مقاله پژوهشی

پاسخ فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) نسبت به محلول‌پاشی متیل-جاسمونات، یونیکونازول و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ تحت شرایط تنش کم‌آبی

مهسا پیمائی[۱]، وحید سرابی[۱*] و حسین هاشم‌پور[۲]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

[۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۷/۱۲)

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ بر پاسخ فیزیولوژیکی گیاه دارویی رازیانه تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح رطوبتی (آبیاری در حدّ ظرفیت زراعی (I_1)، آبیاری در زمان ۶۵ (I_2) و ۸۵ (I_3) درصد تخلیه رطوبتی خاک) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح محلول‌پاشی (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات، یونیکونازول و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰) بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشا، غلظت کلروفیل‌های a، b، کل و کاروتنوئیدها و افزایش غلظت مالون دی‌آلدئید، پرولین و قندهای محلول شد. کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی به خصوص متیل‌جاسمونات موجب افزایش شاخص پایداری غشا، محتوای کلروفیل a، کل، کاروتنوئیدها و قندهای محلول در برگ‌ها شد. همچنین، نتایج حاصل از اثرات متقابل سطوح رطوبتی در تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد که تحت شرایط تنش رطوبتی در خاک تمامی صفات فیزیولوژیکی در تیمار شاهد در مقایسه با کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ کاهش معنی‌داری داشتند، بجز محتوای پرولین و قندهای محلول که افزایش بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. در کل، محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات با تنظیم بهتر واکنش‌های داخلی و القای دفاع‌های آنتی-اکسیدانی به نسبت سایر تیمارهای محلول‌پاشی تأثیری بهتری در کاهش اثرات ناشی از تنش کم‌آبی بر صفات فیزیولوژیک مورد بررسی در گیاه رازیانه داشت. از این‌رو، می‌توان از متیل‌جاسمونات در شرایط تنش کم‌آبی حاکم بر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده نموده و از اثرات زیان‌بار آن بر صفات فیزیولوژیک رازیانه کاست.

کلمات کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشدی، رازیانه، سطوح رطوبتی، شاخص‌های فیزیولوژیکی، محلول‌پاشی

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی دوساله یا چندساله از تیره چتریان و یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی و معطّر است و به دلیل داشتن تنوع ژنتیکی و مقاومت به تنش کم‌آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Cosge *et al.*, 2008). این گیاه دارویی دارای ریشه‌ای ضخیم،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Sarabi20@azaruniv.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

دوکی شکل، به رنگ سفید مات و دارای بویی معطّر و مطبوع است. ساقه این گیاه قائم، استوانه‌ای شکل، منشعب، به رنگ سبز روشن و به ارتفاع ۱۵۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر است. برگ‌ها به رنگ سبز تیره، شاداب، ظریف و دارای بریدگی‌های کم و بیش عمیق هستند. دمبرگ‌ها در محل اتصال به ساقه حالت غلافی شکل دارند. گل‌های کوچک و زردرنگ رازیانه در انتهای ساقه‌های اصلی و فرعی به صورت مجتمع در چتر مرکب قرار می‌گیرند. میوه رازیانه فندقه دو قسمتی، طویل و استوانه‌ای شکل با دو انتهای باریک به رنگ سبز یا قهوه‌ای روشن است (قهرمان، ۱۳۸۳). تمام پیکره رازیانه حاوی ماده مؤثره و اسانس است، ولی اسانس آن عمدتاً از دانه آن استخراج می‌شود و به دلیل دارا بودن فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کومارین‌ها و کاروتنوئیدها ویژگی ضدمیکروبی دارد. این گیاه دارویی در انواع مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به عنوان طعم‌دهنده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Singh *et al.*, 2006).

از بین تنش‌های محیطی، تنش کم‌آبی یکی از عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است که ۴۰ تا ۶۰ درصد زمین‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kumari *et al.*, 2018). کارکردهای فیزیولوژیک و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان نیز تحت تأثیر تنش‌های محیطی خسارت می‌بینند (Chen *et al.*, 2019). تنش کم‌آبی سبب حذف آب غشای سلولی، از بین رفتن ساختار منظّم دولایه‌ای غشا و در نهایت سبب تخلخل غیرعادی غشا می‌شود (Hajiboland and Amirazad, 2010). البته، واکنش گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی به ماهیت کمبود آب نیز بستگی دارد. واکنش گیاهان نسبت به تنش‌ها به صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک کوتاه مدت (تغییرات محتوای نسبی رطوبت برگ و غلظت کلروفیل) و یا بلند مدت است (Liu *et al.*, 2004). یکی از فاکتورهای مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی گیاهان محتوای کلروفیل است (Jiang and Huang, 2001). کاهش محتوای کلروفیل تحت تأثیر تنش کم‌آبی به دلیل آسیب‌رسانی گونه‌های فعّال اکسیژن به کلروپلاست است. مالون دی‌آلدئید نیز محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب مربوط به فسفولیپیدهاست و از روی سطح پراکسیداسیون چربی‌ها می‌توان برای ارزیابی شدت بروز تنش اکسیداتیو و آسیب به غشاهای بیولوژیک پی برد (Israr and Sahi, 2006). در شرایط تنش، مالون دی‌آلدئید تجمع یافته، نفوذپذیری غشای پلاسمایی افزایش یافته و نهایتاً منجر به نشت یونی می‌شود (Reezi *et al.*, 2009).

یکی از راهکارهایی که توجه محققان را جهت مقابله با تنش کم‌آبی به خود جلب کرده است، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی از جمله متیل‌جاسمونات، یونیکونازول و نیز اسیدآمینه پرولین جهت بهبود رشد گیاهان و افزایش تولید آنها در چنین شرایطی است. جاسمونات‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اثرات متفاوتی روی مورفولوژی، فیزیولوژی و فرآیندهای بیوشیمیایی داشته (Rezai *et al.*, 2013) و به عنوان انتقال‌دهنده پیام (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۳) در پاسخ به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، دمای پایین و شوری مکانیسم‌های دفاعی گیاه را فعّال می‌کنند (Wasternack and Parthier, 1997). یونیکونازول نیز به عنوان یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های رشدی موجب بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برگ‌ها نظیر فعّال کردن آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز شده و با افزایش محتوای کلروفیل، قندهای محلول و پرولین در گیاه، مقاومت گیاه را نسبت به تنش کم‌آبی افزایش می‌دهد (Zhang *et al.*, 2007). یونیکونازول دارای کارکردهای متفاوتی نظیر افزایش وزن خشک گیاهان (Zhang *et al.*, 2007)، افزایش محتوای کاروتنوئیدها و کلروفیل در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Fletcher and Hofstra, 1990)، تنظیم سطوح هورمون‌های داخلی در ساقه (Zhou and Leul, 1998)، القای تحمل به تنش کمبود آب در سویا (*Glycine max* L.) (Zhang *et al.*, 2007)، تغییر سطوح هورمون‌های داخلی، افزایش محتوای کلروفیل و نرخ فتوسنتز خالص و القای تجمع نشاسته در گیاه عدسک آبی (*Landoltia punctata*) (Liu *et al.*, 2015) است. اسیدهای آمینه به عنوان محرّک زیستی بر رشد و عملکرد گیاهان اثر مثبت داشته و صدمات ناشی از تنش‌های غیرزنده را کاهش می‌دهند (Kowalczyk and Zielony, 2008). تحت تأثیر تنش کم‌آبی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

اسیدهای آمینه بویژه پرولین و بتائین در ریشه و اندام‌های هوایی به عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی افزایش می‌یابند (Lokhande *et al.*, 2010). تحت تأثیر تنش کم‌آبی، غلظت اسید آمینه پرولین در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) افزایش یافت (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). پرولین به عنوان یک اُسمولیت سازگارکننده در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشاهای سلولی، جاروب کردن گونه‌های رادیکالی اکسیژن (Reactive Oxygen Species)، تنظیم pH سلولی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا نقش مهمی بر عهده دارد (Keshavarz *et al.*, 2016). محلول‌پاشی با پرولین نیز تحت شرایط تنش کم‌آبی از طریق تنظیم اسمزی و با حذف و خنثی کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن (Chen and Dickman, 2005)، جلوگیری از تخریب آنزیم و پروتئین‌ها، حفظ پایداری و ثبات غشا سلولی (Kocheva and Georgiev, 2003)، افزایش تحمل در مقابل تنش‌ها (Farooq *et al.*, 2009) به گیاه کمک می‌کند تا به صورت کارآمدتری بتواند دوره رشد، فتوسنتز و تسهیم آسیمیلات‌ها را تا پر شدن دانه‌ها به پایان برساند.

