بررسی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کلزای بهاره در شرایط تنش خشکی

زهرا ظفرپور، علیرضا یدوی*، اشکبوس دهداری و حمیدرضا بلوچی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۱۱)

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر پرولین، قندهای محلول، محتوای نسبی آب برگ، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ، نشت الکترولیت‌ها از برگ‌ها و عملکرد دانه در ارقام بهاره کلزا در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج طی بهار سال ۱۳۸۹ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش، ژنوتیپ‌های کلزا شامل شش ژنوتیپ (CR3189، CR3250، Kosa، Kroko، Marnoo و Regent) و تیمار آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهمکنش اثر آبیاری و ژنوتیپ بر تمامی صفات مورد ارزیابی، بجز غلظت پتاسیم، معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در تمامی ژنوتیپ‌ها، میزان پرولین، قندهای محلول، غلظت یون سدیم و نشت الکترولیت‌ها از برگ‌ها در اثر تنش خشکی افزایش یافت، ولی میزان پتاسیم و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. در میان ژنوتیپ‌ها، در هر سه سطح آبیاری، بیشترین عملکرد دانه (به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۵۸ و ۰/۳۴ گرم در بوته) مربوط به ژنوتیپ Kosa بود که از میزان نشت الکترولیت و غلظت سدیم برگ کمتری برخوردار بود و همچنین میزان پرولین، پتاسیم و محتوای نسبی آب برگ بیشتری داشت. ژنوتیپ Regent کمترین مقدار پتاسیم، پرولین، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه و بیشترین نشت الکترولیت و محتوای سدیم را دارا بود. کمترین عملکرد دانه در سطح آبیاری ۱۰٪، در ژنوتیپ CR3250 (۰/۴۷ گرم در بوته) و در سطوح آبیاری ۴۰٪ و ۷۰٪ در ژنوتیپ Regent (به ترتیب با میانگین‌های ۰/۳۳ و ۰/۱۹ گرم در بوته) مشاهده شد. در مجموع، بر اساس نتایج حاصله، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ارقام Kosa و Regent به ترتیب متحمل و حساس به تنش خشکی شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، پرولین، قندهای محلول، محتوای نسبی آب

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yadavi53@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

مقدمه

رشد گیاهان به وسیله تنش‌های متعددی نظیر شوری، خشکی، گرما، سرما و سمیت فلزات سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خشکی به عنوان کمبود رطوبت خاک به اندازه‌ای که موجب کاهش رشد گیاه شود تعریف می‌شود. البته این تعریف نشان دهنده وضع کیفی آب قابل استفاده در خاک بوده و وضع آب داخل گیاه در نظر گرفته نشده است. لذا از نقطه نظر زراعی، تنش خشکی شرایطی است که آب از نظر مقدار و توزیع به اندازه‌ای نیست تا گیاه بتواند عملکرد بالقوه خود را تولید کند و این پدیده موجب آسیب به گیاه و محدودیت در بروز پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاه می‌شود. میزان این آسیب بستگی به نوع گیاه و شرایط جوی مؤثر بر تبخیر و تعرق دارد (۲۱). آثار اولیه تنش خشکی، کمبود آب در گیاه است و این اتفاق زمانی می‌افتد که میزان تبخیر و تعرق گیاه از مقدار آبی که گیاه توسط ریشه‌ها جذب می‌کند فزونی یابد. کمبود آب سبب کاهش فشار آماس می‌شود و از آنجایی که رشد و توسعه سلول‌ها وابسته به فشار آماس می‌باشد، گسترش سلول‌ها کاهش می‌یابد (۲).

کلزا به عنوان یک گیاه دانه روغنی همانند بسیاری از گیاهان زراعی از تنش کم‌آبی متأثر می‌شود و بسته به وضعیت آب در مراحل ویژه‌ای از فنولوژی خود، به ویژه دوره رشد زایشی، کمیت و کیفیت دانه آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۹). یکی از راهکارهای مناسب گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، افزایش مواد محلول و فعال اسمزی است. در شرایط تنش، گیاه به منظور ادامه جذب آب، پتانسیل اسمزی خود را از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله اسیدهای آمینه، قندها، برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها کاهش می‌دهد و یا به عبارتی تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد (۱). پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه ایفای نقش می‌کند (۱۷). طی تنش، در تمام اندام‌های گیاه تجمع پرولین صورت می‌گیرد. با این وجود، میزان تجمع آن در برگ‌ها بیشتر از سایر اندام‌ها می‌باشد و تجمع آن فقط زمانی شروع می‌شود که کمبود آب کاملاً جدی می‌شود و لذا سبب جلوگیری از رشد و بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد (۱۷). قندهای محلول از دیگر اسمولیت‌های سازگار هستند که در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و تجمع آنها در داخل سلول‌ها کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ فشار آماس در داخل سلول باقی بماند (۲).

از محتوای نسبی آب برگ می‌توان به عنوان یک صفت قابل اندازه‌گیری مفید از وضعیت آب گیاه تحت شرایط تنش استفاده کرد (۱۴). تنش خشکی در بسیاری از گیاهان موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کم شدن جذب دی‌اکسید کربن و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (۱). از آنجا که محتوای نسبی آب برگ دربرگیرنده میزان آب موجود در برگ می‌باشد، ارقام متحمل به خشکی از وضعیت بهتری در رابطه با این ویژگی برخوردار هستند. به طوری که این ارقام در شرایط تنش خشکی نسبت به ارقام حساس پتانسل آب برگ خود را در حد بالاتری حفظ می‌کنند (۱۶).

