ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا

ابراهیم فانی[۱]، پیمان حسیبی[۲*]، موسی مسکرباشی[۳]، خسرو مهدی خانلو[۴] و سید عبدالرضا سید احمدی[۵]

۱) دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۳) استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۴) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۵) مدیر زراعی سازمان کشاورزی استان خوزستان، ایران.

***نویسنده مسئول: paymanhassibi@gmail.com**

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸**

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا، آزمایشی در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بهبهان اجرا شد. در پژوهش حاضر اثر غلظت‌های صفر و ۳۰ میلی مولار سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۲۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده) و شرایط تنش خشکی (آبیاری بعد از ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده) بر روی ۴ رقم کلزا شامل هایولا ۴۰۱، آگامکس، جاکامو و جری در دوره گل‌دهی به‌صورت طرح اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. بر اساس نتایج، شاخص فتوسنتزی، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b تحت شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مطابق با جدول مقایسه میانگین در حالت محلول‌پاشی سیلیس، اختلاف میزان شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b نسبت به عدم محلول‌پاشی معنی‌دار بود. میزان شاخص کلروفیل در حالت تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری معمولی افزایش یافت که علت آن کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی بود. با توجه به نتایج، چون ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس شرایط بهتری ازلحاظ صفات فیزیولوژیکی در مقایسه با ارقام جاکامو و جری داشتند، پیشنهاد می‌گردد در مناطقی از کشور که با تنش کم‌آبی مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تعرق، خشکی، فتوسنتز، کلزا و محلول‌پاشی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

مقدمه

کلزا بعد از نخل روغنی و سویا، سومین گیاه روغنی دنیا ازنظر مصرف خوراکی به شمار می‌آید (FAO, 2011). سازگاری کلزا به شرایط متفاوت محیطی و امکان توسعه‌ی کشت آن، نقطه امیدی جهت تولید روغن موردنیاز کشور است (فتحی و همکاران، ۱۳۸۹). اثر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد (Maghsoudi *et al*., 2013). هم‌چنین کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است. این آنزیم سوخت‌وساز دی‌اکسید کربن را تنظیم کرده و در تثبیت دی‌اکسید کربن توسط گیاهان نقش مهمی دارد (Sonobe *et al*., 2011). غلظت بیش‌تر این آنزیم می‌تواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (Maghsoudi *et al*., 2013). نتایج بعضی پژوهش‌ها حاکی از آن است که کاربرد سیلیس به میزان ۲/۵ میلی مولار سبب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی از جمله شوری در گیاه گندم شده است (Maghsoudi and Emam, 2016). کلروفیل مهم‌ترین رنگدانه جذب‌کننده نور در غشاهای تیلاکوئیدی می‌باشند (Hopkins and Hopkins, 2004). تنش خشکی با تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر باعث خسارت و القای تنش اکسیداتیو می‌شود که منجر به خسارت به رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Ashraf and Ali, 2008). شاخص کلروفیل که بیانگر غلظت کلروفیل در واحد سطح است از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز است و به نحوی قدرت منبع را مشخص می‌کند (Ghosh *et al*., 2004). شاخص کلروفیل تحت تنش خشکی با کوچک شدن و فشرده شدن سلول و برگ افزایش می‌یابد (Siddiqui *et al*, 2008). یکی از مراحل حساس به تنش خشکی در کلزا، مرحله گل‌دهی است (Qifuma *et al*., 2006). هدف از این آزمایش بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا مانند شاخص فتوسنتزی، شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، میزان کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه بهبهان به مختصات ۵۹′ ۳۰° شمالی و ۲۴′ ۵۰° شرقی انجام گرفت. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع از سطح دریا ۳۲۵ متر و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر است. ویژگی‌های خاک منطقه در جدول ۱ مشخص شده است. ارقام مورد بررسی در آزمایش عبارت بودند از: هایولا ۴۰۱ آگامکس (V_2)، جاکامو (V_3) و جری (V_4). آبیاری دارای دو سطح بود: ۱- آبیاری بعد از ۲۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل‌استفاده (معمولی یا D_1)، ۲- آبیاری بعد از ۷۵ درصد آب قابل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

استفاده (تنش خشکی یا D_2) (فتحی و عنایت قلی‌زاده، ۱۳۸۹). محلول‌پاشی دارای دو سطح عدم محلول‌پاشی (S_0) و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌مولار (S_1) بود.