با توجه به افزایش کشت و کار رازیانه (به دلیل ارزش دارویی و تغذیه‌ای آن) و کمبود منابع آبی در کشور، در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد خارجی اسید آمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ و تنظیم‌کننده‌های رشدی شامل متیل جاسمونات و یونیکونازول روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفت تا میزان تحمل آن در چنین شرایطی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی، در ارتفاع ۱۳۱۸/۸ متری از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد نظر دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و یخبندان است. سطوح مختلف تنش کم‌آبی شامل آبیاری در حدّ ظرفیت زراعی (I_1)، آبیاری در زمان ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی (I_2) و آبیاری در زمان ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک (I_3) به عنوان فاکتور اصلی و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی)، دو تنظیم‌کننده رشدی شامل متیل‌جاسمونات (۷۵ میکرومول در لیتر؛ Titrachem، تهران، ایران) (Miranshahi and Sayyari, 2016) و یونیکونازول (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ Solarbio، Beijing، چین) (توسلی و همکاران، ۱۳۸۹)، تیمار خارجی اسیدآمینه پرولین (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ Merck، آلمان) (درویژه و همکاران، ۱۳۹۶) + تریتون ایکس ۱۰۰ (۰/۰۱ درصد) به عنوان فاکتور فرعی بودند. غلظت‌های مربوط به متیل‌جاسمونات، یونیکونازول و اسیدآمینه پرولین برحسب بهترین غلظت مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان طی آزمایشات محققین انتخاب شدند. به منظور بهبود جذب برگی پرولین، از تریتون ایکس ۱۰۰ استفاده شد (عرب و همکاران، ۱۳۹۵). بذور والد رازیانه از واریته محلی در اسفندماه سال ۱۳۹۷ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شدند. به منظور ارزیابی درصد جوانه‌زنی بذور، از دستگاه ژرميناتور استفاده شد. بدین منظور، بذور در پتری‌دیش و در دستگاه ژرميناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۷۰ درصد، با طول مدت روشنایی ۱۲ ساعت و شدت روشنایی ۱۲۰۰۰ لوکس قرار داده شدند. نتایج این آزمون نشان داد که بذور رازیانه از قوه نامیه بالایی (بیش از ۹۰ درصد) برخوردار هستند. قبل از اجرای آزمایش، با استفاده از الگوی W و به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک قطعه زمین مورد نظر نمونه‌گیری شده و نوع خاک و درصد عناصر موجود در آن تعیین شد که نتایج مربوط به آزمایش خاک در جدول ۱ آمده است.

تحقیق حاضر در زمینی به مساحت ۳۱۰ مترمربع اجرا شد و بذور رازیانه به صورت مستقیم در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۲

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک جمع‌آوری شده از قطعه زمین مورد نظر در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

عمق نمونه‌برداری	نوع بافت	بافت خاک			pH	هدایت الکتریکی	مواد آلی	نیتروژن
		رس	سیلت	شن				
		(درصد)				(ds/m)	(درصد)	
۳۰-۰	لومی-شنی	۱۸	۱۷	۶۵	۷/۵	۵/۸	۱/۰۱	۰/۰۴۸
فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	منیزیم	کلسیم	مس	آهک
(میلی‌گرم/کیلوگرم)								
۵۶/۵	۹۸۰	۳/۲۰	۷/۸۷	۱/۰۸	۳۰۲/۵۸	۵۸۹/۶	۰/۶۱۴	۱۴/۴

مترمربع کاشته شدند. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف بود، به طوریکه فاصله بوته‌ها در بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله آنها بر روی ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین بلوک‌ها و بین کرت‌های اصلی نیز ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. در مرحله دو تا چهار برگی حقیقی، بوته‌های یکسان از نظر اندازه در هر محل کشت انتخاب شده و بوته‌های اضافی تنک شدند. محلول‌پاشی اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ و تنظیم‌کننده‌های رشدی شامل متیل‌جاسمونات و یونیکونازول در سه مرحله انجام شد؛ به طوریکه مرحله اول قبل از اعمال تنش کم‌آبی و زمانیکه بوته‌ها در مرحله ۴ تا ۶ برگی قرار داشتند، مرحله دوم در زمان اعمال تنش کم‌آبی (در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی بوته‌ها) و مرحله سوم در زمان گل‌دهی انجام شد، به طوریکه هر دو سمت برگ‌ها به طور کامل مرطوب شدند (Miranshahi and Sayyari, 2016). پس از اعمال تیمارهای تنش، با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (TDR) (Lutron PMS-714، ساخت تایوان)، میزان رطوبت قابل دسترس خاک در چندین نقطه از کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شده و آبیاری براساس تیمار در نظر گرفته شده انجام شد. بدین منظور، پس از هر نوبت آبیاری با رسیدن خاک به حدّ ظرفیت زراعی، رطوبت قابل دسترس خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک به صورت روزانه اندازه‌گیری شد تا زمان دقیق آبیاری بعدی برای هر کرت آزمایشی مشخص شود. آبیاری به روش نشتی در کرت‌های آزمایشی انجام شده و مبارزه با علف‌های هرز نیز به صورت دستی انجام شد.

نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی در اوایل گلدهی و ۲۴ ساعت پس از اعمال آخرین مرحله محلول‌پاشی انجام گرفت (Miranshahi and Sayyari, 2016). بدین منظور، برگ‌های کامل و توسعه یافته از بخش فوقانی بوته‌ها انتخاب و دیسک‌های برگی از آن تهیه شدند. در این مطالعه، صفات فیزیولوژیک شامل محتوای رطوبت نسبی (Weatherley, 1950)، شاخص پایداری غشا (Sairam, 1994)، محتوای کلروفیل‌های a، b، کل (Arnon, 1949) و کاروتنوئیدها (Lichtenthaler and Wellburn, 1983)، محتوای مالون دی‌آلدئید (Heath and Packer, 1968)، محتوای پرولین (Bates *et al.*, 1973) و محتوای کل قندهای محلول (Yemm and Willis, 1954) در برگ‌های رازیانه اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات مربوط به آنها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Minitab (نسخه ۱۷) و SAS (نسخه ۹/۲) انجام شدند. داده‌های آزمایشی با استفاده از مدل PROC GLM و برش‌دهی اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی آنالیز شدند. مقایسه میانگین بین تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت. پیش از تجزیه واریانس، داده‌های آزمایش با استفاده از آزمون عدم معنی‌داری به روش آندرسون- دارلینگ (Anderson-darling normality test) آزموده شدند و در مواردی که نتایج این آزمون معنی‌دار بود، برای نرمال کردن داده‌ها از روش تبدیل داده Johnson transformation استفاده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۲- تجزیه واریانس محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشا، محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در برگ‌های رازیانه تحت سطوح مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ در شرایط مزرعه‌ای

منبع تغییر	درجه آزادی	محتوای رطوبت نسبی برگ	شاخص پایداری غشا	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
بلوک	۲	۱۶/۹۲	۱۹/۸۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۵
فاکتور A (تنش کم آبی)	۲	۱۵۴۳/۴۶**	۶۹۹/۷۲**	۱/۸۹**	۰/۰۱**	۲/۲۳**
خطای کرت اصلی	۴	۱۱۷/۰۱	۱۱/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵
فاکتور B (محلول‌پاشی)	۳	۳۳۹/۵۱**	۴۶۴/۱۴**	۰/۸۷**	۰/۰۱**	۰/۹۹**
AB	۶	۱۸/۹۴ns	۱۰۱/۴۰*	۰/۰۲*	۰/۰۰۱*	۰/۰۲*
خطای کرت فرعی	۱۸	۴۸/۴۰	۲۷/۹۳	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱
برش‌دهی اثر متقابل تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین به همراه تریتون ایکس ۱۰۰ × سطوح مختلف رطوبتی						
I_1	۳	–	۲/۸۹ns	۰/۲۸**	۰/۰۰۱**	۰/۳۲**
I_2	۳	–	۲۷۰/۴۵**	۰/۲۱**	۰/۰۰۳**	۰/۲۵**
I_3	۳	–	۳۹۳/۶۰**	۰/۴۲**	۰/۰۰۲**	۰/۴۶**

