

## اثر محلول پاشی متانول و تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص‌های رشد سویا (*Glycine max L.*)

بهزاد امرایی<sup>۱\*</sup>، فرزاد پاک‌نژاد<sup>۲</sup>، محمدعلی ابراهیمی<sup>۳</sup> و حمید سبحانیان<sup>۴</sup>

(۱) گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(۲) دانشیار گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

(۳) دانشیار گروه بیوتکنولوژی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(۴) استادیار گروه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: amraeib@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲۵

### چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول و تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی گیاه سویا، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تنش خشکی شامل آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی متانول شامل عدم محلول پاشی (شاهد) و محلول پاشی با ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد حجمی متانول به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. محلول پاشی سه بار طی فصل رشد گیاه و با فواصل ۱۵ روز یکبار بر روی قسمت‌های هوایی انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل: تجمع ماده خشک، عملکرد دانه، سرعت رشد محصول، نرخ جذب خالص، پرولین، قندهای محلول، پراکسید هیدروژن و محتوای رطوبت نسبی بود. نتایج نشان داد که اثر محلول پاشی متانول در شرایط تنش خشکی بر افزایش نسبی تمامی شاخص‌های رشدی و عملکرد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین ویژگی‌های بررسی شده نشان داد که محلول پاشی متانول اثر مثبت و معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی سویا داشت که منجر به افزایش ماده خشک و عملکرد دانه سویا شد، به طوری که بیش‌ترین عملکرد دانه طی محلول پاشی متانول با ۲۱ درصد حجمی به دست آمد. هم‌چنین در شرایط تنش ملایم و تنش شدید با کاربرد بیش‌ترین مقدار از سطح متانول مقدار تولید پراکسید هیدروژن به کم‌ترین میزان رسید. طبق نتایج به دست آمده با کاربرد ۱۴ درصد متانول افزایش بیش‌تری در کارایی پرولین در شرایط تنش شدید مشاهده شد. با افزایش کاربرد حجمی متانول از ۷ به ۱۴ درصد مقدار آب نسبی بیش‌تر در گیاه در شرایط تنش حفظ شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، تجمع ماده خشک و قندهای محلول.

## مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین تنگنای محیطی است که تولید محصول را در نواحی مختلف دنیا از جمله ایران تحت اثر قرار می‌دهد. تنش خشکی به‌علت کاهش  $CO_2$  داخلی برگ‌ها و افزایش تنفس نوری موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی سه کربنه می‌شود (ساجدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱؛ قلی پور و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از موادی مانند متانول به‌عنوان یک ماده با خواص ضد تنش می‌تواند تا حدی جبران‌کننده‌ی کاهش عملکرد حاصل از خشکی باشد (Hemming and Criddle, 1995). برخی تحقیقات سال‌های اخیر نشان داده است که رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه با محلول پاشی متانول افزایش پیدا می‌کند و متانول به‌عنوان یک منبع کربن برای این گیاهان محسوب می‌شود. به‌طور کلی از جمله نقش‌هایی که این مواد دارند، جلوگیری از کاهش اثر تنش‌های القا شده به گیاهان زراعی در انجام تنفس نوری می‌باشد (Downie et al., 2004). یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در گیاهان استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول و هم‌چنین استفاده از اسیدهای آمینه گلیسین، گلوتامات و آسپارات می‌باشد (صفرزاده، ۱۳۸۶). مطالعات Benson و Nonomora (۱۹۹۲) نشان داد که متانول سبب افزایش عملکرد گیاهانی شد که با این ماده تیمار شده بودند. آن‌ها اعلام کردند کاربرد متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی باعث افزایش عملکرد، تسریع رسیدگی، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی گیاهان می‌شود. Zbiec و همکاران (۱۹۹۹) علت کاهش تنفس نوری را در گیاهان تیمار شده با متانول اکسیداسیون سریع متانول به دی‌اکسیدکربن و ترکیب شدن آن با ریبولوز ۱۵ بیس فسفات و کم شدن رقابت اکسیژن با دی‌اکسیدکربن می‌دانند. گیاهان تیمار شده با متانول در شرایطی که به مسیر تنفس نوری می‌روند ۲ مولکول سرین در میتوکندری خود می‌سازند که این منجر به دو برابر شدن ساکارز تولیدی می‌شود (Hemming and Criddle, 1995). آنزیم فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات فسفاتاز که یک آنزیم کلیدی در کنترل سیکل احیای کربن در فتوسنتز است با متانول فعال‌تر می‌شود. متانول با خاصیت هیدروفوبی خود اتصال هیدروفوبی بین این آنزیم را با سایر پروتئین‌های متصل به غشا افزایش داده و در نتیجه سبب فعال‌تر شدن این آنزیم می‌شود (Andres et al., 1990). افزایش سطح برگ بر اثر محلول پاشی متانول سبب افزایش فتوسنتز و نهایتاً عملکرد می‌شود. بر روی برگ اکثر گیاهان زراعی باکتری‌هایی به نام متیلوتروفیک زندگی می‌کنند این باکتری‌ها قادرند در محیط‌های حاوی کربن زندگی کنند که محیط حاوی متانول یکی از بارزترین آن‌ها است. متیلوتروفیک‌ها به وسیله هم‌زیستی با گیاهان، موجب ساخته شدن هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین شده و سبب افزایش رشد در گیاهان می‌شوند (Lee et al., 2006). یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با متانول افزایش دوره‌ی فعال فتوسنتزی برگ‌ها است که در اثر به تعویق افتادن پیری آن‌ها صورت می‌گیرد. طبق بررسی‌های انجام شده الکل‌های زنجیره کوتاه با ممانعت از

ساخته شدن پیش ماده‌ی تولید اتیلن از تولید این هورمون بازدارنده جلوگیری می‌کنند (Heins, 1980). برخی مطالعات نشان داده‌اند که به کار بردن الکل‌ها روند پیر شدن برگ‌ها در یولاف و کل میخک را به تأخیر می‌اندازند (Heins, 1980; Satler and Thimanna, 1980; Saltveit, 1989). این تأخیر در پیری برگ‌های گیاه می‌تواند سبب افزایش دوام سطح برگ و در نتیجه افزایش مدت فعالیت فتوسنتزی در برگ‌ها و همچنین افزایش تثبیت CO<sub>2</sub> شود (Ramberg et al., 2002; Ramirez et al., 2006). یکی دیگر از دلایل تأخیر در پیری برگ‌ها با محلول‌پاشی متانول را به اثر بر روی محرک‌های تولید اتیلن در گیاه مرتبط می‌دانند که این امر موجب افزایش دوره فعال فتوسنتزی و دوام سطح برگ می‌شود (Heins, 1980). متابولیسم متانول به افزایش قندسازی در برگ‌ها منجر می‌شود که در نتیجه، فشار آماس سرعت تثبیت و رشد در گیاهان تیمار شده با آن افزایش می‌یابد (نادعلی و همکاران، ۱۳۸۹). میرآخوری و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اثر محلول‌پاشی متانول بر گیاه سویا اعلام کردند این ماده سبب افزایش دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، افزایش محتوای کلروفیل، راندمان مصرف تشعشع، افزایش عملکرد غلاف و دانه و افزایش وزن صد دانه سویا می‌شود. هم‌چنین محلول‌پاشی متانول روی چغندر قند نشان داد این ماده سبب افزایش عملکرد ریشه، شکر سفید و بهبود صفات رشدی گیاه می‌شود (نادعلی و همکاران، ۱۳۸۹). حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) بیان نمودند که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش عملکرد در گیاه نخود می‌شود. تحقیقات نشان دهنده اثر مثبت محلول‌پاشی متانول بر افزایش تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه است (Aslani et al., 2011) و عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴). هدف از محاسبه اجزای رشد تشریح چگونگی واکنش گیاه نسبت به شرایط محیطی است. تجزیه رشد روشی مهم در تجزیه و تحلیل کمی رشد و نمو گیاه و تولید محصولات به‌شمار می‌آید که برای اولین بار توسط Blackman (۱۹۱۹) پیشنهاد شد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی متانول و تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی سویا (*Glycine max L.*) اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، واقع در منطقه ماهدشت در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا به‌اجرا درآمد. آزمایش مورد استفاده به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. عامل‌های مورد بررسی شامل سه سطح بدون تنش آبی (آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک)، تنش متوسط (آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک) و تنش شدید (آبیاری پس از ۷۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک) به‌عنوان عامل اصلی و سطوح متانول به‌صورت محلول‌پاشی برگی شامل محلول شاهد (آب پاشی بدون مصرف متانول) و محلول‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد حجمی متانول به‌عنوان عامل فرعی بود؛

