تأثیر محلول‌پاشی کائولین، فسفر و پتاسیم بر میزان فتوسنتز و برخی شاخص‌های آن در گیاه پسته رقم کله‌قوچی

هدیه کدخدا و محمدحسین شمشیری*

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱)

چکیده

در یک آزمایش باغی در سال ۱۳۹۵، اثرات کاربرد برگی کائولین، پتاسیم و فسفر و ترکیب‌های مختلف آنها بر پارامترهای فتوسنتزی، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو فاکتور (فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی در ده سطح و فاکتور دوم زمان‌های نمونه‌برداری در پنج سطح) روی درختان هشت‌ساله پسته رقم کله‌قوچی مورد تحقیق قرار گرفت. تیمارهای محلول‌پاشی شامل کائولین پنج درصد، فسفر در دو غلظت (یک و دو درصد)، پتاسیم در دو غلظت (یک و نیم و سه درصد)، کائولین پنج درصد + فسفر یک درصد، کائولین پنج درصد + فسفر دو درصد، کائولین پنج درصد + پتاسیم یک و نیم درصد، کائولین پنج درصد + پتاسیم سه درصد و شاهد (محلول‌پاشی با آب‌مقطر) بودند. کاربرد برگی تیمارهای بالا در اوایل تیرماه، هم‌زمان با آغاز رشد جنین (حداکثر نیاز فتوسنتزی درخت) انجام شد. پارامترهای فتوسنتزی (نرخ فتوسنتز و تعرق، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیرروزنه)، پارامترهای فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm و PI) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، مجموع کلروفیل و مجموع کارتنوئیدها) در پنج مرحله اندازه‌گیری شدند (مرحله اول یک روز پس از محلول‌پاشی و مراحل بعد هر یک به فاصله یک هفته). نتایج نشان داد که هیچ یک از پارامترهای فتوسنتزی بجز غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه نسبت به تیمار شاهد تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار نگرفت در حالیکه شاخص‌های فلورسانس کلروفیل تحت تأثیر تیمارهای کائولین بهبود یافت و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تحت تأثیر اکثر تیمارهای آزمایش افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که با گذشت زمان نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای افزایش و غلظت CO_2 زیرروزنه کاهش یافت. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز با گذشت زمان افزایش یافت. در مجموع تأثیر تیمارهای این آزمایش بر پارامترهای فتوسنتزی درختان پسته کمتر از حد مورد انتظار بود.

کلمات کلیدی: پتاسیم، پسته، فتوسنتز، فسفر، کائولین

مقدمه

پسته یکی از محصولات مهم باغبانی کشور است که از جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. به‌دلیل شرایط مناسب اقلیمی، پسته ایران دارای مرغوبیت بالایی بوده و از نظر کیفیت بین رقبای خارجی خود کم‌نظیر است (Hokmabadi *et al.*, 2005). مشکلات مربوط به شوری و کم‌آبی حاشیه کویر و خشکسالی‌های اخیر سبب کاهش قابل توجه عملکرد و تولید پسته در کشور شده

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: shamshiri88@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

است (Hokmabadi *et al*., 2005).

تنش‌های محیطی شامل تنش شوری، خشکی، گرما، عدم‌تأمین نیاز سرمایی و شدت تابش بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر گذاشته و عملکرد را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهند (Heidari and Jamshidi, 2011). بنابراین با توجه به اینکه مناطق پسته‌کاری ایران معمولاً در مناطق گرم و خشک و دارای شدت نور بالا واقع شده‌اند، عملکرد کمی و کیفی درخت پسته به‌شدت تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد. فتوسنتز یکی از فرایندهای اساسی و ضروری گیاه است که در شرایط تنش گرما، تشعشع بالا، خشکی و شوری به‌شدت کاهش یافته و درنتیجه تولید ماده آلی طی فرایند فتوسنتز کاهش می‌یابد (Wolpert and Ferguson, 1990; Sajjadinia *et al*., 2010) که در پسته سبب تشدید سال‌آوری و درنهایت کاهش عملکرد می‌شود (Vemmos, 2010).

به‌طور کلی در شرایط تشعشع و دمای بالا و کاهش فشار بخار هوا، آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن به‌شدت کاهش می‌یابد (Gosavi *et al*., 2014; Lipova *et al*., 2010; Li *et al*., 2002). افزایش تشعشع سبب افزایش دمای برگ نسبت به دمای محیط شده که این افزایش دما منجر به افزایش اختلاف فشار بخار آب درون برگ نسبت به اتمسفر می‌شود و درنتیجه، تعرق افزایش می‌یابد که با ادامه آن، طی مکانیسم‌هایی روزنه‌ها بسته شده و تبادلات گازی کاهش می‌یابد (Jones, 1992; Evans *et al*., 1998). دمای بالا علاوه بر اینکه میزان فتوسنتز برگ را کاهش می‌دهد، سبب آسیب به دستگاه فتوسنتزی و درنتیجه پیری برگ می‌گردد (Buchner *et al*., 2015; Makino *et al*., 1994). فتوسیستم II در واکنش‌های نوری فتوسنتز جز حساس‌ترین قسمت‌های دستگاه فتوسنتزی نسبت به گرما و شدت بالای تابش نور است که با آسیب آن، انتقال الکترون در واکنش‌های نوری فتوسنتز دچار اختلال شده و درنهایت کارایی دستگاه فتوسنتز با مشکل مواجه و رادیکال‌های آزاد در گیاه تولید می‌شود که در صورت ادامه تنش، پیری و مرگ برگ را به‌همراه دارد (Ducruet *et al*., 2007; Eggink *et al*., 2001). بنابراین حفظ یا افزایش کارایی فتوسنتز طی فصل رشد می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد کمی و کیفی باغات پسته در کشور داشته باشد. در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای کاهش گرما و تشعشعات خورشید در باغات میوه نظیر استفاده از سیستم آبیاری بارانی (Schrader *et al*., 2001) یا استفاده از سایبان (Widmer, 2000) به‌کار گرفته شده است ولی با توجه به مشکل کم‌آبی و عدم‌سازگاری درخت پسته با شرایط رطوبت نسبی بالا روش اول غیر ممکن و روش دوم نیز بسیار هزینه است. کاربرد برخی مواد ریز بازتابنده نور روی تاج درخت که سبب بازتابش نورخورشید شده و در پی آن دمای برگ را کاهش دهد (۲-٦ درجه سلسیوس) نیز مورد آزمون قرار گرفته است (Rosati *et al*., 2006; Lombardini *et al*., 2005).

