تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد سوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ۳۳۷-۳۱۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر محلول‌پاشی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد و عملکرد ارقام جو تحت شرایط تنش خشکی

رامین روشنی[۱]، علی سلیمانی[۲*]، مهرداد محلوجی[۳]، محمدرضا نادری[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد خوراسگان اصفهان، اصفهان، ایران
۲- مرکز تحقیقات اصلاح و تولید بذر ، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۳- بخش تحقیقات علوم زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۴- گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد خوراسگان اصفهان، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبه: A_soleymani@khuisf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.297001.1111**

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ارقام جو مطالعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی در ۵ سطح: شاهد (آب)، سولفات روی، سولفات پتاسیم، اسید سالیسیلیک و سوپراکسید دیسموتاز در مرحله پنجه‌زنی با فاصله ۷ روز و در ۳ نوبت در کرت‌های اصلی و فاکتور ارقام شامل گوهران، مهر و ارمغان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سولفات روی سبب افزایش شاخص سطح برگ (۵۰٪)، سرعت رشد نسبی (۱۱٪)، نسبت سطح برگ (۵۴٪) و عملکرد دانه (۱۸٪) نسبت به شاهد شد و بیشترین شاخص سطح برگ و نسبت سطح برگ توسط رقم ارمغان حاصل شد. بالاترین میزان ماده خشک کل (۱۰۲۷ گرم بر مترمربع) و سرعت رشد محصول (۲۴/۱۷ گرم بر مترمربع در روز) توسط اسید سالیسیلیک و بیشترین سرعت جذب خالص (۱۰/۹۹ گرم بر مترمربع در روز) توسط شاهد حاصل شد. در طی فصل رشد بیشترین میزان ماده خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی را رقم گوهران نسبت به سایر ارقام تولید نمود که نشان از استفاده بهینه از شرایط محیطی و تولید عملکرد بالاتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک اسید، سوپر اکسید دیسموتاز، سولفات پتاسیم، سولفات روی

مقدمه

جو زراعی (*Hordeum vulgar* L.) از خانواده گندمیان است که بزرگ‌ترین خانواده گیاهان زراعی تک‌لپه می‌باشد. جو یکی از قدیمی‌ترین و با اهمیت‌ترین غلات دانه‌ای است که رتبه چهارم را بعد از ذرت، گندم و برنج در تولید ماده خشک در دنیا دارد. جو برای تولید محصول اقتصادی در مقایسه با گندم به آب کمتری نیاز دارد و در مناطقی با حداقل بارندگی، یعنی از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر و شوری تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر قابل کشت می‌باشد؛ بنابراین جو گیاهی تا حدودی مقاوم به خشکی و شوری است که نسبت به شرایط آب و هوایی مختلف سازگاری دارد (Samarah, 2005).

خشکی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که تولید گیاهان زراعی را در جهان با محدودیت روبرو ساخته است. اکثر محصولات زراعی در مراحل مختلف رشد و نمو با نوعی تنش آب مواجه می‌شوند و تغییرات روزانه وضعیت داخلی آب خود را حتی در شرایط آبیاری معمولی نیز نشان می‌دهند (Slafer, 1994). به نظر می‌رسد ارقامی‌که در شرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود عملکرد یکسانی داشته باشند و یا حداقل تفاوت عملکرد آن‌ها در این دو وضعیت زیاد نباشد دارای تحمل نسبی بیشتری به خشکی می‌باشند. شناخت و بررسی شاخص‌های رشد گیاه در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد کمک زیادی می‌کند. همچنین با استفاده از این روش چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی در اندام‌های مختلف و تجمع آن‌ها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در دوره رشد گیاه بهتر شناخته می‌شود (Koocheki *et al*.,1991).

محلول‌پاشی برگی به عنوان یک ابزار مهم جهت اصلاح کمبودهای مواد غذایی و بهبود کیفیت گیاه به کار برده می‌شود که عناصر غذایی را مستقیماً و در اسرع وقت در اختیار شاخه، برگ و میوه قرار می‌دهد. محلول‌پاشی برگی با عناصر کم‌تحرک در خاک (پتاسیم) و یا عناصر کم‌تحرک در گیاه (روی) سبب افزایش کارآیی و جذب آن عناصر در گیاه می‌گردد. امروزه تغذیه برگی به عنوان یک تأمین‌کننده تکمیلی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، هورمون‌های گیاهی، محرک‌های رشد و سایر عناصر مفید استفاده وسیعی دارد (Gholami *et al*., 2018).

نقش فیزیولوژیک پتاسیم شامل فعال کردن آنزیم‌ها، متعادل کردن سنتز ترکیبات آلی، روابط آبی گیاه و کنترل روزنه‌ها، فتوسنتز، انتقال مواد زیستی، پاسخ گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و تنش‌های زیستی (Oosterhuit *et al*., 2013) جلوگیری از پیری گیاه، حفظ ظرفیت مقصد در گیاه (Lv *et al*., 2017) و تسریع در بهبود اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Zahoor *et al*., 2017). تحقیقات نشان داده است که پتاسیم دارای نقش مهمی در انتقال و متابولیسم قندها و اسیدهای آمینه به مقصد بوده (Hu *et al*., 2018) و با افزایش ظرفیت مقصد به‌طور مستقیم در پر شدن دانه غلات مؤثر می‌باشد (Lv *et al*., 2017; Arif *et al*., 2017). روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است که به عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به صورت یک کوفاکتور ساختاری برای سنتز پروتئین، DNA، RNA، فتوسنتز، سنتز اکسین، تقسیم سلولی و لقاح جنسی عمل می‌کند (Kobraee *et al*., 2011). سالیسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد نقش مهمی در جوانه‌زنی، استقرار نهال‌ها، رشد سلول، تنفس، بستن روزنه‌ها، پیری، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و فتوسنتز تحت شرایط تنش ایفاء می‌کند (Al-Whaibi *et al*., 2011). آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز آنزیم‌هایی هستند که واکنش دیسموتاسیون آنیون سوپر اکسید به اکسیژن و پراکسید هیدروژن را کاتالیز می‌کنند. دیسموتاسیون نوع خاصی از واکنش‌های ردوکس است که در آن یک گونه هم‌زمان اکسیده و کاهنده شده و دو محصول متفاوت ایجاد می‌کند؛ بنابراین سوپر اکسید دیسموتازها، آنتی‌اکسیدان‌های دفاعی مهم تقریباً در تمام سلول‌ها هستند (Hussain *et al*., 2018). از آنجائی‌که تنش‌های محیطی تولید گیاهان زراعی را با محدودیت روبرو می‌سازد ضرورت محلول‌پاشی به عنوان یک ابزار مهم جهت اصلاح کمبودهای مواد غذایی و بهبود کیفیت گیاه به‌کار برده می‌شود (Gholami *et al*., 2018)؛ لذا هدف از این مطالعه بررسی تغییرات حاصل از محلول‌پاشی بر برخی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی رشد ارقام جو در طول دوره رشد شامل شاخص سطح برگ و سرعت جذب خالص که اجزای تشکیل‌دهنده رشد محصول است و نیز ارزیابی تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی بر این شاخص‌ها و روند تجمع ماده خشک کل بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۴۱ متر از سطح دریا که طبق تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد و متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه به ترتیب ۱۲۲ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد و بافت خاک رسی لومی است، اجرا گردید.

این تحقیق بر اساس آزمایش اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی در ۵ سطح شاهد (آب)، سولفات روی (۰/۵ درصد)، سولفات پتاسیم (۰/۵ درصد)، اسید سالسیلیک (۱/۵میلی‌مولار) و سوپراکسید دیسموتاز (۳ در هزار) در مرحله پنجه‌زنی با فاصله ۷ روز و در ۳ نوبت در کرت‌های اصلی و فاکتور ارقام شامل گوهران (مقاوم به خشکی)، مهر (مقاوم به شوری) و ارمغان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری به‌صورت محدود (۱۴ روز یک‌بار) انجام شد. پس از شخم زمین با گاوآهن برگردان‌دار، دو بار دیسک عمود برهم و تسطیح، مساحت هر کرت ۷/۲ متر مربع (۱/۲×۶) و متشکل از ۶ ردیف کاشت تهیه شد. بذرهای یکنواخت گیاه جو در ردیف‌هایی به طول ۶ متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد تا تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع حاصل شود. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ با علف‌کش توفوردی به میزان یک لیتر در هکتار و قبل از ساقه‌دهی گیاه انجام شد. سولفات روی، سولفات پتاسیم و اسید سالیسیلیک تولید شرکت مرک آلمان و سوپر اکسید دیسموتاز تولید شرکت روتی گرین بود. برداشت به‌وسیله کمباین مخصوص انجام شد.

در هر بار نمونه‌گیری پنج بوته با حذف دو خط کناری از خطوط کاشت ۲ و ۳ با رعایت حاشیه برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. سطح برگ بوته‌های جدا شده با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل AM-300 اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها پس از تفکیک به اجزاء مختلف به مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه‌دار در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای تعیین تغییرات میزان شاخص سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کل، سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و نسبت سطح برگ از روابط رگرسیونی طبق معادلات ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ استفاده شد (Soleymani, 2003).

