سبب تولید گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) می‌گردد. در این شرایط، تخریب اکسیداتیو لیپیدها و پروتئین‌ها صورت می‌گیرد که به ساختار سلول آسیب رسانده و میزان رنگدانه‌های کلروفیل و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Farooq *et al.*, 2009). گیاهان برای مقابله با این تخریب اکسیداتیو از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند پرولین استفاده می‌کنند. این آنتی‌اکسیدان‌ها به‌عنوان یک خط دفاعی علیه گونه‌های اکسیژن فعال در سلول عمل کرده و در شرایط خشکی شدید از آسیب غشاء ممانعت به‌عمل می‌آورد (Alscher *et al.*, 2002; Krasensky and Jonak, 2012). در پژوهش‌هایی که روی نارنگی (Sheng Wu *et al.*, 2006) و پرتقال رقم پرا (Gomez *et al.*, 2004) انجام گرفت، افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط تنش شدید مشاهده شد. همچنین نتایج پژوهش روی سیب نشان داد که پرولین می‌تواند به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل کرده و در زمان تولید گونه‌های فعال اکسیژن از آسیب به سیستم نوری جلوگیری کند (Sircelj *et al.*, 2007).

محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content)، پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی و کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) از جمله معیارهای مهم ارزیابی بهره‌وری تولید در گیاهان و اعمال تدابیر مدیریتی جهت حفظ منابع آب محدود به‌شمار می‌روند (Moghimi and Sepaskhah, 2014). پژوهش‌های انجام‌شده روی کاریزوسیترنج و کلئوپاترا ماندارین (Garcia-Tejero *et al.*, 2010)، انگور (Brillante *et al.*, 2016; Glenn *et al.*, 2010) و زیتون (Denaxa *et al.*, 2012) نشان داد که گیاهان از طریق تورژسانس سلول‌ها و درنتیجه افزایش پتانسیل آب سلولی، محتوای نسبی آب برگ را حفظ کرده و پتانسیل و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهند. در چنین شرایطی گیاه با حفظ آب سلول از طریق تنظیم اسمزی و تجمع مواد قابل حل در میوه روی خواص کیفی از جمله مواد جامد محلول کل (Total Soluble Solid) و اسیدیته قابل تیتراسیون (Titratable Acidity) تأثیر گذاشته و در برابر خشکی مقاومت می‌کند. پژوهش روی سیب رقم گلدن دلیشز (ارجی و همکاران، ۱۳۹٤) و بریبورن (Mills *et al.*, 1997) به‌ترتیب افزایش میزان مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون را در شرایط خشکی نشان داد. دماهای بسیار بالا در فصل تابستان به‌ویژه در سال‌هایی که کم‌آبی رخ می‌دهد موجب کاهش میزان آب گیاه و ایجاد علائم سوختگی در برگ یا میوه‌ها می‌گردد (Yazici and Kaynak, 2009). در این شرایط در باغ‌های سیب (Piskolczi *et al.*, 2004) و مرکبات (Ennab *et al.*, 2017) آفتاب‌سوختگی و کاهش کیفیت میوه‌ها گزارش شده است.

مرکبات به‌عنوان یکی از سه محصول مهم باغی در مناطق شمال و جنوبی کشور جایگاه خاصی را در بین تولیدات کشاورزی دارا است. مرکبات جزء گیاهانی با متابولیسم C_3 (گیاهانی که سازگاری فتوسنتزی برای کاهش تنفس نوری ندارند) بوده که در برابر تنش گرما و رطوبت آسیب‌پذیر هستند (Allen and Vu, 2009). در مرکبات افزایش ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس دمای بالاتر از دمای مطلوب، تنش رطوبتی و شوک گرمایی را موجب می‌گردد. در پژوهش‌های مختلف صفر فیزیولوژیک مرکبات ۱۲/۵ درجه سلسیوس (فتوحی قزوینی و فتاحی مقدم، ۱۳۹٤) و حد آستانه دمای بهینه برای رشد آن ۳۰ تا ۳۲ درجه سلسیوس (نوحی و همکاران، ۱۳۹۱) گزارش گردید.

یکی از ارقام مهم و اقتصادی مرکبات در شمال کشور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

نارنگی پیج است. این رقم هیبرید کمپلکس بوده که از تلاقی نارنگی *Minneola tangelo* و Clementine حاصل شده است (Chen *et al.*, 2008). نارنگی پیج یک رقم نافدار بوده که در شرایط کم‌آبی دچار آفتاب‌سوختگی و ترک‌خوردن میوه از ناحیه ناف شده و کاهش بازارپسندی محصول را در پی خواهد داشت (Asadi Kangarshahi *et al.*, 2006). عموماً در کنار تنش گرما احتمال بروز تنش رطوبتی نیز بسیار محتمل است. به همین دلیل تفکیک اثرات تنش گرما و رطوبتی از یکدیگر بسیار مشکل است (تاجور، ۱۳۹۵).

یکی از راهکارهای مطرح‌شده در سال‌های اخیر برای مقابله با آثار منفی دمای زیاد تابستان و درنتیجه افزایش کارایی مصرف آب در باغ‌های میوه استفاده از ترکیبات ضدتعرق و بازتابنده نور خورشید مانند کائولین است. کائولین نوعی رس طبیعی سفید رنگ با ساختار آلومینو فیلوسیلیکات ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) است که از نظر شیمیایی در دامنهٔ وسیعی از تغییرات pH خنثی بوده و بر موجودات زنده اثر مضر ندارد (Glenn and Puterka, 2005). کائولین با انعکاس بخشی از نور تابیده‌شده به گیاه دمای برگ‌ها و تاج درختان را به‌میزان قابل توجهی کاهش داده و درنتیجه اثرات تنش رطوبتی را کاهش می‌دهد. آثار بعدی این کاهش دما کاهش مصرف آب، افزایش محتوای کلروفیل و ویژگی‌های کمی و کیفی محصول است (Rosati *et al.*, 2006) که در پژوهش‌های انجام‌شده بر روی سیب (Thomas *et al.*, 2004)، گریپ‌فروت (Jifon and Syvertsen, 2003) و دو رقم زیتون (Saour and Makee, 2003; Guerfel *et al.*, 2009) کاملاً مشهود بوده است. همچنین نتایج مصرف کائولین بر ویژگی‌های کیفی میوه مانند افزایش میزان مواد جامد محلول، کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه انار (Melgarejo *et al.*, 2004) و آفتاب‌سوختگی سطح میوه (Yazici and Kaynak, 2009) تأثیر چشمگیری را نسبت به تیمار بدون مصرف کائولین نشان داد. در حقیقت کائولین با کاهش دمای برگ و افزایش پتانسیل و حفظ محتوای نسبی آب برگ در فصل تابستان مانع از تجمع پرولین می‌شود (Ben-Rouina and Ben-Ahmed, 2006). نتایج پژوهش‌ها روی درختان انگور (Glenn *et al.*, 2010) و زیتون (برمه و همکاران، ۱۳۹۰) نشان دادند که کائولین با حفظ و ارتقاء بهره‌وری مصرف آب میزان پرولین برگ را کاهش داد.

گرم‌شدن کره زمین، کمبود آب و همچنین الگوهای نامناسب اقلیمی در تولید محصولات کشاورزی سبب شده است که راهکارهایی جهت کاهش مصرف و حفظ منابع آب صورت بگیرد. به‌دلیل واقع‌شدن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک در حال حاضر هیچ راه منطقی برای افزایش نزولات جوی در طول دوره خشکی وجود ندارد. بنابراین استفاده از ترکیبات ضدتعرق مانند کائولین، به‌عنوان یکی از راهکارهای مدیریت کاهش مصرف و حفظ منابع آب لازم و ضروری است. با توجه به مطالب ارائه‌شده می‌توان گفت که در خصوص بررسی اثرات محلول‌پاشی با کائولین روی درختان مرکبات اطلاعات علمی کمی وجود دارد و تاکنون در زمینه تأثیر مصرف کائولین در شرایط کم‌آبی روی نارنگی پیج پژوهشی صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر در نظر دارد تا با تأثیر همزمان تنش رطوبتی و محلول‌پاشی کائولین روی نارنگی پیج سازوکارهای تحمل‌پذیری گیاه به تنش رطوبتی را مورد ارزیابی قرار داده و با ارائه راهکارهایی جهت افزایش تحمل‌پذیری نارنگی پیج به شرایط تنش مناسب‌ترین سطح کائولین را پیشنهاد دهد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر به طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی با ارتفاع ۲۰- متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۶ انجام شد. میانگین ماهانه داده‌های هواشناسی مربوط به دوره رشد نارنگی پیج طی دوره آزمایش مطابق جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. به‌منظور اجرای آزمایش نهال‌های ۵ ساله نارنگی پیج تهیه و در گلدان‌های پلاستیکی ۱۴ لیتری قرار داده شدند. بستر کشت نهال‌ها از خاک منطقه، کود دامی و ماسه به‌ترتیب از چپ به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه سال ۱۳۹٦

