



## اثر محلول‌پاشی برخی ترکیبات شیمیایی بر تبادلات گازی، روابط آب و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در رژیم‌های آبیاری مختلف

محمد یزداندوست همدانی<sup>۱</sup>، مختار قبادی<sup>۲\*</sup>، محمد اقبال قبادی<sup>۲</sup>، سعید جلالی هنرمند<sup>۲</sup>، محسن سعیدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

### چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی برخی ترکیبات شیمیایی و رژیم‌های آبیاری بر تبادلات گازی، خصوصیات فتوسنتزی و روابط آبی آفتابگردان انجام گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان به مدت دو سال اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمارهای محلول‌پاشی شامل: آبسازیک اسید، سلنیوم، سالیسیلیک اسید، سدیم نیتروپروساید، گلیسین بتائین و شاهد بودند. نتایج نشان داد که با کاهش میزان آبیاری، ویژگی‌های هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای نسبی آب برگ و سرعت فتوسنتز کاهش یافتند، اما دمای برگ افزایش یافت. غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در ابتدا کاهش و در ادامه با تشدید کم آبی افزایش یافت، با این حال، کارایی مصرف آب فتوسنتزی به‌طور یکنواخت روند افزایشی داشت. محلول‌پاشی با ترکیبات شیمیایی، تبادلات گازی و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان را تحت تأثیر قرار داد. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق و بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در نتیجه محلول‌پاشی با آبسازیک اسید و سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد و بیشترین دمای برگ ناشی از کاربرد آبسازیک اسید بود. اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی بر سرعت فتوسنتز و غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه معنی‌دار بود. در شرایط کم آبیاری، کاربرد ترکیبات شیمیایی مورد نظر، سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد افزایش و غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه را کاهش داد. در این مورد، سالیسیلیک اسید نسبت به سایر ترکیبات، اثر بیشتری داشت و در شرایط کم‌آبی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، باعث افزایش ۱۹/۶ درصد در سرعت فتوسنتز گردید.

**واژه‌های کلیدی:** آبسازیک اسید، سالیسیلیک اسید، سدیم نیتروپروساید، سلنیوم، گلیسین بتائین

### مقدمه

گیاهان زراعی در برابر خشکی، راهکارهای مختلفی در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است مانند مدیریت آبیاری و کاربرد روش‌های کم‌آبیاری (Ghadami Firouzabadi et al., 2015)، استفاده از ارقام مقاوم یا زودرس (Angadi and Entz, 2002) کاربرد ترکیبات کودی مانند پتاسیم (Yarnia et al., 2009)، مواد جاذب رطوبت مانند ژئولیت (Yousefvand et al., 2011) و همچنین کاربرد خارجی ترکیبات شیمیایی مختلف از قبیل محلول‌های سازگار، تنظیم‌کننده‌های رشد و ملکول‌های پیام‌رسان تنش، که در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Farooq et al., 2010).

گلیسین بتائین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و موثرترین اسموپروتکتانت‌ها مطرح است (Bohnert et al., 1995). آفتابگردان جزء گیاهان انباشت‌کننده گلیسین بتائین (GB accumulator) است که به‌طور طبیعی مقدار زیادی گلیسین بتائین در آن‌ها تجمع پیدا می‌کند (Igbal et al., 2009). این نوع گیاهان در مقایسه با گیاهان غیر انباشت‌کننده گلیسین بتائین (GB non-accumulator) تحمل بالاتری در مقابل تنش خشکی نشان می‌دهند (Hussain et al., 2008). گلیسین بتائین که به‌صورت خارجی مصرف شود، می‌تواند به‌سرعت از طریق برگ‌ها نفوذ کرده و به سایر اندام‌ها منتقل شود و

در بین عوامل محیطی، فراهمی آب احتمالاً مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی است. کمبود آب یک تنش چند بُعدی است که در سطوح مختلفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان اثر می‌گذارد (Yordanov et al., 2003). تنش خشکی در ابتدا حالت آماس سلول و میزان تبادلات گازی را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش میزان رشد گیاه می‌شود. تداوم کمبود آب ممکن است بر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش‌های مختلف گیاه اثر بگذارد و همچنین ممکن است یک سری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را تغییر دهد (Kostopoulou et al., 2010). این تغییرات به گیاهان کمک می‌کند تا با چنین شرایط نامساعد محیطی سازگاری پیدا کنند. برای مواجهه با کمبود آب و افزایش تحمل

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

\*- نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/gsc.v17i3.76843

است (Arasimowicz and Floryszak-Wieczorek, 2007). نیتریک اکسید یکی از اجزای مسیر سیگنالی است که منجر به بسته شدن روزنه‌های برگ می‌شود (García-Mata and Lamattina, 2001; Duan et al., 2007). سدیم نیتروپروساید به‌عنوان ترکیب رهاکننده نیتریک اکسید در گیاهان استفاده می‌شود (Wieczorek et al., 2006). گزارش شده است که کاربرد سدیم نیتروپروساید در گندم و در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش ۲۰ درصدی میزان تعرق و افزایش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ شد و بر این اساس، پیشنهاد گردید که کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید ممکن است تحمل به تنش خشکی در گیاهان را افزایش دهد (García-Mata and Lamattina, 2001).

آبسازیک اسید یک بازدارنده رشد گیاهی است که به‌عنوان پیام‌رسان، در پاسخ به تنش خشکی و سایر تنش‌های محیطی و نیز در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش دارد (Rock and Quatrano, 1995). در شرایط خشکی، آبسازیک اسید در بافت‌های گیاه تولید شده و به سلول‌های محافظ روزنه فرستاده می‌شود و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد. گزارش شده که در شرایط مطلوب رطوبتی، غلظت آبسازیک اسید در آوند چوبی آفتابگردان بین ۱ تا ۱۵ نانومولار بوده، در حالی که در شرایط تنش خشکی مقدار آن تا حدود ۳۰۰۰ نانومولار افزایش یافته است (Schurr et al., 1992).

تغییر اقلیم، کاهش بارندگی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، فشار زیادی را بر منابع آب وارد کرده و باعث ایجاد خسارت شدید در مزارع گردیده است. بنابراین لازم است ضمن افزایش کارایی استفاده از منابع آب، روش‌هایی نیز برای مقابله با اثرات خشکی به کار گرفته شود. استفاده از ارقام زودرس و با نیاز آبی کم، یکی از روش‌های مقابله با کم‌آبی است که در این مورد آفتابگردان، به دلیل دارا بودن ارقام زودرس، جایگاه مناسبی به‌خصوص به‌عنوان کشت دوم و بعد از محصولاتی نظیر گندم، جو و کلزا دارد. علاوه بر این، استفاده از ترکیبات شیمیایی مختلف برای تخفیف اثرات منفی تنش خشکی، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. این مطالعه با هدف امکان کاهش اثرات خشکی و مدیریت مصرف آب در زراعت آفتابگردان اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به مدت دو سال (۹۵-۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۷۵۸ متر از سطح دریا با بافت خاک لوم شنی، pH برابر ۷/۵ و میزان کربن آلی ۰/۴۲ درصد انجام شد. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین

در آنجا در افزایش تحمل به تنش مشارکت کند (Makela et al., 1998).