کائولین نوعی رس سفیدرنگ خنثی و بی‌اثر است. این ماده در دامنه وسیعی از pH خنثی است و به‌صورت مستقیم تأثیر بدی بر موجودات زنده ندارد (Rosati *et al*., 2006b). از کائولین در باغبانی برای اولین بار برای جلوگیری از آفتاب سوختگی سیب استفاده گردید (Glenn *et al*., 2003). همچنین از کائولین برای ممانعت از آفتاب سوختگی میوه انار نیز استفاده شده است (Melgarejo *et al*., 2004). گزارشاتی نیز مبنی بر تأثیر کائولین بر کاهش خسارت آفات مکنده روی گیاهان وجود دارد (Glenn and Puterka, 2005; Showler and Armstrong, 2007). همچنین کاربرد کائولین سبب افزایش کارایی فتوسنتز و آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن درختان گریپ فروت گردیده است (Jifon and Syvertsen, 2003). کاربرد کائولین در شرایط تنش خشکی سبب افزایش رنگیزه‌های کلروفیل و کاهش فلورسانس کلروفیل برگ درختان زیتون شده است (Khaleghi *et al*., 2014). در همین رابطه، کلروفیل برگ ارقام زیتون که با کائولین تیمار شده بودند از مقدار بیشتری نسبت به گیاهان تیمارنشده برخوردار بودند (Saour, 2005).

تنش‌های شوری، خشکی و همچنین pH بالا از مشکلات اساسی مناطق پسته‌کاری ایران بوده که عملکرد پسته را به‌طور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

چشم‌گیری کاهش داده است. نتیجه این تنش‌ها اغلب به‌صورت کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک (تنش اسمزی)، اثرهای سمی برخی از یون‌ها، عدم‌تعادل در جذب برخی از عناصر غذایی یا مجموعه این عوامل پدیدار می‌شود .(Khan *et al*., 2009) که حاصل آن افزایش نیاز داخلی گیاه برای برخی از عناصر از قبیل فسفر و پتاسیم است (Hu and Schmidhalter, 2005; Raghami *et al*., 2016). با توجه به نقش عناصر پتاسیم و فسفر در بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی و همچنین فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، کاهش این عناصر در گیاه رشد و عملکرد را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Khan *et al*., 2009). یکی از راهکارهایی که برای رفع کمبود این عناصر در گیاهان به‌کار گرفته شده است، تغذیه برگی گیاهان با محلول‌های حاوی این عناصر است.

با توجه به مطالب فوق مبنی بر شرایط نامطلوب جوی (گرما و تشعشع بالا) و خاکی (شوری، خشکی و pH بالا) مناطق پسته‌کاری کشور، کاهش محصول و همچنین افزایش سالآوری پسته به‌دلیل کاهش فتوسنتز و سایر فعالیت‌های متابولیکی گیاه امری اجتناب‌ناپذیر است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات کاربرد توأم کائولین، فسفر و پتاسیم بر فعالیت و راندمان دستگاه فتوسنتزی درختان پسته در طول فصل تابستان اجرا گردید با این فرض که ایجاد پوشش کائولین بر روی برگ علاوه بر اینکه سبب ایجاد محدودیت در فتوسنتز نمی‌شود بلکه با کاهش دمای برگ سبب حفظ رطوبت درونی درخت می‌گردد و کاربرد برگی عناصر فسفر و پتاسیم می‌تواند موجب افزایش فتوسنتز گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو فاکتور (فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی در ده سطح و فاکتور دوم زمان‌های نمونه‌برداری در پنج سطح) روی درختان هشت‌ساله پسته رقم کله‌قوچی در سال‌آور (on) طی فصل تابستان سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. بدین منظور ۳۰ درخت رقم کله‌قوچی با شرایط یکسان انتخاب و چهار شاخه در جهات اصلی هر درخت اتیکت زده شد. برای محلول‌پاشی درختان از کائولین در دو غلظت (صفر و پنج درصد)، پتاسیم در سه غلظت (صفر، یک و نیم و سه درصد با استفاده از پتاسیم سولفات) و فسفر در سه غلظت (صفر، یک و دو درصد با استفاده از نانو کود کلات فسفر ۱۷ درصد شرکت خضرا) مطابق با شرح جدول ۱ استفاده گردید.

محلول‌پاشی در اوایل تیرماه سال ۱۳۹۵ همزمان با پایان مرحله دوم رشد میوه و آغاز رشد جنین (حداکثر نیاز فتوسنتزی درخت) انجام شد. در محلول‌پاشی‌های انجام‌شده تمامی نکات فنی (ساعت محلول‌پاشی، میزان محلول‌پاشی، استفاده از سورفکتانت و غیره) مورد توجه بود. اندازه‌گیری فعالیت فتوسنتزی درختان در پنج مرحله انجام شد به‌طوریکه مرحله نخست آن یک روز پس از محلول‌پاشی و چهار مرحله بعدی هر یک به فاصله یک هفته انجام گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی: به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی از دستگاه سنجش فتوسنتز (LCpro-SD, ADC, UK) استفاده گردید. برای اندازه‌گیری ابتدا یکی از برگ‌های بالغ قسمت‌های میانی شاخه در نظر گرفته شد و پهنک برگچه انتهایی آن درون محفظه دستگاه قرار گرفت به‌طوریکه سطح درونی محفظه را کاملاً بپوشاند. پس از ثابت‌شدن نوسانات ابتدایی در تبادلات گازی درون محفظه، رکوردگیری در فواصل زمانی یک دقیقه در پنج نوبت انجام شد. درنهایت از رکوردهای ثبت‌شده برای هر برگ میانگین گرفته شد و برای هر درخت (به‌عنوان یک تکرار) از میانگین‌های ثبت‌شده برای چهار شاخه در جهات اصلی درخت میانگین گرفته شد. پارامترهای فتوسنتزی شامل شدت فتوسنتز، A (میکرومول CO_2 در مترمربع در ثانیه)، تعرق، E (میلی‌مول H_2O در مترمربع در ثانیه)، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای، Ci (میکرومول CO_2 بر مول) و هدایت روزنه‌ای، gs (مول CO_2 در مترمربع در ثانیه) بود.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل: برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلوریمتر (Pocket PEA,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