ماه	میانگین دما	میانگین‌حداکثر دما	میانگین‌حداقل دما	میانگین رطوبت	میانگین بارندگی
	(°C)			نسبی (%)	ماهانه (mm)
خرداد	۲٤/۲	۳۱/۸	۱٦/٦	٦۰	۳۳/۵
تیر	۲۷/۵	۳۳/۸	۲۱/۲	۵۲	٦/۳
مرداد	۲۹/۱	۳۵/٤	۲۲/۸	٤۰	۰/۱
شهریور	۲۳/۹۵	۳۲/۳	۱۵/٦	٦۹	۲٦۳
مهر	۲۰/۷	۳۰/٤	۱۱	۸۰	۳۰٤/۸

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

رس	شن	سیلت	بافت خاک	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	EC	pH
				(mg. kg^{-1})		(%)	(ds. m^{-1})	
۱۵	۳۵	۵۰	لومی	۱۸٤	۳٦	۱/٤۸	۰/۳۸	٦/۸

راست با نسبت ۱:۱:۲ تهیه شد و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده تعیین گردید (جدول ۲).

فاکتورهای مورد مطالعه شامل سه سطح شرایط رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش خفیف) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و محلول‌پاشی کائولین با غلظت‌های صفر، ۵ و ۷ درصد (به‌ترتیب صفر،۲۲۵۰ و۳۱۵۰ گرم کائولین در ٤۵ لیتر آب به‌صورت جرمی/حجمی) بودند. برای اعمال تیمارهای تنش رطوبتی از دستگاه صفحات فشاری (مدل 1500F1، آمریکا) استفاده شد، به این صورت که نمونه‌های خاک بستر مورد مطالعه با سه تکرار در دستگاه صفحات فشاری و در مکش یک سوم بار قرار داده شدند. پس از خروج آب ثقلی نمونه‌ها توزین و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شد و درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت مزرعه تعیین گردید. سپس ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌ترتیب به‌عنوان تنش رطوبتی خفیف و شدید بکار گرفته شد. برای اعمال سطوح تنش رطوبتی گلدان‌ها در فاصله‌های زمانی معین (هر دو روز) توسط ترازوی حساس (دقت در حد گرم) وزن شدند و با محاسبه کاهش وزن هر گلدان و اضافه‌نمودن آب مصرفی تیمارهای مورد نظر اعمال گردید و وزن هر گلدان در تیمار مربوطه ثابت نگه داشته شد و مقدار آب مصرفی بر حسب سانتی‌متر مکعب یادداشت گردید.

به‌منظور محلول‌پاشی کائولین، از کائولین فراوری‌شده تجاری (کائولین سپیدان WP95) تهیه‌شده از شرکت کیمیا سبزآور تهران استفاده شد. محلول‌پاشی با سه غلظت کائولین (صفر، ۵ و ۷ درصد) توسط سم‌پاش دستی تا زمان چکه‌کردن سوسپانسیون کائولین از سطح برگ ادامه یافت، به‌گونه‌ای که برگ‌ها بطور یکنواخت با کائولین پوشانده شدند. اولین محلول‌پاشی در ۲۰ خرداد انجام گرفت و تا پایان دوره تیمار، محلول‌پاشی تکمیلی هر ماه با نصف غلظت‌های قبلی تکرار شد. عملیات باغبانی شامل تغذیه و کنترل علف‌های هرز مطابق عرف منطقه انجام شد و پس از شروع محلول‌پاشی کائولین هیچ گونه سم‌پاشی انجام نشد.

برای سنجش میزان رنگدانه‌های کلروفیل a، b و کل یک گرم از بافت برگ با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل SW14R، فرانسه) گردید. سپس محلول رویی با استون به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و میزان جذب نمونه‌ها (A) توسط اسپکتروفوتومتر (مدل ND-1000، آمریکا) در طول‌موج‌های ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر خوانده شد. سپس مقدار رنگدانه‌ها بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

حسب میلی‌گرم کلروفیل بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$Chl_a = [12.7\ A_{663} - 2.63\ A_{645}] \times V/1000 \times W$$
$$Chl_b = [22.9\ A_{645} - 4.68\ A_{663}] \times V/1000 \times W$$
$$\text{Total Chl.} = [20.2\ A_{645} + 8.02\ A_{663}] \times V/1000 \times W$$

که Chl_a، Chl_b و Total Chl. به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، b و کل و A: جذب نمونه در طول‌موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر، V حجم محلول صاف‌شده رویی (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و W وزن تر نمونه برگ بر حسب گرم است.

برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ (RWC)، قطعات برگی به ابعاد ۵ میلی‌متر تهیه و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. پس از خیساندن نمونه‌ها در آب‌مقطر به‌مدت ٢٤ ساعت وزن آماس نمونه‌ها به‌دست آمد. بعد از قرارگیری نمونه‌ها به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و تعیین وزن خشک برگ محتوای نسبی آب برگ بر حسب درصد طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Weatherley, 1950).

$$RWC = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times 100$$

در این رابطه FW: وزن تر برگ (g)، DW: وزن خشک برگ (g) و TW: وزن آماس نمونه‌های برگی (g) است.

جهت بررسی وضعیت آبی گیاه از شاخص پتانسیل آب برگ استفاده گردید. به این منظور ابتدا از هر درخت سه برگ بالغ و بلافاصله بعد از برداشت در داخل نایلون‌های پلاستیکی قرار داده شد. با استفاده از دستگاه محفظه فشاری (مدل A35، آمریکا) به‌محض خروج اولین قطره آب از انتهای دمبرگ در اثر اعمال فشار پتانسیل آب برگ برحسب مگاپاسکال (MPa) ثبت گردید. لازم به ذکر است که پتانسیل آب برگ بین ساعت ۱۲ تا ۱۵ اندازه‌گیری شد (Scholander *et al.*, 1965). شاخص‌های مربوط به تبادلات گازی مانند دمای سطح برگ و هدایت روزنه‌ای برگ با دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز برگ LCi_4 (ADC Bioscientific Ltd، انگلستان) در طول فصل رشد و بین ساعت‌های ۱۰ تا ۱۲ ظهر روی سه برگ بالغ در هر درخت انجام شد. اندازه‌گیری قندهای محلول در آب، با روش فنل سولفوریک، که مبتنی بر آبگیری قندهای محلول و تشکیل ترکیب فورفورال است، انجام پذیرفت. میزان جذب ترکیب حاصل در طول‌موج ٦٢٥ نانومتر اندازه‌گیری و سپس با استفاده از منحنی استاندارد و خواندن شدت جذب غلظت‌های مختلف گلوکز میزان قندهای محلول در آب ارزیابی شد (Irigoyen *et al.*, 1992).

برای محاسبه پرولین ۲ میلی‌لیتر نمونه برگی استخراج‌شده با سولفوسالیسیلیک اسید با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید مخلوط شد. بعد از انتقال به حمام آب گرم با اضافه‌کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن و جداسازی دو فاز جذب فاز رویی عصاره درطول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از نمودار استاندارد پرولین محاسبه گردید (Bates *et al.*, 1973).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ۰/۱ گرم از نمونه برگی با ۱۰۰۰ میکرولیتر بافر استخراج (شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۲ میکرومولار) مخلوط گردید و بعد از ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (g × ۱۳۰۰۰) محلول رویی جدا شد. نمونه‌ای به‌عنوان شاهد تهیه شد که شامل تمامی ترکیبات موجود در عصاره استخراج‌شده بجز نمونه گیاهی حاوی آنزیم بود. سپس محلول نمونه و شاهد به‌مدت ۱۵ دقیقه در محفظه‌ای در معرض یک لامپ فلورسنت با شدت نور ٤۰۰ لوکس در دمای اتاق به آرامی تکان داده شدند. جذب نمونه و شاهد با اسپکتروفوتومتر در طول‌موج ۵٦۰ نانومتر ثبت گردید. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر مبنای واحد آنزیمی بر میلی‌گرم وزن تر برگ بیان شد (Sheng Wu *et al.*, 2006).