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

نتایج

تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد داشت (P≤۰/۰۱) (جدول ۲). بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در سطح آبیاری I_1 (۶۹/۶۳ درصد) و کمترین آن در سطح آبیاری I_3 (۴۷/۰۷ درصد) بدست آمد و بین هر یک از شرایط تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). تأثیر محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ نیز بر محتوای رطوبت نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۲)، به طوریکه محلول‌پاشی با اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ منجر به بیشترین (۶۱/۷۸ درصد) و تیمار شاهد منجر به کمترین (۴۸/۵۶ درصد) محتوای رطوبت نسبی برگ در بوته‌های رازیانه شدند. ضمن آنکه بین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). برش‌دهی اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش روی محتوای رطوبت نسبی برگ در بوته‌های رازیانه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

شاخص پایداری غشا تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفته و کاهش یافت (P≤۰/۰۱) (جدول ۲)، بطوریکه بیشترین شاخص پایداری غشا در سطح آبیاری I_1 (۸۲/۴۵ درصد) و کمترین آن در سطح آبیاری I_3 (۶۷/۱۷ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). تأثیر محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ بر شاخص پایداری غشا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، بطوریکه در تیمار متیل جاسمونات بیشترین (۸۰/۵۹ درصد) و در تیمار شاهد کمترین (۶۴/۶۲ درصد) شاخص پایداری غشا بدست آمد. با این حال، بین هر یک از تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود نداشت (جدول ۳). برش‌دهی اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم کننده‌های رشدی برای هر یک از شرایط تنش روی شاخص پایداری غشا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص پایداری غشا در تمامی شرایط تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۳- تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین روی محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشا، محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در برگ‌های رازیانه تحت شرایط مزرعه‌ای

سطوح رطوبتی	محتوای رطوبت نسبی برگ	شاخص پایداری غشا	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
	(%)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		
I_1	۶۹/۶۳ a	۸۲/۴۵ a	۱/۵۸ a	۰/۲۳ a	۱/۸۱ a
I_2	۵۶/۳۵ b	۷۴/۹۵ b	۱/۱۴ b	۰/۲۰ b	۱/۳۴ b
I_3	۴۷/۰۷ c	۶۷/۱۷ c	۰/۷۹ c	۰/۱۶ c	۰/۹۵ c
محلول¬پاشی					
شاهد	۴۸/۵۶ b	۶۴/۶۲ b	۰/۷۵ c	۰/۱۶ b	۰/۹۱ c
یونیکونازول	۵۹/۶۶ a	۷۸/۹۸ a	۱/۳۶ a	۰/۲۲ a	۱/۵۷ a
متیل جاسمونات	۶۰/۷۳ a	۸۰/۵۹ a	۱/۴۵ a	۰/۲۱ a	۱/۶۵ a
پرولین+تریتون ایکس ۱۰۰	۶۱/۷۸ a	۷۵/۲۳ a	۱/۱۱ b	۰/۲۱ a	۱/۳۳ b

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۱ درصد ندارند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

رطوبتی از محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی بدست آمد. کاهش در میزان شاخص پایداری غشا با افزایش شدت تنش رطوبتی در تمامی تیمارهای اعمال‌شده مشاهده گردید، بطوریکه بیشترین کاهش در شاخص پایداری غشا از تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بدست آمد. در تمامی شرایط تنش رطوبتی در خاک، متیل‌جاسمونات بیشترین تأثیر را بر حفظ شاخص پایداری غشا داشت (جدول ۴).

اعمال تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) در برگ‌های رازیانه داشت ($P\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی بیشترین کاهش در محتوای کلروفیل‌های a، b و کل از سطح آبیاری I_3 (به ترتیب با ۰/۷۹، ۰/۱۶ و ۰/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بدست می‌آید (جدول ۳). همچنین، محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ بر رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل‌های a، b و کل با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ و کمترین آنها از تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بدست می‌آید، بطوریکه محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات منجر به بیشترین محتوای کلروفیل a و کل (به ترتیب با ۱/۴۵ و ۱/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و محلول‌پاشی با یونیکونازول منجر به بیشترین محتوای کلروفیل b (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) شد (جدول ۳). اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش بر محتوای کلروفیل‌های a، b و کل برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، بطوریکه در تمامی تیمارهای بکار برده شده با افزایش شدت تنش کم‌آبی از محتوای کلروفیل‌های a، b و کل کاسته شد. با این حال، بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل‌های a، b و کل در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک به ترتیب از کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۴).

تأثیر تنش کم‌آبی بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵)، بطوریکه حداکثر محتوای کاروتنوئیدهای برگ (۰/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۴- اثرات متقابل سطوح مختلف رطوبتی × تنظیم‌کننده‌های رشدی و پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ بر شاخص پایداری غشا، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در رازیانه تحت شرایط مزرعه‌ای

	شاخص پایداری غشا (٪)			کلروفیل a (میلی¬گرم بر گرم وزن تر)			کلروفیل b (میلی¬گرم بر گرم وزن تر)			کلروفیل کل (میلی¬گرم بر گرم وزن تر)		
	سطوح رطوبتی											
محلول‌پاشی	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3
شاهد	۸۱/۸۴^{a}	۶۱/۵۴^{b}	۵۰/۴۹^{b}	۱/۱۷^{d}	۰/۷۷^{c}	۰/۳۲^{d}	۰/۲۰^{b}	۰/۱۶^{c}	۰/۱۳^{b}	۱/۳۷^{c}	۰/۹۳^{c}	۰/۴۵^{c}
یونیکونازول	۸۲/۳۸^{a}	۸۰/۶۹^{ab}	۷۳/۸۷^{a}	۱/۷۲^{b}	۱/۳۲^{a}	۱/۰۳^{b}	۰/۲۵^{a}	۰/۲۱^{ab}	۰/۱۸^{a}	۱/۹۷^{a}	۱/۵۴^{a}	۱/۲۱^{a}
متیل‌جاسمونات	۸۳/۸۵^{a}	۸۲/۵۵^{b}	۷۵/۳۷^{a}	۱/۸۸^{a}	۱/۳۳^{a}	۱/۱۴^{a}	۰/۲۴^{a}	۰/۲۰^{b}	۰/۱۷^{a}	۲/۱۲^{a}	۱/۵۳^{a}	۱/۳۱^{a}
پرولین+تریتون ایکس ۱۰۰	۸۱/۷۱^{a}	۷۵/۰۱^{ab}	۶۸/۹۷^{ab}	۱/۵۴^{c}	۱/۱۴^{b}	۰/۶۶^{c}	۰/۲۳^{a}	۰/۲۳^{a}	۰/۱۷^{a}	۱/۷۸^{b}	۱/۳۷^{b}	۰/۸۳^{b}
$LSD_{1\%}$	۷/۵۷	۱۹/۱۵	۱۸/۵۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۱

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۱ درصد ندارند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

جدول ۵- تجزیه واریانس محتوای کاروتنوئیدها، مالون دی‌آلدئید، پرولین و قندهای محلول در برگ‌های رازیانه تحت سطوح مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ در شرایط مزرعه‌ای

منبع تغییر	درجه آزادی	محتوای کاروتنوئیدها	محتوای مالون دی‌آلدئید	محتوای پرولین	محتوای قندهای محلول
بلوک	۲	۰/۰۰۰۴	۰/۵۱	۰/۳۱	۴۴/۲۹
فاکتور A (تنش کم آبی)	۲	۰/۰۱ **	۳۴/۳۹ **	۵/۴۲ **	۶۵۸۱/۱۷ **
خطای کرت اصلی	۴	۰/۰۰۲	۳/۱۷	۰/۵۱	۵۷۲/۷۴
فاکتور B (محلول‌پاشی)	۳	۰/۰۱ **	۱۰/۶۱ **	۲/۰۱ **	۳۱۲۵/۳۳ **
AB	۶	۰/۰۰۰۱ *	۱/۱۸ *	۰/۴۲ **	۲۸۱/۴۷ **
خطای کرت فرعی	۱۸	۰/۰۰۰۰۳	۰/۳۳	۰/۰۹	۱۲۹/۶۷
برش‌دهی اثر متقابل تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین به همراه تریتون ایکس ۱۰۰ × سطوح مختلف رطوبتی					
I_1	۳	۰/۰۰۴ **	۱/۹۳ **	۰/۰۵ ns	۱۹۴/۳۳ ns
I_2	۳	۰/۰۰۳ **	۳/۰۵ **	۱/۱۵ **	۱۷۳۷/۷۱ **
I_3	۳	۰/۰۰۴ **	۷/۹۹ **	۱/۶۴ **	۱۷۵۶/۲۲ **