جدول ۱- شرح تیمارهای آزمایش شامل غلظت و ترکیب های مختلف کانولین، فسفر و پتاسیم

Treatment	تیمار	کد اختصاری تیمار
Control	شاهد (محلول‌پاشی با آب‌مقطر)	-
Kaolin 5%	کائولین ۵ درصد	$Kao_{5\%}$
Phosphorus 1%	فسفر ۱ درصد	$P_{1\%}$
Phosphorus 2%	فسفر ۲ درصد	$P_{2\%}$
Potassium 1.5%	پتاسیم ۱/۵ درصد	$K_{1.5\%}$
Potassium 3%	پتاسیم ۳ درصد	$K_{3\%}$
Kaolin 5% + Potassium 1.5%	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	$Kao_{5\%} + K_{1.5\%}$
Kaolin 5% + Potassium 3%	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	$Kao_{5\%} + K_{3\%}$
Kaolin 5% + Phosphorus 1%	کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	$Kao_{5\%} + P_{1\%}$
Kaolin 5% + Phosphorus 2%	کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	$Kao_{5\%} + P_{3\%}$

Hansatech, UK) استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را براساس پارامترهای F_v/F_m و PI ثبت نمود. روش کار بدین صورت بود که از همان برگی که برای اندازه‌گیری فتوسنتز استفاده شد برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل نیز استفاده گردید. ابتدا برگچه انتهایی در گیره مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به‌مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و پس از این مدت میزان فلورسانس کلروفیل ثبت گردید.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی: میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و مجموع کارتنوئیدها با نمونه‌گیری از برگ‌های اشاره‌شده در بالا و عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری گردید. برای این کار ابتدا نمونه‌های برگی در فویل آلومینیومی پیچیده شد و پس از قراردادن بر روی یخ، به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به‌صورت مخلوط یکنواختی در آید، سپس نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند، در مرحله بعد میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T80, PG Instruments Ltd, UK) در طول‌موج‌های ٦٤٦/٦، ٦٦٣/٦ و ٤٧٠ نانومتر خوانده شد. درنهایت غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Porra, 2002):

Chl_{total} (mg/gfw) = [(17/76 × OD646.6) + (7/37× OD663.6)] × [V/W]

Chl_{a} (mg/gfw) = [(12.25 × OD663.6) - (2/55 × OD646.6)] × [V/W]

Chl_{b} (mg/gfw) = [(20/31 × OD646) - (4/91 × OD663.9)] × [V/W]

Car (mg /gfw) = ([(1000 × OD470) - (3/27 × Chla)]-104[Chl b]) × [5.227×0.25]

OD: میزان جذب خوانده‌شده، V: حجم استون مصرف‌شده، W: وزن تر نمونه (گرم).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه‌ی ٩/٤ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، محلول‌پاشی‌های انجام‌شده تأثیر معنی‌داری بر نرخ فتوسنتز و تعرق نداشت در حالیکه هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای تحت تأثیر این تیمارها قرار گرفت. همچنین زمان‌های نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای فتوسنتزی داشت در حالیکه برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی و زمان‌های نمونه‌برداری بر هیچ یک از این پارامترها تأثیری نداشت. براساس نتایج مقایسه میانگین در جدول ۳، تیمارهای محلول‌پاشی تأثیری بر نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای فتوسنتزی درختان پسته رقم کله-قوچی تحت تأثیر محلول‌پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		دی‌اکسید کربن زیرروزنه	تعرق	هدایت روزنه‌ای	نرخ فتوسنتز
بلوک (B)	۲	۳۲۸۰ ns	۳/٤۰٥ ns	۰/۰۰۰٥ ns	۳۳/۷۱ *
تیمار (T)	۹	۹۷۸ *	۳/٤۸٦ ns	۰/۰۰۳ *	۱۳/٥۹ ns
زمان نمونه‌برداری (ST)	٤	۲۷٦۳ **	۱۰/٥۲۰ *	۰/۰۰٤ *	٥۱/۷۱ **
ST × T	۳٦	۷۰٤ ns	۱/۹٤۳ ns	۰/۰۰۹ ns	۹/۳۷ ns
خطا	۹۸	٦٤۷/۱۸	۳/٥۹۲	۰/۰۰۱	۱۰/۲٦٦
ضریب تغییرات		۱۲/۲۰	۳/٦۹	۲/٦	۸/۳٦

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.**

جدول ۳- اثر ترکیب‌های مختلف کائولین، پتاسیم و فسفر بر پارامترهای فتوسنتزی درختان پسته رقم کله‌قوچی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