جدول ۱: نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک (سانتیمتر)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر مربع)	اسیدیته خاک	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	چگالی مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد)	بافت خاک
۰-۳۰	۳/۹۴	۷/۱۸	۶۷/۵۴	۶۰۶	۲/۶	۱/۳۱	۲۰/۴۱	۴/۷۰	سیلت

نحوه‌ی پیدا نمودن ۲۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل استفاده (معمولی یا D_1) و آبیاری بعد از ۷۵ درصد آب قابل استفاده (تنش خشکی یا D_2) به این صورت بود که رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه‌ی پژمردگی در دوره گل‌دهی اندازه‌گیری شد و بر اساس آن میزان رطوبت قابل استفاده محاسبه و ۲۵ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و آبیاری معمولی انجام شد و ۷۵ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و تنش خشکی اعمال شد (سید احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). از روش وزنی (رابطه ۱) برای محاسبه میزان آب مصرفی برای آبیاری در حالت آبیاری معمولی و تنش خشکی استفاده شد (گوشه و همکاران، ۱۳۸۵):

رابطه ۱: $$I=\frac{\theta_{FC}-\theta_{1}}{1}\times P\times D$$

θ_1= رطوبت خاک هنگام آبیاری (درصد وزنی)، θ_{FC}= رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)، P= چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D= عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر)، I= ارتفاع آب آبیاری (سانتیمتر). به‌وسیله‌ی رابطه‌ی ۲، حجم آب آبیاری موردنیاز به لیتر در هر کرت برآورد گردید:

رابطه ۲: $$V=I\times A\times 1000$$

V= حجم آب آبیاری (لیتر)، I= ارتفاع آب آبیاری (سانتیمتر). از محلول سیلیکات پتاسیم در دو سطح (۰ و۳۰ میلی‌مولار) به‌عنوان تیمار محلول‌پاشی در ابتدای دوره گل‌دهی استفاده شد (Thang *et al*., 2015). بعد از دو هفته از اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی در هر مرحله رشدی (دو هفته بعد از شروع ساقه‌دهی، گل‌دهی، خورجین‌دهی و پر شدن دانه) پارامترهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شدند (Bi- Li *et al*., 2015).

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل (SPAD)، به‌وسیله دستگاه کلروفیل متر مدل CCM-200 plus, Opti- Sciences Inc, NA., USA و با استفاده از سومین برگ توسعه‌یافته بالای گیاه انجام شد. سومین برگ توسعه یافته بالای گیاه برای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و تعرق تعیین شد. سرعت فتوسنتز و تعرق دو هفته بعد از اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس در مرحله گلدهی، از ساعت ۱۱-۹ صبح به‌وسیله دستگاه فتوسنتزمتر مدل KR 8700 system; Korea Tech Inc. Suwon., Korea اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a و b مطابق با روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) و با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ اندازه‌گیری شد:

رابطه ۳: $Chla=12/25(A664)-2/79(A647)$

رابطه ۴: $Chlb=21/21(A647)-5/1(A664)$

برای اندازه‌گیری شاخص فتوسنتزی، از دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل Pocket Pea استفاده شد. ابتدا به‌وسیله‌ی قرار دادن گیره بر روی سطح برگ سوم، برگ به مدت ۲۰ دقیقه در حالت تاریکی قرار گرفت، سپس بااتصال رابط دستگاه به برگ و تنظیم آن، شاخص فتوسنتزی اندازه‌گیری شد. داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS 9.2 آنالیز و برای مقایسه میانگین اثرهای ساده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص فتوسنتزی[1] (PI)

