



## تأثیر متانول بر عملکرد دانه، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم در شرایط قطع آبیاری

فاطمه آقائی<sup>۱</sup>، رئوف سیدشریفی<sup>۲\*</sup>، سعید خماری<sup>۳</sup>، حامد نریمانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup>استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** خشکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد گیاهان زراعی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است. این تنش واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاهان را به‌عنوان یک سازوکار بقا القا می‌کند. خشکی بیش از هر عامل محیطی دیگر، تولید و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌کند. همچنین، این تنش می‌تواند به فتوسنتز گیاهان زراعی صدمه زنده و محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی را کاهش دهد. یکی از راه‌کارهای مهم برای افزایش غلظت CO<sub>2</sub> در گیاهان استفاده از ترکیباتی همچون متانول است که می‌تواند غلظت CO<sub>2</sub> در گیاه را افزایش دهد و به فتوسنتز و رشد تحت شرایط محدودیت آبی کمک کند. از این‌رو، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر متانول بر عملکرد، روند تغییرات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط قطع آبیاری بود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل سنبله‌دهی و آبستنی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH) و محلول‌پاشی متانول در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول) بود.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که قطع آبیاری عملکرد کوانتومی، فلورسانس بیشینه (F<sub>m</sub>)، فلورسانس متغیر (F<sub>v</sub>)، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه را کاهش داد، در حالی‌که هدایت الکتریکی، نشت الکترولیت و فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>) افزایش یافت. محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل فلورسانس بیشینه (F<sub>m</sub>)، فلورسانس متغیر (F<sub>v</sub>)، عملکرد کوانتومی (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه را به‌ترتیب حدود ۵۱/۵۳، ۱۷۰/۷۵، ۷۸/۷۶، ۵۵/۶۹، ۷۷/۵۸، ۷۹/۴۰ و ۴۶/۹۸ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی با ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل هدایت الکتریکی، نشت الکترولیت و فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>) را به‌ترتیب ۱۲۲/۸۶، ۷۳/۷۰ و ۴۲/۵۹ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش داد.

\*مستول مکاتبه: raouf\_ssharifi@yahoo.com

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این بررسی به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول می‌تواند در شرایط محدودیت آبی به‌واسطه بهبود شاخص‌های فلورسانس و برخی صفات فیزیولوژیکی نظیر هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل عملکرد دانه گندم را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای.

### مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است و نقش مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (۴۶). در میان عوامل محدودکننده عملکرد، کمبود آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بیش از هر عامل دیگری، تولید گیاهان زراعی را از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک و زیستی با محدودیت رو به‌رو کرده و بازده عملکردی گیاه را کاهش می‌دهد (۳۶). از مهم‌ترین آثار اولیه تنش خشکی بر گیاهان می‌توان به کاهش ورود  $CO_2$ ، بازدارندگی در انتقال الکترون، کاهش عملکرد فتوسنتز II و در نهایت کاهش تثبیت  $CO_2$  و فتوسنتز خالص اشاره کرد (۲). با بسته شدن روزنه‌ها، ورود  $CO_2$  به سلول‌های مزوفیل برگ‌ها محدود شده و در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود (۵۸). از طرفی به دنبال کاهش غلظت  $CO_2$  درون سلول نسبت اکسیژن به دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد و آنزیم روبیسکو در مسیر تنفس نوری قرار می‌گیرد که این مسیر می‌تواند موجب اتلاف تا ۲۰ درصدی کربن در گیاهان شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد شود (۴). همچنین، محدودیت آبی به اختلال در سیستم فتوسنتزی منجر می‌شود و یکی از روش‌های تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل است که بازتاب وضعیت فتوشیمیایی گیاه است (۳۴). عملکرد کوانتومی یا کارایی فتوسنتز II به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی میزان تحمل گونه‌های مختلف گیاهی به تنش‌های محیطی از جمله

تنش خشکی مطرح است (۲۹). تنش خشکی، موجب ایجاد اختلال در فعالیت فتوسنتز II و همچنین، تخریب ساختمان پروتئین  $D_1$  موجود در فتوسنتز II و در نتیجه کاهش نسبت  $F_v/F_m$  می‌شود (۴۵). به همین جهت، مقدار فلورسانس کلروفیل، میزان سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی فرایند انتقال الکترون را از فتوسنتز II به فتوسنتز I نشان می‌دهد (۲۸). میاشیتا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی ( $F_v/F_m$ )، شدت تعرق و هدایت روزنه‌ای در لوبیا با افزایش تنش خشکی، کاهش یافت (۳۳).

صدیقی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در شرایط محدودیت آبی، محتوای نسبی آب برگ‌ها به‌علت کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها کاهش می‌یابد و با کاهش محتوای نسبی آب در چنین شرایطی، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، رشد و تولید کاهش می‌یابد (۵۳). در شرایط تنش رطوبتی یکی از نخستین بخش‌های گیاه که آسیب می‌بیند غشای پلاسمایی است (۲۵). افزایش نشت یونی در تنش کم‌آبی نشان‌دهنده بروز آسیب غشایی است. حیدری و محمدخانی (۲۰۰۷) گزارش کردند تنش خشکی به‌دلیل افزایش نشت الکترولیت و کاهش شاخص کلروفیل، کاهش عملکرد دانه را موجب می‌شود (۳۵).

کوچکی مولکول‌های متانول نسبت به دی‌اکسید کربن و متابولیزه شدن سریع آن به دی‌اکسید کربن در بافت‌های گیاهی (۱۳) یکی از راه‌کارهای مناسب در

## مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در مراحل ۵۰ درصد سنبله‌دهی و چکمه‌ای شدن یا آبستنی به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی به ترتیب معادل کد ۵۵ و ۴۳ بر اساس مقیاس BBCH) و محلول‌پاشی متانول در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول) بود (۱۶). محلول‌پاشی با متانول تهیه شده از شرکت مجللی با درصد خلوص ۹۹/۹، در مراحل ساقه‌دهی و ظهور برگ پرچم (به ترتیب معادل کد ۳۰ و ۳۹ بر اساس مقیاس BBCH) اعمال شد. با توجه به اینکه بهترین زمان محلول‌پاشی با متانول ساعت ۱۰ تا ۱۲ در روشنایی است تا حداکثر فتوسنتز انجام شود و نقش متانول بر صفات مورد ارزیابی بهتر نمایان شود (۳۸)، از این رو همه تیمارها در این محدوده زمانی محلول‌پاشی شدند. به هرکدام از محلول‌های تهیه شده با متانول دو گرم در لیتر گلاسیسین به منظور جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول اضافه شد. محلول‌پاشی کرت‌ها با استفاده از سم‌پاش پشتی بسته به سطح متانول و در حدی که تمام قسمت‌های هوایی بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی به‌طور کامل مرطوب شود انجام می‌شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و بر اساس سطح مربوطه انجام شد. در این بررسی از رقم گندم کاسکوژن استفاده شد که رقمی پابلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی است. وزن هزار دانه این رقم ۴۸ گرم، رنگ دانه آن زرد کهربایی و از نظر کیفیت نانوائی در

جهت کاهش تنفس نوری و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان با مسیر فتوسنتزی سه کربنه برای تعدیل و یا کاهش اثرات ناشی از تنش آبی است. محلول‌پاشی متانول همچنین با تاثیر روی اتیلن، موجب تاخیر در پیری برگ‌ها می‌شود که این امر می‌تواند طول دوره فتوسنتز فعال گیاه را افزایش دهد (۴۹). پاساری و یخچالی (۲۰۱۵) در بررسی محلول‌پاشی متانول (شاهد، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) در نخود گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود شد و بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نخود در محلول‌پاشی متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی مشاهده شد (۴۳). حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت روزنه‌ای در نخود را به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰ درصد حجمی متانول و عدم محلول‌پاشی با این ماده گزارش کردند (۲۰). در مطالعه بر روی نخود گزارش شد که متانول منجر به افزایش کارایی فتوسیستم II در هر بار محلول‌پاشی نسبت به سطوح کنترل شد (۱۹). در برگ گندم، یولاف و مو، محتوای کلروفیل بعد از محلول‌پاشی با متانول افزایش معنی‌داری یافت (۴۷).

اهمیت گندم به عنوان یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشور و نقش محدودیت آبی در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک در کاهش عملکرد این گیاه و از سویی تاثیر متانول در بهبود مقاومت به تنش خشکی و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این دو عامل، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر سطوح آبیاری و متانول بر روند تغییرات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

است در ۱۵ آبان ماه انجام شد. به منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات جوی محل اجرای آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

گروه ارقام با کیفیت بسیار خوب قرار دارد. بذر این رقم از ایستگاه تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول سه متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. کاشت در عمق ۳-۴ سانتی‌متری و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil experimental field

مشخصه Characteristic	عصاره اشباع Saturated extrat	pH	بافت Texture	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	روی
				CaCO <sub>3</sub>	Clay	Silt	Sand	Organic Carbon	کل N	P	K	Zn
				درصد (%)				میلی‌گرم بر کیلوگرم (mg/kg <sup>-1</sup> )				
مقادیر Amounts	49	7.8	لومی Loam	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	18

جدول ۲- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی.