در میان عناصر، پتاسیم یکی از مهم‌ترین کاتیون‌های مورد نیاز گیاه می‌باشد. این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای ایفای نقش می‌کند (۳) و همچنین باعث حفظ کلروفیل در برابر خطرات اکسیداسیون نوری می‌شود (۲۵). پتاسیم اولین کاتیون معدنی است که در پاسخ به شرایط کم‌آبی انباشته می‌شود و نقش کلیدی در باز شدن روزنه‌ها ایفا می‌کند (۱۹). گیاهانی که پتاسیم بیشتری دارند، سازگاری بیشتری به کمبود آب نشان می‌دهند و در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، در زمان تنش، افزایش پتاسیم در اندام هوایی مشهود است (۴). در تحقیق مراد شاهی و همکاران (۱۵) و آخوندی و همکاران (۳) تنش آب سرعت جذب پتاسیم را به ترتیب در ارقام مختلف کلزا و یونجه کاهش داد. یون سدیم، کمبود یون پتاسیم را در گیاه القا می‌کند. باقری (۵) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر محتوای یونی برگ ارقام مختلف گندم گزارش کرد که تنش خشکی ملایم در ابتدا باعث افزایش غلظت پتاسیم برگ می‌شود. ولی با افزایش شدت تنش خشکی، میزان پتاسیم برگ

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

به شدت کاهش می‌یابد. این در حالی است که غلظت یون سدیم در برگ از همان ابتدا با افزایش شدت تنش خشکی، افزایش یافته و موجب کاهش نسبت پتاسیم به سدیم برگ می‌شود. بوتو و همکاران (۹) با مطالعه اثر تنش خشکی بر انتقال پتاسیم و یون‌های آنیون در تارهای کشنده ریشه باقلا نتیجه گرفتند که در شرایط کم‌آبی ورود یون‌های پتاسیم سبب حفظ فشار آماس و گسترش رشد سلول می‌شود. بوهنرت و همکاران (۸) معتقدند که در هنگام تنش آب، میزان یون سدیم افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن، گیاه سعی در خروج و یا فرستادن آن به واکوئل می‌نماید.

یکی دیگر از پارامترهایی که به عنوان شاخصی از تخریب غشا اندازه‌گیری می‌شود نشت الکترولیت‌ها است (۱۴). تنش خشکی باعث صدمه به بسیاری از ترکیبات سلولی مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. بنابراین نشت الکترولیتی در اثر تخریب غشا و خروج یون‌ها اتفاق می‌افتد. از این رو، نشت‌پذیری افزایش می‌یابد (۱۴) و میزان این صفت می‌تواند بیانگر مقدار تأثیر سوء خشکی بر گیاه باشد.

با توجه به اهمیت صفات گفته شده و نقش آنها در بررسی تحمل به خشکی در گیاهان زراعی، جایگاه کلزا به عنوان یک گیاه روغنی مهم و همچنین وقوع تنش خشکی به دلیل قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، این پژوهش با هدف بررسی میزان تحمل به خشکی ۶ ژنوتیپ کلزای بهاره با استفاده از مهمترین ویژگی‌های فوق‌الذکر طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در بهار سال ۱۳۸۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل شش ژنوتیپ مختلف کلزای بهاره (Kroko، Kosa، CR3189، CR3250، Marnoo وRegent) و تیمارهای آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که ژنوتیپ‌های کلزا از مؤسسه ژنتیک گیاهی و تحقیقات گیاهان زراعی کشور آلمان (Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, IPK) تهیه شده بودند. واحدهای آزمایشی برای هر تیمار شامل دو گلدان به قطر ۴۰ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر بود که همگی با وزن مساوی از خاک پر شدند. خاک مورد استفاده از مخلوط کردن کامل خاک مزرعه، ماسه و کود دامی به نسبت مساوی تهیه شده بود. در هر گلدان تعداد ۶ عدد بذر در عمق حدود ۳ سانتی‌متر از سطح خاک کشت شد و پس از سبز شدن و رسیدن به مرحله سه برگچه‌ای به ۳ بوته در هر گلدان تنک شدند. وقتی بوته‌ها به مرحله ۵-۴ برگی رسیدند، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. برای اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس محاسبه میزان وزن آب خاک در نقطه ظرفیت زراعی، سطوح آبیاری بر اساس ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک از طریق توزین گلدان‌ها اعمال شد. برای اعمال این تیمارها نیاز به محاسبه رطوبت موجود در خاک در نقطه ظرفیت زراعی بود که به صورت زیر عمل شد.

ابتدا جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، سه گلدان به عنوان نمونه انتخاب شده و آبیاری گردیدند تا خاک آنها به حد اشباع رطوبتی برسد. سپس سطح آنها با پلاستیک تیره پوشانیده شد تا از تبخیر سطحی جلوگیری شود. این گلدان‌ها به مدت ۴۸ ساعت در این حالت باقی ماندند تا آب ثقلی آنها کاملاً خارج گردد. سپس وزن تر خاک-ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک، خاک گلدان‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده و سپس توزین شد. رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی برای هر گلدان عبارت است از تفاوت وزن تر و خشک خاک آن گلدان. میانگین این میزان رطوبت برای هر سه گلدان محاسبه گردید.