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس ۲، اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر شاخص فتوسنتزی، در سطح ۱ درصد وجود داشت. جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بین ارقام ازلحاظ شاخص فتوسنتزی تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص فتوسنتزی به ترتیب با ۲/۸۹۲ و ۲/۶۷۶ به رقم هایولا ۴۰۱ و جاکامو اختصاص داشت. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بین محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی سیلیس تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. Lotfi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که در حالت محلول‌پاشی موادی مانند فولویک اسید در تنش شدید خشکی، میزان شاخص فتوسنتزی به ۲/۲۰ می‌رسد که در مقایسه با عدم محلول‌پاشی بیشتر است (۲/۲۰ در مقایسه با ۱/۸۰) اما تفاوت معنی‌دار نبود.

سرعت فتوسنتزی[2] (PR)

نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر سرعت فتوسنتزی، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، سرعت فتوسنتز ۸/۹۷ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه و در شرایط تنش خشکی ۵/۱۵ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه بود که باهم تفاوت معنی‌دار داشتند. مقایسه میانگین جدول ۳ نشان داد که سرعت فتوسنتز ارقام

1- Photosynthesis index
2- Photosynthesis rate

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

هایولا ۴۰۱ و جری به ترتیب با ۸/۵۶ و ۷/۳۳ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه تفاوت معنی‌داری با هم داشتند، اما این ارقام با ارقام آگامکس و جاکامو که به ترتیب دارای سرعت فتوسنتز ۶/۲۵۱ و ۶/۱۰۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه بودند، تفاوت معنی‌دار داشتند. ارقام آگامکس و جاکامو باهم تفاوت معنی‌دار نداشتند. محلول‌پاشی با میانگین سرعت فتوسنتزی ۷/۴۷۵ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه نسبت به عدم محلول‌پاشی با میانگین سرعت فتوسنتزی ۶/۶۵۴ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، تفاوت معنی‌داری از لحاظ سرعت فتوسنتزی داشت (جدول ۳). تنش ملایم خشکی، میزان فتوسنتز را همراه با کاهش میزان تعرق بیش‌تر از طریق عوامل قابل‌برگشت روزنه‌ای کاهش می‌دهد، اما در شرایط شدیدتر تنش یا در تنش‌های طولانی، عوامل غیر روزنه‌ای نیز مزید بر علت شده و اثر نامطلوب تنش عموماً غیرقابل‌برگشت می‌گردد (Ahmadi and Baker, 2000). تنش رطوبتی از طریق برهم زدن واکنش‌های بیوشیمیایی مسیر فتوسنتزی، موجب کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود (Lauer and Boyer, 1992). نتایج تحقیقات منجم و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی نشان داد که در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی سرعت فتوسنتزی به ترتیب با ۹/۵۰ و ۷/۹ میکرومول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه باهم تفاوت معنی‌دار داشتند، به عبارتی سرعت فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ۱۶/۸۴ درصد کمتر از شرایط آبیاری معمولی بود که می‌تواند به علت تخریب کلروفیل در شرایط تنش خشکی باشد.

شاخص کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و سطوح محلول‌پاشی از نظر شاخص کلروفیل، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، شاخص کلروفیل ۴۱/۹۰ و در شرایط تنش خشکی ۵۹/۱۶ است که با هم تفاوت معنی‌دار دارند. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که شاخص کلروفیل ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۵۳/۰۰۸ و ۵۲/۸۲۸ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند، اما این ارقام با ارقام آگامکس و هایولا ۴۰۱ که به ترتیب دارای شاخص کلروفیل ۴۹/۸۰۵ و ۴۶/۴۹۶ هستند، تفاوت معنی‌دار دارند. ارقام آگامکس و هایولا باهم تفاوت معنی‌دار ندارند. محلول‌پاشی با میانگین شاخص کلروفیل ۵۳/۸۴۳ نسبت به عدم محلول‌پاشی با میانگین شاخص کلروفیل ۴۷/۲۲۶، تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص کلروفیل دارد (جدول ۳). تحقیقات یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی کلزا نشان شد که میزان شاخص کلروفیل در زمان اعمال تنش خشکی در رقم هایولا ۴۰۱ ۵۷/۲۰ و در شرایط آبیاری معمولی ۵۴/۴۰ بود یعنی در شرایط تنش خشکی میزان شاخص کلروفیل ۴/۸۹ درصد افزایش یافت. محلول‌پاشی سیلیس به علت افزایش غلظت کلروفیل می‌تواند دلیلی برای افزایش شاخص کلروفیل در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲). محلول‌پاشی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

