

اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش کم آبی

علی اکبر صانعی نژاد^۱، محمود توحیدی^{۲*}، بهنام حبیبی خانینانی^۳، مهدی صادقی^۴ و محمد خرمیان^{۵ و ۶}

(۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

(۲، ۳، ۴ و ۵) گروه زراعت، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

(۶) استادیار بخش فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.

* نویسنده مسئول: mahmoodtohidi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش کم آبی آزمایشی به مدت دو سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تنش کم آبی در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی، محلول پاشی متانول در سه سطح (شاهد، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی) به عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ لوبیا چشم‌بلبلی (لاین امیدبخش ۱۰۵۷ و مشهد) به عنوان عامل فرعی فرعی بودند. نتایج نشان داد که اعمال سطوح مختلف تنش کم آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها و افزایش میزان نشت یونی و محتوای پرولین شد. از طرف دیگر محلول پاشی سطوح مختلف متانول توانست تا حد زیادی اثرهای مخرب تنش کم آبی را کاهش دهد به طوری که محتوای نسبی آب برگ از ۶۹ درصد در شاهد به ۷۳ درصد در محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول رسید. همچنین ژنوتیپ امیدبخش ۱۰۵۷ نسبت به رقم مشهد برای تمامی صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده شرایط بهتری داشت و توانست تنش کم آبی را بهتر تحمل کند. علاوه بر این، تنش کم آبی باعث کاهش شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک شد و عملکرد دانه در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی، بالاترین میزان را به خود اختصاص داد. بنابراین می‌توان اذعان نمود که محلول پاشی متانول توانایی لازم جهت کاهش اثرهای مخرب تنش کم آبی در صفات اندازه‌گیری شده را دارا می‌باشد.

واژگان کلیدی: تنش کم آبی، صفات فیزیولوژیک، عملکرد، لوبیا چشم‌بلبلی و متانول.

مقدمه

لگوم‌ها منبع حیاتی برای تأمین نیازهای غذایی بشر می‌باشند. گیاهان نقش چشمگیری در رژیم غذایی اکثر کشورهای آسیایی و منطقه خاورمیانه ایفا می‌نمایند و لگوم‌ها حدود ۲۲ درصد نیاز پروتئینی آن‌ها را تأمین می‌نمایند (Singh *et al.*, 2018). لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از قدیمی‌ترین حبوبات حاوی حدود ۲۵ پروتئین، خوش‌طعم و با ارزش غذایی بالا می‌باشد؛ این گیاه توانایی زیادی در تثبیت زیستی نیتروژن خاک داشته و بنابراین برای رشد نیازی به خاک خیلی حاصلخیزی ندارد (صادقی پور و بنکدارهاشمی، ۱۳۹۴). در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین بیش از ۱۰ میلیون هکتار از اراضی، زیر کشت این گیاه قرار دارند که سالانه حدود ۵ میلیون تن دانه تولید می‌کنند (Boukar *et al.*, 2019). این گیاه در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا با میزان بارش متغیر سالانه ۳۰۰-۶۰۰ میلی‌متر رشد می‌کند (داوودی و همکاران، ۱۳۹۷). لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به بسیاری از محصولات، سازگاری بهتری به خشکی، گرما و تنش‌های زیستی دارد. با این حال، برخی از ارقام این گیاه به خشکی شدید و گرما به‌ویژه در مرحله زایشی حساس بوده به طوری که عملکرد و تولید آن‌ها در این شرایط به شدت کاهش می‌یابد (Silva *et al.*, 2016). در میان تنش‌های محیطی، بدون شک تنش خشکی یکی از مخرب‌ترین تنش‌هایی است که منجر به اختلال در شرایط فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت‌های گیاهی می‌شود و در نهایت منجر به کاهش کیفیت و کمیت محصول و نقصان عملکرد می‌شود (Basu *et al.*, 2016). معضل خشک‌سالی به دلیل پراکنش نامناسب بارندگی، محدودیت منابع آب و سایر تغییرات محیطی در سراسر جهان در حال گسترش است (Fahad *et al.*, 2017). شکوه فر و ابوفتیله نژاد (۱۳۹۲) گزارش کردند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، عملکرد بیولوژیکی ماش (*Vigna radiate* L.) داشت. شادمند و افکاری (۱۳۹۷) نیز گزارش کرد که با افزایش تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش و مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب لوبیا شد. محققان گزارش کردند که یکی از پارامترهای مورفوفیزیولوژیک و شیمیایی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در گیاهان بررسی فعالیت آنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدان می‌باشد (Alderfasi *et al.*, 2017; Swathi *et al.*, 2017). مطالعات پیشین گزارش حاکی از افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تحت تنش خشکی می‌باشد (Kaur & Asthir, 2017). در طی فتوسنتز در شرایط کم‌آبی، نشت بالای الکترون به سمت O₂ بروز می‌کند و انواع متفاوت ROS نظیر سوپراکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل و رادیکال اکسیژن تولید می‌شود (Dawood & Azooz, 2019). گیاهان از طریق سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی گونه‌های فعال اکسیژنی ایجاد شده را تقلیل داده و شرایط گیاه را برای تحمل تنش مساعد تر می‌نمایند (Puthur, 2016; Trchounian *et al.*, 2016). تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در سلول

گیاهی سبب آسیب رساندن به لیپیدهای غشا، پروتئین و اسیدهای نوکلئیک می شود (Dar et al., 2017). برخی محققین بر این باورند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن این قابلیت را در گیاه ایجاد می کند اثر ناشی از تنش خشکی را خنثی نماید؛ لذا به کاربرد موادی که سبب افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاه شود موجب بهبود عملکرد در شرایط خشکی می شود. یکی از راهکارهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان استفاده از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول و همچنین استفاده از اسیدهای آمینه گلیسین، گلوتامات و آسپارات می‌باشد (Rehman & Khalil., 2018). متانول در مقایسه با دی‌اکسید کربن، مولکول کوچک‌تری است که به راحتی جذب گیاه شده و می‌تواند توسط گیاهان سه کربنه برای افزایش فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد و از این طریق میزان اثرهای مخرب تنش را کاهش دهد (Machado et al., 2018). مرادی توچایی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که محلول پاشی متانول منجر به افزایش معنی دار عملکرد غلاف، وزن صد دانه و پروتئین دانه بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در شرایط دیم شد. با توجه به پدیده گرمایش زمین و پیامد آن افزایش دوره‌های خشکی و خشک‌سالی‌ها و نیز گسترش وسعت نواحی گرم و خشک کره زمین و نامساعد شدن شرایط برای زراعت و کشاورزی نیازمند راهکاری است تا بتوان گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی مقاوم کرد و از کاهش عملکرد به واسطه تنش‌های محیطی علی‌الخصوص تنش خشکی جلوگیری نمود لذا این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیای چشم‌بلبلی در شرایط تنش کم‌آبی طی دو سال متوالی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش کم‌آبی آزمایشی به مدت دو سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل تنش کم‌آبی در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی، محلول پاشی متانول در سه سطح (شاهد، ۱۰ و ۲۰ درصد حجمی به همراه ۲ گرم در لیتر گلیسین جهت جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول در مرحله رویشی قبل از ظهور گل، به میزان دو بار و به فاصله ده روز) به عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ لوبیا (ژنوتیپ‌های لاین امیدبخش ۱۰۵۷ و مشهد) به عنوان عامل فرعی فرعی بودند. متانول مورد استفاده در محلول پاشی، محصول مجتمع صنایع شیمیایی دکتر مجللی با ترکیب CH_3OH با غلظت ۹۹/۵ درصد بود. هر کرت شامل شش پشته (۷۵ سانتی‌متری) به طول ۱۰ متر با فاصله بوته‌ها روی پشته ۲۰ سانتی‌متر و یک ردیف کاشت بر روی پشته بود. فاصله کرت‌های آبیاری دو پشته نکاشت و فاصله تکرارها از هم ۲ متر بود. عملیات کاشت