سلنیوم یک ماده معدنی کمیاب در طبیعت است که در خاک یافت می‌شود. مطالعات انجام شده بیانگر اثر مثبت سلنیوم در بهبود تحمل به خشکی از طریق تجمع محلول‌های سازگار و فعال‌سازی آنزیم‌ها در جو (*Hordeum vulgare* L.) (Habibi, 2013)، کلزا (*Brassica napus* L.) (Hasanuzzaman and Fujita, 2011) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Yao et al., 2009) می‌باشد. علاوه بر این، مصرف سلنیوم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود و تنظیم وضعیت رطوبتی در گیاهان نیز گردیده است. سلنیوم در ساختمان اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین وجود دارد. این اسیدهای آمینه، پیش‌نیازهای تولید اتیلن هستند و مشخص شده است که افزایش تولید اتیلن در شرایط تنش در بسته شدن روزنه‌ها نقش دارد و در نتیجه هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در شبدر شیرین (*Melilotus Officinalis* L.) و در شرایط محدودیت رطوبتی، مصرف سلنیوم از منبع سلنات سدیم، مقدار پتانسیل آب برگ، نسبت تعرق و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و باعث محدودیت سرعت جریان محلول آب در سیستم آوندی شد. با این حال، گزارش شده که در شرایط آبیاری کامل، مصرف سلنیوم بر پتانسیل آب برگ تاثیری نداشت (Kostopoulou et al., 2010).

سالیسیلیک اسید یک ترکیب شبه‌هورمونی و تنظیم‌کننده رشد داخلی با ماهیت فنلی است که به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق دخالت دارد (El-Tayeb, 2005). این ترکیب در تحمل به تنش‌های غیر زیستی نقش مهمی بازی می‌کند و توانایی آن برای القاء اثرات حفاظتی در گیاهانی که در معرض تنش هستند، مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Hussain et al., 2008). به‌عنوان نمونه، گزارشاتی برای القاء تحمل به خشکی در گندم (Sing and Usha, 2003)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Hussain et al., 2008) و ذرت (*Zea mays* L.) (Bayat et al., 2010) در نتیجه کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید وجود دارد.

نیتریک اکسید یک گونه واکنش‌پذیر نیتروژن است. این گاز نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و نمو گیاهان مانند جوانه‌زنی دانه، بسته شدن روزنه، نمو ریشه، پیری و سازگاری با چندین نوع تنش دارد (Gaber Goma et al., 2010). نیتریک اکسید در گیاهان توسط مسیرهای آنزیمی و غیر آنزیمی تولید می‌شود. در شرایط تنش، تولید فزاینده آن در اندام‌های گوناگون گیاه دیده شده است (Wieczorek et al., 2006). کاربرد خارجی نیتریک اکسید در گیاهان باعث کاهش خسارت ناشی از برخی تنش‌ها مثل فلزات سنگین، علف‌کش‌ها، سرما، اشعه ماوراء بنفش و شوری شده

در این معادله ETC: نیاز آبی یا تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی متر در روز)، ETO: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز) و Kc ضریب گیاهی می باشند. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) بر پایه مدل پنمن مانیتث فائو و با استفاده از داده های هواشناسی روزانه، برآورد گردید (Allen et al., 1998). پس از تعیین نیاز آبی روزانه گیاه، مجموع نیاز آبی در دوره های هشت روزه (فاصله بین آبیاری قبلی تا آبیاری مورد نظر) محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن اندازه کرت های آزمایشی و راندمان آبیاری، حجم آب آبیاری در تیمارهای مختلف طبق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$IR = [( \sum ETC \times A ) / E] \quad (2)$$

در این رابطه IR: حجم آب آبیاری (لیتر)،  $\sum ETC$ : مجموع نیاز آبی گیاه در دوره آبیاری (میلی متر)، A: مساحت کرت آزمایشی (مترمربع) و E راندمان آبیاری می باشند. با توجه به بسته بودن کرت های آزمایشی و استفاده از لوله های پلی اتیلن برای انتقال آب، راندمان آبیاری برابر ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. حجم آب مورد استفاده برای هر تیمار با استفاده از کنتور حجمی با دقت یک لیتر اندازه گیری و کنترل شد. کل حجم آب آبیاری برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب برابر (۵۴۲۶/۳، ۴۶۱۴/۸ و ۳۸۰۳/۵) و (۶۰۳۹/۵، ۵۱۰۷/۰ و ۴۱۷۶/۰) متر مکعب در هکتار بود.

سلیوم (از منبع سلنات سدیم) و گلیسین بتائین از شرکت آکروس بلژیک (Acros Organics)، سدیم نیتروپروساید از شرکت مرک آلمان (Merck)، سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید از شرکت دوخه فا هلند (Duchefa Biochemie) تهیه شدند. محلول پاشی ترکیبات مورد نظر در اواثل گلدهی (Hussain et al., 2012) بر روی دو خط وسط از هر کرت آزمایشی و با حجم محلول ۱۰۰۰ لیتر در هکتار انجام شد. به منظور اطمینان از جذب مواد، عمل محلول پاشی به مدت سه روز متوالی (Unyayar et al., 2004) و در زمان غروب آفتاب انجام گردید. از ماده تووین ۲۰ (Tween 20) با غلظت ۰/۱ درصد به عنوان مویان استفاده شد. برای گیاهان شاهد، محلول پاشی با آب مقطر انجام شد.

بارندگی سالانه ۲۹۶ میلی متر (بلند مدت ۲۲ ساله) می باشد. سه تیمار آبیاری و شش تیمار محلول پاشی به صورت کرت های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. تیمارهای آبیاری به عنوان سطوح عامل اصلی و تیمارهای محلول پاشی به عنوان سطوح عامل فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای آبیاری شامل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (آبیاری نرمال، I<sub>100%</sub>)، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش ملایم کم آبی، I<sub>80%</sub>) و تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید کم آبی، I<sub>60%</sub>) (Ghobadi et al., 2018) و تیمارهای محلول پاشی شامل آبسیزیک اسید با غلظت ۴۰ میکرومولار (Hussain et al., 2012)، سلیوم از منبع سلنات سدیم با غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر (Dadnia, 2012)، سالیسیلیک اسید با غلظت ۵۰۰ میکرومولار (Hussain et al., 2008)، سدیم نیتروپروساید با غلظت ۱۰۰ میکرومولار (Cechin et al., 2015)، گلیسین بتائین با غلظت ۱۰۰ میلی مولار (Hussain et al., 2008) و تیمار شاهد (محلول پاشی با آب) بودند.

هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت با فاصله ۶۰ سانتی متر و به طول هفت متر بود. بین کرت های اصلی و فرعی به ترتیب دو و یک خط نکاشت و بین تکرارها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. بوته ها در روی خطوط کشت با فاصله ۲۰ سانتی متر کشت شدند. کاشت بذر سال اول در تاریخ ۲۹ خرداد و سال دوم در تاریخ ۳۰ خرداد انجام گرفت. کشت به صورت دستی و در عمق سه تا چهار سانتی متری خاک و روی پشته انجام گردید. به منظور اطمینان از یکنواختی سبز شدن، در هر کپه سه بذر کاشته شد و در مرحله دو تا چهار برگی، بوته های اضافی حذف گردیدند. رقم مورد استفاده در این آزمایش، هیبرید زودرس قاسم بود. آبیاری در مراحل اولیه رشد به صورت یکنواخت انجام شده و اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس روش پیشنهادی (Chimenti and Hall, 1993) از مرحله شش برگی، آغاز گردید و تا پایان دوره رشد ادامه داشت. به منظور تعیین میزان آب آبیاری، ابتدا نیاز آبی گیاه ETC به صورت روزانه و طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Etc = ETo \times Kc \quad (1)$$

جدول ۱- آزمون یکنواختی واریانس ها (بارتلت) در صفات مورد بررسی

Table 1- Homogeneity of variances (Bartlett) test in studied traits

	کار آبی مصرف آب فتوسنتزی	غلظت CO <sub>2</sub> زیر روزه	سرعت فتوسنتز	محتوای نسبی آب	دمای برگ	سرعت تعرق	هدایت روزانه ای
	WUE <sub>P</sub>	Ci	A	RWC	Leaf temp.	E	gs
Chi-Square	0.0135	0.0177	2.3597	1.1625	1.9161	0.2939	2.7212
Pr > ChiSq	0.9075	0.8943	0.1245	0.2810	0.1663	0.5878	0.0990

آفتابگردان و در اثر تنش خشکی (قطع آب در مرحله گلدهی) تا ۶۹ درصد (Mehrpooyan, 2011) و در مطالعه دیگری در حدود ۵۵ درصد (Siosemardeh *et al.*, 2011) نیز گزارش شده است. کاهش هدایت روزه‌های و تعرق در نتیجه تنش خشکی در آفتابگردان (Igbal *et al.*, 2009) و همچنین در سایر گیاهان زراعی مانند ذرت (Ghobadi *et al.*, 2018)، گندم (Rouhi and Siosemardeh, 2008)، جو (Habibi, 2013) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Faraji *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است. بسته شدن روزه‌ها یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر کمبود آب و تنش خشکی است. این فرآیند به سرعت اتفاق افتاده و میزان هدایت روزه‌های را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. کاهش سرعت تعرق نیز هم‌زمان با کاهش هدایت روزه‌های در شرایط کمبود آب و در اثر محدودیت‌های روزه‌های ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر، گیاهان تحت تنش از طریق تنظیم روزه‌های، میزان تلفات آب را کنترل می‌کنند (Rezaee Rad *et al.*, 2016).

اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی برای هدایت روزه‌های معنی‌دار، اما برای سرعت تعرق غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی نشان داد که در تمام شرایط آبیاری، تیمار شاهد بیشترین میزان هدایت روزه‌های و تعرق را داشت و محلول‌پاشی با ترکیبات شیمیایی، هدایت روزه‌های و سرعت تعرق را به درجات مختلف کاهش دادند. کمترین میزان هدایت روزه‌های و سرعت تعرق در همه شرایط آبیاری از کاربرد آبسیزیک اسید و سدیم نیتروپروپوساید حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند (شکل ۱- A). هدایت روزه‌های و سرعت تعرق در نتیجه کاربرد آبسیزیک اسید در آبیاری نرمال به ترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد و در آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد کاهش داشتند. افزایش غلظت آبسیزیک اسید در شرایط خشکی در سلول‌های محافظ روزه، باعث بسته شدن روزه‌ها و کاهش تلفات آب می‌شود (Schurr *et al.*, 1992). به نظر می‌رسد کاربرد خارجی آبسیزیک اسید در شرایط نرمال رطوبتی نیز واکنش مشابهی را ایجاد کرده و کاهش هدایت روزه‌های و سرعت تعرق را به دنبال دارد. سدیم نیتروپروپوساید نیز از طریق آزادسازی نیتریک اکسید (Duan *et al.*, 2007) و سلنیوم از طریق افزایش تولید اتیلن (Kostopoulou *et al.*, 2010) در فرآیند بسته شدن روزه‌ها دخالت دارند. کاهش هدایت روزه‌های و تعرق در اثر کاربرد خارجی سدیم نیتروپروپوساید در باقلا (*Vicia faba* L.) (Mata and Lamattina, 2001)، سلنیوم در شبدر شیرین (Kostopoulou *et al.*, 2010) و سالیسیلیک اسید در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) (Fariduddin *et al.*, 2003) گزارش شده است. کاربرد گلیسین بتائین در ذرت، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و گندم تحت تنش خشکی، میزان هدایت روزه‌های و تعرق را کاهش داد (Agboma *et al.*, 1997). در حالی که در آفتابگردان،

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرو مول CO<sub>2</sub> بر متر مربع در ثانیه)، هدایت روزه‌های (میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه)، سرعت تعرق (میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) و غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزه (میکرو مول بر مول) و دمای برگ از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز LCi ساخت شرکت ADC Bioscientific انگلستان استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها حدود یک هفته پس از اعمال تیمارهای محلول‌پاشی، بر روی بالاترین برگ کاملاً توسعه‌یافته در هر کرت فرعی، در ساعت ۱۰ تا ۱۲ ظهر و در یک روز آفتابی با آسمان صاف صورت گرفت. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرو مول CO<sub>2</sub> بر مول H<sub>2</sub>O) از تقسیم میزان فتوسنتز به میزان تعرق برآورد شد (Igbal *et al.*, 2009).

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از بالاترین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته در هر کرت فرعی نمونه‌برداری شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر قطعات برگ (FW<sup>۱</sup>)، نمونه‌ها به مدت ۱۸ ساعت در شرایط تاریکی درون آب مقطر قرار گرفتند و وزن آماس آنها (TW<sup>۲</sup>) تعیین گردید. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها (DW<sup>۳</sup>) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC<sup>۴</sup>) بر حسب درصد و از معادله (۳) محاسبه شد:

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (3)$$

پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها (جدول ۱)، تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال با در نظر گرفتن سال به صورت اثر تصادفی و آزمون F بر اساس امید ریاضی انجام شد. میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و مقایسات میانگین از نرم‌افزار آماری SAS (v8.2) و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### هدایت روزه‌های و تعرق

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال (جدول ۲) نشان داد که اثرهای تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی بر میزان هدایت روزه‌های و سرعت تعرق معنی‌دار بودند. بیشترین میزان هدایت روزه‌های و سرعت تعرق در آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد و با کاهش میزان آبیاری در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، میزان هدایت روزه‌های به ترتیب حدود ۱۲/۵ و ۲۶ درصد و سرعت تعرق حدود ۱۹ و ۳۵ درصد کاهش یافتند (جدول ۳). کاهش هدایت روزه‌های در ارقام

- 1- Fresh Weight
- 2- Turjid Weight
- 3- Dry Weight
- 4- Relative Water Content

مطالعات متعدد، کاهش محتوای نسبی آب در گیاهان مختلف در نتیجه خشکی گزارش شده است (Hussain et al., 2009; Loutfy et al., 2012; Habibi, 2013; Ghobadi et al., 2018).

