تأثیر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر رشد و خصوصیات ریشه گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش خشکی

حکیمه درویزه[۱]، مرتضی زاهدی[۱*] و بهلول عباس‌زاده[۲]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲] بخش تحقیقات گیاهان دارویی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸)

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر تنش آب و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر تولید ماده خشک و خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل، به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اجرا گردید. در این آزمایش رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از تخلیه ۲۰، ٤۰ و ٦۰ درصد رطوبت قابل‌دسترس) به‌عنوان فاکتور اصلی و تیمار محلولپاشی (عدم محلولپاشی، محلولپاشی اسید سالیسیلیک در دو سطح ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، اسپرمین در یک سطح ۷۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک ۷۵+ اسپرمین و اسید سالیسیلیک ۱۵۰+ اسپرمین) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر تولید ماده خشک و صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. در اثر تنش خشکی غلظت فنول و فلاونوئید، طول، حجم، سطح، قطر، وزن و چگالی ریشه و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی افزایش ولی ارتفاع، تعداد پنجه، سطح برگ، وزن اندام هوایی، طول ویژه ریشه و غلظت پروتئین کاهش یافت. محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین موجب افزایش ارتفاع، تعداد پنجه، سطح برگ، غلظت فلاونوئید، حجم، سطح، قطر، وزن و طول ویژه ریشه، وزن اندام هوایی و پروتئین ولی باعث کاهش غلظت فنول، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی و طول ریشه گردید. برهمکنش اثرات تنش خشکی و محلولپاشی بر فنول، فلاونوئید و طول، حجم، وزن و چگالی ریشه معنی دار شد. بیشترین مقدار فلاونوئید، حجم و وزن ریشه در سطح آبیاری پس از ٦۰ درصد تخلیه آب با کاربرد توام غلظت بالای اسید سالیسلیک و اسپرمین و بیشترین مقدار فنول، طول و چگالی ریشه در تیمار بدون محلولپاشی بدست آمد. بر اساس نتایج این آزمایش محلولپاشی سرخارگل با اسید سالیسلیک و اسپرمین موجب بهبود رشد این گیاه در هر دو شرایط تنش کم‌آبی و بدون تنش گردید و میزان تأثیر مثبت اسید سالیسلیک در مقایسه با اسپرمین بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: اسید سالسیلیک، اسپرمین، تنش آب، زیست توده، خصوصیات ریشه

مقدمه

سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گیاهی چندساله از تیره کاسنی است که کاربرد وسیعی در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی دارد. فرآورده‌های دارویی بدست آمده از ریشه و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mzahedi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

اندام‌های هوایی این گیاه، به دلیل دارا بودن خاصیت تقویت سیستم ایمنی بدن، به‌منظور پیشگیری و درمان سرماخوردگی، سرفه، برونشیت، عفونت‌های ریوی و بیماری‌های مزمن ناشی از نقص ایمنی استفاده می‌شود (Tsai *et al.*, 2012; Blumenthal *et al.*, 2011). با توجه به دامنه سازگاری این گیاه به شرایط محیطی مختلف (Sabra *et al.*, 2012)، امروزه کشت آن در سراسر جهان (Kreft, 2005) به‌ویژه ایران افزایش‌یافته است. تولیدات سرخارگل در واقع در زمره چهار گیاه دارویی پرفروش در اروپا و ششمین گیاه پرفروش در کشور آمریکا در سال ۲۰۱۰ بوده که فقط در اروپا حدود ۱۴۰ میلیون دلار در سال ارزش افزوده داشته است (Blumenthal *et al.*, 2011).

امروزه تنش کم‌آبی به‌عنوان مهم‌ترین تنش محیطی، رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و تأثیر مهمی بر رشد ریشه و ساختار اندام‌ها و فعالیت‌های آن‌ها می‌گذارد (Waraich *et al.*, 2011). گیاهان در شرایط تنش خشکی از طریق سازوکارهای مختلف مانند بستن روزنه‌ها (Haworth *et al.*, 2016)، کاهش سطح تعرق کننده، ضخیم شدن لایه کوتیکول، بالا نگه‌داشتن میزان فتوسنتز، کاهش تنفس (Hajar *et al.*, 1997)، افزایش وزن و طول ریشه (Zhang *et al.*, 2017) و افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی (Michele *et al.*, 2009) در برابر خشکی و اثرات سوء آن مقاومت می‌کند. در هنگام مواجهه با تنش خشکی، جهت افزایش توانایی جذب آب از خاک گیاهان مواد فتوسنتزی بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص داده و طول ریشه خود را برای جذب آب از قسمت‌های عمیق‌تر خاک افزایش می‌دهند (Aerts *et al.*, 1999). از آنجایی که جذب کارآمد آب توسط ریشه یک مشخصه مهم برای مقاومت به خشکی است، لذا، گیاهان با نسبت ریشه به اندام‌های هوایی بالاتر از قابلیت بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس برخوردار هستند. بر این اساس، این نسبت به‌عنوان یک معیار مهم جهت گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌شود (Sing *et al.*, 2005).