با توجه به اینکه وزن خاک گلدان‌های آزمایشی یکسان بود، وزن خاک در تیمارهای با تخلیه ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد رطوبت قابل محاسبه بوده که با توزین گلدان‌ها پس از رسیدن وزن آنها به مقدار مورد نظر آبیاری اعمال می‌گردید تا دو مرتبه خاک به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

حد ظرفیت زراعی برسد.

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک مورد نظر در مرحله گل‌دهی کلزا، نمونه برداری از یکی از دو گلدان در هر تیمار صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری میزان پرولین و قندهای محلول، ابتدا لازم بود تا عصاره الکلی از برگ‌ها تهیه شود. بدین منظور ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ انتخاب و در هاون کاملاً له گردید و طی چند مرحله توسط اتانول ۹۵٪ عصاره آن استخراج شد. سپس به روش پاکین و لوشاسر (۲۰) و به کمک اسپکتروفتومتر (مدل Lambda EZ201 ساخت شرکت Perkin Elmer آمریکا) میزان پرولین در طول موج ۵۱۵ نانومتر و تعدیل به کمک منحنی واسنجی بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول نیز از روش ایریگوین و همکاران (۱۳) استفاده شد. بدین صورت که ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی انتخاب و ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪ وزنی حل شد) به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت گردید. منحنی واسنجی با استفاده از استاندارد گلوکز رسم و میزان قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری مواد معدنی برگ، پهنک جوان‌ترین برگ‌های کاملاً باز شده بوته‌ها در هر کدام از گلدان‌ها برداشت گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. سپس یک گرم از نمونه خشک شده توزین و در کوره با دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت خاکستر شد. خاکستر مورد نظر بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده شد. با شروع جوشیدن، محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم نمونه‌ها توسط آب تقطیر شده به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (مدل PFP7 ساخت شرکت JENWAY انگلستان) بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برگ خشک قرائت گردید. محتوای نسبی آب (RWC) برگ مطابق روش سویروس و همکاران (۲۳) با فرمول زیر محاسبه شد:

$$RWC(\%) = FW-DW / TW- DW \quad [۱]$$

که در آن، FW وزن تر برگ گیاه، DW وزن خشک برگ گیاه و TW وزن آماس یافته برگ گیاه است. برای اشباع برگ‌ها از ظروف پتری سربسته و تاریک با دمای ثابت (۲۱ درجه سلسیوس) و به مدت ۲۴ ساعت استفاده گردید. برای وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شدند.

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از روش بلترانو و رونکو (۷) استفاده شد. این روش بر اساس میزان نفوذ پذیری غشا می‌باشد. به طوری که نشت الکترولیت بیشتری از سلول‌های بافت برگی آسیب دیده توسط تنش در مقایسه با بافت برگی گیاهان شاداب وجود دارد. برای این کار، از برگ‌های هر نمونه دیسکت دایره‌ای به میزان یکسان تهیه شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Inolab Cond 720 ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد (EC1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول‌ها، لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش با دمای ۷۵ درجه به مدت ۹۰ دقیقه قرار داده شدند و مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). سپس درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد نشت الکترولیت‌ها} = (EC1/EC2) \times 100 \quad [۲]$$

در زمان رسیدگی بوته‌ها، میزان عملکرد دانه در هر گلدان اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها بر اساس آزمون LSD و مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها از طریق برش‌دهی اثر ارقام در هر سطح آبیاری و به روش Lsmeans در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

نتایج و بحث

غلظت قندهای محلول برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) مشاهده می‌شود که اثر آبیاری و ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر میزان قندهای محلول برگ گیاه کلزا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. با توجه به این موضوع و دقت در جدول برش‌دهی اثر ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری، مشاهده می‌شود که در هر سه سطح آبیاری، بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ میزان قندهای محلول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف در سطوح آبیاری نشان داد که در همه ژنوتیپ‌ها، با تأخیر در آبیاری، میزان قندهای محلول افزایش یافت و در سطوح آبیاری ۱۰ و ۴۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، ژنوتیپ Kosa دارای بیشترین میزان قندهای محلول کل (به ترتیب ۱۹/۳ و ۲۶/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) است که با بقیه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری دارد. کمترین میزان قندهای محلول نیز در سطوح آبیاری ۱۰ و ۴۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، در ژنوتیپ Regent دیده می‌شود (جدول ۳).

