فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۸، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۴۷-۶۷
https://doi.org/10.22034/14.68.47

مقاله پژوهشی

رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی اکوتیپ‌های خارمریم (*Silybum marianum* L.) تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبیاری

شیبا سمیع‌عادل، حمیدرضا عشقی‌زاده*، مرتضی زاهدی و محمدمهدی مجیدی

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳)

چکیده

در مطالعه ویژگی‌های بیوشیمیایی چهار اکوتیپ گیاه خارمریم (اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان-امیدیه و مجارستان) در سه سطح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک و پنج تاریخ کاشت (۶ مهر، ۲۶ مهر، ۱۶ آبان، ۶ آذر و ۲۰ اسفند) در سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب اسپلیت پلات در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی آنالیز شد. نتایج نشان داد بین تیمارهای تاریخ کاشت و رژیم آبیاری تفاوت‌های معنی‌داری از نظر محتوای نسبی آب برگ، پرولین، مالون دی‌آلدئید، کلروفیل *a* و *b* و کاروتنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز مشاهده شد. اکوتیپ‌ها به‌طور متفاوتی به این تغییرات واکنش نشان دادند، که بیانگر حساسیت‌های مختلف آن‌ها به شرایط محیطی است. اکوتیپ‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد دارای بیشترین عملکرد زیست‌توده (۱۱/۵ کیلوگرم بر متر مربع) بودند. اکوتیپ "کهگیلویه و بویراحمد" با بیشترین مقدار کلروفیل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) برای برنامه‌های اصلاحی و ایجاد ارقام مناسب اقلیم کشور پیشنهاد می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد که بهینه‌سازی تاریخ کاشت و رژیم آبیاری می‌تواند عملکرد گیاه خارمریم را به‌ویژه در شرایط افزایش تقاضای آب آبیاری حاصل از تغییرات آب و هوایی بهبود بخشد. بررسی ارتباط ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه با شرایط کاشت، بر ارزش بالقوه این تناسب‌ها برای بهبود مدیریت تولید محصولات گیاهی می‌افزاید.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، ماریتیغال، عملکرد زیست‌توده، کلروفیل، گیاهان دارویی، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

تنش کم‌آبی یکی از رایج‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که به رشد و نمو گیاهان آسیب می‌رساند و در مناطق با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک، بیش از ۴۰ درصد زمین‌های زراعی دنیا را تحت تأثیر قرار داده است (Sinaki *et al.*, 2007). گیاهان برای مقابله با تنش کم‌آبی از سه مکانیسم اصلی استفاده می‌کنند. اولین روش، فرار از خشکی است که شامل کاهش دوره رشد برای تولید محصول قبل از وقوع تنش و کاهش تعداد ساقه‌های فرعی و پنجه‌ها می‌شود (ابهری و همکاران، ۱۳۸۶؛ Abreha *et al.*, 2022). روش دوم، اجتناب از خشکی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

است که با گسترش سیستم ریشه‌ای برای دسترسی بیشتر به آب، تغییر هدایت و اندازه روزنه‌ها، افزایش تجمع آبسیزیک اسید و ضخامت کوتیکول صورت می‌گیرد (کوچکی و راشد محصل، ۱۳۸۸). سومین روش، تحمل خشکی است که از طریق تنظیم فشار اسمزی و تجمع متابولیت‌هایی مانند پرولین به دست می‌آید (Zhang *et al.*, 2022).

یکی از روش‌های مدیریت گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب است. تاریخ کاشت مناسب به گیاهان امکان می‌دهد که بدون کوتاه شدن دوران رشد رویشی به مرحله گلدهی برسند. این انتخاب با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی تأثیر می‌گذارد (Baydar and Baydar, 2005). انطباق مراحل رشد گیاه با دما، طول روز، بارش و دیگر عوامل محیطی مناسب از طریق انتخاب تاریخ کاشت، بر استقرار و رشد رویشی و زایشی و در نهایت بر کمیت و کیفیت محصول نهایی تأثیرگذار است (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹).

کشت گیاهان دارویی به‌دلیل متحمل بودن آن‌ها به خشکی، یکی دیگر از راه‌کارهای زراعی در شرایط کم‌آبی است. افزایش جمعیت و نیاز صنایع داروسازی به گیاهان دارویی، اهمیت این گیاهان را در صنایع پزشکی، آرایشی و غذایی بیشتر کرده است. خارمریم یا ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی برای درمان بیماری‌های کبدی است که به‌صورت خودرو در مناطق گرم و خشک می‌روید (Abenavoli *et al.*, 2010; Hetz *et al.*, 1995). ترکیبات مؤثره این گیاه که به نام سیلیمارین شناخته می‌شوند، شامل فلاونولیگنان‌هایی مانند سیلیبین، ایزوسیلیبین، سیلیکریستین، سیلیدیانین و تاکسیفولین است (Nasrabadi *et al.*, 2014). سیلیمارین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی، بازسازی سلول‌های کبدی را تقویت کرده، کلسترول خون را کاهش داده و از سرطان پیشگیری می‌کند (Abenavoli *et al.*, 2010). با توجه به پتانسیل بالای خارمریم در صنایع داروسازی، کشت این گیاه در ایران افزایش یافته است. با وجود سازگاری خارمریم با شرایط آب و هوایی ایران و مقاومت آن به خشکی، اطلاعات کافی درباره تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های آن در ایران وجود ندارد (گلی و همکاران، ۱۳۸۶).

در پاسخ به تنش کم‌آبی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، گیاه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیدازها، کاتالاز و گلوتاتیون را افزایش می‌دهد (Aghaei *et al.*, 2009). کمبود آب به رنگدانه‌ها و پلاستیدهای گیاه آسیب می‌زند و محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد (Zivcak *et al.*, 2014). تنش کم‌آبی موجب تغییر در متابولیت‌های اولیه مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و پلی‌آمین‌ها می‌شود و سطح تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین که یک اسیدآمینه گیاهی است، افزایش می‌یابد. نتایج پژوهشی بر روی کلزا نشان داد که تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل، کاروتنوئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کلزا تأثیر معنی‌داری داشت (دهشیری و پاک‌نیت، ۱۳۹۱). همچنین، پژوهش بر روی گیاه سرخارگل نشان داد که تنش کم‌آبی در دو سطح ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، باعث کاهش میزان کلروفیل *a* و *b*، عملکرد زیست‌توده و افزایش کربوهیدرات‌های محلول و پرولین شد (امامی، ۱۴۰۱).

تنظیم تاریخ کاشت برای کاهش خسارات تنش کم‌آبی اهمیت دارد، زیرا هم‌زمانی دوره‌های خشکی و دماهای بالا با دوره‌های حساس رشد گیاهی می‌تواند حداکثر خسارت را به گیاه وارد کند. با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز و فناوری‌های نوین مانند ماهواره‌ها، می‌توان تاریخ کاشت مناسب را برای هر منطقه تعیین کرد (Belaqziz *et al.*, 2021). پژوهش بر روی دو رقم ارزن نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، فلورسانس کلروفیل، کلروفیل *a* و *b* و محتوای نسبی آب برگ شد. اما انتخاب تاریخ کاشت مناسب (تاریخ کاشت دوم ۱۵ تیر) موجب بهبود شرایط کلی گیاه و افزایش عملکرد آن شد (نعمت‌پور و عشقی‌زاده، ۱۳۹۸). به‌طورکلی، تنش کم‌آبی موجب زودرسی نسبی گیاهان می‌شود و زودرسی معمول‌ترین صفت برای اصلاح مقاومت به خشکی است (Abreha *et al.*, 2022).

تعیین تاریخ کاشت مناسب برای حصول بیشتر عملکرد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

ماده مؤثره گیاه بسیار مهم است. متابولیت‌های اولیه و ثانویه گیاه تحت تأثیر فرآیندهای ژنتیکی و شرایط محیطی تولید می‌شوند که تاریخ کاشت یکی از مهم‌ترین این شرایط است و بر کیفیت و کمیت متابولیت‌ها تأثیر به‌سزایی دارد (Andrzejewska and Skinder *et al.*, 2014). تأخیر در کاشت گیاه باعث کاهش دوره رشد رویشی شده که با برخورد مراحل رشد زایشی با دمای بالا، سقط بذر و کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی را افزایش می‌دهد (دوامی و همکاران، ۱۴۰۰). پژوهشی بر روی خارمریم نشان داد که کاشت زودهنگام این گیاه موجب افزایش عملکرد میوه‌ها و تعداد دانه در هر طبق می‌شود، درحالی‌که کاشت دیرهنگام به دلیل مواجهه با دماهای بالاتر، محتوای سیلی‌مارین را کاهش می‌دهد (Andrzejewska and Skinder *et al.*, 2014). با این وجود برهم‌کنش تاریخ کاشت و رژیم آبیاری در گیاه خارمریم از نظر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک روشن نیست. با توجه به اهمیت مطالب فوق، این تحقیق به منظور بررسی برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه خارمریم و شناسایی نشان‌گرهای فیزیولوژیک تحمل به خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محل اجرای آزمایش: آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (مزرعه لورک) واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان انجام گرفت. عرض جغرافیایی منطقه ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد ۱۶۳۰ متر می‌باشد.

ویژگی‌های خاک: ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده است.

ویژگی‌های آب آبیاری: آب مورد استفاده جهت آبیاری گیاهان در طول دوره رشد دارای پی‌اچ ۷/۵ و قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر بوده، میزان آب در هر نوبت آبیاری و میزان کل آب آبیاری در طول دوره رشد با استفاده از کنتور نصب‌شده در ابتدای هر تیمار آبیاری، اندازه‌گیری شد. میزان آب مورد استفاده در جدول ۲ قابل مشاهده است.

شرایط آب و هوایی: داده‌های هواشناسی که به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی مزرعه لورک و ایستگاه هواشناسی نجف‌آباد دریافت شده و برای محاسبات در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است در جدول شماره ۳ ثبت شده است.

عوامل آزمایشی: هر واحد آزمایشی به ابعاد ۹۰ سانتی‌متر در ۱۴۰ سانتی‌متر بود، به‌طوری‌که تعداد سه ردیف با فاصله بین دو ردیف ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در عمق کاشت ۲ تا ۳ سانتی‌متر کشت شد و تراکم بوته ۱۲ بوته در هر واحد آزمایشی به‌دست آمد.

تاریخ کاشت: در این پژوهش پنج تاریخ کاشت شامل ۶ مهر ۱۳۹۹ (تاریخ کاشت اول/ پاییزه)، ۲۶ مهر ۱۳۹۹ (تاریخ کاشت دوم/ پاییزه)، ۱۶ آبان ۱۳۹۹ (تاریخ کاشت سوم/ پاییزه)، ۶ آذر ۱۳۹۹ (تاریخ کاشت چهارم/ پاییزه) و ۲۰ اسفند ۱۳۹۹ (تاریخ کاشت پنجم/ بهاره) مورد بررسی قرار گرفت.