حدود ۵ ماه پس از شروع تیمارهای آزمایش میوه‌ها برداشت شدند و به‌منظور ارزیابی کمی و کیفی به آزمایشگاه انتقال یافتند. وزن تر میوه با محاسبه میانگین وزن میوه‌های هر تیمار با ترازوی دیجیتال (مدل GF6000، ژاپن) بر حسب گرم یادداشت شد و میانگین عملکرد میوه به ازای گرم در هر درخت به‌دست آمد.

با استخراج آب میوه کل مواد جامد محلول (TSS) با دستگاه رفرکتومتر دستی (مدل Mini Digital، تایوان) اندازه‌گیری شد. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) نیز از طریق تیتراسیون یک میلی‌لیتر آب میوه با سود ۰/۲ نرمال در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

حضور معرف فنل‌فتالئین انجام گرفت. سپس درصد اسیدیته قابل تیتراسیون براساس اسید غالب میوه نارنگی پیج یعنی سیتریک اسید بیان گردید.

میزان کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب از رابطه زیر محاسبه گردید (Fereres and Soriano, 2007).

$$WUE = Y_{Total} / W$$

در رابطه فوق Y_{Total} عملکرد کل (kg) و W آب مورد استفاده در طول فصل رشد (m^3) بود.

آفتاب‌سوختگی در مرکبات به‌صورت لکه‌های قهوه‌ای در پوست میوه مشاهده شد و مقدار آن به‌صورت درصد محاسبه گردید. میوه‌ها به‌صورت چشمی ارزیابی‌شده و بخش‌های آفتاب‌سوخته علامت‌گذاری شدند. درصد آفتاب‌سوختگی براساس اندازه‌گیری مساحت سطح میوه سالم و آفتاب‌سوخته با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (leaf area meter) مدل (CI-202، آمریکا) تعیین گردید. سپس درصد آفتاب‌سوختگی در ۵ گروه (صفر تا ۲۰ درصد آفتاب‌سوختگی رتبه ۱، ۲۰ تا ۴۰ درصد رتبه ۳، ۴۰ تا ۶۰ درصد رتبه ۵، ۶۰ تا ۸۰ درصد رتبه ۷، ۸۰ تا ۱۰۰ درصد رتبه ۹) رتبه‌بندی شد (مظفری‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶).

تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین هر صفت با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. نمودارها نیز با نرم‌افزار اکسل (Excel) رسم شدند.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های کلروفیل a، b وکل: با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص شد که برهمکنش تنش رطوبتی و کائولین بر میزان کلروفیل a و کل به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار شد اما بر میزان کلروفیل b تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b در شرایط بدون تنش رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید (جدول ۵). اثر متقابل تنش و کائولین نشان داد که در طول دوره آزمایش در تمام تیمارهای تنش رطوبتی، غلظت ۵ درصد کائولین محتوای کلروفیل a و کل بیشتری را نسبت به شرایط بدون مصرف کائولین داشت و بیشترین محتوای کلروفیل a و کل نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و با مصرف کائولین ۵ درصد مشاهده شد (جدول ٦). با توجه به نتایج به‌دست آمده کاهش میزان رنگدانه‌های کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و مختل‌شدن واکنش‌های تاریکی فتوسنتز نسبت داد. در این وضعیت محصولات واکنش مانند ATP و NADPH مصرف نمی‌شوند و به‌دلیل اکسیدنشدن مولکول NADPH مقدار مصرف $NADP^+$ به‌منظور دریافت الکترون کاهش می‌یابد و مولکول اکسیژن به‌عنوان گیرنده الکترون عمل کرده و سبب تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که می‌تواند تخریب رنگدانه‌های کلروفیل را به‌همراه داشته باشد (Mittler, 2002; Saour and Makee, 2003). همچنین در شرایط تنش رطوبتی گلوتامات که ماده پیش‌ساز کلروفیل و پرولین است بجای ساخت کلروفیل صرف ساختن پرولین می‌شود (بسرا و بسرا ۱۳۸۱). پژوهش انجام‌شده روی زیتون رقم Chemlali (Guerfel *et al.*, 2009) و رقم زرد (موسوی دهموردی و همکاران، ۱۳۹۷) با نتایج پژوهش حاضر در مورد تأثیر تنش رطوبتی بر کاهش میزان رنگدانه‌های کلروفیل a و کل همسو است.

نتایج نشان داد که کائولین بطور معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ‌ها مؤثر بوده و اثر خود را اساساً بر محتوای کلروفیل a و کل گذاشته است. کائولین با انعکاس نور خورشید و کاهش دمای سطح برگ موجب افزایش ذخیره آبی و پتانسیل آب برگ شده و از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تنش اکسیداتیو ممانعت می‌کند. بنابراین در ساخت رنگدانه‌های کلروفیل در گیاه خلل کمتری ایجاد می‌گردد (Lombardini *et al.*, 2005). در پژوهشی که روی بادام (محمدی جوارزاری، ۱۳۹۱) و زیتون (Saour, 2006) انجام شد به نقش مثبت کائولین بر حفظ محتوای رنگدانه‌های کلروفیل برگ در شرایط خشکی اشاره گردید. باید توجه داشت که افزایش بیش از حد غلظت ترکیبات ضدتعرق روی گیاه عملکرد روزنه‌ها را مختل کرده و بسیاری از فعالیت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات تنش رطوبتی و کائولین بر برخی صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

منابع تغییرات	df	میانگین‌مربعات						
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسبی‌آب برگ	پتانسیل آب برگ	قندهای محلول در آب	پرولین
تنش رطوبتی	۲	۲۰/۶ **	۲ **	۱۹/۴ **	۶۴۷۷ **	۰/۸۰ **	۷۴۱ **	۸۴۲/۴ **
کائولین	۲	۱۳/۶ **	۰/۰۰۷ ns	۱۴/۳ **	۲۵۵ **	۰/۰۳۵ **	۳۸۵ **	۹۷/۷ **
تنش رطوبتی×کائولین	۴	۰/۶۶ *	۰/۰۰۸ ns	۰/۶۱ **	۵۴۷ **	۰/۰۰۲ **	۵۷/۷ ns	۹۱/۳ **
خطا	۱۸	۰/۱۴۶	۰/۰۸۱	۰/۱۱	۲۲/۳	۰/۰۰۵	۲۹/۳	۳۳
ضریب تغییرات(٪)		۱۰/۵	۲۰/۳	۶/۳۴	۱۳	۸/۸۴	۱۳/۸	۱۱/۷

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و۵ درصد و عدم‌معنی‌داری**

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات تنش رطوبتی و کائولین بر برخی صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

منابع تغییرات	df	میانگین‌مربعات							
		دمای سطح برگ	هدایت روزنه‌ای برگ	سوپراکسید دیسموتاز	عملکرد میوه	کارایی مصرف آب	کل مواد جامد محلول	اسیدیته قابل تیتراسیون	آفتاب سوختگی میوه
تنش رطوبتی	۲	۱۹/۶ **	۵۶/۵ **	۴۱۹ **	۱۷۱۷۱ **	۲۶۰ **	۲۴/۴ *	۲۳۵ **	۱/۱۶ ns
کائولین	۲	۶۷/۲ **	۸۸/۷ **	۶۵۴ **	۳۶۳۶ **	۱۱۵ **	۱۶ *	۲۳/۶ **	۴۴۶ **
تنش رطوبتی×کائولین	۴	۸/۹۸ **	۵/۷۱ **	۴۵/۹ ns	۲۰۰ *	۷/۹۵ ns	۱/۱۹ ns	۵/۲۶ *	۱/۷۵ ns
خطا	۱۸	۰/۷۰	۰/۰۰۰۰۲	۳۱	۷۲/۲	۵/۶۳	۴/۴۴	۱/۶۷	۲/۵۸
ضریب‌تغییرات(٪)		۲/۹۸	۱۸/۸	۱۶/۲	۱۱/۳	۲۰/۱	۱۵/۵	۹/۸۶	۱۲/۳۸

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و۵ درصد و عدم‌معنی‌داری**

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف رطوبتی بر برخی صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

تنش رطوبتی (ظرفیت زراعی)	صفات				
	کلروفیل b	قندهای محلول در آب	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز	کارایی مصرف آب	کل مواد جامد محلول (TSS)
	(mg.g FW^{-1})		(IU.mg FW^{-1})	(kg.m^{-3})	
۱۰۰درصدظرفیت زراعی	۱/۸۷ a	۲۹/۴ c	۲۷/۱ b	۱۷/۲۱ a	۱۱/۹۲ b
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۱/۳۷ b	۴۱/۴ b	۳۵/۴ a	۱۱/۸۱ b	۱۴/۶ a
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۹۳ c	۴۷/۲ a	۴۰/۶ a	۶/۴۸ c	۱۴/۹۱ a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