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

از سطح آبیاری I_1 و حداقل محتوای آن (۰/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از سطح آبیاری I_3 حاصل شد (جدول ۶). محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ نیز بر محتوای کاروتنوئیدها در برگ‌های رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ تأثیر بیشتری در افزایش محتوای کاروتنوئیدهای برگ نسبت به تیمار شاهد داشت. همچنین، بین تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ نیز از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۶- تأثیر سطوح مختلف رطوبتی و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ **روی محتوای کاروتنوئیدها، مالون دی‌آلدئید، پرولین و قندهای محلول در برگ‌های رازیانه تحت شرایط مزرعه‌ای.**

سطوح رطوبتی	محتوای کاروتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	محتوای مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)	محتوای پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	محتوای قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
I_1	۰/۱۴ a	۴/۱۷ c	۰/۹۹ c	۳۵/۹۳ b
I_2	۰/۱۲ b	۵/۲۵ b	۱/۸۲ b	۶۹/۲۵ a
I_3	۰/۱۰ c	۷/۴۹ a	۲/۳۳ a	۸۱/۱۰ a
شاهد	۰/۰۷ d	۶/۹۵ a	۱/۰۴ b	۳۶/۸۶ c
محلول¬پاشی				
یونیکونازول	۰/۱۴ b	۴/۹۷ c	۱/۷۵ a	۷۱/۸۳ ab
متیل‌جاسمونات	۰/۱۵ a	۴/۵۶ c	۱/۹۶ a	۷۹/۵۹ a
پرولین+تریتون ایکس ۱۰۰	۰/۱۲ c	۶/۰۷ b	۲/۱۱ a	۶۰/۰۹ b

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۱ درصد ندارند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

به‌طوری‌که محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات بیشترین (۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان این صفت را نشان داد (جدول ۶). اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسید آمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی در مقایسه با تیمار شاهد، در ممانعت از کاهش محتوای کاروتنوئیدهای برگ تأثیر بیشتری داشتند. در سطوح آبیاری I_1 و I_2 با کاربرد متیل‌جاسمونات (به ترتیب با ۰/۱۷ و ۰/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و در سطح آبیاری I_3 با کاربرد متیل‌جاسمونات و یونیکونازول به طور مشابه (۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حداکثر محتوای کاروتنوئیدها در برگ‌های رازیانه مشاهده شد (جدول ۷).

اعمال تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر محتوای مالون دی‌آلدئید در برگ‌های رازیانه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵)، بطوریکه بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید در سطح آبیاری I_3 (۷/۴۹ نانومول بر گرم وزن تر) و کمترین آن در سطح آبیاری I_1 (۴/۱۷ نانومول بر گرم وزن تر) مشاهده گردید و بین هر یک از شرایط تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). تأثیر محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ روی محتوای مالون دی‌آلدئید در برگ‌های رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۵)، بطوریکه بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید مربوط به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) و کمترین آن مربوط به محلول‌پاشی با متیل جاسمونات و یونیکونازول بود (جدول ۶). اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش کم‌آبی بر محتوای مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵)، بطوریکه بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید از تیمار شاهد در سطح آبیاری I_3 (۸/۹۶ نانومول بر گرم وزن تر) و کمترین محتوای آن از محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات در سطح آبیاری I_1 (۳/۵۲ نانومول بر گرم وزن تر) بدست آمد. به طورکلی، محتوای مالون دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش کم‌آبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

جدول ۷- اثرات متقابل سطوح مختلف رطوبتی × تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسید آمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ **روی محتوای کاروتنوئیدها، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و قندهای محلول در برگ‌های رازیانه تحت شرایط مزرعه‌ای**

	محتوای کاروتنوئیدها (میلی¬گرم بر گرم وزن تر)			محتوای مالون دی¬آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)			محتوای پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)			محتوای قندهای محلول (میلی¬گرم بر گرم وزن خشک)		
	سطوح رطوبتی											
محلول‌پاشی	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3	I_1	I_2	I_3
شاهد	۰/۰۹^{c}	۰/۰۷^{b}	۰/۰۵ ^{c}	۵/۳۴^{a}	۶/۵۶^{a}	۸/۹۶^{a}	۱/۰۳^{b}	۱/۲۳^{b}	۰/۸۷^{a}	۲۵/۳۱^{a}	۳۷/۹۰^{b}	۴۷/۳۷^{b}
یونیکونازول	۰/۱۶^{a}	۰/۱۳^{a}	۰/۱۳ ^{a}	۳/۸۶^{ab}	۴/۸۶^{ab}	۶/۱۷^{b}	۱/۷۳^{ab}	۲/۶۲^{a}	۰/۹۱^{a}	۳۹/۸۴^{a}	۸۵/۳۴^{a}	۹۰/۳۲^{a}
متیل‌جاسمونات	۰/۱۷^{a}	۰/۱۴^{a}	۰/۱۳ ^{a}	۳/۵۲ ^{b}	۴/۱۷ ^{b}	۵/۹۸^{b}	۱/۹۸ ^{a}	۲/۸۱^{a}	۱/۱۰^{a}	۴۳/۹۶^{a}	۹۰/۶۵^{a}	۱۰۴/۱۶^{a}
پرولین+تریتون ایکس ۱۰۰	۰/۱۴^{b}	۰/۱۲^{a}	۰/۱۰ ^{b}	۳/۹۷^{ab}	۵/۴۰^{ab}	۸/۸۳^{a}	۲/۵۳ ^{a}	۲/۶۷^{a}	۱/۱۲^{a}	۳۴/۶۲^{a}	۶۳/۱۱^{ab}	۸۲/۵۵ ^{a}
$LSD_{1\%}$	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۱/۵۶	۱/۹۸	۱/۶۶	۰/۷۹	۰/۹۵	۱/۰۱	۳۱/۸۹	۴۱/۶۱	۲۸/۵۷

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۱ درصد ندارند. I_1، I_2 و I_3 به ترتیب بیانگر حد ظرفیت زراعی، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک هستند.

و بدون کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی افزایش چشمگیری یافت. درحالیکه، این افزایش با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی چندان محسوس نبود و در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک اختلاف معنی‌داری بین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی مشاهده نشد (جدول ۷).

اعمال تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین در برگ‌های رازیانه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵)، به‌طوری‌که بیشترین محتوای پرولین برگ از سطح آبیاری I_3 (۲/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین آن از سطح آبیاری I_1 (۰/۹۹ میکرومول بر گرم وزن تر) بدست آمد (جدول ۶). محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ روی محتوای پرولین در برگ‌های رازیانه تأثیر بسیار معنی‌داری داشت ($P\leq۰/۰۱$) (جدول ۵)، بطوریکه محلول‌پاشی با پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ (۲/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر) بیشترین تأثیر را بر محتوای پرولین درون‌زاد داشت. تیمارهای متیل‌جاسمونات و یونیکونازول نیز محتوای بیشتری از پرولین را نسبت به تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی نشان دادند (جدول ۶). نتایج اثرات متقابل محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش بر محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

برش‌دهی اثرات متقابل تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی یا پرولین برون‌زاد + تریتون ایکس ۱۰۰، محتوای پرولین درون‌زاد برگ نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌یابد. در سطوح آبیاری I_1 و I_2 بیشترین محتوای پرولین برگ از کاربرد پرولین برون‌زاد + تریتون ایکس ۱۰۰ بدست آمد، درحالیکه در سطح آبیاری I_3 بیشترین محتوای پرولین برگ مربوط به کاربرد متیل‌جاسمونات بود (جدول ۷).

تأثیر تنش کم‌آبی بر محتوای قندهای محلول برگ نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($P\leq۰/۰۱$) (جدول ۵)، بطوریکه بیشترین محتوای قندهای محلول برگ از سطح آبیاری I_3 (۸۱/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و کمترین آن از سطح آبیاری I_1 (۳۵/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بدست آمد (جدول ۶). محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین+ تریتون ایکس ۱۰۰ نیز تأثیر معنی‌داری بر محتوای قندهای محلول در برگ‌های رازیانه داشت ($P\leq۰/۰۱$) (جدول ۵). نتایج نشان داد که بیشترین محتوای قندهای محلول برگ از محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات (۷۹/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و کمترین آن از تیمار شاهد (۳۶/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بدست می‌آید (جدول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

۶). اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی روی محتوای قندهای محلول در برگ‌های رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). برش‌دهی اثرات متقابل کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ برای هر یک از شرایط تنش نشان داد که محتوای قندهای محلول برگ با شدت تنش کم‌آبی و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی یا پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش می‌یابد، بطوریکه محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات (به ترتیب با ۹۰/۶۵ و ۱۰۴/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) منجر به دستیابی به حداکثر محتوای قندهای محلول در برگ‌های رازیانه گردید (جدول ۷). با این حال، بین تیمار محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات و تیمارهای یونیکونازول و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود نداشت.