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کاربرد ترکیبات شیمیایی مختلف محتوای نسبی آب را به طور معنی داری افزایش داد که با کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق هماهنگ بود. بنابراین به نظر می‌رسد جلوگیری از تلفات آب از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق، در افزایش محتوای نسبی آب موثر بوده است. در برخی مطالعات دیگر نیز بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق در نتیجه کاربرد ترکیباتی مانند آبسزیک اسید (Hussain et al., 2010) و سدیم نیتروپروساید (Mata and Lamattina, 2001; Duan et al., 2007)، باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ گردید. با این حال گزارش شده است که محتوای نسبی آب برگ بالاتر ممکن است به توانایی ریشه در جذب آب بیشتر و یا به قابلیت تنظیم اسمزی مرتبط باشد (Siosemardeh et al., 2003). در مطالعه‌ای در گندم بهاره گزارش شد که سلنیوم می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه‌ای، وضعیت آب گیاه را در شرایط تنش خشکی تنظیم کند (Kuznetsov et al., 2003). افزایش قابل توجه میزان پرولین، گلیسین بتائین و قندهای محلول در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید مشاهده شده است (Jabbarzadeh et al., 2018). این اسمولیت‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارند. هر چند آفتابگردان در گروه گیاهان انباشت‌کننده گلیسین بتائین است (Igbal et al., 2009) اما گزارشاتی وجود دارد که محلول پاشی گلیسین بتائین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش سطح داخلی گلیسین بتائین، پروتئین‌ها و قندهای محلول در دو رقم آفتابگردان شده است (Hussain et al., 2009; Igbal et al., 2011). همچنین گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در گندم، به طور معنی داری محتوای کل مواد آلی نظیر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها و غلظت مواد محلول غیر آلی مانند پتاسیم و کلسیم را به خصوص در ریشه افزایش داد و در کل تاثیر مثبتی در تنظیم اسمزی و افزایش رشد ریشه در شرایط خشکی داشت (Loutfy et al., 2012).

### سرعت فتوسنتز

اثر آبیاری بر سرعت فتوسنتز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تیمار آبیاری نرمال، متوسط سرعت فتوسنتز معادل ۱۹/۵ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود که در آبیاری‌های ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۱۲ و ۲۳ درصد کاهش نشان داد و به ۱۷/۱۶ و ۱۴/۹۷ میکرومول بر متر مربع در ثانیه رسید (جدول ۳). گزارش شده است که در نتیجه تنش خشکی سرعت فتوسنتز در آفتابگردان به طور متوسط ۲۰ درصد کاهش یافت (Siosemardeh et al., 2011). همچنین در مطالعه دیگری تنش خشکی، میزان

تأثیر معنی داری بر هدایت روزنه‌ای نداشت (Igbal et al., 2009). به عقیده این محققین، کاربرد خارجی گلیسین بتائین در گیاهان غیر انباشت‌کننده آن، در مقایسه با گیاهان انباشت‌کننده، اثر بیشتری بر هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز داشته است (Igbal et al., 2009).

### دمای برگ

آبیاری و محلول پاشی اثر بسیار معنی داری بر دمای برگ داشتند (جدول ۲). کمترین دمای برگ در شرایط آبیاری نرمال وجود داشت (۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد) و کم‌آبیاری باعث افزایش دمای برگ گردید. به طوری که در شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، دمای برگ به ترتیب حدود ۱/۶ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان داد. در بین تیمارهای محلول پاشی، تیمار شاهد کمترین (۳۰/۷ درجه سانتی‌گراد) و آبسزیک اسید بیشترین (۳۱/۷ درجه سانتی‌گراد) متوسط دمای برگ را طی دو سال آزمایش داشتند (جدول ۳). اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای دمای برگ غیر معنی دار بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای در گیاه ذرت و در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، دمای برگ حدود ۲/۷ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با آبیاری نرمال افزایش یافت (Ghobadi et al., 2018). بسته شدن نسبی روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در شرایط خشکی، تلفات آب را کاهش می‌دهد، اما باعث افزایش دمای برگ می‌شود. از طرف دیگر در شرایط تنش، واکنش‌های فتوشیمیایی گیاه دچار اختلال شده و مقدار زیادی از انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها، مصرف نشده و به گرما تبدیل می‌شود. تعرق راه اصلی دفع گرما و انرژی اضافه در گیاه است و کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود (Ghobadi et al., 2018). افزایش دمای برگ و ارتباط آن با کاهش مقدار تعرق در شرایط تنش خشکی در گندم (Siddique et al., 2001) نیز گزارش شده است.

### محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر آبیاری و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین محتوای نسبی آب (۹۰/۸ درصد) مربوط به شرایط آبیاری نرمال بود و آبیاری به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب در حدود ۱۰ و ۲۸/۵ درصد کاهش داد (جدول ۳). متوسط محتوای نسبی آب در تیمار شاهد معادل ۷۶/۳ درصد بود و محلول پاشی با ترکیبات مورد نظر به طور معنی داری باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد گردید، اما اختلاف معنی داری بین ترکیبات مورد استفاده وجود نداشت (جدول ۳). اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای محتوای نسبی آب معنی دار نبود (جدول ۲).

محتوای نسبی آب نشان‌دهنده وضعیت رطوبتی گیاه است و رابطه مستقیمی با محتوای رطوبتی خاک دارد. در همین رابطه در

گندم (Siddique *et al.*, 1999)، جو (Habibi, 2013) و ذرت (Ghobadi *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است. آسمیلاسیون خالص CO<sub>2</sub> برگ را در دو رقم آفتابگردان در مرحله رویشی و زایشی به ترتیب حدود ۵۵ و ۳۷ درصد کاهش داد (Igbal *et al.*, 2009). کاهش سرعت فتوسنتز در نتیجه تنش خشکی در

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب تبادلات گازی، صفات فتوسنتزی و روابط آب تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی

Table 2- Combined analysis of variance for gas exchange, photosynthetic and water relations traits affected by irrigation and some chemical treatments

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares						
			هدایت روزانه‌ای gs	سرعت تعرق E	دمای برگ Leaf temp.	محتوای نسبی آب RWC	سرعت فتوسنتز A	غلظت CO <sub>2</sub> زیر روزنه Ci	کارایی مصرف آب فتوسنتزی WUE <sub>p</sub>
Year (Y)	سال	1	68.00 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	32.12 <sup>ns</sup>	29.42 <sup>ns</sup>	8.42 <sup>ns</sup>	310.08 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
Rep. (year)	تکرار (سال)	4	17.20	0.15	19.41	33.42	1.87	438.63	0.18
Irrigation (I)	آبیاری	2	1928.70 <sup>*</sup>	49.97 <sup>*</sup>	77.41 <sup>**</sup>	6225.79 <sup>**</sup>	184.57 <sup>*</sup>	74644.23 <sup>**</sup>	2.74 <sup>*</sup>
Y × I	سال × آبیاری	2	39.15 <sup>*</sup>	0.84 <sup>**</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	47.89 <sup>ns</sup>	5.70 <sup>ns</sup>	718.08 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>
I × Rep. (year)	خطای a	8	6.97	0.08	2.05	12.50	2.34	643.91	0.12
Foliar application	محلول پاشی	5	91.31 <sup>**</sup>	2.10 <sup>**</sup>	2.54 <sup>**</sup>	38.09 <sup>*</sup>	15.52 <sup>ns</sup>	1489.85 <sup>ns</sup>	1.14 <sup>*</sup>
I × F	آبیاری × محلول پاشی	10	4.11 <sup>*</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	7.22 <sup>ns</sup>	10.27 <sup>**</sup>	542.11 <sup>**</sup>	0.24 <sup>*</sup>
Y × F	سال × محلول پاشی	5	2.41 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	2.48 <sup>ns</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	15.26 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>
Y × I × F	سال × آبیاری × محلول پاشی	10	1.25 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	2.60 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	19.43 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>
Error	خطای b	60	12.56	0.23	1.65	16.67	3.52	299.45	0.20
C.V. (%)	ضریب تغییرات (درصد)		7.19	8.74	4.12	5.17	10.90	7.05	14.00

\* and \*\*: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.  
ns: Not significant.

