نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۹
۱۵۱-۱۷۲
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2021.18631.2382

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

فاطمه آقائی[۱]، رئوف سیدشریفی[۲*]، سعید خماری[۳]، حامد نریمانی[۱]

[۱]دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۲]استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۳]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 تاثیرگذار بر عملکرد گیاهان زراعی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است. این تنش واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاهان را به عنوان 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 زند و محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی را کاهش دهد. یکی از راه‌کارهای مهم برای افزایش غلظت CO_2 در گیاهان استفاده از ترکیباتی همچون متانول است که می‌تواند غلظت CO_2 در گیاه را افزایش دهد و به فتوسنتز و رشد تحت شرایط محدودیت آبی کمک کند. از این‌رو، هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر 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_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه را کاهش داد، در حالی‌که هدایت الکتریکی، نشت الکترولیت و فلورسانس حداقل (F_0) افزایش یافت. محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل فلورسانس بیشینه (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، عملکرد کوانتومی (F_v/F_m)، 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_0) را به ترتیب ۱۲۲/۸۶، ۷۳/۷۰ و ۴۲/۵۹ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش داد.

*مسئول 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 فتوسیستم II و در نهایت کاهش تثبیت CO_2 و فتوسنتز خالص اشاره کرد (۲). با بسته شدن روزنه‌ها، ورود CO_2 به سلول‌های مزوفیل برگی 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 کارآیی فتوسیستم IIبه‌عنوان 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 فتوسیستم II و همچنین، تخریب ساختمان پروتئین D_1 موجود در فتوسیستم II و در نتیجه کاهش نسبت F_v/F_m می‌شود (۴۵). به همین جهت، مقدار فلورسانس کلروفیل، میزان سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارآیی فرایند انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم 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 نشت‌یونی 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

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 محلول پاشی متانول (شاهد، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی) در نخود گزارش کردند که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود شد و بیش ترین 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 به‌ترتیب 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 به‌عنوان 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.

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 زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در مراحل ۵۰ درصد سنبله‌دهی و چکمه‌ای شدن یا آبستنی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی به‌ترتیب معادل کد ۵۵ و ۴۳ بر اساس مقیاس BBCH) و محلول‌پاشی متانول در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان 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 (به‌ترتیب معادل کد ۳۰ و ۳۹ براساس 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 گلایسین به‌منظور 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 نانوایی در

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 ۴-۳ سانتی‌متری و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است در ۱۵ آبان ماه انجام شد. به‌منظور 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 به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil experimental field

مشخصه Characteristc	عصاره اشباع Saturated extrat	pH	بافت Texture	آهک $CaCO_3$	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic Carbon	نیتروژن کل N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn
				درصد (%)					میلی‌گرم بر کیلوگرم (mg/kg^{-1})			
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

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 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

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:

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

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 پرومتر (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 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 (جدول۶) به‌دلیل 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. طوری‌که 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). هنگامی‌که نور در سطح متوسط باشد بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به‌مصرف فتوسنتز می‌رسد و بخش کمی

از انرژی نورانی به‌صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به‌عنوان 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 به‌دلیل 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). اصولا مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (کوینون) 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 به‌علت 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 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 (Fm): 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 (جدول۳). 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 (جدول۴). 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 (جدول۴). وقتی مولکول‌های کوئینون در وضعیت اکسید شده هستند، در این حالت سیستم دارای کم ترین فلورسانس (F_0) است. به‌تدریج، 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 فتوسیستمI 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

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

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm): 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 (جدول۳). 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 نمونه برداری (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 (جدول۴). 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) PSIIکاهش 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 نشان دهنده 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 تاثیر محلول‌پاشی متانول بر حفاظت از دستگاه فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در شرایط تنش خشکی است، طوری‌که افزایش میزان CO_2 درون برگی موجب می‌شود فرآیند کربوکسیلاسیون در مقایسه با فرآیند اکسیژناسیون آنزیم روبیسکو 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؛ طوری‌که 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؛ طوری‌که 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 می‌یابند (۶). اورابی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن منجر می‌شود که تحریک کنندهٔ آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل‌ها بر اثر این آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند (۳۹). رمبری و همکاران (۲۰۰۲) اظهار داشتند که افزایش

مقدار کلروفیل در شرایط محلول‌پاشی با متانول می‌تواند با اکسیداسیون متانول در ارتباط باشد، زیرا وقتی بوته‌ها درشرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو و با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش دی‌اکسیدکربن درون برگی روبه رو 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 نسبتا 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 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

