

## تأثیر سایکوسل بر فعالیت‌های فتوسنتزی و اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) تحت تنش خشکی

بابک عندلیبی\* و فاطمه نوری

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

### چکیده

خشکی به معنای کمبود رطوبت قابل استفاده خاک، مهم‌ترین تنش محیطی است که رشد و توسعه گیاهان را محدود می‌کند. فتوسنتز نیز فرآیند اصلی تعیین‌کننده رشد گیاهان است و توانایی حفظ این فرآیند در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات رشد مهم است. برای بررسی اثر سایکوسل بر فعالیت‌های فتوسنتزی و اسانس رازیانه تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات با سه سطح خشکی: شاهد، تنش ملایم و تنش شدید به عنوان عامل اصلی و کلرمکوات کلرید (سایکوسل) در سه غلظت: صفر، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به عنوان عامل فرعی در چهار تکرار روی گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) اجرا شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که بین مقادیر مختلف محلول پاشی با سایکوسل و تنش خشکی، در سرعت فتوسنتز، شدت تعرق، غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، اختلاف دمای کانوبی و درصد اسانس اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت. محلول پاشی گیاه با غلظت سایکوسل ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب تعدیل وضعیت گیاه در برابر تنش خشکی شد و توانست اثر منفی آن را کاهش دهد. کاربرد سایکوسل موجب افزایش معنی‌دار سرعت فتوسنتز و هدایت مزوفیلی و کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در شرایط تنش شد. بیشترین درصد اسانس دانه از تیمار تنش ملایم که با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محلول پاشی شده بود به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** تبادلات گازی، تنش خشکی، رازیانه، سرعت فتوسنتز

### مقدمه

نوین در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی استفاده از هورمون‌های رشد گیاهی است. کلرومکوات کلرید یا سایکوسل یکی از مشتقات کولین و از گروه ترکیبات اونیومی است (Emam and Moaid, 2000).

یکی از اهداف مهم در کشاورزی پیشرفته افزایش عملکرد در واحد سطح و به حداقل رساندن ضایعات و خسارات ناشی از عوامل نامساعد است. از رهیافت‌های

*Cymbopogon citratus* نشان داد که محلول پاشی با سایکوسل سبب افزایش معنی‌دار را در میزان روغن فرار قسمت‌های هوایی گیاه و درصد سیترال آن در مقایسه با شاهد شد، به طوری که تیمار ۵۰۰ ppm سایکوسل بیشترین عملکرد روغن فرار را نسبت به بقیه تیمارها داشت (Ellabban, 1978). مصرف ۰/۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به معنی‌داری میزان آتروپین و اسکوپولامین ریشه‌های مویین تراریخت و گیاهچه‌های *Atropa belladonna* شد (Ahmadian Chashmi et al., 2011). مصرف سایکوسل در شرایط تنش خشکی با افزایش مقاومت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب (RWC) سبب خنثی شدن آثار منفی خشکی در ارقام مختلف زیتون گردید (Nejadsahebi et al., 2010). سایکوسل به عنوان فعال‌کننده متابولیسم سنتز فلاونوئیدها عمل می‌کند و تیمار گندم سیاه با آن به طور معنی‌داری سنتز متابولیت‌های ثانویه را با فعال نمودن آنزیم فینیل آلانین-آمونیلاز افزایش داد (Smirnov et al., 2012). رشد و فتوسنتز گیاهان، تحت تأثیر شرایط محیطی نظیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. توانایی زنده ماندن گیاه و ادامه رشد و نمو و فتوسنتز در تنش‌های محیطی به پتانسیل ژنتیکی گیاه وابسته است که به صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک و مولکولی بروز می‌کند. برخی مواد تنظیم‌کننده رشد خارج از گیاه می‌توانند گیاه را از طریق فتوسنتز بیشتر برای تحمل به تنش تواناتر سازند (Geoffrey, 2011). مصرف سایکوسل در گیاه *Pelargonium graveolens* با کاهش رشد و ارتفاع ساقه‌ها مواد فتوسنتزی بیشتری را به سمت سنتز اسانس انتقال داد (Rabbi Angourani et al., 2013).

کلرمکوات کلرید مانع فعالیت آنزیم انت کائورن سنتتاز در مسیر بیوسنتز هورمون جیبرلیک اسید می‌شود و با کاهش این هورمون ارتفاع گیاهان را کاهش می‌دهد (Jaana et al., 2002). عملکرد بیشتر دانه در گیاهان تیمار شده با سایکوسل به خاطر رشد بیشتر ریشه، افزایش مقاومت روزنه‌ای و پتانسیل آب بیشتر در برگ است (Parida and Das, 2005). سایکوسل با افزایش تعداد و بقای پنجه‌ها و همچنین سطح برگ بیشتر در غلات باعث افزایش فتوسنتز می‌شود و مواد پرورده بیشتری به سمت ریشه‌ها انتقال می‌یابد موجب و ریشه‌دهی بیشتر می‌شود (Sherif et al., 2007). از سوی دیگر، سایکوسل در ساختمان خود دارای یک گروه آمونیومی است که ممکن است ازت موجود در گروه آمونیوم آن پس از تجزیه در مسیر فرآیندهای متابولیسمی آزاد شود و به عنوان منبع نیتروژنی در دسترس گیاه قرار گیرد و به تحریک رشد و شاخص‌های وابسته به آن منجر گردد (Ma and Smith, 1992). پیش‌تیمار بذور ذرت با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش در مقدار آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی از جمله آسکوربات و ترکیبات فنلی و همچنین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش اکسیداتیو و نشت یونی را کاهش و باعث افزایش شاخص‌های رشد گردید (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010). با بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک در گیاه *Lepidium sativum* مشاهده شد که این ترکیب موجب افزایش معنی‌دار طول ریشه و ساقه شد اما میزان آنتوسیانین و کاروتنوئیدها در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد کاهش یافت (Hashemi et al., 2010). آزمایش انجام شده روی گیاه

(Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010).  
 با مطالعه اثر تنش خشکی روی گیاه *Ctenanthe setosa* مشاهده شد که وقتی بوته‌های این گیاه تحت تنش شدید خشکی قرار گرفتند، RWC برگ از ۹۴ درصد به ۷۴ درصد کاهش یافت. کاهش پتانسیل آب برگ و RWC در واقع با هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز کمتر همراه بوده است و در نهایت، باعث کاهش عملکرد شد (Saglam *et al.*, 2008).  
 با بررسی تأثیر محدودیت آب روی گیاه دارویی *Cajanus cajan* مشاهده شد که هر چه بر شدت تنش خشکی افزوده شود، از اختلاف بین دمای برگ و دمای هوا کاسته شده و بر دمای کانویپی اضافه می‌شود و در شرایط تنش خشکی شدید این اختلاف ( $T_c - T_a$ ) به صفر نزدیک می‌شود (Patel *et al.*, 2001). با مطالعه تأثیر تنش خشکی بر شش ژنوتیپ جو مشاهده شد که کمبود آب موجب کاهش محتوای کلروفیل و عملکرد شد. اما دمای آسمانه ( $\Delta T$ ) در تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده به طور معنی‌داری افزایش یافت (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010).  
 تعیین توان فتوسنتزی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) در شرایط تنش خشکی و تعیین سهم عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای در کاهش فتوسنتز برای شناسایی ویژگی‌های فتوسنتزی این گیاه اهمیت فراوانی دارد. هدف از پژوهش حاضر، تعیین نقش برخی عوامل مهم روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای و اهمیت نسبی آنها در شرایط تنش خشکی و بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر رفع آثار کم آبی و بهبود سیستم فتوسنتزی جهت به دست آوردن عملکرد کمی و کیفی بالا در شرایط تنش بود.

فتوسنتز از دو طریق تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد: الف) بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به  $CO_2$  محدود می‌کند؛ ب) پایین بودن پتانسیل آب تأثیر مستقیم بر ساختمان اجزای دخیل در فرآیند فتوسنتز دارد (Ramachandra Reddy *et al.*, 2004). عموماً پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین‌کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی است (Cornic, 2000). بسته شدن روزنه، کاهش ورود دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) به درون برگ و کاهش فتوسنتز خالص را در پی خواهد داشت (Andalibi, 2009). تنظیم تعرق برگ از طریق بسته شدن روزنه‌ها ممکن است به عنوان سازوکار مقاومت به خشکی عمل نماید، اما اجتناب از تنش که بدین ترتیب حاصل می‌شود ممکن است سبب توقف فتوسنتز شود و نامطلوب باشد، عدم کارایی دستگاه فتوسنتزی و آسیب دیدن آن در اثر کمبود آب به مصرف نشدن  $CO_2$  و افزایش غلظت آن منجر می‌شود (Ashraf and Harris, 2013). با افزایش شدت تنش، هدایت مزوفیلی بیش از هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لذا با وجود کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود شدن ورود  $CO_2$  به داخل روزنه‌ها به علت افت کارایی کربوکسیلاسیون و کاهش مصرف  $CO_2$ ، غلظت آن در زیر اطاقک روزنه‌ای افزایش می‌یابد (Siosemardeh *et al.*, 2005؛ Yamori *et al.*, 2013). با بررسی تأثیر تنش خشکی روی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در گیاه جو مشاهده شد که با افزایش محدودیت آب آبیاری، میزان کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به دلیل بازدارندگی نوری کاهش معنی‌داری نشان داد

## مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر محلول پاشی سایکوسل بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و میزان اسانس گیاه دارویی رازیانه تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، به

صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. زمین محل آزمایش دارای خاکی با بافت لومی شنی و اسیدیته برابر با ۷/۵۴ بود (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	رطوبت وزنی در حد FC (درصد)	جرم مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	ازت کل (درصد)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	اسیدیته گل اشباع
۰-۳۰	۲۲/۵۶	۱/۵۶۴	لومی شنی	۱۷	۳۱	۵۲	۰/۱۲	۱۳/۴	۲۶۷	۱۳/۸۶	۷/۵۴

تنش خشکی به عنوان عامل اصلی در سه سطح: الف) شاهد: آبیاری مجدد در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد؛ ب) تنش ملایم: آبیاری مجدد زمانی که ۳۰ درصد آب قابل استفاده از خاک خارج شد و پ) تنش شدید: آبیاری مجدد ۹۰ درصد، زمان خارج شدن آب قابل استفاده از خاک، بررسی شد که از آغاز گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک اعمال شد. محلول پاشی سایکوسل به عنوان عامل فرعی در یک مرحله، در سه سطح: ۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله گل‌دهی انجام شد. با توجه به منحنی رطوبتی خاک، پتانسیل آب خاک در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد برابر با ۰/۳۷-، تنش ملایم برابر با ۰/۴۸- و در تنش شدید ۱/۲۵- مگاپاسکال بود. در مرحله گل‌دهی پس از اعمال تنش و محلول پاشی، از هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و تبادلات گازی سه برگ بالایی هر بوته با استفاده از دستگاه تحلیل گر گاز مادون قرمز (مدل LCA4، شرکت ADC Bioscientific، انگلستان) در ساعت ۱۱ تا ۱۲ پیش از ظهر و در شدت نوری معادل ۱۲۰۰-۱۴۰۰

میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه و دمای  $2 \pm 25$  درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد (Shah, 2011). برای تعیین هدایت مزوفیلی (کارآیی کربوکسیلاسیون=CE) از رابطه ۱ استفاده شد (Ashraf et al., 2002).

$$\text{رابطه ۱: } CE (g_m) = P_N / g_s$$

برای تعیین اختلاف دمای کانوپی در مرحله گل‌دهی کامل، زمانی که گیاهان تحت تنش‌های مورد نظر قرار گرفتند، دمای برگ تمامی تیمارها در ساعت ۱۳، با دماسنج لیزری (مدل Reytek MT4، شرکت Minitemp، چین) اندازه‌گیری شد. در هر بار اندازه‌گیری ۱۰ نقطه به صورت تصادفی انتخاب و به سمت پوشش گیاهی نشانه‌روی شد. برای اندازه‌گیری دمای محیط از دماسنج دیجیتالی استفاده شد. دماسنج در ارتفاع حدود ارتفاع پوشش گیاهی در مزرعه قرار داده شد، سپس اختلاف دمای کانوپی برای هر کرت از رابطه ۲ به دست آمد (Siddique et al., 2000).