(1) $LAI=e^{a_1+b_1t+c_1t2}$

(2) $TDM=e^{a_2+b_2t+c_2t2}$

(3) $NAR=(b_2+2c_2t)\ e^{(a_2-a_1)+(b_2+b_1)\,t+(c_2-c_1)\,t\,2}$

(4) $CGR=NAR*LAI$

(5) $RGR=(b_2+2c_2t)$

(6) $LAR=RGR/NAR$

در روابط فوق، TDM ماده خشک کل بر حسب گرم بر متر مربع، t زمان بر حسب تعداد روز پس از سبز شدن، LAI شاخص سطح برگ، NAR سرعت جذب خالص، CGR سرعت رشد محصول، RGR سرعت رشد نسبی، LAR نسبت سطح برگ و a_1، b_1، c_1 و a_2، b_2، c_2 ضرایب رگرسیونی می‌باشند. به منظور تعیین عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی در مرحله رسیدگی، به طور تصادفی برداشت و با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. محاسبات آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار آماری Mstat-C انجام گردید. مقایسه میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Soil characteristics in site of experiment

اسیدیته	نیتروژن	منگنز	روی	مس	پتاسیم	فسفر	شوری
pH	Nitrogen (%)	Manganese ($mg.kg^{-1}$)	Zinc ($mg.kg^{-1}$)	Copper ($mg.kg^{-1}$)	Potassium ($mg.kg^{-1}$)	Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	Salinity($ds.m^{-1}$)
6.8	0.075	7.66	1	1.12	360	23.2	7.62

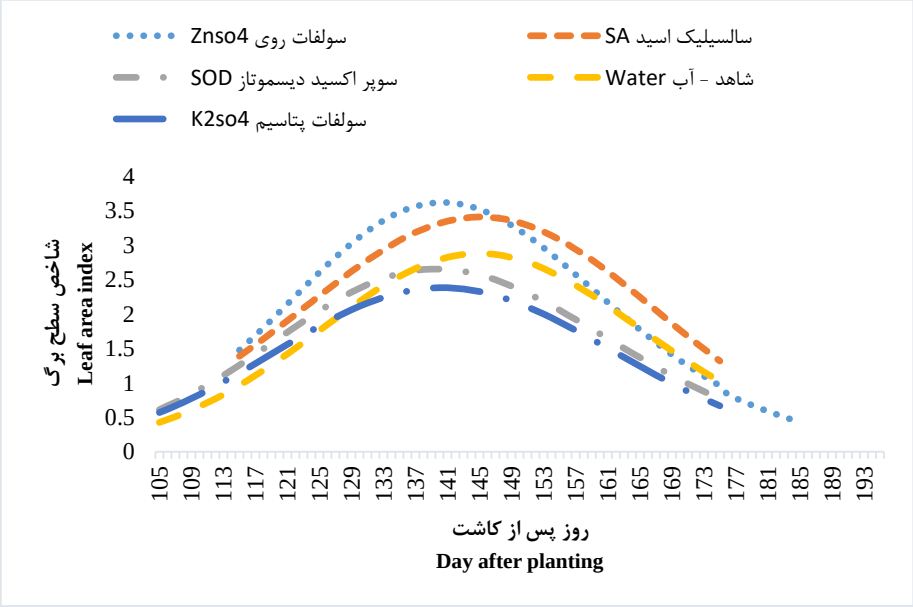
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری استفاده شده در آزمایش
Table 2- Chemical characteristics of the water used in the experiment

اسیدیته	منیزیم + کلسیم	سولفات	کلر	بی کربنات	سدیم	نسبت جذب سدیم	شوری
pH	$Mg^{2+} + Ca^{2+}$	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Na^+	SAR	
	(meq.l^{-1})	(meq.l^{-1})	(meq.l^{-1})	(meq.l^{-1})	(meq.l^{-1})	(meq.l^{-1})	Salinity($ds.m^{-1}$)
7.6	24.6	15.9	36.2	3.5	30.7	8.8	4.2

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: اثر محلول‌پاشی‌ها بر حداکثر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ به میزان ۳/۷۶۷ در تیمار سولفات روی حاصل شد و کمترین شاخص سطح برگ به میزان ۲/۵ در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شدند که به نظر می‌رسد بالا بودن شاخص سطح برگ ناشی از تأثیر تیمارها بر افزایش محتوای کلروفیل و راندمان فتوشیمیائی باشد (Torabian, 2013). روند تغییرات شاخص سطح برگ تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد نیز حاکی از آن است که تا ۱۲۵ روز پس از کاشت اختلاف بارزی در محلول-پاشی‌ها وجود نداشت ولی پس از آن سولفات روی در مقایسه با سایر محلول‌ها با سرعت بیشتری شاخص سطح برگ را افزایش داد تا در ۱۴۱ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسید و پس از آن با نزدیک شدن به آخر فصل و زرد شدن برگ‌های مسن شاخص سطح برگ کاهش یافت. عکس‌العمل شاخص سطح برگ تیمارهای محلول‌پاشی حاکی از آن است که با توجه به اثر

محلول‌پاشی‌ها بر محتوای کلروفیل و راندمان فتوشیمیائی شاخص سطح برگ با سرعت متفاوتی افزایش و سپس کاهش داشت که به‌طور نسبی بیشترین اثر بر افزایش شاخص سطح برگ مربوط به سولفات روی و کمترین شاخص سطح برگ مربوط به سولفات پتاسیم بود (شکل ۱). اثر رقم بر حداکثر میزان شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ توسط رقم ارمغان به میزان ۳/۴۰۰ حاصل شد. کمترین شاخص سطح برگ توسط رقم گوهران به میزان ۲/۷۰۰ حاصل شد. نتایج حاکی از آن است که رقم ارمغان از پتانسیل ژنتیکی ویژه‌ای در مقایسه با سایر ارقام در تولید شاخص سطح برگ برخوردار است. توسعه و گسترش سطح برگ در گیاهان زراعی به عوامل مختلفی مانند دما، تراکم بوته در واحد سطح، میزان مواد غذائی در دسترس و خصوصیات ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌ها بستگی دارد کـه این عوامل باعـث به وجود آمدن تفاوت‌هایـی در شاخص سطـح برگ می‌گردد (OuzuniDouji *et al.*, 2008). روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام مختلف جو حاکی از آن است که تا ۱۳۰ روز پس از کاشت اختلاف بارزی بین ارقام وجود نداشت ولی پس از آن بیشترین میزان شاخص سطح برگ را به‌دست آوردند و با نزدیک شدن به آخر فصل رشد و زرد شدن برگ‌های مسن به دلیل پیری و فرآیند انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بخش‌های زایشی گیاه شاخص سطح برگ کاهش یافت. رقم ارمغان در مقایسه با سایر ارقام از شاخص سطح برگ بیشتری در طی فصل رشد برخوردار بود (شکل ۲).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

Figure 1- The trend of leaf area index (LAI) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که کمترین اثر مربوط به شاهد و بیشترین اثر توسط اسید سالیسیلیک حاصل شد. در رقم ارمغان سولفات پتاسیم سبب افزایش شاخص سطح برگ شد در حالی‌که سایر محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش شاخص سطح برگ شدند. در رقم مهر اسید سالیسیلیک سبب افزایش شاخص سطح برگ شد در حالی‌که سایر محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش شاخص سطح برگ شدند که از نظر مقایسه میانگین تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش سطح برگ ممکن است به‌دلیل کاهش تعداد برگ و یا کاهش مساحت برگ و یا اثر توأم تنش بر هر دو صفت باشد. گویا ارقامی که در اثر تنش‌های محیطی، سرعت زوال برگ در آنها کمتر است پتانسیل بیشتری در استفاده از تشعشع خورشیدی دارند و بخش بیشتری از نور دریافتی را برای تأمین آسیمیلات‌های لازم برای پرکردن دانه استفاده می‌کنند.

