

## تغییرات دما و تبادلات گازی برگ دانهال‌های پسته در پاسخ به کاربرد کائولین (*Pistacia vera* L.)

### Changes in Temperature and Gas Exchange in leaf of Pistachio (*Pistacia vera* L.) Seedlings in Response to Kaolin Application

مینا نورزاده نامقی<sup>۱\*</sup>، غلامحسین داوری نژاد<sup>۲</sup>، محمود شور<sup>۳</sup>، محمد فارسی<sup>۴</sup> و علی مومن<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۳  
(مقاله پژوهشی)

#### چکیده

به منظور بررسی اثر کائولین بر تبادلات گازی برگ دانهال‌های پسته (*Pistacia vera* L.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در سال ۱۳۹۲ در شرایط هوای آزاد انجام شد. غلظت کائولین در چهار سطح (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و نوبت پاشش در سه سطح (یک نوبت، دو نوبت و سه نوبت پاشش) به صورت فاکتوریل ۳×۴ به عنوان فاکتور اصلی و پنج زمان نمونه برداری به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج آزمایش نشان داد که غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد کائولین به ترتیب باعث کاهش ۱/۱، ۲ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد دمای برگ در مقایسه با شاهد شدند. اثر ساده نوبت پاشش بر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق معنی‌دار بود و با افزایش بیش از دو نوبت پاشش، این صفات کاهش قابل توجهی نشان دادند. بیش‌ترین مقدار فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و CO<sub>2</sub> بین سلولی از غلظت ۵ درصد کائولین به دست آمد. عملکرد کوانتومی به ترتیب با ۰/۸۹ و ۰/۸۷ حداکثر و حداقل مقدار را در شاهد و غلظت ۱۵ درصد کائولین به خود اختصاص داد. به طور کلی، غلظت کائولین ۵ درصد در یک و دو نوبت پاشش به علت کاهش اثرات منفی دمای بالا، منجر به افزایش تبادلات گازی برگ نسبت به شاهد شد. با این حال، غلظت‌های بالای کائولین (۱۰ و ۱۵ درصد) با وجود کاهش بیش‌تر دمای برگ، به علت افزایش بیش‌از حد انعکاس نور در نتیجه لایه ضخیم کائولین بر روی برگ و اختلال فعالیت روزنه‌ها، فتوسنتز دانهال‌های پسته را به طور قابل توجهی کاهش دادند.

واژه‌های کلیدی: انعکاس نور، عملکرد کوانتومی، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴. استاد گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۵. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نبات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

\* نویسنده مسئول Email: nurzadehnamaghi.mina@mail.um.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول به راهنمایی غلامحسین داوری نژاد می‌باشد.

کاتولین ماده‌ای است سفید رنگ، بدون خلل و فرج، بدون تورم، دارای دانه‌بندی خوب و در واقع ماده معدنی سیلیکات آلومینیوم است که به آسانی داخل آب حل می‌شود و از نظر شیمیایی در محدوده وسیعی از pH فعالیت دارد (هارین<sup>۱</sup>، 1995). ذرات کاتولین با ویژگی‌های خاص در کاغذسازی، رنگ‌سازی، آرایشگری و پلاستیک‌سازی کاربرد دارند. استفاده از این ماده به صورت وسیعی با فرمولاسیون پودر و تابل به عنوان آفت‌کش در صنعت کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. پیشرفت‌های اخیر در فرآوری کاتولین و فرمولاسیون آن فرصت‌های جدید را برای کاربرد آن در کشاورزی فراهم کرده است (گلن و پوترکا<sup>۲</sup>، 2005).

کاتولین ماده‌ای است طبیعی و غیرسمی که برای حفاظت از محصولات بر روی گیاهان محلول‌پاشی می‌شود (گلن<sup>۳</sup> و همکاران، 2002). پوشش نازک کاتولین که روی بافت‌های گیاه استفاده می‌شود دارای ویژگی‌های مشخصی می‌باشد که عبارتند از: ۱. از نظر شیمیایی فاقد نیروی جنبشی ذرات معدنی می‌باشد. ۲. قطر ذرات آن کم‌تر از ۲ میکرومتر است. ۳. فرمولاسیون آن به گونه‌ای است که پخش می‌شود و یک شکل یکنواخت ایجاد می‌کند. ۴. پوشش کاتولین متخلخل می‌باشد که در تبادلات گازی برگ اختلال ایجاد نمی‌کند. ۵. تشعشع فعال فتوسنتزی را انتقال می‌دهد، اما از انتقال اشعه فرابنفش و نور مادون قرمز تا حدودی جلوگیری می‌کند. و ۶. رفتار حشرات و پاتوژن‌ها را روی گیاه تغییر می‌دهد. (لویت<sup>۴</sup>، 1980). تعدادی از این ویژگی‌ها مشابه مکانیزم‌های دفاعی طبیعی گیاه مانند افزایش ضخامت کوتیکول و افزایش بلوغ می‌باشد که تنش‌های گرما و آب را کاهش می‌دهند (لویت، 1980). اثرات مثبت استفاده از کاتولین بر عواملی از قبیل آفات و حشرات، اختلالات و امراض، میکروکلیمای تاج درخت، فیزیولوژی گیاه، تولید و کیفیت میوه و کارایی مصرف آب گزارش شده است (گلن و پوترکا، 2005).