\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد  
ns: غیر معنی دار

کاهش معنی دار سرعت فتوسنتز در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند. در چنین شرایطی، محلول پاشی گلیسین بتائین تغییری در سرعت فتوسنتز ایجاد نکرد، اما کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش سرعت فتوسنتز شد. در شرایط کم آبیاری (تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)، محلول پاشی ترکیبات مورد استفاده، سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. در این شرایط، سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را داشت و در شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، سرعت فتوسنتز را به ترتیب ۱۳ و ۱۹/۷ درصد افزایش داد (شکل ۱-ب).

گزارش شده است که محلول پاشی گلیسین بتائین در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی باعث افزایش سرعت فتوسنتز در ارقام آفتابگردان شد. در این مطالعه، کاربرد گلیسین بتائین اثری بر هدایت

سرعت فتوسنتز بیانگر موفقیت گیاه در تثبیت CO<sub>2</sub> است که در نهایت منجر به تولید ماده خشک و عملکرد می‌گردد. بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای به منظور جلوگیری از تلفات آب انجام می‌شود، اما باعث محدودیت در ورود CO<sub>2</sub> شده و یکی از دلایل اصلی کاهش فتوسنتز، به‌ویژه در مراحل اولیه خشکی می‌باشد (Rezaee Rad *et al.*, 2016). کاهش هماهنگ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی، نشان‌دهنده محدودیت روزنه‌ای و کاهش فراهمی CO<sub>2</sub> در فتوسنتز است (Yordanov *et al.*, 2003; Rezaee Rad *et al.*, 2016).

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای سرعت فتوسنتز معنی دار بود (جدول ۲) در آبیاری نرمال و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، محلول پاشی آبسیزیک اسید، سدیم نیتروپروساید و سلنیوم باعث

داده شد و گزارش شد که محلول پاشی سلنیوم تاثیر معنی داری در افزایش میزان فتوسنتز در شرایط نرمال و تنش خشکی نداشت (Habibi, 2013). افزایش سرعت فتوسنتز خالص و کاهش تعرق در خردل هندی در نتیجه کاربرد سالیسیلیک اسید و از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود روابط آبی گیاه گزارش شده است (Fariduddin et al., 2003).

روزنه‌ای نداشت و بنابراین اثر مثبت محلول پاشی گلیسین بتائین بر سرعت فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای مربوط نمی‌شد. این محققین اشاره کردند که امکان دارد محلول پاشی گلیسین بتائین سرعت فتوسنتزی را از طریق عوامل غیر روزنه‌ای نظیر جذب کربن و ظرفیت فتوشیمیایی افزایش داده باشد (Iqbal et al., 2009). در مطالعه دیگری در گیاه جو، کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی به محدودیت روزنه‌ای نسبت

جدول ۳- مقایسه میانگین دو ساله تبادلات گازی، صفات فتوسنتزی و روابط آب در سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی برخی ترکیبات شیمیایی  
Table 3- Two years mean comparison for gas exchange, photosynthetic and water relations traits in irrigation levels and foliar application of some chemicals

Irrigation	آبیاری	هدایت	سرعت تعرق	دمای	محتوای	سرعت فتوسنتز	غلظت CO <sub>2</sub> زیر	کارآیی مصرف
		روزنه‌ای	E	برگ	نسبی آب	A	روزنه	آب فتوسنتزی
		gs	(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Leaf t.	RWC	(μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Ci	WUEp
		(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	(°C)	(%)		(μmol mol <sup>-1</sup> )	(μmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)
100%		56.51 a	6.71 a	29.63 c	90.78 a	19.50 a	237.00 b	2.92 c
80%		49.44 b	5.41 b	31.28 b	81.51 b	17.16 ab	204.56 c	3.20 b
60%		41.87 c	4.36 c	32.55 a	64.83 c	14.97 b	294.47 a	3.47 a
Foliar application	محلول پاشی							
ABA	آبسزیک اسید	46.46 d	5.03 d	31.66 a	80.40 a	16.58 a	236.56 b	3.38 ab
SNP	سدیم نیترو پروساید	47.64 cd	5.21 cd	31.37 b	79.80 a	16.95 a	239.83 b	3.33 ab
SA	سالیسیلیک اسید	49.19 bc	5.50 bc	31.15 b	78.83 a	19.06 a	240.06 b	3.51 a
Se	سلنیوم	49.08 bc	5.50 bc	31.30 b	79.87 a	16.65 a	245.06 ab	3.10 bc
GB	گلیسین بتائین	50.31 b	5.74 ab	30.76 c	79.02 a	17.18 a	248.11 ab	3.04 bc
Control	شاهد	52.97 a	5.98 a	30.68 c	76.32 b	16.88 a	261.95 a	2.83 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

Means with similar letters, in each column and each factor, are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

شرایط آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در تمام تیمارها کاهش یافت. تیمار شاهد و پس از آن گلیسین بتائین دارای بیشترین و سالیسیلیک اسید دارای کمترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه بودند. در شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، تیمار شاهد بیشترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه را داشت و کاربرد ترکیبات مختلف باعث کاهش معنی دار غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه گردید. کمترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه از کاربرد سالیسیلیک اسید حاصل شد (شکل ۱- C).

در مراحل اولیه تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای منجر به کاهش ورود دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای شده و عامل اصلی کاهش فتوسنتز است. در تنش‌های شدید، اختلال در فرآیندهای تثبیت CO<sub>2</sub> عامل اصلی کاهش فتوسنتز است که منجر به تجمع CO<sub>2</sub> در فضای زیر روزنه می‌شود (Chaves and Oliveira, 2004). در مطالعه دیگری در آفتابگردان گزارش شد که در شرایط تنش خشکی به دلیل آسیب دیدن سیستم فتوسنتزی، CO<sub>2</sub> وارد شده به فضای زیر روزنه در فرآیند فتوسنتز به خوبی مصرف نشده و غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه افزایش