Table 2- Atmospheric characteristics during the growing season.

	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	میانگین دما (درجه سلسیوس) Mean of temperature (°C)	جمع ساعات آفتابی (ساعت) Sun shine hours (h)	متوسط رطوبت (درصد) Mean of moisture (%)
مهر Oct	43.6	11.8	201.3	72
آبان Nov	9.7	11.7	166.5	64
آذر Dec	6.5	3	177.3	70
دی Jan	16.5	4.6	165.4	67
بهمن Feb	54.8	0.6	128.7	77
اسفند Mar	26.5	7	157.5	73
فروردین Apr	9.3	9	170.9	66
اردیبهشت May	60.3	12.3	196.3	71
خرداد Jun	28.2	16.8	148.6	71
تیر Jul	3.9	21.5	344.2	60
مرداد Aug	0.9	25.3	255.6	69
شهریور Sep	7.3	17.5	282.1	68

یک‌بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-) (30p USA از هر تیمار به‌طور تصادفی شش برگ پرچم توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$  و  $F_v$  اندازه‌گیری شدند (۲۳). شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502 مینولتای

برای اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ پرچم شامل  $F_0$  (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)،  $F_m$  (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)،  $F_v$  (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و  $F_v/F_m$  (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی)، از ۱۹۴ روز پس از کاشت (۱۰ روز بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی)، هر چهار روز

نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

### نتایج و بحث

**فلورسانس حداقل ( $F_0$ ):** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر فلورسانس حداقل برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی تغییرات فلورسانس حداقل ( $F_0$ ) در پاسخ به محلول‌پاشی متانول و محدودیت آبی در طول فصل رشد نشان داد فلورسانس حداقل ( $F_0$ ) همواره در شرایط آبیاری کامل کم‌تر از شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بود که ممکن است علت آن افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۶) به دلیل محلول‌پاشی با متانول باشد که موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است. با توجه به مشاهدات آراوس و همکاران (۱۹۹۸) تنش‌های محیطی موجب تغییر ساختاری در مرکز واکنش فتوسیستم II می‌گردد (۵). بنابراین، خسارت محدودیت آبی با خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II موجب افزایش  $F_0$  می‌گردد. طوری که بیش‌ترین فلورسانس حداقل (۴۱۴) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم محلول‌پاشی در ۲۱۰ روز بعد از کاشت و کم‌ترین آن (۱۹۸/۶۶) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و تحت شرایط آبیاری کامل در ۱۹۴ روز پس از کاشت به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش فلورسانس اولیه می‌تواند نشان‌دهنده تخریب مرکز واکنش PSII، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی باشد (۱۷). هنگامی که نور در سطح متوسط باشد بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به‌مصرف فتوستنز می‌رسد و بخش کمی

ژاپن)، ۱۰ روز بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی به فواصل زمانی چهار روز یک‌بار و در پنج نوبت اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری روند تغییرات محتوای آب نسبی برگ پرچم (RWC) بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ روز از هر کرت، چهار برگ پرچم توسعه یافته به‌طور تصادفی انتخاب شدند و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل شدند؛ سپس با رابطه پیشنهادی خیری‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) (رابطه ۱) محاسبه شد (۲۲).  
رابطه ۱:

$$RWC = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب،  $F_w$  وزن تر،  $T_w$  وزن آماس یافته و  $D_w$  وزن خشک است. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای حاوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. درصد نشت الکترولیت‌ها از سلول نیز براساس رابطه ۲ محاسبه شد (۱۱).  
رابطه ۲:

$$100 \times (EC_1 / EC_2) = \text{درصد نشت الکترولیت‌ها از}$$

غشای سلول

در این رابطه  $EC_1$  نشت اولیه از سلول و  $EC_2$  نشت ثانویه است. هدایت روزنه‌ای، از ۱۹۴ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه پورومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) از هر تیمار به‌طور تصادفی چهار برگ پرچم توسعه یافته انتخاب و اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه با رعایت اثر حاشیه از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم

فتوسیستم I اختلال ایجاد کرده است (۴۲). میرآخوری و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که فلورسانس متغیر ( $F_v$ ) در محلول‌پاشی متانول تحت شرایط خشکی در گیاه سویا افزایش یافت (۳۱). **فلورسانس حداکثر ( $F_m$ ):** نتایج نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش قابل توجهی در فلورسانس حداکثر و در تخریب فتوشیمیایی نسبت به شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۴). طوری‌که ۲۱۰ روز پس از کاشت، بیش‌ترین میزان فلورسانس حداکثر (۱۰۵۵/۶۷) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۶۹۶/۶۷) مربوط به عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بود (جدول ۴). وقتی مولکول‌های کوئینون در وضعیت اکسید شده هستند، در این حالت سیستم دارای کم‌ترین فلورسانس ( $F_0$ ) است. به تدریج، با افزایش درجه احیا شدن، فلورسانس افزایش می‌یابد. این فرآیند تا احیای کامل ادامه یافته و مراکز احیای فتوسیستم II به تدریج بسته می‌شوند و انتقال الکترون به فتوسیستم I صورت نمی‌گیرد. در این حالت فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد و مراکز فتوسیستم دارای بیش‌ترین فلورسانس ( $F_m$ ) است. در واقع تنش خشکی با تأثیر منفی بر ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون، باعث می‌شود سیستم به سرعت به  $F_m$  برسد (۴۲). افزایش در مقدار  $F_0$  و کاهش در  $F_m$ ، فعالیت فتوسیستم II را مختل می‌کند (۴۲). افت  $F_m$  ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه‌کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف

از انرژی نورانی به صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به عنوان فلورسانس کمینه شناخته می‌شود (۵۱). افزایش  $F_0$  نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II دارد (۶۰). سهیلی موحد و همکاران (۲۰۱۷) افزایش  $F_0$  را تحت تنش خشکی، در ارقامی از لوبیا چیتی گزارش کردند (۵۵).

**فلورسانس متغیر ( $F_v$ ):** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر فلورسانس متغیر برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). فلورسانس متغیر با گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود. طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین مقدار فلورسانس متغیر (۱۵۵۲/۶۷) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۱۹۴ روز بعد از کاشت) و کم‌ترین مقدار آن (۲۸۲/۶۷) در عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۱۰ روز پس از کاشت مشاهده شد (جدول ۴). اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (کوئینون) در حالت احیا باشد زیاد است و به این علت مقدار  $F_v$  نیز در این حالت زیاد می‌شود؛ اما زمانی که کینون در حالت اکسیداسیون است مقدار فلورسانس کلروفیل a کم می‌شود؛ در این حالت میزان  $F_v$  کاهش می‌یابد (۴۲). تنش‌های محیطی مقدار  $F_v$  را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند. از آنجا که  $F_v$  نشانگر احیای کامل کینون می‌باشد. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که تنش خشکی در انتقال الکترون به

تنش خشکی، کاهش میزان گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در شرایط تنش خشکی است، طوری که افزایش میزان  $CO_2$  درون برگ می‌شود فرآیند کربوکسیلاسیون در مقایسه با فرآیند اکسیژناسیون آنزیم روپیسکو افزایش یابد (۱۸).

**شاخص کلروفیل:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). بررسی تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم در سطوح مختلف آبیاری نشان می‌دهد که این تغییرات در همه تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشتند؛ طوری که مقدار این شاخص در مراحل ابتدایی نمونه‌برداری زیاد بود؛ ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین، پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت (جدول ۶)؛ البته بر اثر محلول‌پاشی متانول و آبیاری کامل، روند تغییرات شاخص کلروفیل نوسان کم‌تری نشان داد؛ طوری که بین همه تیمارهای آزمایشی بیش‌ترین شاخص کلروفیل (۵۷/۵۹) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در ۱۹۴ روز بعد از کاشت و کم‌ترین آن (۲۹/۶۸) در شرایط عدم محلول‌پاشی متانول و قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۱۰ روز پس از کاشت به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی، شاخص کلروفیل به‌دلیل تأثیر رادیکال‌های آزاد بر غشای کلروپلاست و تخریب آن کاهش می‌یابد (۶). اورابی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند آبسزیک اسید و اتیلن منجر می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل‌ها بر اثر این آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند (۳۹). رمبری و همکاران (۲۰۰۲) اظهار داشتند که افزایش

فتوسیستم II مرتبط باشد (۵۹). میرآخوری و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر محلول‌پاشی متانول را بر فلورسانس بیشینه ( $F_m$ ) در سویا تحت شرایط تنش خشکی را معنی‌دار گزارش کردند (۳۱).

**حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II ( $F_v/F_m$ ):** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقدار این شاخص با گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود. طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین عملکرد کوانتومی (۰/۸۸۶) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۱۹۴ روز بعد از کاشت) و کم‌ترین آن (۰/۴۰۵) در عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۱۰ روز پس از کاشت به‌دست آمد (جدول ۴). به بیانی دیگر در شرایط محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌دلیل کاهش انتقال الکترون از PSII به PSI بازده کوانتومی بیشینه ( $F_v/F_m$ ) PSII کاهش می‌یابد (۵۴). کاهش نسبت  $F_v/F_m$  تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف نظیر نخود، لوبیا، ذرت و گندم نیز گزارش شده است (۱۹). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول با افزایش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب (جدول ۶) موجب افزایش فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی شد که نشان‌دهنده تأثیر متانول در مقاومت گیاه به تنش خشکی است. در مطالعه‌ای بر روی نخود تحت شرایط تنش خشکی مشاهده شد که سطوح محلول‌پاشی متانول منجر به افزایش معنی‌داری در نسبت  $F_v/F_m$  در مقایسه با سطح بدون کاربرد متانول شد (۱۹). مهم‌ترین تأثیر محلول‌پاشی متانول بر حفاظت از دستگاه فتوسنتزی در شرایط

میزان دی‌اکسید کربن درون سلولی کاهش می‌یابد که این منجر به کاهش میزان فشار آماس در اثر کاهش فتوسنتز و ساخت و ساز در برگ می‌شود (۵۷). محلول‌پاشی با متانول منجر به افزایش محتوای نسبی آب شد و در این زمینه نونومورا (۱۹۹۷) علت افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان تیمار شده با متانول را، به دو برابر شدن میزان قند تولید شده در برگ این گیاهان نسبت داد و اظهار داشت که افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها موجب می‌شود آب از خاک با نیروی بیش‌تری جذب شود و این موضوع موجب افزایش محتوای نسبی آب در شرایط خشکی می‌شود (۳۷).

**هدایت روزنه‌ای:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج نشان داد هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در طول دوره رشد گیاه با گذشت زمان، از روند کاهشی برخوردار بود (جدول ۶). طوری که بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای (۴۴/۷۲ میلی‌مول بر متر مربع برثانیه) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در ۱۹۴ روز بعد از کاشت و کم‌ترین آن (۱۳/۵۰ میلی‌مول بر متر مربع برثانیه) در عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۱۰ روز پس از کاشت به‌دست آمد (جدول ۶). بخشی از کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط قطع آبیاری در مراحل آبستنی و سنبله‌دهی می‌تواند با کاهش محتوای نسبی آب در ارتباط باشد. طوری که بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۵ معلوم می‌شود در هر ترکیب تیماری که محتوای نسبی آب افزایش یافته است در همان ترکیبات تیماری نیز، هدایت روزنه‌ای افزایش داشته است. در این راستا، مایلر و همکاران

مقدار کلروفیل در شرایط محلول‌پاشی با متانول می‌تواند با اکسیداسیون متانول در ارتباط باشد، زیرا وقتی بوته‌ها در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو و با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش دی‌اکسیدکربن درون برگ‌ها روبه‌رو می‌شوند، در این شرایط متانول به راحتی توسط عصاره برگ به فرمالدئید اکسید شده و به راحتی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و موجب افزایش کلروفیل و شاخص سبزی‌نگی برگ می‌شود (۴۸). نتایج مشابهی نیز مبنی بر اثر محلول‌پاشی متانول در افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ توتون توسط رامیرز و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است (۴۹).

**محتوای آب نسبی برگ:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر محتوای آب نسبی برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). تاثیر قطع آبیاری بر تغییرات محتوای نسبی آب برگ پرچم در طول فصل رشد از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد. با قطع آبیاری در مرحله آبستنی میزان این کاهش نسبت به قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبیاری کامل بیش‌تر بود (جدول ۶). بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (۵۸/۳ درصد) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۳۲/۸۳ درصد) در عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۱۰ روز پس از کاشت، به‌دست آمد (جدول ۶). طبق گزارشات پاک‌نژاد و همکاران (۲۰۰۷) کاهش محتوای آب نسبی و بسته شدن روزنه‌ها اولین تاثیر تنش خشکی بوده که از طریق اختلال در سیستم ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود (۴۱). تحت شرایط تنش خشکی گیاه روزنه‌های خود را می‌بندد در نتیجه



در مرحله آبستنی و حداقل آن (۴۱/۴۵ درصد) در محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و تحت شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۶). به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، غشای سلولی به دلیل تولید انواع اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن آسیب می‌بیند و همین امر منجر به افزایش هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری می‌شود (جدول ۸). در این راستا اوساکابه و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند که در تنش‌های شدید، به دلیل تغییر فسفولیپیدهای غشا و عدم توانایی در حفظ ساختار یکپارچه آن موجب می‌شود نشت یونی غشا در شرایط تنش به شدت افزایش یابد (۴۰). پورموسوی و همکاران (۲۰۰۶) اعلام نمودند که در شرایط تنش شدید، میزان نشت الکترولیت سویا در مقایسه با تنش ملایم و عدم تنش بیش‌تر بود (۴۴). فرهودی و همکاران (۲۰۱۶) تخریب غشاهای سلولی در شرایط تنش کم‌آبی سویا را، یکی از دلایل کاهش رشد و فتوسنتز سویا عنوان نمودند (۱۰). حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند که کاربرد متانول تحت شرایط تنش خشکی با افزایش محتوای نسبی آب و  $CO_2$  درون سلولی برگ، موجب بهبود محتوای کلروفیل و آسیمیلایون  $CO_2$  و در نتیجه افزایش پایداری برگ نخود شد (۲۱). احمدپور و همکاران (۲۰۱۶) نیز افزایش پایداری غشا را به واسطه کاربرد متانول در شرایط تنش خشکی را به بهبود محتوای نسبی آب و پروتئین نسبت دادند (۳). در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد متانول تحت شرایط تنش با بهبود محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل (جدول ۶) با افزایش پایداری غشا موجب کاهش نشت الکترولیت (جدول ۶) شد.

(۲۰۰۲) اظهار داشتند که در شرایط کم‌آبی هدایت‌روزنه‌ای با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و کاهش مقدار آب، منجر به کاهش هدایت‌روزنه‌ای و جذب دی‌اکسید کربن شده و در نهایت سبب افت فتوسنتز می‌گردد (۲۶). به بیانی دیگر، از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش در هدایت‌روزنه‌ای است که مقدار  $CO_2$  قابل دسترس برای سلول‌های مزوفیل را محدود کرده (۲۴) و منجر به اختلال در فتوسنتز می‌شود، ولی محلول‌پاشی با متانول منجر به افزایش هدایت‌روزنه‌ای شد. مخدوم و همکاران (۲۰۰۲) علت افزایش هدایت‌روزنه‌ای در گیاهان تیمار شده با متانول نسبت به شاهد را به نقش متانول در کاهش تعرق و پایین آمدن دمای برگ نسبت دادند (۲۷). نونومورا و بنسون (۱۹۹۲) تاثیر محلول‌پاشی متانول در افزایش هدایت‌روزنه‌ای را به نقش این ماده در افزایش پتانسیل تورگر در گیاهان  $C_3$ ، به علت افزایش میزان قند تولید شده در برگ، نسبت دادند که با افزایش محتوای نسبی آب منجر به افزایش هدایت‌روزنه‌ای می‌شود (۳۸).

**نشت الکترولیت:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر نشت الکترولیت برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). بررسی تغییرات درصد نشت الکترولیت‌ها از سلول نشان داد که در طول فصل رشد مقدار آن، همواره در محلول‌پاشی متانول کم‌تر از عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بود (جدول ۶). در تمامی تیمارهای آزمایشی در ۲۱۰ روز پس از کاشت، حداکثر درصد نشت الکترولیت برگ پرچم (۷۲ درصد) در عدم محلول‌پاشی و در شرایط قطع آبیاری

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر متانول و سطح آبیاری بر فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>)، فلورسانس متغیر (F<sub>v</sub>)، فلورسانس حداکثر (F<sub>m</sub>) و عملکرد کوانتومی (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) برگ برچم گندم.