رژیم رطوبتی خاک: جهت اعمال تیمارهای رطوبتی، سه سطح تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک به‌ترتیب به عنوان آبیاری شاهد، تنش کم‌آبی خفیف و تنش کم‌آبی شدید) در نظر گرفته شد. رژیم‌های آبیاری بر اساس درصد حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز ایجاد شدند که بر اساس مقدار تبخیر- تعرق جو طی دوره رشد بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه نجف‌آباد و رابطه فائو- پنمن- مانتیث تعیین شده و ضریب گیاهی (K_c) خارمریم که از مقالات قبلی استخراج شده (در مرحله رشد اولیه ۰/۳، در مرحله توسعه ۰/۷۷، در مرحله میانی رشد ۱/۰۴ و در مرحله رشد نهایی ۰/۸۵)، در محاسبه میزان تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفت (نوراللهی و همکاران، ۱۳۹۵). اندازه‌گیری رطوبت وزنی خاک پس از نمونه‌گیری از سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری خاک در آزمایشگاه انجام گرفت. میزان و نوبت هر آبیاری بر اساس نیاز گیاه از ابتدای آزمایش تا زمان استقرار کامل به صورت یکسان بود و پس از استقرار، رژیم‌های آبیاری ذکرشده اعمال شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک زراعی محل آزمایش

عمق خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	نیتروژن	بافت خاک	فسفر	پتاس	پی‌اچ	هدایت الکتریکی
سانتی‌متر	درصد						میلی گرم در کیلوگرم			دسی‌زیمنس بر متر
۰-۳۰	۲۵	۳۵	۴۰	۷۹	۰/۱	لوم	۳۸	۴۹۱	۷/۷	۲/۲
۳۰-۶۰	۲۶	۳۵	۴۰	۲۵	۰/۰۳	لوم	۶/۵	۳۰۰	۷/۹	۱/۵

جدول ۲- میزان آب مورد استفاده (مترمکعب در هکتار) جهت آبیاری گیاهان خارمریم در سه سطح آبیاری و پنج تاریخ کاشت

تاریخ کشت	تیمار آبیاری (بر مبنای درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده)		
	شاهد (۴۰ درصد)	تنش رطوبتی خفیف (۶۰ درصد)	تنش رطوبتی شدید (۸۰ درصد)
۶ مهر	۶۹۶۷	۵۲۰۳	۳۷۲۱
۲۶ مهر	۶۷۰۲	۴۸۵۰	۳۵۱۰
۱۶ آبان	۶۷۰۲	۴۸۵۰	۳۴۳۹
۶ آذر	۶۶۱۴	۴۳۲۱	۳۲۶۳
۲۰ اسفند	۶۲۶۱	۳۸۸۰	۳۰۸۷

جدول ۳- میانگین ماهانه دمای کمینه، بیشینه، طول روز و میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه خارمریم در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

بازه زمانی	میانگین			بارندگی
	ماه میلادی	دمای بیشینه (°C)	دمای کمینه (°C)	طول روز (ساعت)	(mm)
۱۱ شهریور تا ۹ مهر ۱۳۹۹	سپتامبر	۳۰/۹	۱۵/۴	۱۲/۱	۰/۰۰
۱۰ مهر تا ۱۰ آبان ۱۳۹۹	اکتبر	۲۴/۳	۷/۴۱	۱۱/۲	۰/۰۰
۱۱ آبان تا ۱۰ آذر ۱۳۹۹	نوامبر	۱۶/۴	۴/۵۹	۱۰/۴	۱۰/۹
۱۱ آذر تا ۱۱ دی ۱۳۹۹	دسامبر	۹/۷۲	-۰/۳۲۹	۹/۹۴	۲۴/۹
۱۲ دی تا ۱۲ بهمن ۱۳۹۹	ژانویه	۱۰/۹	-۴/۸۹	۱۰/۲	۹/۱۰
۱۳ بهمن تا ۱۰ اسفند ۱۳۹۹	فوریه	۱۵/۵	-۰/۱۷۹	۱۰/۹	۱۹/۰
۱۱ اسفند ۱۳۹۹ تا ۱۱ فروردین ۱۴۰۰	مارچ	۲۰/۰	۵/۸۵	۱۱/۸	۱۵/۲
۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۰	آوریل	۲۶/۴	۱۰/۴	۱۲/۸	۵/۹۵
۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد ۱۴۰۰	می	۲۹/۹	۱۳/۴	۱۳/۶	۹/۸۱
۱۱ خرداد تا ۹ تیر ۱۴۰۰	ژوئن	۳۷/۲	۱۷/۹	۱۴/۱	۰/۰۰
۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۴۰۰	ژوئیه	۳۸/۳	۲۱/۳	۱۳/۹	۰/۲۰۰
۱۰ مرداد تا ۹ شهریور ۱۴۰۰	آگوست	۳۵/۴	۱۸/۱	۱۳/۱	۰/۰۰

اکوتیپ‌ها: در این پژوهش چهار اکوتیپ خارمریم مورد استفاده قرار گرفت. اکوتیپ‌های اصفهان و مجارستان به‌ترتیب از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران و شرکت پاکان بذر تهیه و اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان- امیدیه از استان‌های مورد نظر جمع‌آوری شدند.

صفات و نحوه اندازه‌گیری: در این آزمایش صفات عملکرد زیست‌توده، کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز، محتوای پرولین، مالون دی‌آلدئید و کربوهیدرات‌های محلول اندازه‌گیری شد. جهت بررسی صفات، نمونه‌گیری از برگ‌های بالایی گیاه و در زمان گل‌دهی انجام و عملکرد زیست‌توده گیاه پس از رسیدگی فیزیولوژیک و برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد.

کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm): کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) به‌وسیله دستگاه فلورومتر مدل Hansatech version 1.21 و از محل میانه برگ و بین رگبرگ اصلی و لبه برگ در تمام بوته‌ها پیش از اعمال آبیاری مجدد و پس از قرارگرفتن در تاریکی به مدت ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب (RWC) برگ: جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، وزن تازه (FW)، وزن برگ‌ها در حالت آماس (TW) و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری (Smart and Bingham, 1974) و RWC از رابطه زیر به دست آمد.

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

غلظت کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید: برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler استفاده شد (۱۹۸۷). جذب نمونه‌های آماده‌شده در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر HITACHI U-1800 خوانده شد. پس از قرارگیری اعداد حاصل در روابط مربوطه، غلظت کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به‌دست آمد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ابتدا ۰/۱ گرم برگ، پودر شده و ۱ میلی‌لیتر بافر استخراج (شامل Tris، EDTA، Triton و DTT با نسبت مشخص) به آن اضافه و پس از قرارگیری در سانتریفیوژ یخچال‌دار Eppendorf 5810 R برای اندازه‌گیری انواع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پروتئین مورد استفاده قرار گرفت. غلظت پروتئین برگ با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. میزان جذب نوری نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر HITACHI U-1900 اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش اصلاح‌شده Aebi (۱۹۹۸) و با ردیابی اسپکتروفتومتری تجزیه H_2O_2 در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

فعالیت آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) با ردیابی اسپکتروفتومتری تجزیه H_2O_2 در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) و با ردیابی اسپکتروفتومتری بر اساس اکسیداسیون گایاکول و تجزیه H_2O_2 در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

پرولین: جهت اندازه‌گیری پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر Unico 2100 اندازه‌گیری شد. اعداد، در معادله حاصل از نمودار رسم‌شده به وسیله استانداردها، و در فرمول میزان پرولین، قرار داده شده و غلظت پرولین برگ بر حسب میکرومول در گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

محتوای مالون دی‌آلدئید: برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. میزان جذب محلول نهایی به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر HITACHI U-1800 در طول‌موج‌های ۴۵۵، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت و بر حسب نانومول بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

محتوای کربوهیدرات‌های محلول: اندازه‌گیری محتوای کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از روش McCready و همکاران (۱۹۵۰) صورت گرفت. قرائت در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر Unico 2100 انجام گرفت. اعداد به دست آمده، در معادله حاصل از نمودار استانداردهای گلوکز، قرار داده شده و غلظت قندهای محلول گیاه بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار آنالیز شد، به‌طوری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

که ترکیب تاریخ کاشت و آبیاری به‌عنوان عامل‌های اصلی و اکوتیپ به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. تجزیه‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام پذیرفت. رسم شکل‌ها و محاسبات ساده و داده‌پردازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Word انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر تاریخ کاشت: نتایج آزمون بارتلت نشان داد که واریانس خطا یکنواخت بوده و شرایط برای انجام آزمایش مناسب است. تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیست‌توده، کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئیدها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، آسکوربات و گایاکول پراکسیداز)، مالون دی‌آلدئید، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول داشت (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد زیست‌توده به ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ مهر (۱۳/۶ کیلوگرم در متر مربع) و ۲۰ اسفند (۵/۱۴ کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۵). نتایج پژوهشی دیگری بر گیاه خارمریم نیز تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیست‌توده این گیاه داشت (عبدالله‌زارع و همکاران، ۱۳۹۱). کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) به ترتیب در تاریخ‌های ۲۶ مهر (۰/۷۷۹) و ۲۰ اسفند (۰/۷۵۵) بیشترین و کمترین مقدار را نشان داد. محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در تاریخ‌های ۲۰ اسفند (۸۰/۴ درصد) و ۶ آذر (۷۴/۷ درصد) بیشترین و کمترین مقدار را داشت. پژوهشی بر گندم نشان داد که با تأخیر در کاشت، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (کمائی و همکاران، ۱۳۹۶). بیشترین محتوای کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تاریخ ۲۶ مهر به ترتیب برابر با ۰/۸۰۹، ۰/۵۳۶ و ۰/۳۷۰ و کمترین مقادیر آن‌ها در تاریخ ۲۰ اسفند مشاهده شد. کاهش میزان کلروفیل در کاشت دیرهنگام با تنش گرمایی مرتبط است که با نتایج سایر پژوهش‌ها بر گیاهان بادرشبو (عباسی دهکردی و همکاران، ۱۴۰۱) و سرخارگل (اسدی‌صنم و همکاران، ۱۳۹۲) مطابقت دارد. بیشترین میزان آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) به‌ترتیب در تاریخ ۲۶ مهر و کمترین مقادیر آن‌ها در تاریخ ۶ آذر به‌دست آمد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) به ترتیب در تاریخ‌های ۱۶ آبان و ۶ آذر مشاهده شد. بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید (میکرومول در میلی‌لیتر) در تاریخ ۲۰ اسفند (۳/۲۲) و کمترین آن در تاریخ ۶ آذر (۲/۳۲) حاصل شد. بیشترین میزان پرولین (میکرومول در گرم وزن تر برگ) و کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) به ترتیب در تاریخ ۲۶ مهر و کمترین مقادیر آن‌ها در تاریخ ۲۰ اسفند ثبت شد. تجمع پرولین ممکن است باعث سازش بهتر سلول‌ها با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌ها و ساختارهای سلولی شود (Ashraf and Foolad, 2007). پژوهشی بر دو رقم ارزن نشان داد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین دارد (قاسمی و ارفع‌نیا، ۱۴۰۰). نتایج پژوهشی در گیاه سرخارگل نشان داد که غلظت مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار می‌گیرند (اسدی‌صنم و همکاران، ۱۳۹۲).