که به هر کدام از محلول‌ها دو گرم در لیتر گلیسین اضافه شد. زمان محلول پاشی بین ۴ تا ۷ بعداز ظهر بود. محلول پاشی روی اندام هوایی سه دفعه طی فصل رشد و با فواصل ۱۵ روزه انجام شد. متوسط بارندگی در زمان آزمایش در منطقه بین ۲ تا ۱۰ میلی‌متر و متوسط دما بین ۱۷ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج تجزیه خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	ضریب هدایت الکتریکی ( $\text{dS m}^{-1}$ )	اسیدیته	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	قدرت حفظ آب (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	منگنز (ppm)	روی (ppm)
۰-۶۰	لومی-رسی	۳/۴	۷/۶	۰/۷۵	۰/۰۷	۳۳	۱۰/۵	۳۲۰	۷/۳	۲/۳

آبیاری به صورت جوی و پشته و زمان آن از طریق بلوک گچی که قبلاً در مزرعه پژوهشی دانشگاه واسنجی شده بود تعیین شد (Paknejad *et al.*, 2007). هر کرت آزمایش شامل ۶ ردیف با طول ۵ متر و با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. رقم کشت شده ویلیامز که یک رقم زودرس می‌باشد. بذرهاى سویا قبل از کاشت با قارچ‌کش ویتاواکس ضد عفونی شدند و در نیمه دوم اردیبهشت در عمق پنج سانتی‌متری کشت شدند. تراکم در حدود ۲۸ بوته در مترمربع تنک شد. با توجه به حساسیت گیاه به تنش خشکی در مراحل اولیه رشد تا استقرار کامل گیاه و زمان گل‌دهی، آبیاری به اندازه کافی و اولین محلول پاشی در ۵۰ روز بعد از کاشت (مصادف با زمان گل‌دهی) انجام گرفت. محلول‌های متانول به صورت درصد حجمی از متانول با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد تهیه شد و برای انجام محلول پاشی از سم‌پاش موتوری پشتی استفاده شد. جهت تعیین شاخص‌های رشد سویا، نمونه‌برداری در سطح مزرعه از کلیه کرت‌ها، از ۳۰ روز پس از کاشت تا انتهای دوره رشد با فواصل ۱۵ روز به روش Gardner و Auma (۱۹۹۸) انجام گرفت. بر این اساس ابتدا هر کرت به دو منطقه نمونه‌برداری و برداشت تقسیم شد. برای انجام صحیح نمونه‌برداری و به منظور حذف اثر حاشیه‌ای، دو ردیف کناری از هر کرت و یک بوته از ابتدا و انتهای هر یک از خطوط کاشت در نمونه‌برداری‌ها به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد و از آن‌ها استفاده نشد.

### محاسبه وزن خشک

جهت تعیین تجمع ماده خشک (TDW)، نمونه‌گیری به طول ۰/۵ متر روی خط و از دو ردیف وسط برداشت شد. به دلیل ریزش برگ‌ها در قسمت‌های هوایی که نمونه‌برداری صورت می‌گرفت در فواصل هر نمونه‌برداری نایلون‌های بزرگی در

سطح زمین پهن و سپس برگ‌های ریزش یافته نیز از سطح نایلون جمع‌آوری و در محاسبات استفاده شد. پس از برداشت، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و برگ‌ها و غلاف‌ها هر یک از اجزا به صورت جداگانه در آون تهویه‌دار ۷۰ درجه سلسیوس تا مرحله خشک‌شدن کامل و رسیدن به وزن خشک ثابت نگهداری شدند. پس از خروج نمونه‌ها از آون، بلافاصله توزین با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم صورت گرفت. سپس ماده خشک کل و برگ به صورت مجزا بر حسب گرم در مترمربع مورد محاسبه قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری وزن خشک، براساس معادلات زیر، روند تغییرات در هر کدام از شاخص‌های رشد تشریح شد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). روند تغییرات ماده خشک تجمعی با استفاده از معادله سیگموئیدی سه پارامتره:

$$\text{TDM} = \text{TDM}_m / (1 + e^{-(t-t_{m/2})/b}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن  $\text{TDM}$ : ماده خشک بخش هوایی سویا در هر مترمربع،  $\text{TDM}_m$ : بیشینه ماده خشک بخش هوایی سویا در متر-مربع در طول دوره رشد آن،  $t$ : زمان بر حسب روز،  $t_{m/2}$  زمان دستیابی به نیمی از  $\text{TDM}_m$  و  $b$ : شیب منحنی در نقطه  $t_{m/2}$  (بیشینه سرعت رشد یا  $\text{CGR}_m$ ) را نشان می‌دهند.

$$\text{TDM (Metanol 0\%)} = 1672 / (1 + \exp(-(x-84)/15)) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{TDM (Metanol 7\%)} = 3402 / (1 + \exp(-(x-99)/17)) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{TDM (Metanol 14\%)} = 3907 / (1 + \exp(-(x-102)/19)) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\text{TDM (Metanol 21\%)} = 1661 / (1 + \exp(-(x-66)/10)) \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\text{TDM (Metanol 0\%)} = 1064 / (1 + \exp(-(x-88)/18)) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\text{TDM (Metanol 7\%)} = 751 / (1 + \exp(-(x-69)/13)) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\text{TDM (Metanol 14\%)} = 3977 / (1 + \exp(-(x-114)/19)) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\text{TDM (Metanol 21\%)} = 1641 / (1 + \exp(-(x-89)/17)) \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\text{TDM (Metanol 0\%)} = 652 / (1 + \exp(-(x-84)/19)) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$\text{TDM (Metanol 7\%)} = 641 / (1 + \exp(-(x-78)/19)) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$\text{TDM (Metanol 14\%)} = 2859 / (1 + \exp(-(x-121)/22)) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\text{TDM (Metanol 21\%)} = 546 / (1 + \exp(-(x-67)/15)) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

### اندازه‌گیری پرولین

برای تعیین میزان پرولین برگ این مراحل انجام شد:

توزین نمونه‌های تر و همگن‌سازی آن‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد، سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها و اضافه کردن معرف نین‌هیدرین و اسیداستیک خالص به سوپرناتانت، قرار دادن در بن‌ماری به مدت یک ساعت، افزودن تولوئن، جداسازی محلول بالای و خواندن جذب آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر در مقابل شاهد دستگاه، رسم منحنی استاندارد پرولین و محاسبه میزان پرولین اندام‌های گیاه بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه (Bates *et al.*, 1973).

### اندازه‌گیری قندهای محلول برگ

میزان قندهای محلول به روش فنل‌سولفوریک (Kochert, 1978) و بر اساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل تولید یک کمپلس رنگی می‌کند، اندازه‌گیری شد. ۰/۵ گرم وزن تر گیاه از هر تیمار توزین شد و در داخل ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌وسیله هاون خوب له گردید سپس با تنظیم صاف شد و از عصاره گیاهی حاصله ۲ میلی‌لیتر برداشته و روی آن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد ریخته شد و در نهایت به هرکدام از لوله‌ها ۳ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید، لوله‌ها به مدت یک ساعت به حال خود رها شدند تا رنگ ظاهر و تثبیت شود. بعد از ظهور رنگ، میزان جذب در ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری و با استفاده از منحنی استاندارد قند گلوکز، میزان قند بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ( $\text{mg g}^{-1}\text{FW}$ ) محاسبه گردید.

### اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن

سنجش پراکسید هیدروژن با استفاده از روش Sagisaka (۱۹۷۶) انجام شد. به این منظور مقدار ۰/۵ گرم از بافت تر برگ با ۵ میلی‌لیتر اسیدتری کلرواستیک ۱ درصد در حمام یخ کاملاً سائیده و همگن شد. هموزن حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در مرحله بعد، در حمام یخ ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول فوق به لوله‌آزمایش منتقل و به آن ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار با PH برابر ۷ و ۱ میلی‌لیتر یدیدپتاسیم ۱ مولار اضافه گردید. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین گردید. سپس بر اساس منحنی استاندارد آب اکسیژنه، غلظت پراکسید هیدروژن در نمونه‌ها بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

### محتوای نسبی آب برگ

جهت تعیین وضعیت آب در بوته‌های سویا تیمار شده با متانول در شرایط مختلف آبیاری اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی برگ یک روز بعد از آخرین محلول پاشی متانول انجام شد. ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته هر گیاه جدا شده و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی آب مقطر شناور شدند. چهار ساعت پس از آب‌گیری، قطعات برگ بلافاصله وزن شدند تا وزن برگ‌ها در حالت تورزسانس به‌دست آید. پس از آن که قطعات برگ در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به

مدت ۴۸ ساعت خشک شدند تا وزن خشک نمونه برگ‌ها به دست آید و برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ‌ها از رابطه زیر استفاده شد (Gunes *et al.*, 2008).

$$\text{RWC} = 100 * [(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})] \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

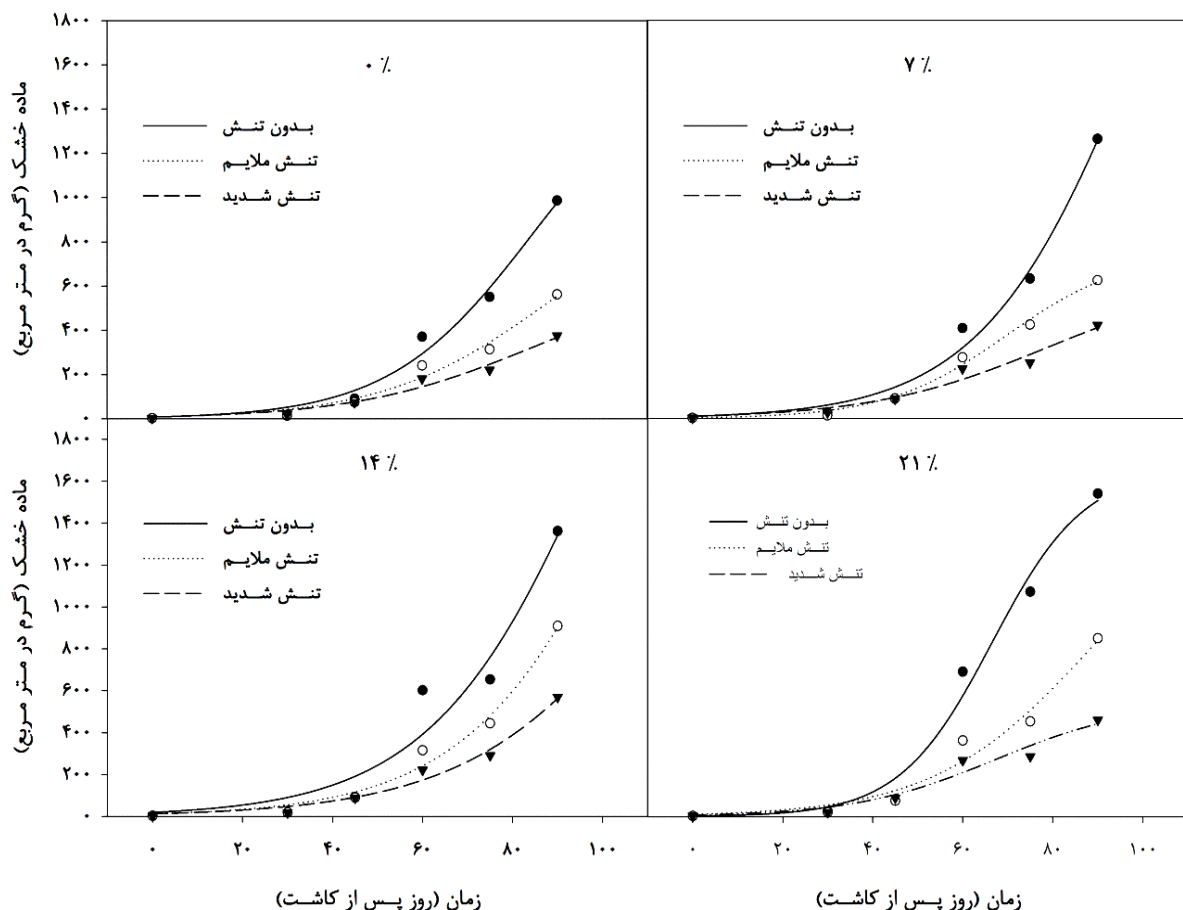
FW: وزن تر نمونه برگ‌ها، TW: وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس و DW: وزن خشک نمونه برگ‌ها. بررسی تغییرات و روند در سرعت رشد محصول با استفاده از مشتق درجه اول و دوم معادله به دست آمد. محاسبه شاخص‌های فیزیولوژیک رشد با در دست داشتن وزن خشک کل، وزن خشک برگ و هم‌چنین سطح برگ به روش Auma and Gardner (۱۹۸۸) صورت گرفت. برای این منظور با استفاده از نرم افزار SAS معادلات چند جمله‌ای مختلفی مورد پردازش قرار گرفت و از بین آن‌ها بهترین معادلات با ضریب تبیین بالا جهت برآورد روند رشد سویا انتخاب شد و با استفاده از این معادلات نمودارهای روند رشد در نرم افزار Excel رسم گردید.

## نتایج و بحث

### تجمع ماده خشک

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش سطح تنش خشکی میزان تجمع ماده خشک سویا کاهش معنی‌داری نشان داده است (جدول ۲). هم‌چنین با محلول‌پاشی متانول با درصد بالاتر، بر تجمع ماده خشک و سرعت تجمع ماده خشک افزوده شده است. بالاترین ماده خشک برای ۹۰ روز پس از کاشت و پس از ۳ مرحله محلول‌پاشی متانول ثبت شده است. در این زمان، بیش‌ترین تجمع ماده خشک با مقدار ۱۵۴۰ گرم در مترمربع مربوط به تیمار بدون تنش همراه با محلول‌پاشی متانول ۲۱ درصد مشاهده شد. کم‌ترین تجمع ماده خشک برابر با مقدار ۳۷۵ گرم در مترمربع مربوط به تیمار تنش شدید بدون محلول‌پاشی متانول بود. میزان تجمع ماده خشک در محلول‌پاشی متانول ۱۴ درصد، نسبت به عدم محلول‌پاشی آن در تیمار تنش شدید، افزایش ۵۰ درصدی از خود نشان داد (شکل ۱). سرعت تجمع ماده خشک که در معادله سیگموئیدی با b نشان داده شده است، برای تیمار تنش شدید به همراه محلول‌پاشی متانول ۱۴ درصد بالاترین مقدار بود. کم‌ترین اختلاف تجمع ماده خشک سویا بین سطوح مختلف تنش خشکی، با محلول‌پاشی متانول ۱۴ درصد حاصل شد و بیش‌ترین اختلاف بین سطح بدون تنش و تنش خشکی شدید در تیمار محلول‌پاشی متانول ۲۱ درصد به مقدار ۱۰۸۰ گرم در مترمربع ماده خشک در ۹۰ روز پس از کاشت مشاهده شد (شکل ۱). بررسی‌های انجام شده نشان‌دهنده آنست که تیمار بسیاری از گیاهان سه کربنه با متانول، در زمانی که دمای هوا به بالاتر از حد مطلوب برای رشد این گیاهان می‌رسد، باعث افزایش وزن خشک آن‌ها می‌شود (صفرزاد ویشکایی، ۱۳۸۶). یکی دیگر از علل افزایش تجمع ماده