Table 3- Analysis of variance the effects of methanol and irrigation levels on minimum fluorescence (F<sub>0</sub>), variable fluorescence (F<sub>v</sub>), maximum fluorescence (F<sub>m</sub>) and quantum yield (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) flag leaf of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مراحل نمونه برداری F <sub>0</sub> (روز پس از کاشت) Sampling stages F <sub>0</sub> (days after planting)			میانگین مربعات					
		194	202	206	194	202	206			
تکرار	2	347.86**	308.08**	124.77ns	439.19**	30516.77**	12822.52**	9350.86**	2240.86**	348.52ns
سطوح آبیاری (I) Irrigation levels	2	37085.19**	31135.08**	35922.69**	31227.44**	24529.19**	519706.86**	452091.36**	219830.52**	243514.77**
(M) Methanol	3	8121.40**	7153.55**	6470.99**	4959.80**	3546.29**	111330.90**	96970.54**	82012.47**	65865.70*
(I×M)	6	409.49**	396.41**	102.87*	258.55**	134.93	2033.38**	2998.21*	3914.15*	1477.41**
خطا	22	56.58	9.02	40.80	47.63	49.98	572.92	1138.77	1558.80	347.28
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	2.73	1.02	2.00	2.04	2.01	1.96	3.55	5.15	3.13

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

ادامه جدول ۳-

Continuation of Table 3-

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مراحل نمونه برداری F <sub>m</sub> (روز پس از کاشت) Sampling stages F <sub>m</sub> (days after planting)			میانگین مربعات					
		194	202	206	194	202	206			
تکرار	2	25663.69**	9250.11**	9809.69**	1613.58**	816.08 <sup>ns</sup>	0.0009**	0.0011**	0.00067**	0.001**
سطوح آبیاری (I) Irrigation levels	2	280147.52**	246117.44**	159601.36**	85437.25**	113479.08**	0.038*	0.059*	0.076**	0.092**
(M) Methanol	3	60762.32**	52798.69**	40464.92**	47235.88**	38974.00**	0.0085**	0.012**	0.015**	0.024**
(I×M)	6	1505.49**	3107.33*	3553.17*	935.69**	1505.41*	0.0004**	0.0007**	0.0002*	0.0002 <sup>ns</sup>
خطا	22	425.23	1158.86	1463.27	266.70	620.32	0.00003	0.00008	0.00011	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	1.38	2.74	3.52	1.75	2.87	7.06	1.24	5.13	6.13

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متانول و سطوح آبیاری بر فلورسانس حداقل ( $F_0$ ) و فلورسانس متغیر ( $F_v$ )، فلورسانس حداکثر ( $F_m$ ) و عملکرد کوانتومی ( $F_v/F_m$ ) برگ پرچم گندم.  
 Table 4- Means comparison the effect of methanol and irrigation levels on minimum fluorescence ( $F_0$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ), maximum fluorescence ( $F_m$ ) and quantum yield ( $F_v/F_m$ ) flag leaf of wheat.

ترکیب تیماری Treatment combination	مراحل نمونه برداری $F_0$ (روز پس از کاشت) Sampling stages $F_0$ (days after planting)				مراحل نمونه برداری $F_v$ (روز پس از کاشت) Sampling stages $F_v$ (days after planting)					
	194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
$I_1 \times M_1$	244.66 <sup>g</sup>	264.00 <sup>h</sup>	301.66 <sup>g</sup>	322.33 <sup>e</sup>	329.66 <sup>f</sup>	1299.67 <sup>d</sup>	994.00 <sup>d</sup>	785.00 <sup>d</sup>	599.67 <sup>d</sup>	544.33 <sup>d</sup>
$I_1 \times M_2$	219.00 <sup>hi</sup>	239.66 <sup>j</sup>	263.33 <sup>h</sup>	292.00 <sup>f</sup>	307.00 <sup>g</sup>	1455.00 <sup>b</sup>	1159.00 <sup>b</sup>	934.67 <sup>b</sup>	690.67 <sup>c</sup>	638.67 <sup>b</sup>
$I_1 \times M_3$	216.66 <sup>i</sup>	243.33 <sup>j</sup>	249.00 <sup>i</sup>	270.33 <sup>g</sup>	299.66 <sup>gh</sup>	1430.00 <sup>b</sup>	1098.67 <sup>c</sup>	989.67 <sup>b</sup>	753.00 <sup>b</sup>	669.00 <sup>b</sup>
$I_1 \times M_4$	198.66 <sup>j</sup>	222.00 <sup>k</sup>	239.33 <sup>j</sup>	254.33 <sup>h</sup>	290.33 <sup>h</sup>	1552.67 <sup>a</sup>	1292.33 <sup>a</sup>	1078.33 <sup>a</sup>	883.00 <sup>a</sup>	765.33 <sup>a</sup>
$I_2 \times M_1$	317.00 <sup>c</sup>	332.00 <sup>c</sup>	350.66 <sup>d</sup>	374.33 <sup>b</sup>	382.33 <sup>bc</sup>	1066.33 <sup>g</sup>	852.33 <sup>f</sup>	641.00 <sup>f</sup>	500.00 <sup>f</sup>	422.00 <sup>f</sup>
$I_2 \times M_2$	284.66 <sup>e</sup>	297.33 <sup>f</sup>	321.33 <sup>f</sup>	340.33 <sup>d</sup>	356.66 <sup>d</sup>	1150.33 <sup>f</sup>	933.33 <sup>e</sup>	735.67 <sup>de</sup>	556.00 <sup>e</sup>	496.00 <sup>e</sup>
$I_2 \times M_3$	262.33 <sup>f</sup>	277.00 <sup>g</sup>	314.00 <sup>f</sup>	336.66 <sup>d</sup>	343.33 <sup>e</sup>	1230.67 <sup>e</sup>	991.67 <sup>d</sup>	713.33 <sup>e</sup>	608.33 <sup>d</sup>	556.67 <sup>cd</sup>
$I_2 \times M_4$	230.66 <sup>h</sup>	256.33 <sup>i</sup>	291.33 <sup>g</sup>	313.00 <sup>e</sup>	321.33 <sup>f</sup>	1361.33 <sup>c</sup>	1081.67 <sup>c</sup>	862.00 <sup>c</sup>	693.67 <sup>c</sup>	595.33 <sup>c</sup>
$I_3 \times M_1$	378.66 <sup>a</sup>	392.00 <sup>a</sup>	406.66 <sup>a</sup>	402.00 <sup>a</sup>	414.00 <sup>a</sup>	892.00 <sup>i</sup>	620.00 <sup>h</sup>	542.67 <sup>g</sup>	378.67 <sup>i</sup>	282.67 <sup>h</sup>
$I_3 \times M_2$	338.33 <sup>b</sup>	350.66 <sup>b</sup>	382.00 <sup>b</sup>	391.66 <sup>a</sup>	409.66 <sup>a</sup>	998.33 <sup>h</sup>	746.33 <sup>g</sup>	585.00 <sup>fg</sup>	426.00 <sup>h</sup>	321.33 <sup>h</sup>
$I_3 \times M_3$	307.33 <sup>cd</sup>	324.33 <sup>d</sup>	366.33 <sup>c</sup>	392.00 <sup>a</sup>	390.66 <sup>b</sup>	1029.67 <sup>gh</sup>	773.67 <sup>g</sup>	608.67 <sup>fg</sup>	459.33 <sup>g</sup>	375.00 <sup>g</sup>
$I_3 \times M_4$	299.33 <sup>d</sup>	309.33 <sup>e</sup>	336.00 <sup>c</sup>	360.66 <sup>c</sup>	374.00 <sup>c</sup>	1156.33 <sup>f</sup>	854.67 <sup>f</sup>	709.67 <sup>e</sup>	580.00 <sup>de</sup>	499.00 <sup>e</sup>
LSD	12.73	5.08	10.81	11.68	11.97	40.53	57.14	66.85	31.55	39.07

$I_1$  و  $I_2$ : به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبه دهی و آبستنی.  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  و  $M_4$ : به ترتیب عدم محلول پاشی و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

$I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$ : full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stage respectively.  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  and  $M_4$ : non-foliar application and foliar application of 10, 20 and 30 % volume of methanol respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according to the LSD test.