بحث

در این پژوهش اثرات تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه رازیانه تحت تیمار با سطوح مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت. مشابه با نتایج این تحقیق، حیدری و همکاران (۱۳۹۳) بیان داشتند که تنش کم‌آبی در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) می‌شود. با بررسی اثر تنش کم‌آبی روی گیاه ستاره خاکستری (*Ctenanthe setosa*) مشاهده شد که وقتی بوته‌ها به مدت ۷۰ روز بدون آبیاری بودند، محتوای رطوبت نسبی برگ در آنها از ۹۴ به ۷۴ درصد کاهش یافت (Saglam *et al.*, 2008). از عوامل دخیل در کاهش محتوای رطوبت نسبی، کاهش در رشد و فعّالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرّق در جامعه گیاهی است (Tarumingkeng and Coto, 2003). بسیاری از محققان معتقدند که کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در گیاهان تحت تنش کم‌آبی در اثر مسدود شدن روزنه‌ها اتفاق می‌افتد که در اثر تنش کم‌آبی، اسید آبسیزیک زیادی در ریشه‌ها ساخته شده، در سلول‌های روزنه‌ای تجمع یافته و موجب انسداد روزنه‌ها می‌شود (Ur Rahman Khan *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد که در گیاهان تحت تنش کم‌آبی، ترکیبات اسمزی در درون بافت‌ها افزایش یافته و فضای بین سلولی و میزان آب موجود در پیکره آنها کاهش می‌یابد تا آب با نیروی بیشتری از بافت خاک وارد آنها شود. این امر موجب کاهش میزان نسبی آب قابل دسترس در شرایط تنش کم‌آبی گشته و در ادامه با هدررفت آب موجود در ساختارهای گیاهی موجب کاهش محتوای رطوبت نسبی برگها می‌شود. بر این اساس، سالارپور غربا و فرح‌بخش (۱۳۹۵) بیان داشتند که محتوای رطوبت نسبی برگ در رازیانه با کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش کم‌آبی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت که نشان‌دهنده کاهش خسارت اکسیداتیو و نقش اسید سالیسیلیک در افزایش تحمل رازیانه در برابر تنش کم‌آبی است. Ahmed و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که استعمال خارجی اسیدآمینه پرولین منجر به افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌گردد و این افزایش در ارتباط با پتانسیل اسمزی است. پرولین به عنوان یک اسیدآمینه نقش مهمی در حفاظت و بهبود آب گیاهان در شرایط تنش دارد (Moustakas *et al.*, 2011). استعمال خارجی پرولین در شرایط تنش از طریق حفظ آماس سلولی و افزایش میزان فتوسنتز منجر به بهبود روابط آبی گیاه می‌گردد (Khalil and El-Noemani, 2012).

مشابه با نتایج بدست آمده در این تحقیق، احمدی و امیدی (۱۳۹۷) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش کم‌آبی از میزان شاخص پایداری غشا برگ در گیاه بالنگوی شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth) کاسته می‌شود. تحت تأثیر تنش کم‌آبی در فسفولیپیدهای غشا یکسری تغییراتی ایجاد می‌شود که موجب افزایش اسیدهای چرب غیراشباع می‌گردد. در تنش کم‌آبی شدید، برخی قسمت‌های فسفولیپیدهای غشا به شکل شش وجهی درآمده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تغییر شکل یافته و در نتیجه نشت مواد صورت می‌گیرد. به طورکلی، تنش کم‌آبی در گیاهان مختلف سبب افزایش پراکسیداسیون چربی شده و سرانجام موجب می‌شود تا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

پایداری غشا سلول کاهش یابد (Mirjalili, 2005). پایداری غشا سلولی تحت تأثیر تنش کم‌آبی مرتبط با سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهای تیلاکوئیدی است (Demin *et al.*, 2008). احتمال می‌رود که متیل‌جاسمونات و یونیکونازول سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را بالا نگه داشته و از اثر رادیکال‌های آزاد حاصل از شرایط تنش بر غشاهای سلولی ممانعت می‌کنند.

کاهش غلظت کلروفیل‌های a، b و کل تحت شرایط تنش کم‌آبی که در این تحقیق مشاهده گردید توسط Misra و Srivastava (۲۰۰۰) در نعناع ژاپنی (*Perilla frutescens* L.) و صفی‌خانی و همکاران (۱۳۸۶) در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نیز گزارش شده است. با افزایش تنش کم‌آبی از میزان کلروفیل برگ کاسته می‌شود، ولی نسبت کلروفیل a به کلروفیل b افزایش می‌یابد، زیرا تحت تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل b بیشتر از کلرفیل a کاهش می‌یابد. همچنین، از دلایل دیگر کاهش کلروفیل تحت تنش کم‌آبی می‌توان به افزایش رادیکال‌های آزاد در سلول اشاره کرد. پراکسیداسیون لیپیدی غشا یکی از رفتارهای مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که در نتیجه آن کلروفیل در گیاه تجزیه می‌شود. از دیگر دلایل اصلی کاهش کلروفیل تحت تنش کم‌آبی می‌توان به فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی اشاره کرد. البته، تجزیه رنگدانه‌های گیاهی یکی از مکانیسم‌های گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی است که با این روش از تجمع انواع اکسیژن‌های فعّال در گیاه جلوگیری می‌شود (Salehi *et al.*, 2016). به علاوه، Akram و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که مقدار فتوسنتز نیز به تبع کاهش کلروفیل a تحت شرایط تنش کم‌آبی به شدت کاهش می‌یابد. با این حال، کاربرد اسید سالیسیلیک (غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در رازیانه تحت شرایط تنش رطوبتی منجر به بهبود غلظت کلروفیل‌های a، b و کل در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (Askari and Ehsanzadeh, 2015). Gholami Zali و Ehsanzadeh (۲۰۱۸) بیان داشتند که با استعمال خارجی پرولین غلظت کلروفیل در رازیانه تحت شرایط تنش کم‌آبی در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت. تحقیقات انجام شده بر روی رازیانه نشان داده است که حضور نور و استفاده از متیل جاسمونات تا غلظت ۷۵ میکرومولار موجب تحریک ساخت کلروفیل‌های a و b می‌شود. کاربرد متیل‌جاسمونات یکسری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در کلروپلاست فعّال کرده و مانع تخریب کلروفیل می‌شود و از این طریق از کاهش فتوسنتز جلوگیری می‌کند. متیل‌جاسمونات با تشکیل آمینولوولینیک اسید موجب بیان یکسری از ژن‌های آنزیم‌های کلیدی دخیل در بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Parmoon *et al.*, 2018). البته، دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش کم‌آبی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش هستند که این امر در تحقیق حاضر با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ محقق شد. همچنین، متیل‌جاسمونات به صورت غیرمستقیم کربوهیدرات و سایر مواد متابولیسمی را در گیاه تولید می‌کند که در نتیجه آن مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها افزایش می‌یابد (Popova *et al.*, 2003). گزارشات مشابه این پژوهش حاکی از آن است که محتوای کاروتنوئیدهای برگ در رازیانه تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (فاخری و همکاران، ۱۳۹۸). کاروتنوئیدها از جمله ترکیبات دفاعی هستند که نقش آنتی‌اکسیدانی داشته و در شرایط تنش اثرات مضر و واکنش‌گر اکسیژن را خنثی می‌کنند. البته، افزایش یا کاهش در غلظت کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش کم‌آبی به نوع گونه گیاهی، شدت و مدت تنش کم‌آبی نیز بستگی دارد، بطوریکه عمل مربوط به سیستم‌های ضد اکسیدکنندگی غیرآنزیمی آنها موجب فرونشاندن آسیب‌های اکسیدی در بافت‌های گیاهی تحت شرایط تنش کم‌آبی می‌شود. البته، در نوعی عدسک آبی (*Wolffia arrhiza* L.) با کاربرد جاسمونات‌ها در غلظت ۰/۱ میکرومولار ترمیم رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a و کاروتنوئیدها حاصل گردید (Piotrowska *et al.*, 2010). جاسمونات‌ها و متیل‌جاسمونات از طریق تنظیم واکنش‌های اکسایشی و القای دفاع‌های آنتی‌اکسیدانی (نظیر کاروتنوئیدها) در پاسخ به تنش‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

غیرزیستی درگیر می‌شوند (Chen *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد که کاربرد خارجی یونیکونازول و متیل‌جاسمونات تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاه رازیانه، فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT، APX به همراه ABA را افزایش داده و با غیرفعّال کردن اکسیژن‌های نوزاد موجب کاهش اثرات مخرّب آنها بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ شده است.