گیاه را کاهش می‌دهد. **محتوای نسبی آب برگ و پتانسل آب گیاه:** مطابق با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش رطوبتی و کائولین بر صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

تنش رطوبتی (ظرفیت‌زراعی)	کائولین (٪)	کلروفیل a	کلروفیل کل	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	اسیدیته قابل تیتراسیون	پتانسیل آب برگ	هدایت روزنه‌ای
		(mg. g FW^{-1})			(٪)		(M Pa)	(mol.m^{-2}.s^{-1})
۱۰۰	۰	۳/٤٥ d	۵/۰۲ de	۲٦/۸ d	۵۸/۷ b	۹/۲٤ d	−۰/۳۲ de	۰/۰۱٦ d
	۵	٦/۷٤ a	۸/۳۱ a	۲٤/۵ d	۷۸/۸ a	۸/۸ d	−۰/۲۳ e	۰/۰۵۳ a
	۷	۵/٤٤ b	٦/۸۸ b	۲۳/٦۵ d	٦۳/۳ b	۹/۲ d	−۰/۲۷ e	۰/۰۲٦ bc
۷۵	۰	۲/٤۸ e	٤/٤ e	۳۰/۹ cd	۱۰/۷۱ fg	۱۳/۷۷ c	−۰/۵۵ d	۰/۰۱۳ de
	۵	٤/۱۵ c	٦/۰٤ c	۳۰/۳ cd	۲۱/۷ de	۱۰/۲ d	−۰/٤ cd	۰/۰۳ b
	۷	۳/٤۳ d	۵/۲ d	۳۵/٤ c	٤۰/۷ c	۱۰/۱۷ d	−۰/٤٤ c	۰/۰۱٦ d
۵۰	۰	۱/۱٦ f	۲/۵۵ g	۵۱/۹ a	٦/٤ g	۲۱/۸۷ a	−۰/۹۵ a	۰/۰۰۳ f
	۵	۳/۵۷ cd	۵/۲٤ d	٤۲/٦ b	۲۷/۱۵ d	۱٦/۸٤ b	−۰/۷۷ b	۰/۰۲۳ c
	۷	۱/۹۰ e	۳/٦۲ f	۳٤/۷ c	۱۸/٦۵ ef	۱۷/۹۱ b	−۰/۸۵ ab	۰/۰۱ e

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول تجزیه واریانس، برهمکنش تنش رطوبتی و کائولین بر محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش تنش رطوبتی به‌خصوص تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مصرف ۵ درصد کائولین موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ (٧٦ درصد) و پتانسیل آب برگ (۱۹ درصد) نسبت به شرایط بدون مصرف کائولین شد. کمترین محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ نیز در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون مصرف کائولین مشاهده گردید (جدول ٦).

شاخص‌های محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ معرف وضعیت آبی گیاه هستند. در خلال دوره تنش رطوبتی کمبود آب به‌همراه دمای بالای هوا میزان رطوبت محیط را کاهش داده و موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ در تیمارهای تحت تنش می‌گردد. بنابراین می‌توان چنین بیان داشت که تنش رطوبتی از طریق کاهش محتوای نسبی آب برگ منجر به کاهش پتانسیل آب و آماس سلولی برگ می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2002; Anjum *et al.*, 2011). در پژوهش انجام‌شده روی انگور (Flexas and Medrano, 2002) و دو رقم زیتون (Denaxa *et al.*, 2012; Boussadia *et al.*, 2008) کاهش چشمگیری در محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش رطوبتی نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. همچنین در پژوهش دیگری که روی نارگیل انجام شد مشاهده گردید که تنش رطوبتی با تأثیر روی هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب پتانسیل آب برگ را کاهش داده است (Gomes *et al.*, 2010). مطابق با نتایج پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد که استفاده از کائولین در شرایط دمای بالا و تنش رطوبتی از بار حرارتی گیاه کاسته و با حفظ محتوای نسبی آب برگ پتانسیل آبی گیاه را افزایش می‌دهد (Glenn, 2009). در واقع کائولین با ایجاد یک ساختار فیزیکی محافظتی روی سطح برگ و بازتاب نور تابیده‌شده به گیاه دمای برگ و میزان تعرق گیاه را کاهش می‌دهد. درنتیجه محتوای آب گیاه حفظ‌شده و پتانسیل آب برگ افزایش می‌یابد (Glenn and Puterka, 2005). حفظ محتوای نسبی آب برگ در گریپ‌فروت (Jifon and Syvertsen, 2003)، زیتون رقم Chondrolia Chalkidikis (Denaxa *et al.*, 2012) و رقم زرد (خالقی، ۱۳۹۲) با مصرف کائولین در شرایط کم‌آبی با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

همچنین افزایش پتانسیل آب برگ در یافته‌های Shellie و Glenn (۲۰۰۸) در انگور و خالقی (۱۳۹۲) روی زیتون مؤید نتایج پژوهش حاضر است.

قندهای محلول در آب: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای تنش رطوبتی و کائولین در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان قندهای محلول در آب برگ معنی‌دار شد اما اثر متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مشاهده شد که کاهش رطوبت خاک میزان قندهای محلول در آب را افزایش داد (جدول ۵). همچنین با مصرف کائولین، میزان قندهای محلول در آب نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. اگر چه بین سطوح ۵ و ۷ درصد کائولین از این نظر تفاوت معنی‌دار وجود نداشت اما کمترین مقدار قندهای محلول در آب در تیمار ۵ درصد کائولین مشاهده شد (جدول ۷). علت افزایش میزان قندهای محلول در آب تحت تنش رطوبتی را می‌توان اینگونه استدلال کرد که در شرایط تنش رطوبتی قدرت انتقال قندها در آوندهای آبکش و مصرف آنها در سلول‌های برگ کاهش یافته و میزان قندهای محلول در بافت‌های گیاه تجمع می‌یابد. این افزایش در حقیقت یک نوع پاسخ به تنش رطوبتی محسوب می‌شود (Akinci and Lsel, 2009). به‌نظر می‌رسد قندهای محلول در شرایط کمبود آب به‌صورت تنظیم‌کننده اسمزی عمل کرده و با کاهش پتانسیل اسمزی آماس سلول‌ها را حفظ می‌کند (Lisar *et al.*, 2012). افزایش میزان قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در انار (Rodriguez *et al.*, 2012) و انگور (Ghaderi *et al.*, 2006) نیز گزارش شده است.

نتایج یافته‌های پژوهش نشان داد ترکیب ضدتعرق کائولین می‌تواند مقدار قندهای محلول در آب برگ را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش دهد. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد کائولین با کاهش دمای تاج گیاه و بستن روزنه‌های برگ غلظت دی‌اکسید کربن در بافت‌های برگی را کاهش داده و با تأثیر بر سرعت و مقدار فتوسنتز منجر به کاهش قندهای محلول در آب در گیاه می‌گردد (Khalil, 2006). نتایج پژوهش انجام‌شده روی درخت جوز باربادوس (Khalil *et al.*, 2012) و زیتون (خالقی، ۱۳۹۲) مؤید نتایج پژوهش حاضر است.

پرولین: براساس نتایج آنالیز واریانس اثر متقابل تنش رطوبتی و کائولین در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که در تمامی تیمارهای تنش رطوبتی با افزایش مصرف کائولین تا سطح ۵ درصد از میزان پرولین برگ کاسته شد و کمترین مقدار پرولین در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و با مصرف ۵ درصد کائولین مشاهده گردید (جدول ٦). محققان معتقدند که تجمع پرولین به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین و کاهش فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده پرولین (پرولین اکسیداز) در شرایط تنش رطوبتی است (Manivannan *et al.*, 2007). در حقیقت پرولین در حفظ فشار اسمزی نقش مهمی داشته و با حذف گونه‌های آزاد مانع ایجاد صدمات حاصل از کم‌آبی به غشاء سلولی می‌گردد (Krasensky and Jonak, 2012). در شرایط کم‌آبی توانایی کائولین در کاهش مقدار پرولین برگ گیاه بیانگر خاصیت ضدتنشی این ترکیب ضدتعرقی بوده که می‌تواند در مقابله با تنش‌های زنده و غیرزنده مؤثر باشد. بررسی سطوح مختلف کائولین در شرایط تنش رطوبتی روی زیتون (Ben-Rouina and Ben-Ahmed, 2006) و انگور (Carvalho *et al.*, 2015) نشان داد که کائولین با کاهش میزان ترکیبات فعال باربیتوریک اسید و H_2O_2، میزان پرولین برگ را کاهش داد.