دو پاسخ مهم گیاه در مقابل تنش خشکی، کاهش سطح برگ (Basu *et al.*, 2016) و افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌باشد. کاهش سطح برگ ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش سطح تعرق‌کننده، افزایش جذب آب از خاک و در نهایت بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش فوق می‌شود (Lobato *et al.*, 2008). مطالعات نشان داده است که تنش خشکی باعث افزایش شاخص‌های رشدی ریشه در آویشن (Attila Tatrai *et al.*, 2016)، کلزا (Tourchi *et al.*, 2005)، ذرت (Saki Nejad *et al.*, 2010) و سرخارگل (Gray *et al.*, 2003) می‌شود.

در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، تجمع گونه‌های اکسیژن فعال، از طریق پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب پروتئین‌ها (Jajic *et al.*, 2015)، باعث ایجاد تنش اکسیداتیو شده و می‌تواند خسارات جدی به ساختارهای سلولی گیاهان وارد کند (Sharma and Dubey, 2005). تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باعث تجزیه و کاهش غلظت پروتئین‌ها در برگ‌ها شده و در نتیجه میزان اسیدهای آمینه آزاد ازجمله پرولین را افزایش می‌دهد (Takeda *et al.*, 1995). همچنین تولید رادیکال‌های سوپر اکسید یا هیدروکسیل در شرایط تنش، منجر به اکسایش اسیدهای آمینه شده و به‌دنبال آن آسیب‌های جدی به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها وارد می‌کند (Turkan *et al.*, 2005). آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز به‌عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی در مسیر فنیل پروپانوئیدL فنیل آلانین را با دی‌آمیناسیون به ترانس سینامیک اسید تبدیل کرده و باعث بیوسنتز ترکیبات مهمی مانند فلاونوئید و سایر ترکیبات فنولی می‌شود (Boudet, 2007). فنول‌های گیاهی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه، در شرایط مطلوب در گیاهان از طریق مسیر شیکمیک اسید و از متابولیسم فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند (Vogt, 2010) و از طریق حذف رادیکال‌های آزاد لیپید و جلوگیری از تجزیه هیدروپروکسیدازها به رادیکال‌های آزاد (Razali *et al.*, 2008) مقاومت گیاهان نسبت به شرایط تنش را افزایش می‌دهند (Schaller and Kieber, 2002).

در سال‌های اخیر کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد از قبیل اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

سالیسیلیک و اسپرمین که در پاسخ‌های دفاعی گیاهان و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارند، معمول شده است (Khan *et al.*, 2007; Safaei Jie *et al.*, 2010; Nezhad *et al.*, 2014; Rabia and asghari., 2013). این ترکیبات به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی بر غالب واکنش‌های متابولیسمی گیاهان تأثیر گذاشته (Metwally *et al.*, 2003) و از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش میزان پلی‌آمین‌ها در گیاهان، منجر به‌یکپارچگی و حفظ غشاء شده و میزان صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (Nemeth *et al.*, 2002). چنانچه در مطالعه عسکری (۱۳۹۳) کاربرد اسید سالیسلیک بر گیاه رازیانه رشد یافته در شرایط تنش کم‌آبی، سبب افزایش شاخص‌های رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای کلروفیل و همچنین موجب بهبود صفات ریشه گردید. همچنین در مطالعه Farahbakhsh و Hamsaddin Saiid (۲۰۱۱) محلولپاشی گیاهان ذرت با اسید سالیسلیک تحت تنش خشکی سبب افزایش وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ شد دیانت و همکاران (۲۰۱٦) افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز)، قند، پرولین، پروتئین و محتوای اسانس گیاه در برگ گیاه به‌لیمو محلولپاشی شده با اسید سالیسلیک را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که نشان‌دهنده تعدیل اثرات تنش خشکی در اثر محلولپاشی می‌باشد. همچنین Hamada و Al-hakimi (۲۰۰۱)، گزارش نمودند که افزایش پارامترهای رشدی ریشه و حفظ کارایی آن از طریق افزایش طول و حجم ریشه باعث جذب بیشتر آب توسط گیاه سویا در شرایط تنش خشکی گردید.

پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمین، به‌عنوان هیدروکربن‌های آلفاتیک با وزن مولکولی کم، در طیف وسیعی از فرایندهای مورفولوژیک و فیزیولوژیکی ازجمله تقسیم سلولی، فرایندهای درگیر در رشد و توسعه سلول‌ها (Kaur-awhney *et al.*, 2003)، رشد رویشی و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه نقش مهمی برعهده دارند (Chattopadayay *et al.*, 2002). در واقع در شرایط تنش پلی‌آمین‌ها به‌دلیل دارا بودن خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به مولکول‌های آنیونی بزرگ مانند فسفولیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، باعث ثبات بیولوژی غشا و مهار رادیکال‌های آزاد شوند (Bouchereau *et al.*,1999). Talaat and Laila (۲۰۱۰) در آزمایشی دریافتند که محلولپاشی پلی‌آمین‌ها و ترانس سینامیک اسید در گیاه ریحان باعث افزایش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی، وزن تر و خشک گیاه می‌شود. همچنین مشخص شده است که در شرایط تنش خشکی کاربرد پلی‌آمین ها برون‌زاد به‌طور قابل‌توجهی درصد و عملکرد اسانس را در گیاه ریحان افزایش می‌دهد. در مطالعه دیگری که بر اندام‌زایی و تحریک رشد ریشه در گیاه سرخارگل تحت محلول‌پاشی پلی‌آمین انجام شد دریافتند که محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها با مقادیر ۷۰ میلی‌گرم باعث بهبود رشد گیاهان فوق در محیط کشت می‌شود (Cheon Chae , 2016). همچنین محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها علاوه بر تحریک گلدهی و رشد اندام‌های هوایی می‌تواند تعداد و وزن ریشه را نیز افزایش دهد(Nahed *et al.*, 2009; Kumar *et al.*,2011).

در رابطه با واکنش گیاه سرخارگل به محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین در شرایط مختلف رطوبت قابل‌دسترس در خاک و به‌خصوص در شرایط مزرعه اطلاعات قابل‌دسترسی وجود ندارد. از این‌رو، این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر تنش خشکی و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین و برهمکنش این عوامل بر تولید ماده خشک و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سرخارگل انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر شاخص‌های رشدی، مورفولوژیکی گیاه اکیناسه پورپورا آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح رژیم آبیاری (آبیاری پس از تخلیه ۲۰، ٤۰ و ٦۰ درصد رطوبت قابل‌دسترس خاک) در کرت‌های اصلی و محلولپاشی اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

سالیسیلیک (زل آلواتان، ۱۳۹۲) و اسپرمین (CheonChae, 2016) (عدم محلول‌پاشی، اسید سالیسیلیک ۷۵، اسید سالیسیلیک ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر،اسپرمین ۷۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک ۷۵+ اسپرمین و اسید سالیسیلیک ۱۵۰+ اسپرمین) در سه تکرار، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در ایستگاه البرز موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شد. بافت خاک محل آزمایش لومی رسی بوده و وزن مخصوص ظاهری لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک حدود ۱/٤۹ گرم بر سانتیمترمکعب، میانگین اسیدیته خاک ۷/۳، هدایت الکتریک آن حدود ۱/۲ دسی زیمنس بر متر و رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه ۲۳ درصد وزنی است. هر کرت به ابعاد ٤×۳ متر وشامل پنج ردیف خط کشت بود. فاصله بین ردیف‌ها ٤۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته روی هر ردیف ۳۵ سانتی متر تنظیم شد. به دلیل پایین بودن درصد جوانه‌زنی بذور سرخارگل به‌واسطه خواب بذر و نیاز به رطوبت بالا در مرحله جوانه‌زنی، کاشت مستقیم بذر در مزرعه با مشکل مواجه می‌شود و بر این اساس بذرهای تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، به‌منظور تهیه نشاء در گلخانه ایستگاه البرز کشت شدند. پس از گذشت حدود سه ماه، نشاء در مرحله سه تا چهار برگی در تاریخ ۱۰ مهر ۱۳۹۵ به زمین اصلی منتقل شدند. بعد از زمستان‌گذرانی و رویش مجدد و استقرار کامل گیاه در فصل بهار، تیمارهای تنش خشکی اعمال گردید. قبل از اعمال تنش، ابتدا کلیه کرت‌ها به‌طور یکسان و یکنواخت آبیاری شدند، سپس اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه گردید و به‌صورت روزانه درصد رطوبت خاک تعیین شد. برای اعمال تیمارهای تنش و جهت دقت در انجام آزمایش از روش وزنی و دستگاه TDR(Time Domain Reflectometry) ساخت آمریکا مدل X6050, Santa Barbara همزمان استفاده شد. به طوریکه با اندازه‌گیری منظم و روزانه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه با نزدیک شدن به حد آستانه هریک از تیمارها، آبیاری انجام شد. مقدار تخلیه رطوبت خاک براساس مقدار تبخیر- تعرق چمن با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانتیث و ضریب گیاهی، طی دوره رشد محاسبه و زمان‌های آبیاری مشخص شدند (Allen *et al.*,1998). عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_d = (FC-PWP) \times D \times B \times MAD$$

I_d: عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار موردنظر، FC و PWP: به ترتیب رطوبت وزنی خاک در حدظرفیت زراعی و حد پژمردگی دائم (درصد)، D: عمق فعال توسعه ریشه ، B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه و MAD: ضریب مدیریت مزرعه.