سیلیس موجب افزایش شاخص کلروفیل می‌شود که می‌تواند به علت نقش این عنصر در ساخت کلروفیل در گیاه باشد. شاخص کلروفیل بیانگر غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ است، بنابراین افزایش آن در زمان اعمال تنش خشکی با کوچک‌تر و فشرده‌تر شدن سلول‌های مزوفیل ناشی از اثرات تنش مرتبط است، این نتایج با تحقیقات Siddiqui و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. اثرات مثبت محلول‌پاشی سیلیس ممکن است به دلیل نقش آن در حفاظت از دستگاه فتوسنتزی باشد.

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص فتوسنتزی	سرعت فتوسنتز	شاخص کلروفیل	سرعت تعرق	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۲	۰/۱۱ ns	۱/۸۷ ns	۳۵/۹۳ ns	۰/۰۲۱ *	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns
تنش خشکی	۱	۴/۹۷ **	۱۷۵/۱۰ **	۳۵۷۵/۷۹ **	۰/۱۴۵ **	۰/۲۳ **	۰/۹۹ **
تکرار× خشکی	۲	۰/۰۴۱	۱/۱۲	۷۴/۱۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳
رقم	۳	۰/۲۴ ns	۱۵/۵۶ ns	۱۱۲/۸۷ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۳۲ **	۰/۶۸ **
محلول‌پاشی	۱	۰/۱۰ ns	۸/۰۸ ns	۵۲۵/۳۷ **	۰/۰۳۱ ns	۰/۰۹ **	۰/۰۹ ns
تنش خشکی × ارقام	۳	۰/۴۳ ns	۱/۰۳ ns	۱۲/۲۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۷ ns
تنش خشکی × محلول‌پاشی	۱	۰/۰۰۲ ns	۰/۱۰ ns	۱۸/۱۲ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۲ ns
ارقام × محلول‌پاشی	۳	۰/۰۹۳ ns	۰/۳۷۰ ns	۴/۶۵۵ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۳۶ ns
تنش خشکی ×ارقام× محلول‌پاشی	۳	۰/۰۴۰ ns	۰/۱۹ ns	۳/۶۴ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۳۹ ns	۰/۰۱۰۸ ns
اشتباه	۲۸	۰/۰۶۹	۲/۳۱	۲۰/۵۶	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۶۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۹/۳۴	۲۱/۵۲	۸/۹۷	۱۴/۲۴	۲/۲۵	۵/۱۳

سرعت تعرق

نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر سرعت تعرق، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، سرعت تعرق ۰/۴۴۶ و در شرایط تنش خشکی ۰/۳۳۶ میکرومول بخار آب در متر مربع در ثانیه است که این تفاوت معنی‌دار بود. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که سرعت تعرق ارقام هایولا ۴۰۱ و جری به ترتیب با ۰/۴۲۵ و ۰/۳۹۸ میکرومول بخار آب در متر مربع در ثانیه تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. همچنین ارقام جاکامو و آگامکس به ترتیب با ۰/۳۹۰ و ۰/۳۵۱ تفاوت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

معنی‌داری با هم نداشتند. محلول‌پاشی با میانگین سرعت تعرق ۰/۴۱۶ نسبت به عدم محلول‌پاشی با میانگین سرعت تعرق ۰/۳۶۵، تفاوت معنی‌داری از لحاظ سرعت تعرق داشت (جدول ۳). Habibi (۲۰۱۴) در پژوهشی نشان داد که در کلزا در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری معمولی سرعت تعرق کاهش می‌یابد که در حالت عدم محلول‌پاشی سیلیس این کاهش ۵۰/۷۵ درصد و در حالت محلول‌پاشی سیلیس به‌صورت سیلیکات سدیم (۰/۳۵ گرم سیلیکات سدیم در کیلوگرم خاک) این کاهش ۲۹/۷۷ درصد بود.