(۲۰۰۲) اظهار داشتند که در شرایط کم‌آبی هدایت‌روزنه‌ای با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و کاهش مقدار آب، منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای 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 هدایت روزنه‌ای 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 هدایت روزنه‌ای شد. مخدوم و همکاران (۲۰۰۲) علت افزایش هدایت روزنه‌ای 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 هدایت روزنه‌ای را به نقش این ماده در افزایش پتانسیل تورگر در گیاهان C_3، به‌علت افزایش میزان قند تولید شده در برگ، نسبت دادند که با افزایش محتوای نسبی آب منجر به افزایش هدایت روزنه ای 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 در۲۱۰ روز پس از کاشت، حداکثر درصد نشت الکترولیت برگ پرچم (۷۲ درصد) در عدم محلول‌پاشی و در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و حداقل آن (۴۱/۴۵ درصد) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و تحت شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، غشای سلولی به‌دلیل 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 نمونه‌برداری می‌شود (جدول ۸). در این راستاف اوساکابه و همکاران (۲۰۱۴) اظهارداشتند که در تنش‌های شدید، به‌دلیل تغییر فسفولیپیدهای غشا و عدم توانایی در حفظ ساختار یکپارچه آن موجب می‌شود نشت یونی غشا در شرایط تنش به‌شدت 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 آسیمیلاسیون CO_2 و در نتیجه افزایش پایداری برگ نخود شد (۲۱). احمدپور و همکاران (۲۰۱۶) نیز افزایش پایداری غشا را به‌واسطه کاربرد متانول در شرایط تنش خشکی را به بهبود محتوای نسبی آب و پروتئین نسبت دادند (۳). در این بررسی نیز به‌نظر 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.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر متانول و سطوح آبیاری بر فلورسانس حداقل (F_0)، فلورسانس متغیر (F_v)، فلورسانس حداکثر (F_m) و عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) برگ پرچم گندم.

Table 3- Analysis of variance the effects of methanol and irrigation levels on minimum fluorescence (F_0), variable fluorescence (F_v), maximum fluorescence (F_m) and quantum yeield (F_v/F_m) flag leaf of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square									
		مراحل نمونه‌برداری F_o (روز پس از کاشت) Sampling stages F_o (days after planting)					مراحل نمونه‌برداری F_v (روز پس از کاشت) Sampling stages F_v (days after planting)				
		194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
تکرار Replication	2	347.86**	308.08**	124.77ns	594.69**	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**	344305.52**	219830.52**	243514.77**
متانول (M) Methanol	3	8121.40**	7153.55**	6470.99**	4959.80**	3546.29**	111330.99**	96970.54**	78120.54**	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**	1425.48
خطا Error	22	56.58	9.02	40.80	47.63	49.98	572.92	1138.77	1558.80	347.28	532.52
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	2.73	1.02	2.00	2.04	2.01	1.96	3.55	5.15	3.13	4.49

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.

ادامه جدول ۳-

Continuation of Table 3-

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square									
		مراحل نمونه‌برداری F_m (روز پس از کاشت) Sampling stages F_m (days after planting)					مراحل نمونه‌برداری Fv/Fm (روز پس از کاشت) Sampling stages F_v/Fm (days after planting)				
		194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
تکرار Replication	2	25663.69^{**}	9250.11^{**}	9809.69^{**}	1613.58^{**}	816.08^{ns}	0.0009^{**}	0.0011^{**}	0.00067^{**}	0.001^{**}	0.0003^{ns}
سطوح آبیاری Irrigation levels (I)	2	280147.52^{**}	246117.44^{**}	159601.36^{**}	85437.25^{**}	113479.08^{**}	0.038^{**}	0.059^{**}	0.076^{**}	0.092^{**}	0.123^{**}
متانول Methanol (M)	3	60762.32^{**}	52798.69^{**}	40464.92^{**}	47235.88^{**}	38974.00^{**}	0.0085^{**}	0.012^{**}	0.015^{**}	0.024^{**}	0.027^{**}
(I×M)	6	1505.49^{**}	3107.33^{*}	3553.17^{*}	935.69^{**}	1505.41^{*}	0.0004^{**}	0.0007^{**}	0.0002^{*}	0.0002^{ns}	0.001^{**}
خطا Error	22	425.23	1158.86	1463.27	266.70	620.32	0.00003	0.00008	0.00011	0.0001	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	1.38	2.74	3.52	1.75	2.87	7.06	1.24	5.13	6.13	2.08

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 ٤- 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 yeield (F_v/F_m) flag leaf of wheat.