$$\text{رابطه ۲: } \Delta T(^{\circ}C) = T_c - T_a$$

برای اندازه‌گیری RWC برگ در مرحله گل‌دهی

در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد (جدول ۲). تیمار شاهد در عدم محلول پاشی سایکوسل و تنش شدید با محلول پاشی ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل به ترتیب با ۰/۴۱ و ۰/۱۸ مول  $H_2O$  بر متر مربع بر ثانیه، بیشترین و کمترین هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). با افزایش غلظت محلول پاشی سایکوسل روند کاهش در میزان هدایت روزنه‌ای تیمارها مشاهده شد، هر چند این کاهش در گیاهان تحت تنش اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. نتایج آزمایش نشان داد که سایکوسل در شرایط تنش ملایم خشکی توانست با بسته‌تر نگه داشتن روزنه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کمبود آب گیاه را جبران کند، RWC گیاه را افزایش دهد و از این طریق از صدمه به گیاه جلوگیری کند. بنابراین، استفاده از سایکوسل در شرایط تنش خشکی می‌تواند با افزایش مقاومت روزنه‌ای، میزان هدر رفت آب گیاه را کاهش دهد (Saei et al., 2006). مشخص شده است که وضعیت آبی برگ با هدایت روزنه‌ای همبستگی دارد (Ashraf and Harris, 2013). گیاهان تحت تنش، توسط تنظیم روزنه‌ای از اتلاف زیاد آب از طریق تعرق جلوگیری می‌کنند (Chinnusamy, 2004). بر اساس تحقیقات انجام شده روی سه کولتیوار درخت زیتون، کاربرد ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش میزان RWC برگ و مقاومت روزنه‌ای و از این طریق موجب تعدیل اثر منفی تنش خشکی می‌شود (Nejadsahebi et al., 2010) که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

همزمان با اندازه‌گیری تبادلات گازی در ساعت ۱۱ صبح، از هر واحد آزمایشی ۱۰ برگ کامل (بالاترین برگ هر بوته) انتخاب و برگ‌ها بلافاصله در فویل آلومینیومی پیچیده و در کیسه پلاستیکی درون یخ به آزمایشگاه منتقل و وزن تر آنها تعیین شد. سپس، به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در آب مقطر قرار داده شد و وزن آماسیده آنها تعیین گردید. آنگاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک آنها توزین شد. RWC از رابطه ۳ محاسبه شد (Merah, 2001).

$$\text{RWC} = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

برای استخراج اسانس، از بذره‌های خشک شده در سایه و تحت جریان هوا، از روش تقطیر با آب و از دستگاه کلونجر (مدل جایمند-رضایی، شرکت گلدیس، ایران) استفاده شد. برای این منظور، ۵۰ گرم از دانه‌های خشک شده گیاه (با احتساب میزان رطوبت موجود در دانه‌ها) به همراه یک لیتر آب مقطر در بالن دستگاه قرار گرفت. اسانس‌گیری پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها با حرارت دادن بالن به مدت سه ساعت انجام شد (Andalibi, 2009).

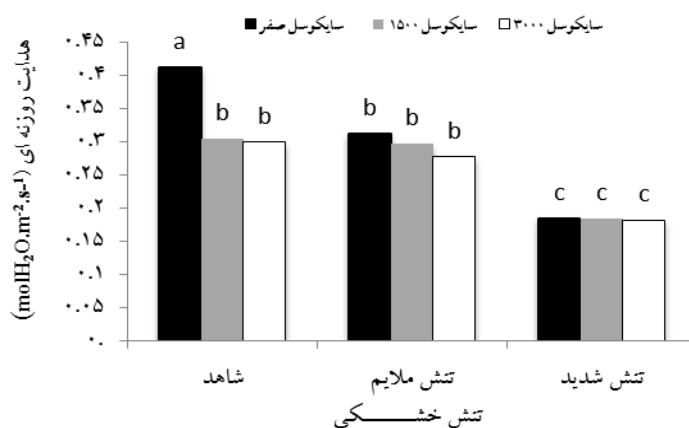
داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد، برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

## نتایج و بحث

**هدایت روزنه‌ای:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد تنش خشکی و محلول پاشی با سایکوسل اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای داشت. همچنین اثر متقابل این دو تیمار نیز تأثیر معنی‌داری

جدول ۲- جدول میانگین مربعات اثر سایکوسل بر فعالیت‌های فتوسنتزی و اسانس رازیانه تحت تنش خشکی. \*\*، \* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	سرعت تعرق فتوسنتز	سرعت CO <sub>2</sub> زیر روزنه (ci)	هدایت مزوفیلی	ΔT	RWC برگ	درصد اسانس
بلوک	۳	۰/۰۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱/۰۶ <sup>ns</sup>	۴۵/۹۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۶۴*	۲/۸۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>
تنش خشکی	۲	۰/۰۷۶ <sup>ns</sup>	۳۷/۰۵ <sup>ns</sup>	۴۶۳۵۱/۵۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۴۱/۰۳ <sup>ns</sup>	۴۶۶۵/۱۹ <sup>ns</sup>	۱/۱۲ <sup>ns</sup>
خطای a	۶	۰/۰۰۰۸	۰/۵۹	۷۶/۹۵	۰/۰۹۵	۰/۲۴	۱۸/۶۷	۰/۰۰۸
سایکوسل	۲	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱۲/۹۸ <sup>ns</sup>	۲۷۶/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۱/۶۹ <sup>ns</sup>	۲۰۱/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>
تنش خشکی × سایکوسل	۴	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۱/۲۰ <sup>ns</sup>	۱۷/۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۳ <sup>ns</sup>	۱۷/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۱۸	۰/۰۰۶	۰/۲۹	۷/۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷	۹/۴۱	۰/۴۱
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۱۸	۶/۸۵	۷/۴۹	۱۳/۹۱	۱۶/۹۶	۴/۱۵	۹/۳۴