تحقیقات انجام شده روی سویا، پنبه، کنگر فرنگی، جالیزی‌ها و هلو نشان داد که کاربرد کاتولین با کاهش اثر تنش‌های آب و گرما بر روی صفات فیزیولوژیک باعث بهبود کیفیت، عملکرد و

رشد مطلوب گیاه شد (کریمر<sup>۵</sup> و همکاران، 2005). هم‌چنین اعمال کاتولین در کنترل خسارت آفات درختان میوه از قبیل پسپیل در گلابی (پوترکا<sup>۶</sup> و همکاران، 2000) و مگس میوه در شلیل، سیب و خرمالو (مازور و ارز<sup>۷</sup>، 2003) و کنترل بیماری‌ها به طور قابل توجهی مؤثر واقع شده است اما ممکن است اثرات منفی بر کاهش نور و کاهش میزان فتوسنتز گیاهان داشته باشد (گلن و پوترکا، 2005).

در این رابطه، ابوخالده<sup>۸</sup> و همکاران (1970) با اعمال کاتولین بر روی لوبیا و مرکبات گزارش کردند که میزان تعرق ۲۵-۲۰ درصد و دمای برگ تا ۵ درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر کاتولین کاهش یافت. میزان فتوسنتز بسته به شدت نور در گیاهان محلول‌پاشی شده تغییر یافت به طوری که در شدت نور پایین کاهش و در شدت نور بالا افزایش در فتوسنتز مشاهده شد. هم‌چنین کارایی مصرف آب یا نسبت اسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن به تعرق با تیمار کاتولین افزایش یافت که نشان‌دهنده بهبود کارایی مصرف آب در شدت نور بالا است. گلن و همکاران (2001) بهبود در عملکرد، اندازه و رنگ میوه و میزان اسیمیلاسیون برگ سیب را در نور اشباع تحت تأثیر کاتولین گزارش کردند. محلول‌پاشی کاتولین میزان اسیمیلاسیون در سیب را تنها در دما و تفاوت فشار بخار بالا بهبود بخشید (گلن و همکاران، 2003). در صورتی که، سایر پژوهش‌ها هیچ اثر یا کاهشی در عملکرد و اسیمیلاسیون در نتیجه کاربرد کاتولین مشاهده نکردند (گرانگ<sup>۹</sup> و همکاران، 2004؛ وانج<sup>۱۰</sup> و همکاران، 2004). کاربرد کاتولین در مرکبات موجب بهبود هدایت روزنه‌ای و اسیمیلاسیون در اواسط روز شد (جیفون و سیورتنسن<sup>۱۱</sup>، 2003) در حالی که، کاربرد آن در پکان تأثیری نداشت (لامباردینی<sup>۱۲</sup> و همکاران، 2004).

نتایج متفاوت مطالعات در مورد تأثیر محلول‌پاشی کاتولین بر روی صفات فیزیولوژیک، بیان‌کننده برخی فرضیه‌ها می‌باشد. (۱) همان‌طور که قبلاً بیان شد کاتولین از طریق افزایش انعکاس، نور قابل‌دسترس برگ را کاهش می‌دهد (ابوخالده و همکاران، 1970؛ وانج و همکاران، 2004) که این امر می‌تواند

5. Creamer  
6. Puterka  
7. Mazor and Erez  
8. Abou-khaled  
9. Grange  
10. Wunsche  
11. Jifon and Syvertsen  
12. Lombardini

1. Harben  
2. Glenn and Puterka  
3. Glenn  
4. Levitt

### مواد و روش‌ها

#### تشریح مکان و تیمارهای آزمایش

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در زمان با ۵ تکرار در هوای آزاد در گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. غلظت کائولین در چهار سطح (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و نوبت پاشش در سه سطح (یک، دو و سه نوبت پاشش) به صورت فاکتوریل ۳×۴ به عنوان فاکتور اصلی و پنج زمان نمونه برداری به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. بذره‌های پسته رقم بادامی ریز زرد در فروردین ماه سال ۱۳۹۱ در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر که مخلوط آن شامل دوسوم کوکوپیت و یک‌سوم ماسه بود به تعداد ۶۰ گلدان کشت شد. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کوکوپیت مورد آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

میزان اسیمیلاسیون را در شرایط مطلوب (دما و تشعشع) برای فتوسنتز کاهش دهد. ۲) اما در دمای بالا، اسیمیلاسیون در مقایسه با نور کم بیش‌تر توسط تنش گرما محدود می‌شود. از این‌رو، کاهش دمای برگ در این شرایط در نتیجه اعمال کائولین می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش گرما را کاهش دهد و اثر سایه‌دهی یا مقدار نور کم آن را جبران کند (گلن و همکاران، ۲۰۰۳). این فرضیه توسط گرانگ و همکاران (۲۰۰۴) تأیید شد. آن‌ها نشان دادند که اعمال کائولین بر روی درختان سیب، اسیمیلاسیون را تنها در برگ‌های بیرونی تاج که در معرض تشعشع، دما و اختلاف فشار بخار بالا قرار داشتند افزایش داد.

از این‌رو اهداف این مطالعه عبارتند از: ۱. تغییرات تبادلات گازی (فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن بین‌سلولی) برگ دانه‌های پسته در پاسخ به غلظت‌ها (متوسط و بالا) و نوبت‌های مختلف پاشش کائولین و ۲. چگونگی ارتباط این تغییرات با دمای برگ دانه‌های پسته تحت تأثیر این تیمارها بود.