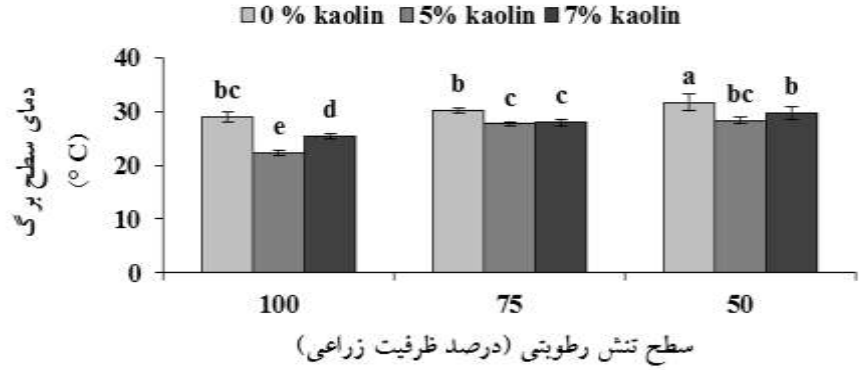
دمای سطح برگ و هدایت روزنه‌ای: نتایج آنالیز مربوط به تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش تنش رطوبتی و کائولین بر میزان دمای سطح برگ و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). در بررسی اثر سطوح مختلف تنش رطوبتی و کائولین نشان داده شد که در تمامی سطوح تنش رطوبتی با افزایش مصرف کائولین تا سطح ۵ درصد میزان دمای برگ کاهش و هدایت روزنه‌ای افزایش یافت (شکل ۱ و جدول ٦). به طوریکه کمترین دمای سطح برگ و بیشترین هدایت روزنه‌ای با مصرف ۵ درصد کائولین و در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و بیشترین دمای برگ و کمترین هدایت روزنه‌ای در تیمار بدون مصرف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کائولین بر برخی صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

کائولین (درصد)	صفات				
	کارایی مصرف آب ($kg.m^{-3}$)	قندهای محلول در آب ($mg.\ g\ FW^{-1}$)	سوپراکسید دیسموتاز ($IU.mg\ FW^{-1}$)	موادجامد محلول (^{o}B)	آفتاب‌سوختگی (%)
۰	۸/۱۸ c	٤٥/۱۱ a	٤۲/٥٦ a	۱۳/۱۲ b	۲۱/۱۱ a
٥	۱٥/۳۳ a	۳۷/٦۷ b	۲٥/٥٥ c	۱٥/۳٥ a	۹/۱۱ b
۷	۱۱/۹۸ b	۳۲/۲٤ b	۳٤/۹۳ b	۱۳ b	۸/۷۲ b

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ٥ درصد براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۱- اثر سطوح مختلف کائولین و تنش رطوبتی بر دمای سطح برگ. در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ٥ درصد براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

کائولین و شرایط تنش رطوبتی شدید (٥۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد (جدول ٦). محققین معتقدند که کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش رطوبتی درنتیجه تغییرات اقلیمی مانند افزایش دمای هوا صورت می‌گیرد و مقدار هدایت روزنه‌ای برگ به‌صورت تابعی از دمای محیط و درنتیجه دمای برگ تغییر می‌کند (Machado *et al.*, 2002; Gomez *et al.*, 2004). در واقع در شرایط تنش رطوبتی به‌علت کاهش فعالیت متابولیکی سلول‌های برگی و هدایت روزنه‌ای دمای برگ افزایش می‌یابد (Reddy *et al.*, 2004). مطالعات نشان داده است که کائولین با انعکاس نور از سطح برگ، ضمن کاهش شیب فشار بخار برگ به هوا، بر میزان هدایت روزنه‌ای گیاه تأثیر گذاشته و دمای سطح برگ را کاهش می‌دهد (Gindaba and Wand, 2007). اثر کائولین بر کاهش دمای برگ نارنج و گلابی (Miranda *et al.*, 2007) با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش همسو است. در پژوهش دیگری که روی سیب (Glenn, 2009)، گردو و بادام (Rosati *et al.*, 2006) و انگور (Glenn *et al.*, 2010) در شرایط تنش رطوبتی انجام شد کاهش دمای سطح برگ و افزایش هدایت روزنه‌ای برگ با مصرف کائولین مشاهده گردید. به‌نظر می‌رسد که افزایش دمای برگ با مصرف ۷ درصد کائولین در شرایط تنش رطوبتی به‌دلیل ضخامت بیشتر کائولین روی سطح برگ و درنتیجه اختلال در فرایند تبادلات گازی و عملکرد روزنه‌ها باشد که در این حالت هدایت روزنه‌ای کاهش و دمای برگ افزایش می‌یابد. این یافته‌ها با پژوهش انجام‌شده روی سیب (Gindaba and Wand, 2007) مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثرات تنش رطوبتی و کائولین بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سطح احتمال ۱

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

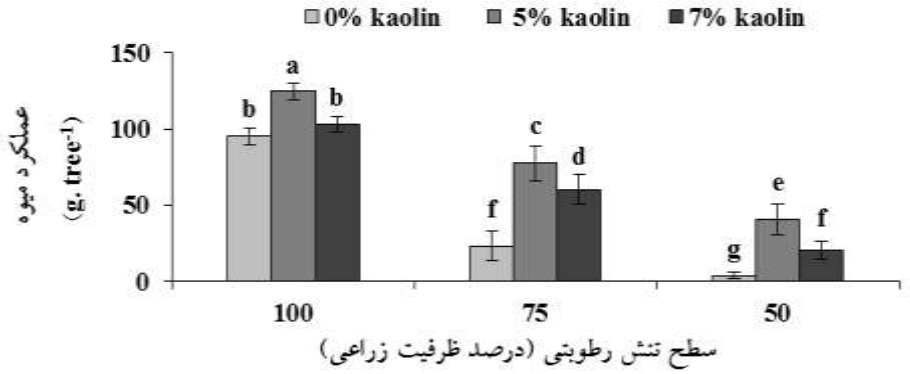
درصد معنی‌دار شد. اما برهمکنش آنها بر این شاخص تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ٤). با اعمال تنش رطوبتی میزان فعالیت آنزیم SOD افزایش یافت (جدول ٥)، در حالیکه کاربرد کائولین بطور مؤثری میزان فعالیت SOD را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و کمترین مقدار آن با مصرف ٥ درصد کائولین گزارش گردید (جدول ٧). در توجیه این نتایج می‌توان گفت که بطور کلی تنش رطوبتی و افزایش دما با ایجاد اختلال در سیستم انتقال الکترون فتوسنتزی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به فعال‌شدن سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی سوپراکسید دیسموتاز می‌گردد. در چنین وضعیتی آنزیم SOD با کمک آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در چرخه گلوتاتیون آسکوربات گونه‌های اکسیژن آزاد را مهار می‌کند (Wang *et al.*, 2011). پژوهش روی نارنگی انشو و پرتقال ناول در واکنش به دمای ۳۸ درجه سلسیوس و کم‌آبی حاصل از آن افزایش فعالیت آنزیم SOD را نشان داد (Hussain *et al.*, 2018). به‌نظر می‌رسد کائولین با بهبود وضعیت آبی گیاه و کاهش دمای سطح برگ در فرایند سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن دخالت کرده و درنتیجه فعالیت آنزیم SOD را کاهش داده باشد. همچنین کائولین با ایجاد شرایط مناسب برای مقابله با آسیب اکسیداتیو و ارتقاء سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی اثرات محافظتی چشمگیری را در دمای بالای تابستان بر روی انگور نشان داده است (Bernardo *et al.*, 2017).

عملکرد میوه: با توجه به جدول تجزیه واریانس برهمکنش تنش رطوبتی و کائولین بر شاخص عملکرد میوه در سطح ٥ درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). نتایج شکل ٢ نشان داد که بیشترین میزان عملکرد میوه در تیمار بدون تنش رطوبتی و با مصرف ٥ درصد کائولین حاصل شد. می‌توان اینگونه استنباط کرد که یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گیاه افزایش اندازه میوه است. با شروع آبیاری و افزایش تورژسانس گیاه رشد میوه تحریک‌شده و مقاومت هیدرولیکی گیاه افزایش می‌یابد. در این شرایط گیاه با تنش کمتری مواجه شده و عملکرد محصول افزایش پیدا می‌کند (Garcia-Tejero *et al.*, 2010). با بررسی جدول مربوط به تأثیر همزمان تنش رطوبتی و کائولین مشخص شد که کاربرد کائولین تا غلظت ٥ درصد موجب افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش رطوبتی گردید (جدول ٥). احتمالاً کائولین با ایجاد فضای سایه مانند روی گیاه و کاهش تخریب اکسینی در میوه رشد بیشتر سلول‌های آن را موجب می‌گردد. مطلب ذکرشده نیازمند بررسی‌های بیشتری است اما افزایش عملکرد میوه گلابی (Puterka *et al.*, 2002) و زغال اخته (Spiers *et al.*, 2003) در شرایط تنش رطوبتی با مصرف کائولین با نتایج این پژوهش هم‌راستا است.