ادامه جدول ۴-  
Continuation of Table 4-

ترکیب تیماری Treatment combination	مراحل نمونه برداری F <sub>m</sub> (روز پس از کاشت) Sampling stages F <sub>m</sub> (days after planting)				مراحل نمونه برداری F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> (روز پس از کاشت) Sampling stages F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> (days after planting)					
	194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
I <sub>1</sub> ×M <sub>1</sub>	1544.33 <sup>d</sup>	1258.00 <sup>d</sup>	1086.67 <sup>d</sup>	922.00 <sup>de</sup>	874.00 <sup>ef</sup>	0.841 <sup>d</sup>	0.789 <sup>d</sup>	0.722 <sup>e</sup>	0.650 <sup>d</sup>	0.622 <sup>d</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>2</sub>	1674.00 <sup>b</sup>	1398.67 <sup>b</sup>	1198.00 <sup>bc</sup>	982.67 <sup>c</sup>	945.67 <sup>bc</sup>	0.868 <sup>b</sup>	0.828 <sup>b</sup>	0.779 <sup>c</sup>	0.702 <sup>c</sup>	0.675 <sup>b</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>3</sub>	1646.67 <sup>b</sup>	1342.00 <sup>bc</sup>	1238.67 <sup>b</sup>	1023.33 <sup>b</sup>	968.67 <sup>b</sup>	0.868 <sup>b</sup>	0.818 <sup>bc</sup>	0.798 <sup>b</sup>	0.735 <sup>b</sup>	0.690 <sup>b</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>4</sub>	1751.33 <sup>a</sup>	1514.33 <sup>a</sup>	1317.67 <sup>a</sup>	1137.33 <sup>a</sup>	1055.67 <sup>a</sup>	0.886 <sup>a</sup>	0.853 <sup>a</sup>	0.818 <sup>a</sup>	0.776 <sup>a</sup>	0.724 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>1</sub>	1383.33 <sup>g</sup>	1184.33 <sup>ef</sup>	991.67 <sup>efg</sup>	874.33 <sup>fg</sup>	804.33 <sup>g</sup>	0.770 <sup>g</sup>	0.719 <sup>fg</sup>	0.646 <sup>g</sup>	0.571 <sup>f</sup>	0.524 <sup>f</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>2</sub>	1435.00 <sup>f</sup>	1230.67 <sup>de</sup>	1057.00 <sup>d</sup>	896.33 <sup>ef</sup>	852.67 <sup>f</sup>	0.801 <sup>f</sup>	0.757 <sup>c</sup>	0.695 <sup>f</sup>	0.620 <sup>e</sup>	0.581 <sup>e</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>3</sub>	1493.00 <sup>e</sup>	1268.67 <sup>d</sup>	1027.33 <sup>def</sup>	945.00 <sup>d</sup>	900.00 <sup>de</sup>	0.823 <sup>e</sup>	0.781 <sup>d</sup>	0.694 <sup>f</sup>	0.643 <sup>d</sup>	0.618 <sup>d</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>4</sub>	1592.00 <sup>c</sup>	1338.00 <sup>c</sup>	1153.33 <sup>de</sup>	1006.67 <sup>bc</sup>	916.67 <sup>cd</sup>	0.854 <sup>c</sup>	0.808 <sup>c</sup>	0.747 <sup>d</sup>	0.689 <sup>c</sup>	0.649 <sup>c</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>1</sub>	1270.67 <sup>i</sup>	1012.00 <sup>h</sup>	949.33 <sup>g</sup>	780.67 <sup>i</sup>	696.67 <sup>i</sup>	0.701 <sup>i</sup>	0.612 <sup>i</sup>	0.571 <sup>j</sup>	0.484 <sup>i</sup>	0.405 <sup>i</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>2</sub>	1336.67 <sup>h</sup>	1097.00 <sup>g</sup>	967.00 <sup>fg</sup>	817.67 <sup>h</sup>	731.00 <sup>hi</sup>	0.746 <sup>h</sup>	0.678 <sup>h</sup>	0.604 <sup>i</sup>	0.520 <sup>h</sup>	0.438 <sup>h</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>3</sub>	1337.00 <sup>h</sup>	1098.00 <sup>g</sup>	975.00 <sup>fg</sup>	851.33 <sup>g</sup>	765.67 <sup>gh</sup>	0.769 <sup>g</sup>	0.704 <sup>g</sup>	0.624 <sup>h</sup>	0.539 <sup>g</sup>	0.489 <sup>g</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>4</sub>	1455.67 <sup>f</sup>	1164.00 <sup>f</sup>	1045.67 <sup>de</sup>	940.67 <sup>d</sup>	873.00 <sup>ef</sup>	0.794 <sup>f</sup>	0.734 <sup>f</sup>	0.677 <sup>f</sup>	0.616 <sup>e</sup>	0.571 <sup>e</sup>
LSD	34.91	57.64	64.77	27.65	42.17	0.010	0.015	0.018	0.017	0.020

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stage respectively. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>: non-foliar application and foliar application of 10, 20 and 30 % volume of methanol respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according to the LSD test.

اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متانول و سطح آبیاری بر شاخص کلروفیل (SPAD)، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب (RWC) و درصد نشت الکترولیت برگ پرچم گندم.  
Table 5- Analysis of variance for the effects of foliar application of methanol and irrigation levels on chlorophyll index, stomatal conductance, relative water content (RWC) and electrolyte leakage flag leaf of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square										
		مراحل نمونه‌برداری SPAD (روز پس از کاشت) Sampling stages SPAD (days after planting)					مراحل نمونه‌برداری هدایت روزنه‌ای (روز پس از کاشت) (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه) Sampling stages stomatal conductance (days after planting)					
		194	198	202	206	210	210	194	198	202	206	210
تکرار Replication	2	1.32 <sup>ns</sup>	1.05 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	2.12 <sup>ns</sup>	5.67 <sup>ns</sup>	5.68 <sup>ns</sup>	3.68 <sup>ns</sup>	5.97 <sup>ns</sup>	7.53*	10.32	
سطح آبیاری (I) Irrigation levels	2	161.47**	223.73**	217.64**	234.06**	164.83**	196.42**	199.56**	218.50**	163.42**	103.19**	
متانول (M) (I×M)	3	40.57**	28.20**	44.86**	41.29**	51.41**	27.66**	43.67**	36.78**	36.33**	17.14**	
	6	13.56*	9.49*	13.36*	16.58*	11.98*	7.98*	6.45**	16.37*	6.07*	3.15**	
خطا Error	22	5.58	3.88	5.23	6.65	4.73	2.91	9.12	5.80	2.06	5.03	

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

ادامه جدول ۵ -

ادامه جدول ۵ - Continuation of Table 5-												
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square										
		مراحل نمونه‌برداری RWC % (روز پس از کاشت) (درصد) Sampling stages RWC % (days after planting)					مراحل نمونه‌برداری درصد نشت الکترولیت (روز پس از کاشت) Sampling stages electrolyte leakage (days after planting)					
		194	198	202	206	210	194	198	202	206	210	
تکرار Replication	2	0.37 <sup>ns</sup>	6.28 <sup>ns</sup>	5.09 <sup>ns</sup>	5.39 <sup>ns</sup>	58.95**	368.16**	140.98**	152.70**	172.10**	195.90**	
سطح آبیاری (I) Irrigation levels	2	1339.69**	858.75**	710.14**	547.29**	621.91**	1286.98**	1085.00**	1131.95**	1025.15**	1196.61**	
متانول (M) (I×M)	3	219.63**	108.91**	145.60**	287.57**	112.95**	259.77**	179.71**	201.63**	159.95**	169.47**	
	6	30.81*	41.53*	43.72*	20.76*	8.60**	4.33**	4.78*	7.13*	5.31*	12.36*	
خطا Error	22	12.43	17.02	16.63	7.24	2.40	1.32	1.53	2.55	1.76	4.81	

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی متانول و سطح آبیاری بر شاخص کلروفیل (SPAD)، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب (RWC) و درصد نشت الکترولیت برگ برچم گندم.

Table 6- Means comparison the effects of foliar application of methanol and irrigation levels on chlorophyll index, stomatal conductance, relative water content (RWC) and electrolyte leakage flag leaf of wheat.