نتایج آزمایش ما با نتایج Hassanpour و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه پونه معطّر (*Mentha pulegium* L.) مطابقت دارد مبنی بر اینکه تنش کم‌آبی موجب افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید می‌شود. یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب تخریب غشاهای سلولی است. تحت تنش کم‌آبی، روزنه‌ها بسته شده، CO_2 کاهش یافته و فتوسنتز مهار می‌شود و در نتیجه گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست تشکیل می‌شوند (Mascher *et al.*, 2005). گونه‌های فعال اکسیژن واکنش‌پذیری بالایی داشته و این امر موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌شود که در نتیجه آن به غشاهای سلولی خسارت وارد می‌شود (Dai *et al.*, 2011). یکی از خسارت‌های تنش اکسیداتیو تغییر محتوای مالون دی‌آلدئید است. ارقامی که مقاومت نسبی بالاتری به انواع تنش‌ها دارند، سطح مالون دی‌آلدئید در آنها به میزان کمتری افزایش می‌یابد (Lata *et al.*, 2011). از دلایل افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید در بافت‌های گیاهی را می‌توان به پراکسیداسیون گلیکولیپیدهای تیلاکوئید کلروپلاستی و به دنبال آن تولید دی‌آسیل گلیسرول، تری‌آسیل گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد اشاره کرد. اسیدهای چرب غیراشباع حساس‌ترین بخش غشا هستند که توسط تنش اکسیداتیو تخریب می‌شوند. در اثر تجزیه این اسیدها، ترکیباتی نظیر مالون دی‌آلدئید تولید می‌شوند که موجب سمّیت سلولی می‌گردند. نفوذپذیری غشا پلاسمایی با تجمع آن افزایش یافته و در نتیجه نشت یونی افزایش می‌یابد (Reezi *et al.*, 2009). با این حال، Sarabi و Arjmand-Ghajur (۲۰۲۱) بیان کردند که در اثر کاربرد یونیکونازول (غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و متیل‌جاسمونات (غلظت ۷۵ میکرومولار) محتوای تیوباربیتیوریک در برگ‌های کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jacq.) تحت تنش کم آبی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. کاهش آسیب غشای یاخته‌ای در پاسخ به کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی می‌تواند نمایانگر مسئله محافظت‌کنندگی گیاه از جمله دفاع پاداکسایشی تنظیم‌کننده‌های رشدی باشد. رادیکال‌های آزاد با کمک محافظت‌کننده‌های اسمزی از بین می‌روند و یا اینکه آنزیم‌های پاداُکساینده می‌توانند خسارت ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش دهند و در نتیجه منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشا و کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید شوند.

افزایش محتوای پرولین در اثر تنش کم‌آبی در گیاهان مختلفی از جمله رازیانه (داداشی جمایران و همکاران، ۱۳۹۹) و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴) نیز گزارش شده است که با نتایج افزایش محتوای پرولین در گیاه رازیانه در اثر تنش کم‌آبی در آزمایش ما مطابقت دارد. گیاهان تحت تنش کم‌آبی از منابع کربن و نیتروژن جهت سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین استفاده می‌کنند که از این طریق بتوانند فشار آماس سلول‌های خود را حفظ کنند (Aranjuelo *et al.*, 2011). از جمله نقش‌های پرولین، حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد و ROSها، حفاظت ماکرومولکول‌ها از دناتوره شدن و تنظیم pH است (Amini *et al.*, 2015). برخی از پژوهشگران نیز معتقدند که پرولین می‌تواند اثر منفی تنش کم‌آبی را با تثبیت کربن بهبود بخشد (Fedina *et al.*, 1993). مطالعات غلامی‌زالی و احسان‌زاده (۱۳۹۸) نشان داد که با استعمال خارجی پرولین تحت شرایط تنش کم‌آبی، محتوای پرولین درون‌زاد نیز در سه ژنوتیپ رازیانه افزایش یافته است. همچنین، محلول‌پاشی با پرولین بر متابولیسم نیتروژن تأثیر گذاشته و تولید و ذخیره انرژی در گیاهان را بهبود می‌بخشد (Hashem *et al.*, 2016). مشاهدات Abdelgawad و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که کاربرد متیل‌جاسمونات تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاه ذرت نه تنها محتوای پروتئین و آنزیم کاتالاز، بلکه محتوای پرولین، قندهای محلول و پلی‌ساکاریدها را نیز افزایش می‌دهد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش تنش کم‌آبی محتوای قندهای محلول در برگ افزایش می‌یابد که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های انجام شده روی زنیان (*Carum copticum* L.) اشاره کرد (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). در اثر بسته شدن سلول‌های نگهبان روزنه‌ای، از فعّالیت فتوسنتزی جلوگیری شده و در نتیجه آن تثبیت کربن کاهش می‌یابد که این امر موجب می‌شود تا موازنه متابولیسم کربوهیدرات‌ها تغییر یابد (Chaves *et al.*, 2002). با کاهش تثبیت کربن در برگ‌های تحت تنش کم‌آبی، قندهای محلول در آب نظیر فروکتوز، گلوکز، ساکارز، استاکیوز، مانیتول و پینیتول به مقدار زیادی انباشته می‌شوند. افزایش محتوای قندهای محلول در پاسخ به وقوع تنش کم‌آبی می‌تواند در ارتباط با افزایش فعّالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد گیاهی باشد (Zhang *et al.*, 2010). در مجموع، افزایش محتوای قندهای محلول در طی شرایط تنش‌زا با تخریب قندهای نامحلول، متوقف شدن رشد و سنتز قندهای محلول از مسیرهای غیرفتوسنتزی همراه است. افزایش محتوای قندهای محلول موجب مقاومت به تنش کم آبی می‌شود، زیرا از یک‌سو پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد که این امر موجب تداوم جذب آب و در نتیجه حفظ آماس سلولی می‌شود و از سوی دیگر، کربوهیدرات‌ها با پلی‌پپتیدها و گروه‌های فسفات لیپیدی پیوندهای هیدروژنی تشکیل داده و موجب حفاظت از پروتئین‌ها و غشاهای سلولی می‌شوند (Crowe *et al.*, 1992). به نظر می‌رسد که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی از جمله متیل‌جاسمونات موجب القا برخی از محلول‌های سازگارکننده از جمله قندهای محلول، پلی‌ساکاریدها و کربوهیدرات‌های کل در بوته‌های رازیانه شده است. بر همین اساس، Mohamed و Latif (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد متیل‌جاسمونات در سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش کربوهیدرات‌ها، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها شده و در نتیجه مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی افزایش یافته است. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شدید رطوبتی موجب افزایش محتوای قندهای محلول در رازیانه شده و اثرات منفی تنش کم‌آبی بر روند رشدی گیاه را کاهش داد (فاخری و همکاران، ۱۳۹۸). حیدرنژادیان و همکاران (۱۴۰۰) بیان داشتند که کاربرد اسید سالیسیلیک توانست اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در رازیانه را کاهش دهد و در نهایت عملکرد و اجزای آن را بهبود بخشد. با وجودی که تنش کم‌آبی رشد بوته‌های رازیانه و عملکرد دانه آن را کاهش داد، ولی با استعمال خارجی پرولین اثرات منفی تنش کم‌آبی در ژنوتیپ‌هایی نظیر ارومیه و شیراز کاهش یافت (Gholami Zali *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شدید رطوبتی در خاک تأثیر منفی بر صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در تحقیق حاضر داشت، بطوریکه در ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی در خاک تمامی این صفات کاهش یافتند. محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشدی و اسیدآمینه پرولین + تریتون ایکس ۱۰۰ اثرات مثبتی بر افزایش مقادیر صفات فیزیولوژیکی در گیاه رازیانه داشتند و در بین تیمارهای محلول‌پاشی، متیل جاسمونات بیشترین تأثیر را داشت. در کل، با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی تحت شرایط تنش رطوبتی در خاک، آسیب کمتری به بوته‌های رازیانه وارد شده و صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در آن در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) با کاهش کمتری مواجه شدند. از بین تنظیم‌کننده‌های رشدی نیز متیل‌جاسمونات بیشترین تأثیر را در بهبود صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در گیاه رازیانه داشت. این امر نشان می‌دهد که متیل‌جاسمونات بهتر می‌تواند سیستم دفاعی گیاه را نسبت به تنش کم‌آبی باز طراحی کرده و اثر سو آن را کاهش دهد. از این‌رو، می‌توان از این تنظیم‌کننده رشدی در شرایط تنش رطوبتی شدید و غیرقابل اجتناب در خاک استفاده نموده و از اثرات زیان‌بار آن بر رازیانه کاست.