در سطح آبیاری ۷۰٪ تخلیه رطوبت خاک، ژنوتیپ Kosa بیشترین میزان قند محلول را به خود اختصاص داده است که با ژنوتیپ CR3189 در یک گروه آماری قرار گرفت و کمترین میزان به ژنوتیپ Regent (۲۱/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تعلق گرفت، هر چند که با ژنوتیپ Marnoo در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). در مطالعه قربانعلی و نیاکان (۱۲) که اثر تنش خشکی بر صفات مختلف فیزیولوژیک گیاه سویا رقم گرگان ۳ را بررسی کردند، مشاهده شد که افزایش شدت تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول در ساقه و برگ شد. نصری و همکاران (۱۶) نیز با بررسی اثر تنش خشکی بر ارقام مختلف کلزا اظهار داشتند که در سطوح بالای تنش خشکی، غلظت قندهای محلول در برگ افزایش یافته و شدت این افزایش در ارقام مختلف متفاوت بود، به نحوی که میزان قندهای محلول در ارقام مقاوم به تنش بیشتر بود

غلظت پرولین برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر سطوح مختلف آبیاری، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر غلظت پرولین در برگ معنی‌دار گردید (جدول ۱). بررسی جدول برش‌دهی اثر ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در هر سه سطح آبیاری از لحاظ میزان پرولین بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌های مختلف در هر سطح آبیاری نشان داد که با تأخیر در آبیاری، در همه ژنوتیپ‌ها، غلظت پرولین افزایش می‌یابد که البته شدت افزایش در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در دو سطح آبیاری ۱۰ و ۴۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان پرولین در ژنوتیپ‌های Kosa و Regent مشاهده شد؛ هر چند در سطح آبیاری ۱۰٪، ژنوتیپ Regent با ژنوتیپ Marnoo در یک گروه آماری قرار داشت. بیشترین میزان پرولین در سطح آبیاری ۷۰٪ تخلیه رطوبت خاک، در ژنوتیپ Kosa (۱/۹۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) بود که با بقیه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان پرولین نیز در همین سطح آبیاری در ژنوتیپ Regent (۱/۴۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) دیده شد (جدول ۳). باجی و همکاران (۶) افزایش غلظت پرولین را در اثر کمبود آب در سه رقم گندم دوروم گزارش دادند. دین و همکاران (۱۱) و سانیایار و همکاران (۲۴) با تحقیقی که به ترتیب روی ارقام کلزا و آفتابگردان انجام دادند دریافتند که اسید آمینه پرولین در شرایط تنش آبی افزایش یافته است، که این افزایش را در جهت توان اسمزی بالاتر در شرایط تنش دانستند. دانشمند و همکاران (۱۰) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر دو رقم کلزا اظهار داشتند که ارقام مقاوم به خشکی که عملکرد دانه بیشتری داشته‌اند در شرایط تنش از میزان پرولین بیشتری نیز برخوردار بودند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر محتوای نسبی آب برگ کلزا بود

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

جدول ۱. تجزیه واریانس خصوصیات ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		قندهای محلول برگ	پرولین برگ	محتوای نسبی آب برگ	غلظت سدیم برگ	غلظت پتاسیم برگ	نشت الکترولیت‌ها	عملکرد دانه
آبیاری	۲	۷۵۹/۲**	۴/۰۷۶**	۸۲۸/۰۹**	۵۰۱۰۲۵/۳**	۴۷۸۷۰۲۴/۳**	۲۲۹/۴۲**	۰/۶۴**
ژنوتیپ	۵	۹۷/۰۳**	۰/۱۸۴**	۱۰۹/۰۶**	۱۲۵۶۶/۶**	۳۱۷۶۹۴/۳**	۷۸/۲۱**	۰/۰۹۶**
آبیاری×ژنوتیپ	۱۰	۱/۹۵**	۰/۰۰۷۷**	۲۷/۲۱**	۱۱۵۷/۶**	۲۱۹۹/۶^{ns}	۶/۴۲**	۰/۰۱۵**
خطای آزمایشی	۳۶	۰/۳۳	۰/۰۰۰۶۸	۸/۸۰	۱۲۹/۱	۲۹۷۸	۱/۰۱۳	۰/۰۰۲۱
ضریب تغییرات (٪)		۲/۸	۲/۰۳۸	۵/۴۷	۲/۲۸	۲/۱۵	۵/۷۶	۱۰/۳

** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار

جدول۲. تجزیه واریانس برش‌دهی اثر ژنوتیپ‌های مختلف در هر سطح آبیاری برای صفات مختلف کلزا

سطوح آبیاری (بر اساس درصد تخلیه رطوبت خاک)	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قندهای محلول برگ	پرولین برگ	محتوای نسبی آب برگ	غلظت سدیم برگ	درصد نشت الکترولیت‌ها	عملکرد دانه
٪۱۰	۵	۲۳/۹**	۰/۰۵۵**	۵۶/۶**	۱۶۶۰/۰۷**	۱۹/۵**	۰/۰۸۹**
٪۴۰	۵	۳۷/۳**	۰/۰۴۶**	۸/۳ ^{ns}	۲۷۰۹/۰۰۳**	۳۵/۹**	۰/۰۲۶**
٪۷۰	۵	۳۹/۳**	۰/۰۹۸**	۹۸/۶**	۱۵۱/۳**	۳۵/۶**	۰/۰۱**

** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دار

(جدول ۱). با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش آبیاری و ژنوتیپ برای محتوای نسبی آب برگ برش‌دهی در سطوح مختلف آبیاری انجام گرفت و مشخص شد که به‌جز در سطح ۴۰٪ تخلیه رطوبت خاک در دو سطح ۱۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت خاک از لحاظ محتوای نسبی آب برگ بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌های مختلف در هر یک از سطوح آبیاری نشان داد که ژنوتیپ Kosa در سطح آبیاری ۱۰٪ تخلیه رطوبت خاک بیشترین مقدار (۶۸/۹٪) را به خود اختصاص داد که با ژنوتیپ CR3189 در یک گروه آماری قرار دارد (جدول ۳). ژنوتیپ CR3250 در سطح آبیاری۷۰٪ تخلیه رطوبت خاک بیشترین مقدار (۵۵/۴٪) را به خود اختصاص داد که در همین سطح با ژنوتیپ Kosa و ژنوتیپ CR3189 از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ Regent است که با ژنوتیپ Marnoo در یک گروه آماری قرار دارند (جدول ۳). در بررسی رابطه میان تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب برگ کلزا و خردل هندی مشاهده شد که هم‌بستگی مثبتی بین محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی وجود دارد. به طوری که ژنوتیپ‌های با میزان بیشتر محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش آبی تنظیم اسمزی بهتری داشتند (۱۴). در مطالعه دانشمند و همکاران (۱۰) که تأثیر تنش آب بر محتوای نسبی آب برگ دو رقم کلزا را مورد بررسی قرار دادند مشخص شد که کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش، زمینه کاهش فتوسنتز برگ را فراهم می‌کند و به تبع آن کمترین میزان عملکرد دانه را منجر می‌شود. صدیق و همکاران (۲۲) و سویروس و همکاران (۲۳) نیز کاهش محتوای نسبی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

جدول۳. مقایسه میانگین اثر ارقام مختلف در هر سطح آبیاری برای صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده به روش lsmeans

سطوح آبیاری (براساس درصد تخلیه رطوبت خاک)	ژنوتیپ	قندهای محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر برگ)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم برگ خشک	درصد نشت الکترولیت	عملکرد دانه (گرم در بوته)
	Kosa	۱۹/۳ ^{a}	۱/۰۰۵ ^{a}	۶۸/۹^{a}	۳۱۰/۶ ^{d}	۹/۶^{f}	/۸۶^{a}
	Kroko	۱۲/۸ ^{d}	/۷۳ ^{cd}	۵۹/۸ ^{bc}	۳۳۷/۷ ^{bc}	۱۴/۷^{bcd}	۰/۷۳ ^{bc}
	Regent	۸/۹ ^{f}	۰/۶۶^{e}	۵۶/۴ ^{c}	۳۷۵/۲ ^{a}	۱۶/۵^{a}	۰/۵۱ ^{d}
٪۱۰	CR3189	۱۵/۲ ^{b}	۰/۹۱^{b}	۶۴/۰۶ ^{ab}	۳۵۲/۶ ^{b}	۱۲/۴^{e}	۰/۷۷ ^{b}
	Marnoo	۱۰/۷ ^{e}	۰/۷۰^{de}	۵۹/۴ ^{bc}	۳۲۰/۳ ^{cd}	۱۵/۶^{ab}	/۴۷^{d}
	CR3250	۱۳/۹ ^{c}	۰/۷۴^{c}	۶۰/۹۴ ^{bc}	۳۲۷/۸ ^{bcd}	۱۴/۸^{bc}	۰/۴۷ ^{d}
	Kosa	۲۶/۲ ^{a}	۱/۴۶ ^{a}	۵۵/۰۱ ^{a}	۴۴۴/۷ ^{e}	۱۴/۵^{de}	/۵۸^{a}
	Kroko	۲۱/۴ ^{d}	۱/۳۳^{cd}	۵۴/۰۹^{a}	۴۸۶/۹ ^{c}	۱۴/۳^{e}	/۴۱^{c}
	Regent	۱۸/۶ ^{f}	۱/۱۳^{f}	۵۱/۶ ^{a}	۵۱۹/۲ ^{a}	۲۲/۶^{a}	۰/۳۳ ^{d}
٪۴۰	CR3189	۲۳/۸ ^{b}	۱/۴۰^{b}	۵۳/۸۴ ^{a}	۵۰۸/۳ ^{ab}	۱۵/۴^{d}	/۵۲^{ab}
	Marnoo	۱۹/۸ ^{e}	۱/۲۱^{e}	۵۰/۶ ^{a}	۴۴۹/۹ ^{e}	۲۰/۴^{b}	/۳۹^{cd}
	CR3250	۲۳/۸^{bc}	۱/۳۶ ^{cb}	۵۲/۵ ^{a}	۴۷۸/۹ ^{cd}	۱۷/۵^{c}	۰/۴۰ ^{cd}
	Kosa	۳۰/۴^{a}	۱/۹۷^{a}	۵۱/۵ ^{ab}	۵۹۵/۹ ^{f}	۱۸/۶^{de}	/۳۴ ^{a}
	Kroko	۲۵/۸^{d}	۱/۷۲^{d}	۴۷/۹ ^{b}	۶۷۸/۱^{c}	۱۷/۶^{de}	/۳۱ ^{ab}
	Regent	۲۱/۸^{e}	۱/۴۶^{f}	۴۰/۳ ^{c}	۷۴۸/۱^{a}	۲۵/۵ ^{a}	۰/۱۹ ^{d}
٪۷۰	CR3189	۲۹/۴^{ab}	۱/۸۸^{b}	۵۱/۳ ^{ab}	۷۲۴/۶ ^{b}	۱۹/۱^{cd}	/۲۸ ^{abc}
	Marnoo	۲۲/۴^{e}	۱/۶۵^{e}	۴۲/۹ ^{c}	۶۱۸/۳ ^{e}	۲۵/۲^{ab}	/۲۰ ^{d}
	CR3250	۲۷/۵ ^{c}	۱/۷۷^{c}	۵۵/۴ ^{a}	۶۵۵/۱۸^{b}	۲۰/۴^{b}	۰/۲۶ ^{bcd}

در هر ستون و برای هر سطح آبیاری حد اقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

آب برگ در اثر خشکی را به ترتیب در ارقام گندم و جو گزارش کردند. این نتایج با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. به طوری که تأخیر در آبیاری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاه تحت تنش شدید شد.