خشک در گیاهان تیمار شده با متانول مختل شدن تنفس نوری و در نتیجه افزایش ماده خشک کل است (Nonomura and beson, 1992) متانول با تبدیل شدن به فرمالدئید و اسیدفورمیک در انتها به  $\text{CO}_2$  تبدیل می‌شود. این امر سبب افزایش غلظت  $\text{CO}_2$  در داخل برگ‌ها شده و در نتیجه اندازه آنتن فتوسیستم‌ها کاهش پیدا می‌کند. کاهش اندازه آنتن فتوسیستم-ها سبب افزایش نقطه جبران نوری فتوسنتز می‌شود (Theodoridou *et al.*, 2002). مصرف متانول می‌تواند روند افزایش وزن تر و وزن خشک گیاهان را تحریک کند و ارتباط نزدیکی بین مقدار افزایش وزن خشک گیاهان با مقدار متانول مصرف شده بر روی آنها وجود دارد، همچنین محلول پاشی متانول روند پیری برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد که می‌تواند سبب افزایش دوام سطح برگ و در نتیجه افزایش مدت فعالیت فتوسنتزی در برگ‌ها شود (Ramberg *et al.*, 2002; Theodoridou *et al.*, 2002). نتایج آزمایش Zeinab و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بوته در گیاهان تیمار شده با ۱۵ درصد حجمی متانول مشاهده شد.



شکل ۱: روند تغییرات ماده خشک سویا تحت اثر فاکتورهای آزمایشی (پیکان‌ها نشان دهنده زمان‌های محلول پاشی متانول می‌باشد).

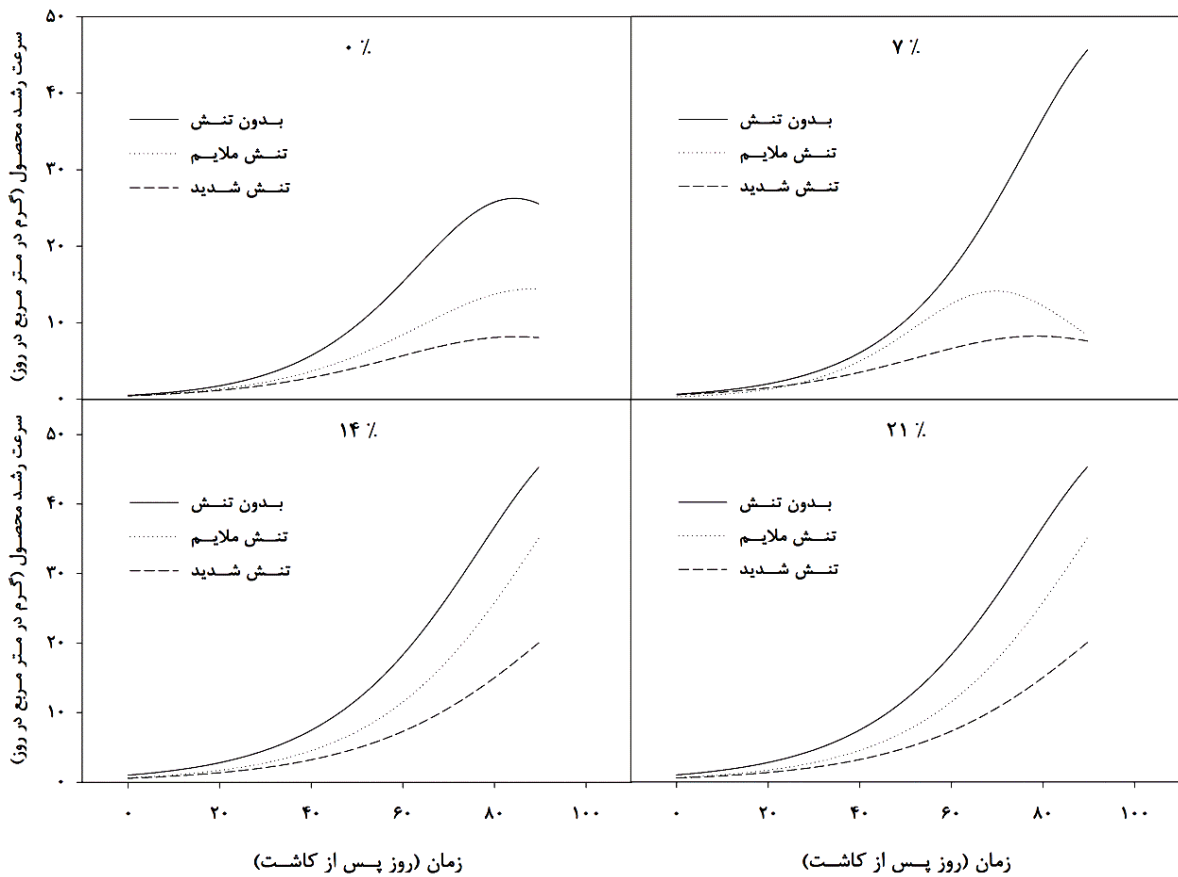
جدول ۲: پارامترها و ضریب تصحیح شده معادله سیگموئیدی برای تجمع ماده خشک سویا تحت تأثیر فاکتورهای آزمایشی

$R_{adj}^2$	$T_{max/2}$	b	a	متانول (درصد)	تنش رطوبتی
-۰/۹۷	۸۴/۵	۱۵/۹	۱۶۷۲	۰	بدون تنش
-۰/۹۸	۹۹/۲	۱۷/۳	۳۴۰۲	۷	
-۰/۹۱	۱۰۲/۵	۱۹/۴	۳۹۰۷	۱۴	
-۰/۹۷	۶۶/۴	۱۰/۳	۱۶۶۱	۲۱	
-۰/۹۶	۸۸/۴	۱۸/۴	۱۰۶۴	۰	تنش ملایم
-۰/۹۸	۶۹/۷	۱۳/۳	۷۵۱	۷	
-۰/۹۷	۱۱۴/۲	۱۹/۸	۳۹۷۷	۱۴	
-۰/۹۴	۸۹/۱	۱۷/۶	۱۶۴۱	۲۱	
-۰/۹۵	۸۴/۸	۱۹/۹	۶۵۲	۰	تنش شدید
-۰/۹۴	۷۸/۶	۱۹/۴	۶۴۱	۷	
-۰/۹۶	۱۲۱/۵	۲۲/۴	۲۸۵۹	۱۴	
-۰/۹۲	۶۷/۳	۱۵/۵	۵۴۶	۲۱	

$R_{adj}^2$  ضریب تبیین  $T_{max/2}$ : زمان دست یابی به نیمی از ماده خشک b: شیب منحنی a: عرض از مبدا

### سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول تا زمان تجمع ماده خشک روند افزایشی از خود نشان می‌دهد و پس از به ثبات رسیدن تجمع ماده خشک (یعنی عدم اضافه شدن ماده خشک به ازای روز)، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۲، مشاهده می‌شود که روند تغییرات رشد محصول تا ۹۰ روز پس از کاشت، به جز در تیمارهای تنش ملایم با ۷ درصد محلول پاشی متانول و بدون تنش با محلول پاشی ۲۱ درصد، افزایشی بوده است. در سطح بدون تنش، در مواقعی که از محلول پاشی متانول ۷ درصد و ۱۴ درصد استفاده شده است، در روز ۸۹ ام مقدار سرعت رشد محصول برابر ۴۵ گرم ماده خشک در متر مربع در روز بود. این مقدار بالاترین مقدار سرعت رشد محصول در بین تیمارهای آزمایشی برای روزهای پس از کاشت سویا بوده است. کم‌ترین مقادیر سرعت رشد محصول برای همه تیمارهای مربوط به روزهای ابتدایی پس از کاشت می‌باشد؛ که میزان سطح فتوسنتزکننده (شاخص سطح برگ پایین) جهت افزایش مقدار ماده خشک در روز نیز در کم‌ترین مقدار خود قرار دارد. در تیمار بدون تنش همراه با محلول پاشی متانول ۲۱ درصد، سرعت رشد محصول به بالاترین مقدار خود (۴۰/۳ گرم ماده خشک در متر مربع در روز) در روز ۶۰ ام رسید و پس از آن روند کاهش از خود نشان داد (شکل ۲). سرعت رشد محصول (CGR) به بهترین شکل مفهوم رشد را می‌رساند و اثر متقابل فتوسنتز و تنفس را نشان می‌دهد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). اکسیداسیون سریع متانول در بافت‌های گیاهی و تولید  $CO_2$  در آن‌ها این امکان را به وجود می‌آورد که  $CO_2$  تولید شده از متانول برای ترکیب شدن با ریبولوز ۱ و ۵ بی‌فسفات توانایی رقابت با اکسیژن را داشته باشد و در نتیجه سبب افزایش فتوسنتز خالص شود (Zbiec et al., 2003).

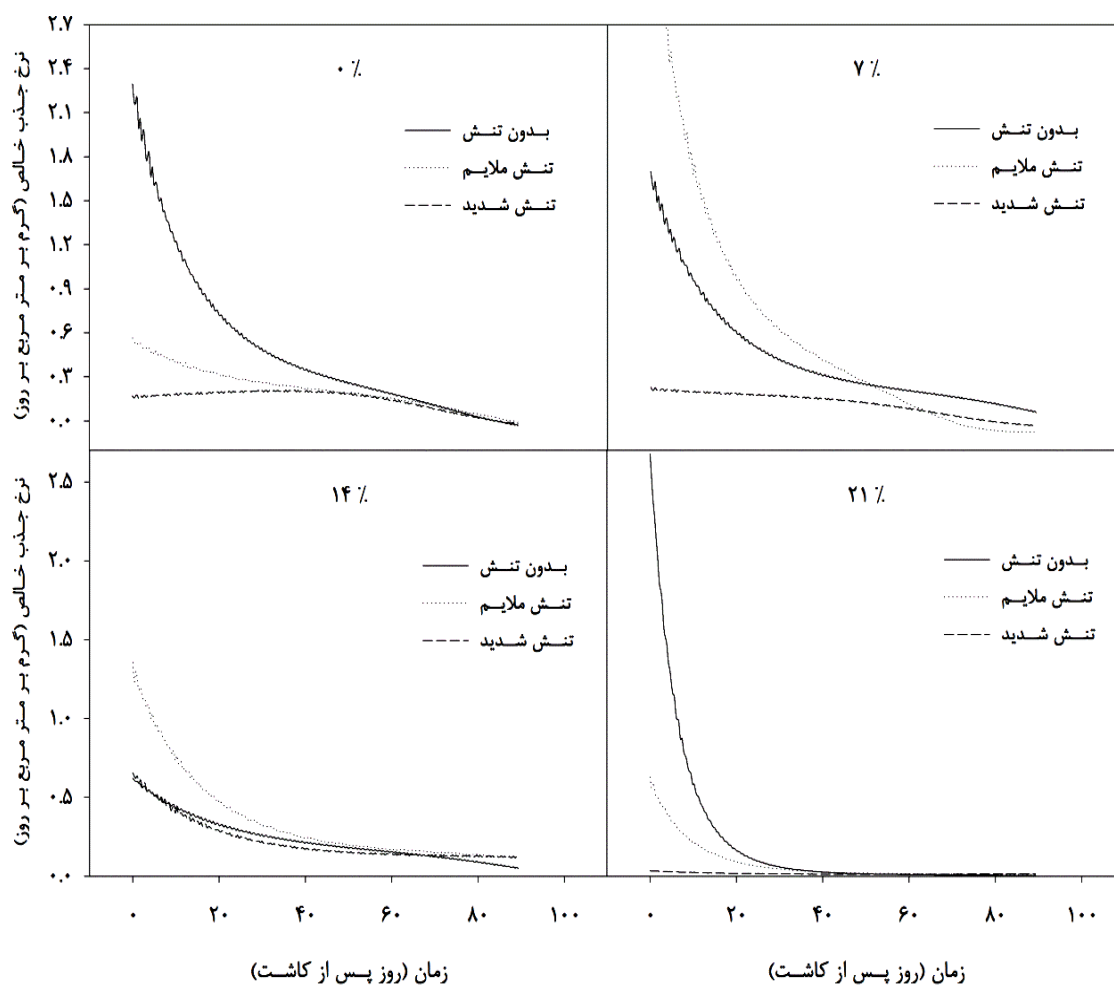


شکل ۲: روند تغییرات شاخص سطح برگ سویا تحت اثر فاکتورهای آزمایشی (پیکان‌ها نشان دهنده زمان‌های محلول-پاشی متانول می‌باشد)

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایشی بر برخی صفات سویا

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ	عملکرد دانه	سطح برگ	وزن خشک کل
تکرار	۲	۰/۰۱۸	۹۲۱۲۵/۶	۵۹۴/۲۱	۰/۰۶۱
تنش	۲	۰/۰۳۹ <sup>ns</sup>	۱۹۷۴۵۸۳/۴ <sup>**</sup>	۱۲۷۰/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۱ <sup>*</sup>
خطای a	۴	۰/۰۲۴	۳۶۵۱۲۱/۳	۹۴۵/۳۹	۰/۰۵۸
متانول	۳	۰/۰۴۲ <sup>*</sup>	۴۷۶۹۸۱/۸ <sup>**</sup>	۷۲۲/۶۴ <sup>*</sup>	۰/۱۵ <sup>*</sup>
تنش رطوبتی×متانول	۶	۰/۰۲۴ <sup>*</sup>	۲۸۹۶۴/۷ <sup>*</sup>	۱۰۱۳/۹۱ <sup>*</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>
خطای b	۱۸	۰/۰۱۳	۸۹۳۵۸/۴	۵۹۴/۲۳	۰/۰۶۶
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۸۹	۱۷/۸۶	۱۲/۰۲	۱۱/۸۹

ns: غیر معنی دار    \*\*: معنی دار در سطح ۱ درصد    \*: معنی دار در سطح ۵ درصد



شکل ۳: روند تغییرات سرعت رشد محصول سویا تحت اثر فاکتورهای آزمایشی (پیکان‌ها نشان دهنده زمان‌های محلول‌پاشی متانول می‌باشد).

طبق گزارشات Hemming و Criddle (۱۹۹۵) مقدار کافی CO<sub>2</sub> که از طریق محلول‌پاشی متانول ایجاد می‌شود سبب تغییر مسیر تنفس نوری از کاتابولیسم به سمت آنابولیسم می‌شود و می‌تواند سرعت رشد محصول را افزایش دهد.

### عملکرد دانه

تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه شد، به طوری که بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی به دست آمد. اثر محلول‌پاشی متانول بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴) و بیش‌ترین عملکرد دانه از اثر محلول‌پاشی با ۲۱ درصد حجمی متانول به دست آمد (جدول ۵). در شرایط آبیاری کامل میزان فتوسنتز و تولید مواد پرورده افزایش یافت و در نتیجه از طریق افزایش سرعت پر شدن دانه، وزن دانه و در نهایت عملکرد آن افزایش یافت. این روند تحت شرایط تنش آبی دچار اختلال شده و نتیجه آن کاهش عملکرد بود.