هم‌زمان با اعمال تنش خشکی، محلولپاشی اسید سالیسلیک (۲ هیدروکسی بنزوئیک اسید، وزن مولکولی ۱۳۸/۱) و اسپرمین(وزن مولکولی ۲۰۲/۳) با سم‌پاش، دو مرتبه و به فاصله ده روز از یکدیگر در مرحله آغاز ساقه‌روی گیاه اعمال شد. برای تهیه محلول اسیدسالیسلیک، پودر اسیدسالیسلیک در آب دوبار تقطیر شده حل شد (Askari and Ehsanzadeh, 2015). همچنین اعمال تیمارهای تنش خشکی از زمان آغاز ساقه‌روی تا پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه ادامه یافت.

در سال ۱۳۹٦ و بعد از حدود چهار ماه از اعمال محلولپاشی و آغاز تیمار آبیاری؛ در مرحله گل‌دهی کامل، شاخص‌های رشدی و مورفولوژیک شامل ارتفاع، قطر، تعداد پنجه، سطح برگ (با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل Leaf Area Meter; Delta- T Devices- WinDIAS 2 analysis system) و صفات فیزیولوژیکی مانند فنول، فلاونوئید و پروتئین برگ اندازه‌گیری شدند. صفات طول بوته و قطر ساقه (دو سانتی‌متر بالاتر از منطقه طوقه) به ترتیب با خط‌کش و کولیس اندازه‌گیری شدند. پس از شستن ریشه‌ها، صفات مربوط به ریشه شامل طول ریشه اصلی از یقه تا نوک ریشه به‌وسیله خط کش (صفی‌خانی و همکاران، ۱۳۸٦) و حجم ریشه با قرار دادن ریشه‌ها در یک استوانه مدرج و تعیین اختلاف حجم آب قبل و بعد از قرار دادن ریشه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. قطر ریشه (۱)، سطح ریشه (۲)، طول ویژه ریشه (۳)،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

چگالی ریشه (٤) و چگالی سطح ریشه (٥) نیز با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Newman, 1966; Hajabbasi, 2001):

(۱) سطح ریشه = ۲ π × طول ریشه × (حجم ریشه)$^{0.5}$

(۲) قطر ریشه = ٤× وزن تر ریشه / (π × طول ریشه))$^{0.5}$

(۳) طول ویژه ریشه = طول ریشه/ وزن خشک ریشه

(٤) چگالی ریشه = حجم ریشه/وزن خشک ریشه

(٥) چگالی سطح ریشه = π × قطر ریشه × طول ریشه

برای اندازه گیری فنول، عصاره متانولی استخراج شده با مقدار ۱۲۵ میکرولیتر معرف فولین ۱۰درصد مخلوط و پس از قرار گرفتن در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج دقیقه، حدود ۱۰۰ میکرولیتر محلول هفت درصد بیکربنات سدیم به آن اضافه شد. مقدار جذب مخلوط پس از ۱۲۰ دقیقه نگه‌داری در شرایط بدون نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (T80+ PG Instrument UV/Vis Spectrometer) در طول موج ۷٦٥ نانومتر ثبت و براساس منحنی گالیک اسید خوانده شد (Meyers *et al.*, 2003). برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل از روش کالریمتری آلومینیوم کلراید استفاده شد. ابتدا به ترتیب مقدار ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول ۳۰ درصد، ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۰/۵ میلی‌مولار و ۱۵۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۰/۳ میلی‌مولار به ۱۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده اضافه و بلافاصله مخلوط شد. پس از گذشت حدود پنج دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید یک میلی‌مولار به مخلوط فوق اضافه شد. بعد از ۱۰ الی ۱۵ دقیقه، میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٥۰٦ نانومتر ثبت شد (Du *et al.*, 2009) و براساس منحنی کاتچین خوانده شد. غلظت پروتئین نیز با استفاده از روش Bradford (۱۹۷٦) و منحنی استاندارد پروتئین، سنجش شد.

داده‌های حاصل از آزمایش بعد از نرمال شدن، با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۳ مورد تجزیه آماری قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته، تعداد پنجه و سطح برگ: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر ارتفاع، تعداد پنجه در بوته و سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت تیمارهای آبیاری ٤۰ و ٦۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد ارتفاع بوته به ترتیب ۲٦/۸ و ٤۸/۷ درصد، تعداد پنجه در بوته به ترتیب ۱٦/٦ و ۳٤/۱ درصد و سطح برگ به ترتیب ۲۳/٤ و ٥٥/٥ درصد کاهش یافت (جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷٥ و ۱٥۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب افزایش ۲۷/٥، ۳۹/۲ و ۱٥/۳ درصدی ارتفاع بوته، ٤۲/٤، ٥۸/۷ و ۱٥/۲ درصدی تعداد پنجه در بوته و ۱۱/۱، ۱٥/٦ و ٦/۱۷ درصدی سطح برگ گردید. بیشترین میزان افزایش در صفات فوق در تیمار محلولپاشی توام غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد.