غلظت سدیم در برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و ژنوتیپ بر میزان سدیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به این موضوع، برش‌دهی اثر آبیاری نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ غلظت سدیم برگ در هر سه سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری (جدول ۳) نشان داد که در هر سه سطح آبیاری ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، ژنوتیپ Regent بیشترین مقدار غلظت سدیم را داشت که در همه سطوح این ژنوتیپ با بقیه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین مقدار سدیم نیز در هر سه سطح آبیاری مربوط به ژنوتیپ Kosa بود. در بررسی نورانی آزاد و چوبینه (۱۹) که یک ژنوتیپ آفتابگردان را در پنج سطح آبیاری مورد بررسی قرار دادند مشخص شد با افزایش تنش خشکی، مقدار سدیم در برگ افزایش و یون پتاسیم کاهش یافت و دلیل آن این است

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

که یون سدیم می‌تواند جایگزین یون پتاسیم برای تنظیم اسمزی شود. بوهنرت و همکاران (۸) معتقدند که در هنگام تنش آب، میزان یون سدیم افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن، گیاه سعی در خروج و یا فرستادن آن به واکوئل می‌نماید. مشابه نتایج این پژوهش، شعبانی و همکاران (۲۱) نیز با بررسی ارقام مختلف کلزا تحت تنش خشکی اظهار داشتند که با افزایش شدت تنش، مقدار یون سدیم در برگ افزایش می‌یابد. ایشان این افزایش غلظت سدیم در اثر تنش خشکی را نوعی عکس‌العمل گیاه جهت منفی‌تر کردن پتانسیل اسمزی و افزایش فشار آماس برگ برای جلوگیری از افت پتانسیل آب برگ در شرایط تنش بیان کردند.

غلظت پتاسیم در برگ

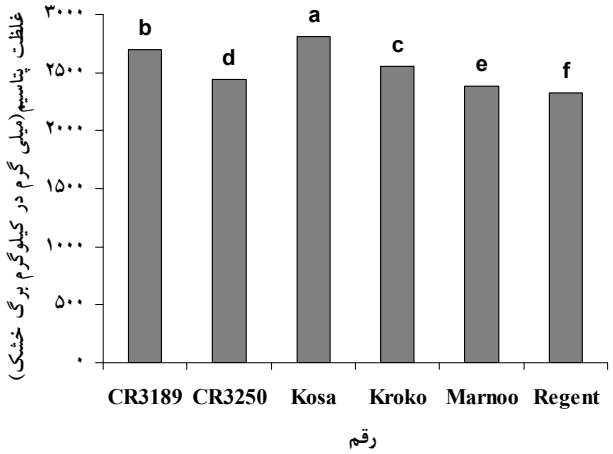
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، آبیاری و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم برگ داشتند. اما برهمکنش آن دو تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. تأخیر در آبیاری باعث کاهش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ شد. به طوری که بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲۹۸۲/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم برگ خشک) مربوط به سطح آبیاری بر اساس ۱۰٪ تخلیه رطوبت خاک و کمترین میزان آن (۱۹۶۹/۸میلی‌گرم در کیلوگرم برگ خشک) به سطح آبیاری بر اساس۷۰٪ تخلیه رطوبت خاک اختصاص یافت (شکل ۱). غلظت پتاسیم برگ بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش نیز متفاوت بود (شکل ۲)، به نحوی که بیشترین میزان پتاسیم (۲۸۰۵/۷ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) برای ژنوتیپ Kosa بود که با بقیه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان پتاسیم (۲۳۲۲/۴ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) به ژنوتیپ Regent اختصاص یافت. باز و بسته شدن روزنه‌ها نقش مهمی در تنظیم رطوبت گیاه تحت شرایط تنش خشکی دارد و پتاسیم در مکانیسم کنترل روزنه نقش دارد و به همین دلیل گیاهانی که پتاسیم بیشتری دارند سازگاری بیشتری به کمبود آب نشان داده‌اند (۴). در آزمایش آخوندی و همکاران (۳) که روی ارقام یونجه انجام گرفت، نشان داده شد که با افزایش تنش خشکی از میزان پتاسیم ریشه کاسته شد، که این امر را به دلیل انتقال یون‌های پتاسیم به برگ و افزایش پتانسیل اسمزی سلول‌های برگ برای حفظ فشار آماس دانستند. نیاکان و قربانعلی (۱۷) که اثر تنش خشکی را بر شاخص‌های رشد و فاکتورهای فتوسنتزی و محتوای یونی دو رقم سویا مورد مطالعه قرار دادند اظهار داشتند که با افزایش تنش غلظت یون پتاسیم در اندام هوایی گیاهان تحت تنش روند کاهشی معنی-داری را نسبت به شاهد طی کردند. کاهش پتانسیل آب سبب کاهش جذب پتاسیم در ریشه گیاه می‌شود، که دلیل آن فرایند رقابتی آن با سدیم در ریشه گیاهان است که این خود سبب کاهش انتقال یون پتاسیم از ریشه به اندام‌های هوایی و کاهش عملکرد می‌شود