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل بر هدایت روزنه‌ای در گیاه رازیانه. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

هدایت روزنه‌ای روند مشابهی را در تیمارها نشان داد، با این تفاوت که شدت کاهش هدایت روزنه‌ای در مقایسه با میزان تعرق بیشتر بود (شکل ۲). زیاد بودن میزان تعرق نسبت به جذب CO<sub>2</sub> به دو عامل بستگی داشت: الف) شیب غلظت آب از داخل به بیرون برگ علت پنج برابر شیب CO<sub>2</sub> از بیرون به داخل برگ است. علت این امر پایین بودن غلظت CO<sub>2</sub> در هوا و بالا بودن غلظت بخار آب در فضای داخلی برگ است. ب) CO<sub>2</sub> آهسته‌تر از آب در هوا انتشار می‌یابد (مولکول CO<sub>2</sub> بزرگتر از H<sub>2</sub>O و دارای ضریب انتشار

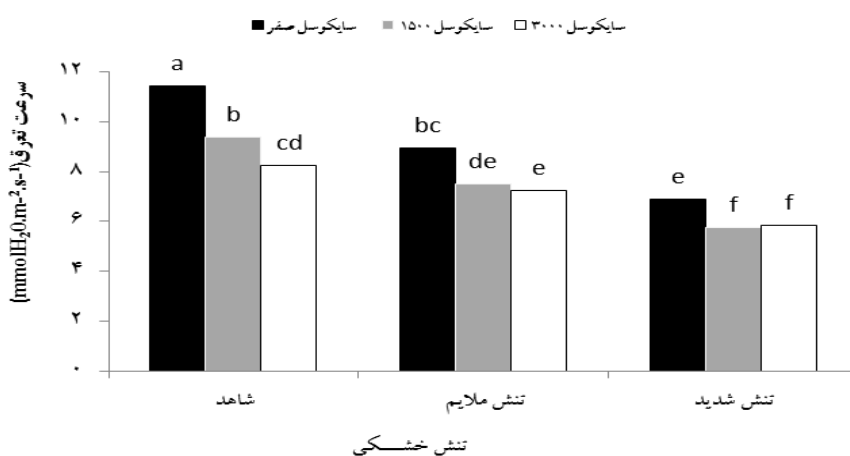
**سرعت تعرق:** بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل تأثیر معنی‌داری بر سرعت تعرق در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۲). اثر متقابل تیمار شاهد و عدم محلول پاشی سایکوسل با ۱۱/۴۲ و تنش شدید و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل با ۵/۷۶ میلی مول H<sub>2</sub>O بر متر مربع بر ثانیه، به ترتیب بیشترین و کمترین سرعت تعرق را به خود اختصاص دادند. در تمامی سطوح آبیاری، با افزایش غلظت سایکوسل، سرعت تعرق به طور معنی‌داری کاهش یافت. مقایسه میانگین میزان تعرق و

کمترین هدایت مزوفیلی را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). افزایش غلظت سایکوسل از صفر به ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر در شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی دار در هدایت مزوفیلی گردید، در شرایط تنش ملایم نیز این افزایش زمانی که غلظت سایکوسل از ۱۵۰۰ به ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش یافت محسوس بود. در تنش شدید افزایش جزئی هدایت مزوفیلی با افزایش غلظت سایکوسل مشاهده شد اما این افزایش از لحاظ آماری معنی دار نبود.

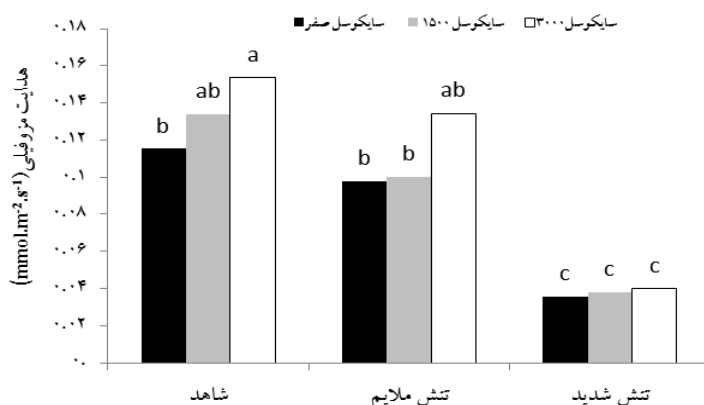
با توجه به کاهش فتوستتز در شرایط تنش خشکی و کاهش شدیدتر هدایت مزوفیلی در مقایسه با هدایت روزنه‌ای می توان گفت که اثر محدود کنندگی مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش، کمتر از مقاومت مزوفیلی بوده است، بنابراین در صورتی که کاهش فتوستتز با افزایش یا ثبات غلظت  $CO_2$  درون روزنه‌ای همراه باشد می توان گفت که عوامل غیرروزنه‌ای محدود کننده فتوستتز هستند (Siosemardeh *et al.*, 2005). پژوهشگران تولید پایدار را مستلزم تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی بالا در شرایط تنش می دانند (Omea *et al.*, 2007).

کوچکتری است). علاوه بر این، مسیر  $CO_2$  طولانی تر است، زیرا  $CO_2$  بایستی پیش از آن که در کلروپلاست جذب شود، از غشای پلاسما، سیتوپلاسم و غشای کلروپلاست عبور کند. این غشاها به طور قابل توجهی مقاومت مسیر انتشار  $CO_2$  را افزایش می دهند (Taiz and Zeiger, 2002). کاهش میزان تعرق در تیمارهای تحت تنش به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای است که علاوه بر تولید ABA در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، در اثر کاهش پتانسیل آماسی در برگ نیز به وجود می آید و به احتمال زیاد از طریق ABA تولید شده در خود برگ‌ها عمل می کند (Yamori *et al.*, 2013). سایکوسل نیز با افزایش مقاومت روزنه‌ای میزان تعرق را کاهش می دهد و از هدر رفت آب جلوگیری می کند (Saei *et al.*, 2006).