تأثیر رژیم آبیاری: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری بر تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). عملکرد زیست‌توده تحت تنش کم‌آبی خفیف (۱۰/۷ کیلوگرم در متر مربع) و شدید (۹/۳۰ کیلوگرم) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۱۲/۲ کیلوگرم) به ترتیب ۱۲/۲ و ۲۳/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). کاهش عملکرد زیست‌توده تحت تنش کم‌آبی در سایر پژوهش‌ها نیز مشاهده شده است، مثلاً در پژوهشی بر خارمریم، با افزایش شدت تنش، عملکرد گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (سارانی ملاک و همکاران، ۱۴۰۱). این کاهش می‌تواند به دلیل کاهش پتانسیل آب گیاه و کاهش نرخ فتوسنتز به علت محدودیت آب باشد (Lowlor and Cornic, 2002). بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۷۵۵) و شدید (۰/۷۲۶) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۰/۸۱۰) به ترتیب ۶/۷۹ و ۱۰/۳ درصد کاهش یافت. کاهش ۱ تا ۴ درصدی کارآیی کوانتومی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس و سطح معنی‌داری میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در چهار اکوتیپ گیاه خارمریم تحت تأثیر پنج تاریخ کاشت و سه رژیم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد زیست‌توده	Fv/Fm	RWC	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئید
آبیاری	۲	۱۳۲**	۰/۱۰۸**	۸۸۰**	۱/۳۵**	۰/۴۰۷**	۰/۳۸۱**
تاریخ کشت	۴	۳۹۹**	۰/۰۰۳**	۱۸۴**	۰/۱۲۴**	۰/۱۰۱**	۰/۰۲۲**
تاریخ کشت × آبیاری	۸	۴/۰۳**	۰/۰۰۰**	۱۲/۵^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۵**
خطای a	۳۰	۰/۵۷۰	۰/۰۰۰	۵/۲۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
اکوتیپ	۳	۶۲/۶**	۰/۰۲۹**	۱۰۸۲**	۰/۹۱۹**	۰/۱۸۱**	۰/۱۶۶**
آبیاری × اکوتیپ	۶	۱/۶۸**	۰/۰۰۱**	۲۱/۱*	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۳**
تاریخ کشت × اکوتیپ	۱۲	۲/۷۰**	۰/۰۰۵**	۶۶/۵**	۰/۰۱۹**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۶**
تاریخ کشت × اکوتیپ × آبیاری	۲۴	۰/۷۶۹*	۰/۰۰۰۲**	۸/۴۷^{ns}	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**
خطای b	۸۹	۰/۴۵۵	۰/۰۰۰	۷/۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰
ضریب تغییرات		۶/۲۵	۱/۴۵	۳/۵۳	۲/۳۵	۴/۰۰	۲/۵۹

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و عدم معنی‌دار بودن هستند.

ادامه جدول ۴-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کاتالاز	آسکوربات	گایاکول	مالون دی‌آلدئید	پرولین	کربوهیدرات محلول
آبیاری	۲	۰/۵۹۹**	۱۹/۸**	۱۴/۱۲**	۱۵/۷۲**	۳۵۷۶**	۶۴۱۰**
تاریخ کشت	۴	۰/۰۰۹**	۱/۹۴**	۲/۳۱**	۴/۳۹**	۱۴۶**	۱۰۵۴**
تاریخ کشت × آبیاری	۸	۰/۰۰۷**	۰/۲۳۸**	۰/۱۶۷**	۰/۱۰۷**	۳۰/۰۴*	۸۲۱**
خطای a	۳۰	۰/۰۰۲	۰/۱۰۹	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	۱۲/۸۴	۷/۳۲
اکوتیپ	۳	۰/۳۴۸**	۳۲/۵**	۱۵/۸**	۵/۲۷**	۴۷۸**	۴۲۴۹**
آبیاری × اکوتیپ	۶	۰/۰۰۶**	۱/۰۴**	۰/۱۸۲**	۰/۲۰۲**	۱۶/۸$^{n.s}$	۲۸/۷**
تاریخ کشت × اکوتیپ	۱۲	۰/۰۰۴**	۰/۲۳۲**	۰/۱۲۳**	۰/۳۱۳**	۸۸/۵**	۳۳۹**
تاریخ کشت × اکوتیپ × آبیاری	۲۴	۰/۰۰۲**	۰/۰۶۹^{ns}	۰/۰۵۴*	۰/۰۷۶**	۸/۱۴^{ns}	۱۴/۹**
خطای b	۸۹	۰/۰۰۰	۰/۰۵۱	۰/۰۳۰	۰/۰۲۹	۱۱/۴۶	۵/۴۴
ضریب تغییرات		۵/۵۲	۷/۵۰	۶/۰۰	۶/۳۳	۱۰/۴	۱/۷۳

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و عدم معنی‌دار بودن هستند.

فتوسیستم II تحت تنش کم‌آبی در مطالعه‌ای بر روی هشت ژنوتیپ گندم مشاهده شد (Samieadel *et al*., 2023). محتوای نسبی آب برگ تحت تنش کم‌آبی خفیف (۷۸/۱ درصد) و شدید (۷۳/۳ درصد) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۸۰/۹

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات رژیم آبیاری، تاریخ کاشت و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم

عوامل آزمایشی	سطوح	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر مترمربع)	Fv/Fm	محتوای نسبی آب برگ (٪)	کلروفیل *a* (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کلروفیل *b*	کاروتنوئید
آبیاری	شاهد	۱۲/۳ a	۰/۸۱۰ a	۸۰/۹ a	۰/۸۷۰ a	۰/۵۵۶ a	۰/۴۲۳ a
	تنش خفیف	۱۰/۸ b	۰/۷۷۵ b	۷۸/۱ b	۰/۷۰۲ b	۰/۴۷۴ b	۰/۳۳۶ b
	تنش شدید	۹/۳۰ c	۰/۷۲۶ c	۷۳/۳ c	۰/۵۷۰ c	۰/۳۹۱ c	۰/۲۶۴ c
تاریخ کاشت	۶ مهر	۱۲/۱ b	۰/۷۵۵ d	۷۶/۰ c	۰/۶۵۸ e	۰/۴۷۰ c	۰/۳۳۶ c
	۲۶ مهر	۱۳/۷ a	۰/۷۸۰ a	۷۸/۸ b	۰/۸۰۱ a	۰/۵۳۶ a	۰/۳۷۱ a
	۱۶ آبان	۱۲/۳ b	۰/۷۶۶ b	۷۷/۳ c	۰/۷۴۱ b	۰/۴۸۲ b	۰/۳۵۹ b
	۶ آذر	۱۰/۷ c	۰/۷۶۰ c	۷۴/۷ d	۰/۷۰۳ c	۰/۴۸۹ b	۰/۳۳۲ c
	۲۰ اسفند	۵/۱۰ d	۰/۷۵۹ cd	۸۰/۵ a	۰/۶۶۷ d	۰/۳۹۰ d	۰/۳۰۶ d
اکوتیپ	اصفهان	۱۱/۵ a	۰/۷۷۰ b	۷۹/۷ b	۰/۶۷۵ c	۰/۵۰۸ a	۰/۳۱۷ c
	خوزستان- امیدیه	۹/۰۵ c	۰/۷۲۸ c	۷۱/۱ d	۰/۵۲۹ d	۰/۳۷۹ c	۰/۲۶۶ d
	کهگیلویه و بویراحمد	۱۱/۵ a	۰/۷۸۸ a	۸۲/۵ a	۰/۸۳۶ a	۰/۴۹۴ b	۰/۳۸۱ b
	مجارستان	۱۱/۱ a	۰/۷۷۱ b	۷۶/۵ c	۰/۸۱۶ b	۰/۵۱۳ a	۰/۳۹۹ a

سطوح آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

ادامه جدول ۵-

عوامل آزمایشی	سطوح	کاتالاز	آسکوربات	گایاکول (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	مالون دی‌آلدئید (میکرومول در میلی‌لیتر)	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر برگ)	کربوهیدارت (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
آبیاری	شاهد	۰/۳۵۳ a	۲/۴۲ c	۲/۴۰ c	۲/۱۷ c	۲۴/۳ c	۱۲۴ c
	تنش خفیف	۰/۴۷۴ b	۳/۰۵ b	۳/۰۰ b	۲/۷۵ b	۳۳/۸ b	۱۳۶ b
	تنش شدید	۰/۵۵۲ a	۳/۵۷ a	۳/۳۶ a	۳/۱۹ a	۳۹/۶ a	۱۴۵ a
تاریخ کاشت	۶ مهر	۰/۴۶۱ b	۲/۸۶ c	۲/۸۴ b	۲/۵۴ c	۳۳/۴ a	۱۳۷ b
	۲۶ مهر	۰/۴۷۸ a	۳/۳۴ a	۲/۸۹ b	۲/۸۵ b	۳۴/۷ a	۱۳۹ a
	۱۶ آبان	۰/۴۵۷ b	۳/۱۷ b	۳/۳۵ a	۲/۵۶ c	۳۳/۶ a	۱۳۸ ab
	۶ آذر	۰/۴۳۵ c	۲/۸۴ c	۲/۶۶ c	۲/۳۲ d	۳۱/۷ b	۱۳۵ c
	۲۰ اسفند	۰/۴۶۸ ab	۲/۸۵ c	۲/۸۶ b	۳/۲۳ a	۲۹/۵ c	۱۲۵ d
اکوتیپ	اصفهان	۰/۳۷۰ d	۲/۲۴ d	۲/۲۹ d	۳/۰۴ a	۳۰/۳ c	۱۲۷ c
	خوزستان- امیدیه	۰/۵۶۴ a	۴/۱۴ a	۳/۶۶ a	۲/۳۴ d	۳۶/۲ a	۱۳۸ b
	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۴۹۸ b	۳/۱۷ b	۳/۰۸ b	۲/۴۸ c	۳۴/۵ b	۱۴۷ a
	مجارستان	۰/۴۰۶ c	۲/۴۹ c	۲/۶۵ c	۲/۹۴ b	۲۹/۴ c	۱۲۷ c