در تاریخ ۲۰ تیرماه به صورت دستی و تا استقرار بوته (چهار برگگی) آبیاری یکسان و به طور نرمال انجام شد و سپس بر اساس تیمارها، تنش آبی اعمال شد. برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی از کنتور و برای اعمال تیمار آبی روی هر پشته یک لوله نوار قطره‌ای با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه از داده‌های ایستگاه هواشناسی واقع در ۱۰۰ متری محل اجرای طرح و برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی و بر اساس روش تشتک تبخیر محاسبه شد. پس از اعمال تنش مورد نظر، صفات مرتبط با عملکرد شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت محاسبه شد. همچنین برخی صفات فیزیولوژیک زیر نیز اندازه‌گیری شد.

سنجش محتوای نسبی آب (RWC): بالاترین برگ بوته‌های در هر تکرار برداشت و بلافاصله وزن‌تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن آماسی، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم (جهت کاهش وزن در اثر فعالیت تنفسی در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه‌گیری وزن برگ‌ها در این شرایط، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن برگ‌ها از ترازوی با حساسیت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. مقدار RWC از رابطه ۱ به دست می‌آید (Ritchie *et al.*, 1990):

$$\text{رابطه ۱: } 100 \times \%RWC = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d)]$$

W_f : وزن تازه برگ، W_t : وزن تورژسانس برگ و W_d : وزن خشک برگ می‌باشد.

میزان نشت یونی: برای اندازه‌گیری میزان نشت یونی از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و انتهایی، دیسک‌هایی برگی به روش پانچ تهیه شده و هر ۱۰ دیسک برگگی (جمعاً به مساحت ۵ سانتی‌مترمربع) در داخل لوله‌های آزمایش درپوش دار حاوی ۱۰ سی‌سی محلول قند مانیتول ۱ مولار، در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و در مرحله بعد هدایت الکتریکی (EC) محلول‌ها که رابطه عکسی با مقاومت غشاء سلولی دارد تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت (Tripathi *et al.*, 2000).

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید: اندازه‌گیری محتوای کلروفیل بر مبنای روش آرنون (۱۹۴۹) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگگی گیاهان کنترل و تنش را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده و حجم نهایی عصاره به ۱۵ میلی‌لیتر افزایش یافت. سپس عصاره با استفاده از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ g صاف شد. از دستگاه پلتریدر برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. میزان جذب عصاره استخراج‌شده در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر، ۶۶۳ نانومتر، ۴۸۰ نانومتر و ۵۱۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از رابطه های ۲، ۳ و ۴ میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{رابطه ۲: } [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W = \text{ میلی گرم کلروفیل } a \text{ در هر گرم برگ تر}$$

$$\text{رابطه ۳: } [(22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W = \text{ میلی گرم کلروفیل } b \text{ در هر گرم برگ تر}$$

$$\text{رابطه ۴: } 7.6 \times (A_{480}) - 14.9 \times (A_{510}) \times V / 1000 \times W = \text{ میلی گرم کاروتنوئید در هر گرم برگ تر}$$

A: میزان جذب در طول موج مورد نظر، V: حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی لیتر و W: اندازه برگ تازه برحسب گرم می باشد.

میزان پرولین: میزان پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. جهت استخراج پرولین یک میلی لیتر از محلول را در لوله آزمایش ریخته و به آن یک میلی لیتر معرف ناین هیدرین و یک میلی لیتر اسیداستیک گلی سیال اضافه شد. لوله های آزمایش به مدت یک ساعت در حمام بن ماری جوشان ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا زمانی که رنگ آجری تولید شده، تثبیت شد سپس لوله ها بلافاصله در آب یخ قرار داده شدند تا واکنش ها سریعاً متوقف شوند. به هر لوله، دو میلی لیتر تولوئن افزوده شد و محتویات لوله به خوبی مخلوط شد، از دو فاز تشکیل شده، محلول قرمز بخش بالایی نمونه برداری شد و در طول موج ۵۲۰ نانومتر مقدار جذب آن قرائت شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک نشت یونی، میزان کلروفیل a و کارتنوئیدها نشان داد اثر تنش کم آبی و سطوح مختلف محلول پاشی متانول در صفات اندازه گیری شده معنی دار شد. همچنین برهم کنش تنش کم آبی در سطوح مختلف محلول پاشی متانول در ژنوتیپ برای صفت کلروفیل a معنی دار بود ولی در صفات نشت الکترولیتی و میزان کارتنوئیدها اثر معنی داری نداشت. همچنین نتایج تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش کم آبی، محلول پاشی متانول، ژنوتیپ و برهم کنش تنش کم آبی و ژنوتیپ معنی دار می باشند. علاوه بر این اثر تنش کم آبی، محلول پاشی متانول، برهم کنش محلول پاشی متانول در سطوح مختلف تنش کم آبی و برهم کنش سه گانه برای صفت محتوای پرولین معنی دار بود (جدول ۱).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین داده های محتوای نسبی آب برگ نشان داد که سطوح مختلف محلول پاشی متانول باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شد به طوری که محتوای نسبی آب برگ از ۶۹ درصد در شاهد به ۷۳ درصد در محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول رسید. همچنین اختلاف بین دو ژنوتیپ مختلف نیز برای این صفت معنی دار می باشد. از طرف دیگر اعمال تنش کم آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد به نحوی که میزان آن از ۷۵/۵ درصد در تیمار ۱۰۰ نیاز آبی به

۶۶/۵ درصد در تنش ۲۵ درصد نیاز آبی رسید (شکل ۱). امرایی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند اثر محلول پاشی در شرایط تنش رطوبتی بر روی محتوای نسبی آب سویا معنی‌دار بود.