تشکّر و قدردانی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

بدین وسیله از همکاری گروه زراعت و اصلاح نباتات و مسئولین محترم آزمایشگاه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان که در اجرای این تحقیق کمال همکاری را داشتند، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

احمدی، خ. و امیدی، ح. (۱۳۹۷) تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه پنج جمعیت گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.). دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطّر ایران ۳۴: ۴۲۹-۴۱۲.

بابایی، ک.، امینی دهقی، م.، مدرس ثانوی، ع. م. و جباری، ر. (۱۳۸۹) اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطّر ایران ۲۶: ۲۵۱-۲۳۹.

توسلی، ا.، قنبری، ا.، امیری، ا. و پای‌گذار، ی. (۱۳۸۹) اثر تنظیم‌کننده‌های رشدی یونیکونازول و سایکوسل در شرایط تنش خشکی بر برخی خصوصیات ارزن مرواریدی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۳: ۳۰-۱۵.

حیدرنژادیان، ه.، ملکی، ع. و بابایی، ف. (۱۴۰۰) تأثیر نانوکود روی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در شرایط تنش خشکی. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطّر ایران ۳۷: ۱۶۱-۱۴۵.

حیدری، ن.، پوریوسف، م. و توکلی، ا. (۱۳۹۳) تأثیر تنش خشکی بر فتوسنتز، پارامترهای وابسته به آن و محتوای نسبی آب گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.). مجله زیست‌شناسی ایران ۲۷: ۸۳۹-۸۲۹.

داداشی جمایران، ق.، اصغری، ع.، عبادی، ا. و یوسفی آذرخانیان، م. (۱۳۹۹) ارزیابی برخی خصوصیات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانتی اکوتیپ‌های گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت تأثیر تنش خشکی. نشریه پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی ۱۲: ۱۴۹-۱۴۰.

درویژه، ح.، زواره، م. و قاسم‌نژاد، م. (۱۳۹۶) تأثیر محلول‌پاشی پرولین بر ویژگی‌های بیوشیمیایی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) در شرایط تنش آبی. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی ۴: ۶۰-۳۵.

رضوی‌زاده، ر.، شفقت، م. و نجفی، ش. (۱۳۹۳) اثر تنش کمبود آب بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه زنیان (*Carum copticum* L.). مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران ۶: ۳۸-۲۵.

سالارپور غربا، ف. و فرح‌بخش، ح. (۱۳۹۵) اثر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت تنش خشکی. دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطّر ایران ۳۲: ۲۳۰-۲۱۶.

سلیمی، ف.، شکاری، ف. و حمزه‌ئی، ج. (۱۳۹۳) تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی مصرف آب و عملکرد بابونه آلمانی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۳۳۴-۳۲۸.

صفی‌خانی، ف.، حیدری شریف‌آباد، ح.، سیادت، ع.، شریفی عاشورآبادی، ا.، سیدنژاد، م. و عباس‌زاده، ب. (۱۳۸۶) تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطّر ایران ۲۳: ۹۹-۸۶.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

عرب، ص.، برادران فیروزآبادی، م.، اصغری، ح. ر.، غلامی، ا. و رحیمی، م. (۱۳۹۵) تأثیر محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش کم آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۹: ۲۷-۱۵.

غلامی زالی، ع. و احسان‌زاده، پ. (۱۳۹۸) پاسخ فیزیولوژیکی، آنتی‌اکسیدانی و عملکرد سه ژنوتیپ رازیانه به استعمال خارجی پرولین در شرایط تنش رطوبتی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۸: ۱۸-۱.

فاخری، ب. ع.، حیدری، ف.، مهدی‌نژاد، ن. و شاهرخی ساردویی، ا. (۱۳۹۸) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و متابولیت‌های سازگاری رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در شرایط اقلیمی سیستان. نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۱۳: ۲۱۶-۱۹۳.

قهرمان، ا. (۱۳۸۳) کورموفیت‌های ایران (سیستماتیک گیاهی). جلد اول، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

نورزاد، س.، احمدیان، ا. و مقدم، م. (۱۳۹۴) بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. نشریه علمی پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۱۳۹-۱۳۱.

Abdelgawad, Z. A., Khalafaallah, A. A. and Abdallah, M. M. (2014) Impact of methyl jasmonate on antioxidant activity and some biochemical aspects of maize plant grown under water stress condition. Agricultural Sciences 5: 1077-1088.

Ahmed, C. B., Magdich, S., Rouina, B. B., Sensoy, S., Boukhris, M. and Abdullah, F. B. (2011) Exogenous proline effects on water relations and ions contents in leaves and roots of young olive. Amino Acids 40: 565-573.

Akram, H. M., Ali, A., Sattar, A., Rehman, H. S. U. and Bibi, A. (2013) Impact of water deficit stress on various physiological and agronomic traits of three basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. The Journal of Animal and Plant Sciences 23: 1415-1423.

Amini, S., Ghobadi, C. and Yamchi, A. (2015) Proline accumulation and osmotic stress: An overview of *P5CS* gene in plants. Journal of Plant Molecular Breeding 3: 44-55.

Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J. and Nogues, S. (2011) Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). The Journal of Experimental Botany 62: 111-123.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Askari, E. and Ehsanzadeh, P. (2015) Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. Acta Physiologiae Plantarum 37: 1-14.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, M. L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C. (2002) How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. Annals of Botany 89: 907-916.

Chen, C. and Dickman, M. B. (2005) Proline suppresses apoptosis in the fungal pathogen *Colletotrichum trifolii*. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) 102: 3459-3464.

Chen, J., Yan, Z. and Li, X. (2014) Effect of methyl jasmonate on cadmium uptake and antioxidative capacity in *Kandelia obovata* seedlings under cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety 104: 349-356.

Chen, S., Guo, Y., Sirault, X., Stefanova, K., Saradadevi, R., Turner, N. C., Nelson, M. N., Furbank, R. T., Siddique, K. H. M. and Cowling, W. A. (2019) Non-destructive phenomic tools for the prediction of heat and drought tolerance at anthesis in *Brassica* species. Plant Phenomics 2019: 3264872.

Cosge, B., Kiralan, M. and Gurbuz, B. (2008) Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. *vulgare*) growing in Turkey. Natural Product Research 22: 1011-1016.

Crowe, J. H., Hoekstra, F. A. and Crowe, L. M. (1992) Anhydrobiosis. Annual Review of Physiology 54: 579-599.

Dai, H. P., Gia, G. L., Lu, C., Wei, A. Z., Feng, B. L. and Zhang, S. Q. (2011) Studies of synergism between root system and leaves senescence in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 177-180.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

Demin, I. N., Deryabin, A. N., Sinkevich, M. S. and Trunova, T. I. (2008) Insertion of cyanobacterial desA gene coding for Δ12-acyl-lipid desaturase increases potato plant resistance to oxidative stress induced by hypothermia. Russian Journal of Plant Physiology 55: 639-648.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Fedina, I. S., Tsonev, T. and Guleva, E. I. (1993) The effect of pre-treatment with proline on the responses of *Pisum sativum* to salt stress. Photosynthetica 29: 521-527.

Fletcher, R. A. and Hofstra, G. (1990) Improvement of uniconazole-induced protection in wheat seedlings. Journal of Plant Growth Regulation 9: 207-212.

Gholami Zali, A. and Ehsanzadeh, P. (2018) Exogenous proline improve osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. Industrial Crops and Products 111: 133-140.