تربیب تیماری Treatment combination	مراحل نمونه‌برداری SPAD (روز پس از کاشت) Sampling stages SPAD (days after planting)				مراحل نمونه‌برداری هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Sampling stages stomatal conductance (days after planting) (mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )					
	194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
I <sub>1</sub> ×M <sub>1</sub>	48.67 <sup>bc</sup>	48.20 <sup>bc</sup>	45.91 <sup>bc</sup>	41.10 <sup>bc</sup>	36.92 <sup>bc</sup>	37.78 <sup>bc</sup>	32.10 <sup>bc</sup>	28.35 <sup>bc</sup>	24.80 <sup>bc</sup>	18.86 <sup>bc</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>2</sub>	50.65 <sup>b</sup>	49.96 <sup>b</sup>	47.94 <sup>b</sup>	43.29 <sup>b</sup>	37.48 <sup>bc</sup>	37.16 <sup>bc</sup>	33.43 <sup>b</sup>	30.21 <sup>b</sup>	26.48 <sup>b</sup>	19.55 <sup>b</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>3</sub>	49.14 <sup>bc</sup>	48.19 <sup>bc</sup>	47.43 <sup>b</sup>	42.89 <sup>b</sup>	38.51 <sup>b</sup>	39.76 <sup>b</sup>	32.33 <sup>bc</sup>	28.73 <sup>bc</sup>	25.23 <sup>b</sup>	19.66 <sup>b</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>4</sub>	57.59 <sup>a</sup>	54.21 <sup>a</sup>	54.12 <sup>a</sup>	50.76 <sup>a</sup>	46.21 <sup>a</sup>	44.72	39.92 <sup>a</sup>	37.71 <sup>a</sup>	32.44 <sup>a</sup>	24.22 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>1</sub>	47.99 <sup>bcd</sup>	44.27 <sup>de</sup>	42.22 <sup>cd</sup>	38.97 <sup>bcd</sup>	33.14 <sup>de</sup>	35.78 <sup>cd</sup>	29.38 <sup>de</sup>	24.81 <sup>cdef</sup>	22.45 <sup>cd</sup>	16.89 <sup>de</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>2</sub>	45.18 <sup>cdef</sup>	42.93 <sup>ef</sup>	41.98 <sup>d</sup>	37.80 <sup>cd</sup>	34.23 <sup>cd</sup>	35.47 <sup>cd</sup>	31.82 <sup>bc</sup>	27.98 <sup>bcd</sup>	21.90 <sup>de</sup>	16.85 <sup>de</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>3</sub>	46.56 <sup>cde</sup>	47.49 <sup>bcd</sup>	46.02 <sup>bc</sup>	41.45 <sup>bc</sup>	36.11 <sup>bcd</sup>	36.30 <sup>cd</sup>	30.29 <sup>cd</sup>	26.15 <sup>bcd</sup>	22.79 <sup>cd</sup>	18.06 <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>4</sub>	48.48 <sup>bcd</sup>	45.88 <sup>cde</sup>	44.91 <sup>bcd</sup>	39.55 <sup>bcd</sup>	35.92 <sup>bcd</sup>	36.38 <sup>cd</sup>	33.26 <sup>b</sup>	26.27 <sup>bcd</sup>	25.38 <sup>b</sup>	18.63 <sup>bc</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>1</sub>	41.87 <sup>f</sup>	39.14 <sup>g</sup>	36.48 <sup>e</sup>	32.86 <sup>e</sup>	29.68 <sup>e</sup>	29.89 <sup>f</sup>	24.37 <sup>g</sup>	20.81 <sup>f</sup>	18.66 <sup>f</sup>	13.50 <sup>g</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>2</sub>	44.65 <sup>def</sup>	40.85 <sup>fg</sup>	41.85 <sup>d</sup>	35.67 <sup>de</sup>	32.92 <sup>de</sup>	31.49 <sup>ef</sup>	27.00 <sup>f</sup>	24.07 <sup>ef</sup>	19.65 <sup>ef</sup>	14.73 <sup>fg</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>3</sub>	44.23 <sup>ef</sup>	42.69 <sup>ef</sup>	41.58 <sup>d</sup>	36.70 <sup>de</sup>	32.81 <sup>de</sup>	31.87 <sup>ef</sup>	26.10 <sup>fg</sup>	22.29 <sup>ef</sup>	19.84 <sup>ef</sup>	14.66 <sup>g</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>4</sub>	46.20 <sup>cde</sup>	43.49 <sup>ef</sup>	41.62 <sup>d</sup>	37.61 <sup>cd</sup>	34.66 <sup>cd</sup>	33.82 <sup>de</sup>	27.89 <sup>ef</sup>	23.85 <sup>ef</sup>	21.34 <sup>de</sup>	15.94 <sup>eg</sup>
LSD	4.00	3.33	3.87	4.36	3.68	2.89	2.34	4.07	2.43	1.43

مقدار آب آبیاری، تنش آبی وارده به گیاه افزایش می‌یابد و سلول‌ها به شدت آسیب خواهند دید و باعث کاهش توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشای سلولی خواهد شد. در چنین گیاهانی به دلیل آسیب دیدگی غشای سلول‌ها و خروج الکترولیت‌های سلول، هدایت الکتریکی محلول حاوی بافت گیاهی افزایش خواهد یافت (۳۲)

پایداری غشا سیتوپلاسمی با میزان هدایت الکتریکی نسبت عکس دارد. در شرایط تنش کم‌آبی فسفولیپیدهای غشای سلولی حالت گرانوله پیدا کرده و منافذی در ساختار غشای ایجاد می‌نمایند که این خود نیز موجب ناپایداری غشای سلولی می‌شود در نتیجه باعث نشت محتویات درون سلولی به فضای بین سلولی می‌گردد (۱۵). به نظر می‌رسد محلول پاشی متانول با کاهش خسارت ناشی از تنش کم‌آبی بر غشای سیتوپلاسمی به روش های مختلفی از جمله افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۵) موجب تعدیل یا کاهش اثر ناشی از محدودیت آبی و به تبع از آن منجر به کاهش هدایت الکتریکی می‌شود که نتایج به دست آمده با بررسی های حقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد (۱۵).

هدایت الکتریکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شد (جدول ۷). بررسی تغییرات این صفت در پاسخ به قطع آبیاری در طول فصل رشد نشان داد که هدایت الکتریکی برگ پرچم در اثر محلول پاشی متانول نسبت به شاهد از روند کاهشی برخوردار بود (جدول ۸). به طوری که بیشترین مقدار آن (۲۰۱/۵۶ میکروزیمنس بر متر) در عدم محلول پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کمترین آن (۹۰/۴۴ میکروزیمنس بر متر) در محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در ۲۱۰ روز پس از کاشت، به دست آمد (جدول ۸). دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (۳۵). با کاهش

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی متانول و سطوح آبیاری بر هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم گندم.

Table 7- Analysis of variance for the effects of foliar application of methanol and irrigation levels on electrical conductivity (EC) of wheat flag leaf.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	Mean Square میانگین مربعات				
		Sampling stages EC (days after planting) ( $\mu\text{s.m}^{-1}$ ) مراحل نمونه برداری EC (روز پس از کاشت) (میکروزیمنس بر متر)				
		194	198	202	206	210
تکرار Replication	2	861.71**	694.48**	90.16*	561.74**	743.86**
سطوح آبیاری (I) Irrigation levels	2	11839.54**	11455.90**	12068.00**	11233.44**	14150.34**
متانول (M) (M) Methanol	3	2482.65**	2182.11**	2003.29**	1449.18**	2919.87**
(I×M)	6	74.48**	66.41*	53.43*	172.26*	119.89**
خطا Error	22	21.71	27.03	20.02	70.53	48.56

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متانول و سطوح آبیاری بر هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم گندم.

Table 8- Means comparison the effect of methanol and irrigation levels on electrical conductivity (EC) flag leaf of wheat.

ترکیب تیماری Treatment combination	Sampling stages EC (days after planting) ( $\mu\text{s.m}^{-1}$ ) مراحل نمونه برداری EC (روز پس از کاشت) (میکروزیمنس بر متر)				
	194	198	202	206	210
I <sub>1</sub> ×M <sub>1</sub>	78.94 <sup>fg</sup>	81.58 <sup>g</sup>	97.14 <sup>f</sup>	94.48 <sup>ef</sup>	117.21 <sup>f</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>2</sub>	64.71 <sup>h</sup>	68.42 <sup>hi</sup>	80.36 <sup>h</sup>	87.34 <sup>ef</sup>	102.19 <sup>gh</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>3</sub>	59.21 <sup>h</sup>	62.47 <sup>ij</sup>	70.98 <sup>i</sup>	84.85 <sup>f</sup>	95.26 <sup>h</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>4</sub>	49.92 <sup>i</sup>	54.48 <sup>j</sup>	70.78 <sup>i</sup>	81.54 <sup>f</sup>	90.44 <sup>h</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>1</sub>	109.53 <sup>cd</sup>	112.51 <sup>cd</sup>	128.71 <sup>d</sup>	120.93 <sup>c</sup>	153.87 <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>2</sub>	93.51 <sup>c</sup>	102.73 <sup>c</sup>	113.30 <sup>c</sup>	111.22 <sup>cd</sup>	134.04 <sup>c</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>3</sub>	80.87 <sup>f</sup>	91.80 <sup>f</sup>	100.54 <sup>f</sup>	100.64 <sup>de</sup>	121.44 <sup>f</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>4</sub>	72.91 <sup>g</sup>	72.04 <sup>h</sup>	89.55 <sup>g</sup>	92.81 <sup>cf</sup>	111.51 <sup>fg</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>1</sub>	153.54 <sup>a</sup>	150.36 <sup>a</sup>	161.32 <sup>a</sup>	172.97 <sup>a</sup>	201.56 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>2</sub>	130.19 <sup>b</sup>	135.92 <sup>b</sup>	149.51 <sup>b</sup>	151.17 <sup>b</sup>	173.05 <sup>b</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>3</sub>	116.92 <sup>c</sup>	118.84 <sup>c</sup>	138.63 <sup>c</sup>	139.17 <sup>b</sup>	159.21 <sup>c</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>4</sub>	102.24 <sup>d</sup>	108.66 <sup>de</sup>	123.00 <sup>d</sup>	124.69 <sup>c</sup>	144.92 <sup>de</sup>
LSD	7.89	8.80	7.57	14.22	11.80

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله دهی و آبستنی. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> و M<sub>4</sub>: به ترتیب عدم محلول پاشی و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stage respectively. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>: non-foliar application, foliar application of 10, 20 and 30 % volume of methanol respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according to the LSD test.