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

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. M_1، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری 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 ٤-

Continuation of Table 4-

ترکیب تیماری Treatment combination	مراحل نمونه‌برداری F_m (روز پس از کاشت) Sampling stages F_m (days after planting)					مراحل نمونه‌برداری Fv/Fm (روز پس از کاشت) Sampling stages F_v/F_m (days after planting)				
	194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
$I_1 \times M_1$	1544.33^{d}	1258.00^{d}	1086.67^{d}	922.00^{de}	874.00^{ef}	0.841^{d}	0.789^{d}	0.722^{e}	0.650^{d}	0.622^{d}
$I_1 \times M_2$	1674.00^{b}	1398.67^{b}	1198.00^{bc}	982.67^{c}	945.67^{bc}	0.868b	0.828^{b}	0.779^{c}	0.702^{c}	0.675^{b}
$I_1 \times M_3$	1646.67^{b}	1342.00^{bc}	1238.67^{b}	1023.33^{b}	968.67^{b}	0.868^{b}	0.818^{bc}	0.798^{b}	0.735^{b}	0.690^{b}
$I_1 \times M_4$	1751.33^{a}	1514.33^{a}	1317.67^{a}	1137.33^{a}	1055.67^{a}	0.886^{a}	0.853^{a}	0.818^{a}	0.776^{a}	0.724^{a}
$I_2 \times M_1$	1383.33^{g}	1184.33^{ef}	991.67^{efg}	874.33^{fg}	804.33^{g}	0.770^{g}	0.719^{fg}	0.646^{g}	0.571^{f}	0.524^{f}
$I_2 \times M_2$	1435.00^{f}	1230.67^{de}	1057.00^{d}	896.33^{ef}	852.67^{f}	0.801^{f}	0.757^{e}	0.695^{f}	0.620^{e}	0.581^{e}
$I_2 \times M_3$	1493.00^{e}	1268.67^{d}	1027.33^{def}	945.00^{d}	900.00^{de}	0.823^{e}	0.781^{d}	0.694^{f}	0.643^{d}	0.618^{d}
$I_2 \times M_4$	1592.00^{c}	1338.00^{c}	1153.33^{de}	1006.67^{bc}	916.67^{cd}	0.854^{c}	0.808^{c}	0.747^{d}	0.689^{c}	0.649^{c}
$I_3 \times M_1$	1270.67^{i}	1012.00^{h}	949.33^{g}	780.67^{i}	696.67^{i}	0.701^{i}	0.612^{i}	0.571^{j}	0.484^{i}	0.405^{i}
$I_3 \times M_2$	1336.67^{h}	1097.00^{g}	967.00^{fg}	817.67^{h}	731.00^{hi}	0.746^{h}	0.678^{h}	0.604^{i}	0.520^{h}	0.438^{h}
$I_3 \times M_3$	1337.00^{h}	1098.00^{g}	975.00^{fg}	851.33^{g}	765.67^{gh}	0.769^{g}	0.704^{g}	0.624^{h}	0.539^{g}	0.489^{g}
$I_3 \times M_4$	1455.67^{f}	1164.00^{f}	1045.67^{de}	940.67^{d}	873.00^{ef}	0.794^{f}	0.734^{f}	0.677^{f}	0.616^{e}	0.571^{e}
LSD	34.91	57.64	64.77	27.65	42.17	0.010	0.015	0.018	0.017	0.020

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. M_1، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری 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.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح 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 برثانیه) Sampling stages stomatal conductance (days after planting)				
		194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
تکرار Replication	2	1.32^{ns}	1.05^{ns}	0.99^{ns}	2.12^{ns}	5.67^{ns}	5.68ns	3.68^{ns}	5.97^{ns}	7.53*	10.32
سطوح 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) Methanol	3	40.57**	28.20**	44.86**	41.29**	51.41**	27.66**	43.67**	36.78**	36.33**	17.14**
(I×M)	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≤0.05 and P≤0.01, respectively.

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

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	0.37ns	6.28ns	5.09ns	5.39ns	58.95**	368.16**	140.98**	152.70**	172.10**	195.90**
سطوح آبیاری Irrigation levels (I)	2	1339.69**	858.75**	710.14**	547.29**	621.91**	1286.98**	1085.00**	1131.95**	1025.15**	1196.61**
متانول (M) Methanol	3	219.63**	108.91**	145.60**	287.57**	112.95**	259.77**	179.71**	201.63**	159.95**	169.47**
(I×M)	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≤0.05 and P≤0.01, respectively.