**هدایت مزوفیلی:** اثر متقابل تنش خشکی و سایکوسل تأثیر معنی داری بر هدایت مزوفیلی در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). تیمار شاهد با محلول پاشی غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل و تنش شدید بدون محلول پاشی سایکوسل به ترتیب با ۰/۱۵۳ و ۰/۰۳۵ میلی مول بر متر مربع بر ثانیه، بیشترین و



شکل ۲- مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل بر سرعت تعرق در گیاه رازیانه. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.



تنش خشکی

شکل ۳- مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل بر هدایت مزوفیلی در گیاه رازیانه. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

طور معنی‌داری در گیاه کاهش پیدا کرده است.

**سرعت فتوسنتز:** اثر متقابل تنش خشکی و سایکوسل تأثیر معنی‌داری بر صفت سرعت فتوسنتز در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). تیمار شاهد با محلول پاشی غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تنش شدید بدون محلول پاشی سایکوسل به ترتیب با ۲۱/۱۰ و ۹/۲۸ میکرومول CO<sub>2</sub> بر متر مربع بر ثانیه، بیشترین و کمترین سرعت فتوسنتز را داشتند (شکل ۴). با افزایش تنش خشکی، سرعت فتوسنتز کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که در تیمار تنش شدید، سرعت فتوسنتز ۴۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. افزایش غلظت سایکوسل در تیمار تنش ملایم موجب افزایش معنی‌دار در سرعت فتوسنتز شد و توانست تا حدی آثار منفی تنش خشکی را جبران کند. به طوری که تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد با محلول پاشی ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل با تیمار تنش ملایمی که با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل محلول پاشی شده بود وجود نداشت. در تنش شدید نیز زمانی که غلظت سایکوسل از صفر به ۳۰۰۰ میلی‌گرم

### غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه (Ci): غلظت CO<sub>2</sub>

زیرروزنه‌ای به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی با سایکوسل قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقادیر غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای به ترتیب از تیمار تنش شدید و شاهد به میزان ۲۵۵/۵ و ۱۴۳/۲۹ میکرومول CO<sub>2</sub> بر متر مربع بر ثانیه به دست آمد. محلول پاشی سایکوسل به میزان ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۱۷۹/۳۴ کمترین و تیمار شاهد با ۱۸۸/۹۱ میکرومول CO<sub>2</sub> بر متر مربع بر ثانیه بیشترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). عدم کارایی دستگاه فتوسنتز و آسیب دیدن آن در اثر کمبود آب به عدم مصرف CO<sub>2</sub> و افزایش غلظت آن منجر شد. افزایش Ci با وجود کاهش شدید هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش را می‌توان به کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست‌ها یا کاهش بازده کربوکیلاسیون نسبت داد (Taiz and Zeiger, 2002) که در این بین، سایکوسل موجب افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت مزوفیلی شده، با مصرف CO<sub>2</sub> جهت انجام عمل فتوسنتز، غلظت آن نسبت به تیمار شاهد به

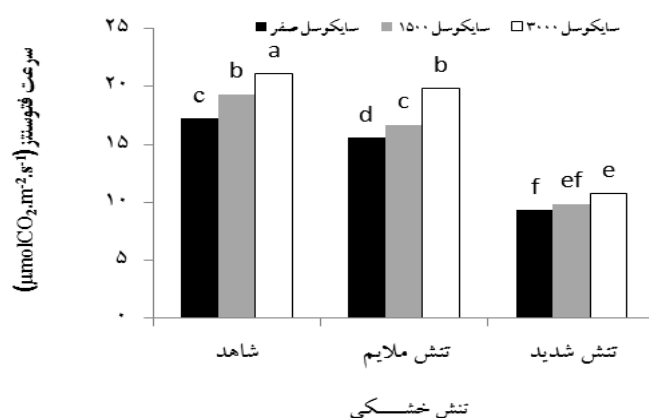


آمونومی، مانند سایکوسل، می‌توان به افزایش میزان فتوستتز خالص در گیاهان اشاره کرد، افزایش فتوستتز گیاهچه‌های تیمار شده با کلرومکوات کلراید در گیاهان متعددی گزارش شده است که علت آن را افزایش غلظت کلروفیل، قند ۵ کربنی ریپولوز دی فسفات و کوچکتر شدن سلول‌ها عنوان می‌کنند (Smirnov *et al.*, 2012). بنابراین، سایکوسل با افزایش هدایت مزوفیلی و کاهش شدت تعرق گیاه تا حد زیادی موجب بهبود فعالیت دستگاه فتوسنتزی گیاه در برابر تنش شد و از این طریق توانست سرعت فتوستتز را افزایش دهد.

در لیتر افزایش یافت موجب افزایش سرعت فتوستتز شد. تنش ملایم خشکی، فتوستتز را عمدتاً از طریق عوامل قابل برگشت روزنه‌ای کاهش داد، اما با تشدید تنش، عوامل غیرروزنه‌ای هم مزید بر علت شدند. کاهش سرعت فتوستتز در تنش‌های شدید خشکی عمدتاً تحت تأثیر عوامل غیرروزنه‌ای بود (Chai *et al.*, 2011; Ashraf and Harris, 2013). Mishra و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که سرعت فتوستتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای یک روز پس از قطع آبیاری تغییر نکرد اما از روز دوم پس از اعمال تنش به سرعت شروع به کاهش نمود. از آثار ثانویه ترکیبات

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سایکوسل بر فعالیت‌های فتوسنتزی و اسانس رازیانه تحت تنش خشکی. میانگین‌های هر ستون‌ها که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