جدول ۱: خصوصیات کوکوپیت مورد آزمایش

Table 1: Experimental cocopeat properties

مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	اسیدیته pH	ظرفیت نگهداری آب Water holding capacity	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (ds m <sup>-1</sup> )
85-95	5.5-6.8	8-9	0.2-0.5

۱۸/۴ و ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد بود و میانگین دمای ماهانه ۲۹ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. میانگین رطوبت نسبی ماهانه ۳۰/۵ درصد، میانگین ساعات آفتابی ۱۱/۵ ساعت و میانگین تشعشع خورشیدی در ماه ۲۰/۱ مگاژول بر مترمربع در روز بود.

#### اندازه‌گیری صفات

دمای برگ توسط دستگاه ترمومتر مادون قرمز ( Kane-May, COMARK LTD, Made in USA) ثبت شد. اندازه‌گیری فتوسنتز، تعرق و تبادل CO<sub>2</sub> توسط دستگاه فتوسنتز متر ساخت شرکت ADC کشور انگلیس مدل LCA<sub>4</sub> انجام شد. هر اندازه‌گیری حدود سه دقیقه به طول انجامید تا تغییرات ناگهانی در غلظت گازها در محفظه به حالت پایدار برسد. فلئورسانس به وسیله‌ی دستگاه فلورومتر ( OS5-FL Modulated Chlorophyll Fluorometer, OPTI-SCIENCES, USA)، از

برای آماده کردن بذور به منظور کشت، در اوایل بهار بذرها را ۲۴ ساعت در آب خیسانده، سپس بذرها در کیسه‌های پارچه‌ای به مدت ۴ تا ۵ روز مرطوب نگه داشته شدند (دمای مناسب برای جوانه‌زنی بذرها ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد) و بعد از جوانه‌زدن به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. آبیاری گلدان‌ها در فواصل ۵ روز انجام گرفت. عملیات پاشش کائولین روی دانه‌های یک‌ساله رقم پسته بادامی ریز زرد در سه نوبت پاشش با فاصله ۵ روز در تاریخ ۲۰، ۲۵ و ۳۰ خردادماه سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. کائولین مورد استفاده، کائولین فراوری شده از سنگ‌های معدنی کائولین ایران بود. جهت انجام عملیات پاشش کائولین نیز از سم‌پاش دستی استفاده شد. اندازه‌گیری کلیه صفات طی تیمارها در ۵ نوبت، به صورت هفته‌ای (شنبه و یکشنبه هر هفته) بین ساعات ۱۰-۱۴ انجام گرفت. حداقل و حداکثر دما در این ماه به ترتیب

محل میانه برگ و مابین رگبرگ اصلی و لبه برگ انجام گرفت و میزان عملکرد توسط پارامترهای  $F_{ms}$  و  $F_s$  از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$Y = \frac{F_{ms} - F_s}{F_{ms}}$$

$F_s$ : حالت پیوسته کلروفیل فلئورسانس گیاه در حال فتوسنتز در روشنایی و  $F_{ms}$ : حالت حداکثر کلروفیل فلئورسانس گیاه در حال فتوسنتز در روشنایی است.

کلیه اندازه‌گیری‌ها بر روی دو برگ کاملاً توسعه‌یافته در دو طرف هر گیاه که در چهارمین یا پنجمین گره زیر نوک شاخه قرار داشتند انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات فتوسنتز، تعرق، تبادل  $CO_2$  و کلروفیل فلئورسانس سه گیاه و برای دمای برگ پنج گیاه در هر تیمار در نظر گرفته شد.

### آنالیز آماری

داده‌های حاصل از آزمایش به‌وسیله‌ی نرم‌افزار Minitab 16 تجزیه‌وتحلیل شد و مقایسه میانگین تیمارهای مختلف به‌وسیله‌ی آزمون کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید. لازم به ذکر است دما به‌عنوان متغیر مشترک (کوواریت) دخیل در صفات فیزیولوژیک همراه با صفات مورد ارزیابی اندازه‌گیری شد و تجزیه کوواریانس صورت پذیرفت. علی‌رغم غیرمعنی‌دار شدن، جهت افزایش دقت آزمایش از میانگین‌های تصحیح‌شده استفاده شد. هم‌چنین نمودارها و شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel رسم شد.

### نتایج و بحث

#### دمای برگ

سطوح مختلف کاتولین در سطح یک درصد ( $p \leq 0.01$ ) دمای برگ دانهال‌های پسته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد به‌علت پوشش کاتولین بر روی برگ گیاه و افزایش انعکاس نور، غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد دمای برگ را به‌ترتیب ۱/۱، ۲ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با شاهد کاهش دادند. به‌علاوه تفاوت معنی‌داری در کاهش دما بین تیمارهای ۱۰ و ۱۵ درصد مشاهده نشد. هم‌چنین با توجه به جدول ۳ مشخص شد که با افزایش نوبت پاشش کاتولین، اختلاف معنی‌داری در کاهش دمای برگ ثبت نگردید. مارکلا سوتلو سویتویو<sup>۱</sup> و همکاران (2011) بیان داشتند