Gholami Zali, A., Ehsanzadeh, P., Szumny, A. and Matkowski, A. (2018) Genotype-specific response of *Foeniculum vulgare* grain yield and essential oil composition to proline treatment under different irrigation conditions. Industrial Crops and Products 124: 177-185.

Hajiboland, R. and Amirazad, F. (2010) Growth, photosynthesis and antioxidant defense system in zn-deficient red cabbage plants. Plant, Soil and Environment 56: 209-217.

Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A. and Egamberdieva, D. (2016) Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on *Cassia italica* Mill. by arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 23: 39-47.

Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Najafi, F. and Razavi, K. (2012) Effects of penconazole and water deficit stress on physiological and antioxidative responses in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). Acta Physiologiae Plantarum 34: 1537-1549.

Heath, R. L. and Packer, I. (1968) Photoperoxidotion in isolated chloroplast I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Israr, M. and Sahi, S. V. (2006) Antioxidative responses to mercury in the cell cultures of *Sesbania drummondii*. Plant Physiology and Biochemistry 44: 590-595.

Jiang, Y. and Huang, B. (2001) Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science 41: 436-442.

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, A. M. and Sadegh Ghol Moghadam, R. (2016) Impact of foliar application with salicylic acid on biochemical characters of canola plants under cold stress condition. Notulae Scientia Biologicae 8: 98-105.

Khalil, S. E. and El-Noemani, A. A. (2012) Effect of irrigation intervals and exogenous proline application in improving tolerance of garden cress plant (*Lepidium sativum* L.) to water stress. Journal of Applied Sciences Research 8: 157-167.

Kocheva, K. and Georgiev, G. (2003) Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000. Bulgarian Journal of Plant Physiology 1: 290-294.

Kowalczyk, K. and Zielony, T. (2008) Effect of aminoplant and asahi on yield and quality of lettuce grown on rockwool. Conference of Biostimulators in Modern Agriculture, 7-8 February 2008, Warsaw, Poland.

Kumari, N., Avtar, R., Kumari, A., Sharma, B., Rani, B. and Sheoran, R. K. (2018) Antioxidative response of Indian mustard subjected to drought stress. Journal of Oilseed Brassica 9: 40-44.

Lata, C., Jha, S., Dixit, V., Sreenivasulu, N. and Prasad, M. (2011) Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars [*Setaria italica* (L.)]. Protoplasma 248: 817-828.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Liu, F., Jensen, C. R. and Andersen, M. N. (2004) Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: Its implication in altering pod set. Field Crops Research 86: 1-13.

Liu, Y., Fang, Y., Huang, M., Jin, Y., Sun, J., Tao, X., Zhang, G., He, K., Zhao, Y. and Zhao, H. (2015) Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (*Landoltia punctata*) I: transcriptome analysis of the effects of uniconazole on chlorophyll and endogenous hormone biosynthesis. Biotechnology for Biofuels 8: 1-12.

Lokhande, V. H., Nikam, T. D. and Penna, S. (2010) Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 102: 17-25.

Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hornlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., Neagoe, A. and Bergmann, H. (2005) Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: Effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure. Plant Science 168: 691-698.

Miranshahi, B. and Sayyari, M. (2016) Methyl jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. Journal of Agricultural Science and Technology 18: 1635-1645.

Mirjalili, A. (2005) Plants in Stressful Environments. Nourbakhsh Publication.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

Misra, A. and Srivastava, N. K. (2000) Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 7: 51-58.

Mohamed, H. I. and Latif, H. H. (2017) Improvement of drought tolerance of soybean plants by using methyl jasmonate. Physiology and Molecular Biology of Plants 23: 545-556.

Moustakas, M., Sperdouli, I., Kouna, T., Antonopoulou, C. I. and Therios, I. (2011) Exogenous proline induces soluble sugar accumulation and alleviates drought stress effects on photosystem II functioning of *Arabidopsis thaliana* leaves. Plant Growth Regulation 65: 315-325.

Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M. and Moosavi, A. (2018) Effect of exogenous application of several plant growth regulators on photosynthetic pigments of fennel plants. Notulae Scientia Biologicae 10: 508-515.

Piotrowska, A., Bajguz, A., Czerpak, R. and Kot, K. (2010) Changes in the growth, chemical composition, and antioxidant activity in the aquatic plant *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. (Lemnaceae) exposed to jasmonic acid. Jouranl of Plant Growth Regulation 29: 53-62.

Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V. and Stoinova, Z. H. (2003) Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology 18: 133-152.

Reezi, S., Babalar, M. and Kalantari, S. (2009) Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt-stressed cut rose (*Rosa hybrida* L.) 'Hot lady'. African Journal of Biotechnology 8: 1502-1508.

Rezai, S., Orojloo, M., Shirani Bidabadi, S. and Soleimanzadeh, M. (2013) Possible role of methyl jasmonate in protection to NaCl – induced salt stress in pepper cv. "Green Hashemi". International Journal of Agriculture and Crop Sciences 6: 1235-1238.

Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R. and Saruhan, N. (2008) Physiological changes in post-stress emerging *Ctenanthe setosa* plants under drought conditions. Russian Journal of Plant Physiology 55: 48-53.

Sairam, R. K. (1994) Effect of moisture stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. Indian Journal of Experimental Biology 31: 551-553.

Salehi, A., Tasdighi, H. R. and Gholamhosseini, M. (2016) Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 6: 886-891.

Sarabi, V. and Arjmand-Ghajur, E. (2021) Exogenous plant growth regulators/plant growth promoting bacteria roles in mitigating water-deficit stress on chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) at a physiological level. Agricultural Water Management 245: 106439.

Singh, G., Maurya, S., de Lampasona, M. P. and Catalan, C. (2006) Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. Food Control 17: 745-752.

Tarumingkeng, R. C. and Coto, Z. (2003) Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Kisman, Science Philosopy PPs 702, Term Paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Ppertanian Bogor).

Ur Rahman Khan, H., Link, W., Hocking, T. J. and Stoddard, F. L. (2007) Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Plant and Soil 292: 205-217.

Wasternack, C. and Parthier, B. (1997) Jasmonate-signalled plant gene expression. Trends in Plant Science 2: 302-307.

Weatherley, P. E. (1950) Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. The New Phytologist 49: 81-97.

Yemm, E. W. and Willis, A. J. (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochemical Journal 57: 508-514.

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. (2010) Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. Plant Science 179: 202-208.

Zhang, M., Duan, L., Tian, X., He, Z., Li, J., Wang, B. and Li, Z. (2007) Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. Journal of Plant Physiology 164: 709-717.

Zhou, W. J. and Leul, M. (1998) Uniconazole-induced alleviation of freezing injury in relation to changes in hormonal balance, enzyme activities and lipid peroxidation in winter rape. Plant Growth Regulation 26: 41-47.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]

Physiological response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) related to methyl jasminate, uniconazole and proline + triton X-100 spraying under water-deficit stress conditions

Mahsa Peymaei[1], Vahid Sarabi[1]* and Hossein Hashempour[2]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
[2] Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
(Received: 21/07/2022, Accepted: 04/10/2022)

Abstract

In order to study the effects of the application of two-plant growth regulators/proline on some physiological characteristics in fennel under water-deficit stress conditions, an experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the research farm, agricultural faculty of Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran, in 2019. Factors were three irrigation regimes (irrigation at the field capacity (I1), irrigation after depleting 65 (I2) and 85% (I3) of the available water capacity) as the main plot and four foliar spraying (control, exogenous application of methyl jasmonate, uniconazole and proline + triton X-100) as a subplot. Results indicated that the minimum relative water content, membrane stability index, chlorophyll a, b, total (chl.), carotenoids and maximum proline, total soluble sugars, and malondialdehyde contents in leaves were obtained from severe water-deficit stress conditions. Maximum membrane stability index, chlorophyll a, total (chl.), carotenoids, and total soluble sugars were related to plant growth regulator application, especially methyl jasmonate. Interaction effects revealed that physiological growth characteristics were significantly reduced in the control treatment (except for proline and total soluble sugars) compared to foliar spraying treatments by increasing water-deficit stress conditions in the soil. The spraying with methyl jasmonate had a better effect on reducing the effects of water deficit stress on the physiological characteristics of the fennel by regulating of internal reactions and induction of antioxidant defenses. Therefore, methyl jasmonate can be used in water-deficit stress conditions in arid and semi-arid areas and reduce its harmful effects on the fennel plants.

Keywords: Fennel, Foliar spraying, Irrigation regimes, Physiological indices, Plant growth regulators

Corresponding author, Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.23.3]