کارایی مصرف آب: اثر متقابل تنش رطوبتی و کائولین بر کارایی مصرف آب مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس در سطح ١ درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). طبق جدول ٥، با افزایش تنش رطوبتی میزان کارایی مصرف آب کاهش معنی‌دار یافت به‌گونه‌ای که بیشترین کاهش در شرایط تنش ٥٠ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. همچنین براساس نتایج جدول ٦، روند تغییرات کارایی مصرف آب نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب با کاربرد ٥ درصد کائولین بوده که نسبت به تیمار بدون مصرف کائولین ٤٧ درصد افزایش داشت. افزایش میزان کارایی مصرف آب می‌تواند پاسخ مؤثری در ممانعت از تنش کمبود آب باشد. با افزایش تنش رطوبتی کارایی مصرف آب کاهش چشمگیری یافت که می‌تواند به‌دلیل کاهش بیشتر صورت کسر (عملکرد میوه) در مقایسه با مخرج کسر (آب خالص مصرفی گیاه) در فرمول محاسبه کارایی مصرف آب باشد. پژوهش‌های صورت‌گرفته روی انگور (Glenn *et al.*, 2010) و مرکبات (Asadi Kangarshahi *et al.*, 2006) نشان دادند که پایین‌بودن کارایی مصرف آب در شرایط تنش آبی به‌دلیل عوامل متابولیکی مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن به داخل کلروپلاست و کاهش کربوکسیلاسیون است که موجب اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی فتوسنتز می‌گردند. به‌دنبال مصرف کائولین افزایش پتانسیل آب برگ اتفاق می‌افتد و گیاه در این شرایط با حفظ محتوای آب بافت کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Glenn and Puterka, 2005). پژوهش‌ها نشان دادند که پوشش کائولین روی برگ‌های سیب (Gindaba and Wand, 2007) و انگور (Glenn *et al.*, 2010) با حفظ و ذخیره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کائولین و تنش رطوبتی بر میزان عملکرد میوه. در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

محتوای آب افزایش کارایی مصرف آب را موجب گردید.

کل مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA): مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر تنش رطوبتی و کائولین بر مقدار کل مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و همچنین برهمکنش تنش رطوبتی و کائولین بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد اما از لحاظ شاخص TSS تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ٤). نتایج نشان داد که بین تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از نظر میزان TSS تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان TSS نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۵). TSS تحت تأثیر کائولین قرار گرفت و با مصرف ۵ درصد کائولین میزان مواد جامد محلول افزایش نشان داد (جدول ۷). با بررسی جدول مقایسه میانگین نشان داده شد که در تمام سطوح تنش رطوبتی با افزایش مصرف کائولین میزان TA کاهش معنی‌دار داشت. کمترین میزان TA نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و با مصرف ۵ درصد کائولین مشاهده شد (جدول ٦). در شرایط تنش رطوبتی آب دریافتی توسط میوه کاهش یافته و نسبت قند و ماده خشک به آب میوه افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه آنزیم اینورتازساکارز را به گلوکز و فروکتوز تبدیل کرده و از تجمع قند ساکارز جلوگیری می‌کند، در شرایط تنش رطوبتی فعالیت آنزیم اینورتاز کاهش یافته و گیاه به‌منظور مقابله با کم‌آبی مقادیر بیشتری از کربوهیدرات‌ها را در بافت‌های میوه ذخیره می‌کند درنتیجه میزان TSS در شرایط تنش رطوبتی افزایش می‌یابد (ارجی و همکاران، ۱۳۹٤؛ Walid *et al.*, 2012). افزایش TSS در میوه پرتقال (Garcia-Tejero *et al.*, 2010) در شرایط تنش رطوبتی نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند. کائولین به‌دلیل دارابودن خاصیت انعکاس نور سبب کاهش دمای سطح برگ شده و در نتیجه سرعت تنفس در گیاه کاهش می‌یابد. در این شرایط میزان سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها کاهش یافته و ذخیره‌سازی آن بیشتر خواهد شد (Green *et al.*, 2003). افزایش میزان TSS بر اثر مصرف کائولین در انار (Melgarejo *et al.*, 2004)، توت و انگور (Shellie and King, 2013) گزارش شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. اسیدیته قابل تیتراسیون میوه شاخصی است که در ایجاد طعم میوه نقش مهمی ایفا کرده و افزایش عمر پس از برداشت میوه را موجب می‌گردد. همچنین افزایش میزان اسید میوه سبب پایین‌آمدن شاخص رسیدگی میوه (نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون) در شرایط تنش رطوبتی می‌شود (Akbarpour *et al.*, 2010). پژوهش روی انار (Palou *et al.*, 2013) و پرتقال تامسون ناول (Walid *et al.*, 2012) افزایش میزان TA را در شرایط تنش رطوبتی نشان داد. به‌طور کلی تیمار کائولین موجب کاهش کیفیت ترکیبات شیمیایی میوه مانند TA می‌گردد. کائولین در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند با حفظ محتوای آب گیاه برای فتوسنتز و افزایش فعالیت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

آنزیمی به‌ویژه پلی‌گالاکتروناز، باعث تولید میوه‌های بزرگتر با میزان آب بیشتر همراه با TA کمتر نسبت به تیمار بدون مصرف کائولین گردد. نتایج مشابه‌ای نیز در نارنگی ساتسوما (Chabbal *et al.*, 2014) و پرتقال بلدی (Ennab *et al.*, 2017) به‌دست آمد.

درصد آفتاب سوختگی: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس تنها سطوح مختلف کائولین بر درصد آفتاب‌سوختگی میوه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ٤). با مصرف کائولین درصد آفتاب‌سوختگی به‌شدت کاهش یافت. علیرغم اینکه در تیمارهای ۵ و ۷ درصد کائولین از نظر درصد آفتاب‌سوختگی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ولی درصد آفتاب‌سوختگی در هر دو تیمار نسبت به شاهد کاهش نشان داد و طبق معیار رتبه‌بندی آفتاب‌سوختگی از رتبه ۳ به رتبه ۱ بهبود پیدا کرد (جدول ۷). آفتاب‌سوختگی از طریق تابش مستقیم نور خورشید و یا بادهای گرم و خشک به‌همراه رطوبت ناکافی روی میوه ایجاد می‌گردد (Jifon and Syvertsen, 2003). کائولین با بازتابش بخشی از نور خورشید که به سطح میوه‌ها می‌رسد و همچنین کاهش دمای سطح میوه از گرم‌شدن بیش از حد آنها ممانعت می‌کند. در این شرایط درصد میوه‌های آفتاب‌سوخته را به‌میزان قابل توجهی کاهش داده و بازارپسندی میوه را افزایش می‌دهد (Glenn, 2009). آفتاب‌سوختگی بر کوتیکول پوست میوه تأثیر گذاشته و به لایه‌های زیر سطحی نیز آسیب وارد می‌کند و سبب ضخیم‌شدن دیواره سلولی و افزایش میزان فنول بین سلولی می‌گردد. کائولین با ممانعت از آسیب به ساختار بافت‌ها و سلول‌های میوه از سفتی بافت میوه در هنگام برداشت نیز جلوگیری می‌کند (Gindaba and Wand, 2007). محلول‌پاشی درختان سیب با کائولین موجب کاهش خسارت آفتاب‌سوختگی میوه گردید (Alvarez *et al.*, 2015). در پژوهش دیگری نیز آثار مثبت کائولین بر کاهش آفتاب‌سوختگی میوه در انار (Melgarejo *et al.*, 2004) و گلابی (Colavita *et al.*, 2011) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف کائولین با غلظت ۵ درصد در شرایط خشکی شدید (تنش۵۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث افزایش میزان کلروفیل a و کل، محتوای رطوبت نسبی، پتانسیل آب برگ و عملکرد میوه و همچنین کاهش دمای سطح برگ، محتوای پرولین و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه نسبت به شرایط بدون مصرف کائولین گردید. کائولین از طریق کاهش بار گرمایی و هدایت روزنه‌ای و درنتیجه کاهش تبخیر و تعرق گیاه، موجب افزایش کارایی مصرف و حفظ منابع آب درخت، تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن گردید و تحمل‌پذیری گیاه را در شرایط گرمای شدید تابستان و کم‌آبی افزایش داد. لذا با توجه به شرایط اقلیمی و کمبود آب در کشور همچنین به‌دلیل در دسترس‌بودن و قیمت پایین کائولین پیشنهاد می‌گردد در تابستان و شرایط دمای بالا و کم‌آبی از محلول‌پاشی کائولین با غلظت ۵ درصد روی نارنگی پیج استفاده گردد که ضمن حفظ کمیت و کیفیت قابل قبول میوه و کاهش تنش‌های اکسیداتیو حاصل از خشکی و دمای بالا صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای نیز در مصرف آب آبیاری در درخت حاصل خواهد کرد.