اسانس	RWC	$\Delta T$	هدایت مزوفیلی	CO <sub>2</sub> زیر روزنه	سرعت فتوستتز	سرعت تعرق	هدایت روزنه‌ای	تیمار	
(درصد)	(درصد)	(درجه سانتیگراد)	(میلی مول H <sub>2</sub> O بر متر مربع بر ثانیه)	(میلی مول H <sub>2</sub> O بر متر مربع بر ثانیه)	(میلی مول H <sub>2</sub> O بر متر مربع بر ثانیه)	(میلی مول H <sub>2</sub> O بر متر مربع بر ثانیه)	(میلی مول H <sub>2</sub> O بر متر مربع بر ثانیه)		
۱/۵۶ <sup>b</sup>	۸۸/۶۰ <sup>a</sup>	-۷/۸۲ <sup>c</sup>	۰/۱۳ <sup>a</sup>	۱۴۳/۲۹ <sup>c</sup>	۱۹/۲۱ <sup>a</sup>	۹/۶۷ <sup>a</sup>	۰/۳۳ <sup>a</sup>	شاهد	تنش خشکی
۱/۹۱ <sup>a</sup>	۸۱/۲۵ <sup>b</sup>	-۶/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۱۱ <sup>b</sup>	۱۵۳/۰۸ <sup>b</sup>	۱۷/۳۴ <sup>b</sup>	۷/۸۹ <sup>b</sup>	۰/۲۹ <sup>b</sup>	تنش ملایم	
۱/۳۰ <sup>c</sup>	۵۱/۴۱ <sup>c</sup>	-۴/۱۳ <sup>a</sup>	۰/۰۳ <sup>c</sup>	۲۵۵/۵ <sup>a</sup>	۹/۸۵ <sup>c</sup>	۶/۱۶ <sup>c</sup>	۰/۱۸ <sup>c</sup>	تنش شدید	
۱/۵۷ <sup>c</sup>	۶۹/۵۰ <sup>c</sup>	-۶/۴۵ <sup>b</sup>	۰/۰۸ <sup>c</sup>	۱۸۸/۹۱ <sup>a</sup>	۱۴/۰۱ <sup>c</sup>	۹/۰۸ <sup>a</sup>	۰/۳۰ <sup>a</sup>	صفر	سایکوسل
۱/۵۸ <sup>b</sup>	۷۴/۱۶ <sup>b</sup>	-۵/۹۷ <sup>a</sup>	۰/۰۹ <sup>b</sup>	۱۸۳/۶۱ <sup>b</sup>	۱۵/۲۶ <sup>b</sup>	۷/۵۴ <sup>b</sup>	۰/۲۶ <sup>b</sup>	۱۵۰۰	
۱/۶۲ <sup>a</sup>	۷۷/۶۶ <sup>a</sup>	-۵/۷۰ <sup>a</sup>	۰/۱ <sup>a</sup>	۱۷۹/۳۴ <sup>c</sup>	۱۷/۱۳ <sup>a</sup>	۷/۱۰ <sup>b</sup>	۰/۲۵ <sup>b</sup>	۳۰۰۰	



شکل ۴- مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل بر سرعت فتوستتز در گیاه رازیانه. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

### اختلاف دمای کانوپی (AT): تجزیه واریانس نشان

داد که دمای کانوپی به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی سایکوسل قرار گرفت. اثر متقابل این دو معنی دار نبود (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقادیر اختلاف دمای کانوپی به ترتیب از تیمار تنش شدید و شاهد به میزان ۴/۱۳- و ۷/۸۲- درجه سانتیگراد حاصل شد که نشانگر اختلاف زیاد دمای برگ گیاهان شاهد با دمای محیط بود (جدول ۳). تعرق روزنه‌ای نقش اصلی را در تنظیم دمای برگ دارد، بنابراین زمانی که گیاه با کمبود آب مواجه نباشد میزان تعرق گیاه بالا است و با انجام عمل تعرق می‌تواند دمای خود را تعدیل کند. اما در شرایط تنش به علت کاهش تعرق گیاه و بسته شدن روزنه‌ها دمای برگ بالا رفته، اختلاف اندکی با دمای محیط خواهد داشت. محلول پاشی سایکوسل به میزان ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر با ۵/۷۰- بیشترین و تیمار بدون محلول پاشی با ۶/۴۵- درجه سانتیگراد کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. اگر چه در بررسی حاضر محلول پاشی با سایکوسل باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق و در نتیجه کاهش هدر رفت آب از گیاه گردید، اما موجب بالا رفتن دمای برگ‌ها شد، این افزایش به حدی نبود که گیاه با تنش حرارتی آسیب ببیند.

در گیاهانی که تحت شرایط مناسب آبی قرار دارند میزان تعرق و در نتیجه آب تبخیر شده از برگ‌ها بالا است که به دفع انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها منجر می‌گردد و دمای کانوپی پایین می‌آید. اما در گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار دارند و روزنه‌ها در اثر کمبود آب بسته است، تبخیر در خنک شدن برگ‌ها نقشی ندارد و عمده تلفات گرمایی از طریق

تلفات محسوس گرمایی صورت می‌گیرد که کارآیی چندانی در خنک کردن برگ‌ها ندارد و در نتیجه دمای کانوپی افزایش می‌یابد. افزایش دمای کانوپی تحت شرایط تنش در سایر گیاهان نیز تأیید شده است (Erdem et al., 2006).