سطوح آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

درصد) به ترتیب ۳/۴۶ و ۹/۳۹ درصد کاهش داشت. خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Zivcak *et al.*, 2014). پژوهشی بر رازیانه نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش ۶ درصدی محتوای آب برگ می‌شود (غلامی زالی و احسان‌زاده، ۱۳۹۸). محتوای کلروفیل *a* تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۷۰۱) و شدید (۰/۵۷۰) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۰/۸۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) به ترتیب ۱۹/۳ و ۳۴/۴ درصد کاهش یافت. محتوای کلروفیل *b* تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۴۷۴) و شدید (۰/۳۹۰) نسبت به آبیاری شاهد (۰/۵۵۵ میلی‌گرم) به ترتیب ۱۴/۶و ۲۹/۷ درصد و محتوای کاروتنوئید تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۳۳۶) و شدید (۰/۲۶۳) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۰/۴۲۲ میلی‌گرم) به ترتیب ۲۰/۳ و ۳۷/۶ درصد کاهش یافتند. تولید گونه‌های فعال اکسیژن سبب پراکسیداسیون لیپیدها شده و کاهش میزان کلروفیل در گیاه تحت تنش را به دنبال دارد (Xiao *et al.*, 2008). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر تنش کم‌آبی و شوری تخریب می‌شوند و این تخریب تحت تنش کم‌آبی بیشتر است (سارانی ملاک و همکاران، ۱۴۰۱). در پژوهشی بر ۲۳ ژنوتیپ گندم، کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در اثر تنش کم‌آبی در تمام ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (Samieadel *et al.*, 2023). آنزیم کاتالاز تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۴۷۳) و شدید (۰/۵۵۱) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۰/۳۵۳ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) به ترتیب ۳۴ و ۵۶ درصد، آنزیم آسکوربات پراکسیداز تحت تنش کم‌آبی خفیف (۳/۰۴) و شدید (۳/۵۷) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۲/۴۲ واحد آنزیم) به شاهد (۲/۴۲ واحد آنزیم) به ترتیب ۲۶/۶ و ۴۷/۵ درصد و آنزیم گایاکول پراکسیداز تحت تنش کم‌آبی خفیف (۳/۰۰) و شدید (۳/۳۵) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۲/۳۹ واحد آنزیم) به ترتیب ۲۵/۵ و ۴۰/۱ درصد افزایش یافتند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش کم‌آبی افزایش می‌یابند (سارانی ملاک و همکاران، ۱۴۰۱). مالون دی‌آلدئید تحت تنش کم‌آبی خفیف (۲/۷۴) و شدید (۳/۱۸) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۲/۱۶ میکرومول در میلی‌لیتر) به ترتیب ۲۶/۸ و ۴۷/۲ درصد افزایش یافت. در پژوهشی بر چهار رقم جوی دو ردیفه و شش ردیفه نیز افزایش مالون دی‌آلدئید در اثر تنش کم‌آبی مشاهده شد (Bardehji *et al.*, 2023). پرولین تحت تنش کم‌آبی خفیف (۳۳/۸) و شدید (۳۹/۶) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۲۴/۳ میکرومول در گرم وزن تازه) به ترتیب ۳۹ و ۶۴ درصد افزایش یافت. پرولین، یک ترکیب فعال اسمزی است که به تعدیل پتانسیل اسمزی گیاه کمک می‌کند و میزان آن با افزایش شدت تنش افزایش می‌یابد (Passioura, 1988). افزایش پرولین تحت تنش کم‌آبی در گیاهانی نظیر ذرت، جو، چمانوش و خارمریم گزارش شده است (سارانی ملاک و همکاران، ۱۴۰۱، Bardehji *et al.*, 2023). غلظت کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش کم‌آبی خفیف (۱۳۵) و شدید (۱۴۴) نسبت به تیمار آبیاری شاهد (۱۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) به ترتیب ۹/۷۵ و ۱۷ درصد افزایش یافت. متابولیسم و تجمع کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش به افزایش فعالیت β- آمیلاز و تجمع نشاسته و فروکتان‌ها در ریشه، اندام هوایی و آمیلوپلاست‌ها برای تأمین انرژی ضروری نسبت داده می‌شود (Fernandez *et al.*, 2010). پژوهش‌های پیشین روی کنجد و گندم نیز نشان‌دهنده افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش کم‌آبی است.

تأثیر اکوتیپ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ بر تمام صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۱۱/۵) و کمترین (۹/۰۴ کیلو گرم در متر مربع) عملکرد زیست‌توده به ترتیب مربوط به اکوتیپ‌های اصفهان و امیدیه بود (جدول ۵). بیشترین بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) (۰/۷۸۷)، محتوای نسبی آب برگ (۸۲/۵ درصد) و کلروفیل *a* (۰/۸۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد و کمترین کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (۰/۷۲۷)، محتوای نسبی آب برگ (۷۱/۱ درصد) و کلروفیل *a* (۰/۵۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در اکوتیپ امیدیه مشاهده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

اکوتیپ‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد از نظر عملکرد زیست‌توده تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج پژوهشی بر ۲۶ اکوتیپ خارمریم نشان داد که بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد زیست‌توده و محتوای سیلیمارین اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Majidi *et al.*, 2021). بیشترین میزان کلروفیل *b* (۰/۵۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۰/۳۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در اکوتیپ مجارستان و کمترین میزان کلروفیل *b* (۰/۳۷۸ میلی‌گرم) و کاروتنوئید (۰/۲۶۶ میلی‌گرم) در اکوتیپ امیدیه مشاهده شد. تأثیر اکوتیپ بر رنگدانه‌های فتوسنتزی با نتایج سایر پژوهشگران بر گیاهان سیاهدانه (صیدی و همکاران، ۱۴۰۰) و ذرت (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۱) همخوانی دارد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۵۶۳ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، آسکوربات پراکسیداز (۴/۱۴ واحد آنزیم) و گایاکول پراکسیداز (۳/۶۶ واحد آنزیم) متعلق به اکوتیپ امیدیه و کمترین میزان کاتالاز (۰/۳۷۰ واحد آنزیم)، آسکوربات پراکسیداز (۲/۲۴ واحد آنزیم) و گایاکول پراکسیداز (۲/۲۸ واحد آنزیم) متعلق به اکوتیپ اصفهان بود. بیشترین و کمترین غلظت مالون دی‌آلدئید به ترتیب در اکوتیپ‌های اصفهان (۳/۰۴) و امیدیه (۲/۳۴ میکرومول در میلی‌لیتر) مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان پرولین به‌ترتیب در اکوتیپ‌های امیدیه (۳۶/۱ میکرومول در میلی‌لیتر) و مجارستان (۲۹/۳) مشاهده شد. اکوتیپ‌های مجارستان و اصفهان از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری نداشتند. این اختلاف‌ها در میزان مالون دی‌آلدئید و پرولین را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها نسبت داد. تأثیر اکوتیپ‌های مختلف بر میزان پرولین در سایر پژوهش‌ها بر گیاهان کرچک (شریفی سلطانی و همکاران، ۱۴۰۱) و سیاهدانه (صیدی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز مشاهده شده است. بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد (۱۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و اصفهان (۱۲۶ میلی‌گرم) مشاهده شد. اکوتیپ‌های اصفهان و مجارستان از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری نداشتند.

برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبیاری: برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نبود، اما بر محتوای پرولین در سطح احتمال ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش کم‌آبی خفیف و شدید در تمام تاریخ‌های کاشت، سبب کاهش عملکرد زیست‌توده، بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل *a* و *b*، کاروتنوئید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای مالون دی‌آلدئید، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول شد (جدول ۶). بیشترین و کمترین عملکرد زیست‌توده به ترتیب ۱۶/۱ و ۳/۸۲ کیلو گرم در متر مربع، در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و شرایط آبیاری شاهد و تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. عملکرد زیست‌توده به‌عنوان یک صفت پلی‌ژنیک از محیط پیرامون تأثیر زیادی می‌پذیرد و با تغییر تاریخ کاشت و میزان آبیاری می‌توان آن را کنترل کرد (Li and Li, 2004). بیشترین بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) (۰/۸۲۱)، کلروفیل *a* (۰/۹۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل *b* (۰/۶۲۰ میلی‌گرم) در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و شرایط آبیاری نرمال و کمترین آن‌ها به ترتیب ۰/۷۱۱، ۰/۵۱۷، و ۰/۳۷۲ در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند، ۶ مهر و ۲۰ اسفند و تحت تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت سبب کاهش پارامترهایی نظیر کلروفیل و در نتیجه کاهش عملکرد زیست‌توده می‌شود. بیشترین (۰/۴۴۰) و کمترین (۰/۲۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) میزان کاروتنوئید به ترتیب در تاریخ کاشت ۱۶ آبان و شرایط آبیاری شاهد و ۶ آذر و شرایط تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. بیشترین (۰/۵۹۳) و کمترین (۰/۳۲۹ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۶ آذر و شرایط آبیاری شاهد مشاهده شد. بیشترین (۴/۰۹) و کمترین (۲/۱۷ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۲۰ اسفند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر صفات مختلف اندازه‌گیری شده در گیاه خارمریم

تاریخ کاشت	آبیاری	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مربع)	Fv/Fm	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئید	کربوهیدارت
				(میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)			
۶ مهر	شاهد	۱۳/۶^{b}	۰/۷۹۴^{d}	۰/۸۲۱^{d}	۰/۵۶۹^{c}	۰/۴۳۷^{a}	۱۳۰^{h}
	تنش خفیف	۱۲/۶^{cd}	۰/۷۴۴^{g}	۰/۶۳۴^{j}	۰/۴۶۲^{fg}	۰/۳۱۶^{e}	۱۳۷^{e}
	تنش شدید	۱۰/۱^{g}	۰/۷۲۶^{h}	۰/۵۱۷^{m}	۰/۳۷۷^{j}	۰/۲۵۳^{i}	۱۴۲^{c}
۲۶ مهر	شاهد	۱۶/۱^{a}	۰/۸۲۱^{a}	۰/۹۶۷^{a}	۰/۶۲۰^{a}	۰/۴۳۷^{a}	۱۳۲^{g}
	تنش خفیف	۱۲/۹^{c}	۰/۷۷۴^{e}	۰/۷۷۹^{f}	۰/۵۳۱^{d}	۰/۳۷۲^{c}	۱۳۹^{de}
	تنش شدید	۱۲/۰^{e}	۰/۷۴۲^{g}	۰/۶۵۵^{i}	۰/۴۵۷^{g}	۰/۳۰۱^{f}	۱۴۵^{b}
۱۶ آبان	شاهد	۱۳/۵^{b}	۰/۸۱۲^{bc}	۰/۹۰۶^{b}	۰/۵۸۷^{b}	۰/۴۳۹^{a}	۱۲۸^{hi}
	تنش خفیف	۱۲/۳^{de}	۰/۷۶۰^{f}	۰/۷۳۵^{g}	۰/۴۷۵^{f}	۰/۳۶۸^{c}	۱۳۹^{de}
	تنش شدید	۱۱/۳^{f}	۰/۷۲۶^{h}	۰/۵۸۲^{k}	۰/۳۸۴^{ij}	۰/۲۶۹^{h}	۱۴۴^{b}
۶ آذر	شاهد	۱۲/۰^{e}	۰/۸۰۷^{g}	۰/۸۵۴^{c}	۰/۵۵۹^{c}	۰/۴۲۹^{b}	۱۲۸^{hi}
	تنش خفیف	۱۰/۸^{f}	۰/۷۴۸^{fg}	۰/۷۰۰^{h}	۰/۵۱۰^{e}	۰/۳۳۴^{d}	۱۳۵^{f}
	تنش شدید	۹/۲۵^{h}	۰/۷۲۵^{h}	۰/۵۵۳^{l}	۰/۳۹۷^{i}	۰/۲۳۳^{j}	۱۴۰^{cd}
۲۰ اسفند	شاهد	۶/۲۵^{i}	۰/۸۱۶^{ab}	۰/۸۰۰^{e}	۰/۴۳۹^{h}	۰/۳۶۹^{c}	۹۹/۵^{j}
	تنش خفیف	۵/۳۷^{j}	۰/۷۵۰^{g}	۰/۶۵۹^{i}	۰/۳۹۱^{ij}	۰/۲۸۸^{g}	۱۲۷^{i}
	تنش شدید	۳/۸۲^{k}	۰/۷۱۰^{i}	۰/۵۴۰^{l}	۰/۳۳۷^{k}	۰/۲۵۹^{i}	۱۴۹^{a}