کاهش صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، به علت اختلال در تقسیم سلولی، کاهش فشار تورگر (Farooq *et al.*, 2009)، کاهش تعداد گره و میانگره (کافی و همکاران، ۱۳۸۸) و همچنین اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت عرضه به بخش‌های در حال رشد گیاه و در نهایت عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی ازنظر ارتفاع (Hsiao, 1973) و مسدود شدن آوندهای چوبی و آبکش دانست که مانع انتقال مواد در داخل گیاه ریحان می‌شوند (Khalil *et al.*, 2010). همچنین نتایج بر روی گیاه ریحان گونه *Ocimum gratissimum* نشان داد که در اثر تنش، سطح برگ به‌عنوان بخش فتوسنتز کننده گیاه به علت کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی، کند شدن رشد، ریزش و پیری برگ‌ها، کاهش پیدا می‌کند (Osuagwu *et al.*, 2010). در واقع کاهش سطح برگ به‌عنوان یک سازش مورفولوژیکی در شرایط تنش، باعث کاهش اتلاف آب، تعرق گیاه می‌شود (Munne-Bosch and Alegre, 2004). کاربرد اسید سالیسلیک و اسپرمین با افزایش تقسیم سلولی در مریستم‌های برنج (Farooq *et al.*, 2008)، افزایش توان فتوسنتزی گیاه از طریق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

جدول۱ - نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی (سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین) بر صفات مورد مطالعه گیاه سرخارگل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	تعداد پنجه	شاخص سطح برگ	فنول برگ	فلاونوئید برگ	پروتئین برگ	طول ریشه	حجم ریشه
تکرار	۲	۴۳۱**	۴/۹۶^{ns}	۱/۰۳**	۴/۷۷^{ns}	۶/۷۹**	۱/۵۰**	۱/۷۹۱^{ns}	۲۹/۸۹*
تنش	۲	۹۶۶۹**	۷۴/۰**	۱۹/۳**	۴۰۹**	۱۴/۷**	۳۴/۹**	۸۳۹/۴**	۵۴۹۶**
خطای اصلی	۴	۲۹/۸۲	۱/۸۷	۰/۵۳	۱۴/۰	۰/۴۶۶	۰/۱۷	۳/۴۷۲	۱۹/۰۱
محلولپاشی	۵	۱۴۴۸**	۵۷/۸**	۰/۳۶**	۲۴/۲**	۰/۴۸۹**	۲/۱۸**	۶۵/۳۲**	۴۲۱/۴**
تنش× محلولپاشی	۱۰	۱۱/۰۱^{ns}	۲/۲۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۲/۳۴**	۰/۰۵۸*	۰/۲۰^{ns}	۱۳/۹۱**	۶۵/۲۳**
خطای آزمایش	۳۰	۳۴/۷	۲/۴۱	۰/۰۲۸	۰/۹۶۰	۰/۰۶۲	۰/۱۰	۰/۷۱۲	۹/۲۶۲
ضریب تغییرات		۵/۷۸	۱۵/۸	۶/۱۸	۶/۳۶	۳/۳۵	۴/۸۵	۴/۴۹	۶/۴۲

ns، * و به ترتیب غیرمعنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد**

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		سطح ریشه	قطر ریشه	طول ویژه ریشه	چگالی ریشه	چگالی سطحی ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوائی	نسبت ریشه به اندام هوایی
تکرار	۲	۸۰/۱۶^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۰۶۸**	۶۰/۷۰^{ns}	۴۳/۶۲^{ns}	۱۱۰۷^{ns}	۰/۱۱۲^{ns}
تنش	۲	۲۶۶۵۱**	۰/۲۲۲**	۰/۴۴۰**	۰/۲۱۰**	۳۳۳۸۶**	۷۵۲۳**	۸۷۴۲**	۵/۵۷۷**
خطای اصلی	۴	۵۸/۵۹	۰/۰۲۴	۰/۰۲۳	۰/۰۱۵	۳۶/۷۸	۳۱/۷۹	۶۶/۳۹	۰/۰۲۴
محلولپاشی	۵	۴۶/۸۷*	۰/۴۱۸**	۰/۲۶۵**	۰/۰۰۹*	۵۵/۴۵*	۴۳۸/۹**	۳۵۵۳**	۰/۰۷۹^{ns}
تنش× محلولپاشی	۱۰	۵۵/۳۹^{ns}	۰/۰۲۱^{ns}	۰/۰۵۷^{ns}	۰/۰۲۷**	۸۴/۰۷^{ns}	۴۵/۹۱**	۲۳۰/۲^{ns}	۰/۰۳۲**
خطای آزمایش	۳۰	۱۱/۹۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱۲/۴۷	۴/۵۱۸	۹۳/۸۵	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات		۴/۶۸	۴/۲۶	۱۱/۰	۶/۵۳	۴/۶۸	۴/۴۷	۱۱/۹	۱۵/۷

ns، * و به ترتیب غیرمعنی دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد**

تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم روبیسکو (Gutierrez-Coronadoetal., 1998)، کاهش تأثیرات منفی آبسزیک اسید در فرایند بسته شدن روزنه‌ها (Rai *et al.*, 1986) و همچنین سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین کیناز که نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز سلول برعهده دارند موجب بهبود صفات رشدی گیاه در شرایط تنش می‌شود. که با نتایج بر روی ریحان (Kordi *et al.*, 2013; Talaat and Laila., 2010) و مرزه (Faraji-Mehmany., 2016) مطابقت دارد.