جدول ۳: مقایسه میانگین ساده صفات فیزیولوژیکی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی

تیمارها	شاخص فتوسنتزی	سرعت فتوسنتز (میکرو مول دی‌اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه)	شاخص کلروفیل	سرعت تعرق (میکرو مول بخار آب در متر مربع در ثانیه)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ)
تنش						
D_1	۳/۱۴ a	۸/۹۷a	۴۱/۹۰c	۰/۴۴۶ a	۲/۶۰۶ a	۱/۷۵۳ a
D_2	۲/۴۹ b	۵/۱۵c	۵۹/۱۶a	۰/۳۳۶b	۲/۴۶۶ b	۱/۴۶۵ b
ارقام						
هایولا ۴۰۱	۲/۸۹۲ a	۸/۵۶۱a	۴۶/۴۹۶b	۰/۴۲۵a	۲/۷۶۱ a	۱/۹۰۳ a
آگامکس	۲/۹۸۵ a	۶/۲۵۱b	۴۹/۸۰۵ab	۰/۳۵۱b	۲/۵۴۲ b	۱/۶۸۷ b
جاکامو	۲/۶۷۶ b	۶/۱۰۸b	۵۲/۸۲۸ a	۰/۳۹۰ab	۲/۳۸۲ d	۱/۳۵۶ d
جری	۲/۷۲۸ b	۷/۳۳۸a	۵۳/۰۰۸ a	۰/۳۹۸ab	۲/۴۵۸ c	۱/۴۹۱ c
محلول‌پاشی						
سطح۱	۲/۸۶۷ a	۷/۴۷۵a	۵۳/۸۴۳ a	۰/۴۱۶a	۲/۵۸۰ a	۱/۶۵۳ a
سطح صفر	۲/۷۷۴ a	۶/۶۵۴a	۴۷/۲۲۶ b	۰/۳۶۵ b	۲/۴۹۲ b	۱/۵۶۵b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

مقدار کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ)

همان‌طور که نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی، ارقام و سطوح محلول‌پاشی از نظر مقدار کلروفیل a، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، مقدار کلروفیل a ۲/۶۰۶ و در شرایط تنش خشکی ۲/۴۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ بود که این تفاوت معنی‌دار بود. همچنین مقایسه میانگین جدول ۳ نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a به ارقام هایولا ۴۰۱ و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1398.11.42.1.8]

آگامکس به ترتیب با ۲/۷۶۱ و ۲/۵۴۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ اختصاص داشت و تفاوت آن‌ها معنی‌داری بود. همچنین ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۲/۴۵۸ و ۲/۳۸۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار کلروفیل a با هم داشتند. محلول‌پاشی با میانگین ۲/۵۸۹ نسبت به عدم محلول‌پاشی با میانگین ۲/۴۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ ، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار کلروفیل a داشت (جدول ۳). تحقیقات بر روی گیاه کلزا نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی (آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) میزان کلروفیل a را ۷/۲۵ درصد نسبت به شاهد یا آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) کاهش داد (زالی و همکاران، ۱۳۹۵). می‌توان چنین تحلیل کرد که تنش رطوبتی باعث افزایش غلظت آبسزیک اسید در برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها می‌شود. در واقع آبسزیک اسید، سرعت فتوسنتز، مقدار کلروفیل و پروتئین محلول برگ‌ها را کاهش می‌دهد. مطالعات نشان داد که تنش رطوبتی از طریق بر هم زدن واکنش‌های بیوشیمیایی مسیر فتوسنتزی، موجب کاهش سرعت فتوسنتز شد.