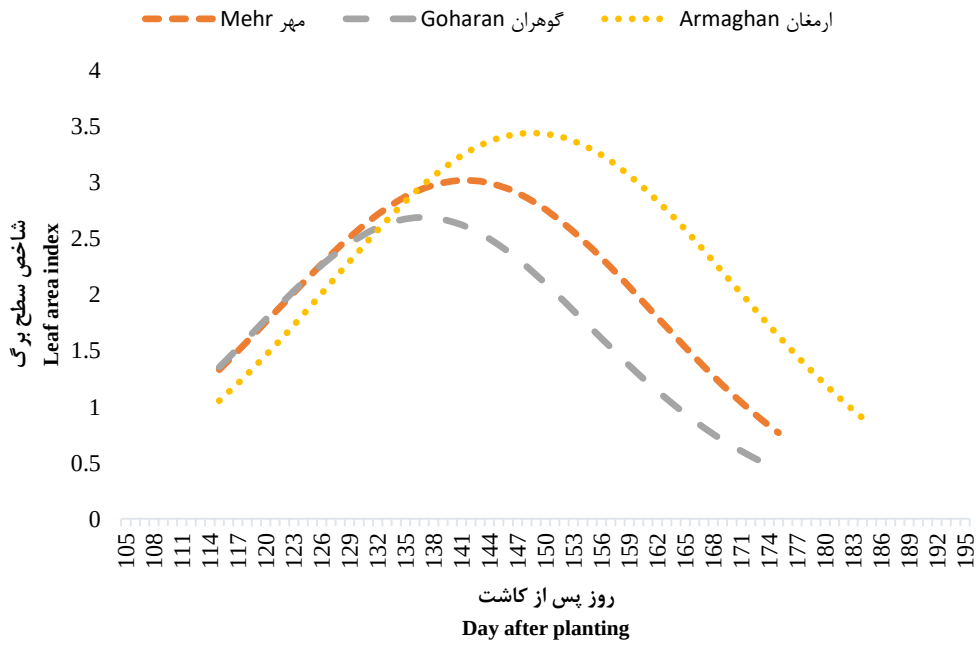
جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد ارقام مختلف جو

Table 3- Analysis of variance of growth indicators of different barley cultivars

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry matter	سرعت رشد محصول Crop growth rate	سرعت جذب خالص Net assimilation rate	سرعت رشد نسبی Relative growth rate	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
بلوک Block	2	0.451*	4399.845 ns	0.48	31.62 ns	0.00000001ns	0.0000001*	5596.2	777128.89
محلول‌پاشی Foliar	4	2.617**	21237.81**	109.7**	31.52*	0.00000001*	0.0000001**	1385188.56**	25878945.97**
خطا Error	8	0.062	1675.7	1.04	10.57	0.00000001	0.0000001	157169.08	679935.96
رقم Cultivar	2	2.102*	9772.6*	151.31**	97.31**	0.00000001**	0.0000001*	5205835.98**	1746532.98**
رقم * محلول‌پاشی * Foliar Cultivar	8	1.364*	105231.05**	88.47**	24.39*	0.00000001**	0.0000001*	180536.98**	182103898.98**
خطا Error	20	0.540	2139.210	0.86	10.59	0.00000001	0.0000001	90150.698	115891.09
ضریب تغییرات C.V (%)		23.50	5.11	4.22	41.51	7.3	27.64	7.81	7.87

*،** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

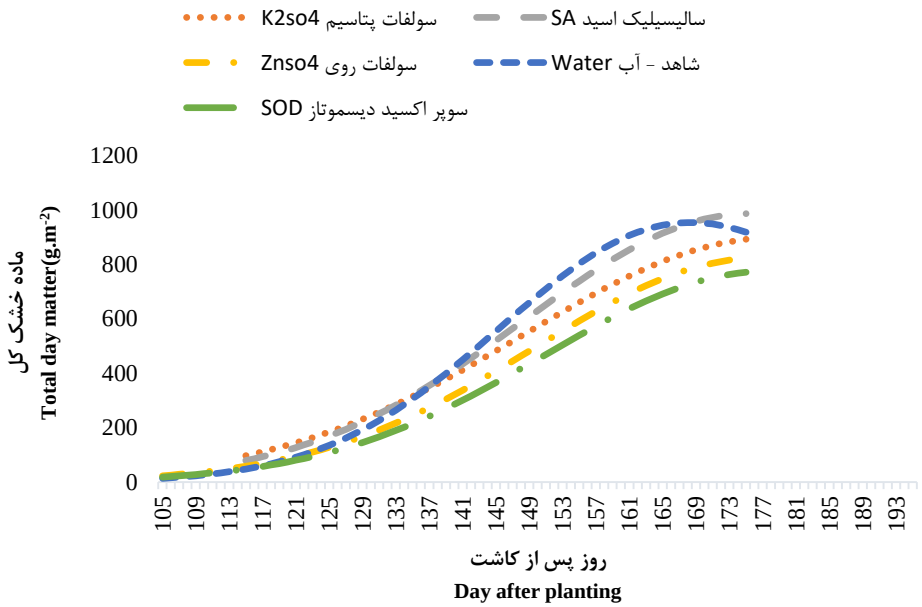
*،** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام مختلف جو در طی فصل رشد

Figure 2- The trend of changes in the leaf area index of different barley cultivars during the growing season

ماده خشک کل: اثر محلول‌پاشی‌ها بر حداکثر ماده خشک کل گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ماده خشک کل به میزان ۱۰۲۷ گرم در متر مربع توسط اسید سالیسیلیک حاصل شد که به‌جزء سولفات پتاسیم با سایر محلول‌پاشی‌ها اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین ماده خشک کل به میزان ۶۵۰/۶ گرم در متر مربع توسط محلول‌پاشی سوپر اکسید دیسموتاز حاصل شد. نتایج حاکی از آن است که سطح فتوسنتزی حاصل شده در اثر محلول‌پاشی‌های سولفات روی و سوپر اکسید دیسموتاز نتوانسته‌اند ماده خشک مناسبی را تولید نمایند به‌نحوی‌که محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش معنی‌دار ماده خشک کل نسبت به شاهد شدند (جدول ۴). بر اساس مطالعات (Pereira *et al.*, 2016; Ren *et al.*, 2016) با افزایش تنش خشکی از توان فتوسنتزی گیاه کاسته می‌شود و این امر موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی و در نهایت کاهش ماده خشک کل می‌گردد. روند تجمع ماده خشک کل در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی (شکل ۳) حاکی از آن است که تا ۱۳۵ روز پس از کاشت تجمع ماده خشک کل سرعت بطئی صورت گرفته است ولی پس از آن تا ۱۷۰ روز پس از کاشت اثر تیمارها بر تجمع ماده خشک کل به‌صورت متفاوت‌تری با سرعت بیشتری افزایش یافت و پس از مرحله رسیدگی تا برداشت نهائی به دلیل پیری و زرد شدن برگ‌های پائینی وزن خشک اندکی کاهش یافت.



شکل ۳- روند تغییرات ماده خشک کل تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

Figure 3- The trend of total dry matter (TDM) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر رقم بر ماده خشک کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ماده خشک کل توسط رقم گوهران به میزان ۹۲۴/۲ گرم بر متر مربع حاصل شد. کمترین ماده خشک کل توسط رقم ارمغان به میزان ۸۷۵/۹ گرم بر متر مربع حاصل شد. نتایج حاکی از آن است که رقم گوهران علی‌رغم برخورداری از شاخص سطح برگ پایین‌تر توانسته است با برخورداری از سرعت رشد مناسب‌تر از ماده خشک تولید شده بهتری برخوردار باشد که این امر منجر به تولید بیشترین ماده خشک کل در مقایسه با سایر ارقام شد. روند تغییرات ماده خشک کل ارقام جو (شکل ۴) در طی فصل رشد نیز حاکی از آن است که تا ۱۲۵ روز پس از کاشت اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین ارقام در تجمع ماده خشک کل مشاهده نشد ولی پس از آن رقم گوهران از سرعت بیشتری در تجمع ماده خشک نسبت به سایر ارقام برخوردار بود و این امر موجب شد که تا آخر فصل رشد ماده خشک کل بیشتری را نسبت به سایر ارقام تولید نماید.

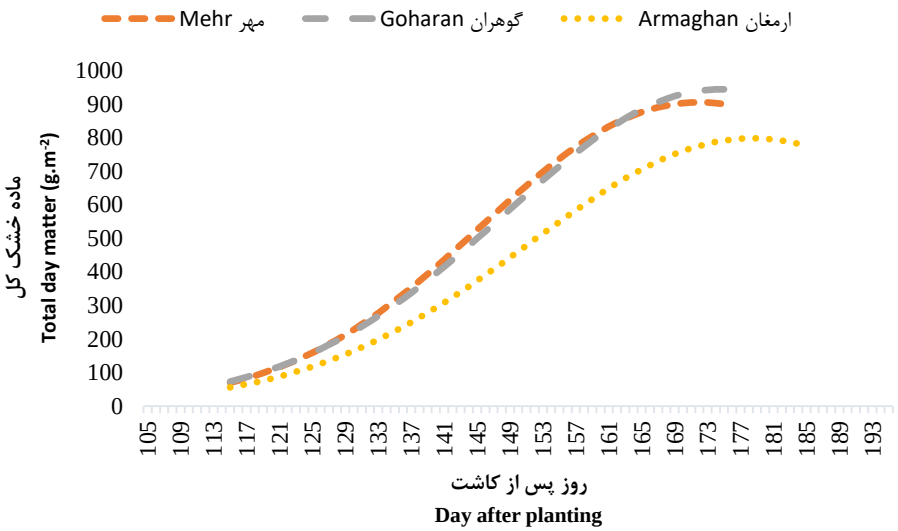
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول‌پاشی و ارقام جو

Table 4- Comparisons of the mean effects foliar spraying and barley cultivars in the drought environment

	تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Dry total matter($g.m^{-2}$)	سرعت رشد محصول Crop growth rate($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت جذب خالص Net assimilation rate($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت رشد نسبی growth Relative rate ($g.g.day^{-1}$)	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	عملکرد دانه Grain yield($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield($kg.ha^{-1}$)
محلول پاشی Foliar spraying	شاهد (آب) Control	2.5 c	939.6 b	22.57 b	10.99 a	0.02384 b	0.002844 c	3811 b	12660 c
	سولفات روی Zinc sulfate	3.767 a	886.6 c	23.60 ab	6.293 b	0.02654 a	0.004389 a	4493 a	13800 b
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	3.4 b	1021 a	23.67 ab	7.154 b	0.02338 b	0.003344 abc	3852 b	16130 a
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	2.633 c	650.6 d	15.80 c	6.754 b	0.02438 b	0.004133 ab	3599 b	11630 d
	سالیسیلیک اسید SA	3.333 b	1027 a	24.17 a	8.069 ab	0.02366 b	0.003256 bc	3478 b	14190 b
	LSD (5%)	0.2707	44.5	1.127	3.535	0.001087	0.001087	431	896.4
رقم Cultivar	گوهران Goharan	2.7 b	924.2 a	25.50 a	10.75 a	0.02800a	0.003087 b	4400 a	14070 a
	ارمغان Armaghan	3.4 a	875.9 b	19.36 c	5.959 b	0.02195 c	0.004013 a	3227 c	12460 b
	مهر Mehr	3.28 a	914.2 a	21.02 b	6.848 b	0.02313 b	0.003680 ab	3913 b	14510 a
	LSD (5%)	0.5597	35.23	0.7068	2.479	0.000762	0.0007617	228.7	820

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to LSD test.