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

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر شاخص کلروفیل (SPAD)، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب (RWC) و درصد نشت الکترولیت برگ پرچم 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.

ترکیب تیماری Treatment combination	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 برثانیه) Sampling stages stomatal conductance (days after planting) ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)				
	194	198	202	206	210	194	198	202	206	210
$I_1 \times M_1$	48.67^{bc}	48.20^{bc}	45.91^{bc}	41.10^{bc}	36.92^{bc}	37.78bc	32.10bc	28.35bc	24.80bc	18.86bc
$I_1 \times M_2$	50.65^{b}	49.96^{b}	47.94^{b}	43.29^{b}	37.48^{bc}	37.16bc	33.43b	30.21b	26.48b	19.55b
$I_1 \times M_3$	49.14^{bc}	48.19^{bc}	47.43^{b}	42.89^{b}	38.51^{b}	39.76b	32.33bc	28.73bc	25.23b	19.66b
$I_1 \times M_4$	57.59^{a}	54.21^{a}	54.12^{a}	50.76^{a}	46.21^{a}	44.72	39.92a	37.71a	32.44a	24.22a
$I_2 \times M_1$	47.99^{bcde}	44.27^{de}	42.22^{cd}	38.97^{bcd}	33.14^{de}	35.78cd	29.38de	24.81cdef	22.45cd	16.89de
$I_2 \times M_2$	45.18^{cdef}	42.93^{ef}	41.98^{d}	37.80^{cd}	34.23^{cd}	35.47cd	31.82bc	27.98bcd	21.90de	16.85de
$I_2 \times M_3$	46.56^{cde}	47.49^{bcd}	46.02^{bc}	41.45^{bc}	36.11^{bcd}	36.30cd	30.29cd	26.15bcde	22.79cd	18.06cd
$I_2 \times M_4$	48.48^{bcd}	45.88^{cde}	44.91^{bcd}	39.55^{bcd}	35.92^{bcd}	36.38cd	33.26b	26.27bcde	25.38b	18.63bc
$I_3 \times M_1$	41.87^{f}	39.14^{g}	36.48^{e}	32.86^{e}	29.68^{e}	29.89f	24.37g	20.81f	18.66f	13.50g
$I_3 \times M_2$	44.65^{def}	40.85^{fg}	41.85^{d}	35.67^{de}	32.92^{de}	31.49ef	27.00f	24.07ef	19.65ef	14.73fg
$I_3 \times M_3$	44.23^{ef}	42.69^{ef}	41.58^{d}	36.70^{de}	32.81^{de}	31.87ef	26.10fg	22.29ef	19.84ef	14.66g
$I_3 \times M_4$	46.20^{cde}	43.49^{ef}	41.62^{d}	37.61^{cd}	34.66^{cd}	33.82de	27.89ef	23.85ef	21.34de	15.94eg
LSD	4.00	3.33	3.87	4.36	3.68	2.89	2.34	4.07	2.43	1.43

هدایت‌الکتریکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار 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 محلول‌پاشی متانول نسبت به شاهد از روند کاهشی برخوردار بود (جدول ۸). به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن (۲۰۱/۵۶ میکروزیمنس بر متر) در عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۹۰/۴۴ میکروزیمنس بر متر) درمحلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل در ۲۱۰ روز پس از کاشت، به‌دست 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 نتیجه‌ی آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (۳۵). با کاهش 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 به‌دلیل 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). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی 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 به‌دست آمده با بررسی های حقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد (۱۵).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی 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	میانگین مربعات Mean Square				
		مراحل نمونه‌برداری EC (روز پس از کاشت) (میکروزیمنس بر متر) Sampling stages EC (days after planting) ($\mu s.m^{-1}$)				
		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) 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 **: 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 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) ($\mu s.m^{-1}$) مراحل نمونه‌برداری EC (روز پس از کاشت) (میکروزیمنس بر متر)				
	194	198	202	206	210
$I_1 \times M_1$	78.94^{fg}	81.58^{g}	97.14^{f}	94.48^{ef}	117.21^{f}
$I_1 \times M_2$	64.71^{h}	68.42^{hi}	80.36^{h}	87.34^{ef}	102.19^{gh}
$I_1 \times M_3$	59.21^{h}	62.47^{ij}	70.98^{i}	84.85^{f}	95.26^{h}
$I_1 \times M_4$	49.92^{i}	54.48^{j}	70.78^{i}	81.54^{f}	90.44^{h}
$I_2 \times M_1$	109.53^{cd}	112.51^{cd}	128.71^{d}	120.93^{c}	153.87^{cd}
$I_2 \times M_2$	93.51^{e}	102.73^{e}	113.30^{e}	111.22^{cd}	134.04^{e}
$I_2 \times M_3$	80.87^{f}	91.80^{f}	100.54^{f}	100.64^{de}	121.44^{f}
$I_2 \times M_4$	72.91^{g}	72.04^{h}	89.55^{g}	92.81^{ef}	111.51^{fg}
$I_3 \times M_1$	153.54^{a}	150.36^{a}	161.32^{a}	172.97^{a}	201.56^{a}
$I_3 \times M_2$	130.19^{b}	135.92^{b}	149.51^{b}	151.17^{b}	173.05^{b}
$I_3 \times M_3$	116.92^{c}	118.84^{c}	138.63^{c}	139.17^{b}	159.21^{c}
$I_3 \times M_4$	102.24^{d}	108.66^{de}	123.00^{d}	124.69^{c}	144.92^{de}
LSD	7.89	8.80	7.57	14.22	11.80