مقدار کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ)

همان‌طور که نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد تفاوت معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و ارقام از نظر مقدار کلروفیل b در سطح ۱ درصد وجود داشت، اما بین محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، مقدار کلروفیل b ۱/۷۵۳ و در شرایط تنش خشکی ۱/۴۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ بود که این تفاوت معنی‌دار بود. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b به ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس به ترتیب با ۱/۹۰۳ و ۱/۶۸۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ اختصاص داشت و تفاوت آن‌ها معنی‌داری بود. همچنین ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۱/۴۹۱ و ۱/۳۵۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار کلروفیل b با هم داشتند. محلول‌پاشی با میانگین ۱/۶۵۳ نسبت به عدم محلول‌پاشی با میانگین ۱/۵۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار کلروفیل b داشت (جدول ۳). بررسی‌های صورت گرفته توسط زالی و همکاران (۱۳۹۵) بر روی گیاه کلزا نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی (آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) میزان کلروفیل a را ۸/۲۷ درصد نسبت به شاهد یا آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) کاهش داد. در شرایط تنش، کمپلکس‌های برداشت کننده نور بیش‌تر آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل b در کلروپلاست و افزایش نسبت a به b تحت تنش خواهد شد (Oncel *et al.*, 2000). تحقیق بر روی گیاهچه‌های سویا نشان داد که تیمار با سیلیس ۱/۷۰ میلی مولار و ۳ روز بعدازآن اعمال تنش خشکی ۰/۵- مگا پاسکال با پلی‌اتیلن گلیکول ۲۰ درصد سبب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

می‌شود که با افزودن تیمار سیلیکون خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو به رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد. سیلیکون باعث افزایش محتوای کلروفیل و در نهایت افزایش فتوسنتز می‌شود (Shen *et al*., 2010).

نتیجه‌گیری

صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه این تحقیق از نظر عکس‌العمل به محلول‌پاشی یا عدم محلول‌پاشی سیلیس، نتایج متفاوتی را نشان دادند به‌طوری‌که میزان شاخص فتوسنتزی و سرعت فتوسنتزی در حالت محلول‌پاشی به ترتیب ۳/۲۴ و ۱۰/۹۸ درصد بیشتر از عدم محلول‌پاشی بود، اما تفاوت معنی‌دار نبود. صفات شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط محلول‌پاشی سیلیس به ترتیب ۱۲/۲۸، ۱۲/۲۵، ۳/۴۱ و ۵/۳۲ درصد بیشتر از حالت عدم محلول‌پاشی بود و تفاوت محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی معنی‌دار بود. در جمع‌بندی، با توجه به افزایش معنی‌دار صفات فیزیولوژیکی مهمی مانند شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط محلول‌پاشی سیلیس در مقایسه با عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی سیلیس می‌تواند باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود رشد در شرایط تنش خشکی گردد و کاربرد آن در چنین شرایطی توصیه می‌گردد. با توجه به داده‌های نتایج، ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس شرایط بهتری از لحاظ صفات فیزیولوژیکی در مقایسه با ارقام جاکامو و جری داشتند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری است و بدین‌وسیله از زحمات همه‌ی اساتید راهنما و مشاور تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

امیری، ا.، باقری، ع.ا.، خواجه، م.، نجف‌آبادی پور، ف. و یداللهی، پ. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گلرنگ در شرایط کم آبیاری. مجله پژوهش‌های به زراعی. ۵ (۴): ۳۷۲-۳۶۱.

زالی، ح.، حسنلو، ط.، سفالیان، ا.، اصغری، ع. و زین‌العابدینی، م. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و تجمع اسیدهای آمینه در کلزا. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۸ (۱۸): ۲۰۳-۱۹۱.