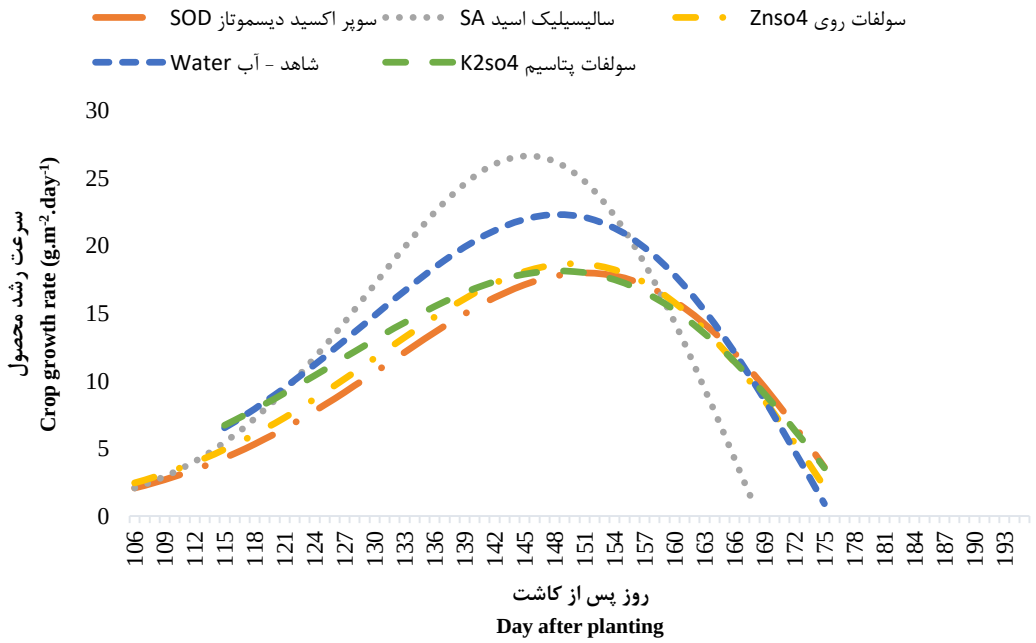
شکل ۴- روند تغییرات تجمع ماده خشک ارقام مختلف جو در طی فصل رشد

Figure 4- The trend total dry matter accumulation changes in different barley cultivars during the growing season

اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم بر تجمع ماده خشک کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش ماده خشک کل شدند که کمترین ماده خشک کل مربوط به سولفات روی بود. در رقم ارمغان اسید سالیسیلیک سبب کاهش ماده خشک شد و سایر محلول‌پاشی‌ها سبب

افزایش ماده خشک کل شدند که بیشترین ماده خشک کل مربوط به سوپر اکسید دیسموتاز بود. در رقم مهر تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش ماده خشک کل شدند که بیشترین میزان مربوط به سولفات پتاسیم بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد سطح فتوسنتزی حاصل‌شده در اثر برخی عناصر توانسته است در شرایط خشکی در مرحله رسیدگی ماده خشک مناسبی تولید نماید و سبب افزایش ماده خشک کل گردد و یا به‌عبارتی با افزایش شاخص سطح برگ ماده خشک کل نیز افزایش یابد.

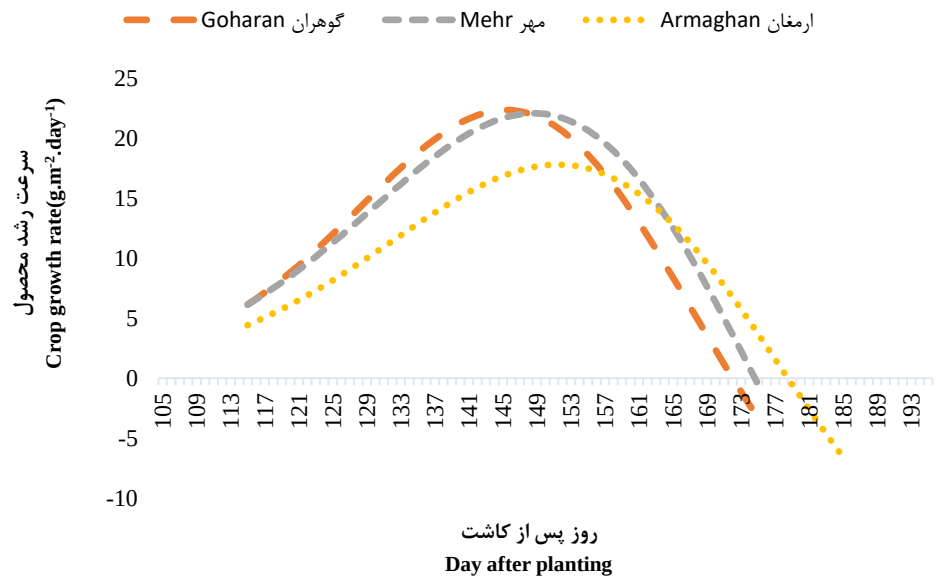
سرعت رشد محصول: سرعت رشد محصول به بهترین شکل، مفهوم رشد را می‌رساند و با بیان سرعت در واحد سطح زمین اثر متقابل تنفس و فتوسنتز نشان داده می‌شود (Rahimi, 2011). اثر محلول‌پاشی‌ها بر حداکثر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین سرعت رشد محصول به میزان ۲۴/۱۷ گرم بر متر مربع در روز توسط اسید سالیسیلیک حاصل شد که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی معنی‌دار بود. کمترین سرعت رشد محصول توسط سوپر اکسید دیسموتاز به میزان ۱۵/۸ گرم بر متر مربع در روز حاصل شد (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که به‌جزء سوپر اکسید دیسموتاز سایر محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش سرعت رشد محصول نسبت به شاهد شدند که این امر نشانگر هم‌روندی سرعت رشد محصول با شاخص سطح برگ و ماده خشک کل می‌باشد. روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی حاکی از آن است که تا ۱۲۰ روز پس از کاشت اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین محلول‌پاشی‌ها مشاهده نشد ولی پس از آن اسید سالیسیلیک در مقایسه با سایر محلول‌پاشی‌ها بیشترین میزان سرعت رشد محصول را طی فصل رشد حاصل نمود در صورتی‌که سوپر اکسید دیسموتاز در طی فصل رشد از کمترین میزان سرعت رشد محصول برخوردار بود (شکل ۵). در آزمایشی نشان داده شد که بالا بودن شاخص سطح برگ موجب تولید ماده خشک کل بالا نمی‌شود و میزان تولید مواد فتوسنتزی نقش ویژه‌ای دارد زیرا برگ‌های پائینی حالت مصرف‌کننده پیدا می‌کنند که در نتیجه آن ماده خشک کل افزایش نمی‌یابد (Joel *et al*., 1997). ضمن اینکه به‌نظر می‌رسد سوپراکسید دیسموتاز تولیدات فتوسنتزی را کاهش داده که در نتیجه سرعت رشد محصول کاهش یافته است.



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

Figure 5- The trend crop growth rate (CGR) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر رقم بر حداکثر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) بیشترین سرعت رشد محصول توسط رقم گوهران به میزان ۲۵/۵۰ گرم بر متر مربع به روز حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر ارقام داشت (جدول ۴). روند تغییرات سرعت رشد محصول ارقام جو در طی فصل رشد حاکی از آن است که ارقام گوهران و مهر از سرعت رشد محصول مناسب‌تری برخوردار بوده که این امر باعث شد ارقام گوهران و مهر ماده خشک کل بیشتری تولید نمایند و رقم ارمغان از میزان کمتری سرعت رشد محصول برخوردار باشد (شکل ۶). عکس‌العمل ارقام مختلف آفتابگردان در تولید سرعت رشد محصول به دلیل طول دوره رشد یکسان و پتانسیل ژنتیکی مشابه ممکن است خیلی نزدیک به هم باشد که اختلاف ناچیز در میزان ماده خشک تولیدی نمایان می‌گردد (Karimzadeh *et al*., 2004). سرعت رشد محصول در انتهای فصل رشد به دلیل انتقال مواد از اندام‌های رویشی به دانه‌ها به سرعت کاهش یافته و منفی نیز می‌گردد (Khalilvand *et al*., 2009). محققان بیان نمودند که تفاوت در سرعت رشد ارقام با توجه به اختلافات ژنتیکی خاصی است که ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک آنها را تعیین می‌کند (Elberse *et al*., 2004).