ادامه جدول ۶-

تاریخ کاشت	آبیاری	کاتالاز	آسکوربات	گایاکول	مالون دی‌آلدئید	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر برگ)
		(واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)			(میکرومول در میلی‌لیتر)	
۶ مهر	شاهد	۰/۳۴۷^{f}	۲/۳۲^{h}	۲/۲۵^{gh}	۱/۸۵^{k}	۲۳/۳^{g}
	تنش خفیف	۰/۴۹۳^{c}	۲/۹۶^{e}	۳/۰۰^{de}	۲/۶۴^{gh}	۳۶/۷^{cd}
	تنش شدید	۰/۵۴۲^{b}	۳/۳۰^{d}	۳/۲۴^{c}	۳/۱۰^{c}	۴۰/۰^{b}
۲۶ مهر	شاهد	۰/۳۷۷^{e}	۲/۷۴^{f}	۲/۳۷^{g}	۲/۲۶^{i}	۲۶/۰^{g}
	تنش خفیف	۰/۴۶۷^{d}	۳/۱۹^{d}	۲/۸۸^{e}	۲/۹۳^{de}	۳۴/۶^{de}
	تنش شدید	۰/۵۸۸^{a}	۴/۰۹^{a}	۳/۴۰^{b}	۳/۳۴^{b}	۴۳/۲^{a}
۱۶ آبان	شاهد	۰/۳۶۸^{e}	۲/۵۲^{g}	۲/۹۳^{de}	۲/۰۲^{j}	۲۴/۹^{g}
	تنش خفیف	۰/۴۷۰^{d}	۳/۲۹^{d}	۳/۳۸^{bc}	۲/۶۱^{h}	۳۵/۳^{d}
	تنش شدید	۰/۵۳۱^{b}	۳/۷۰^{b}	۳/۷۱^{a}	۳/۰۴^{cd}	۴۰/۵^{bc}
۶ آذر	شاهد	۰/۳۲۹^{f}	۲/۳۴^{h}	۲/۲۵^{gh}	۱/۸۵^{k}	۲۳/۸^{g}
	تنش خفیف	۰/۴۷۱^{d}	۲/۹۳^{e}	۲/۷۱^{f}	۲/۳۶^{i}	۳۲/۳^{ef}
	تنش شدید	۰/۵۰۳^{c}	۳/۲۴^{d}	۳/۰۲^{d}	۲/۷۵^{fg}	۳۹/۰^{bc}
۲۰ اسفند	شاهد	۰/۳۴۳^{f}	۲/۱۷^{h}	۲/۱۶^{h}	۲/۸۳^{ef}	۲۳/۳^{g}
	تنش خفیف	۰/۴۶۶^{d}	۲/۸۴^{ef}	۳/۰۲^{d}	۳/۱۸^{c}	۳۰/۰^{f}
	تنش شدید	۰/۵۹۳^{a}	۳/۵۱^{c}	۳/۳۹^{b}	۳/۶۷^{a}	۳۵/۱^{d}

سطوح آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری شده در گیاه خارمریم

تاریخ کشت	اکوتیپ	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر مترمربع)	Fv/Fm	محتوای نسبی آب برگ (٪)	کلروفیل *a* (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کلروفیل *b*	کاروتنوئید
	اصفهان	۱۳/۴^{cd}	۰/۷۵۴^{g}	۷۸/۹$^{d-g}$	۰/۶۰۵^{kl}	۰/۴۷۵^{ef}	۰/۲۹۸^{j}
۶	خوزستان- امیدیه	۹/۹۳^{i}	۰/۷۰۹^{i}	۶۹/۶^{jk}	۰/۴۶۲^{n}	۰/۳۴۹^{k}	۰/۲۴۲^{n}
مهر	کهگیلویه و بویراحمد	۱۳/۰^{de}	۰/۷۸۷^{cd}	۸۰/۸^{cde}	۰/۸۱۷^{de}	۰/۵۲۹^{bc}	۰/۴۱۳^{b}
	مجارستان	۱۲/۱^{g}	۰/۷۶۸^{f}	۷۴/۷^{i}	۰/۷۴۵^{i}	۰/۵۲۶^{bc}	۰/۳۸۸^{e}
	اصفهان	۱۴/۶^{a}	۰/۷۸۶^{d}	۸۱/۹^{bc}	۰/۷۶۸^{h}	۰/۵۸۰^{a}	۰/۳۲۵^{h}
۲۶	خوزستان- امیدیه	۱۲/۱^{fg}	۰/۷۳۱^{h}	۷۱/۱^{j}	۰/۶۱۱^{k}	۰/۴۳۶^{hi}	۰/۲۸۵^{k}
مهر	کهگیلویه و بویراحمد	۱۴/۲^{ab}	۰/۸۲۱^{a}	۸۵/۹^{a}	۰/۹۴۵^{a}	۰/۵۳۵^{b}	۰/۴۰۳^{cd}
	مجارستان	۱۳/۸^{bc}	۰/۷۷۹^{de}	۷۶/۴^{ghi}	۰/۸۷۸^{c}	۰/۵۹۲^{a}	۰/۴۶۷^{a}
	اصفهان	۱۲/۷^{ef}	۰/۷۷۲^{e}	۷۹/۹$^{c-f}$	۰/۶۳۲^{j}	۰/۵۱۴^{c}	۰/۲۹۷^{j}
۱۶	خوزستان- امیدیه	۹/۹۶^{i}	۰/۷۱۶^{i}	۶۸/۲^{kl}	۰/۵۹۲^{l}	۰/۳۹۹^{j}	۰/۳۱۱^{i}
آبان	کهگیلویه و بویراحمد	۱۳/۳^{cd}	۰/۸۰۴^{b}	۸۳/۶^{ab}	۰/۸۲۵^{d}	۰/۴۹۳^{d}	۰/۴۱۸^{b}
	مجارستان	۱۳/۴^{cd}	۰/۷۷۲^{ef}	۷۷/۳^{fgh}	۰/۹۱۵^{b}	۰/۵۲۱^{bc}	۰/۴۱۰^{bc}
	اصفهان	۱۱/۸^{g}	۰/۷۶۵^{f}	۷۶/۵^{ghi}	۰/۷۴۸^{i}	۰/۵۸۲^{a}	۰/۴۰۰^{d}
۶	خوزستان- امیدیه	۹/۲۴^{j}	۰/۷۰۹^{i}	۶۶/۰^{l}	۰/۵۰۷^{m}	۰/۴۲۰^{i}	۰/۲۵۵^{m}
آذر	کهگیلویه و بویراحمد	۱۱/۱^{h}	۰/۷۹۷^{bc}	۸۰/۶^{cde}	۰/۷۸۹^{fg}	۰/۴۶۳^{fg}	۰/۳۰۲^{j}
	مجارستان	۱۰/۴^{i}	۰/۷۶۸^{f}	۷۵/۸^{hi}	۰/۷۶۵^{h}	۰/۴۹۰^{de}	۰/۳۷۱^{f}
	اصفهان	۵/۱۲^{l}	۰/۷۶۹^{ef}	۸۱/۴^{bcd}	۰/۶۱۸^{jk}	۰/۳۸۸^{j}	۰/۲۶۴^{l}
۲۰	خوزستان- امیدیه	۳/۹۹^{m}	۰/۷۷۲^{ef}	۸۰/۵^{cde}	۰/۴۶۹^{n}	۰/۲۸۸^{l}	۰/۲۳۶^{n}
اسفند	کهگیلویه و بویراحمد	۵/۷۷^{k}	۰/۷۲۷^{h}	۸۱/۷^{bc}	۰/۸۰۲^{ef}	۰/۴۴۹^{gh}	۰/۳۶۷^{f}
	مجارستان	۵/۶۹^{kl}	۰/۷۶۶^{f}	۷۸/۳$^{e-h}$	۰/۷۷۶^{gh}	۰/۴۳۱^{i}	۰/۳۵۵^{g}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

و شرایط آبیاری شاهد و بیشترین (۳/۷۱) و کمترین (۲/۱۶ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تاریخ کاشت ۱۶ آبان و شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۲۰ اسفند و شرایط آبیاری شاهد مشاهده شد. بیشترین (۳/۶۷) و کمترین (۱/۸۵ میکرومول در میلی‌لیتر) میزان مالون دی‌آلدئید به ترتیب در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۶ آذر و شرایط آبیاری شاهد مشاهده شد. بیشترین (۴۳/۳) و کمترین (۲۳/۴ میکرومول در گرم وزن تازه) میزان پرولین به ترتیب در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۶ مهر و شرایط آبیاری شاهد مشاهده شد. بیشترین (۱۴۹) و کمترین (۹۹/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و شرایط تنش کم‌آبی شدید و همان تاریخ کاشت و شرایط آبیاری شاهد مشاهده شد. نتایج پژوهشی روی گیاه کینوا نشان می‌دهد که رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری قرار می‌گیرند، اما این برهمکنش تأثیر معنی‌داری بر مالون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