تیمارها	دی‌اکسید کربن زیر روزنه (Ci) ($\mu mol\ CO_2\ .mol^{-1}$)	تعرق (E) ($mol\ H_2O.\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (gs) ($mol\ H_2O.\ m^{-2}\ s^{-1}$)	شدت فتوسنتز (A) ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)
شاهد (آب‌مقطر)	۲۲٦/۸٦ ± ۷/۳۱ a	٦/۷۸۸ ± ۰/٤۸ a	۰/۱٦٦ ± ۰/۰۱۲ a	۱۱/۰٤ ± ۱/۰۳ ab
کائولین ٥ درصد	۲۰۷/۰٥ ± ۸/۳۲ b	۸/۱۳۸ ± ۰/٤۲ a	۰/۱٦٥ ± ۰/۰۰٦ a	۱۲/۱٥ ± ۰/۷۲ a
فسفر ۱ درصد	۱۹۹/۹۲ ± ۷/۳۳ b	۸/۳۹۲ ± ۰/۳٥ a	۰/۱٦۱ ± ۰/۰۱۰ a	۱۲/٤۷ ± ۰/۹۷ a
فسفر ۲ درصد	۲۰۳/۰۱ ± ٥/٤۲ b	۸/٥۲۷ ± ۰/٤۷ a	۰/۱٥۷ ± ۰/۰۰۹ a	۱۲/۰۲ ± ۰/۷۹ ab
پتاسیم ۱/٥ درصد	۲۱٤/۲۲ ± ۱۱/۷ ab	۸/۰۷٦ ± ۰/٤٥ a	۰/۱٤۱ ± ۰/۰۰۹ ab	۱۰/٦۹ ± ۱/۱۳ ab
پتاسیم ۳ درصد	۲۰۸/٦۷ ± ٦/۳٦ ab	۷/۷۲٦ ± ۰/٦۱ a	۰/۱۲۰ ± ۰/۰۱۰ b	۹/۳۲ ± ۰/۸۸ b
کائولین ٥ درصد + پتاسیم ۱/٥ درصد	۲۰۰/۹۱ ± ٦/٦۲ b	۷/۹۹٥ ± ۰/٥۷ a	۰/۱٥۲ ± ۰/۰۱۱ a	۱۱/۹۸ ± ۱/۰۸ ab
کائولین ٥ درصد + پتاسیم ۳ درصد	۲۱۳/۸۰ ± ٥/۳٦ ab	۷/۹۲٦ ± ۰/٤۷ a	۰/۱٤۳ ± ۰/۰۰۷ ab	۱۰/٤٥ ± ۰/٦۱ ab
کائولین ٥ درصد + فسفر ۱ درصد	۲۰٦/۳٤ ± ٤/۱٤ b	۸/۲۱۷ ± ۰/٤۰ a	۰/۱٥۱ ± ۰/۰۰٦ a	۱۱/٤٤ ± ۰/٥۷ ab
کائولین ٥ درصد + فسفر ۲ درصد	۲۰۳/۹٥ ± ٦/٤۰ b	۸/۱۹٥ ± ۰/٤۳ a	۰/۱٤۸ ± ۰/۰۰۸ a	۱۱/۳۷ ± ۰/۸۱ ab
مرحله ۱	۲۱۸/۹٦ ± ٥/۷۹ a	۷/٤۳٦ ± ۰/۳٤ a	۰/۱٤۷ ± ۰/۰۰۸ b	۱۰/۲٥ ± ۰/۷۰ c
مرحله ۲	۲۱۸/۷۲ ± ٤/٦۱ a	۸/۰۰۸ ± ۰/۲۹ ab	۰/۱۳۸ ± ۰/۰۰٥ b	۹/۹۱ ± ۰/٥٦ c
مرحله ۳	۲۰۲/۰٦ ± ٤/۲۷ b	۸/٥۳۰ ± ۰/٤۲ b	۰/۱٤٤ ± ۰/۰۰۷ b	۱۱/۱٥ ± ۰/٦۲ bc
مرحله ٤	۱۹۹/۱۲ ± ٤/۲٦ b	۸/٤٦۲ ± ۰/۲٥ b	۰/۱٦۹ ± ۰/۰۰٦ a	۱۳/۱۱ ± ۰/٥٥ a
مرحله ٥	۲۰۳/٤۹ ± ٥/۳۹ b	۷/۳۷٤ ± ۰/۳۰ b	۰/۱٥٦ ± ۰/۰۰٥ ab	۱۲/۰٥ ± ۰/٥۲ ab

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال ٥ درصد ندارند.

نداشت در حالیکه به‌عنوان نمونه در تیمارهای $Kao_{5\%}$، $P_{1\%}$، $P_{2\%}$، $Kao_{5\%} + K_{1.5\%}$ سبب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای گردید. زمان نمونه‌برداری بر تمام پارامترهای فتوسنتزی تأثیر معنی‌دار داشت به‌طوریکه نرخ فتوسنتز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر بر مقدار شاخص‌های فلورسانس کلروفیل درخت پسته در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		F_v/F_m نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر	PI کارایی دستگاه فتوسنتز
بلوک (B)	۲	۰/۰۰۹ *	۵۸/۷۷۵ ns
تیمار (T)	۹	۰/۰۰۵ *	۸۳/٦۰۷ **
زمان نمونه‌برداری (ST)	٤	۰/۰۰۵ **	٤۵/٤۱ ns
ST × T	۳٦	۰/۰۰۲ ns	۱٦/۳۷۳ ns
خطا	۹۸	۰/۰۰۳	۳۲/٤٤۷
ضریب تغییرات		٦/٦٤	۱۸/۹۵

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.**

هدایت روزنه‌ای از نمونه‌برداری چهارم (سه هفته پس از محلول‌پاشی) افزایش یافت و میزان تعرق و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای از نمونه‌برداری سوم (دو هفته پس از محلول‌پاشی) به‌ترتیب افزایش و کاهش نشان داد که این تغییرات از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

براساس نتایج جدول‌های ٤ و ٦ اثر تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اندازه‌گیری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) داشت در حالیکه اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان اندازه‌گیری تأثیری بر مقدار این صفات بجز کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد نداشت. نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که کاربرد توأم کائولین، پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوسنتزی گردید. بیشترین مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) در تیمار Kao 5% + K 3% مشاهده شد، به‌طوریکه مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، شاخص F_v/F_m و PI درختانی که با این تیمار محلول‌پاشی شده بودند به‌ترتیب حدود ۳۸، ٤۸، ۸، ٦ و ۲۰ درصد نسبت به درختان شاهد بیشتر بود (جدول ۵ و ۷). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها همچنین نشان داد که با افزایش فاصله زمانی اندازه‌گیری صفات مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، شاخص (Fv/Fm) و (PI) افزایش یافت و در مرحله آخر یک روند ثابتی را داشت به‌طوریکه تفاوت معنی‌داری بین مرحله چهار نمونه‌برداری با مرحله ۵ از لحاظ پارامترهای مذکور مشاهده نشد (جدول ۵ و ۷).

نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که محلول‌پاشی توأم کائولین، پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار کلروفیل a برگ در تمام زمان‌های نمونه‌گیری گردید ولی بیشترین مقدار کلروفیل a برگ در مرحله چهارم نمونه‌گیری در درختانی که با Kao 5% + K 3% تیمار شده بودند مشاهده گردید (جدول ۸).

بحث

فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرآیندهای گیاهی است که با خروج لپه‌ها از بذر و تولید برگ شروع می‌شود و با استفاده از دی‌اکسید کربن، مواد آلی لازم برای رشد و همچنین سوخت و ساز گیاه را فراهم می‌کند (Glenn *et al.*, 1999). هر عاملی در طی فصل رشد بر فتوسنتز تأثیر سو داشته باشد در واقع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

جدول ۵- تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل درختان پسته رقم کله‌قوچی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