منابع

ارجی، ع.، حسنی، ب. و قمرنیا، ه. (۱۳۹٤) اثر تیمارهای کم آبیاری بر خصوصیات رویشی و کمیت و کیفیت سیب رقم گلدن دلیشز. علوم باغبانی ۲۹: ٦۲۰-٦۱۰.

برمه، ل.، معلمی، ن. و مرتضوی، م. ح. (۱۳۹۰) بررسی اثر ضدتعرقی کائولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چهار رقم زیتون. تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی ۱: ۲۳-۱۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

تاجور، ی. (۱۳۹۵) تنش گرمایی در مرکبات. نشریه فنی وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری.

خالقی، الف. (۱۳۹۲) پاسخ درختان جوان رقم دزفول زیتون به کائولین و تنش خشکی و درختان بالغ زیتون رقم زرد به کائولین تحت شرایط خاص شهرستان فسا. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

فتوحی قزوینی، ر. و فتاحی مقدم، ج. (۱۳۹٤) پرورش مرکبات در ایران. انتشارات دانشگاه گیلان.

بسرا، آ. اس. و بسرا، آر. ک. (۱۳۸۱) مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. ترجمه کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

محمدی جوارزاری، ع. (۱۳۹۱) برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی کائولین بر شاخص‌های فیزیولوژیک و کمیت و کیفیت خشک میوه بادام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

مظفری‌فرد، م.، راحمی، م. و اصل مشتاق، الف. (۱۳۹٦) اثر کائولین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و آفتاب‌سوختگی پرتقال رقم واشنگتن ناول. علوم و فنون باغبانی ایران ۱۸: ۸۰-٦۷.

موسوی دهموردی، س. ز.، غلامی، م. و بانی‌نسب، ب. (۱۳۹۷) اثر کود ورمی کمپوست بر رشد و تحمل به خشکی نهال‌های زیتون رقم زرد. فرایند و کارکرد گیاهی ۷: ۱۹-۱.

نوحی، ک.، فتاحی، الف. و فاتح، ش. (۱۳۹۱) تأثیر تنش گرمایی بر محصول مرکبات در جنوب ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی ۳: ۲۲-۱۳.

Akbarpour, V., Hemmati, K., Sharifani, M. and Bashiri Sadr, Z. (2010) Multivariate analysis of physical and chemical characteristics in some pomegranate (*Punica granatum*) cultivars of Iran. Food, Agriculture and Environment 8: 244-248.

Akıncı, S. and Lsel, D. M. (2009) The soluble sugars determination in Cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. Advances in Environmental Biology 3: 175-183.

Alizadeh, A. (2008) Principles of Applied Hydrology. University of Emam Reza Press, Mashhad.

Allen, L. H. and Vu, J. V. C. (2009) Carbon dioxide and High temperature effects on growth of young orange tree in a humid, tropical environment. Agricultural and Forest Meteorology 149: 820-830.

Alscher, R. G., Erturk, A. N. D. and Heath, L. S. (2002) Role of superoxide (SODs) in controlling oxidative stress in plants. Journal of Experimental Botany 372: 1331-1341.

Alvarez, H. L., DiBella, C. M., Colavita, G. M., Oricchio, P. and Strachnoy, J. (2015) Comparative effects of kaolin and calcium carbonate on apple fruit surface temperature and leaf net CO_2 assimilation. Applied Horticulture 17: 176-180.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought. Agricultural Research 6: 2026-2032.

Arnon, D. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., Malakouti, M. J. and Arzani, K. (2006) Effect of irrigation methods and balanced fertilization on yield and water use efficiency of citrus in Mazandaran. 27th International Horticultural Congress and Exhibition, Seoul, Korea.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for waterstress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Ben-Rouina, B. and Ben-Ahmed, C. (2006) Water relations, proline accumulation and photosynthetic activity in olive tree (*Olea europaea* L. cv. "Chemlali") in response to salt stress. Pakistan Journal of Botany 38: 1397-1406.

Bernardo, S., Dinis, L. T., Luzio, A., Gl´oria Pinto, M., Valledor, A., Conde, H. and Ger´os, C. M. (2017) Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). Environmental and Experimental Botany 139: 39-47.

Boussadia, O., Mariem, F. B., Mechri, B. and Bousseta, W. (2008) Response to drought of two olive tree cultivars (cv. Koroneki and Meski). Scientia Horticulturae 116: 388-393.

Brillante, L., Belfiore, N., Gaiotti, F., Lovat, L., Sansone, L. and Poni, S. (2016) Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. Public Library of Science since 11: 156-163.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

Carvalho, L., Vidigal, P. and Amancio, S. (2015) Oxidative stress homeostasis in grapevine (*Vitis vinifera L.*). Frontiers in Environmental Science 3: 1-15.

Chabbal, M. D., Piccoli, A. B., Martinez, G. C., Avanza, M. M., Mazza, S. M. and Rodriguez, V. A. (2014) Kaolin applications to control sunburn in 'Okitsu' mandarin. Cultivos Tropicales 35: 50-56.

Chen, C. X., Grosser, J. W., Alovic, P., Serrano, G., Pasquali, J., Gmitter, F. G. and Gmitter, J. R. (2008) Verification of mandarin + pummel somatic hybrids by EST-SSR marker analysis. Journal of American Society Horticultural Science 133: 1-7.

Colavita, G. M., Blackhall, V. and Valdez, S. (2011) Effect of kaolin particle films on the temperature and solar injury of pear fruits. Acta Horticulturae 909: 609-616.

Denaxa, N. K., Roussos, P. A., Damvakaris, T. and Stournaras, V. (2012) Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. Scientia Horticulturae 137: 87-94.

Ennab, H. A., El-Sayed, S. A. and Abo El-Enin, M. M. S. (2017) Effect of kaolin applications on fruit sunburn, Yield and Fruit quality of balady mandarin (*Citrus Reticulata*, Blanco). Agricultural research 2: 129-138.

Farooq, M. W. A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Fereres, E. and Soriano, M. A. (2007) Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Experimental Botany 58: 147-159.

Flexas, J. and Medrano, H. (2002) Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: Stomatal and non stomatal limitation revisited. Annals of Botany 89: 183-189.

Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanega, J. A., Martinez, G., Romero, R., Duran-Zuazo, V. H. and Muriel-Fernandez, J. (2010) Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (*Citrus sinensis* L.) Osbeck, cv. Salustiano. Agricultural Water Management 97: 614-622.

Ghaderi, N., Siosemardeh, A. and Shahoei, S. (2006) The effect of water stress on some physiological characterstics in Rashe and Khoshnove grape cultivars. Acta Horticulturae 754: 317-322.

Gindaba, J. and Wand, S. J. (2007) Do fruit sunburn control measures affect leaf photosynthetic rate and stomatal conductance in 'Royal Gala' apple? Environmental and Experimental Botany 59: 160-165.

Glenn, D. M. and Puterka, G. J. (2005) Particle films: a new technology for agriculture. Horticultural Review 31: 1-44.

Glenn, D. M. (2009) Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in "Empire" apple. American Society for Horticultural Science 134: 314-321.

Glenn, D. M., Cooley, N., Walker, R., Clingeleffer, P. and Shellie, K. (2010) Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. Horticultural Science 45: 1178-1187.

Gomez, M. M., Lagoa, A. M., Medina, C. L., Machado, E. C. and Machado, M. A. (2004) Inter actions between leaf water potential, stomata conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. Plant Physiology 16: 155-161.

Gomes, F. P., Oliva, M. A., Mielke, M. S., Almeida, A. A. F. and Aquino, L. A. (2010) Osmotic adjustment, proline accumulation and membrane stability in leaves of *Cocos nuciera* submitted to drought stress. Scientia Horticulturae 126: 379-384.