ادامه جدول ۷-

تاریخ کشت	اکوتیپ	کاتالاز	آسکوربات	گایاکول	مالون دی‌آلدئید (میکرومول در میلی‌لیتر)	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر برگ)	کربوهیدارت (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
		(واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)					
	اصفهان	۰/۳۶۰^{ij}	۲/۰۲^{ij}	۲/۲۲^{jk}	۲/۹۴^{cd}	۲۸/۳$^{g-j}$	۱۳۰^{ij}
۶	خوزستان- امیدیه	۰/۵۶۴^{b}	۴/۲۸^{a}	۳/۵۵^{c}	۲/۰۶^{h}	۴۱/۰^{a}	۱۳۹^{ef}
مهر	کهگیلویه وبویراحمد	۰/۵۱۴^{c}	۲/۹۷^{de}	۳/۰۲^{de}	۲/۴۰^{g}	۳۷/۶^{bc}	۱۴۴^{d}
	مجارستان	۰/۴۰۴^{fg}	۲/۱۷^{hij}	۲/۵۴^{hi}	۲/۷۳^{ef}	۲۶/۶^{j}	۱۳۲^{hi}
	اصفهان	۰/۳۸۹^{gh}	۲/۶۲^{f}	۲/۰۴^{l}	۳/۴۱^{b}	۳۳/۲^{def}	۱۳۱^{hi}
۲۶	خوزستان- امیدیه	۰/۶۰۴^{a}	۴/۲۶^{a}	۳/۷۶^{b}	۲/۳۸^{g}	۳۷/۵^{bc}	۱۴۱^{e}
مهر	کهگیلویه‌و بویراحمد	۰/۴۸۵^{d}	۳/۵۵^{c}	۳/۱۰^{d}	۲/۶۲^{f}	۳۵/۹^{bcd}	۱۴۹^{b}
	مجارستان	۰/۴۳۰^{e}	۲/۹۳^{de}	۲/۶۳^{gh}	۲/۹۷^{c}	۳۱/۸^{ef}	۱۳۲^{hi}
	اصفهان	۰/۳۸۳^{ghi}	۲/۳۸^{g}	۲/۶۷^{gh}	۲/۹۲^{cd}	۳۱/۲^{fg}	۱۳۲^{hi}
۱۶	خوزستان- امیدیه	۰/۵۶۱^{b}	۴/۱۶^{a}	۴/۰۵^{a}	۲/۱۶^{h}	۳۸/۳^{ab}	۱۳۸^{f}
آبان	کهگیلویه‌و بویراحمد	۰/۴۸۲^{d}	۳/۳۷^{c}	۳/۶۰^{bc}	۲/۴۰^{g}	۳۴/۷^{cde}	۱۴۶^{c}
	مجارستان	۰/۴۰۰^{g}	۲/۷۷^{ef}	۳/۰۵^{de}	۲/۷۶^{ef}	۳۰/۱$^{f-i}$	۱۳۳^{h}
	اصفهان	۰/۳۵۶^{j}	۲/۱۹^{ghi}	۲/۱۰^{kl}	۲/۶۶^{ef}	۳۰/۸^{fgh}	۱۲۸^{j}
۶	خوزستان- امیدیه	۰/۵۴۷^{b}	۳/۸۴^{b}	۳/۴۷^{c}	۱/۸۵^{i}	۳۷/۲^{bc}	۱۳۶^{g}
آذر	کهگیلویه‌و بویراحمد	۰/۴۶۵^{d}	۳/۰۱^{d}	۲/۷۵^{fg}	۲/۱۵^{h}	۳۱/۳^{fg}	۱۴۴^{d}
	مجارستان	۰/۳۷۱^{hij}	۲/۳۲^{gh}	۲/۳۲^{j}	۲/۶۲^{f}	۲۷/۵^{ij}	۱۳۱^{i}
	اصفهان	۰/۳۵۹^{j}	۱/۹۸^{j}	۲/۳۸^{gh}	۳/۲۷^{b}	۲۷/۹^{hij}	۱۱۱^{k}
۲۰	خوزستان- امیدیه	۰/۵۴۱^{b}	۴/۱۷^{a}	۳/۴۷^{c}	۳/۲۵^{b}	۲۶/۷^{j}	۱۳۱^{hi}
اسفند	کهگیلویه‌و بویراحمد	۰/۵۴۴^{b}	۲/۹۵^{de}	۲/۹۱^{ef}	۲/۷۹^{de}	۳۲/۶^{ef}	۱۵۱^{a}
	مجارستان	۰/۴۲۵^{ef}	۲/۲۶^{gh}	۲/۶۸^{gh}	۳/۵۹^{a}	۳۰/۷^{fgh}	۱۰۷^{l}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

دی‌آلدئید نداشت (توکل‌افشاری و همکاران، ۱۴۰۲).

برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ: برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ بر تمام صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد زیست‌توده به ترتیب در اکوتیپ‌های اصفهان در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۱۴/۶) و امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۳/۹۹) کیلو گرم در متر مربع مشاهده شد (جدول ۷). در کشت پاییزه، ارقام و اکوتیپ‌های مقاوم به سرما به دلیل فراهم بودن دوره رشد مناسب، عملکرد بالاتری نسبت به کاشت بهاره دارند. در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام، احتمال کاهش عملکرد به علت بارندگی‌های بیشتر و از بین رفتن بوته‌ها وجود دارد (Basra and Basra, 1997). بیشترین Fv/Fm (۰/۸۲۱) و بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۵/۹ درصد) در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت ۲۶ مهر، و کمترین Fv/Fm (۰/۷۰۹) و محتوای نسبی آب برگ (۶۶/۰ درصد) در اکوتیپ امیدیه در تاریخ کاشت ۶ آذر مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

کلروفیل *a* به ترتیب در اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۰/۹۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و امیدیه در تاریخ کاشت ۶ مهر (۰/۴۶۲) مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل *b* (۰/۵۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۰/۴۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تاریخ کاشت ۲۶ مهر در اکوتیپ مجارستان، و کمترین میزان کلروفیل *b* (۰/۲۸۹) و کاروتنوئید (۰/۲۳۷) در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و در اکوتیپ امیدیه مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۶۰۴ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، آسکوربات پراکسیداز (۴/۲۸) و گایاکول پراکسیداز (۴/۰۵) در اکوتیپ امیدیه و به ترتیب در تاریخ کاشت‌های ۲۶ مهر، ۶ مهر و ۱۶ آبان و کمترین میزان آنزیم کاتالاز (۰/۳۵۶ واحد آنزیم)، آسکوربات پراکسیداز (۱/۹۸) و گایاکول پراکسیداز (۲/۰۴) در اکوتیپ اصفهان و به ترتیب در تاریخ کاشت‌های ۶ آذر، ۲۰ اسفند و ۲۶ مهر مشاهده شد. نتایج پژوهشی بر گیاه گلرنگ نشان داد که برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (بهادری و همکاران، ۱۴۰۰). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برخی ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های گیاهان مختلف به دلیل تأخیر در کاشت نیز گزارش شده است. برای مثال، در پژوهشی بر گیاه گلرنگ، تأخیر در کاشت سبب افزایش ۱۶ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز در یکی از ارقام شد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸). بیشترین و کمترین میزان مالون دی‌آلدئید به ترتیب در اکوتیپ‌های مجارستان در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۳/۵۹ میکرومول در میلی‌لیتر) و امیدیه در تاریخ کاشت ۶ آذر (۱/۸۵ میکرومول) مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب در اکوتیپ‌های امیدیه (۴۱/۰ میکرومول در گرم وزن تازه) و مجارستان (۲۶/۷) هر دو در تاریخ کاشت ۶ مهر مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد (۱۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و مجارستان (۱۰۷) در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند مشاهده شد. تغییر معنی‌دار در میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا (شیرانی‌راد و همکاران، ۱۴۰۱) و گندم (کمائی و همکاران، ۱۳۹۶) در تاریخ‌های کاشت متفاوت نیز در سایر پژوهش‌ها مشاهده شده است.

برهمکنش رژیم آبیاری و اکوتیپ: برهمکنش اکوتیپ و آبیاری بر محتوای پرولین تأثیر معنی‌داری نداشت، اما بر محتوای نسبی آب برگ (در سطح احتمال ۵ درصد) و سایر صفات (در سطح احتمال ۱ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها به رژیم‌های آبیاری مختلف است. تنش کم‌آبی خفیف و شدید باعث کاهش عملکرد زیست‌توده، بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل *a* و *b* و کاروتنوئید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای مالون دی‌آلدئید و کربوهیدرات‌های محلول در تمام اکوتیپ‌ها شد (جدول ۸). بیشترین و کمترین عملکرد زیست‌توده به ترتیب در اکوتیپ اصفهان تحت آبیاری شاهد (۱۳/۱ کیلوگرم گرم در متر مربع) و اکوتیپ امیدیه تحت تنش شدید کم‌آبی (۷/۸۷ کیلوگرم) مشاهده شد. بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد زیست‌توده تحت تنش کم‌آبی خفیف نسبت به آبیاری شاهد به ترتیب در اکوتیپ مجارستان (۱۳٪) و اکوتیپ اصفهان (۱۰٪/۵) و تحت تنش کم‌آبی شدید به ترتیب در اکوتیپ مجارستان (۲۸٪/۱) و اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد (۲۰٪/۵) به‌دست آمد. کاهش عملکرد دانه با افزایش تنش کم‌آبی به علت کاهش اجزای عملکرد، قابل پیش‌بینی است. به‌طور مشابه در پژوهشی بر سورگوم و ذرت، کاهش عملکرد در سه ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای، سه ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای و یک ژنوتیپ ذرت در شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شد (Asadi and Eshghizadeh, 2021). میزان این کاهش در اکوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف بسته به حساسیت آن‌ها متفاوت بود (Smart and Bingham, 1974). بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل *b* به ترتیب در اکوتیپ اصفهان تحت آبیاری نرمال (۰/۶۰۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و اکوتیپ امیدیه تحت تنش شدید کم‌آبی (۰/۲۸۴) و بیشترین و کمترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

جدول ۸- مقایسه میانگین پیامدهای برهمکنش رژیم آبیاری و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم

آبیاری	اکوتیپ	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مربع)	Fv/Fm	محتوای نسبی آب برگ (٪)	کلروفیل *a* (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کلروفیل *b* (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
شاهد	اصفهان	۱۳/۱^{a}	۰/۸۱۵^{c}	۸۴/۳^{b}	۰/۸۰۷^{c}	۰/۶۰۲^{a}	۰/۳۹۴^{c}
	خوزستان- امیدیه	۹/۸۰^{de}	۰/۷۵۸^{f}	۷۳/۷^{de}	۰/۶۶۴^{de}	۰/۴۶۹^{e}	۰/۳۴۳^{d}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۱۳/۰^{a}	۰/۸۴۰^{a}	۸۶/۶^{a}	۱/۰۳^{a}	۰/۵۸۰^{b}	۰/۴۶۴^{b}
	مجارستان	۱۲/۸^{a}	۰/۸۲۷^{b}	۷۹/۳^{c}	۰/۹۷۳^{b}	۰/۵۶۹^{b}	۰/۴۸۸^{a}
تنش خفیف	اصفهان	۱۱/۷^{b}	۰/۷۶۶^{e}	۷۹/۶^{c}	۰/۶۷۵^{d}	۰/۵۰۹^{c}	۰/۳۰۹^{e}
	خوزستان- امیدیه	۹/۰۶^{h}	۰/۷۲۲^{g}	۷۱/۴^{f}	۰/۵۱۷^{g}	۰/۳۸۲^{g}	۰/۲۴۹^{g}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۱۱/۲^{bc}	۰/۷۷۶^{d}	۸۳/۰^{b}	۰/۸۱۱^{c}	۰/۴۹۴^{d}	۰/۳۹۰^{c}
	مجارستان	۱۱/۱^{c}	۰/۷۵۶^{f}	۷۸/۵^{c}	۰/۸۰۲^{c}	۰/۵۰۹^{c}	۰/۳۹۴^{c}
تنش شدید	اصفهان	۹/۸۰^{e}	۰/۷۲۶^{h}	۷۵/۴^{d}	۰/۵۴۱^{f}	۰/۴۱۱^{f}	۰/۲۴۷^{g}
	خوزستان- امیدیه	۹/۸۸^{i}	۰/۷۰۲^{h}	۶۸/۳^{g}	۰/۴۰۳^{h}	۰/۲۸۴^{h}	۰/۲۰۵^{h}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۱۰/۳^{d}	۰/۷۴۷^{g}	۷۷/۹^{c}	۰/۶۶۳^{e}	۰/۴۰۸^{f}	۰/۲۸۷^{f}
	مجارستان	۹/۲۲^{f}	۰/۷۲۹^{h}	۷۱/۸^{ef}	۰/۶۷۲^{de}	۰/۴۵۸^{e}	۰/۳۱۳^{e}