جدول ۱: تجزیه واریانس مرکب صفات فیزیولوژیک لوبیا تحت تنش کم‌آبی، محلول پاشی متانول و ژنوتیپ در دو سال متوالی

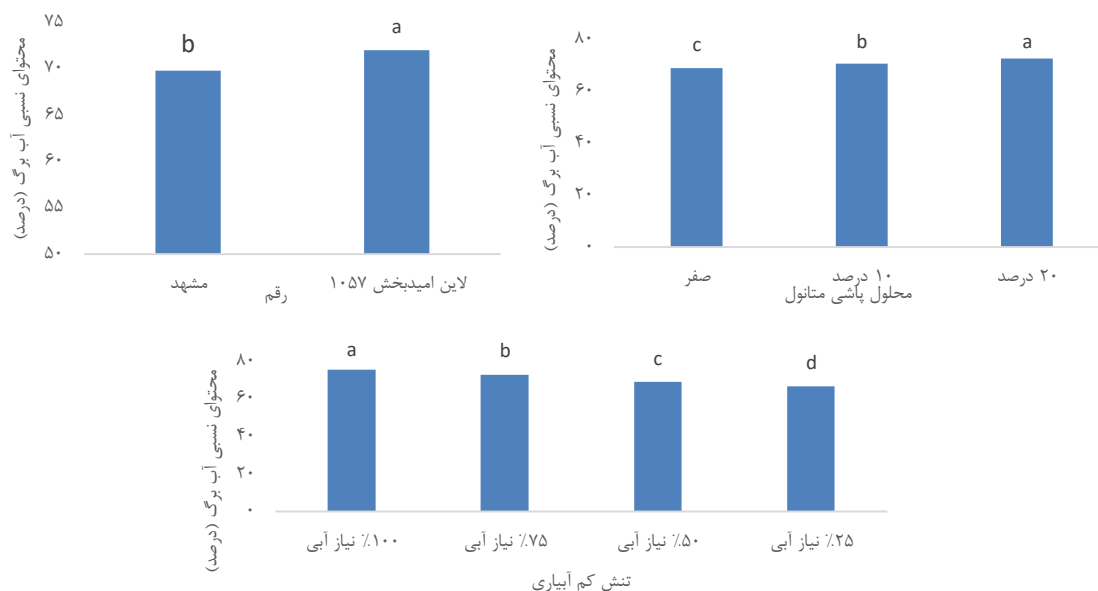
میانگین مربعات (MS)						درجه آزادی	منابع تغییرات
محتوای پرولین	کارتنوئیدها	کلروفیل b	کلروفیل a	نشست یونی	محتوای نسبی آب برگ		
ns./۰.۰۰۱۱	*./۰.۰۰۱۶	ns./۰.۰۰۰۰۲	**./۰.۰۰۱	ns./۱۱	ns./۲۹	۱	سال
ns./۰.۰۰۰۸	ns./۰.۰۰۰۰۹۳	ns./۰.۰۰۰۰۸	ns./۰.۰۰۰۰۱	ns/۱۹۲	ns./۱۳	۴	تکرار×سال
**۲/۲۶	**./۲۹	**./۱۷	**./۰.۰۰۷	**۱۶۳۰/۱۷۶	**۵۷۹/۴۷	۳	تنش کم‌آبی
ns./۰.۰۰۱۰	ns./۰.۰۰۰۰۰۳۶	ns./۰.۰۰۰۰۱۳	ns./۰.۰۰۰۰۰۳	ns/۱۱	ns./۲۳	۳	تنش کم‌آبی×سال
۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۵	۵/۲۰	۰/۳۷	۱۲	خطای a
**۱/۷۹	**./۲۲	**./۱۴	**./۹	**۱۳۱/۶۷	**۱۸۴/۱۲	۲	محلول پاشی متانول
ns./۰.۰۰۵۱	ns./۰.۰۰۰۰۰۳۸	**./۳۹	ns./۰.۰۰۰۰۰۷	ns./۷۱	ns./۲۳	۲	سال×محلول پاشی متانول
**۱/۱۱	**./۲۶	**./۱۶	**./۳	**۱۷/۴۴	ns./۱۲	۶	تنش کم‌آبی×محلول پاشی متانول
ns./۰.۰۰۱۸	ns./۰.۰۰۰۰۰۱	**./۰.۰۲	ns./۰.۰۰۰۰۰۱	ns/۱.۰۲	ns./۰.۶۵	۶	تنش کم‌آبی×محلول پاشی متانول×سال
۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۳	۲/۱۸	۰/۶۴	۳۲	خطای b
ns./۰.۰۰۱۲	**./۱۱	**./۹۳	**./۱	ns./۰.۲	**۱۷۷/۳۳	۱	ژنوتیپ
ns./۰.۰۰۰۴	*./۰.۰۰۰۲	ns./۰.۰۰۰۰۹	ns./۰.۰۰۰۰۰۳	ns./۰.۷۷	ns./۲۸۴	۱	ژنوتیپ×سال
ns./۰.۰۰۱۳	**./۶۴	**./۷۴	**./۲	ns./۳۶	**۷/۲۲	۳	تنش کم‌آبی×ژنوتیپ
ns./۰.۰۰۱۳	ns./۰.۰۰۰۰۱۸	ns./۰.۰۰۰۰۹۸	ns./۰.۰۰۰۰۰۹	ns/۱/۱۸	ns./۰.۸۵	۳	تنش کم‌آبی×ژنوتیپ×سال
ns./۰.۰۰۱۳	*./۰.۰۰۰۱۶	ns./۰.۰۰۰۰۱۳	ns./۰.۰۰۰۰۰۲	ns./۲۹	ns./۹۵	۲	محلول پاشی متانول×ژنوتیپ
ns./۰.۰۰۱۷	ns./۰.۰۰۰۰۱۳	ns./۰.۰۰۰۰۰۶	ns./۰.۰۰۰۰۰۴	ns/۱/۲۵	ns./۰.۰۰۰۴۸	۲	محلول پاشی متانول×ژنوتیپ×سال
*./۰.۰۰۵۳	ns./۰.۰۰۰۰۱۶	**./۹۳	**./۱	ns/۱/۱۰	ns./۴۹۰	۶	تنش کم‌آبی×محلول پاشی متانول×ژنوتیپ
ns./۰.۰۰۲۲	ns./۰.۰۰۰۰۱۷	**./۷۴	ns./۰.۰۰۰۰۰۲	ns./۶۳	ns./۳۳۷	۶	تنش کم‌آبی×محلول پاشی متانول×ژنوتیپ×سال
۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۰۳	۱/۹۳	۱/۰۵	۴۸	خطای کل
۹/۴۵	۳/۱۰	۴/۵۸	۵/۱۰	۴/۵۴	۳/۴۴	-	ضریب تغییرات (%)

: عدم وجود اختلاف معنی‌دار ns* و **: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد،

به نظر می‌رسد احتمالاً با شدت تنش خشکی هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و قدرت تثبیت کربن نیز کاهش یافته باشد.

میرآخوری و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که با افزایش درصد متانول محلول پاشی شده تا ۲۱ درصد حجمی، محتوای رطوبت نسبی در گیاه سویا تحت تنش خشکی افزایش یافت. پيله‌وری و خماسی صفر زاده ویشگاهی (۱۳۹۲) نیز در بررسی

اثر تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر روی گیاه بادام زمینی نتایج مشابهی گزارش کرده است. پاکنژاد و همکاران (۱۳۹۱) نیز در بررسی اثر تنش خشکی و محلول پاشی متانول بر روی گیاه سویا رقم ویلیامز گزارش کرد که در محلول پاشی با غلظت ۲۱ درصد متانول بیشترین میزان رطوبت نسبی (۸۳/۷۶ درصد) اندازه گیری شد.