درصد نشت الکترولیت‌ها

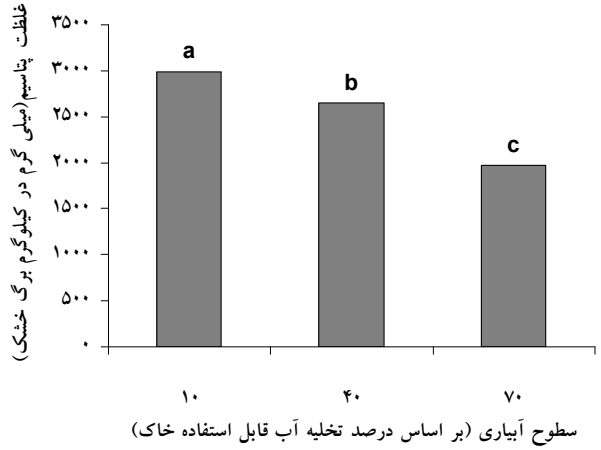
نتایج آنالیز داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری و ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر میزان نشت الکترولیت‌ها می‌باشد (جدول ۱). برش‌دهی سطوح آبیاری برای ژنوتیپ‌ها نشان داد که در هر سه سطح آبیاری تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در هر سه سطح آبیاری ۱۰، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، در ژنوتیپ Regent (به ترتیب با مقادیر۱۶/۵، ۲۲/۶ و ۲۵/۵ درصد) مشاهده شد که البته در سطوح آبیاری ۱۰ و ۷۰ درصد تخلیه این ژنوتیپ با ژنوتیپ Marnoo تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار نشت الکترولیت‌ها در سطح ۱۰٪ تخلیه رطوبت خاک، به ژنوتیپ Kosa (۹/۶٪) مربوط بود و در سطوح ۴۰ و ۷۰ درصد رطوبت خاک، کمترین مقدار به ژنوتیپ Kroko (به ترتیب با میانگین‌های ۱۴/۳ و ۱۷/۶ درصد) اختصاص یافت (جدول ۳). تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش دهنده فعالیت اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشا و در نتیجه خسارت به غشای سلولی می‌شود و میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد (۹). ژنوتیپ های متحمل به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ‌ها بر غلظت پتاسیم برگ



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر غلظت پتاسیم برگ

تنش خشکی عموماً غشای سیتوپلاسمی پایدارتر و نشت الکترولیتی کمتری دارند (۱۹). بنابراین بر اساس این ویژگی، ارقام Kosa و Kroko را می‌توان به عنوان ارقام متحمل‌تر در بین ارقام مورد بررسی دانست.

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف آبیاری و ژنوتیپ‌های کلزا و برهمکنش بین آنها از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). برش‌دهی در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که در هر سه سطح آبیاری، در بین ژنوتیپ‌های مختلف، از لحاظ این صفت تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). در سطح آبیاری بر اساس ۱۰٪ تخلیه رطوبت خاک، ژنوتیپ Kosa بیشترین عملکرد دانه (با میانگین ۰/۸۶ گرم در بوته) را داشت و کمترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ CR3250 (۰/۴۷ گرم در بوته) بود که با ارقام Marnoo و Regent در یک گروه آماری قرار داشتند. در سطوح آبیاری ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه آب، بیشترین مقدار عملکرد دانه به ژنوتیپ Kosa (به ترتیب با میانگین‌های ۰/۵۸ و ۰/۳۴ گرم در بوته) تعلق داشت که با ژنوتیپ CR3189 در یک گروه آماری قرار داشت و کمترین مقدار نیز در هر دو سطح آبیاری در ژنوتیپ Regent (به ترتیب با میانگین‌های ۰/۳۳ و ۰/۱۹ گرم در بوته) مشاهده شد. در سطح ۷۰٪ تخلیه رطوبتی، ژنوتیپ Regent با ژنوتیپ Marnoo در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). نتایج آزمایش نصری و همکاران (۱۶) که اثر تنش خشکی را بر ۴۸ ژنوتیپ کلزا مورد بررسی قرار دادند نشان داد که عملکرد دانه به شدت تحت تأثیر خشکی قرار گرفت، که دلیل آن را کاهش وزن هزار دانه دانستند. توحیدی مقدم و همکاران (۲۵) با تحقیق خود روی گونه‌های مختلف کلزا نشان دادند که عملکرد دانه در ارقام مختلف در شرایط کم‌آبی کاهش پیدا کرده است و ارقام دارای توان تنظیم اسمزی بیشتر از طریق تولید ترکیباتی نظیر قندهای محلول، پرولین و پتاسیم بیشتر تحمل به خشکی بیشتر و کاهش عملکرد کمتری داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ Kosa به دلیل داشتن پرولین، قندهای محلول و پتاسیم بیشتر در سطوح بالاتر تنش خشکی توانست از محتوای نسبی آب برگ بیشتری نیز برخوردار باشد و این صفات در نهایت کمک می‌کنند به تحمل خشکی بیشتر. به طوری که در مجموع، این ژنوتیپ نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر، در شرایط تنش خشکی، از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. ولی ژنوتیپ Regent به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

دلیل داشتن پرولین، قندهای محلول و پتاسیم کمتر، از محتـوای نسبی آب برگ کمتری نیز برخوردار بود، در اثر تـنش خـشکی کاهش عملکرد بیشتری نیز داشت و در بین ژنوتیپ‌هـای مـورد مطالعه به عنوان یک ژنوتیپ حساس به تنش خـشکی شـناخته شد.