غلظت فنول و فلاونوئید: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر غلظت فنول و فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت تیمارهای آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد غلظت فنول به ترتیب ۴۷/۶ و ۹۰/۴ و غلظت فلاونوئید به ترتیب ۸/۸۷ و ۲۶/۷ درصد افزایش یافت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

جدول۲-مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد پنجه، شاخص سطح برگ، غلظت فنول (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم)، غلظت فلاونوئید (میلی‌گرم کاتچین بر گرم)، غلظت پروتئین (میلی‌گرم بر گرم)، طول ریشه (سانتی‌متر)، حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)، وزن خشک ریشه (گرم در بوته)، سطح ریشه (سانتی‌متر مربع در بوته)، قطر ریشه (سانتی‌متر)، طول ویژه ریشه (سانتی‌متر بر گرم)، چگالی ریشه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، وزن خشک اندام هوائی (گرم در بوته) و نسبت ریشه به اندام هوایی تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین.

	میانگین							
	ارتفاع بوته	تعداد پنجه	شاخص سطح برگ	فنول	فلاونوئید	پروتئین	طول ریشه	حجم ریشه
رژیم آبیاری (درصد تخلیه رطوبت)								
۲۰	۹۵^{a}	۱۱/۸^{a}	۳/۷۱^{a}	۱۰/۵^{c}	٦/٦٥^{b}	۸/۰۷^{a}	۱۸/۱^{c}	۳۰/۹^{c}
٤۰	٦۹/۵^{b}	۹/۸۳^{b}	۲/۸٤^{b}	۱۵/۵^{b}	۷/۲٤^{b}	٦/٤۷^{b}	۲۲/۷^{b}	٤۵/٤^{b}
٦۰	٤۸/۷^{c}	۷/۷۷^{c}	۱/٦۵^{c}	۲۰/۰^{a}	۸/٤۳^{a}	۵/۲۹^{c}	۳۱/۵^{a}	٦۵/۷^{a}
تیمار محلولپاشی								
عدم محلولپاشی	۵۳/۳^{f}	٦/۵۵^{d}	۲/٤۳^{d}	۱۷/۷^{a}	۷/۲۲^{d}	۵/۹۹^{d}	۲۷/۹^{a}	۳۹/۰^{d}
سالیسیلیک (۷۵)	٦۸^{d}	۹/۳۳^{c}	۲/۷۰^{bc}	۱۵/٦^{c}	۷/۳٤^{cd}	٦/۳۹^{c}	۲٤/۳^{c}	٤۵/۸^{c}
سالیسیلیک (۱۵۰)	۷٤/۲^{c}	۱۰/٤^{bc}	۲/۸۱^{ab}	۱٤/۸^{cd}	۷/٤٦^{bc}	٦/۸۳^{b}	۲۳/۲^{d}	٤۷/۹^{c}
اسپرمین	٦۱/۵^{e}	۷/۵۵^{d}	۲/۵۸^{cd}	۱٦/٦^{b}	۷/۲۲^{cd}	٦/۱۸^{cd}	۲٦/۵^{b}	٤۱/۹^{d}
سالیسیلیک (۷۵)+ اسپرمین	۸۲/۷^{b}	۱۱/٦^{b}	۲/۹۲^{a}	۱٤/۰^{de}	۷/۵۹^{ab}	۷/۱۲^{ab}	۲۱/۸^{e}	۵۱/۵^{b}
زسالیسیلیک (۱۵۰)+ اسپرمین	۸٦/٦^{a}	۱۳/۳^{a}	۲/۹۵^{a}	۱۳/۳^{e}	۷/۸۲^{a}	۷/۱٤^{a}	۲۱/۰^{f}	۵۸/۱^{a}