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. M_1، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری 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, 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.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش دوگانه بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۴۶/۹۸ درصدی عملکرد دانه نسب به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۱۱). به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با محلول‌پاشی 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 (۵۶). در واقع، با اعمال تنش خشکی به‌دلیل 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 دی‌اکسیدکربن درون سلول‌های برگی 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 برگی 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 بیش تری جذب

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_3 با این ماده به‌دلیل کاهش تنفس نوری منجربه 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 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 دی اکسید 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).

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	میانگین مربعات Mean Square		
		عملکرد دانه (گرم در متر مربع) Grain yield ($g.m^{-2}$)	طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
تکرار Replication	2	204169.9**	10.675^{**}	28.58^{**}
سطوح آبیاری (I) Irrigation levels	2	41068.1**	2.477^{**}	82.75^{**}
متانول (M) Methanol	3	52417.6**	0.256^{**}	10.59^{**}
(I×M)	6	2267.8**	0.040^{ns}	1.00^{ns}
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.

محلول‌پاشی متانول Foliar application of methanol	طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
M_1	8.38b	19.88b
M_2	8.58ab	21.22a
M_3	8.62ab	21.77a
M_4	8.79a	22.44a
LSD	0.24	1.24
سطوح آبیاری Irrigation levels	طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike
I_1	9.08a	23.91a
I_2	8.51b	21.41b
I_3	8.18c	18.66c
LSD	0.2	1.07

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی.M_1 ، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری 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, 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 محلول‌پاشی 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) Grain yield ($g.m^{-2}$)
$I_1 \times M_1$	638.7^{c}
$I_1 \times M_2$	712.5^{b}
$I_1 \times M_3$	758.2^{a}
$I_1 \times M_4$	762.4^{a}
$I_2 \times M_1$	540.3^{ef}
$I_2 \times M_2$	588.1^{d}
$I_2 \times M_3$	655.7^{c}
$I_2 \times M_4$	746.7^{a}
$I_3 \times M_1$	518.7^{f}
$I_3 \times M_2$	548.4^{e}
$I_3 \times M_3$	650^{c}
$I_3 \times M_4$	706.6^{b}
LSD	29.653

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی.M_1 ، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری 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, 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.

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 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.

Refrences

1. Ahmadi, K., Rostami, M., and Hosseinzadeh, S.R. 2018. Effects of application of methanol on yield and yield componeents of two cultivars of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. Iran. J. Field Crops Res. 16: 3. 629-640. (In Persian)
2. 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. Bioscien. 6: 1. 7-12.
3. 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)
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Ehyaei, H.R., Parsa, M., Kafi, 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)
8. Emam, Y., and Niknejad, M. 2011. An introduction to the physiology of crop yield, Shiraz University Press. 585p. (In Persian)
9. Emam, Y., and Seghateleslami, M.J. 2005. Crop yield, physiology and processes. Shiraz University Press, 593 p. (In Persian)
10. 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)
11. 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.
12. 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 morph physiological 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., Hagras, 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 dought 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 (× *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. Hortic 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 or 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. Makhdum, 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 ofmdrought 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, MR., Nazeri, P., Esmaeilpor 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, SH. 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, Biochemnol. 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_2 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.