(۵۶). در واقع، با اعمال تنش خشکی به دلیل کاهش کلروفیل موجب می‌شود میزان فتوسنتز کاهش یابد. کاهش محتوای نسبی آب و بسته شدن روزنه‌ها نیز از اولین تأثیر تنش خشکی بوده که در ساخت مواد فتوسنتزی ایجاد اختلال کرده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (۹). به نظر می‌رسد متانول با تبدیل به دی‌اکسید کربن موجب افزایش غلظت دی‌اکسید کربن درون سلول‌های برگ شده که با انجام عمل فتوسنتز و ماده‌سازی بیش‌تر منجر به مصرف NADPH تولید شده در زنجیره انتقال الکترون می‌شود، که با کاهش تجمع آن در کلروپلاست سلول‌های برگ و تشکیل سوپراکسید، موجب کاهش نشتی غشا می‌شود (۲۱). نونومورا (۱۹۹۷) علت تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی در گیاهان تیمار شده با متانول را، به دو برابر شدن میزان قند تولید شده در برگ این گیاهان نسبت داد و اظهار داشت که افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها موجب می‌شود آب از خاک با نیروی بیش‌تری جذب

**عملکرد دانه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۴۶/۹۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم محلول پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با محلول پاشی متانول و آبیاری کامل از افزایش عملکرد کوانتومی (جدول ۴)، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۸) و نشتی غشا (جدول ۶) ناشی می‌شود. در این زمینه استون و همکاران (۲۰۰۱) کاهش دریافت تابش خورشید در اثر کاهش کلروفیل را یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد دانه ذرت تحت تنش خشکی گزارش کردند



عدم محلول‌پاشی شد (جدول ۱۰). تنش خشکی می‌تواند از طریق کوتاه کردن دوره نمو و همچنین افزایش سرعت نمو سنبله موجب کاهش طول سنبله گردد (۸). خشکی همچنین از طریق تاثیر مستقیم منفی بر مریستم انتهایی، که تشکیل‌دهنده سنبله است، می‌تواند سبب کاهش طول سنبله شود (۱۴). تاثیر تنش رطوبتی بر کاهش تعداد دانه در سنبله را می‌توان به افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه، مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده افشانی و پر شدن دانه در اثر خشکی نسبت داد (۱۲). کاربرد متانول از طریق تاثیر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه به‌واسطه توان تولید دی‌اکسید کربن موجب می‌شود که تولید ماده خشک در گیاه و به‌دنبال آن اجزای عملکرد از جمله وزن هزار دانه بهبود یابد (۱). رضائی و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی متانول با افزایش محتوای کلروفیل و تاثیر بر ظرفیت فتوسنتزی بوته‌ها و همچنین انتقال مواد فتوسنتزی به سمت سنبله‌های در حال رشد گندم ضمن جلوگیری از ریزش سنبله‌ها و تاثیر مثبت بر پر شدن سنبله‌ها، موجب افزایش تعداد دانه شد (۵۰).

شود و این موضوع موجب افزایش جذب آب در شرایط خشکی می‌شود (۳۷). از طرفی متانول به‌عنوان منبع کربنی برای گیاهان به شمار می‌آید، محلول‌پاشی گیاهان C<sub>3</sub> با این ماده به‌دلیل کاهش تنفس نوری منجر به افزایش رشد، وزن دانه و در نهایت بالا رفتن عملکرد دانه می‌شود (۷). میرآخوندی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند محلول‌پاشی متانول در سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد حجمی در گیاه لوبیا باعث افزایش عملکرد دانه شد (۳۰).

**طول سنبله و تعداد دانه در سنبله:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر طول و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹)، اما اثر برهم‌کنش دوگانه بر این دو صفت معنی‌دار نبود (جدول ۹). نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب کاهش ۲۸/۱۸ و ۱۱ درصدی به‌ترتیب تعداد دانه در سنبله و طول سنبله نسبت به شرایط آبیاری کامل شد، همچنین، محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش ۱۲/۸۷ و ۴/۸۹ درصدی به ترتیب تعداد دانه در سنبله و طول سنبله نسبت به

جدول ۹- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و عملکرد دانه گندم.

Table 9- Analysis of variance for the effects of foliar application of methanol and irrigation levels on number of grains per spike, Spike length and grain yield of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	Mean Square میانگین مربعات		
		عملکرد دانه (گرم در متر مربع) Grain yield (g.m <sup>-2</sup> )	طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
تکرار Replication	2	204169.9**	10.675**	28.58**
(I) سطوح آبیاری Irrigation levels	2	41068.1**	2.477**	82.75**
(M) متانول Methanol	3	52417.6**	0.256**	10.59**
(I×M)	6	2267.8**	0.040 <sup>ns</sup>	1.00 <sup>ns</sup>
خطا Error	22	306.6	0.06	1.61

ns, \* و \*\*: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متانول و سطوح آبیاری بر تعداد دانه در سنبله و طول سنبله گندم.

Table 10-Means comparison the effect of methanol and irrigation levels on number of grains per spike and Spike length of wheat.

محلول پاشی متانول Foliar application of methanol	طول سنبله (سانتی متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
M <sub>1</sub>	8.38b	19.88b
M <sub>2</sub>	8.58ab	21.22a
M <sub>3</sub>	8.62ab	21.77a
M <sub>4</sub>	8.79a	22.44a
LSD	0.24	1.24
سطوح آبیاری Irrigation levels	طول سنبله (سانتی متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
I <sub>1</sub>	9.08a	23.91a
I <sub>2</sub>	8.51b	21.41b
I <sub>3</sub>	8.18c	18.66c
LSD	0.2	1.07

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله دهی و آبستنی. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> و M<sub>4</sub>: به ترتیب عدم محلول پاشی و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stage respectively. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>: non-foliar application, foliar application of 10, 20 and 30 % volume of methanol respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according to the LSD test.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی متانول و سطوح آبیاری بر تعداد دانه در سنبله و طول سنبله گندم.

Table 11-Means comparison the effect of foliar application of methanol and irrigation levels on grain yield of wheat.

ترکیب تیماری Treatment combination	عملکرد دانه (گرم در متر مربع) (g.m <sup>-2</sup> ) Grain yield (g.m <sup>-2</sup> )
I <sub>1</sub> ×M <sub>1</sub>	638.7 <sup>c</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>2</sub>	712.5 <sup>b</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>3</sub>	758.2 <sup>a</sup>
I <sub>1</sub> ×M <sub>4</sub>	762.4 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>1</sub>	540.3 <sup>ef</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>2</sub>	588.1 <sup>d</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>3</sub>	655.7 <sup>c</sup>
I <sub>2</sub> ×M <sub>4</sub>	746.7 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>1</sub>	518.7 <sup>f</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>2</sub>	548.4 <sup>e</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>3</sub>	650 <sup>c</sup>
I <sub>3</sub> ×M <sub>4</sub>	706.6 <sup>b</sup>
LSD	29.653

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub>: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله دهی و آبستنی. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> و M<sub>4</sub>: به ترتیب عدم محلول پاشی و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub>: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stage respectively. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>: non-foliar application, foliar application of 10, 20 and 30 % volume of methanol respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according to the LSD test.

به شرایط محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول تحت شرایط آبیاری کامل افزایش داد. بیش‌ترین عملکرد دانه به ترکیب تیماری ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل تعلق داشت؛ از این‌رو، بر اساس نتایج حاصل از این بررسی به‌نظر می‌رسد استفاده از متانول به دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گندم می‌تواند عملکرد گندم را حتی در شرایط محدودیت آبی در دوره رشد زایشی افزایش دهد.

### نتیجه‌گیری کلی

محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، افزایش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ در طول فصل رشد، عملکرد دانه گندم را در شرایط محدودیت آبی افزایش داد. همچنین، عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی هدایت الکتریکی، نشت الکترولیت و فلورسانس حداقل برگ پرچم را نسبت

### References

- Ahmadi, K., Rostami, M., and Hosseinzadeh, S.R. 2018. Effects of application of methanol on yield and yield components of two cultivars of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. Iran. J. Field Crops Res. 16: 3. 629-640. (In Persian)
- Ahmadpour, R., and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Change in growth and photosynthetic parameters of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to methanol foliar application and drought stress. Int. J. Agric. Biosci. 6: 1. 7-12.
- Ahmadpour, R., Armand, N., Hosseinzadeh, S.R., and Rejeh, M. 2016. Evaluation of foliar application of Methanol effects on some morphological, physiological and biochemical indices of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) under water deficit stress. Iran. J. Pulses Res. 7: 2. 202-214. (In Persian)
- Amiri, H., Ismaili, A., and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv.karaj). Compost Sci. Util. 25: 3. 152-165.
- Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., and Nachit, M. M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Field Crops Res. 55: 3. 209-223.
- Ashraf, M., and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59: 2. 206-216.
- Ehyaei, H.R., Parsa, M., Kafī, M., and Nasiri Mahalati, M. 2010. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. Iran. J. Pulses Res. 1: 2. 37-48. (In Persian)
- Emam, Y., and Niknejad, M. 2011. An introduction to the physiology of crop yield, Shiraz University Press. 585p. (In Persian)
- Emam, Y., and Seghateleslami, M.J. 2005. Crop yield, physiology and processes. Shiraz University Press, 593 p. (In Persian)
- Farhoudi, R., Modhej, A., and Khoshnaz, P. 2016. Effect of drought stress at the end of the season on photosynthesis, grain yield and seed vigor of five soybean cultivars. Quarterly J. Physiol. Crops. 6: 24. 41-55. (In Persian)
- Farooq, S., and Azam, F. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. J. Plant Physiol., 163: 6. 629-637.
- Flower, D., and Ludlow, M.M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of waterstressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. Plant Cell. Environ., 9: 1. 3-44.