که تیمار کاتولین روی قلمه‌های رز دمای برگ را در اواسط روز تقریباً ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با شاهد کاهش داد و دلیل این کاهش را توانایی کاتولین در انعکاس انرژی خورشیدی از سطح برگ گزارش کردند. هم‌چنین گلن و همکاران (2002) دلیل کاهش دما را افزایش انعکاس انرژی خورشیدی بیان کردند. وانج و همکاران (2004) و جیفون و سیورتنسن (2003) به‌ترتیب روی سیب و انگور نتایج مشابهی گزارش نمودند و اظهار داشتند کاتولین دمای برگ را در اواسط روز تقریباً ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش داد. ملگارجو<sup>۲</sup> و همکاران (2003) طی تحقیقی گزارش کردند که کاتولین دمای سطح برگ و میوه را به‌ترتیب ۴/۹ و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به شاهد کاهش داد. گلن و پوترکا (2005) بیان کردند که دمای برگ سیب با افزایش کاتولین روی برگ کاهش پیدا کرد. کاتولین با افزایش ضخامت برگ و افزایش انعکاس طول موج‌های بزرگ و کوچک باعث کاهش دمای برگ و کاهش تفاوت فشار بخار در روزهای صاف که تشعشع فعال فتوسنتزی بیش‌تر از ۱۵۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه و دمای هوا بیش‌تر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد است، می‌شود (جیفون و سیورتنسن، 2003).

#### تعرق

اثر ساده سطوح کاتولین ( $p \leq 0.01$ ) و نوبت پاشش ( $p \leq 0.05$ ) بر روی میزان تعرق پسته رقم بادامی ریز زرد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش غلظت کاتولین در تیمارهای ۱۰ و ۱۵ درصد میزان تعرق را به‌طور قابل‌توجهی تا ۱/۴ و ۱/۹ میلی‌مول نسبت به غلظت ۵ درصد و تا ۱/۲ و ۱/۶ میلی‌مول در مقایسه با شاهد کاهش داد. تیمار ۵ درصد کاتولین دارای بیش‌ترین میزان تعرق بود که با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). در مورد تأثیر نوبت پاشش بر میزان تعرق، با افزایش نوبت پاشش میزان تعرق کاهش نشان داد که به‌نظر می‌رسد افزایش ضخامت پوشش کاتولین بر روی برگ باعث کاهش در میزان تعرق می‌شود (جدول ۳). ابوخالد و همکاران (1970) طی پژوهشی بر روی لوبیا و مرکبات کاهش ۲۵-۲۰ درصدی تعرق را در گیاهان محلول‌پاشی شده گزارش کردند. گلن و همکاران (2003) پاسخ‌های فیزیولوژیکی برگ‌های ارقام مختلف سیب را در

که مانع از دسترسی گیاهان به نور کافی برای فتوسنتز می‌شوند.

شکل (۱) روند تغییرات میزان فتوسنتز طی تیر ماه، برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. به دلیل پوشش کائولین بر روی گیاهان، دوازده روز پس از اولین محلول‌پاشی گیاهان از میزان فتوسنتز پایینی برخوردار بودند اما بعد از آن به علت افزایش تشعشع فعال فتوسنتزی و سازگاری گیاهان به این ماده میزان فتوسنتز روند افزایشی نشان داد. اگرچه این افزایش تنها بین روزهای ۶ و ۳۳ پس از پاشش تفاوت معنی‌داری نشان داد. زمان رسیدن به حداکثر میزان فتوسنتز در کلیه تیمارها مشابه و ۳۳ روز پس از پاشش به دست آمد. بر طبق یافته‌های پراکاش و رامچاندرا<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) میزان فتوسنتز در گیاهان تحت تنش و تیمار شده با کائولین نسبت به گیاهان تحت تنش تیمار نشده بیش‌تر بود. هم‌چنین گلن و همکاران (۲۰۰۳) در مقابل گزارشاتی که بیان می‌کردند اسیمیلایسیون با اعمال کائولین کاهش می‌یابد، افزایش اسیمیلایسیون را گزارش کردند که فقط تحت دمای بالای هوا اتفاق افتاد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد روند افزایشی فتوسنتز تمامی تیمارها طی تیرماه، مربوط به سازگاری گیاهان به کائولین و هم‌چنین افزایش دما و اشعه‌ی فعال فتوسنتزی در اواخر تیرماه در مقایسه با اوایل تیرماه باشد.

#### غلظت CO<sub>2</sub> بین‌سلولی

در این آزمایش غلظت CO<sub>2</sub> بین‌سلولی تنها تحت تأثیر غلظت کائولین قرار گرفت ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۲). به طوری که تیمار ۵ درصد در مقایسه با تیمار ۱۵ درصد و شاهد به ترتیب باعث افزایش ۵ و ۳ درصدی غلظت CO<sub>2</sub> بین‌سلولی شد و بین غلظت ۱۰ و ۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد. روزتی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که اعمال کائولین، CO<sub>2</sub> بین‌سلولی را افزایش داد به طوری که متوسط افزایش روزانه CO<sub>2</sub> در تیمارهای تحت تنش و آبیاری شده درختان گردو به ترتیب ۲۸ و ۱۹ میکرومول بر مول و برای درختان بادام ۱۰ میکرومول بر مول بود. اما جیفون و سیورتسن (۲۰۰۳) نتایج مخالف گزارش کردند و نشان دادند که با وجود کاهش فشار جزئی CO<sub>2</sub> بین‌سلولی در طول روز تفاوت معنی‌داری بین برگ‌های اسپری شده با کائولین و شاهد وجود ندارد. از این رو با توجه به نتایج به نظر می‌رسد در آزمایش ما

مکان‌های متنوع جغرافیایی با فیلم‌های آبدوست و آبریز کائولین مورد آزمایش قرار دادند و گزارش کردند که هیچ تغییری در تبادلات گازی درختان در دمای هوای کم‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد که با تنش گرما و خشکی مواجه نبودند، مشاهده نشد. اما تحت شرایط دمای بالا (دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) در درختان تیمار شده دمای برگ کاهش یافت و میزان هدایت روزنه‌ای برگ، اسیمیلایسیون و تعرق افزایش یافت. از شرایط لازم افزایش فتوسنتز، باز بودن روزنه‌ها می‌باشد که در نتیجه، افزایش بیش‌تر تعرق را به دنبال دارد، در واقع تیمار ۵ درصد کائولین و تیمار یک نوبت پاشش با کاهش دمای برگ (جدول ۳) و بالا بردن هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز باعث افزایش تعرق می‌شوند.