سید احمدی، ع.، بخشنده، ع. و قرینه، م. ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی پایان فصل در شرایط آب و هوایی اهواز. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۵ (۱): ۸۰-۷۱.

فتحی، ق. و عنایت قلی زاده، م. ۱۳۸۹. تأثیر استرس خشکی در مراحل رشد بر عملکردهای دانه و روغن ارقام کلزا. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲ (۸): ۱۱۴-۹۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

فتحی، ق.، مرادی تلاوت، م. و نادری عارفی، ع. ۱۳۸۹. فیزیولوژی کلزا. انتشارات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ۲۴۸صفحه.

گوشه، م.، صارمی، م. و وزیری، ژ. ۱۳۸۵. تعیین دور و عمق مناسب آبیاری کلزا به روش تشت تبخیر در استان خوزستان. مجله‌ی علوم خاک و آب. ۲۰ (۱): ۱۷۱-۱۶۴.

منجم، س.، احمدی، ع. و محمدی، و. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی بر میزان فتوسنتز، تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه ارقام کلزا. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (۳): ۵۴۷-۵۳۳.

یوسفی، ف.، حسیبی، پ.، روشنفکر، ح. و مسکر باشی، م. ۱۳۹۴. مطالعه اثر تنش‌های شوری و خشکی روی برخی مؤلفه‌های فیزیولوژیکی دو رقم کلزا در اهواز. مجله علمی کشاورزی تولیدات گیاهی. ۳۸ (۴): ۳۴-۲۵.

Ahmadi, A. and Baker, D. A. 2000. Stomatal and non stomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Iran J. Agric. Sci. 31(4): 813-825.

Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative and activities of some antioxidant enzymes the key determinants of salt tolerance in canola (Brassica napus L.). Environmental and Experimental Botany, 63: 266-273.

Bi-li, C., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L. and Xu, K. 2015. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. Scientia Horticulturae,194: 53-62.

FAO. 2011. Crop Production Statistics.

Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K. and Hati, K.M. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poutry manure, phosphocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in verticals of semi- arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology, 95: 85- 93.

Habibi, G. 2014. Silicon supplementation improves drought tolerance in canola plants. Russian Journal of Plant Physiology, 61 (6): 784-791.

Hopkins, W. G. and Hopkins, N. P. A. 2004. Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons Pub., New Jersey.

Lauer, M. J. and Boyer, J. S. 1992. Internal CO_2 measured directly in leaves. Abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. Plant Physiology, 98: 1310-1316.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic bio membranes. Methods in Enzymology, 148: 350–382.

Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi- Kouchebagh, P. and Khoshvaghti, H. 2015. Physiological responses of Brassica napus to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. The Crop Journal, 1(18): No of Pages 6.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]

Maghsoudi, K., Emam, Y. and Pessarakli, M. 2013. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 39 (7): 1001-1015.

Maghsoudi, K. and Emam, Y. 2016. Effect of exogenous silicon on seed germination and seedling growth of wheat cultivars under salt stress conditions. Iran Agricultural Research, 35 (2): 1-8.

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A.S. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. Environmental Pollution, 107: 315-320.

Qifuma, S.H., Niknam, R. and Turner, D.W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research, 57: 221-226.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., LI, Z., Eneji, A.E. and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet B radiation. Journal of plant physiology, 167 (15): 1248-1252.

Siddiqui, Z.S., Ajaml Khan, M., Kim, B.G., Huang, J.S. and Kwon, T.R. 2008. Physiological response of brassica napus genotype to combined drought and salt stress. Plant stress, 2 (1): 78-83.

Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. and Inanaga, S. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. Journal of Plant Nutrition, 34: 71-82.

Thang, V. N., Si-Hong, K., Seung-Yeon,K., Ki-Young, C.and Il-Seop, K. 2015. Effect of Silicate Fertilizer on Growth, Physiology and Abiotic Stress Tolerance of Chinese Cabbage Seedlings**.** Protected Horticulture and Plant Factory, 24 (2): 51-56.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.42.1.8]