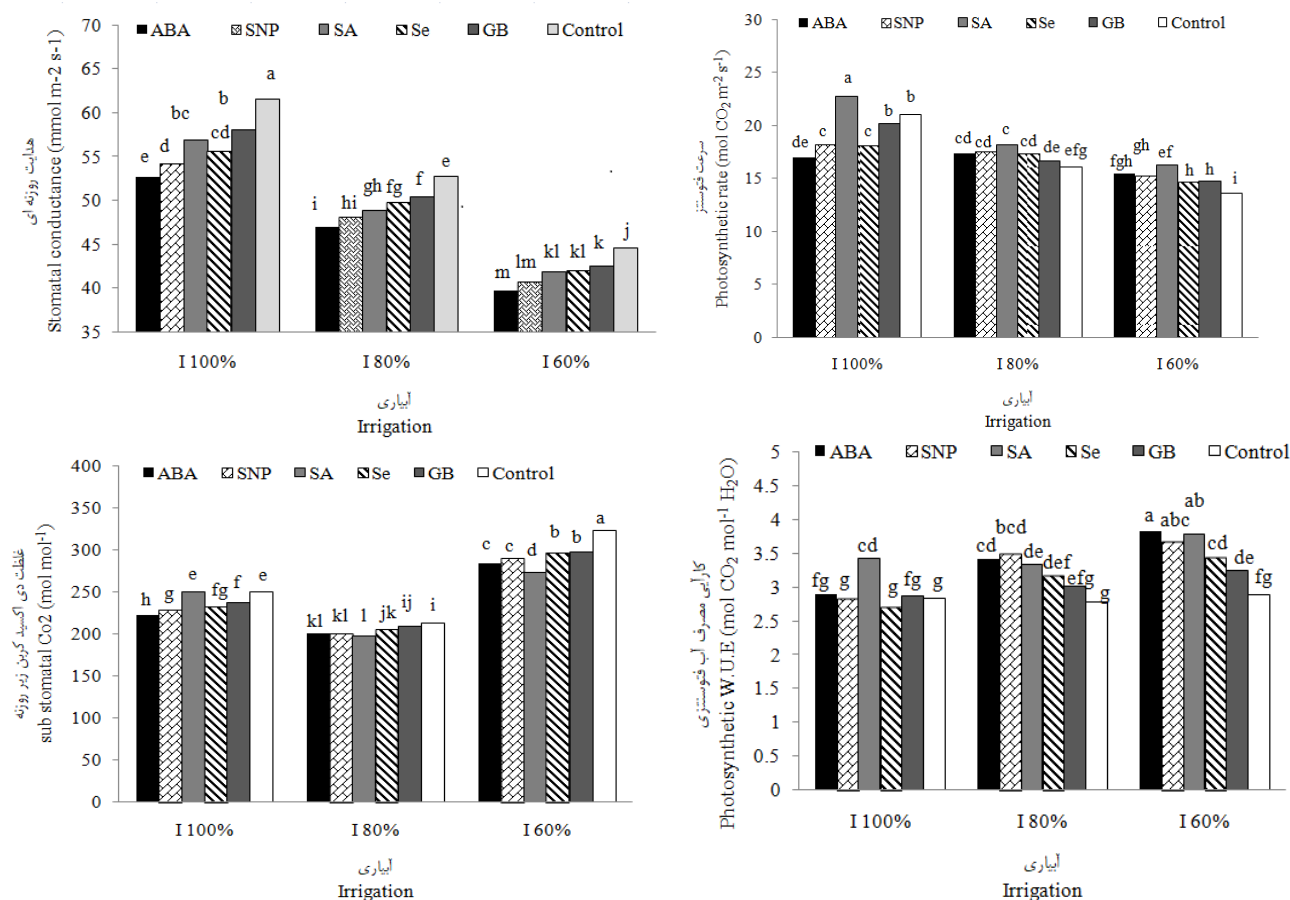
### غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه

آبیاری تاثیر بسیار معنی داری بر غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه داشت (جدول ۲). متوسط غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در شرایط آبیاری نرمال معادل ۲۳۷ میکرومول بر مول بود. با کاهش میزان آبیاری تا حد ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه به طور معنی داری کاهش یافت و به ۲۰۴/۵ میکرومول بر مول رسید، پس از آن و با کاهش بیشتر میزان آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه با افزایش قابل توجه به ۲۹۴/۵ میکرومول بر مول رسید که نسبت به آبیاری نرمال حدود ۲۴ درصد افزایش داشت (جدول ۳). افزایش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در نتیجه تنش خشکی تا حدود ۴۴ درصد در ارقام گندم (Rouhi and Siosemardeh, 2008) و تا حدود ۸ درصد در ارقام لوبیا (Faraji et al., 2013) گزارش شده است.

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه معنی دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال، سالیسیلیک اسید تأثیری بر غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه نداشت اما محلول پاشی با سایر ترکیبات، باعث کاهش معنی دار غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه گردید. در

این شرایط، کاربرد خارجی گلیسین بتائین باعث افزایش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در گیاهان تحت تنش گردید (Igbal et al., 2009). افزایش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه ممکن است در نتیجه دو عامل ایجاد شود، اول افزایش هدایت روزنه‌ای و ورود دی‌اکسید کربن و دوم کاهش تثبیت و تجمع CO<sub>2</sub> در فضای زیر روزنه (Igbal et al., 2009).

می‌یابد (Siosemardeh et al., 2011). به عبارت دیگر، صورتی که کاهش فتوسنتز با افزایش یا ثابت غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه همراه باشد، بیانگر نقش عوامل غیر روزنه‌ای در محدودیت و کاهش فتوسنتز است. افزایش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای بیانگر افت کارایی کربوکسیلاسیون در شرایط تنش است. در مطالعه‌ای در گیاه آفتابگردان گزارش شد که غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه در گیاهان تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود. در



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی از نظر صفات هدایت روزنه‌ای (A)، سرعت فتوسنتز (B)، غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه (C) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (D). در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Mean comparison of irrigation × foliar application interaction for stomatal conductance (A), photosynthetic rate (B), sub stomatal CO<sub>2</sub> concentration (C) and photosynthetic water use efficiency (D). In each column, vertical bars represent the standard error. Columns with similar letters are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

مول H<sub>2</sub>O بود. با کاهش میزان آب آبیاری، کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش یافت و تیمارهای آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب حدود ۹ و ۱۹ درصد کارایی مصرف آب فتوسنتزی بیشتری داشتند (جدول ۳).

#### کارایی مصرف آب فتوسنتزی

کارایی مصرف آب فتوسنتزی تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، متوسط کارایی مصرف آب فتوسنتزی برابر ۲/۹۲ میکرومول CO<sub>2</sub> به ازای هر



وضعیت آبیاری، محلول پاشی با ترکیبات مورد بررسی باعث کاهش متوسط هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق نسبت به تیمار شاهد شدند، در حالی که دمای برگ و محتوای نسبی آب افزایش یافتند. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق و بیشترین میزان محتوای نسبی آب در نتیجه محلول پاشی با آبسزیک اسید و سدیم نیتروپروساید به دست آمد و این ترکیبات از طریق محدودیت‌های روزنه‌ای و کاهش تلفات آب، هدایت روزنه‌ای و تعرق را به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد کاهش دادند و بیشترین تأثیر را بر روابط آبی آفتابگردان داشتند. با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق، دمای برگ به درجات مختلف افزایش پیدا کرد. بالاترین دمای برگ، ناشی از کاربرد آبسزیک اسید بود که نسبت به تیمار شاهد به طور متوسط یک درجه سانتی‌گراد افزایش داشت.

اثر محلول پاشی ترکیبات مختلف بر سرعت فتوسنتز و غلظت  $CO_2$  زیر روزنه تحت تأثیر وضعیت آبیاری قرار گرفت. در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث بهبود سرعت فتوسنتز شد و اثر کمتری در کاهش غلظت  $CO_2$  زیر روزنه داشت. ولی کاربرد آبسزیک اسید، سدیم نیتروپروساید و سلنیوم باعث کاهش غلظت  $CO_2$  زیر روزنه و سرعت فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد گردیدند که احتمالاً به دلیل محدودیت‌های روزنه‌ای بوده است. در شرایط کم آبیاری، کاربرد تمامی ترکیبات شیمیایی، سرعت فتوسنتز را نسبت به تیمار شاهد افزایش و غلظت  $CO_2$  زیر روزنه را کاهش داد که احتمالاً ناشی از تأثیر این ترکیبات شیمیایی بر عوامل غیر روزنه‌ای موثر در فتوسنتز بوده است. در این مورد نیز سالیسیلیک اسید نسبت به سایر ترکیبات، بیشترین تأثیر را داشت به طوری که در شرایط کم‌آبی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) سرعت فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد ۱۹/۶ درصد افزایش یافت.