#### فتوسنتز

بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) میزان فتوسنتز تحت تأثیر سطوح مختلف کائولین و نوبت پاشش معنی‌دار بود ( $p \leq 0.01$ ). در مورد غلظت کائولین، بین غلظت ۵ درصد با سایر غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری به دست آمد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فتوسنتز به ترتیب با ۳۱/۹۵ و ۲۴/۴ میکرومول CO<sub>2</sub> در مترمربع بر ثانیه در تیمارهای ۵ و ۱۵ درصد مشاهده شد. تیمار شاهد با ۲۶/۶ میکرومول CO<sub>2</sub> در مترمربع بر ثانیه بعد از تیمار درصد کائولین بیش‌ترین مقدار فتوسنتز را به خود اختصاص داد (جدول ۳). یک نوبت پاشش با دو نوبت پاشش تفاوت آماری نشان نداد ولی با سه نوبت پاشش این اختلاف معنی‌دار شد که در سه نوبت پاشش کاهش فتوسنتز مشاهده گردید (جدول ۳). وانج و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که اعمال کائولین میزان اسیمیلایسیون را در دمای پایین به علت کاهش نور قابل‌دسترس برای فتوسنتز تا ۲ میکرومول CO<sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه کاهش داد اگرچه در دمای بالا (۳۴ درجه سانتی‌گراد) تأثیری در کاهش میزان اسیمیلایسیون نداشت. در مقابل این گزارش، جیفون و سیورتسن (۲۰۰۳) افزایش میزان اسیمیلایسیون در درختان مرکبات را در اواسط روز (حداکثر شدت نور و دما) گزارش کردند. در مطالعه حاضر با وجود دمای بالای محیط در زمان اندازه‌گیری نه‌تنها افزایشی در میزان اسیمیلایسیون گیاهان در غلظت‌های ۵ و ۱۵ درصد کائولین مشاهده نشد بلکه به‌طور قابل‌توجهی مقدار فتوسنتز را در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی نشده کاهش دادند که این نشان‌دهنده افزایش انعکاس بیش‌ازحد نور در این تیمارها است

1. Prakash and Ramachandran

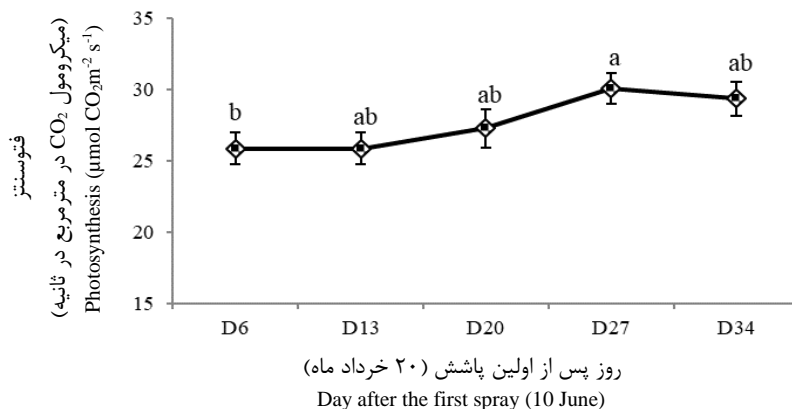
2. Rosati

اختلاف معنی‌داری به‌دست آمد. گرانگ و همکاران (2004) دلیل کاهش عملکرد کوانتومی برگ‌های بیرونی تاج ارقام سیب تیمار شده با کائولین را افزایش انعکاس نور از برگ‌های تیمار شده گزارش کردند و بیان داشتند که با افزایش انعکاس نور، نور قابل‌دسترس کم‌تری برای فتوسنتز نسبت به برگ‌های تیمار نشده، تحت شرایط نوری مساوی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که علت اصلی افزایش عملکرد کوانتومی در شاهد به این دلیل باشد که نور در دسترس، بیش‌تر برای فعالیت‌های فتوسنتزی استفاده می‌شود. درحالی‌که در تیمارهای ۱۰ و ۱۵ درصد کائولین، پوشش سفید کائولین با افزایش انعکاس نور باعث می‌شود نور کم‌تری برای فعالیت‌های فتوسنتزی در دسترس باشد. بنابراین عملکرد کوانتومی در این تیمارها کاهش می‌یابد.