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایشی بر برخی صفات سویا

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ	عملکرد دانه	سطح برگ	وزن خشک کل
تکرار	۲	۰/۰۱۸	۹۲۱۲۵/۶	۵۹۴/۲۱	۰/۰۶۱
تنش	۲	۰/۰۳۹ <sup>ns</sup>	۱۹۷۴۵۸۳/۴ <sup>**</sup>	۱۲۷۰/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۱ <sup>*</sup>
خطای a	۴	۰/۰۲۴	۳۶۵۱۲۱/۳	۹۴۵/۳۹	۰/۰۵۸
متانول	۳	۰/۰۴۲ <sup>*</sup>	۴۷۶۹۸۱/۸ <sup>**</sup>	۷۲۲/۶۴ <sup>*</sup>	۰/۱۵ <sup>*</sup>
تنش رطوبتی×متانول	۶	۰/۰۲۴ <sup>*</sup>	۲۸۹۶۴/۷ <sup>*</sup>	۱۰۱۳/۹۱ <sup>*</sup>	۰/۱۰ <sup>ns</sup>
خطای b	۱۸	۰/۰۱۳	۸۹۳۵۸/۴	۵۹۴/۲۳	۰/۰۶۶
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۸۹	۱۷/۸۶	۱۲/۰۲	۱۱/۸۹

ns: غیر معنی‌دار \*\* : معنی دار در سطح ۱ درصد. \* : معنی دار در سطح ۵ درصد.

در این بین مصرف متانول اثر مثبت داشته و عملکرد دانه را به طور معنی داری افزایش داد چرا که گیاهان می‌توانند متانول محلول پاشی شده بر روی برگ‌ها را به راحتی جذب کرده و آن را به عنوان منبع کربنی اضافه بر کربن اتمسفر مورد استفاده قرار دهند. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف متانول در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (صفرزاده و یشگاهی ۱۳۸۶، نادعلی و همکاران ۱۳۸۹).

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر برخی صفات سویا

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	پراکسید هیدروژن	RWC
تکرار	۲	۲۵/۱۶	۶۴/۱۲	۷/۱۸	۰/۰۶۱
تنش	۲	۱۳۸/۱۹ <sup>**</sup>	۱۷۵۸/۰۹ <sup>**</sup>	۱۰/۹۷ <sup>**</sup>	۵۰۶/۹۶ <sup>**</sup>
خطای a	۴	۲/۲۱	۸۵/۲۳	۱/۴۰	۲۵/۸۰
متانول	۳	۲۰/۲۲ <sup>**</sup>	۸۰/۳۲ <sup>**</sup>	۱۲/۹۵ <sup>**</sup>	۹۰/۹۰ <sup>**</sup>
تنش رطوبتی×متانول	۶	۶/۶۰ <sup>**</sup>	۷۶/۶۳ <sup>*</sup>	۳/۳۳ <sup>**</sup>	۳۷/۲۹ <sup>**</sup>
خطای b	۱۸	۱/۳۵	۴۷/۱۸	۱/۰۶	۱۹/۶۶
ضریب تغییرات (%)	-	۶/۹۱	۵/۱۹	۶/۶۴	۳/۴۵

ns: غیر معنی‌دار \*\* : معنی دار در سطح ۱ درصد. \* : معنی دار در سطح ۵ درصد.

### نرخ جذب خالص

با تغییر در سطوح هر کدام از فاکتورهای آزمایشی، تغییرات این شاخص رشدی نسبت به شاخص‌های رشدی دیگر از

تنوع پاسخ بیش‌تری برخوردار بود. به‌طور کلی بر خلاف دو سطح بدون تنش و تنش ملایم، در شرایط تنش شدید برای سویا حتی در مراحل اولیه رشد تغییرات اندکی در نرخ جذب خالص مشاهده گردید. در شرایط عدم محلول پاشی متانول در ابتدای فصل رشد، بالاترین مقدار جذب خالص برای شرایط بدون تنش با مقدار  $2/3$  گرم بر متر مربع بر روز ثبت شد. و کم‌ترین نرخ جذب خالص در این سطح متانول، در شرایط تنش شدید رطوبتی با مقدار  $0/16$  مشاهده شد (شکل ۵). در این تیمار، نرخ جذب خالص در روزهای ابتدایی فصل رشد (۲۵ روز پس از کاشت) به بالاترین مقدار خود رسید ( $0/2$  گرم بر متر مربع در روز). در شرایط محلول پاشی متانول ۷ درصد، این سطح تنش ملایم بود که با نرخ جذب خالص  $2/5$  گرم بر متر مربع بر روز، بالاترین مقدار این شاخص را نشان داد و پس از آن شرایط عدم تنش با مقدار  $1/7$  گرم بر متر مربع بر روز قرار داشت. در این تیمار محلول پاشی، مقدار جذب خالص در شرایط تنش شدید رطوبتی، افزایش نسبی نشان داد و به  $0/22$  گرم بر متر مربع بر روز در ابتدای رشد سویا رسید. هر چند در دو سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی متانول ۷ درصد در اواخر فصل رشد نرخ جذب خالص منفی شد، اما این حالت برای تیمارهای محلول پاشی متانول ۱۴ و ۲۱ درصد مشاهده نگردید. سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، مواد معدنی جذب شده در گیاهان را نیز نشان می‌دهد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). Field و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند متانول با افزایش آنتوسیانین‌ها سبب جذب عناصر معدنی می‌شود، بنابراین با بررسی سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌توان میزان جذب مواد معدنی را در گیاه تشخیص داد. بنابراین می‌توان گفت گیاهان تیمار شده با متانول به‌نسبت شاهد جذب عناصر معدنی بیش‌تری داشتند.

### میزان آب نسبی (RWC)

آنالیز واریانس نشان‌دهنده اثر معنی دار متانول در شرایط تنش رطوبتی بر میزان آب نسبی در سطح احتمال خطای ۱ درصد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار آب نسبی در شرایط بدون تنش رطوبتی با کاربرد حجمی متانول ۲۱ درصد مشاهده شد و در شرایط تنش ملایم و تنش شدید با افزایش کاربرد حجمی متانول از ۷ به ۱۴ درصد مقدار آب نسبی بیشتر در گیاه حفظ شد و با کاربرد بیشتر متانول این مقدار تغییری نکرد (جدول ۶). یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی در گیاهان زراعی، کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌باشد. در واقع این شاخص توانمندی گیاهان را در تحمل به تنش خشکی نیز نشان می‌دهد. در شرایط تنش خشکی میزان هدایت روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Yordanov *et al.*, 2001). به نظر می‌رسد که احتمالاً با شدت تنش خشکی هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و قدرت تثبیت کربن نیز کاهش یافته باشد و به‌نظر می‌رسد که با محدود شدن هدایت روزنه‌ای مقادیر بیش‌تر متانول بی اثر بوده است هر چند که مشخص شده است که متانول باعث افزایش هدایت روزنه‌ای، نیز می‌شود (Makhdom *et al.*, 2002). اما در این تحقیق به نظر می‌رسد مقادیر مشخصی از متانول توانسته بر هدایت روزنه‌ای

موثر باشد. Mirakhori و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که با افزایش درصد متانول محلول پاشی شده تا ۲۱ درصد حجمی، محتوای رطوبت نسبی در گیاه سویا تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد، ولی در مقادیر بالاتر متانول (۲۸ و ۳۵ درصد حجمی)، محتوای رطوبت نسبی حتی کم‌تر از تیمار عدم محلول پاشی شده است. صفرزاده (۱۳۸۶) نیز در بادام-زمینی نتایج مشابهی به دست آوردند.