سطوح آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین پیامدهای برهمکنش رژیم آبیاری و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم

آبیاری	اکوتیپ	کاتالاز	آسکوربات	گایاکول (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	مالون دی‌آلدئید (میکرومول در میلی‌لیتر)	کربوهیدارت (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
شاهد	اصفهان	۰/۲۹۰^{h}	۱/۸۳^{j}	۱/۸۷^{i}	۲/۴۸^{e}	۱۱۵^{h}
	خوزستان- امیدیه	۰/۴۳۰^{e}	۳/۱۲^{d}	۳/۰۳^{d}	۱/۸۴^{h}	۱۲۷^{g}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۰/۳۸۹^{f}	۲/۶۸^{f}	۲/۶۲^{f}	۲/۰۱^{g}	۱۳۶^{e}
	مجارستان	۰/۳۰۳^{h}	۲/۰۴^{i}	۲/۰۶^{h}	۲/۳۰^{f}	۱۱۵^{h}
تنش خفیف	اصفهان	۰/۳۶۳^{g}	۲/۲۷^{h}	۲/۳۶^{g}	۳/۱۶^{b}	۱۲۶^{g}
	خوزستان- امیدیه	۰/۶۰۴^{b}	۴/۳۳^{b}	۳/۸۱^{b}	۲/۲۵^{f}	۱۳۸^{d}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۰/۵۱۰^{c}	۳/۰۸^{de}	۳/۰۳^{d}	۲/۵۸^{e}	۱۴۸^{b}
	مجارستان	۰/۴۱۷^{e}	۲/۵۰^{g}	۲/۷۹^{e}	۳/۰۰^{c}	۱۲۹^{f}
تنش شدید	اصفهان	۰/۴۵۶^{d}	۲/۶۱^{fg}	۲/۶۲^{f}	۳/۴۸^{a}	۱۳۸^{d}
	خوزستان- امیدیه	۰/۶۵۶^{a}	۴/۹۸^{a}	۴/۱۴^{a}	۲/۹۲^{cd}	۱۴۶^{c}
	کهگیلویه‌وبویراحمد	۰/۵۹۴^{b}	۳/۷۵^{c}	۳/۵۸^{c}	۲/۸۲^{d}	۱۵۶^{a}
	مجارستان	۰/۴۹۹^{c}	۲/۹۳^{e}	۳/۰۸^{d}	۳/۵۰^{a}	۱۳۶^{e}

سطوح آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون ال‌اس‌دی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

کاروتنوئید به ترتیب در اکوتیپ مجارستان تحت آبیاری شاهد (۰/۴۸۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و اکوتیپ امیدیه تحت تنش شدید کم‌آبی (۰/۲۰۵) مشاهده شد. تغییرات کلروفیل و کاروتنوئید تحت تنش کم‌آبی بستگی به نوع گیاه، طول دوره و شدت تنش دارد (Antolin *et al.*, 1995). نتایج پژوهشی بر چهار ژنوتیپ گیاه جو نشان‌دهنده معنی‌داری برهمکنش ژنوتیپ و آبیاری بر صفات کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئید بود (Bardehji *et al.*, 2023). بیشترین میزان فعالیت کاتالاز (۰/۶۵۶ واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)، آسکوربات پراکسیداز (۴/۹۸) و گایاکول پراکسیداز (۴/۱۵) در اکوتیپ امیدیه تحت تنش شدید کم‌آبی و کمترین میزان فعالیت کاتالاز (۰/۲۹۰ واحد آنزیم)، آسکوربات پراکسیداز (۱/۸۳) و گایاکول پراکسیداز (۱/۸۷) در اکوتیپ اصفهان تحت آبیاری شاهد مشاهده شد. برهمکنش رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ در گلرنگ (بهادری و همکاران، ۱۴۰۰) و کلزا (دوامی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز مشاهده شده است. بیشترین و کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید به ترتیب در اکوتیپ مجارستان تحت تنش شدید کم‌آبی (۳/۵۰ میکرومول در میلی‌لیتر) و اکوتیپ امیدیه تحت آبیاری شاهد (۱/۸۴) مشاهده شد. اثر برهمکنش اکوتیپ و آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (سورنی و همکاران، ۱۳۹۹). بیشترین و کمترین کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد تحت تنش شدید کم‌آبی (۱۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و اکوتیپ اصفهان تحت آبیاری شاهد (۱۱۶) مشاهده شد. در گیاه کلزا، تأخیر در آبیاری سبب افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول در ژنوتیپ‌ها شد و این افزایش در ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش بیشتر بود (Ashraf and Foolad *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش‌های کم‌آبی خفیف و شدید باعث کاهش عملکرد زیست‌توده، کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و کاروتنوئید می‌شود. اکوتیپ‌ها به‌طور متفاوتی به تنش کم‌آبی واکنش نشان دادند؛ برخی مقاوم‌تر و برخی حساس‌تر بودند. تحت تنش کم‌آبی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان راهکار دفاعی گیاه مشاهده شد. تغییرات در محتوای کلروفیل و کاروتنوئید به شدت تنش بستگی داشت. بیشترین عملکرد زیست‌توده در اکوتیپ‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد (۱۱/۵ کیلوگرم در متر مربع) مشاهده شد. با توجه به عملکرد زیست‌توده بالاتر در تاریخ کشت پاییزه نسبت به تاریخ کشت بهاره در تمام اکوتیپ‌های مورد مطالعه، کشت گیاه خارمریم در شرایط آب و هوایی مشابه اصفهان، در فصل پاییز مناسب‌تر است. بین تاریخ‌های کشت متفاوت پاییزه، تاریخ کشت اواخر مهر (۲۶ مهر) تا اواسط آبان (۱۶ آبان) پیشنهاد می‌شود. با توجه به دارا بودن محتوای نسبی آب برگ، کارآیی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، کلروفیل و کاروتنوئید بالاتر در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد، انجام مطالعات بیشتر زراعی و اصلاحی بر روی این اکوتیپ پیشنهاد می‌شود. درک عمیق‌تر از پاسخ‌های فیزیولوژیک اکوتیپ‌های گیاه خارمریم به سطوح مختلف تنش آب می‌تواند به بهبود روش‌های آبیاری و مدیریت تنش در کشاورزی کمک کند.

منابع

ابهری، عباس، گالشی، سراله، لطیفی، ناصر، و کلاته، مهدی (۱۳۸۶). تأثیر برخی پارامترهای رشد بر عملکرد ژنوتیپ‌های گندم (*Triricum aestivum* L.) در شرایط تنش خشکی. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، *۱۴*(۶)، ۹۲-۸۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

اسدی‌صنم، سمانه، زواره، محسن، پیردشتی، همت‌اله، سفیدکن، فاطمه، نعمت‌زاده، قربانعلی، و هاشم‌پور، ابوذر (۱۳۹۲). تغییر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) در پاسخ به تاریخ کشت و دوره غرقاب خاک. *دو ماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۱(۲)، ۳۳۱-۳۱۵.

امامی، طاهره (۱۴۰۱). اثر بیوچار و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در شرایط عدم تنش و تنش خشکی. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۴(۱)، ۲۴۳-۲۲۹. https://doi.org/10.22034/csrar.2022.320762.1172

بهادری، فاطمه، بیژن‌زاده، احسان، و بهپوری، علی (۱۴۰۰). بررسی اثرات کاشت تأخیری و قطع آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب و عملکرد دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۴(۳)، ۶۰۵-۶۱۸. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3173.1810

توکل‌افشاری، مسیح، نظامی، احمد، احمدی لاهیجانی، محمد جواد، نباتی، جعفر، و کریم‌زاده سورشجانی، هدایت‌الله (۱۴۰۲). اثر تاریخ کاشت و کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در مشهد. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۶(۲)، ۴۱۸-۴۰۳. https://doi.org/10.22077/escs.2022.4695.2056

دوامی، پیمان، علوی فاضل، مجتبی، لک، شهرام، حبیبی، داوود، و مظفری، افشین (۱۴۰۰). ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) زمستانه در شرایط قطع آبیاری و تأخیر کاشت. *پژوهش‌های علوم کشاورزی پایدار*، ۱(۲)، ۲۱-۱.

دهشیری، امید، و پاک‌نیت، حسن (۱۳۹۱). ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا از نظر محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی. *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۳(۱۰)، ۷۸-۶۹. DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.10.7.2

سارانی ملاک، مصطفی، اله‌دو، مریم، مهرآوران، لیلا، و پیری، حلیمه (۱۴۰۱). تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمایی گیاه دارویی خارمریم (*Silybum marianum*). *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۴(۱) ۱۱۳-۱۲۱. https://doi.org/10.22034/csrar.2022.322452.1175

سورنی، جهاد، روستاخیز، جواد، سلیمی، خالد، و نوری، محسن (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی بر صفات عملکردی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس برخی اکوتیپ‌های گیاه دارویی زیره‌سبز (*Cuminum cyminum* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳(۴)، ۱۱۳۴-۱۱۲۵. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624

شریفی سلطانی، سارا، کاظمی تبار، کمال، رنجبر، غلامعلی، پاکدین پاریزی، علی، و نجفی زرینی، حمید (۱۴۰۱). اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، محتوای پرولین و برخی صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های مختلف کرچک (*Ricinus communis* L.). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۴۷)، ۲۶۷-۲۸۱. DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.7.6

شیرانی‌راد، امیرحسین، گوهریان، علیرضا، و عینی نرگسه، حامد (۱۴۰۱). تأثیر سلنیوم و روی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تأخیری. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۴(۲)، ۳۶۹-۳۵۱. https://doi.org/10.22034/csrar.2022.351327.1256

صالحی، فرشاد، راهنما قهفرخی، افراسیاب، مسکرباشی، موسی، و مهدیخانلو، خسرو (۱۳۹۸). اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۷(۳)، ۵۰۳-۴۹۲. https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.76975

صیدی، زهرا، عباسی، نصرت‌الله زارع، محمدجواد، و زارعی، بتول (۱۴۰۰). اثر کود زیستی نیتروکسین بر ویژگی‌های فیزیولوژیک چهار اکوتیپ سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش خشکی. *روابط خاک و گیاه*، ۱۲(۲)، ۱۹-۳۲.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

https://doi.org/10.47176/jspi.12.1.20141

عباسی دهکردی، نسرین، رفیعی‌الحسینی، محمد، دانش شهرکی، عبدالرزاق، و بدل‌زاده، افسانه (۱۴۰۰). اثر تاریخ کاشت و کاربرد کودهای دامی، شیمیایی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و اسانس بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). تولید گیاهان زراعی، ۱۵(۱)، ۵۶-۳۹. https://doi.org/10.22069/EJCP.2022.19086.2422

عبدالله‌زارع، سودابه، فاتح، اسفندیار، و آینه‌بند، امیر (۱۳۹۱). بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کشت و روش‌های مختلف تغذیه‌ای (شیمیایی و آلی) بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه خار مریم (*Silybum marianum* L.). *تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۵(۱)، ۱۲۹-۱۴۳.