شکل ۱: مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ برای اثرهای اصلی شامل ژنوتیپ، محلول پاشی متانول و تنش کم آبی
نشت یونی

غشای سلولی از نخستین اندامهایی است که تحت شرایط تنش آسیب می بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می شود. پایداری غشای سلولی می تواند به عنوان معیاری از تحمل تنش خشکی در نظر گرفته شود (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج مقایسه میانگین ها میزان نشت یونی برای برهم کنش سطوح محلول پاشی متانول در تنش کم آبیاری نشان داد که با افزایش شدت تنش، میزان این صفت افزایش می یابد. از طرف دیگر محلول پاشی متانول توانسته است تا حد قابل قبولی میزان نشت یونی را کاهش دهد که این کاهش در میزان نشت یونی در تنش های شدید (مثلاً تنش ۲۵ درصد نیاز آبی نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی) نسبت به تنش های ملایم بیشتر به چشم می آید به نحوی که در تنش ۷۵ درصد نیاز آبی، محلول پاشی ۲۰ درصد میزان نشت یونی را از ۲۶ در شرایط بدون محلول پاشی به ۲۴ رسانده است در حالی که برای همین شرایط در تنش ۲۵ درصد نیاز آبی، میزان نشت از ۴۱ به ۳۵ رسیده است (شکل ۲). نشت یونی با افزایش سطح تنش افزایش یافت که احتمالاً نشان دهنده این موضوع است که ژنوتیپ ها توانستند تا حد خوبی تنش را در سطح سلول کنترل نمایند و از آنجایی که نشت یونی با پایداری غشاء سیتوپلاسمی رابطه عکس دارد، بنابراین تیمارهای تنش کمتر و تیمارهای با درصد محلول پاشی نسبت به شاهد از میزان پایداری غشاء بیشتری نسبت به

تیمار شاهد برخوردار بود. در این زمینه حامد و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی بر روی ژنوتیپ‌های کلزا نشان دادند با افزایش فشار تنش خشکی بر روی گیاه شدت نشت الکترولیت‌ها نیز افزایش می‌یابد البته این افزایش بر حسب رقم می‌تواند متفاوت باشد. به نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش میزان تولید آسمولیت‌ها و در نتیجه تخریب غشاء بذور تولید شده بر اثر تجزیه توسط رادیکال‌های آزاد منجر به کاهش مقاومت پوسته در برابر تراوش متابولیت‌ها و در نتیجه افزایش میزان نشت یونی می‌شود که محلول پاشی متانول با فراهم آوردن CO₂ مورد نیاز جهت ادامه فتوسنتز و تولید مواد و آسمیلاسیون مواد با پیشگیری از فرایند تولید ROS و نیز پیشگیری از تخریب غشاء منجر به افزایش مقاومت پوسته در برابر تراوش متابولیت‌ها می‌شود.



شکل ۲: مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف محلول پاشی متانول در تنش کم آبیاری برای صفت میزان نشت یونی رنگ‌ریزه های کلروفیلی

نتایج مقایسه میانگین میزان رنگ‌ریزه های کلروفیلی نشان داد که به‌طور کلی با افزایش شدت تنش کم آبیاری میزان هر سه شاخص کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها در گیاه کاهش پیدا کرد. همچنین محلول پاشی متانول توانست میزان این صفات را نسبت به شرایط بدون محلول پاشی افزایش دهد. علاوه بر این میزان رنگ‌ریزه های کلروفیلی به‌طور کلی در رقم ۱۰۵۷ نسبت به رقم مشهد بیشتر بود. نتایج نشان داد که برای صفت کلروفیل a و کلروفیل b بیش‌ترین میزان مربوط به رقم ۱۰۵۷ در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول بود درحالی‌که کم‌ترین میزان این صفات در رقم مشهد و در تنش ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون محلول پاشی متانول به دست آمد (جدول ۲). کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی و تخریب کلروفیل به‌وسیله فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Sezgin et al., 2019). افزایش مقدار کلروفیل می‌تواند با اکسیداسیون متانول در شرایط کمبود آب مرتبط باشد. از آنجاکه در شرایط کمبود آب با تنش اکسیداتیو روبه‌رو می‌شود در چنین شرایطی متانول به فرمالدئید اکسید تبدیل که این موضوع تا حد زیادی توسط کاتالاز انجام می‌شود.

جدول ۲: نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه گانه صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها

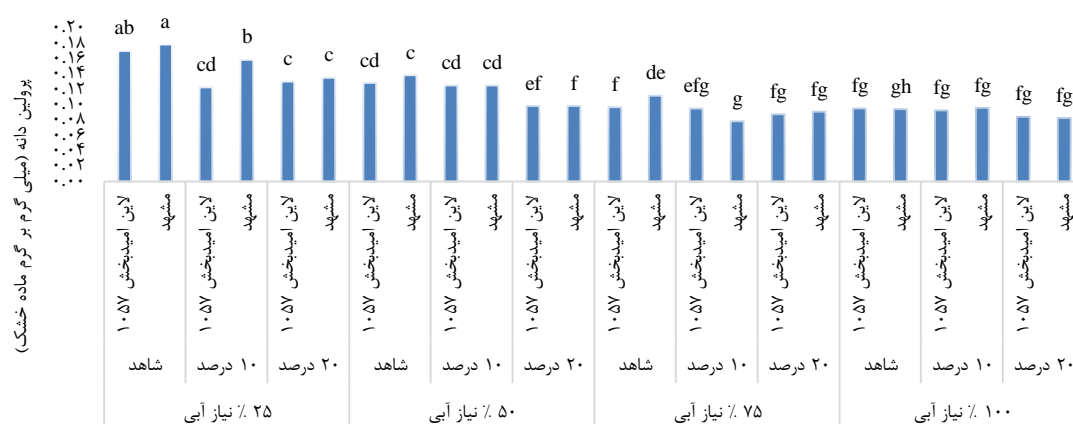
تنش کم آبی	محلول پاشی متانول	رقم	کلروفیل b (میلی گرم/گرم)	کلروفیل a (میلی گرم/گرم)	کارتنوئیدها (میلی گرم/گرم)
	شاهد	۱۰۵۷	۰/۰۷۴kl	۰/۱۵۰o	۰/۱۰۶q
		مشهد	۰/۰۶۶m	۰/۱۴۴p	۰/۱۱۴p
۲۵ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۰/۰۷۵kl	۰/۱۵۳n	۰/۱۱۴p
		مشهد	۰/۰۷۲l	۰/۱۴۸o	۰/۱۱۴p
۲۰ درصد حجمی		۱۰۵۷	۰/۰۸۲z	۰/۱۵۶lm	۰/۱۱۹o
		مشهد	۰/۰۷۶k	۰/۱۵۴mn	۰/۱۲۰o
	شاهد	۱۰۵۷	۰/۰۹۵gh	۰/۱۵۸l	۰/۱۲۳n
		مشهد	۰/۰۸۱j	۰/۱۵۴mn	۰/۱۲۶m
۵۰ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۰/۰۱۰۴f	۰/۱۶۲k	۰/۱۳۱l
		مشهد	۰/۰۸۱j	۰/۱۵۷l	۰/۱۳۸k
۲۰ درصد حجمی		۱۰۵۷	۰/۰۱۰۷ef	۰/۱۷۲hi	۰/۱۴۲z
		مشهد	۰/۰۹۰i	۰/۱۶۶z	۰/۱۴۵i
	شاهد	۱۰۵۷	۰/۱۱e	۰/۱۷۵gh	۰/۱۵۱h
		مشهد	۰/۰۹۲hi	۰/۱۶۷z	۰/۱۵۴g
۷۵ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۰/۱۰f	۰/۱۷۷ef	۰/۱۵۵g
		مشهد	۰/۰۹۳hi	۰/۱۷۱i	۰/۱۶۴f
۲۰ درصد حجمی		۱۰۵۷	۰/۱۱e	۰/۱۸۲d	۰/۱۶۶f
		مشهد	۰/۰۹۸g	۰/۱۷۲i	۰/۱۷۳e
	شاهد	۱۰۵۷	۰/۱۲c	۰/۱۸۴c	۰/۱۷۳e
		مشهد	۰/۱۰e	۰/۱۷۶fg	۰/۱۷۷d
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۰/۱۴b	۰/۱۸۷b	۰/۱۷۹d
		مشهد	۰/۱۰e	۰/۱۷۹e	۰/۱۸۵c
۲۰ درصد حجمی		۱۰۵۷	۰/۱۵a	۰/۱۹۱a	۰/۱۹۱b
		مشهد	۰/۱۲d	۰/۱۸۵bc	۰/۱۹۵a