تیمارها	F_v/F_m نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر	PI کارایی دستگاه فتوسنتز
شاهد (آب‌مقطر)	۰/۷۵ ± ۰/۰۱٤ c	۷/۷٤ ± ۱/٦٤ c
کائولین ۵ درصد	۰/۸۰ ± ۰/۰۰٦ a	۱٤/۹۵ ± ۱/۸٤ ab
فسفر ۱ درصد	۰/۷۵ ± ۰/۰۱۵ c	۸/۲۲ ± ۱/٦۵ c
فسفر ۲ درصد	۰/۷٦ ± ۰/۰۱۹ bc	۹/۹۸ ± ۰/۸۳ bc
پتاسیم ۱/۵ درصد	۰/۷۸ ± ۰/۰۰۹ bc	۸/۳۲ ± ۱/۲۰ c
پتاسیم ۳ درصد	۰/۷۷ ± ۰/۰۱۸ bc	۱۰/۳۰ ± ۱/۵۲ bc
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	۰/۷۸ ± ۰/۰۰۸ ab	۱۱/۰۳ ± ۱/۰۹ ab
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	۰/۷۹ ± ۰/۰۱٤ a	۱۲/۰۵ ± ۱/۰۳ ab
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	۰/۷۹ ± ۰/۰۰۷ a	۱۳/٦۰ ± ۱/٤٦ ab
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	۰/۸۰ ± ۰/۰۰٦ a	۹/۹٤ ± ۱/۲٦ c
مرحله ۱	۰/۷٦ ± ۰/۰۰٦ b	۸/٦۳ ± ۰/۹۲ c
مرحله ۲	۰/۷٦ ± ۰/۰۱۰ b	۱۰/۵۲ ± ۱/۱۷ b
مرحله ۳	۰/۷۸ ± ۰/۰۱۲ a	۱۰/٦٤ ± ۱/۰۲ b
مرحله ٤	۰/۷۹ ± ۰/۰۰۵ a	۱۱/۷۱ ± ۰/۷۸ a
مرحله ۵	۰/۷۷ ± ۰/۰۱۰ a	۱۱/۵٦ ± ۱/۲۰ a

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ درخت پسته در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئیدها
بلوک (B)	۲	۱۲/۱٤۳ *	۰/۱۵٤ **	۱۲/۷٦۷ **	۰/۰۳۹ ns
تیمارها (T)	۹	۲/۹۸٦ **	۰/۰٦۳ **	۲/۷۱۱ **	۰/۰۱٦ **
زمان نمونه‌برداری (ST)	٤	۰/٦٤۵ **	۰/۵٤۰ **	۲/۰۵۱ **	۰/۰۳۹ **
ST × T	۳٦	۰/۰۱۸ **	٦/٤۹ ns	۰/۰۱۸ ns	۲/٦۲ ns
خطا	۹۸	۰/۹۰	۰/۰۱۲	۰/۱۰۰	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات		۹/۲۷	۸/۹۹	۲٦/۱۳	۸/٦۲

*** و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.**

کارخانه تولید و ذخیره‌سازی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و درنهایت سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Jifon and Syvertsen, 2003). عوامل متعددی نظیر تشعشع، گرما، کمبود عناصر غذایی، سمیت عناصری نظیر سدیم و کلر در طی فصل رشد سبب تغییر در فرایند فتوسنتز و درنهایت کاهش آن می‌شوند (Jones, 1992). معمولاً در شرایط تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

جدول ۷- تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی درختان پسته رقم کله‌قوچی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

تیمارها	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$ fw)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$ fw)	کارتنوئیدها ($mg.g^{-1}$ fw)
شاهد (آب‌مقطر)	۲/۸۸ ± ۰/۰۴۲ e	۸/۱۹ ± ۰/۱۵ e	۱/۰۹ ± ۰/۰۲۰ d
کائولین ۵ درصد	۳/۹۵ ± ۰/۰۴۱ a	۱۱/۵۳ ± ۰/۱٤ a	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۱ bc
فسفر ۱ درصد	۳/۱۲ ± ۰/۰٤٤ cd	۹/٤٥ ± ۰/۱۳ d	۱/۰۹ ± ۰/۰۲۲ d
فسفر ۲ درصد	۳/۱٤ ± ۰/۰٤۳ c	۹/٦۳ ± ۰/۱٤ cd	۱/۱۲ ± ۰/۰۲۱ cd
پتاسیم ۱/۵ درصد	۳/۱۱ ± ۰/۰٤۱ d	۹/٤٤ ± ۰/۱۳ d	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۰ bc
پتاسیم ۳ درصد	۳/۲۲ ± ۰/۰۳۹ c	۹/۸۰ ± ۰/۱٤ cd	۱/۰۹ ± ۰/۰۱۹ d
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	۳/۳۵ ± ۰/۰٤۲ b	۱۰/۱۹ ± ۰/۱۵ bc	۱/۱۲ ± ۰/۰۲۰ cd
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	٤/۰۱ ± ۰/۰٤۱ a	۱۲/۱۸ ± ۰/۱٦ a	۱/۱۷ ± ۰/۰۲۱ a
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	۳/۳۳ ± ۰/۰٤۱ bc	۱۰/۱۲ ± ۰/۱٤ bc	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۰ bc
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	۳/۱۲ ± ۰/۰٤۰ cd	۱۱/۰۳ ± ۰/۱٦ cd	۱/۱٦ ± ۰/۰۱۹ abc
مرحله ۱	۳/۰۳ ± ۰/۰۲۵ c	۷/۸۱ ± ۰/۱۳ d	۱/۰٦ ± ۰/۰۱۲ d
مرحله ۲	۳/۳۵ ± ۰/۰۲٤ b	۸/۷٦ ± ۰/۱۵ c	۱/۰۷ ± ۰/۰۱۱ d
مرحله ۳	۳/۳۷ ± ۰/۰۲۳ b	۱۰/۷۹ ± ۰/۱۲ b	۱/۱۳ ± ۰/۰۱۱ c
مرحله ٤	۳/۵۵ ± ۰/۰۲۰ a	۱۱/۸۲ ± ۰/۰۹ a	۱/۱۷ ± ۰/۰۱۰ b
مرحله ۵	۳/٤۰ ± ۰/۰۱٤ ab	۱۱/۱۰ ± ۰/۰۷ ab	۱/۲۲ ± ۰/۰۰۷ a

ستون دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۸- تأثیر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر غلظت کلروفیل a ($mg.g^{-1}$ fw) درختان پسته رقم کله‌قوچی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