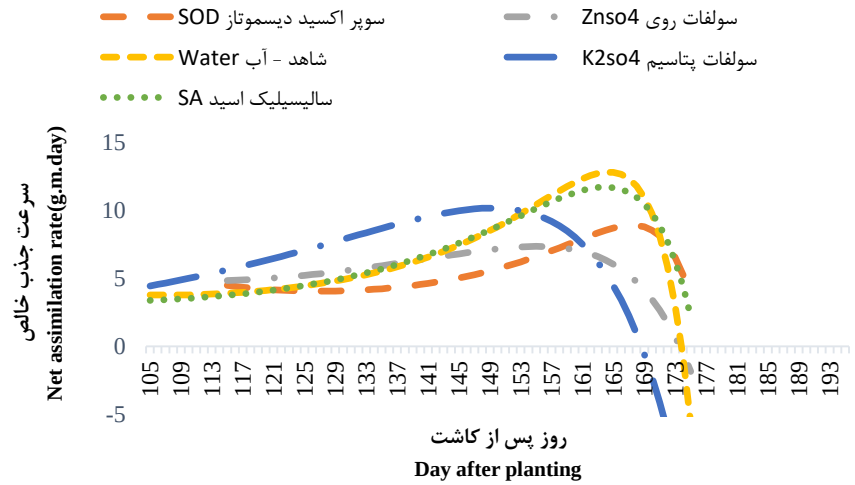


شکل ۶- روند تغییرات سرعت رشد محصول ارقام مختلف جو در طی فصل رشد
Figure 6- The trend crop growth rate changes in different barley cultivars during the growing season

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که به‌جزء سوپراکسید دیسموتاز، سایر محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش سرعت رشد محصول نسبت به شاهد شدند؛ به‌طوری‌که بین محلول‌پاشی‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). در رقم ارمغان اسید سالیسیلیک سبب کاهش سرعت رشد محصول شد در حالی‌که سایر محلول‌پاشی سبب افزایش سرعت رشد محصول شدند که بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به سولفات روی بود. در رقم مهر در تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش سرعت رشد محصول شدند که بیشترین میزان افزایش مربوط به سولفات پتاسیم بود (جدول ۵).

سرعت جذب خالص: اثر محلول‌پاشی‌ها بر حداکثر سرعت جذب خالص در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین سرعت جذب خالص مربوط به شاهد بود که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی‌ها معنی‌دار بود. کمترین سرعت جذب خالص مربوط به سولفات روی بود (جدول ۴). روند سرعت جذب خالص محلول‌پاشی‌ها نشان می‌دهد که شاهد بیشترین میزان سرعت جذب خالص را در مقایسه با سایر محلول‌پاشی‌ها در طی فصل رشد دارد (شکل ۷). به‌نظر می‌رسد پائین بودن شاخص

سطح برگ می‌تواند علت افزایش سرعت جذب خالص در رقم شاهد باشد و کاهش سرعت جذب خالص به دلیل ریزش زودتر برگ‌ها باشد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین سرعت جذب خالص با شاخص سطح برگ به میزان (r=-۰/۶۳۹**) مشاهده شد (جدول ۶) که نشان‌دهنده آن است که با افزایش شاخص سطح برگ، سرعت جذب خالص کاهش می‌یابد. با مسن شدن برگ‌ها، راندمان تولید هر برگ کاهش یافته و در نتیجه سرعت جذب خالص شروع به کاهش می‌کند که موجب بروز همبستگی منفی می‌گردد (Cox and Jollif, 1986).



شکل ۷- روند تغییرات سرعت جذب خالص تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

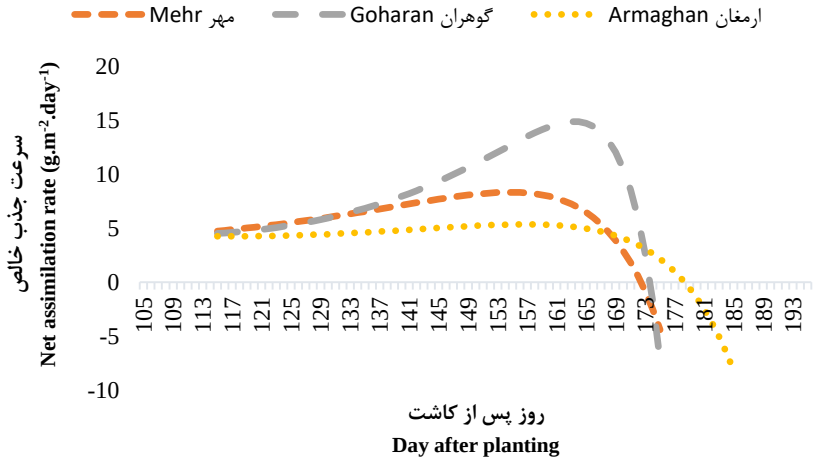
Figure 7- The trend of net assimilation rate (NAR) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر رقم بر حداکثر سرعت جذب خالص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین سرعت جذب خالص توسط رقم گوهران حاصل شد که اختلاف آن با سایر ارقام معنی‌دار بود. کمترین سرعت جذب خالص توسط رقم ارمغان حاصل شد که اختلاف آن با رقم مهر معنی‌دار نبود (جدول ۴). روند تغییرات سرعت جذب خالص ارقام جو در ابتدای فصل رشد روند افزایشی و از ۱۵۵ روز پس از کاشت روند نزولی داشت و کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که رقم ارمغان به دلیل شاخص سطح برگ بیشتر (شکل ۸) و سایه‌اندازی برگ‌های بالائی بر روی برگ‌های پائینی دارای سرعت جذب خالص کمتری نسبت به سایر ارقام بود. میزان سرعت جذب خالص با توجه آرایش برگ‌های گیاه و شرایط محیطی برای گیاهان مختلف یکسان نیست؛ اما عمدتاً پیشروی رشد گیاه به علت سایه‌اندازی متقابل برگ‌ها و کاهش راندمان فتوسنتزی برگ‌های پیرتر تنفس در برگ‌های پائینی یا فتوسنتز در برگ‌های بالائی به حال تعادل در می‌آیند به همین جهت سرعت جذب خالص به صفر سقوط می‌کند (Abdi *et al*., 2007).

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر سرعت جذب خالص در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که کمترین اثر مربوط به سولفات روی بود که اختلاف معنی‌داری با سایر محلول‌پاشی‌ها نداشت. بیشترین اثر توسط شاهد حاصل شد. در رقم ارمغان تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش سرعت جذب خالص شدند در حالی‌که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند، بیشترین اثر مربوط به اسید سالیسیلیک بود. در رقم مهر تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش سرعت جذب خالص شدند. بیشترین و کمترین اثر به ترتیب مربوط به سولفات پتاسیم و اسید سالیسیلیک بود (جدول ۵).

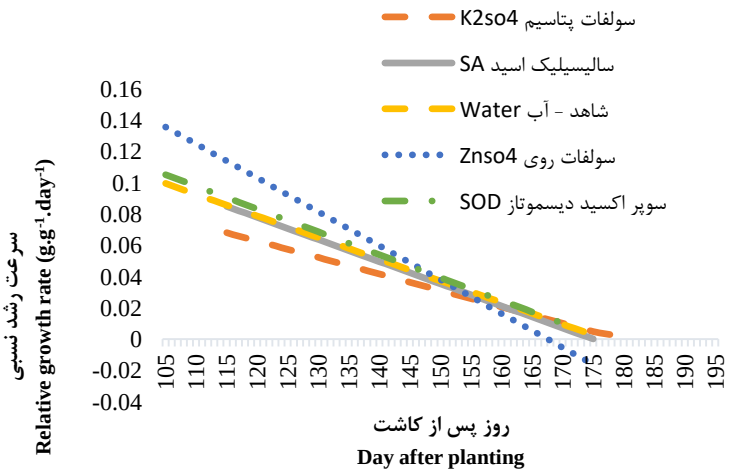
سرعت رشد نسبی: اثر محلول‌پاشی‌ها بر سرعت رشد نسبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین سرعت رشد نسبی به میزان ۰/۰۲۶۵۴ گرم بر گرم در روز توسط سولفات روی حاصل شد که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی‌ها معنی‌دار بود. کمترین سرعت رشد نسبی به میزان ۰/۰۲۳۳۸ گرم بر گرم در روز توسط سولفات پتاسیم حاصل شد که تفاوت

معنی‌داری با سایر محلول‌پاشی‌ها نداشت (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که با محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و اسید سالیسیلیک سرعت رشد نسبی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همبستگی منفی و بدون معنی بین حداکثر سرعت رشد نسبی با شاخص سطح برگ ($r=-۰/۱۶۳^{ns}$) ماده خشک کل ($r=-۰/۰۹۰$) و مثبت با سرعت رشد محصول ($r=۰/۵۲۷^{**}$) مشاهده شد (جدول ۶) که نشان‌دهنده آن است که با افزایش شاخص سطح برگ و ماده خشک کل، سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد در حالی‌که سرعت رشد محصول افزایش می‌یابد. روند تغییرات سرعت رشد نسبی در محلول‌پاشی‌ها حاکی از آن است که در طی فصل رشد سولفات روی نسبت به سایر محلول‌پاشی‌ها از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بود. از ۱۶۵ روز پس از کاشت در سولفات روی و ۱۷۴ روز پس از کاشت در سایر محلول‌پاشی‌ها سرعت رشد نسبی منفی شد (شکل ۹). سرعت رشد نسبی با تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد و به همین دلیل با گذشت زمان رشد گیاه با افزایش تعداد تنفس در اواخر دوره رشد منفی می‌گردد (Karimi 1991 and Siddique,). نتایج حاصل از مطالعات متعددی حاکی از آن است که پیری زودرس برگ‌های گیاه موجب کاهش هرچه بیشتر در سرعت رشد نسبی می‌شود (Abdi *et al*., 2007; 2002 Chimenti *et al*.,).