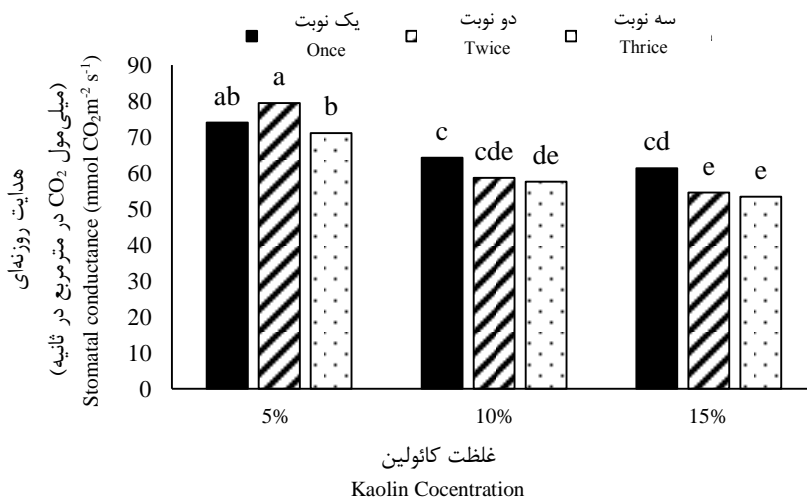
علت اصلی افزایش  $CO_2$  بین‌سلولی در تیمار ۵ درصد، افزایش انعکاس نور و کاهش تنش دمایی و در نتیجه افزایش هدایت روزنه‌ای و تبادل  $CO_2$  برگ باشد. هم‌چنین کاهش این پارامتر در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد کائولین می‌تواند به علت ایجاد لایه ضخیم کائولین بر روی برگ‌های گیاه باشد که منجر به اختلال در فعالیت روزنه‌ها می‌شود.

### عملکرد کوانتومی

اثر ساده غلظت کائولین از نظر عملکرد کوانتومی اختلاف معنی‌داری نشان داد ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۲). تیمار شاهد با ۰/۸۹ و غلظت ۱۵ درصد کائولین با ۰/۸۷ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد کوانتومی را دارا بودند (جدول ۳). هم‌چنین بین غلظت ۱۰ درصد کائولین و شاهد از نظر این پارامتر



شکل ۱: تغییرات میزان فتوسنتز تحت تأثیر زمان نمونه‌برداری طی تیرماه. بارها، خطای معیار را نشان می‌دهند  
 Fig. 1: Changes of photosynthesis rate affected the sampling time during the month of July. Bars are  $\pm$ SE



شکل ۲: تأثیر سطوح مختلف کائولین و نوبت پاشش بر میزان هدایت روزنه‌ای  
 Fig. 2: The effect of different levels of kaolin and spraying time on the rate of stomatal conductance

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کائولین، نوبت پاشش و زمان بر صفات فیزیولوژیکی دانه‌های پسته

Table 2: Analysis of variance of the effect of different levels of kaolin, spraying time and date on physiological traits of pistachio seedlings

دمای برگ Leaf Temperature	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	عملکرد کوانتومی Quantum yield	CO <sub>2</sub> بین سلولی Intracellular CO <sub>2</sub>	تعرق Transpiration	فتوسنتز Photosynthesis	درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of variation
77.3**	4747.66**	0.0038**	2708.6**	33.98**	473.6**	3	غلظت کائولین (A) Kaolin concentration (A)
6.3 <sup>ns</sup>	625.65**	0.000095 <sup>ns</sup>	632.1 <sup>ns</sup>	19.81*	233.8**	2	نوبت پاشش (B) Spraying time (B)
0.6 <sup>ns</sup>	290.30*	0.00023 <sup>ns</sup>	35.6 <sup>ns</sup>	2.65 <sup>ns</sup>	26.49 <sup>ns</sup>	4	غلظت کائولین × نوبت پاشش A×B
7.14	99.25	0.00033	216.99	5.46	16.64	50	خطای (a) Error (a)
9.16 <sup>ns</sup>	111.18 <sup>ns</sup>	0.00013 <sup>ns</sup>	70.10 <sup>ns</sup>	12.88**	71.88*	4	زمان نمونه برداری (T) Sampling time (T)
0.36 <sup>ns</sup>	68.21 <sup>ns</sup>	0.00008 <sup>ns</sup>	83.5 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	6.45 <sup>ns</sup>	12	زمان نمونه برداری × غلظت کائولین T×A
	148.04 <sup>ns</sup>	0.00065 <sup>ns</sup>	122.10 <sup>ns</sup>	2.67 <sup>ns</sup>	44.75 <sup>ns</sup>	8	زمان نمونه برداری × نوبت پاشش T×B
1.64 <sup>ns</sup>	237.18**	0.00063 <sup>ns</sup>	298.80 <sup>ns</sup>	3.77 <sup>ns</sup>	33.37 <sup>ns</sup>	24	زمان نمونه برداری × غلظت کائولین × نوبت پاشش T×A×B
-	1.04 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	18.43*	1.3 <sup>ns</sup>	1	کوواریت Covariate
2.5	82.51	0.00065	252.70	3.46	23.05	190	خطا (b) Error (b)

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, \* and \*\*: Not significant and significant at 5% and 1% level of probability, respectively

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثر ساده غلظت کائولین و نوبت پاشش بر خصوصیات فیزیولوژیک دانه‌های پسته

Table 3: Mean comparison of the simple effect of kaolin concentration and spraying time on physiological traits of Pistachio seedlings

دمای برگ (سانتی‌گراد) Leaf Temperature (°C)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول CO <sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه) Stomatal conductance (mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	عملکرد کوانتومی Quantum yield (Fv/Fm)	CO <sub>2</sub> بین‌سلولی (پی‌پی‌ام) Intracellular CO <sub>2</sub> (PPm)	تعرق (میلی‌مول H <sub>2</sub> O در مترمربع در ثانیه) Transpiration (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	فتوسنتز (میکرومول CO <sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه) Photosynthesis (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	تیمارها Treatments
33.17a	66.09b	0.89a	361.14b	8.86a	26.61b	0
32.06b	74.85a	0.88ab	371.51a	9.14a	31.95a	5
31.16c	60.13c	0.88b	358.81bc	7.71b	26.24c	10
30.95c	56.37d	0.87c	352.81c	7.28b	24.35d	15
32.04a	66.49a	0.876a	362.42a	8.73a	29.11a	یک نوبت Once
31.91a	64.19a	0.88a	363.03a	8.28ab	28.76a	دو نوبت Twice
31.55a	60.69b	0.87a	357.75a	7.34b	24.72b	سه نوبت Thrice