منابع مورد استفاده

1. Abas Zadeh, B., A. Sharifi Ashour Abadi, M. H. Lebaschi, M. Naderi Haji-Bagher Kandi and F. Maghdami. 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative water content of *Melissa officinalis*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 23(4): 504-513. (In Farsi).
2. Ahmadi Mousavi, E., M. Kalantari and M. Torkzadeh. 2006. Effects of 24-epibrassinolide on lipid peroxidation, proline, sugar and photosynthesis pigments content of canola (*Brassica napus* L.) under water stress. *Iranian Journal of Biology* 18(4): 103-114. (In Farsi).
3. Akhondi, M., A. Safarnejad and M. Lahooti. 2006. Effect of drought stress on proline accumulation and changes of elements in Yazdi, Nikshahri and Renger cultivars of medicago. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resource*s 10(1): 165-174. (In Farsi).
4. Ashraf, A. and S. Mehmood. 1990. Response of four Brassica species to drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 30: 93-100.
5. Bagheri, A. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and ion contents of four wheat cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology* 1(3):15-30. (In Farsi).
6. Bajji, M., S. Lutts and J. M. Kinet. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum*) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science* 25: 160-169.
7. Beltrano, J. and M. G. Ronco. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and dewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum. Journal of Plant Physiology* 20: 29-31.
8. Bohnert, H. J., D. E. Nelson and R. G. Jensen. 1999. Adaptation to environmental stresses. *The Plant Cell* 7(7): 1099-1111.
9. Dauphin, A., H. E1-Maarouf, N. Vienney, J. P. Rona, F. Bouteau. 2001. Effect of desiccation on potassium and anion currents from young root hairs: Implication on tip growth. *Physiologia Plantarum* 113: 79-84.
10. Daneshmand, A. R., A. H. Shirani-Rad, G. Nour-Mohamadi, Gh. Zarei and J. Daneshian. 2008. Effect of water deficit and different nitrogen rates on yield, yield components and physiological traits of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 15(2): 100-113.
11. Din, J., I. Soukhan and A. R. Gurmani. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 21: 78-82.
12. Ghorbanali, M. L. and M. Niakan. 2006. Effect of drought stress on rate of soluble carbohydrate, protein, proline, phenolic compound and nitrate reductase activity in Gorgan3 variety of soybean. *Tarbiat Moallem Science magazine* 5(1,2): 537-550. (In Farsi).
13. Irigoyen, J. J., D. W. Emerich and M. Sanchesdiaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*)plants. *Physiologica Plantarum* 84: 55-60.
14. Jiang, Y. and B. Hung. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science* 41: 436-442.
15. Moradshahi, A., B. Salehi Eskandari and B. Kholdebarin. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus*) to water deficit stress under laboratory condition. *Iranian Journal of Science and Technology* 41: 43-49.
16. Nasri, M., H. Heidari Sharif Abad, A. H. Shirani-Rad and A. Majidi Hervan. 2007. Performance of the effect of drought stress on physiological characters of rapeseed cultivars. *Journal of Agricultural Science* 12(1): 127-134.
17. Niakan, M. and M. L. Ghorbanali. 2008. Effect of drought stress on growth indices, photosynthesis parameter, protein rate and ionic content in aerobic and under ground part of two soybean varieties. *Botanical Journal of Iran* 18(1): 17-29. (In Farsi).
18. Niknam, S. R., Q. Ma and D. W. Turner. 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *Brassica junce* genotypes in a water- limited environment in south – western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1127-1135.
19. Noorani Azad, H. and D. Chobineh. 2009. Effect of water stress on biomass, soluble carbohydrates, proline and ions of sunflower. *Journal of Iranian Biology* 3(2): 19-26.
20. Paquine, R. and P. Lechasser. 1979. bservations sar une methode de dosage de la praline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany* 57(17): 1851-1854.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]

21. Shabani, A., A. A. Kamkar Haghighi, A. R. Sepaskhah, Y. Emam and T. Honar. 2010. Effect of water deficit on characteristics of canola. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* (*Water and Soil Science*) 13(49): 31-42. (In Farsi)
22. Siddique, M. R. B., A. Hamid and M. S. Islam .1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 40: 141-145.
23. Souyrus, I., A. Charri and D. This. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters and water stress in barley, A QTL study. *New Physiology* 137: 99-107.
24. Sunyayar, S., Y. Keles and E. Unal. 2004. Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. *Journal of Plant Physiology* 30: 34-47.
25. Tohidi-Moghadam, H. R., A. H. Shirani- Rad, Gh. Nour-Mohamadi, D. Habibi, S. A. Modarres-Sanavy, M. Mashhadi-Akbar-Boojar and A. Dolatabadian. 2009. Response of six oilseed rape genotypes to Water stress and hydrogel application. *Pesquisa Agropecuária Tropical Goiánia* 39: 243-250.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-25]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.7.13.2]