شکل ۸- روند تغییرات سرعت جذب خالص ارقام مختلف جو در طی فصل رشد

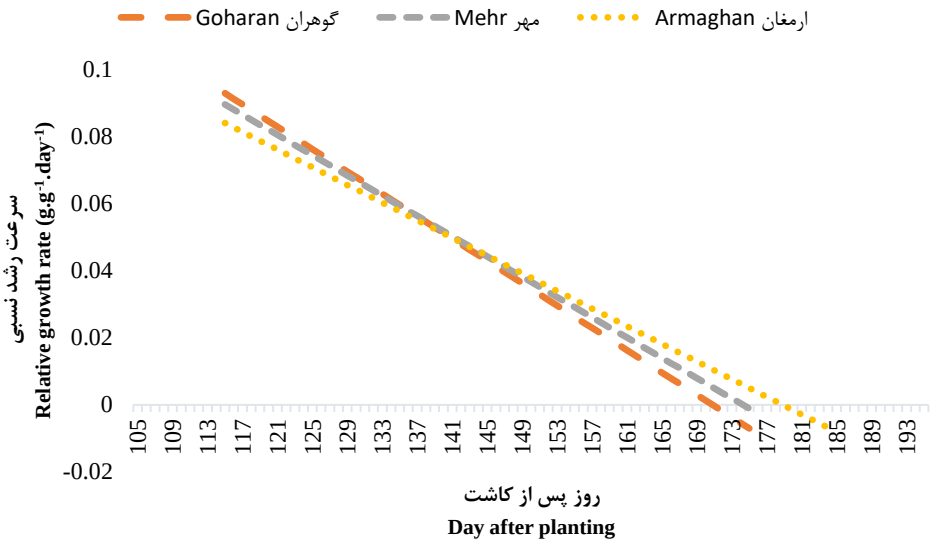
Figure 8- The trend of net absorption rate changes in different barley cultivars during the growing season



شکل ۹- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

Figure 9- The trend relative growth rate (RGR) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر رقم بر سرعت رشد نسبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین سرعت رشد نسبی توسط رقم گوهران حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام داشت. کمترین سرعت رشد نسبی نیز توسط رقم ارمغان حاصل شد که اختلاف آن با سایر ارقام معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشتر بودن سرعت رشد نسبی رقم گوهران نسبت به سایر ارقام به طور معنی‌داری وزن خشک بیشتری را تولید می‌نماید (جدول ۴). روند تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام مختلف نشان داد که رقم گوهران در طی فصل رشد نسبت به سایر ارقام از سرعت رشد نسبی بالاتری برخوردار بود و رقم ارمغان نیز کمترین سرعت رشد نسبی را در طی فصل رشد داشت (شکل ۱۰). بیشتر بودن سرعت رشد نسبی گوهران سبب شد که بیشترین ماده خشک کل را نسبت به سایر ارقام تولید نماید (جدول ۴). در مطالعات متعدد نیز نشان داده شده است ارقامی که از سرعت رشد نسبی بالاتری برخوردار باشند ماده خشک بیشتری نیز تولید می‌نمایند (Chimenti *et al*., 2002).

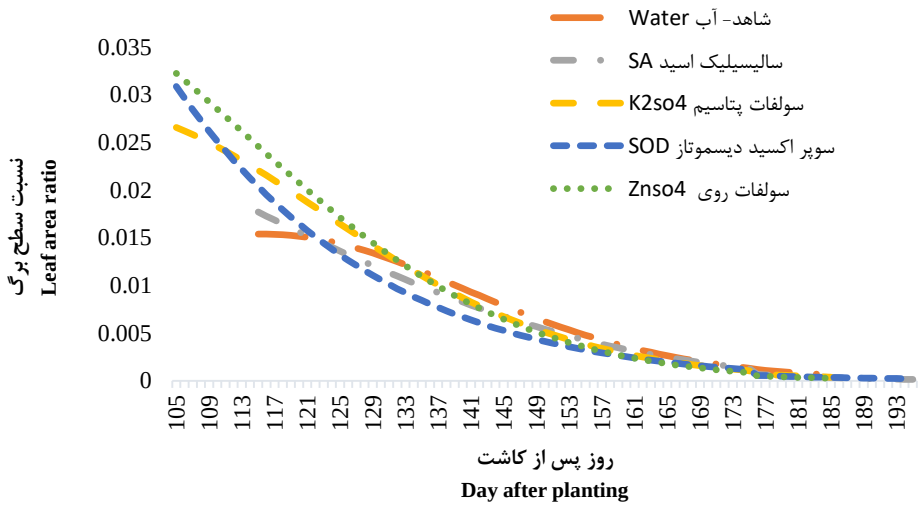


شکل ۱۰- روند تغییرات سرعت رشد نسبی ارقام مختلف جو در طی فصل رشد

Figure 10- The trend of relative growth rate changes in different barley cultivars during the growing season

اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم بر سرعت رشد نسبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که کمترین اثر مربوط به سولفات پتاسیم و بیشترین اثر توسط سوپر اکسید دیسموتاز حاصل شد (جدول ۴). در رقم ارمغان سالیسیلیک اسید سبب افزایش سرعت رشد نسبی گردید در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم سبب کاهش سرعت رشد نسبی شد. در رقم مهر تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش سرعت رشد نسبی شدند که بیشترین اثر توسط سولفات روی حاصل شد (جدول ۵).

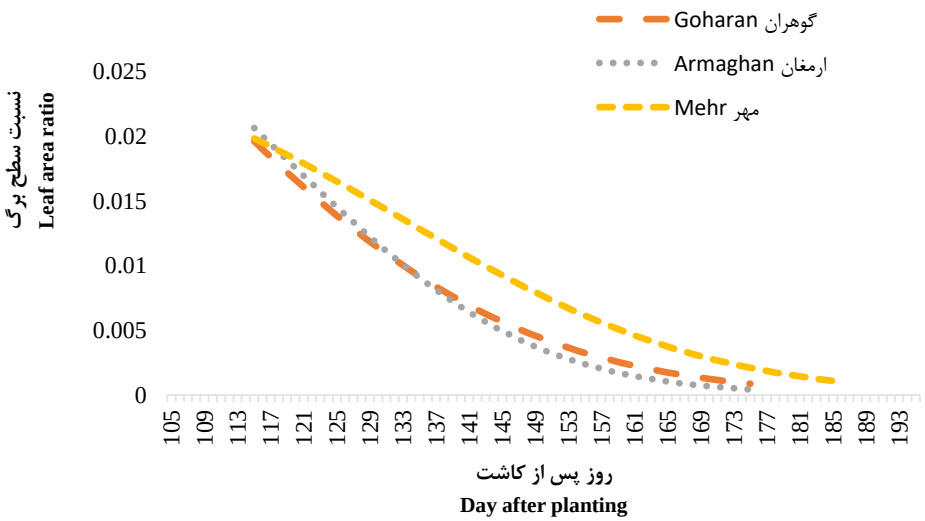
نسبت سطح برگ: اثر محلول‌پاشی‌ها بر نسبت سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین نسبت سطح برگ توسط سولفات روی حاصل شد که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی معنی‌دار بود. کمترین نسبت سطح برگ توسط شاهد حاصل شد که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی‌ها معنی‌دار بود. نتایج حاکی از آن است که با محلول‌پاشی نسبت سطح برگ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همبستگی معنی‌داری بین نسبت سطح برگ با سرعت جذب خالص ($r=-۰/۷۴۵^{**}$)، سرعت رشد نسبی ($r=-۰/۱۴۸$) مشاهده شد (جدول ۶) که این امر نشان‌دهنده آن است که با کاهش سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی، نسبت سطح برگ افزایش می‌یابد. روند تغییرات نسبت سطح برگ در محلول‌پاشی‌ها حاکی از آن است که در طی فصل رشد شاهد نسبت به سایر محلول‌پاشی‌ها از نسبت سطح برگ کمتری برخوردار بود در حالی‌که سولفات روی از بیشترین نسبت سطح برگ برخوردار بود و سایر محلول‌پاشی‌ها تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ – روند تغییرات نسبت سطح برگ تحت تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در طی فصل رشد

Figure 11- The trend of leaf area ratio (LAR) changes under different foliar spraying treatments during the growing season

اثر رقم بر نسبت سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین نسبت سطح برگ توسط رقم ارمغان حاصل شد که اختلاف آن با سایر ارقام معنی‌دار بود. کمترین نسبت سطح برگ نیز توسط رقم گوهران حاصل شد (جدول ۴). روند تغییرات نسبت سطح برگ در ارقام مختلف نشان داد که رقم ارمغان در طی فصل رشد نسبت به سایر ارقام از نسبت سطح برگ بالاتری به‌دلیل شاخص سطح برگ بالاتر برخوردار بود و رقم گوهران نیز به دلیل وزن خشک بالا، کمترین نسبت سطح برگ را در طی فصل رشد داشت (شکل ۱۲). همچنین بین نسبت سطح برگ و ماده خشک کل ارتباط معکوسی وجود دارد.