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک در هر ردیف براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند

In each column, numbers with similar letters have significant difference, statistically (p=0.05, LSD method)



## هدایت روزنه‌ای

می‌شود. از طرف دیگر مقاومت لایه مرزی به علت افزایش ضخامت سطح برگ افزایش می‌یابد که به دنبال آن کاهش هدایت روزنه‌ای اتفاق می‌افتد. درحالی‌که غلظت ۵ درصد این ماده با داشتن ضخامتی کم‌تر و انعکاس نور، از افزایش بیش از حد دمای برگ جلوگیری کرده و با کاهش تنش دمایی، به‌خصوص در گرم‌ترین ساعات روز، هدایت روزنه‌ای برگ‌ها و اسیمیلاسیون را افزایش می‌دهد (شکل ۲).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کائولین دمای برگ به‌طور قابل‌توجهی نسبت به شاهد کاهش یافت که بیش‌ترین میزان کاهش دمای برگ با ۲/۲ درجه سانتی‌گراد در تیمار ۱۵ درصد کائولین نسبت به شاهد مشاهده گردید. برخلاف نتایج مثبت غلظت‌های بالای کائولین (۱۰ و ۱۵ درصد) در کاهش دمای برگ، این غلظت‌ها به دلیل ایجاد لایه ضخیم کائولین بر روی برگ، افزایش انعکاس بیش از حد نور و اختلال در فعالیت روزنه‌ها موجب کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق،  $CO_2$  بین‌سلولی و به‌دنبال آن کاهش فتوسنتز دانه‌های پسته شدند. هم‌چنین نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت کائولین ۵ درصد در یک و دو نوبت پاشش به علت ایجاد ضخامت کم‌تری از پوشش کائولین بر روی برگ گیاهان و انعکاس نور، از افزایش بیش از حد دمای برگ جلوگیری کرده و با کاهش تنش دمایی، به‌خصوص در گرم‌ترین ساعات روز منجر به افزایش  $CO_2$  بین‌سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز نسبت به سایر تیمارها شدند. اختلاف معنی‌داری در غلظت ۵ درصد کائولین همراه با دو نوبت پاشش و یک نوبت پاشش وجود نداشت. از این‌رو باتوجه به این نتایج، یک نوبت پاشش غلظت ۵ درصد کائولین می‌تواند اثر سودمندی را بر کاهش دما و بهبود تبادلات گازی برگ دانه‌های پسته به‌خصوص در شرایط دمایی بالا داشته باشد.

نتایج آزمایش نشان داد که اثر ساده کائولین و نوبت پاشش بر هدایت روزنه‌ای برگ معنی‌دار بود ( $p \leq 0/01$ ) (جدول ۲). به‌طوری‌که در مورد اثر ساده کائولین تیمار ۵ و ۱۵ درصد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند. بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای بعد از تیمار ۵ درصد با ۶۶/۰۹ میلی‌مول  $CO_2$  بر مترمربع در ثانیه مربوط به شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با غلظت ۵ درصد نشان داد. تیمار ۵ درصد کائولین در مقایسه با تیمار ۱۵ درصد و شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۱۱ درصدی هدایت روزنه‌ای شد (جدول ۳). هم‌چنین میزان هدایت روزنه‌ای با افزایش نوبت پاشش به دنبال افزایش ضخامت پوشش کائولین بر روی برگ کاهش نشان داد (جدول ۳).

اثر متقابل نوبت پاشش به‌همراه سطوح مختلف کائولین بر هدایت روزنه‌ای برگ پسته بادامی زرنده معنی‌داری بود ( $p \leq 0/05$ ) (جدول ۲).

باتوجه به شکل ۲ بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای با ۷۹/۴ میلی‌مول  $CO_2$  در مترمربع بر ثانیه در تیمار ۵ درصد با دو نوبت پاشش به‌دست آمد و کم‌ترین میزان این صفت نیز با ۵۳/۴ میلی‌مول  $CO_2$  در مترمربع بر ثانیه از تیمار ۱۵ درصد کائولین به‌همراه سه نوبت پاشش کائولین حاصل شد. هم‌چنین مشخص شد که در غلظت‌های بالای کاربرد کائولین با افزایش نوبت پاشش به دو و سه نوبت، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت، اما در شرایط کاربرد غلظت ۵ درصد کائولین اعمال دو نوبت پاشش باعث افزایش ۷ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به یک نوبت پاشش شد و تنها اعمال سه نوبت پاشش تأثیر منفی را بر این صفت نشان داد. (شکل ۲). انصاری و عبدالرحمان<sup>۱</sup> (2005) بیان داشتند که افزایش اسیمیلاسیون در گیاهان تیمار شده با کائولین به‌دلیل کاهش دمای برگ و افزایش هدایت روزنه‌ای است. چنین به‌نظر می‌رسد با افزایش غلظت کائولین پوشش رسی روی برگ افزایش می‌یابد و باعث بسته شدن روزنه‌ها