تیمارها	مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	مرحله ٤	مرحله ۵
شاهد (آب‌مقطر)	۳/٤۳ ± ۰/٤۱ p	۳/۳۷ ± ۰/٤۵ p	٦/۵۰ ± ۰/٤۰ g-j	٦/۸٤ ± ۰/۲۰ f-i	٦/۳۳ ± ۰/۱۲ h-k
کائولین ۵ درصد	۵/۲۰ ± ۰/٤۲ l-o	۵/۹۹ ± ۰/٤۱ i-l	۸/۰۰ ± ۰/٤۰ c-e	۹/۹۳ ± ۰/۲۱ b	۷/۷۹ ± ۰/۱۱ c-f
فسفر ۱ درصد	۵/۲۰ ± ۰/۳۹ l-o	۵/۲۲ ± ۰/۳۹ l-o	۷/۰۱ ± ۰/۳۸ e-h	۷/۳۹ ± ۰/۱۹ c-g	٦/۸٤ ± ۰/۱۰ f-i
فسفر ۲ درصد	٤/۸۳ ± ۰/٤۱ no	٤/٤۵ ± ۰/٤۰ k-o	۷/۳۲ ± ۰/۳۹ c-g	۷/۷۰ ± ۰/۲۰ c-f	۷/۱۳ ± ۰/۱۱ d-h
پتاسیم ۱/۵ درصد	٤/۹۸ ± ۰/۳۷ m-o	۵/۲۵ ± ۰/۳٦ l-o	۷/۰۷ ± ۰/۳٦ c-h	۷/٤٤ ± ۰/۱۸ c-g	٦/۸۹ ± ۰/۰۹ f-i
پتاسیم ۳ درصد	٤/۸۰ ± ۰/٤۱ o	۵/۵۵ ± ۰/٤۰ j-o	۷/٤٤ ± ۳۹۰ c-g	۷/۸۳ ± ۰/۲۰ c-f	۷/۲۵ ± ۰/۱۰ c-h
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	٤/۸۰ ± ۰/٤٤ o	۵/۸۰ ± ۰/٤۳ j-n	۷/۷۹ ± ۰/٤۳ c-f	۸/۲۰ ± ۰/۲۱ c	۷/۵۹ ± ۰/۱۱ c-f
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	٤/۸۰ ± ۰/٤٦ o	۵/۸۱ ± ۰/٤۵ j-n	۷/۸۰ ± ۰/٤٤ c-f	۱۱/۳٦ ± ۰/۲۲ a	۷/٦۰ ± ۰/۱۲ c-f
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	٤/۹۵ ± ۰/٤۲ no	۵/۷۳ ± ۰/٤۱ j-o	۷/٦۹ ± ۰/٤۰ c-f	۸/۰۹ ± ۰/۲۰ cd	۷/۵۰ ± ۰/۱۱ c-g
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	٤/۸۳ ± ۰/٤۰ no	۵/۹٦ ± ۰/٤۵ i-m	۷/۵٦ ± ۰/۳٤ c-f	۷/۹۵ ± ۰/۲٦ c-e	۷/۳٦ ± ۰/۰۵ c-g

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

خشکی به‌دلیل کاهش آب و جذب آن توسط ریشه، روزنه‌های گیاه در پاسخ به تنش برای جلوگیری از تلفات آب بسته شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

و به‌دنبال آن تبادلات گازی و درنهایت فتوسنتز کاهش می‌یابد. علاوه بر این، دمای بالا به‌همراه تشعشع بالا در طی روز آسیب دستگاه فتوسنتزی و درنهایت پیری برگ را به‌همراه دارد (Denaxa *et al.*, 2012; Buchner *et al.*, 2015). محلول‌پاشی‌های انجام‌شده در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر نرخ فتوسنتز و تعرق نداشت. در یک بررسی، کاربرد کائولین در شرایط تنش خشکی روی درختان گردو و بادام تأثیری بر پارامترهای فتوسنتزی نظیر آسیملاسیون دی‌اکسید کربن، تبادلات گازی و همچنین دی‌اکسید کربن زیر روزنه نداشت (Rosati *et al.*, 2006a). همچنین در پژوهشی دیگر روی درختان لیمو مشخص شد محلول‌پاشی کائولین تأثیر معنی‌داری بر فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای ندارد، کائولین روزنه‌ها را نمی‌بندد و تبادلات گازی را مختل نمی‌کند (Kerns and Wright, 2000). تعرق، خروج آب از قسمت‌های هوایی گیاه خصوصاً برگ‌هاست که از طریق روزنه‌ها اتفاق می‌افتد، بنابراین بازشدن روزنه‌ها سبب افزایش تعرق و همچنین افزایش تبادلات گازی بین هوا و گیاه می‌گردد. بنابراین تعرق ارتباط مستقیمی با درجه بازشدن روزنه و سطح برگ دارد (Liu *et al.*, 2013). در این پژوهش میزان هدایت روزنه‌ای و درنتیجه تعرق تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار نگرفت. هدایت روزنه‌ای به‌شدت تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه قرار می‌گیرد. که میزان جذب دی‌اکسید کربن و از دست‌دادن آب توسط گیاه را کنترل می‌کند. حساسیت دستگاه فتوسنتزی گیاه به عوامل محیطی بسته به آناتومی گیاه متفاوت است. گیاهان مقاوم نسبت به شرایط تنش سازگارند و این امر تا حدی سبب حفظ ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد. (Gao *et al.*, 2016). در این آزمایش عدم‌تغییر شدت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی نشان می‌دهد که در پسته مقاومت‌های ساختاری ناشی از نوع ساختمان برگ و سیستم ریشه تأثیری به مراتب بیش از تیمارهای آزمایشی بر حفظ ظرفیت فتوسنتزی برگ داشته و تأثیر عوامل محیطی همچون گرمای هوا و تشعشع بالا، آنچنان تأثیر معنی‌داری بر قابلیت فتوسنتزی برگ نداشته تا اثرات تیمارهای آزمایشی قابل مشاهده باشد. در عین حال کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه در این آزمایش تحت تأثیر برخی تیمارها نظیر کائولین، فسفر و تیمارهای ترکیبی آنها، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این تیمارها بر ظرفیت فتوسنتزی برگ است.

رنگدانه‌های فتوسنتزی نه تنها در تعیین رنگ و فرایند فتوسنتز مؤثرند بلکه این رنگدانه‌ها به‌عنوان عوامل ضداکسیداسیونی در بافت گیاه عمل می‌کنند (Khaleghi *et al.*, 2015). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که برخی از عناصر معدنی نقش به‌سزایی در تولید رنگدانه‌ها دارند (Weinbaum *et al.*, 2001; Zhao *et al.*, 2001; Marschner, 2011; Boussadia *et al.*, 2015). براساس نتایج تحقیق حاضر کاربرد کائولین به‌همراه پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ درختان پسته گردید، این نتایج با نتایج سایر محققان روی سیب (Glenn *et al.*, 2003) و زیتون (Khaleghi *et al.*, 2015) مبنی بر تأثیر کائولین بر افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی مطابقت داشت. از طرف دیگر در شرایط تنش ممکن است فعالیت آنزیم کلروفیلاز افزایش یابد درنتیجه مقدار کلروفیل برگ به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (Woodward and Bennett, 2005). بنابراین کاربرد توأم کائولین، پتاسیم و فسفر به‌دلیل تعدیل شرایط تنش (گرما و تشعشع) سبب کاهش تجزیه کلروفیل گردید (Khaleghi *et al.*, 2014).