Green, D. M., Erez, A. and Puterka, G. J. (2003) Reflective particle films affect photosynthesis and yield in Empire apple. American Society for Horticultural Sciences 128: 175-181.

Guerfel, M., Ouni, Y., Boujnah, D. and Zarrouk, M. (2009) Photosynthesis parameters and activities of enzymes of oxidative stress in two young 'Chemlali' and 'Chetoui' olive trees under water deficit. Photosynthetica 47: 340-346.

Hussain, S., Khalid, M. F., Saqib, M., Ahmad, S. H., Zafar, W., Rao, M. J., Morillon, R. and Anjum, M. A. (2018) Drought tolerance in citrus rootstocks is associated with better antioxidant defense mechanism. Acta Physiologiae Plantarum 40: 135.

IPCC (2007) Climate Change 2007: synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds. Pachauri, R. K. and Reisinger, A.) Pp.104-105. IPCC, Geneva, Switzerland.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*). Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.

Jifon, J. L. and Syvertsen, J. P. (2003) Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. American Society for Horticultural Science 128: 107-112.

Khalil, S. E. (2006) Physiological study on sesame plants grown under saline water irrigation condition. PhD thesis, Cairo University, Egypt.

Khalil, S. E., Hussein, M. M., Silva, T. (2012) Roles of antitranspirants in improving growth and water relations of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

Jatropha curcas L. grown under water stress condition. Plants stress 6: 49-54.
Krasensky, J. and Jonak, C. (2012) Drought, salt and temperature stress induced metabolic rearrangements and regulatory networks. Journal of Experimental Botany 63: 1593-1608.
Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.
Lisar, S. Y. S., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M. and Rahman, I. (2012) Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses Water Stress. (eds. Ismail, M. d. and Mofizur, R.)
Lombardini, L., Harris, M. K. and Glenn, D. M. (2005) Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in pecan trees. Horticultural Science 40: 1376-1380.
Machado, E. C., Medina, C. L., Gomes, M. M. A. and Habermann, G. (2002) Seasonal variation of photosynthetic rates, stomatal conductance and leaf water potential in 'Valencia' orange trees. Scientia Agricola 59: 53-58.
Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. A. and Panneerselvam, R. (2007) Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces: 59: 141-149.
Melgarejo, P., Martınez, J., Hernandez, F., Martınez-Font, R., Barrows, P. and Erez, A. (2004) Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. Scientia Horticulturae 100: 349-353.
Mills, T. M., Clothier, B. E. and Behboudian, M. H. (1997) Water relations of Braeburn apple fruit grown under deficit irrigation. Acta Horticulturae 446: 385-392.
Miranda, C., Arzoz, E., Santesteban, L., Laquidain, M., Gonzales, J. and Royo, J. (2007) Efecto de la aplicacion de caolin sobre la temperatura de las hojas en naranjo (*Citrus sinensis*) y peral (*Pyrus communis*). Acta Horticulture 48: 434-437.
Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Annual Review of Plant Science 7: 405-415.
Moghimi, M. M. and Sepaskhah, A. R. (2014) Consideration of water productivity for farm water management in different conditions of water availability for dominant summer crops. Iran Agricultural Research 33: 47-62
Palou, L., Intrigliolo, D. S., Nortes, P. S., Rojas-Argudo, C., Taberner, V., Bartual, J. and Perez-Gago, M. B. (2013) Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomegranate cv. Mollar de Elche at harvest and during cold storage. Agricultural Water Management 125: 61-70.
Piskolczi, M., Varga, C. and Racsko, J. (2004) A review of the meteorological causes of sunburn injury on the surface of apple fruit (*Malus domestica*). Fruit and Ornamental Plant Research 12: 245-252.
Puterka, G. J., Glenn, D. M., Sekutwski, D. G., Unruh, T. R. and Jones, S. K. (2002) Progress toward liquid formulations of particle films for insect and disease control in pear. Environmental Entomology 29: 329-339.
Reddy, A. R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Plant Physiology 161: 1189-1202.
Rodriguez, P., Mellisho, C. D., Conejero, W., Cruz, Z. N., Ortuno, M. F., Galindo, A. and Torrecillas, A. (2012) Plant water relations of leaves of pomegranate trees under different irrigation conditions. Environment 77: 19-24.
Rosati, A., Metcalf, S., Buchner, R., Fulton, A. and Lampinen, B. (2006) Physiological effects of kaolin in well-irrigated and water-stressed walnut and almond tree. Annals of Botany 98: 267-275.
Saour, G. and Makee, H. (2003) Effects of kaolin particle film on olive fruit yield, oil content and quality. Advances in Horticultural Science 17: 204-206.
Saour, G. (2006) Morphological assessment of olive seedling treated with kaolin- based particle film and bistimulant. Advances in Horticultural Science 20: 1-5.
Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradsteet, E. D. and Hemmingsen, E. A. (1965) Sap pressure in vascular plants. Science 148: 339-346.
Shellie, K. and Glenn, M. (2008) Wine grape response to foliar particle film under differing levels of preveraison water stress. Hortscience 43: 1392-1397.
Shellie, K. and King, B. A. (2013) Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence on Malbec leaf and berry temperature pigments, photosynthesis. Enology and Viticulture 64: 223-230.
Sheng Wu, Q., Ning Zou, Y. and Xue Xia, R. (2006) Effect of water stress and arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tangerine*) roots. Europian Journal of Soil Biology 42: 166-172.
Sircelj, H., Tausz, M., Gill, D. and Batic, F. (2007) Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. Scientia Horticulturae 113: 362-369.
Spiers, J. D., Matta, F. and Marshall, D. A. (2003) Effects of kaolin clay particles film on southern highbush (*Vaccinium corymbosum* L.) blueberry plants. Small Fruits Review 2: 29-36.
Thomas, A. L., Muller, M. E., Dodson, B. R., Ellersieck, M. R. and Kaps, M. (2004) Kaolin-based particle film suppresses certain insect and fungal pests while reducing heat stress in apples. Journal American Pomological Society 58: 42-52.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

Walid, M. A. R., Radwan, Y., AjoMalak, M., AngorTareq, O., Nabeel, M. and Bani-Hani, J. (2012) Impact pf different irrigation level and harvesting periods on the quantity and quality of navel oranges (*citrus sinensis*) and fruit juice. Food, Agriculture and Environment 10: 115-119.

Wang, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D. and Zou, J. (2011) Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. Plant Growth Regulation 64: 63-74.

Weatherley, P. E. (1950) Studies in water relations of cotton plants. I. The field measurement of water deficits in leaves. New Phytology 49: 8197.

Yazici, K. and Kaynak, L. (2009) Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn damage in pomegranate (*Punica granatum* L.cv. Hicaznar). Acta Horticulturae 818: 181-186.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]

Effect of kaolin on yield, water use efficiency and physiological and biochemical responses of *Page Mandarin* (*Citrus reticulate*) under moisture stress

Zeinab Rafie-Rad [1], Ahmad Golchin*[1], Yahya Tajvar [2], Javad Fattahi Moghadam [2]

[1] Department of soil science, college of agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
[2] Department of plant breeding, Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center of Ramsar, Ramsar, Iran
(Received: 22/08/2018, Accepted: 12/07/2019)

Abstract

With respect to arid and semi-arid climatic conditions of the country, it is important to apply appropriate management methods in order to increase yield and water use efficiency. For this purpose, the effect of kaolin with three levels (0, 5 and 7 percent) and with three levels of moisture condition (100, 75 and 50 percent of field capacity) on page mandarin as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was evaluated in 2017 at the Citrus and Subtropical Fruits Research Center of Ramsar. The results showed that under moisture stress, fruit yield, water use efficiency, chlorophyll a and total contents, the relative water content of leaves, leaf water potential, and stomatal conductance were decreased significantly. While kaolin application increased the total soluble solids, fruit yield, and water use efficiency it decreased the proline content, carbohydrates, leaf surface temperature, stomatal conductance, superoxide dismutase activity, and fruit sunburn significantly. Also, in the treatment of 50% of field capacity, 5% Kaolin application, increased fruit yield (91%), chlorophyll *a* (70), total chlorophyll (52%), leaf relative water content (76%), stomatal conductivity (87%) and leaf water potential (19%) compared to the treatment without applying kaolin. Therefore, kaolin application in summer with severe moisture stress conditions (50% field capacity), are recommended to create a positive effect on the reduction of production of reactive oxygen species resulting from of oxidative stress, reduction of fruit sunburn, the increase of fruit yield and water use efficiency.

Key words: Fruit sunburn, Leaf surface temperature, Proline, Stomatal conductance, Superoxide dismutase activity

Corresponding author, Email: agolchin2011@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-19]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.17.7]