به طور کلی، کاربرد ترکیبات شیمیایی مورد بررسی، به درجات مختلف از طریق کاهش تلفات آب، بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش میزان فتوسنتز، در کنترل اثرات زیانبار خشکی موثر بودند. در بین ترکیبات شیمیایی به کار رفته در این آزمایش، به نظر می‌رسد محلول پاشی سالیسیلیک اسید هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در افزایش تحمل به کم‌آبی و تخفیف اثرات نامطلوب تنش خشکی مؤثرتر بوده است.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی با میزان فتوسنتز رابطه مستقیم و با سرعت تعرق رابطه عکس دارد. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش سرعت فتوسنتز و یا کاهش میزان تعرق شود، کارایی مصرف آب فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی در اثر تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Yordanov *et al.*, 2003; Siosemardeh *et al.*, 2011). با این حال، کارایی مصرف آب در دو رقم آفتابگردان تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت (Igbal *et al.*, 2009).

اثر متقابل آبیاری × محلول پاشی برای کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال، کارایی مصرف آب فتوسنتزی در اثر محلول پاشی با سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما کاربرد سایر ترکیبات تأثیر معنی‌داری نداشتند. در شرایط کم آبیاری، محلول پاشی با تمامی ترکیبات، باعث افزایش کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد گردید. بیشترین کارایی مصرف آب فتوسنتزی از محلول پاشی با آبسزیک اسید، سالیسیلیک اسید و سدیم نیتروپروساید به دست آمد (شکل ۱- D). کاربرد ترکیبات شیمیایی که میزان فتوسنتز یا تعرق را تحت تأثیر قرار دهند قادرند بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی تأثیر داشته باشند. در صورتی که تغییرات فتوسنتز و تعرق یکسان باشد، کارایی مصرف آب فتوسنتزی بدون تغییر خواهد بود. در مطالعات دیگر، کاربرد سلنیوم در جو (Habibi, 2013) و گلیسین بتائین در آفتابگردان (Igbal *et al.*, 2009) تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی نداشتند.

## نتیجه گیری

تبادلات گازی و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت و کاهش آبیاری باعث کاهش شدید هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای نسبی آب برگ و سرعت فتوسنتز و افزایش دمای برگ شد. با کاهش میزان آب آبیاری و در تنش ملایم (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه)، غلظت  $CO_2$  زیر روزنه کاهش و با تشدید کم‌آبی (تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه)، افزایش یافت، اما کارایی مصرف آب فتوسنتزی به طور یکنواخت روند افزایشی داشت.

محلول پاشی با ترکیبات شیمیایی مختلف تبادلات گازی و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان را تحت تأثیر قرار داد، صرف نظر از

## References

1. Agboma, P., Jones, M. G. K., Peltonen-sainio, P., Hinkkanen, R., and Pehu, E. 1997. Exogenous glycine betaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary watering regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 29-37.
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. 300p.
3. Angadi, S. V., and Entz, M. H. 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. *Agronomy Journal* 94: 136-145.

4. Arasimowicz, M., and Floryszak-Wieczorek, J. 2007. Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. *Plant Sciences* 172: 876-887.
5. Bayat, S., Sepehri, A., Zare-abyaneh, H., and Abdollahi, M. R. 2010. Effect of Salicylic acid and paclobutrazol on some growth traits and yield of corn under drought stress. *Quarterly Journal of Crop Ecophysiology* 2 (1): 34-40. (in Persian with English abstract).
6. Bohnert, H. J., Nelson, D. E., and Jensen, R. E. 1995. Adaptation to environmental stresses. *Plant Cell* 7:1099-1111.
7. Cechin, I., Cardoso, G. S., Fumis, T. F., and Corniani, N. 2015. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. *Bragantia* 74 (2): 200-206.
8. Chaves, M. M., and Oliveira, M. M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55: 2365-2384.
9. Chimenti, C. A., Pearson, J., and Hall, A. J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research* 75: 235-246.
10. Dadnia, M. R. 2012. Study the effect of water deficit stress and selenium foliar application on activity of some antioxidant enzymes in oil sunflower cultivars. *Crop Physiology* 4 (14): 71-81. (in Persian with English abstract).
11. Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y., and Jiang, Y. 2007. Effects of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. *Food Chemistry* 104: 571-576.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley Gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
13. Faraji, M., Mobasser, H., Ghanbari Malidareh, A., and Nazari, H. 2013. Effects of drought stress on gas exchange and water relations of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Production in Environmental Stress* 4 (4):13-26. (in Persian with English abstract).
14. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
15. Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Cheema, S. A., and Aziz, T. 2010. Drought stress: comparative time course action of the foliar applied Glycinebetaine, Salicylic acid, Nitrous oxide, Brassinosteroids and Spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196 (5): 336-345.
16. Gaber Gomaa, S., Osama Kansowa, A., and Hossam Saad, E. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38 (1): 139-148.
17. Garcí'a-Mata, C., and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology* 126: 1196-1204.
18. Ghadami Firouzabadi, A., Raeini Sarjaz, M., Shahnazari, A., and Zareabyaneh, H. 2015. Water management and soil moisture changes in full, regulated deficit and partial root zone deficit irrigations in sunflower plant. Ph.D. Thesis in irrigation and drainage engineering. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Mazandaran. Iran. 176 pp. (in Persian with English abstract).
19. Ghobadi, R., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., Farhadi, B., and Mondani, F. 2018. Study the responses of some leaf physiologic characteristics to different water and nitrogen levels in grainy maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 16 (3): 583-597. (in Persian with English abstract).
20. Habibi, Gh. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta agriculturae Slovenica* 101 (1): 31-39.
21. Hasanuzzaman, M., and Fujita, M. 2011. Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research* 143: 1758-1776.
22. Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y., and Cheema, M. A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194 (3): 193-199.
23. Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Khan, M. B., Akram, M., and Saleem, M. F. 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 98-109.
24. Hussain, S., Saleem, M. F., Ashraf, M. Y., Cheema, M. A., and Haq, M. A. 2010. Abscisic acid, a stress hormone helps in improving water relations and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under drought. *Pakistan Journal of Botany* 42: 2177-2189.
25. Hussain, S., Ali, A., Ibrahim, M., Saleem, M. F., Alias Haji, M. A., and Bukhsh, A. 2012. Exogenous application of abscisic acid for drought tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): A review. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 22 (3): 806-826.
26. Iqbal, N., Ashraf, M., and Ashraf, M. Y. 2009. Influence of Exogenous Glycine Betaine on Gas Exchange and Biomass Production in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Water Limited Conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 195: 420-426.