در آزمایش حاضر علیرغم افزایش غلظت رنگیزه‌های کلروفیل و کارتنوئیدی تحت تأثیر اکثر تیمارهای محلول‌پاشی، افزایش در میزان فتوسنتز برگ درختان پسته مشاهده نگردید. عدم‌تأثیر این رنگیزه‌ها بر فتوسنتز را می‌توان به اصل عوامل محدودکننده بلکمن (black man's) نسبت داد (James *et al.*, 2002) بدین معنی که وقتی سرعت انجام یک فرآیند به چندین عامل بستگی دارد، همواره عاملی که در حداقل است سرعت واکنش را کنترل می‌نماید. پس افزایش غلظت این رنگیزه‌ها مازاد بر ظرفیت فتوسنتزی برگ بوده و احتمالاً عوامل دیگری همچون آنزیم‌ها (به‌ویژه روبیسکو) و کوآنزیم‌های لازم برای استفاده از انرژی تولیدشده در واکنش‌های نوری تعیین‌کننده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

بوده‌اند (James *et al*., 2002).

تبادلات گازی و فلورسانس کلروفیل بخش جدایی‌ناپذیر فرایند فتوسنتز در برگ هستند. طی واکنش‌های نوری، رنگدانه‌های فتوسنتزی انرژی نورانی را از طریق فتوسیستم یک و دو جذب کرده و آن را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌نمایند که این انرژی برای تثبیت دی‌اکسید کربن در واکنش‌های تاریکی به‌کار گرفته می‌شود. در صورتیکه میزان جذب انرژی نورانی فراتر از فرایندهای فتوشیمیایی تثبیت دی‌اکسید کربن باشد، می‌تواند به‌صورت گرما و فلورسانس کلروفیل بازتابش نماید. حداکثر ظرفیت فتوسنتزی وابسته به ظرفیت انتقال الکترون (انتقال انرژی) و غلظت فسفر در کلروپلاست برای مدیریت فتوفسفریلاسیون و بیوسنتز کربوهیدرات است. افزایش استفاده از انرژی نورانی جذب‌شده در واکنش‌های تاریکی سبب کاهش فلورسانس کلروفیل می‌گردد (Singh and Reddy, 2014). در این آزمایش کاربرد کائولین به‌تنهایی و همچنین در ترکیب با پتاسیم و فسفر سبب افزایش در نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوسنتزی گردید. در یک بررسی انجام‌شده نیز نشان داده شد که کاربرد کائولین سبب افزایش فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوسنتزی درختان زیتون گردید (Khaleghi *et al*., 2014).

در آزمایش حاضر، تیمارهای کائولین سبب افزایش غلظت کارتنوئیدها گردید و همچنین تیمارها سبب کاهش فلورسانس کلروفیل شدند که نمود آن در افزایش نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (Fv/Fm) و کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) قابل مشاهده است (جدول ۵). کارتنوئیدها نقش مهمی در فرآیند فتوسنتز بر عهده دارند به‌طوریکه از یک طرف به‌عنوان رنگدانه‌ای کمکی، با جذب انرژی نورانی و انتقال آن به مولکول کلروفیل سبب افزایش بهره‌وری سیستم فتوسنتزی گیاه می‌گردند و از طرف دیگر زمانیکه برگ در معرض انرژی نورانی مازاد بر ظرفیت فتوسنتزی قرار دارد با آزادکردن بخشی از انرژی نورانی جذب‌شده توسط چرخه‌ی زانتوفیل سبب ممانعت از آسیب نوری به دستگاه فتوسنتزی برگ و کاهش فلورسانس کلروفیل می‌گردند (Young and Frank, 1996) که نتایج ما در این راستا قابل ارزیابی است.

منابع

Boussadia, O., Steppe, K., Van Labeke, M. C., Lemeur, R. and Braham, M. (2015) Effects of nitrogen deficiency on leaf chlorophyll fluorescence parameters in two olive tree cultivars 'Meski'and 'Koroneiki'. Journal of Plant Nutrition 38: 2230-2246.

Buchner, O., Stoll, M., Karadar, M., Kranner, I., and Neuner, G. (2015) Application of heat stress in situ demonstrates a protective role of irradiation on photosynthetic performance in alpine plants. Plant, Cell and Environment 38: 812-826.

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.

Ducruet, J. M., Peeve, V. and Havaux, M. (2007) Chlorophyll thermo fluorescence and thermo luminescence as complementary tools for the study of temperature stress in plants. Photosynthesis Research 93: 159-171.

Eggink, L. L., Park, H. and Hoober, J. K. (2001) The role of chlorophyll b in photosynthesis: hypothesis. BMC Plant Biology 1: 2.

Evans, J. R. (1998) Carbon dioxide diffusion inside C3 leaves. Photosynthesis, Mechanisms and Effects: 3463-3466. Springer, Dordrecht.

Gao, T. T., Zheng, S. W., Zhou, X. H., Wang, D. X. and Lu, X. P. (2016) August. Photosynthetic Physiological Characteristics of *Gazania rigens* L. Under Drought Stress. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 41: 012-027.

Glenn, D. M., Erez, A., Puterka, G. J. and Gundrum, P. (2003) Particle films affect carbon assimilation and yield inEmpire'apple. Journal of the American Society for Horticultural Science 128: 356-362.

Glenn, D. M., Puterka, G. J., Vanderzwet, T., Byers, R. E. and Feldhake, C. (1999) Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. Journal of Economic Entomology 92: 759-771.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

Gosavi, G. U., Jadhav, A. S., Kale, A. A., Gadakh, S. R., Pawar, B. D. and Chimote, V. P. (2014) Effect of heat stress on proline, chlorophyll content, heat shock proteins and antioxidant enzyme activity in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedlings stage. Indian Journal of Biotechnology 13: 356-363.

Heidari, M. and Jamshidi, P. (2011) Effects of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in Pearl Millet. Agricultural Sciences in China 10: 228-237.

Hokmabadi, H., Arzani, K. and Grierson, P. F. (2005) Growth, chemical composition, and carbon isotope discrimination of pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings in response to salinity. Australian Journal of Agricultural Research 56: 1-10

Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 541-549.

James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. and von Caemmerer, S. (2002) Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. Functional Plant Biology 29: 1393-1403.