به عبارت دیگر آنزیم کاتالاز به طور غیرمستقیم از تخریب کلروفیل جلوگیری می کند (Xu et al., 2019). در بررسی نقش متانول در کاهش اثرهای منفی تنش کم آبی بر گیاه عدس گزارش شد که در شرایط عدم تنش آبی و تنش ملایم، متانول در افزایش و ثبات کلروفیل نقش دارد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۴).

محتوای پرولین

نتایج مقایسه میانگین محتوای پرولین نشان داد که با افزایش شدت تنش میزان این صفت افزایش یافته است. از طرف دیگر محلول پاشی متانول توانسته است تا حدی مانع این افزایش شود که این ممانعت در تنش های شدیدتر بوده است. همچنین بین دو رقم موردبررسی در شرایط تنشی یکسان، لاین امیدبخش ۱۰۵۷ نسبت به رقم مشهد از محتوای پرولین

کمتری برخوردار بوده است که می‌توان تا حدی نشان‌دهنده تحمل بالاتر این رقم نسبت به تنش کم‌آبیاری باشد (شکل ۳). پرولین یک عامل محافظت‌کننده از آنزیم‌ها و ساختمان‌های درون سلولی از بین برنده رادیکال‌های آزاد و یا یک ترکیب ذخیره‌ای کربن و نیتروژن برای بازیافت سریع در شرایط تنش می‌باشد که در این تحقیق نیز با افزایش تنش، میزان پرولین دانه افزایش یافت و در مقابل با افزایش درصد متانول، پرولین کاهش نشان داد که این موضوع بیانگر این است که متانول باعث کاهش تنش در گیاه شد. پرولین به عنوان یک آسمولیت سازگار عمل می‌کند. زیرا می‌تواند بدون اینکه مولکول‌های بزرگ سلول را خراب کند، در غلظت‌های زیاد در سلول تجمع یابد. پرولین دارای نقش محافظتی نیز می‌باشد بدین صورت که در زمان تنش خشکی شدید از آسیب‌گشا و پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند. بعلاوه اینکه پرولین می‌تواند به عنوان پذیرنده الکترون عمل کند و در زمان بازدارندگی نوری ناشی از اکسیژن‌های فعال از آسیب سیستم نوری جلوگیری کند. در میان اسیدهای آمینه مختلف، پرولین منبع انرژی، کربن و نیتروژن است که بعد از رفع تنش رطوبتی و برای بازگشت گیاه به شرایط قبل از اعمال تنش رطوبتی مورد توجه قرار گرفته است. پرولین در مقادیر زیاد در پاسخ به تنش‌های محیطی، تجمع می‌یابد. شکستن سریع پرولین بعد از پایان یافتن شرایط تنش ممکن است خود تأمین‌کننده عوامل مورد نیاز تولید ATP برای ترمیم صدمات ناشی از تنش باشد. رمرودی و همکاران (۱۳۹۶) نیز هم‌راستا با یافته‌های این تحقیق بر روی نخود اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی متانول را بر میزان پرولین برگ بسیار معنی‌دار گزارش کردند. ایشان گزارش کردند با افزایش تنش خشکی میزان پرولین برگ افزایش یافت، به طوری که در تیمار ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی، بیش‌ترین میزان پرولین مشاهده شد. همچنین در شرایط تنش درازمدت، انتقال مواد به علت کاهش آب قابل‌دسترس، منجر به تغییر غلظت برخی متابولیت‌ها از جمله پرولین که باعث سازگاری گیاه به خشکی می‌شود، افزایش می‌یابد.



شکل ۳: نتایج مقایسه میانگین محتوای پرولین دو رقم لوبیا تحت اثر چهار سطح تنش کم‌آبی و سه سطح محلول‌پاشی متانول

عملکرد و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد نشان داد که اثر سال برای صفات شاخص برداشت و عملکرد دانه معنی دار می باشد. از طرف دیگر اثرهای اصلی تنش کم آبیاری، محلول پاشی متانول، ژنوتیپ و برهم کنش تنش کم آبیاری در محلول پاشی متانول برای تمام صفات عملکردی اندازه گیری شده معنی دار بود. همچنین برهم کنش سه گانه تنش کم آبیاری در محلول پاشی متانول در ژنوتیپ برای هر سه صفت عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که به طور کلی رقم ۱۰۵۷ نسبت به رقم مشهد عملکرد بالاتری دارد. علاوه بر این محلول پاشی متانول توانسته است عملکرد ارقام را در هر یک از تنش های کم آبیاری اعمال شده بالا ببرد که احتمالاً این افزایش به دلیل بالا رفتن میزان فتوسنتز گیاه در اثر محلول پاشی متانول بوده است. همچنین نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه در لاین ۱۰۵۷ در تنش کم آبی ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۲۰ درصد متانول (۲۳۹۰ کیلوگرم) حجمی بود و کمترین میزان عملکرد دانه در رقم مشهد تحت تنش کم آبی ۲۵ درصد نیاز آبی و عدم محلول پاشی (۹۱۸ کیلوگرم) بود که با لاین ۱۰۵۷ تحت همین تنش آبی و عدم محلول پاشی (۹۴۳ کیلوگرم) تفاوت معنی داری از نظر آماری نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد دانه را نشان داد که علت آن رشد رویشی بیشتر در تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بود، زیرا در این تیمارها به دلیل فراهمی آب بیشتر، گیاهان رشد رویشی بیشتری داشتند و دیرتر وارد فاز زایشی شدند و از یک طرف مواد فتوسنتزی، در رقابت بین دانه و قسمت رویشی گیاه، بیشتر به قسمت رویشی تعلق گرفت و از طرفی به علت کوتاه بودن دوره زایشی، زمان پر شدن دانه کمتر بود در نتیجه وزن دانه در دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمتر بود (جدول ۴). یافته های حسینیان و مجنون حسینی (۱۳۹۴) نیز هم راستا با یافته های این تحقیق، کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ های لوبیا چشم بلبلی را تحت تنش کم آبی گزارش نمودند و علت کاهش عملکرد را تنش خشکی در مرحله گل دهی ذکر کردند که منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته شد که با یافته های دیگر محققین (Ravelombola et al., 2016; Gull et al., 2019) همخوانی داشت. با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در رقم ۱۰۵۷ تحت تنش کم آبی ۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول (۴۸۴۳/۵ کیلوگرم) و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در رقم مشهد تحت تنش ۲۵ درصد نیاز آبی و عدم محلول پاشی (۳۲۶۱/۱۷ کیلوگرم) بود (جدول ۴). به نظر می رسد که پایین آمدن پتانسیل آب و کاهش تورژانس در بافت های گیاهی می تواند اولین اثر تنش خشکی باشد که به طور طبیعی رشد سلول و اندازه نهایی آن را تحت اثر قرار داد و همین امر باعث کاهش عملکرد بیولوژیک خواهد شد. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب و تیمارهای محلول پاشی با متانول به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ و وجود