### پرولین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متانول در تنش رطوبتی بر میزان پرولین در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که متانول در شرایط تنش ملایم بر هر دو صفت معنی‌دار است اما متانول در شرایط تنش شدید بر پرولین معنی‌دار نیست (جدول ۵). در شرایط تنش ملایم کاربرد بیش‌تر متانول موثرتر بود ولی در شرایط تنش شدید با کاربرد ۱۴ درصد متانول افزایش بیش‌تری در کارایی پرولین مشاهده شد و با کاربرد متانول بیش‌تر در این شرایط کارایی عملکرد پرولین کم‌تر شد (جدول ۶). متانول محلول پاشی شده بر روی برگ توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن  $H^+$  ۲ به فرمات (متانوئیک اسید) تبدیل می‌شود. فرمات در مرحله بعد و توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به  $CO_2$  و  $H^+$  می‌شود (Nonomura and Benson, 1992) از طرف دیگر گزارش شده آنزیم پیرولین-۵ کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) در شرایط اسیدی بیش‌ترین فعالیت را دارد (Yordanov *et al.*, 2003). به نظر می‌رسد متانول با کاهش PH در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز شده و در نهایت تجمع پرولین در برگ را خواهیم داشت. پرولین علاوه بر شرکت در تنظیم اسمزی، نقش‌های مهمی مانند حفاظت از سیستم‌های غشایی سلول، سمیت زدایی (Puritch and Barker, 1967) و تنظیم اسیدپتید سیتوزول را نیز بر عهده دارد (Hare *et al.*, 1998).

### قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر هر کدام از فاکتورهای آزمایشی (تنش رطوبتی و متانول) بر میزان قندهای محلول برگ سویا معنی‌دار می‌باشد (جدول ۵). هر چهار سطح متانول کاربردی در هر سه سطح تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول برگ سویا داشت و میانگین‌های آن‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تنها بین دو سطح کاربرد متانول ۲۱ درصد و ۱۴ درصد در تنش ملایم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۶). از جمله دلایل اثرگذاری متانول بر مقدار قندهای محلول برگ این است که به نظر می‌رسد متانول از طریق تحت اثر قرار دادن متابولیسم گیاه سبب افزایش میزان قند می‌شود. هم‌چنین متانول به سرعت به فرم آلدئید اکسیده شده و سپس تبدیل به فروکتوز ۶ فسفات می‌شود، این ترکیب نیز به ساکارز تبدیل می‌گردد و سبب افزایش میزان قند در گیاه می‌شود. متانول هم‌چنین از طریق اثر گذاشتن روی گروه متیل‌پکتین میزان قند را در گیاه تحت اثر قرار می‌دهد. افزایش میزان

کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان یک سیگنال متابولیکی به تنش خشکی و شوری عمل نماید و در بروز پاسخ‌های دفاعی نقش داشته باشد (Ramirez *et al.*, 2006). محلول‌پاشی متانول باعث افزایش غلظت  $CO_2$  شده که می‌تواند میزان تثبیت  $CO_2$  را در گیاه افزایش دهد. متانول با متابولیزه شدن سریع به دی‌اکسیدکربن و با افزایش  $CO_2$  منجر به روند کربوکسیلاسیون بیشتر و اکسیژناسیون کمتر در گیاه می‌شود. بنابراین با افزایش فتوسنتز در اثر کاربرد متانول، میزان قندهای محلول برگ‌ها افزایش می‌یابد (Zbiec *et al.*, 2003).

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی متانول تحت تنش خشکی بر برخی صفات سویا

پراکسید هیدروژن (میکرومول بر گرم وزن تر)	قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر)	مقدار آب نسبی (%)	پروکلین (میکرومول بر گرم وزن تر)	تنش رطوبتی	
				متانول (درصد)	بدون تنش
۳/۴ <sup>a</sup>	۳۱/۷۳ <sup>c</sup>	۸۰/۸ <sup>c</sup>	۱/۳ <sup>b</sup>	۰	بدون تنش
۰/۳ <sup>b</sup>	۲۸/۵۳ <sup>b</sup>	۸۲/۸ <sup>b</sup>	۱/۶ <sup>b</sup>	۷	
۲/۸ <sup>b</sup>	۲۹/۹۳ <sup>b</sup>	۸۳/۸ <sup>b</sup>	۱/۸ <sup>ab</sup>	۱۴	
۲/۷ <sup>b</sup>	۳۳/۴۳ <sup>a</sup>	۸۷/۸ <sup>a</sup>	۲/۲ <sup>a</sup>	۲۱	
۴/۳ <sup>a</sup>	۳۱/۰۳ <sup>c</sup>	۷۵/۶ <sup>c</sup>	۲/۳ <sup>c</sup>	۰	تنش ملایم
۳/۳ <sup>b</sup>	۳۷/۶۳ <sup>b</sup>	۷۸/۱ <sup>b</sup>	۳/۲ <sup>b</sup>	۷	
۳/۵ <sup>b</sup>	۴۱/۰۱ <sup>a</sup>	۸۰/۱ <sup>a</sup>	۳/۴ <sup>b</sup>	۱۴	
۲/۸ <sup>c</sup>	۴۱/۵۶ <sup>a</sup>	۷۹/۴ <sup>ab</sup>	۴/۱ <sup>a</sup>	۲۱	
۵/۹ <sup>a</sup>	۳۶/۳۳ <sup>c</sup>	۷۳/۵ <sup>b</sup>	۴/۳ <sup>c</sup>	۰	تنش شدید
۴/۳ <sup>b</sup>	۴۴/۰۱ <sup>bc</sup>	۷۳/۹ <sup>b</sup>	۶/۳ <sup>b</sup>	۷	
۳/۸ <sup>c</sup>	۵۲/۹۳ <sup>a</sup>	۷۶/۳ <sup>a</sup>	۷/۳ <sup>a</sup>	۱۴	
۳/۳ <sup>d</sup>	۴۸/۶۳ <sup>b</sup>	۷۴/۹ <sup>ab</sup>	۷/۷ <sup>a</sup>	۲۱	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر سطح تنش خشکی، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

### پراکسید هیدروژن

اثر متانول در شرایط تنش رطوبتی بر تولید پراکسید هیدروژن در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۶) تولید پراکسید هیدروژن بدون کاربرد متانول در بیش‌ترین مقدار است. در شرایط تنش ملایم و تنش شدید با کاربرد بیش‌ترین مقدار از سطح متانول ۲۱ درصد مقدار تولید پراکسید هیدروژن به کم‌ترین میزان رسید. به‌نظر می‌رسد که متانول کارایی مثبتی در شرایط تنش خشکی بر کاهش تولید پراکسید هیدروژن که در واقع به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در قسمت‌های مختلف گیاه منجر می‌شود داشته است. این احتمال وجود دارد که در شرایط تنش خشکی و عدم کاربرد متانول محدودیت دی‌اکسیدکربن ( $CO_2$ ) بیش‌تر شده باشد. بنابراین می‌توان گفت که با کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن کلروپلاستی، تنفس نوری افزایش یافته و در نتیجه تولید پراکسید هیدروژن نیز افزایش یافته است (Yordanov *et al.*, 2003). در این شرایط گیاهان برای جلوگیری از مسیر چرخه الکترون کلروپلاستی گیاهان عالی مسیر تنفس نوری را با تولید مجدد  $NADP^+$  به راه انداخته (Shao *et al.*, 2008)، به‌همین دلیل به‌نظر

می‌رسد که با کاربرد متانول تثبیت دی‌اکسیدکربن صورت گرفته و با تولید مجدد  $\text{NADP}^+$  توسط سیکل کالوین چرخه فتوسنتزی ادامه یافته و تولید پراکسید هیدروژن کاهش یافته است. از طرف دیگر تولید پراکسید هیدروژن در گیاه سبب فعال شدن بعضی متابولیت‌های گیاهی و یا هورمون‌ها و آنزیم‌ها می‌شود (Shao *et al.*, 2008). که می‌تواند به صورت مانعی برای تولید اکسیژن‌های رادیکال آزاد و جلوگیری از آسیب‌های سلولی باشد که به پایداری گیاه در شرایط تنش کمک کند. نظر به اثرگذاری متانول بر رشد گیاهان زراعی سه کربنه از جمله سویا و همچنین اثرات جانبی این ماده در کنترل برخی از آفات و بیماری‌های قارچی، می‌توان از این ماده به عنوان یک ماده جایگزین سموم استفاده نمود.