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

ادامه جدول۲-

	میانگین							
	سطح ریشه	قطر ریشه	طول ویژه ریشه	چگالی ریشه	چگالی سطحی ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوائی	نسبت ریشه به اندام هوایی
رژیم آبیاری (درصد تخلیه رطوبت)								
۲۰	۸۳/۲^{c}	۱/٦۱^{b}	۰/۷۵^{a}	۰/۸۵^{b}	۹۰/۱^{c}	۲۷/۰^{c}	۱۰۵^{a}	۰/۲۵^{c}
٤۰	۱۱۳^{b}	۱/۷۹^{a}	۰/٤۸^{b}	۱/۰٤^{a}	۱۲۸^{b}	٤۷/٦^{b}	۷٤/۳^{b}	۰/٦٦^{b}
٦۰	۱۵۹^{a}	۱/۸۰^{a}	۰/٤۸^{b}	۱/۰۵^{a}	۱۷٦^{a}	٦۷/۸^{a}	٦۳/۱^{c}	۱/۱٤^{a}
تیمار محلولپاشی								
عدم محلولپاشی	۱۱٦^{c}	۱/٤٦^{f}	۰/۸۳^{a}	۰/۹٦a^{b}	۱۲۹^{bc}	۳۹/۳^{e}	۵۵/۸^{d}	۰/۸۲^{a}
سالیسیلیک (۷۵)	۱۱۸^{b}	۱/٦۵^{d}	۰/٦۰^{c}	۰/۹۳^{b}	۱۲۸^{c}	٤۳/۵^{d}	۷٤/٤^{c}	۰/٦۷^{b}
سالیسیلیک (۱۵۰)	۱۱۸^{b}	۱/۷۷^{c}	۰/۵۰^{d}	۱/۰۰^{a}	۱۳۰^{bc}	٤۸/۵^{c}	۸۹/۲^{b}	۰/٦۰^{b}
اسپرمین	۱۱۹^{bc}	۱/۵۷^{e}	۰/٦۸^{b}	۰/۹۸^{ab}	۱۳۲^{ab}	٤۲/۷^{d}	٦۲/٦^{d}	۰/۷۸^{a}
سالیسیلیک(۷۵) + اسپرمین	۱۱۸^{b}	۱/۹۱^{b}	۰/٤۳^{e}	۱/۰۱^{a}	۱۳۲^{ab}	۵۳/۰^{b}	۹۹/۱^{a}	۰/٦۲^{b}
سالیسیلیک(۱۵۰) +اسپرمین	۱۲۳^{a}	۲/۰٤^{a}	۰/۳۷^{e}	۱/۰۰^{a}	۱۳۵^{a}	۵۷/۸^{a}	۱۰٤^{a}	۰/٦۱^{b}

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

(جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب کاهش ۱۱/۸، ۱۶/۳ و ٦/۲۱ درصدی فنول گردید. محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم موجب افزایش ۱/٦٦ و ۳/۳۲ درصدی غلظت فلاونوئید گردید ولی غلظت فلاونوئید در اثر محلولپاشی گیاهان با اسپرمین تغییر نکرد.

تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلولپاشی بر غلظت فنول و فلاونئید به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول۱) در اثر کاهش رطوبت خاک بیشترین افزایش در غلظت فنول در سطح تنش ملایم آب در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین (۷۵ درصد) و در سطح شدید تنش در تیمار عدم محلولپاشی (۱۰۷ درصد) مشاهده شد، در حالیکه بیشترین افزایش غلظت فلاونوئید در سطح تنش ملایم آب در تیمار محلولپاشی اسپرمین (۱۰/۲درصد) و در سطح شدید تنش در تیمار محلولپاشی غلظت بالای اسید سالیسیلیک و اسپرمین (۳۲/۲ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). در کلیه سطوح رطوبتی در اثر محلولپاشی غلظت فنول کاهش ولی غلظت فلاونوئید افزایش یافت.

ترکیبات فنولی با توجه به نقش آنها در کاهش و یا مهار پراکسیداسیون لیپیدها، جاروب کردن رادیکال‌های آزاد، از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان ضروری در مقابل اثرات منفی تنش اکسیداتیو در گیاهان به شمار می‌آیند (Ksouri *et al.*, 2007). معمولاً در شرایط تنش به علت افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، میزان تولید ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها در گیاهان شوید (Setayesh mehr *et al.*, 2012)، سیاهدانه (Bourgou *et al.*, 2010) و پامچال (Jaafar *et al.*, 2012) افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در واقع کاربرد اسید سالیسلیک و اسپرمین به‌عنوان یک جزء پیام‌رسان کلیدی در شرایط تنش، با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، از طریق افزایش رونویسی mRNA خاص آن منجر به بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنولی به‌منظور کاهش اثرات منفی تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. نتایج آزمایش حاضر با نتایج حاصل شده برای گیاهان همیشه‌بهار (Pacheco *et al*., 2013)، مریم گلی (Dong *et al.*, 2010)، رزماری (El-Esawi *et al.*, 2017) و سیاهدانه (Kabiri *et al.*, 2014) مطابقت دارد.

غلظت **پروتئین برگ:** براساس نتایج تنها اثر ساده رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر غلظت پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت تیمارهای آبیاری ٤۰ و ٦۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد غلظت پروتئین به ترتیب ۱۹/۸ و ۳٤/٤ درصد کاهش یافت (جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب افزایش ٦/٦۷، ۱٤ و ۳/۱۷ درصدی غلظت پروتئین گردید. بیشترین میزان افزایش در غلظت پروتئین در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد.