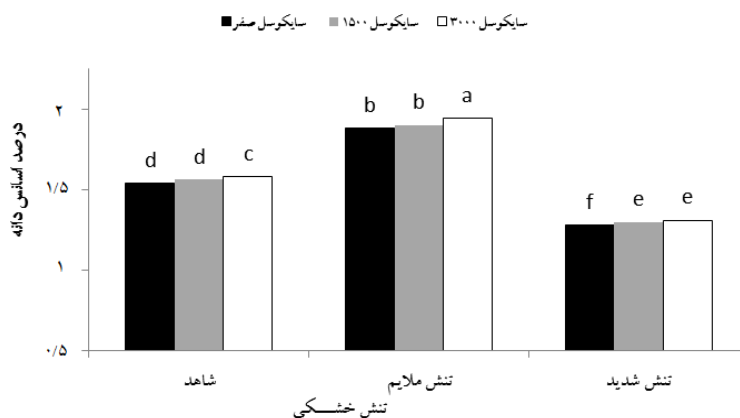
### محتوای نسبی آب (RWC): تنش خشکی و

سایکوسل تأثیر معنی داری ( $P \leq 0.01$ ) بر RWC داشتند اما اثر متقابل این دو معنی دار نشد (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقادیر RWC را به ترتیب تیمار شاهد و تنش شدید به میزان ۸۸/۶۰ و ۵۱/۴۱ درصد به خود اختصاص دادند. محلول پاشی ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر سایکوسل، RWC را افزایش داد (۷۷/۶۶ درصد) و در شاهد معادل کاهش داشت (۶۹/۵۰ درصد) (جدول ۳). به خوبی مشخص شده است که تنش خشکی، RWC، پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی سلول‌ها را کاهش می‌دهد. کاهش RWC برگ می‌تواند به علت کاهش میزان جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها یا به علت تبخیر بیشتر از روزنه‌ها باشد (Ma et al., 2006). بالا بودن RWC در شرایط کم آبی می‌تواند با رفتار روزنه‌ها و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد، زیرا حفظ رطوبت درونی محتوای گیاه نیازمند داشتن ریشه‌های عمیق برای جذب آب دارد (Hirayama et al., 2006). سایکوسل در شرایط تنش خشکی توانست با بسته‌تر نگه داشتن روزنه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای از اتلاف آب گیاه جلوگیری کند و RWC برگ را افزایش دهد و از این طریق از صدمه به گیاه جلوگیری کند. بنابراین، استفاده از سایکوسل در شرایط تنش خشکی می‌تواند با افزایش مقاومت روزنه‌ای و احتمالاً توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای، میزان هدر رفت آب از گیاه را کاهش و جذب آب را

افزایش دهد (Saei et al., 2006).

بر اساس فرضیه موازنه رشد-تمایز (Growth Differentiation Balance Hypothesis) هر کمبودی که رشد را بیش از فتوسنتز محدود کند، تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد. تا زمانی که آب در دسترس گیاه است گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اختصاص می‌دهد. اما با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به رطوبت کمتر شده، رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و تنفس رشد کاهش می‌یابد در نتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید اسانس اختصاص می‌یابد. زمانی که دسترسی به منابع بسیار اندک باشد (تنش شدید خشکی) ممکن است فتوسنتز آن قدر کاهش یابد که عمده کربن تثبیت شده از طریق تنفس مصرف گردد، در نتیجه رشد و حتی تولید متابولیت‌های ثانویه هم کاهش یابد که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد (Herms and Mattson, 1992).

**درصد اسانس:** اثر متقابل تنش خشکی و سایکوسل تأثیر معنی‌داری بر درصد اسانس در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). بیشترین درصد اسانس به میزان ۱/۹۴ درصد مربوط به تیمار تنش ملایمی بود که با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم سایکوسل محلول‌پاشی شده بود و کمترین مقدار درصد اسانس با ۱/۲۸ درصد از تیمار تنش شدید بدون محلول‌پاشی سایکوسل به دست آمد (شکل ۵). به طوری که تیمار تنش ملایم نسبت به تیمار شاهد ۲۲ درصد افزایش اسانس داشت. تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان تحت شرایط محیطی خشک روند افزایشی دارد (Rajala, 2003). اعتقاد بر این است که سنتز بیشتر متابولیت‌های ثانویه در تحمل گیاهان تحت شرایط تنش می‌تواند نقش داشته باشد (Safi khani et al., 2007).



شکل ۵- مقایسه میانگین آثار متقابل تنش خشکی و میزان سایکوسل بر درصد اسانس در گیاه رازیانه. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

## نتیجه‌گیری

سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای آب نسبی، افزایش غلظت  $CO_2$  اتاقک زیرروزنه‌ای و دمای کانوبی در رازیانه شد. اما

تنش خشکی، تبادلات گازی گیاه را تحت تأثیر قرار داده، سبب کاهش اغلب صفات فیزیولوژیک نظیر:

خواهد بود.

### سپاسگزاری

نگارندگان از زحمات آقایان دکتر افشین توکلی، دکتر مجید پوریوسف و مهندس اسماعیل زنگانی به خاطر مشاوره و راهنمایی کمال تشکر را می‌نمایند.

سایکوسل توانست با افزایش معنی دار فتوسنتز و هدایت مزوفیلی و کاهش هدایت روزنه ای و سرعت تعرق، تا حدی آثار منفی تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک گیاه را کاهش دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سایکوسل به منظور به دست آوردن متابولیت‌های ثانویه در گیاه دارویی مفید

### منابع

- Ahmadian Chashmi, N., Sharifi, M., Karimi, F. and Rahnama, H. (2011) Comparative study of tropane alkaloids production in hairy roots and plantlet cultures of *Atropa belladonna* L. by salicylic acid treatments. *Iranian Journal of Plant Biology* 3: 63-76.
- Andalibi, B. (2009) Changes of essential oil and its composition in Iranian dill (*Anethum graveolens* L.) during growth and development under limited irrigation conditions. PhD thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- Ashraf, M. and Harris, P. J. C. (2013) Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica* 51(2): 163-190.
- Ashraf, M., Karim, F. and Rasul, E. (2002) Interactive effects of gibberlic acid and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two-spring wheat cultivars differing in salt tolerance. *Plant Growth Regulation* 36: 49-59.
- Chai, Y., Zhang, S. and Yao, C. (2011) Effect of drought stress and rewatering on photosynthetic physiological characteristics of sorghum. In: *Proceeding of International Conference Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)* Nanjing, China.
- Chinnusamy, V. (2004) Use of genetic engineering and molecular biology approaches for crop improvement for stress environments. In: *Abiotic stress: plant resistance through breeding and molecular approaches* (Eds. Xiong, L. and Zhu, J. K.) 47-107. Taylor and Francis Press, New York.
- Cornic, G. (2000) Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture- not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science* 5: 187-198.
- Ellabban, H. M. (1978) Effect of cycocel and spacings on the growth and volatile oil of *Cymbopogon citratus*. *Scientia Horticulturae* 8: 237-242.
- Emam, Y. and Moaid, G. R. (2000) Effect of planting density and chlormequat chloride on morphological and physiological characteristics of winter parley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar "Valfajr". *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)* 2: 75-83.
- Erdem, Y., Shirali, S., Erdem, T. and Kenar, D. (2006) Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 195-202.
- Geoffrey, J. D. (2011) Modifying poppy growth and alkaloid yield with plant growth regulator. MSc thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia.
- Hashemi, S., Asrar, Z. and Pourseyedi, S. (2010) Effects of seed pretreatment by salicylic acid on growth and some physiological and biochemical parameters in *Lepidium sativum*. *Iranian Journal of Plant*

Biology 4: 1-10.