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

Jones, H. G. (1992) Stomatal control of photosynthesis and transpiration. Journal of Experimental Botany 49: 387-398.

Kerns, D. L. and Wright, G. C. (2000) Protective and yield enhancement qualities of kaolin on lemons. Citrus and Deciduous Fruit and Nut Research Report 14-20.

Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. (2014) Studying the effect of kaolin on fluorescence and chlorophyll content in leaves of olive plants (*Olea europaea* L. cv Dezful) under water deficit sres 37: 127-140.

Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. (2015) The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard'grown under warm and semi-arid region of Iran. Food Chemistry 166: 35-41.

Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani, P. A. (2009) Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. Sustainable agriculture 551-570.

Li, D., Ruan, X., Xu, Q., Wang, K., Gong, Y., Kuang, T. and Zhao, N. (2002) Heat denaturation of protein structures and chlorophyll states in PSII membranes. Tsinghua Science and Technology 7: 407-410.

Lipova, L., Krchnak, P., Komenda, J. and Ilik, P. (2010) Heat-induced disassembly and degradation of chlorophyll-containing protein complexes in vivo. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics 1797: 63-70.

Liu, X., Fan, Y., Long, J., Wei, R., Kjelgren, R., Gong, C. and Zhao, J. (2013) Effects of soil water and nitrogen availability on photosynthesis and water use efficiency of *Robinia pseudoacacia* seedlings. Journal of Environmental Sciences 25: 585-595.

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 mature pecan trees. HortScience 40: 1376-1380.

Makino, A., Nakano, H. and Mae, T. (1994) Effects of growth temperature on the responses of ribulose -1, 5-biphosphate carboxylase, electron transport components, and sucrose synthesis enzymes to leaf nitrogen in rice, and their relationships to photosynthesis. Plant Physiology 105: 1231-1238.

Marschner, H. (2011) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Melgarejo, P., Martinez, J. J., Hernandez, F., Martinez Font, R., Barrows, P. and Erez, A. (2004) Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. Scientia Horticulturae 100: 349-353

Porra, R. J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.

Raghami, M., Estaji, A., Bagheri, V. and Aryakia, E. (2016) Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 7: 78-86.

Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E. and Lampinen, B. D. (2006a) Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. Annals of Botany 99: 255-263.

Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E. and Lampinen, B. D. (2006b) Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. Annals of botany 98: 267-275.

Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M. and Gholami, M. (2010) Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. Australian Journal of Agricultural Engineering 1: 1-6.

Saour, G. (2005) Morphological assessment of olive seedlings treated with kaolin-based particle film and biostimulant. Advances in Horticultural Science 193-197.

Schrader, L. E., Zhang, J. and Duplaga, W. K. (2001) Two types of sunburn in apple caused by high fruit surface (peel) temperature. Plant Health Progress 10: 1-5.

Showler, A. T. and Armstrong, J. S. (2007) Kaolin particle film associated with increased cotton aphid infestations in cotton. Entomologia Experimentalis et Applicata 124: 55-60.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

Singh, S. K. and Reddy, V. R. (2014) Combined effects of phosphorus nutrition and elevated carbon dioxide concentration on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, and nutrient efficiency of cotton. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177: 892-902.

Vemmos, S. N. (2010) Alternate bearing and the possible role of carbohydrates in bud abscission of pistachio (*Pistacia vera* L.). In: XIV Grempa Meeting on Pistachios and Almonds, Zaragoza. (ed. Zakynthinos, G.) Pp. 9-18. Ciheam /FAO/AUA/TEI Kalamatas/NAGREF, Options Mediterraneennes, Serie A, Seminaires Mediterraneens.

Weinbaum, S. A., Brown, P. H. and Johnson, R. S. (2001) Application of selected macronutrients (N, K) in deciduous orchards: physiological and agrotechnical perspectives. In International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants 594: 59-64.

Widmer, A. (2000) Light intensity and fruit quality under hail protection nets. 7th International Symposium on Orchard and Plantation Systems.

Wolpert, J. A. and Ferguson, L. (1990) Inflorescence bud retetion in `kerman' pistachio: effects of defruting date and branch size. Hortscience 25: 919-921.

Woodward, A. J. and Bennett, I. J. (2005) The effect of salt stress and abscisic acid on proline production, chlorophyll content and growth of in vitro propagated shoots of *Eucalyptus camaldulensis.* Plant Cell, Tissue and Organ Culture 82: 189-200.

Young, A. J. and Frank, H. A. (1996) Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 36: 3-15.

Zhao, D., Oosterhuis, D. M. and Bednarz, C. W. (2001) Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. Photosynthetica 39: 103-109.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]

The effect of foliar application of kaolin, phosphorus and potassium on photosynthesis rate and some of its indices in pistachio plant cv. "Kalle-Ghouchi"

Hediyeh Kadkhoda and Mohammad Hossein Shamshiri*

Department of Hort.Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
(Received: 18/04/2018, Accepted: 01/05/2019)

Abstract

In an orchard experiment in 2016, the effects of foliar application of kaolin, potassium, phosphorus and their different combinations were examined on photosynthesis parameters of 8-year-old pistachio trees cv. "Kalle-ghouchi" based on a randomized complete block design as factorial with two factors (spray treatments at 10 levels and samplind dates at 5 levels) with 3 replications. There were ten spray treatments including kaolin 5%, P at two concentrations (1 and 2%), K at two concentrations(1.5 and 3%), kaolin 5%+ P 1%, kaolin 5%+P 2%, kaolin 5%+ K 1.5%, kaolin 5%+ K 3% and the control (use of distilled water). Foliar application of above treatments were performed in mid June when embryo growth started (the maximum demand for photoassimilates). Photosynthetic parameters (photosynthesis and transpiration rate, stomatal conductance and sub stomatal CO_2 concentration), chlorophyll fluorescence parameters (F_v/F_m and PI), photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total and total carotenoids) were measured in 5 stages (the first stage was one day after spray treatments and the others were performed with one week interval). The results showed that non of treatments could improve photosynthesis parameters except Ci while chlorophyll fluorescence parameters were improved by kaolin treatments and photosynthetic pigments were increased by most of experimental treatments. The result also showed that photosynthesis and transpiration rate and stomatal conductance were increased with time whereas sub-stomatal CO_2 concentration was decreased. Chlorophyll fluorescence indices and photosynthetic pigments were also increased with time. Totally, the effect of experimental treatments on photosynthetic parameters was less than we expectated.

Keywords: Kaolin, phosphorus, Photosynthesis, Pistachio, Potassium

Corresponding author, Email: shamshiri88@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.3.4]