شکل ۱۲– روند تغییرات نسبت سطح برگ ارقام مختلف جو در طی فصل رشد

Figure 12- The trend of leaf area ratio changes in different barley cultivars during the growing season

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر نسبت سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که تمام محلول‌پاشی سبب افزایش نسبت سطح برگ شدند که بیشترین اثر توسط سوپر

اکسید دیسموتاز حاصل شد. کمترین اثر مربوط به شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با سایر محلول‌پاشی‌ها داشت. در رقم ارمغان بیشترین اثر توسط شاهد حاصل شد در حالی‌که سوپر اکسید دیسموتاز سبب کاهش نسبت سطح برگ شد. در رقم مهر بیشترین اثر توسط شاهد حاصل شد در حالی‌که کمترین اثر مربوط به سولفات پتاسیم بود (جدول ۵).

عملکرد بیولوژیکی: اثر محلول‌پاشی‌ها بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیکی به میزان ۱۶۱۳۰ کیلوگرم در هکتار توسط سولفات پتاسیم حاصل شد که اختلاف آن با سایر محلول‌پاشی‌ها معنی‌دار بود. کمترین عملکرد بیولوژیکی به میزان ۱۱۶۳۰ کیلوگرم در هکتار توسط سوپر اکسید دیسموتاز حاصل شد (جدول ۴).

نتایج حاکی از آن است که به‌جز سوپراکسید دیسموتاز سایر محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی شدند که به‌نظر می‌رسد این امر به دلیل کاهش شاخص سطح برگ در اثر محلول‌پاشی با سوپر اکسید دیسموتاز بود. اثر رقم بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیکی توسط رقم مهر به میزان ۱۴۵۱۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و کمترین عملکرد بیولوژیکی توسط رقم ارمغان حاصل شد.

نتایج حاکی از آن است که رقم مهر به دلیل پتانسیل ژنتیکی ویژه‌ای در مقایسه با سایر ارقام در تولید شاخص سطح برگ از عملکرد بیولوژیکی بالاتری برخوردار است. اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که به‌جز سوپر اکسید دیسموتاز سایر محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش عملکرد بیولوژیکی شدند که کمترین عملکرد بیولوژیکی توسط سولفات روی حاصل شد. در رقم ارمغان به‌جز اسید سالیسیلیک سایر محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی شدند که بیشترین عملکرد بیولوژیکی توسط سولفات پتاسیم حاصل شد. در رقم مهر تمام محلول‌پاشی‌ها سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی شدند که بیشترین عملکرد بیولوژیکی توسط اسید سالیسیلیک حاصل شد. گزارش داده شد که سولفات پتاسیم بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی اثر معنی‌داری داشت (Yaghoobi *et al*., 2018).

عملکرد اقتصادی: اثر محلول‌پاشی بر عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد اقتصادی به میزان ۴۴۹۳ کیلوگرم در هکتار توسط سولفات روی حاصل شد. کمترین عملکرد اقتصادی توسط اسید سالیسیلیک به میزان ۳۴۷۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که سولفات روی و سولفات پتاسیم سبب افزایش عملکرد اقتصادی و سوپراکسیددیسموتاز و سالیسیلیک اسید سبب کاهش عملکرد اقتصادی شدند. تعدادی از محققین اعلام داشتند که سالیسیلیک اسید بر شاخص سطح برگ، وزن هزاردانه، عملکرد و اجزای عملکرد اثر مثبت و معنی‌داری دارد (Ebrahimi and Jafari Haghighi, 2012; Tohidi and Fallahi, 2016).

اثر رقم بر عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد اقتصادی به میزان ۴۴۰۰ کیلوگرم در هکتار توسط رقم گوهران حاصل شد در حالی‌که رقم ارمغان کمترین عملکرد اقتصادی به میزان ۳۲۲۷ کیلوگرم در هکتار را حاصل کرد که با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت. اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم گوهران نشان داد که به‌جز سوپراکسیددیسموتاز سایر محلول‌پاشی سبب کاهش عملکرد اقتصادی شدند که کمترین عملکرد اقتصادی به میزان ۲۷۳۲ کیلوگرم در هکتار توسط سولفات روی حاصل شد. در رقم ارمغان تمام محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش عملکرد اقتصادی شدند که کمترین عملکرد اقتصادی به میزان ۳۲۷۷ کیلوگرم در هکتار توسط اسید سالیسیلیک حاصل شد. در رقم مهر سولفات پتاسیم به میزان ۴۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش عملکرد اقتصادی شد در حالی‌که سایر محلول‌پاشی‌ها سبب کاهش عملکرد اقتصادی شدند که کمترین عملکرد مربوط به اسید سالیسیلیک به میزان ۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اثر متفاوتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ارقام جو داشت. رقم‌های مورد استفاده به محلول‌های بکار برده شده واکنش‌های متفاوتی داشتند. محلول‌پاشی سولفات روی نسبت به سایر محلول‌پاشی‌ها نتیجه مطلوب‌

تری را از خود نشان داد که احتمال داده می‌شود به جهت تأثیرگذاری سریع بر مکانیسم‌های مختلف مؤثر در رشد و نمو گیاه باشد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی‌ها سبب گردیده که رقم گوهران نسبت به سایر ارقام بیشترین میزان ماده خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی را تولید نماید که نشان از استفاده بهینه از شرایط محیطی و تولید عملکرد بالاتر می‌باشد. پس بهتر است که تحت شرایط تنش خشکی رقم گوهران مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی و رقم بر صفات مورد ارزیابی جو

Table 5- Comparisons of the mean effect of foliar spraying and cultivar on evaluated traits of barley

رقم Cultivar	محلول‌پاشی Foliar	شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک کل Total dry matter($g.m^{-2}$)	سرعت رشد محصول Crop growth rate($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت جذب خالص Net assimilation rate($g.m^{-2}.day^{-1}$)
گوهران Goharan	شاهد (آب) Control	2.1 de	1161 a	30.70 a	18.56 a
	سولفات روی Zinc sulfate	3 bcde	745.9 f	17.20 g	5.82 bc
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	2.4 de	912.3 de	19.80 f	8.59 bc
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	3.8 abc	927.5 de	31.90 a	8.44 bc
	سالیسیلیک اسید SA	4.2 ab	1085 ab	24.10 bcd	5.86 bc
ارمغان Armaghan	شاهد (آب) Control	3.3 bcd	647.2 g	14.80 h	4.57 bc
	سولفات روی Zinc sulfate	3.2 bcd	953 cd	25.60 b	8.10 bc
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	3.8 abc	1021 bc	21.40 e	5.76 bc
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	3.2 bcd	1088 ab	24.00 cd	7.61 bc
	سالیسیلیک اسید SA	1.8 e	480.7 h	13.90 h	8.56 bc
مهر Mehr	شاهد (آب) Control	3.3 bcd	613.6 g	10.80 i	3.37 c
	سولفات روی Zinc sulfate	2.8 cde	857.5 e	22.70 de	8.34 bc
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	2.6 cde	1099 ab	25.40 bc	10.08 b
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	2.7 cde	914 de	23.30 d	8.99 b
	سالیسیلیک اسید SA	4.7 a	1066 b	23.80 d	5.14 bc
LSD (5%)		1.252	78.77	1.580	5.543

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to LSD test.

ادامه جدول ۵
Table 5- Continued

رقم Cultivar	محلول‌پاشی Foliar	سرعت رشد نسبی Relative growth rate(g.g.day^{-1})	نسبت سطح برگ Leaf area ratio	عملکرد دانه Grain yield(kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیکی Biological yield(kg.ha^{-1})
گوهران Goharan	شاهد (آب) Control	0.02647 c	0.001800 e	5242 a	15360 bc
	سولفات روی Zinc sulfate	0.02337 d	0.004100 abcd	2732 i	9937 g
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	0.02170 de	0.002633 cde	3460 defg	12690 de
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	0.03443 a	0.004133 abc	5262 a	17480 a
	سالیسیلیک اسید SA	0.02230 de	0.003867 abcd	2955 ghi	10040 g
ارمغان Armaghan	شاهد (آب) Control	0.02290 d	0.005167 a	5261 a	13870 cde
	سولفات روی Zinc sulfate	0.02703 c	0.003367 bcde	3969 bcd	15380 bc
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	0.02100 e	0.003733 abcd	3413 efgh	16660 ab
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	0.02210 de	0.002933 bcde	4174 bc	16360 ab
	سالیسیلیک اسید SA	0.02897 b	0.003733 abcd	3277 fgh	9582 g
مهر Mehr	شاهد (آب) Control	0.01760 f	0.005433 a	3799 bcde	10830 fg
	سولفات روی Zinc sulfate	0.02657 c	0.003233 bcde	3722 cdef	14490 cd
	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	0.02310 d	0.002400 de	4250 b	12570 ef
	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	0.02550 c	0.002933 bcde	3237 fghi	14840 bc
	سالیسیلیک اسید SA	0.02237 de	0.004433 ab	2948 hi	15150 bc
LSD (5%)		0.001703	0.001703	511.4	1834

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.
In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to LSD test.