27. Igbal, N., Ashraf, M. Y., and Ashraf, M. 2011. Modulation of endogenous levels of some key organic metabolites by exogenous application of glycine betaine in drought stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 63: 7-12.
28. Jabbarzadeh, M., Tehranifar, A., Amiri, J., and Abedy, B. 2018. The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) on some morphological, physiological and biochemical traits of *Zinnia elegans* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function* 6 (19): 105-116. (in Persian with English abstract).
29. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., and Noitsakis, B. 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil* 330: 65-71.
30. Kuznetsov, V. V., Kholodova, V. P., Kuznetsov, V. V., and Yagodin, B. A. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biological Sciences* 90: 266-268.
31. Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, M. A., Moustafa, M. F. M., Sakuma, Y., and Inouhe, M. 2012. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Research* 125: 173-184.
32. Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu, E., and Somersalo, S. 1998. Foliar application of glycinebetaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. *Industrial Crops and Products* 7: 139-148.
33. Mata, C., and Lamattina, L. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the plant adaptive responses against drought stress. *Plant Physiology* 126: 1196-1204.
34. Mehrpouyan, M. 2011. Study on CO<sub>2</sub> exchange, photosynthesis and grain yield in sunflower cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)* 3 (2): 197-206. (in Persian with English abstract).
35. Rezaee Rad, H., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., and Siahpoosh, M. R. 2016. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of maize in the presence of a shallow water table in Ahvaz climatic conditions. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 39 (1): 55-66. (in Persian with English abstract).
36. Rock, C. D., and Quatrano, R. S. 1995. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Second edition. 671 pp.
37. Rouhi, A., and Siosemardeh, A. 2008. Study of gas exchange in different wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Seed and Plant Production Journal* 24 (1): 45-62. (in Persian with English abstract).
38. Schurr, U., Gollan, T., and Schulze, E. D. 1992. Stomatal response to drying soil in relation to changes in xylem sap composition of sunflower, II. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. *Plant, Cell and Environment* 15: 561-567.
39. Siddique, M. R. B., Hamid, A., and Islam, S. 1999. Drought stress effect on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei* 40: 141-145.
40. Siddique M. R. B., Hamid, A., and Islam, S. 2001. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei* 41: 35-39.
41. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulators* 39: 137-141.
42. Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35 (1): 93-106. (in Persian with English abstract).
43. Siosemardeh, A., Ranjbar-balkhanlou, H., Sohrabi, Y., and Bahram nejad, Y. 2011. Evaluation of grain yield, gas exchange and source and sink limitation in sunflower under drought stress at different levels of defoliation. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42 (3): 585-596. (in Persian with English abstract).
44. Unyayar, S., Keles, Y., and Unal, E. 2004. Proline and ABA Levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 30 (3-4): 34-37.
45. Wiczorek, J. F., Milczarek, G., Arasimovicz, M., and Ciszewski, A. 2006. Do nitric oxide donors mimic endogenous NO-related response in plants? *Planta* 224: 1363-1372.
46. Yao, X., Chu, J., and Wang, G. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research* 130: 283-290.
47. Yarnia, M., Safaie, P., Khorshidi-benam, M. B., and Farajzadeh, E. 2009. Effect of drought stress and potassium sulfate on yield and yield components of sunflower. *New Finding in Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch*. 3 (3): 317-332. (in Persian with English abstract).
48. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant response to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology. (Special Issue)*. 187-206.
49. Yousefvand, P., Sajedi, N., and Mirzakhani, M. 2011. Effect of drought stress, zeolite and selenium on yield and yield components on sunflower. *New Finding in Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch*. 5 (3): 325-339. (in Persian with English abstract).



## Influence of Foliar Application of Some Chemicals on Gas Exchange, Water Relations and Photosynthetic Traits in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Different Irrigation Regimes

M. Yazdandoost Hamedani<sup>1</sup>, M. Ghobadi<sup>2\*</sup>, M. E. Ghobadi<sup>2</sup>, S. Jalali-Honarmand<sup>2</sup>, M. Saeidi<sup>2</sup>

Received: 01-12-2018

Accepted: 14-04-2019

### Introduction

Many solutions have been introduced to enhance drought tolerance. Exogenous applications of various chemicals such as compatible solutes, growth regulators and stress-messenger molecules have been considered during recent years. Glycine betaine (GB) is one of the most effective osmoprotectants. The physiological and antioxidant properties of selenium (SE) have become of higher importance for biologists. Salicylic acid (SA) plays an important role in the abiotic stresses tolerant. Nitric oxide plays an important role in many physiological and vegetative processes such as seed germination, stomatal closure, root development, aging and adaptation to several stress types. Sodium nitroprusside (SNP) is commonly used as a nitric oxide releasing agent in plants. Abscisic acid (ABA), as a messenger, plays a role in responding to drought and other environmental stresses, as well as in many physiological processes such as photosynthesis and regulation of stomatal opening and closure. The aim of this study was to compare the influence of some chemicals as foliar application in order to reduce the adverse effects of drought stress in sunflower.

### Materials and Methods

This experiment was conducted at the Agricultural Research Center of Hamedan, Iran, during 2015-2016. Three irrigation and six foliar application treatments were evaluated in a split plot experiment. Irrigation treatments consisted of 60%, 80% and 100% of crop water requirement and foliar application treatments included: abscisic acid 40  $\mu$ M, Selenium 20 mg L<sup>-1</sup>, Salicylic acid 500  $\mu$ M, SNP 100  $\mu$ M, Glycine betaine 100 mM, and control. An infrared gas analyzer (IRGA, Lci, ADC Bioscientific Ltd, Hoddeston, UK) was used in order to measure the photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, leaf temperature and sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration. Photosynthetic water use efficiency was calculated from photosynthesis rate divided by transpiration rate. The leaf relative water content (RWC) was calculated as the follows:

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

Where FW is the leaf fresh weight, DW is the leaf dry weight and TW indicates the leaf turgid weight.

Combined analysis of variance of two years data was done using SAS statistical software. The comparison of means was carried out by Duncan's multiple range test at 5% of probability level.

### Results and Discussion

Effects of irrigation and foliar application on stomatal conductivity and transpiration rate were significant. Stomatal conductivity and transpiration rate were decreased by decreasing irrigation amount. The lowest rate of stomatal conductivity and transpiration rate in all irrigation conditions were resulted from ABA. Leaf temperature and RWC were affected by irrigation and foliar application. The lowest leaf temperature was obtained under normal irrigation. The highest RWC (90.8%) was attributed to normal irrigation. Applying 80% and 60% of crop water requirement reduced RWC about 10% and 28.5%, respectively. Foliar application of chemicals increased RWC. The effects of irrigation and irrigation  $\times$  foliar application on photosynthesis rate were significant. The photosynthesis rate decreased with decreasing the irrigation amount. Sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration decreased under 80% of crop water requirement and it increased in 60% of crop water requirement. Under normal irrigation conditions, photosynthetic water use efficiency enhanced by foliar application of SA, but under water deficit conditions, foliar application with all compounds promoted photosynthetic water use efficiency.

### Conclusions

Decreasing of irrigation water had significant effects on gas exchange and photosynthetic properties of sunflower and caused a sharp decline in stomatal conductance and transpiration rate. Furthermore, RWC and

1- PhD Student of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah

2- Associate Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah

(\*- Corresponding Author Email: ghojadi.m@razi.ac.ir)

photosynthesis rate were decreased, but leaf temperature were increased simultaneously. By decreasing irrigation, the sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration initially reduced and continued to increase with more water limitation, while the photosynthetic water use efficiency was increasing gradually. Foliar application with chemicals affected on gas exchange and photosynthetic properties of sunflower. The lowest stomatal conductance and transpiration rate, and the highest amount of RWC were obtained by foliar application of ABA and SNP. In normal irrigation, SA improved photosynthesis rate, but ABA, SNP and SE reduced the sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration and photosynthetic rate. Under low irrigation, foliar application of all chemicals increased photosynthesis rate and reduced the sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration. SA had a more positive impact rather than other compounds.

**Keywords:** Abscisic acid, Glycine betaine, Salicylic acid, Selenium, Sodium nitroprusside