- Abou-khaled, A., Hagan, R. M. and Davenport, D. C. 1970. Effects of kaolinite as a reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water use efficiency. *Water Resource Research*, 6: 280–289.
- Ansary, E. M. and Abdulrahman, I. A. 2005. Effects of kaolin and pinolene film-forming polymers on water relations and photosynthetic rate of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *Agricultural Science*, 18: 35-49.
- Creamer, R., Sanogo, S., El-Sebai, O. A., Carpenter, J. and Sanderson, R. 2005. Kaolin-based foliar reflectant affects physiology and incidence of beet curly top virus but not yield of Chile pepper. *Horticultural Science*, 40: 574-576.
- Glenn, D. M., Puterka, G. J., Drake, S. R., Unruh, T. R., Knight, A. L. and Baherle, P. 2001. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 126: 175-181.
- Glenn, D. M., Prado, E., Erez, A., McFerson, J. and Puterka, G. J. 2002. A reflective, processed- Kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127: 188-193.
- Glenn, D. M., Erez, A., Puterka, G. J. and Gundrum, P. 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in 'Empire' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128: 356-362.
- Glenn, D. M. and Puterka, G. J. 2005. Particle films: A new technology for agriculture. *Horticultural Review (American Society for Horticultural Science)*, 31: 1-44.
- Grange, M. I., Wand, S. J. A. and Theron, K. I. 2004. Effect of kaolin applications on apple fruit quality and gas exchange of apple leaves. *Acta Horticulturae*, 636: 545-550.
- Harben, P. W. 1995. The industrial minerals handbook II: A guide to markets, specifications, and prices. Arby Industrial Minerals Division Metal Bulletin. PLC, London.
- 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 the American Society for Horticultural Science*, 128: 107-112.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2nd ed, Vol 1 and 2. Academic Press. New York.
- Lombardini, L., Glenn, D. M. and Harris, M. K. 2004. Application of kaolin-based particle film on pecan trees: consequences on leaf gas exchange, stem water potential, nut quality, and insect populations. *Horticultural Science*, 39: 857–858.
- Marcela Sotelo-Cuitiva, Y., Restrepo-Díaz, H., García-Castro, A., Ramírez-Godoy, A. and Flórez-Roncancio, V. J. 2011. Effect of kaolin film particle applications (surround wp®) and water deficit on physiological characteristics in rose cut plants (*Rose* spp L.). *American Journal of Plant Sciences*, 2: 354-358.
- Mazor, M. and Erez, A. 2003. Processed kaolin protects fruits from Mediterranean fruit fly infestations. *Journal of Applied Physiology*, 28: 786-790.
- Melgarejo, P., Mrtinez, J. J., Hernandez, F., Martinez-Font, R., Barrows, P. and Erez, A. 2003. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Horticultural Science*, 100: 349-353.
- Prakash, M. and Ramachandran, K. 2000. Effects of moisture stress and anti-transpirants on leaf chlorophyll. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184: 53-156.
- Puterka, G. J., Glenn, M., Sekutowski, D. G., Unruh, T. R. and Jones, S. K. 2000. Progress toward a liquid formulation of particle films for insect and disease control in pear. *Environmental Entomology*, 29: 329-339.
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E. and Lampinen, B. D. 2006. Physiological effects of Kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. *Annals of Botany*, 98: 267-275.
- Wunsche, J. N., Lombardini, L. and Greer, D. H. 2004. 'Surround' particle film applications: Effect on whole canopy physiology of apple. *Acta Horticulturae*, 636: 565-571.

## Changes in Temperature and Gas Exchange in Leaf of Pistachio (*Pistacia vera* L.) Seedlings in Response to Kaolin Application

Nurzadeh Namaghi<sup>1\*</sup>, M., Davarynejad<sup>2</sup>, G. H., Shoor<sup>3</sup>, M., Farsi<sup>4</sup>, M. and Momen<sup>5</sup>, A.

### Abstract

In order to evaluate the effect of kaolin on leaf gas exchange in seedlings of pistachio (*Pistacia vera* L.), an experiment was conducted as split plot based on a completely randomized design with five replications in open field condition during year of 2013. Kaolin concentration at four levels (0, 5, 10 and 15%) and spraying time at three levels (once, two and three times) in 3×4 factorial as main factor and five sampling time as sub-factors were considered. Results of the experiment indicated that 5, 10 and 15% concentrations of Kaolin reduced leaf temperature by 1.1, 2 and 2.2°C compared to the control. Simple effect of spraying time on photosynthesis, stomatal conductance and transpiration was significant, whereas these traits significantly decreased when spraying was more than two times. Maximum photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and intracellular CO<sub>2</sub> were recorded in 5% Kaolin. Treatments of control and 15% Kaolin recorded maximum and minimum value in quantum yield with 0.89 and 0.88, respectively. Generally, 5% Kaolin concentration in one and two spraying time increased leaf gas exchange compared to the control due to the reduction in negative effects of high temperature. Nevertheless, high kaolin concentrations (10% and 15%) despite further lowering leaf temperature, decreased the photosynthesis of pistachio seedlings significantly due to increasing light reflection as a result the thick layer of kaolin on leaf and disruption of stomatal activity.

**Keywords:** Light reflection, Quantum yield, Photosynthesis, Stomatal conductance

---

1, 2 and 3. PhD Student, Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4. Professor, Department of Crop Biotechnology and Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

5. PhD Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\*: Corresponding author                      Email: nurzadehnamaghi.mina@mail.um.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the guidance of Gholam Hossein Davarynejad.