جدول ۶- همبستگی شاخص‌های رشد ارقام مختلف جو
Table 6- Correlation of growth indices of different barley cultivars

	LAI	TDM	CGR	NAR	RGR	LAR	GY	BY
شاخص سطح برگ LAI	1							
ماده خشک کل TDM	0.235^{ns}	1						
سرعت رشد محصول CGR	0.119	0.787**	1					
سرعت جذب خالص NAR	-0.639**	0.336*	0.502**	1				
سرعت رشد نسبی RGR	-0.164^{ns}	-0.090^{ns}	0.527**	0.356*	1			
نسبت سطح برگ LAR	0.665**	0.527**	-0.498**	-0.745**	-0.148	1		
عملکرد دانه GY	-0.124*	0.087	0.348*	0.289*	0.358*	-0.098	1	
عملکرد بیولوژیکی BY	0.264*	0.488**	0.595**	0.120	0.254*	-0.133	0.463**	1

References

Abdi, S., Moghadam, A.G. and Ghadimzadeh, M. 2007. Effects of different levels defoliation in reproductive stages on grain yield and oil content in two sunflower cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 40: 245-255. (In Persian).

Al-Whaibi, M.H., Siddiqui, M.H. and Basalah, M.O. 2011. Salicylic acid and calcium-induced protection of wheat against salinity. *Protoplasma*, 249: 769-778.

Arif, M., Tasneem, M., Bashir, F., Yahseen, G. and Anwar, A. 2017. Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on growth and yield of wheat. *International Journal of Biosensors and Bioelectronics*, 3(2): 57-62.

Chimenti, C.A., Pearson, J. and Hall, D. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research*, 75: 235-246.

Cox, W.J. and Jolliff, G.D. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal*, 78(2): 226-230.

Ebrahimi, M. and Jafari Haghghi, B. 2012. The effect of salicylic acid application on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) in drought stress condition. *Journal of Plant Ecophysiology*, 4(1): 1-13. (In Persian).

Elberse, I.A., Vanhala, M.T.K., Turin, J.H.B., Stam, P., Van Damme, J.M.M. and Van Tienderen, P.H. 2004. Quantitative trait loci affecting growth-related traits in wild barley (*Hordeum spontaneum*) grown under different levels of nutrient supply. *Heredity*, 93(1): 22-33.

Gholami, R., Moalemi, N.A., Khaleghi, E. and Sayed Nejad, S.M. 2018. The effect of potassium, boron and zinc foliar application on fruit characteristics of some Olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Sciences*, 32(3): 459-470. (In Persian).

Hu, W., Loka, D.A., Fitzsimons, T.R., Zhou, Z. and Oosterhuit, D.M. 2018. Potassium deficiency limits reproductive success by altering carbohydrate and protein balances in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 145: 87-94.

Hussain, H., Fasih Khalid, M., Hussain, M., Arif Ali, M., Nawaz, A., Zakir, I., Fatima, Z. and Ahmad, S. 2018. Plant nutrients and abiotic stress tolerance. *Springer Nature Singapore Pte Ltd. Chapter 15, Role of micronutrients in salt stress tolerance to plants*. p. 363-376.

Joel, G., Gamon, G.A. and Field, H. 1997. Production efficiency in sunflower: The role of water and nitrogen stress. *Remote Sensing of Environment*, 62(2): 176-188.

Karimi, M.M. and Siddique, K.H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agriculture Research*, 42: 13-20.

Karimzadeh-Asl, KH., Mazaheri, D. and Peyghambari, S.A. 2004. Effect of four irrigation cycles on yield and quantitative traits of three sunflower cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 34(2): 293-301. (In Persian).

Khalilvand, E., Yarnia, M. and Aghami, A. 2009. Effects of drought stress and plant density on yield and some morphological traits and Sunflower physiological. *The first national conference on oilseeds*. (In Persian).

Kobraee, S., Shamsi, K. and Rasekhi, B. 2011. Effect of micronutrients application on yield and yield components of soybean. *Annals of Biological Research*, 2: 476-482.

Koochaki, A.R., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri, M. and Sadrabadi, R. 1991. Physiological foundations of crop growth and development. *Astane Ghodse Razavi Press*, 404pp. (In Persian).

Lv, X., Li, T., Wen, X., Liao, Y. and Liu, Y. 2017. Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. *Field Crops Research*, 206: 95-105.

Oosterhuit, D.M., Loka, D.A. and Raper, T.B. 2013. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3): 331-343.

Ouzuni Douji, A.A., Esfahani, M., Samizadeh Lahiji, H.A. and Rabiei, M. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous and petalled flowers rapeseed (*Brassica Bapus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9(4): 382-400. (In Persian).

Pereira, S.I.A., Moreira, H., Argyras, K. and Castro, P.M.L. 2016. Promotion of sunflower growth under saline water irrigation by the inoculation of beneficial microorganisms. *Applied Soil Ecology*, 105: 36-47.

Rahimi, A. 2011. Effect of salinity stress on growth analysis of isabgul, french psyllium and great plantain. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticulture*, 2(4): 27-39. (In Persian).

Ren, D., Xu, X., Hao, Y. and Huang, G. 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: application to maize, sunflower and watermelon. *Journal of Hydrology*, 532: 122-139.

Samarah, N.H. 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, 25: 145-149.

Slafer, G.A. 1994. Genetic improvement of field crops. *Marcel Dekker Publication. New York*. 470pp.

Soleymani, A., Khajepour, M.R., Noormohamadi, G.H. and Sadeghyian, Y. 2003. Effect of planting date and pattern on some physiological growth indices of sugar beet. *Journal of Agricultural Science*, 9(1): 105-123. (In Persian).

Tohidi, M. and Fallahi, R. 2016. Evaluation of yield and yield components of maize by foliar application of salicylic acid. *Journal of Crop Ecology*, 10(3): 645-656. (In Persian).

Torabian, **SH. and Zahedi, M.** 2013. Effects of foliar application of common and nano-sized of iron sulphate on the growth of sunflower cultivars under salinity. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(1): 109-118. (In Persian).

Yaghoobi, S.R., Roozbahani, A. and Akhavn Mohseni, M.R. 2018. Evaluating of the role of soluble potassium sulfate and chelated iron on corn yield and yield components under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(4): 599-614. (In Persian).

Zahoor, R., Zhao, W., Dong, H., Snider, J.L., Abid, M., Iqbal, B. and Zhou, **Z.** 2017. Potassium improves photosynthetic tolerance to and recovery from episodic drought stress in functional leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 119: 21-32.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 3, Issue 2, Autumn and Winter 2022, P. 319-337

Evaluation of the effect of foliar application on some physiological indicators affecting the growth and yield of barley cultivars under drought stress conditions

Ramin Rowshani[1], Ali Soleymani[2*], Mehrdad Mahlooji[3], Mohammad Reza Naderi[4]

[1]Ph. D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
[2]Plant Improvement and Seed Production Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
[3]Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
[4]Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan(Khorasgan) Branch,Islamic Azad University, Isfahan,Iran.

[*]Corresponding Author: A_soleymani@khuisf.ac.ir

Received: 31 July 2021 Accepted: 16 December 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.297001.1111**

Abstract

In order to investigate the effect of foliar application on some physiological indicators of growth of barley cultivars, a study in the form of split plots in the form of complete randomized block design with three replications was performed at Kabutar Abad Agricultural Research Station in Isfahan in 2017-2018 cropping year. Treatments included five levels of foliar application ie: no foliar application, zinc sulfate, potassium sulfate, salicylic acid and superoxide dismutase in the tillering phase with an interval of seven days and in three turns, in the main plots and cultivar factor including Goharan, Mehr and Armaghan were placed in the sub-plots. Irrigation was complete and limited. The results showed that foliar application of zinc sulfate increased the leaf area index (50%), relative growth rate (11%), leaf area ratio (54%) and grain yield (18%) compared to the control and the highest leaf area index and leaf area ratio were obtained by the Armaghan cultivar. The highest total dry matter (1027 $g.m^{-2}$) content and crop growth rate (24.17 $g.m^{-2}.day^{-1}$) were obtained by salicylic acid and the highest net absorption rate (10.99 $g.m^{-2}.day^{-1}$) was obtained by control solution. During the growing season, the highest amount of total dry matter, crop growth rate, net absorption rate and relative growth rate were produced by Goharan cultivar compared to other cultivars, which indicates the optimal use of environmental conditions and higher yield production.

Keywords: Potassium sulfate, Salicylic acid, Superoxide dismutase, Zinc sulfate