CO₂ کافی به‌واسطه متانول بود که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک شد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق حسینیان و مجنون حسینی (۱۳۹۴) نیز همخوانی دارد. ایشان گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی تحت اثر تنش کم‌آبی کاهش معنی‌داری نشان داد. Nkoana و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر تنش خشکی بر لاین‌های لوبیا چشم‌بلبلی کاهش معنی‌دار عملکرد را گزارش کردند.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس ۲ رقم لوبیا تحت اثر ۴ سطح تنش کم‌آبیاری و ۳ سطح محلول‌پاشی متانول

میانگین مربعات (MS)				منابع تغییرات
شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درجه آزادی	
۶/۴۶**	^{ns} ۸۹۰/۰۳	۲۳۰۴**	۱	سال
^{ns} ۰/۰۹	^{ns} ۱۷۷۸/۸۸	^{ns} ۲۴۶/۰۲	۴	تکرار × سال
۱۷۹۰/۷۲**	۹۳۵۸۰۸۵/۸۷**	۷۹۶۵۹۱۶/۳۸**	۳	تنش کم‌آبی
^{ns} ۰/۲۵	^{ns} ۱۷۶۰/۸۲	۵۱۴۹/۳۵**	۳	تنش کم‌آبی × سال
۰/۳۴	۲۵۷۲/۸۸	۵۲۹/۸۹	۱۲	خطای a
۵۳۴/۲۴**	۴۵۳۵۱۹/۸۸**	۱۶۲۲۰۹۴/۷۷**	۲	محلول‌پاشی متانول
^{ns} ۰/۱۷	^{ns} ۱۰۰۷/۴۷	^{ns} ۵۶۶/۴۴	۲	سال × محلول‌پاشی متانول
۲۲/۵۳**	۱۵۸۴۱۲/۲۸**	۲۶۹۸۳/۲۱**	۶	تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی متانول
^{ns} ۰/۳۶	^{ns} ۱۰۰۶/۷۹	۱۹۰۸/۸۷**	۶	تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی متانول × سال
۱/۱۴	۱۲۵۲/۷۴	۷۴۲/۵۵	۳۲	خطای b
۱۹/۳۴**	۱۶۲۵۴۳/۳۶**	۸۵۶۵۳/۷۸**	۱	ژنوتیپ
^{ns} ۰/۰۴	^{ns} ۲۰۸۵/۴۴	^{ns} ۱۳۱/۳۶	۱	ژنوتیپ × سال
۱۳/۶۷**	۵۶۶۷۰/۴۹**	۹۲۹۴/۱۷**	۳	تنش کم‌آبی × ژنوتیپ
^{ns} ۰/۲۵	^{ns} ۲۶۸۷/۷۲	^{ns} ۱۶۴/۹	۳	تنش کم‌آبی × ژنوتیپ × سال
۲۷/۴۶**	۶۹۸۲۰/۷۶**	۸۶۴۸/۱۳**	۲	محلول‌پاشی متانول × ژنوتیپ
^{ns} ۰/۲۹	^{ns} ۲۱/۵۱	۲۸۰۰/۵۵**	۲	محلول‌پاشی متانول × ژنوتیپ × سال
۵/۶۹**	۶۹۲۸۴/۴۱**	۴۳۵۳/۱۶**	۶	تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی متانول × ژنوتیپ
^{ns} ۰/۴۵	^{ns} ۱۴۰۴/۵۳	۱۰۴۷/۲۸**	۶	تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی متانول × ژنوتیپ × سال
۰/۶۵	۳۰۵۶/۳۰	۲۷۸/۴۷	۴۸	خطای کل
۶/۰۷	۱۲/۲۸	۸/۹۸	-	ضریب تغییرات

* و **: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

همچنین افزایش عملکرد بیولوژیک سویا تحت اثر محلول‌پاشی متانول به علت افزایش سطح برگ و مقدار کلروفیل گزارش شده است (میرآخوری و همکاران، ۱۳۸۹). برخی از بررسی‌ها نشان داده‌اند که محلول‌پاشی متانول در بوته‌هایی از گیاهان زراعی که دارای کمبود آب هستند، باعث افزایش بیوماس آن‌ها می‌شود (Ramirez et al., 2006; Ramberg et

(*al.*, 2002). این موضوع نشان می‌دهد که متانول می‌تواند بر آسمیلاسیون دی‌اکسید کربن در گیاه اثر بگذارد (پیلهوری خمایی و صفرزاده ویشگاهی، ۱۳۹۲).

جدول ۴: نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه‌گانه صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