### نتیجه گیری

نتایج آزمایش نشان داد که محلول پاشی متانول، مقدار عملکرد دانه، سرعت رشد محصول، تجمع ماده خشک، پرولین، قندهای محلول، رطوبت نسبی و پراکسید هیدروژن را تحت اثر قرار داد. از نتایج تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود که به عنوان یک منبع کربن در افزایش مقاومت گیاه و بالا بردن توانایی گیاه در تولید می‌تواند از متانول استفاده شود. در این مطالعه مشخص شد که هر بار محلول پاشی متانول در شرایط تنش خشکی بر اکثر صفات اثرگذار بود و ویژگی‌های کمی را تحت اثر قرار داد. در کل استفاده از متانول به عنوان یک ماده‌ی ضدتنشی می‌تواند مفید باشد.

### منابع

- حسین زاده، س.، سلیمی، ا.، گنجعلی، ع. و احمدپور، ر. ۱۳۹۲. تأثیر محلول پاشی متانول بر ویژگی‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و محتوای کلروفیل نخود (*Cicer arietinum L.*) تحت تنش خشکی. زیست‌شناسی گیاهی ایران جلد ۵ شماره ۱۸، ص ۱۱۵-۱۳۲.
- حسین زاده، س.، سلیمی، ا. و گنجعلی، ع. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد متانول بر برخی خصوصیات مرتبط با رشد ریشه نخود (*Cicer arietinum L.*) تحت تنش خشکی. فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۵ شماره ۱۷، ص ۱۶-۵.
- حسینی، پ.، رحیمیان مشهدی، ح. و علیزاده، ح. ۱۳۹۰. بررسی رقابت علف هرز تاج خروس ریشه قرمز در کشت خالص و مخلوط دو رقم سویا ۱- عملکرد سویا و شاخص‌های رشد تاج خروس. مجله دانش علف‌های هرز، جلد ۷، ص ۱۳-۲۴.
- ساجدی مقدم، س.، مهرآفرین، ع.، نقدی بادی، ح.، پاکزی، ع. و قوامی، ن. ۱۳۹۱. ارزیابی عملکرد فیتوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris L.*) تحت محلول پاشی هیدروالکل‌ها. فصلنامه گیاهان دارویی، سال ۱۱، جلد ۴ شماره ۴۴، ص ۱۴۰-۱۳۰.

صفرزاده و یشکایی، م.ن. ۱۳۸۶. اثر متانول بر رشد و عملکرد بادام زمینی، (رساله دکتری). دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. ۲۳۶۶ صفحه.

عیسی‌زاده، ج.، خرابسی، پ.، گلوی، م. و رمرودی، م. ۱۳۹۴. اثر محلول پاشی متانول بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سویا تحت تنش خشکی. به زراعی کشاورزی، جلد ۴ شماره ۱۷، ص ۱۰۸۵-۱۰۷۵.

قلی پور، س.، عبادی، ع. و پرمون، ق. ۱۳۹۵. بررسی اثر تنش خشکی بر انتقال مجدد مواد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۸ شماره ۳۱، ص ۱۱۱-۱۲۸.

کوچکی، ع.، راشد محصل، م. نصیری محلاتی، م. و صدرآبادی، ر. ۱۳۶۷. مبانی فیزیولوژیک رشد و نمو گیاهان زراعی، بنیاد فرهنگی رضوی. مشهد.

میرآخوری، م.، پاک نژاد، ف.، اردکانی، م.، مرادی، ف.، ناظری، پ. و نصری، م. ۱۳۸۹. اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max L.*). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۲، ص ۲۴۴-۲۳۶.

میرآخوری، م.، پاک نژاد، ف.، مرادی، ف.، اردکانی، م.، ناظری، پ. و پورجهرمی، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش کم آبی و محلول پاشی متانول بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوای آب نسبی سلول و محتوای کلروفیل برگ سویا (*Glycine max L. var. L17*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۸، ص ۵۴۱-۵۳۱.

نادعلی، ا.، پاک نژاد، ف.، مرادی، ف.، وزان، س. و پازکی، ع. ۱۳۸۹. اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و صفات کیفی چغندر قند. مجله زراعت و اصلاح نباتات، جلد ۶ شماره ۱، ص ۹۷-۸۹.

**Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. and Haslam, R. 2004.** Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phytochemistry*, 65: 2305-2316.

**Field, T.S., Lee, D. W. and Holbrook, N. M. 2001.** Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of re-osier dogwood. *Plant Physiol*, 127: 566-574.

**Gardner, F.P. and Auma, E. O. 1988.** Canopy structure, light interception. Yield and market quality of peanut genotypes as influenced by planting pattern and planting date. *Field Crop Res.*, 20: 13-29.

**Gerik, T. J. and Faver, K.L. 1994.** Methanol effects on cotton growth and photosynthesis. In *Proceedings of Beltwide Cotton Conference*, 1: 1328.

**Heins, R. 1980.** Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. J. Am. Soc. Hort. Sci, 105(1): 141-144.

**Hemming, D. and Criddle, R. 1995.** Effects of methanol on plant respiration. J. Plant Physiol, 146: 193-198.

**Lee, E.H. and Rowland, R. A. 1994.** Field studies of agrimethanol on photosynthesis and yield of snapbean cv. Top Crop. In Proc. Plant Growth Regulation Society of America, 22: 28.

**Lee, H.S., Madhaiyan, M., Kim, C.W., Choi, S. J. and Chung, K. Y . 2006.** Physiological enhancement of early growth of rice seedling (*Oryza sativa* L.) by production of phytohormone of N<sub>2</sub>-fixing methylophilic isolated. Bio. Fertil. Soils. 42: 402-408.

**Nonomura, A.M. and Beson, A.A. 1992.** The path to carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A, 89: 9794-9798.

**Paknejad F., Majidi heravan, E., Noormohammadi, Q., Siadat, A., and Vazan, S. 2007.**

Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 5(4): 162-169.

**Theodoridou, A., Dornemann, D. and Kotzabasis, K. 2002.** Light -dependent induction of strongly increased microalgal growth methanol. Biochim. Biophys. Acta, 1573: 189-198.

**Ramberg, H. A., Bradley, J. S. C., Olson, J. S. C., Nishio, J. N. Markwell, J. and Osterman, J. C. 2002.** The role of methanol in promoting plant growth: An update. Rev. Plant Biochem. Biotechnol, 1: 113-126.

**Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A. and Pen a Cortes, H. 2006.** Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of *Arabidopsis*, tobacco and tomato plants. J. Plant Growth Regul, 25: 30-44.

**Satler, S., Thimann, K. 1980.** The influence of aplopathic alcohols on leaf senescence. Plant Physiol, 66: 395-399.

**Saltveit, M. 1989.** Effect of alcohols and their interaction with ethylene on the ripening of epidermal pericarp discs of tomato fruit. Plant Physiol, 90: 167-174.

**Zbiec, I. I., Karczmarczyk, S. and Koszanski, Z. 1999.** Influence of methanol on some cultivated plants. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura. 73: 217-220.

**Zbiec, L., S. Karczmarczyk and C. Podsiadlo. 2003.** Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Elec. J. Polish Agri. Univer., Agronomy. 6 (1): 1-7.

**Zeinab, Y., Mahdi, A. and Esmail, S. 2015.** Effects of foliar and root applications of hydro-alcoholic solutions on physiological and biochemical attributes and fruit yield and weight of strawberry. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5 (1): 47-54.