عوض کوچکی، علیرضا، و راشد محصل، محمد حسین (۱۳۸۸). اصول و عملیات دیمکاری. جهاد دانشگاهی دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.

غلامی‌زالی، علی، و احسان‌زاده، پرویز (۱۳۹۸). پاسخ فیزیولوژیکی، آنتی‌اکسیدانی و عملکرد سه ژنوتیپ رازیانه به استعمال خارجی پرولین در شرایط تنش رطوبتی. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۸(۳۲)، ۱۸-۱. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.17.5

قاسمی، احمد، و ارفع‌نیا، حامد (۱۴۰۰). تأثیر تنش خشکی و تاریخ کاشت بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دو رقم ارزن. *نشریه مدیریت و تولید پایدار*، ۱۱(۱)، ۱۴۸-۱۳۳. https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18495.1982

قربانی، رضا، کوچکی، علیرضا، حسینی، آزاده، جهانی، مریم، اسدی، قربانعلی، عاقل، حسن، و محمدآبادی، علی‌اصغر (۱۳۸۹). بررسی اثرات تاریخ کشت، زمان و روش‌های کنترل علف‌های هرز بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در زیره سبز. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۸(۱)، ۱۲۷-۱۲۰. https://doi.org/10.22067/GSC.V8I1.7400

کمائی، حسین، عیسوند، حمیدرضا، دانشور، ماشالله، و نظریان، فرهاد (۱۳۹۶). بررسی اثر تاریخ کاشت، کود زیستی فسفاته و محلول‌پاشی روی و بور بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۲۹)، ۷۴-۵۹. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.15.7

گلی، امیرحسین، کدیور، مهدی، بهرامی، بهمن، و سبزعلیان، محمدرضا (۱۳۸۶). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن دانه ماریتیغال. *فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران*، ۴(۴)، ۳۱-۲۷.

مفاخری، خسرو، ولیزاده، مصطفی، و محمدی، سید ابوالقاسم (۱۴۰۱). بررسی الگوی ایزوزیمی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و شاخص‌های فیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های ذرت تحت تنش کم آبی. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۴(۴۳)، ۷۵-۶۴. https://doi.org/10.52547/jcb.14.43.64

نعمت‌پور، افسانه، و عشقی‌زاده، حمیدرضا (۱۳۹۸). اثر تنش خشکی، تغذیه شیمیایی نیتروژن و تاریخ کاشت بر برخی ویژگی‌های آگروفیزیولوژیک دو رقم ارزن. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۳)، ۱۸۶-۱۷۶. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.22.2

نوراللهی، مرجان، حسن‌لی، علی‌مراد، قنبریان، غلام‌عباس، و تقوایی، منصور (۱۳۹۵). برآورد ضریب گیاهی (Kc) گیاهان دارویی رزماری، اسطوخودوس و ماریتیغال (خارمریم) با استفاده از بیلان آبی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۰(۱)، ۱۱۷-۱۲۷.

Abenavoli, L., Capasso, R., Milic, N., & Capasso, F. (2010). Milk thistle in liver diseases: Past, present, future. *Phytotherapy Research, 24*(10), 1423-1432. https://doi.org/10.1002/ptr.3207

Abreha, K. B., Enyew, M., Carlsson, A. S., Vetukuri, R. R., Feyissa, T., Motlhaodi, T., Ng'uni, D., & Geleta, M. (2022). Sorghum in dryland: Morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta, 255*, 1-23. https://doi.org/10.1007/s00425-021-03799-7

Aebi, H. E. (1983). Catalase, Methods of Enzymatic Analaysis. 3rd Ed. Verlag Chemie, Weinheim.

Aghaei, K., Ehsanpour, A. A., & Komatsu, S. (2009). Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes. *Journal of Integrative Plant Biology, 51*(12), 1095-1103. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2009.00886.x

Andrzejewska, J, & Skinder, Z. (2006). Yield and quality of raw material of milk thistle (*Silybum marianum* (L). Gaertn) grown in monoculture and in crop rotation. Part I. reaction of milk thistle to the sowing date. *Herba*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

Polonica, 52(4), 11-16.
Antolin, M., Yoller, C., & Sanchez- Diaz, M. (1995). Effects of temporary drought on nitrate- fed and nitrogen fixing alfalfa plants. *Plant Science, 107*(2), 159-165. https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04108-7
Asadi, M, & Eshghizadeh, H. R. (2020). Comparison of growth responses in sorghum genotypes and corn grown in arid regions under different levels of water and nitrogen supplies. *Acta Agrobotanica, 73*(4). https://doi.org/10.5586/aa.7342
Ashraf, M, & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and prolin in improving plant a biotic stress resistance. *Environment and Experimental Botany, 59*, 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
Bardehji, S., Soltan, S., Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M., Zare, S., Koçak, M. Z., Nouraein, M., Vita, F., & Vergine, M. (2023). Responses of two-row and six-row barley genotypes to elevated carbon dioxide concentration and water Stress. *Agronomy, 13*, 2373. https://doi.org/10.3390/agronomy13092373
Basra, A. S, & Basra, R. K. (1997). Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Routledge.
Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.
Baydar, H, & Baydar, N. G. (2005). The effects of harvest date, fermentation duration and Tween treatment on essential oil content and composition of industrial oil rose (*Rosa damascena* Mill.). *Industrial Crops and Products, 21*, 251-255. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.004
Belaqziz, S., Khabba, S., Kharrou, M. H., Bouras, E. H., Er-Raki, S., & Chehbouni, A. (2021). Optimizing the sowing date to improve water management and wheat yield in a large irrigation scheme, through a remote sensing and an evolution strategy-based approach. *Remote Sensing, 13*(18), 3789. https://doi.org/10.3390/rs13183789
Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3
Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. In: Methods in Enzymology. (eds. Colowick, S. P., and Kaplan, N. D.). Pp. 764-791. Academic Press. New York.
Fernandez, O., B´ethencourt, L., Quero, A., Sangwan, R. S., & Cl´ement, C. (2010). Trehalose and plant stress responses: Friend or foe? *Trends in Plant Science, 15*(7), 409-417. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.04.004
Heath, R. L, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 125*, 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1
Hetz, E., Liersch, R., & Schieder, O. (1995). Genetic investigations on *Silybum marianum* and *S. eburneum* with respect to leaf colour, outcrossing ratio, and flavonolignan composition. *Planta Medica, 61*(1), 54-57. https://doi.org/10.1055/s-2006-957999
Li, Z. Z, & Li, W. L. (2004). Dry-period irrigation and fertilizer application affect water use and yield of spring wheat in semi-arid regions. *Agricultural Water Management, 65*(2), 133-143. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.07.007
Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. In Methods in Enzymology. Academic Press.
Lowlor, D. W, & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell and Environment, 25*, 275-294. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x
Majidi, M. M., Shafiei-Koij, F., Pirnajmedin, F., Jami, M., & Radan, Z. (2021). Fatty acid profile, silymarin content and production properties of milk thistle (*Silybum marianum*) germplasm under different water environments. *Crop and Pasture Science, 72*(4), 302-310. https://doi.org/10.1071/CP20489
McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry, 22*, 1156-1158.
Nakano, Y, & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology, 22*, 867-880. doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232
Nasrabadi, S. E., Ghorbani, R., Moghaddam, P. R., &Mahallati, M. N. (2014). Phenological response of milk thistle (*Silybum marianum* [L.] Gaertn.) to different nutrition systems. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 1*(4), 148-151. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2014.10.002
Passioura, J. B. (1988). Water transport in and to roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 39*(1), 245-265.
Samieadel, S., Eshghizadeh, H. R., Nematpour, A., & Majidi, M. M. (2023). Wheat cultivars responses to drought stress and atmospheric CO_2 concentration variability. *Cereal Research Communications,* 1-19. https://doi.org/10.1007/s42976-023-00474-3
Sinaki, M. J., Majidi Heravan, E., Shiranirad, H., Noormohammadi, G., & Zarei, G. H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasin Journal of Agricultural and Environmental Science, 2*, 417-422.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

Smart, R. E, & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Journal of Plant Physiology*, *53*, 258-260. doi.org/10.1104/pp.53.2.258

Xiao, X., Xu, X., & Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica*, *42*(5), 705-719.

Zhang, Y., Zhu, J., Khan, M., Wang, Y., Xiao, W., Fang, T., Qu, J., Xiao, P., Li, C., & Liu, J. (2022). Transcription factors ABF4 and ABR1 synergistically regulate amylase-mediated starch catabolism in drought tolerance. *Plant Physiology*, *191*(1), 591-609. doi.org/10.1093/plphys/kiac428

Zivcak, M., Kalaji, H. M., Shao, H. B., Olsovska, K., & Brestic, M. (2014). Photosynthetic proton and electron transport in wheat leaves under prolonged moderate drought stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B, Biology*, *137*, 107-15. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.007

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]

The growth and biochemical characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.) ecotypes under the interaction of planting date and irrigation regime

Shiba Samieadel, Hamid Reza Eshghizadeh*, Morteza Zahedi and Mohammad Mahdi Majidi

Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: 2024/09/20, Accepted: 2024/12/03)

Abstract

This study investigated changes in biochemical characteristics of four ecotypes of milk thistle plants (Isfahan, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Khuzestan-Umidiyeh, and Hungary) in response to three moisture levels (40, 60, and 80% of the maximum allowable depletion of available soil moisture) and five planting dates (September 27th, October 17th, November 6th, November 26th, and March 10th). The experiment was carried out at the research farm of Isfahan University of Technology, Iran, using a split-plot design and a randomized complete block design with three replications. Results showed that changes in planting date and irrigation regime caused significant effects on relative water content and the contents of proline, malondialdehyde, chlorophyll *a* and *b*, and carotenoids and the activities of antioxidant enzymes (catalase, ascorbate peroxidase, and guaiacol peroxidase) in milk thistle leaves. Ecotypes reacted differently to these changes, indicating varying sensitivities to environmental conditions. "Isfahan" and "Kohgiluyeh and Boyer Ahmad" ecotypes had the highest biological yield (11.5 kg/m^2). Having the highest chlorophyll *a*, carotenoid, relative leaf water content, and quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), "Kohgiluyeh and Boyer Ahmad" ecotype is recommended to be used in breeding programs to develop cultivars compatible with the country's climate. This research demonstrates that optimizing planting date and irrigation regime can enhance milk thistle crop yield, particularly under enhanced irrigation water demand caused by changing climate. Examining the relationship between plant biochemical characteristics and planting conditions highlights the potential value of these correlations for improving crop production management.

Keywords: Biological yield, Chlorophyll, Drought stress, Medical plants, Milk thistle, Relative leaf water content

Corresponding author, Email: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.47]