تنش کم‌آبی	محلول پاشی متانول	رقم	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
	شاهد	۱۰۵۷	۹۴۳۰	۳۳۳۷n	۲۷/۹m
		مشهد	۹۱۸۰	۳۲۶۱۰	۲۸/۵m
۲۵ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۱۰۹۹n	۳۶۰۱m	۲۹/۹l
		مشهد	۱۰۹۵n	۳۶۰۵m	۳۰/۵kl
	۲۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۱۱۹۵m	۳۷۹۲k	۳۲/۳j
		مشهد	۱۱۶۹m	۳۶۶۶l	۳۲/۱j
	شاهد	۱۰۵۷	۱۹۳۲f	۴۱۹۹fgh	۴۳/۱e
		مشهد	۱۸۵۶g	۴۱۵۱j	۴۱/۶de
۵۰ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۲۲۱۹b	۴۳۱۱i	۴۸/۹b
		مشهد	۲۱۸۳c	۴۴۹۹i	۴۸/۱b
	۲۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۲۳۹۰a	۴۴۷۰h	۵۰/۹a
		مشهد	۲۲۳۵b	۴۴۵۱h	۴۸/۴b
	شاهد	۱۰۵۷	۱۷۴۸i	۴۵۹۸c	۳۹/۷f
		مشهد	۱۷۵۰i	۴۵۲۶defg	۳۹/۳f
۷۵ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۲۰۶۳d	۴۵۵۲def	۴۲/۶c
		مشهد	۱۹۶۷e	۴۶۹۸de	۴۱/۶de
	۲۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۲۱۵۹c	۴۷۷۳b	۴۸/۲b
		مشهد	۲۰۷۴d	۴۷۷۵b	۴۲/۴cd
	شاهد	۱۰۵۷	۱۴۰۲l	۴۵۰۳efgh	۳۱/۵jk
		مشهد	۱۴۰۱l	۴۴۷۸gh	۳۳/۸i
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۱۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۱۶۱۸g	۴۸۱۱ab	۳۷/۸g
		مشهد	۱۵۸۱k	۴۷۰۳c	۳۶/۲h
	۲۰ درصد حجمی	۱۰۵۷	۱۸۳۷g	۴۸۴۳a	۴۱/۵de
		مشهد	۱۷۹۱h	۴۸۶۳b	۴۰/۷e

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین شاخص برداشت در رقم ۱۰۵۷ تحت تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول (۵۰/۹۳ درصد) و کم‌ترین شاخص برداشت در لاین ۱۰۵۷ تحت تنش ۲۵ درصد نیاز آبی و عدم محلول پاشی (۲۷/۹۱ درصد) بود (جدول ۴). شاخص برداشت تحت اثر دو صفت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه قرار دارد به‌طوری‌که با عملکرد دانه یک رابطه مستقیم و با عملکرد بیولوژیک یک رابطه معکوس دارد.

بنابراین با توجه به اینکه در شرایط محلول پاشی متانول در تیمارهای مختلف مشخص شد که مقدار عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک افزایش بیشتری داشته بنابراین میزان شاخص برداشت بیشتر تحت اثر عملکرد دانه بود. نتایج این تحقیق با یافته‌های عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی داشت. افزایش شاخص برداشت، به دلیل افزایش تولید دانه است، با اعمال تنش خشکی، به دلیل ریزش گل‌ها و غلاف‌ها و همچنین کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد بیولوژیک بیشتر است، به همین دلیل شاخص برداشت، کاهش می‌یابد و هر چه تنش خشکی شدیدتر شود کاهش بیشتری نشان می‌دهد (Karim et al., 2018). شاخص برداشت حاصل نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک است که نشان‌دهنده چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی در اندام‌های مختلف گیاه است (Kardile et al., 2018)، احتمال می‌رود معنادار بودن اثر محلول پاشی متانول به علت اثر معنی‌دار بر روی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه باشد (پبله‌وری خمایی و میرآخوری، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اعمال تنش کم آبیاری باعث تغییرات منفی در اکثر صفات اندازه‌گیری شده شد به نحوی که میزان محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و کارتنوئیدها، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک کاهش و محتوای پرولین و نشت الکترولیتی افزایش یافت اما عملکرد دانه در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی بالاترین مقدار بود که علت آن وارد شدن زودتر گیاه در این تنش به مرحله زایشی و طولانی‌تر شدن این مرحله نسبت به آبیاری‌های ۷۵ و ۱۰۰ نیاز آبی بود. از طرف دیگر در هر سطح تنش آبی و هر کدام از دو رقم مورد استفاده، محلول پاشی متانول توانست اثر مثبتی بر روی صفات مورد ارزیابی داشته باشد که علت آن افزایش میزان کربن در دسترس گیاه در اثر تجزیه متانول و بالا رفتن میزان فتوسنتز گیاه و در نتیجه کاهش اثرهای مخرب تنش کم آبیاری بود. همچنین از بین دو رقم مورد استفاده، رقم ۱۰۵۷ نسبت به رقم مشهد اثرهای مخرب تنش را بهتر کنترل کرده و در نتیجه از عملکرد بالاتری برخوردار بود.

منابع

- احمدپور، ر.، حسین زاده، س. ر. آرمند، ن.، فانی، ا.، و نوع‌دوست، ف. ۱۳۹۴. تاثیر متانول بر خصوصیات جوانه زنی گیاه عدس (*Lens culinaris*) تحت تنش خشکی. پژوهش‌های بذر ایران. ۲ (۱): ۸۳-۹۶.
- امرای، ب.، پاک‌نژاد، ف.، ابراهیمی، م. ع. و سبحانیان، ح. ۱۳۹۶. اثر محلول پاشی متانول و تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص‌های رشد سویا (*Glycine max L.*). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۹ شماره ۳۴، ص ۱۱۱-۱۲۹.
- بروجرد نیا، م.، بی‌همتا، م. ر.، عالمی سعید، خ.، و عبدوسی، و. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی جلد ۸ شماره ۲۹، ص ۲۳-۴۱.

بیلهوری خمایی، ر. و صفرزاده ویشکایی، م. ت. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد متانول و عنصر روی بر رشد و عملکرد بادامزمینی (*Arachis hypogaea* L.). یافته‌های نوین کشاورزی جلد ۸ شماره ۲ پیاپی ۳۰، ص ۱۱۳-۱۲۴.
حامد، ع.، اکبری، غ. ع.، خوش خلق سیما، ن. ا.، شیرانی راد، ا. ح.، جباری، ح. و طباطبایی، س. ع. ۱۳۹۳. ارزیابی ویژگی‌های زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت اثر تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی جلد ۷ شماره ۲ ص ۱۵۵-۱۷۱.

حسینیان، ح. و مجنون حسینی، ن. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر قطع آبیاری در مرحله گلدهی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ های لوبیا چشم‌بلبلی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران جلد ۶ شماره ۲، ص ۹۹-۱۰۸.
داودی، ح.، راحمی کاریزکی، ع.، نخزری مقدم، ع.، و غلامعلی پور علمداری، ا. ۱۳۹۷. اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد و ویژگی های فیزیولوژیک ارقام لوبیا. فن آوری تولیدات گیاهی. ۱۰ (۱): ۸۳-۹۵.
رمروودی، م.، چزگی، م. و گلوی، م. ۱۳۹۶. تأثیر محلول پاشی متانول بر ویژگی‌های کمی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی بادرشبو (*Dracocephalum Moldavica* L.) در شرایط کم آبیاری. علوم گیاهان زراعی ایران جلد ۴۸ شماره ۱، ص ۱۴۹-۱۵۸.

بیلهوری خمایی، ر. و صفرزاده ویشکایی، م. ت. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد متانول و عنصر روی بر رشد و عملکرد بادامزمینی (*Arachis hypogaea* L.). یافته‌های نوین کشاورزی جلد ۸ شماره ۲ پیاپی ۳۰، ص ۱۱۳-۱۲۴.
شادمند، ح. و افکاری، ا. ۱۳۹۷. اثر کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر برخی صفات بیوشیمیایی و محتوای نسبی آب ارقام لوبیا تحت تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۱۰ شماره ۳۹ پیاپی ۹، ص ۶۱-۷۷.