- Hermes, D. A. and Mattson, W. J. (1992) The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, Chicago Journals 67(3): 283-325.
- Hirayama, M., Wada, Y. and Nemoto, H. (2006) Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science* 56: 47-54.
- Jaana, L., Rikala, R. and Aphalo, P. J. (2002) Effect of CCC and daminnozide on growth of silver birch container seedlings during three years after spraying. *New Forests* 23: 71-80.
- Ma, B. L. and Smith, D. L. (1992) Modification of tiller productivity in spring barley by application of chlormequat or ethephon. *Crop Science* 32: 735-740.
- Ma, Q. Q., Wang, W. Y., Li, H., Li, D. Q. and Zou, Q. (2006) Alleviation of photoinhibition in drought stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar applied glycinebetaine. *Journal of Plant Physiology* 163: 165-175.
- Mamnoei, E. and Seyed Sharifi, R. (2010) Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Iranian Journal of Plant Biology* 5: 51-62.
- Merah, O. (2001) Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Research* 137: 139-145.
- Mishra, G., Zhang, W., Deng, F., Zhao, J. and Wang, X. (2006) A bifurcating pathway directs abscisic acid effects on stomatal closure and opening in arabidopsis. *Science* 312: 264-266.
- Nejadsahebi, M., Moallemi, N. and Landi, A. (2010) Effect of cycocel and irrigation regimes on some physiological parameters of three olive cultivars. *American Journal of Applied Sciences* 7(4): 459-465.
- Omea, H., Kumar, A., Kashiwaba, K. and Shon, M. (2007) Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotype difference in leaf water relation, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science* 10(1): 8-35.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(3): 324-349.
- Patel, N. R., Mehta, A. N. and Shekh, A. M. (2001) Canopy temperature and water stress quantification in rain fed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill. sp.). *Agricultural and Forest Meteorology* 109: 223-232.
- Rabbi Angourani, H., Mortazavi, A. N., Rabiei, V. and Zangani, E. (2013) Effect of cycocel and naphthalene acetic acid on some vegetative characteristics and on essential oil yield in Rose-scented Geranium (*Pelargonium graveolens* L.cv. Bourbon). *Iranian Journal of Horticultural Science* 44(2): 209-216 (in Persian).
- Rajala, A. (2003) Plant growth regulators to manipulate cereal growth in northern growing conditions. PhD thesis, University of Helsinki, Helsinki, Finland.
- Ramachandra Reddy, A., Choityana, K. V. and Ivekanadan, R. (2004) Drought induced response of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Saei, A., Zamani, Z., Talaie, A. and Fatahi, R. (2006) Influence of drought stress periods on olive (*Olea europaea* L. cv. Zard) leaves stomata. *International Journal of Agriculture and Biology* 4: 430-433.
- Safikhani, F., Heydari sharifabad, H., Syadat, A., Sharifi ashorabadi, A., Syednedjad, M. and Abbaszadeh, B. (2007) The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L.. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*

- 23(1): 86-99 (in Persian).
- Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R. and Saruhan, N. (2008) Physiological changes in them in post stress emerging *Ctenanthe setosa* plant under drought condition. *Russian Journal of Plant Physiology* 55(1): 48-53.
- Shah, S. H. (2011) Growth and photosynthetic characteristics of *Nigella sativa* L. as affected by presowing seed treatment with kinetin. *Photosynthetica* 49(11): 154-160.
- Sherif, S., Safferi, M. and Emam, Y. (2007) The effect of drought stress and cycocel on barley yield (cv. Valfajr). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science* 10(4): 281-291.
- Siddique, M. R., Hamid, B. A. and Islam, M. S. (2000) Drought stress effects on water relation of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41: 35-39.
- Siosemardeh, A., Ahmadi, A. and Poustini, K. (2005) Stomatal and nonstomatal factors controlling photosynthesis and its relation to drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35: 93-106 (in Persian).
- Smirnov, O., Kosyan, A. and Kosyk, O. (2012) The cycocel effect on flavonoids content and phenyl alanine ammonia-lase (PAL) activity in buckwheat plant. *Studia Biologica* 6(3): 247-252.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002) *Plant physiology*. 3<sup>rd</sup> edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Yamori, M., Hikosaka, K. and Way, D. A. (2013) Temperature response of photosynthesis in C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research* 13(98): 74-76.

## Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress

Babak Andalibi \* and Fatemeh Nouri

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

### Abstract

Drought stress is one of the most important and most common environmental stresses that limit plant growth. Photosynthesis is the main determinant of plant growth and its retention ability under environmental stress condition is important for preservation of growth stability. To study the effect of spraying CCC on photosynthesis activity and essential oil content on '*Foeniculum vulgare*', an experiment was done in split plot design based on complete block with four replications in research field of University of Zanjan in 2011. Levels of drought stress included, control, soft stress (when 30% of available water was out of soil), severe stress (when 90% of available water was out of soil), and three concentration of CCC 0, 1500 and 3000 mg/L. The results showed that between rates foliar application on physiologic characteristics as photosynthesis rate, transpiration severity, RWC and  $\Delta T$  intercellular ( $C_i$ ), stomata conductivity, mesophyll conductivity and essential oil content was significant. By spraying 3000 mg/L CCC, balanced the plant position against drought stress and could reduce negative effect. Foliar application of CCC caused significant increase in photosynthesis rate, mesophyll conductivity and significant decrease stomata conductivity, transpiration severity under drought stress and could increase essential oil content under soft stress. In this study, foliar application of CCC to content 3000 mg/L had the highest effect on this characters.

**Key words:** Gas exchange, Drought stress, Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Photosynthesis rate

---

\* Corresponding Author: andalibi@znu.ac.ir