13. Galbally, I.E., and Kirstine, W. 2002. The production of methanol by flowering plants and the global cycle of methanol. *J. Atmos. Chem.*, 43: 3. 195-229.
14. Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P., and Schofield, J. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *J. Cereal Sci.* 37: 3. 295-309.
15. Haghinezhad, N., Oveysi, M., and Nasri, M. 2016. Effects of foliar application of methanol on agronomic and morphological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under cut irrigation stress. *Agronomic. Res Semi Desert Reg.* 13: 3. 189-199. (In Persian)
16. Hassanein, A.M., Hagra, A.M., Azab, M.A., and Farouk, A.S. 2019. Effect of nitrogen fertilizer, methanol and potassium bicarbonate on wheat grain yield and its components under drip irrigation system. *J. Biol. Chem. Environ. Sci.* 14: 4. 121-136. (In Persian)
17. Havaux, M., and Niyogi, K.K. 1999. The violoxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. *Proc. Nation. Aca. Sci.* 96: 15. 8762- 8767.
18. Hosseinzadeh, S.R., Cheniany, M., and Salimi, A. 2014. Effects of foliar application of methanol on physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iran. J. Pulse Res.* 5: 2. 71-82.
19. Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iran. J. Plant Biol.* 5: 18. 116-129.
20. Hossinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2013. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iran. J. Plant Biol.* 5: 18. 115-132. (In Persian)
21. Hossinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2015. Effects of foliar application of methanol on biochemical characteristics and antioxidant enzyme activity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 31:1. 17-30. (In Persian)
22. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., and Khalilzadeh, R. 2018. Alleviation of salt stress effects in triticale ( $\times$  *Triticosecale*) by bio fertilizers and zinc application. *J. Plant Res. (Iran. J. Biol.)*. 31: 40. 801-821. (In Persian)
23. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj-Napoca.* 44: 1. 116-124.
24. Kusvuran, S. 2012. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 7: 5. 775-781.
25. Liang, Y., Chen, Q., Liu, W., Zhang, Z., and Ding, R. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol.* 99: 10. 872-878.
26. Mailer, P., Baltensperger, D., Clayton, G., Johnson, A., Lafond, G., McConkey, B., Schatz, B., and Starica, J. 2002. Pulse crop adaptation and impact across the Northern Great Plains. *J. Agric. Sci.* 94: 2. 261-272.
27. Makhdam, I.M., Nawaz, A., Shabab, M., Ahmad, F., and Illahi, F. 2002. Physiological response of Cotton to methanol foliar application. *J. Res. Sci.* 13: 1. 37-43.
28. Mamnoei, E., and Sharifi, S.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. *J. Plant Biol.* 2: 5. 51-62. (In Persian).
29. Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S.K., Chernikova, T.N., Thor, K., and Leipner, J. 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol. Biochem.* 46: 2. 189-195.
  30. Mirakhodi, M., Paknejad, F., Reihani, Y., Nazeri, P., Yeganeh Pour, F., Jamshidi, N., and Gaffari, M. 2013. Effect of foliar application of methanol on yield and some of physiological traits in bean. *J. Crop Ecophysiol.* 25: 1. 17-30. (In Persian)
  31. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M.R., Nazeri, P., Esmailpor Jahromi, M.E. 2010. Effect of drought stress and methanol on chlorophyll parameters, chlorophyll content and relative water content of soybean (*Glycine max* L., var. L 17). *Iran. J. Field Crops Res.* 8: 3. 531-541. (In Persian)
  32. Mirzakhani, M., and Sibi, M. 2010. Response of safflower physiological traits to water stress and zeolite application. The Proceedings of 2nd Iranian National Congress on Agricultural and Sustainable Development. Islamic Azad University, Shiraz Branch. (In Persian)
  33. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., and Kimura, K. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 53: 2. 205-214.
  34. Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H., Zeinali, E., and Najafi Hezarjaribi, R. 2008. Effect of seed deterioration on vegetative growth and chlorophyll fluorescence in soybean (*Glycine max*). *J. Agric. Sci. Nat. Res.* 15: 5. 112-118 (in Persian)
  35. Mohammadkhani, N., and Heidari, R. 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pak. J. Biol. Sci.*, 10: 21. 3835-3840.
  36. Nasr Esfahani, M., and Madadkar Haghjou, M. 2015. Response of *Glycine max* to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. *Iran. J. Plant Biol.* 7: 24. 77-89.
  37. Nonomura, A.M. 1997. Method and composition for enhancing carbon fixation in plants. *Proc Natl Acad Sci, U.S.A.* 89. 9794-9798.
  38. Nonomura, A.M., and Benson, A.A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. *Natl Acad Sci.* 89. 9794-9798.
  39. Orabi, S.A., Salman, S.R., and Shalaby, A. F. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World J. Agric. Sci.* 6: 3 252- 259.
  40. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., and Tran, L.-S. P. 2014. Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.* 5. 86.
  41. Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A., and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Am. J. Biochem. Biotec.* 5: 4. 162-169.
  42. Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H., and Jami Alahmad, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *J. Biol. Sci.* 7: 6. 841-847.
  43. Pasari, B.M., and Yakhchali, S.H. 2015. Study the effect of methanol foliage spraying on Chickpea cultivars in rainfed condition. *Bulg. J. Agric. Sci.* 21: 1. 93-99.
  44. Pormosavi, S.M., Galoi, M., and Daneshian, J. 2006. Evaluation of manure application on soybean leaf chlorophyll content and membrane

- stability under drought conditions. 9th Congress of Crop Sciences, Pp: 205-208.
45. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., and Najafi, F. 2013. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Iran. J. Pulses Res. 4: 2. 87-96. (In Persian)
  46. Rahimi, A., Bihamta, M.R., and Khodarahmi, M., 2017. Evaluation of different characteristics of wheat genotypes under drought stress using multivariate statistical. J. Crop Breed. 9: 21. 147-152. (In Persian)
  47. Ramadant, T., and Omran, Y. 2005. The effects of foliar application of methanol on productivity and fruit quality of grapevine cv. flame seedlees. Vitis J. 44: 1. 11-16.
  48. Rambery, H.A., Bradley, J.S.C., Olson, J.N., Nishio, J., Markwell, J., and Dstermen, J.C. 2002. The role of methanol in promoting plant growth: An update. Rev. Plant Biochem, Biochemol. 1: 113-126.
  49. Ramirez, I.F., Dorta, V., Espinoza, E., Jimenez, A., Mercado, A., and Pena-Cortes, H. 2006. Effect of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco and tomato plant. J. Plant Growth Reyul. 25: 1. 30-44.
  50. Rezaie, F., Barary, M., Hatami, A., and Hassanein Khoshro, H. 2019. The effect of nano-potass fertilizer and methanol application on some physiological characters, yield and yield components of wheat. J. Plant Ecophysiol. 39: 11. 180-191. (In Persian)
  51. Rohacek, K., Soukupova, J., and Bartak, M. 2008. Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plantphysiology and plant stress. Pp: 41-104. In Schoefs, B. (eds). Plant cell compartments-selected topics. Research Signpost, Kerala, India.
  52. Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. J. Agron. Crop Sci. 186. 1. 63-70
  53. Siddique, M.R.B., Hamid, A., and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot Bull Acad Sci. 41. 1. 35-39.
  54. Sikder, S., Foulkes, J., and West, H. 2015. Evaluation of photosynthetic potential of wheat genotypes under drought condition. Photosynthetica. 53. 47-54.
  55. Soheyli movahed, S., Esmaeeli, M.A., and F. Jabari, F. 2017. Investigation the effect of different levels of irrigation on morph physiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiata* L.). Crop Physiol. J. 9: 34. 5-21. (In Persian)
  56. Stone, P.J., Wilson, D.R., Reid, J.B., and Gillespie, G.N. 2001. Water deficit effects on sweet corn: I. Water use, radiation use efficiency, growth and yield. Aust. J. Agric. Res. 52: 1. 103-113.
  57. Vazan, S., Ranji, Z., Tehrani, M., Ghalavand, A., and Saaneyi, M. 2002. Drought stress effects of on ABA accumulation and stomatal conductivity of sugar beet. Iran. J. Agric. Sci. 3: 4. 176-180. (In Persian)
  58. Yordanov, I., Tsonko, T., Velikova, V., Georgieva, K., Ivanov, P., Tsenov, N., and Petrova, T. 2001. Change in CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and stomatal resistance to different wheat cultivars expressing drought under field conditions. Bulg. J. Plant Physiol. 27: 3-4. 20-33.
  59. Zlatev, Z. 2009. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. Biotechnol. Biotechnology. Equip. 23: 4. 438-441.
  60. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg. J. Plant Physiol. 30: 3-4. 3-18.