سکوه فر، ع. ا. و ابوفتبله نژاد، س. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد بیولوژیکی ارقام مختلف ماش (*Vigna radiate* L.) در دزفول. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۵ شماره ۱۷، ص ۴۹-۵۹.

صادقی پور، ا. و بنک دار هاشمی، ن. ۱۳۹۴. بررسی اثر کاربرد براسینواستروئید در تحمل به خشکی لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L. Walp). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۷ شماره ۲۶، ص ۵۷-۷۰.

عیسی زاده پنجعلی خرابسی، ج.، گاوی، م. و رمروودی، م. ۱۳۹۴. اثر محلول پاشی متانول بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سویا تحت تنش خشکی. به زراعی کشاورزی سال ۱۷ شماره ۴، ص ۱۰۷۵-۱۰۸۵.

مرادی توچایی، م.، سیف زاده، س.، داکرین، ح. ر. و ولدآبادی، ع. ر. ۱۳۹۶. بررسی اثر محلول پاشی متانول و اسید آسکوربیک بر رشد و عملکرد دانه بادامزمینی (*Arachis hypogaea* L.) در شرایط دیم. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۹ شماره ۳۶، ص ۶۵-۸۲.

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

Alderfasi, A. A., Alzarqaa, A. A., Al-Yahya, F. A., Roushdy, S. S., Dawabah, A. A., and Alhammad, B. A. 2017. Effect of combined biotic and abiotic stress on some physiological aspects and antioxidant enzymatic activity in mungbean (*Vigna radiate* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 12 (9): 700-705.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23 (1): 112-121.

Basu, P. S., Berger, J. D., Turner, N. C., Chaturvedi, S. K., Ali, M. and Siddique, K. H. M., 2007. Osmotic adjustment of chickpea (*Cicer arietinum*) is not associated with changes in

carbohydrate composition or leaf gas exchange under drought. *Annals of Applied Biology*. 150: 217 - 225.

Bates, L. S., Waldern, R. P., Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil science*. 39: 205-207.

Boukar, O., Belko, N., Chamathi, S., Togola, A., Batiemo, J., Owusu, E., and Fatokun, C. 2019. Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant Breeding*. 138 (4): 415-424.

Dar, M. I., Naikoo, M. I., Khan, F. A., Rehman, F., Green, I. D., Naushin, F., and Ansari, A. A. 2017. An introduction to reactive oxygen species metabolism under changing climate in plants. In *Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: Role and Regulation under Abiotic Stress*. 25-52.

Dawood, M. F., and Azooz, M. M. 2019. Concentration-dependent effects of tungstate on germination, growth, lignification-related enzymes, antioxidants, and reactive oxygen species in broccoli (*Brassica oleracea var. italica* L.). *Environmental Science and Pollution Research*. 26 (36): 36441-36457.

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., and Ihsan, M. Z. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*. (8): 23-47.

Gull, M., Sofi, P. A., and Ara, A. 2019. Physiological and biochemical response of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) landraces of Kashmir valley under water stress. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 10(4): 1461-1470.

Kardile, P. B., Dahatonde, K. N., Burondkar, M. M., & Bhave, S. G. 2018. Effect of moisture stress conditions on yield and yield attributing characters of four cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes. *International Journal of Current Microbiology & Applied Science*, 7(04): 2631-2636.

Karim, T. D. A., Sanoussi, A. T. T. A., Maarouhi, I. M., Falalou, H. A. M. I. D. O. U., and Yacoubou, B. A. K. A. S. S. O. 2018. Effect of water deficit at different stages of development on the yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 17(9), 279-287.

Kaur, G., & Asthir, B. 2017. Molecular responses to drought stress in plants. *Biologia Plantarum*, 61 (2): 201-209.

Machado, C. F. R., Araujo, O. D. Q. F., de Medeiros, J. L., & de Brito Alves, R. M. 2018. Carbon dioxide and ethanol from sugarcane biorefinery as renewable feedstocks to environment-oriented integrated chemical plants. *Journal of Cleaner Production*. (172): 1232-1242.

Nkoana, K. D., Gerrano, A. S., and Gwata, E. T. 2019. Evaluation of diverse cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm accessions for drought tolerance. *Legume Research-An International Journal*. 42(2): 168-172.

Sezgin, A., Altuntaş, C., Demiralay, M., Cinemre, S., and Terzi, R. 2019. Exogenous alpha lipoic acid can stimulate photosystem II activity and the gene expressions of carbon fixation and chlorophyll metabolism enzymes in maize seedlings under drought. *Journal of Plant Physiology*, 232: 65-73.

Silva, R. G. G., Vasconcelos, I. M., Martins, T. F., Varela, A. L. N., Souza, P. F. N., Lobo, A. K. M., Silva, F. D. A., Silveira, J. A. G., and Oliveira, J. T. A. 2016. Drought increases cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) Susceptibility to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) at early stage of infection. *Plant Physiology and Biochemistry*. 109: 91-102.

Singh, R., Singh, M. K., Singh, A. K., and Singh, C. 2018. Pulses production in India: Issues and elucidations. *The Pharma Innovation*. 7(1): 10-13.

Swathi, L., Reddy, D. M., Sudhakar, P., and Vineela, V. 2017. Screening of Mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes against water stress mediated through polyethylene glycol. *International Journal of Current Microbiology and Applied sciences*. 6 (10): 2524-2531.

Nkoana, K. D., Gerrano, A. S., and Gwata, E. T. 2019. Evaluation of diverse cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm accessions for drought tolerance. *Legume Research-An International Journal*. 42(2): 168-172.

Puthur, J. T. 2016. Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. South Indian Journal of Biological Sciences. 2 (1): 9-13.

Ramberg, H. A., Bradley, J. S., Olson, J. N., Nishio, J., Markwell, A. and Osterman J. C. 2002. The role of methanol in promoting plant growth. Review Plant Biochemistry and Biotechnology. 1:113-126.

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

Ravelombola, W. S., Shi, A., Weng, Y., Motes, D., Chen, P., Srivastava, V., and Wingfield, C. 2016. Evaluation of total seed protein content in eleven Arkansas cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) lines. American Journal of Plant Sciences, 7(15): 2288-2296.

Rehman, A. and Khalil, S. K. 2018. Effect of exogenous application of salicylic acid, potassium nitrate and methanol on canola growth and phenology under different moisture regimes. Sarhad Journal of Agriculture. 34 (4): 781-789.

Trchounian, A., Petrosyan, M., and Sahakyan, N. 2016. Plant cell redox homeostasis and reactive oxygen species. In Redox state as a central regulator of plant-cell stress responses. 25-50.

Tripathy, J. N., Zhang, J., Robin, S., Nguyen, T. T., and Nguyen, H. T. 2000. QTLs for cell-membrane stability mapped in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. Theoretical and Applied Genetics. 100 (8): 1197-1202.

Xu, D., Shi, M., Jia, B., Yan, Z., Gao, L., Guan, W., and Zuo, J. 2019. Effect of ozone on the activity of antioxidant and chlorophyll-degrading enzymes during postharvest storage of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Food Processing and Preservation, 43(8): e14020.