کاهش مقدار پروتئین تحت تنش متداول است. در شرایط تنش خشکی، علاوه بر کاهش سنتز پروتئین‌ها (Farooq *et al.*, 2009)، فعال شدن ژن‌های کد کننده پروتئاز، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین را افزایش داده و باعث افزایش تجزیه پروتئین‌ها و سنتز مواد محلول سازگار می‌شود. همچنین تولید رادیکال‌های سوپراکسید یا هیدروکسیل در شرایط تنش، منجر به اکسایش اسیدهای آمینه شده و به دنبال آن آسیب‌های جدی به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها وارد می‌کند (Turkan *et al.*, 2005). در حالیکه محلولپاشی اسید سالیسلیک، با کاهش اثرات منفی تنش اکسیداتیو و افزایش مقدار پرولین، نقش مهمی در حفاظت از غشاء و اندامک‌های سلولی از جمله بخش پروتئین‌سازی سلول و ساختار آنزیم‌های سنتز کننده پروتئین‌ها برعهده داشته و از تجزیه پروتئین جلوگیری می‌کند (Costa *et al.*, 2005). همچنین اسید سالیسلیک با افزایش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز و جلوگیری از غیرفعال شدن آن باعث افزایش سنتز پروتئین‌ها می‌شود (Sharma and Shanker, 2005). که این نتایج با تحقیقات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

جدول۳- اثر برهمکنش تنش خشکی و محلولپاشی بر غلظت فنول (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم)، غلظت فلاونوئید (میلی‌گرم کاتچین بر گرم)، طول ریشه (سانتی‌متر)، حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)، وزن خشک ریشه (گرم در بوته) و چگالی ریشه (گرم بر سانتی‌متر مکعب).

رژیم آبیاری (درصد تخلیه رطوبت)	تیمار محلولپاشی	فنول	قلاونوئید	طول ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	چگالی ریشه
۲۰	عدم محلولپاشی	۱۱/۳۸^{ijk}	۶/۶۰^{f}	۲۰/۱^{i}	۲۴/۰^{m}	۱۶/۳^{m}	۰/۶۸۰^{g}
	سالیسیلیک اسید۷۵	۱۰/۴۷^{jk}	۶/۵۶^{f}	۱۹/۶^{ij}	۲۹/۱^{lm}	۲۴/۰^{l}	۰/۸۲۴^{efg}
	سالیسیلیک اسید۱۵۰	۱۰/۴۸^{jk}	۶/۶۳^{f}	۱۸/۱^{j}	۳۱/۱^{kl}	۳۱/۰^{k}	۰/۹۹۶^{abcd}
	اسپرمین	۱۱/۳۶^{ijk}	۶/۴۵^{f}	۱۹/۵^{ij}	۲۶/۶^{lm}	۲۱/۳^{lm}	۰/۸۰۰^{fg}
	+ اسپرمین سالیسیلیک اسید ۷۵	۹/۷۸^{k}	۶/۸۰^{f}	۱۶/۳^{k}	۳۶/۳^{jk}	۳۲/۶^{jk}	۰/۸۹۹^{def}
	اسپرمین+ سالیسیلیک اسید ۱۵۰	۹/۸۲^{k}	۶/۸۶^{f}	۱۵/۰^{k}	۳۸/۳^{ij}	۳۶/۶^{j}	۰/۹۵۶^{bcde}
۴۰	عدم محلولپاشی	۱۸/۲۶^{cde}	۶/۹۹^{ef}	۲۴/۶^{i}	۳۹/۵^{ij}	۴۵/۳^{i}	۱/۱۴^{a}
	سالیسیلیک اسید۷۵	۱۶/۰۸^{efg}	۷/۲۰^{def}	۲۲/۵^{gh}	۴۶/۶^{gh}	۴۴/۶^{i}	۰/۹۵۸^{bcde}
	سالیسیلیک اسید۱۵۰	۱۴/۶۹^{fgh}	۷/۳۱^{cdef}	۲۲/۵^{gh}	۴۷/۸^{g}	۴۵/۳^{i}	۰/۹۴۸^{cdef}
	اسپرمین	۱۷/۲۲^{def}	۷/۱۱^{def}	۲۳/۸^{fg}	۴۲/۰^{hi}	۴۶/۳^{hi}	۱/۱۰^{ab}
	+ اسپرمین سالیسیلیک اسید ۷۵	۱۳/۸۷^{ghi}	۷/۳۴^{cdef}	۲۲/۰^{h}	۴۷/۱^{gh}	۵۰/۶^{gh}	۱/۰۷^{abc}
	اسپرمین + سالیسیلیک اسید ۱۵۰	۱۷/۲۵^{def}	۷/۵۲^{bcdef}	۲۱/۱^{hi}	۴۹/۶^{fg}	۵۳/۶^{fg}	۱/۰۸^{abc}
۶۰	عدم محلولپاشی	۲۳/۵۷^{a}	۸/۰۶^{abcde}	۳۹/۰^{a}	۵۳/۵^{ef}	۵۶/۳^{ef}	۱/۰۵^{abc}
	سالیسیلیک اسید۷۵	۲۰/۴۲^{bc}	۸/۲۵$^{a-d}$	۳۱/۰^{c}	۶۱/۶^{cd}	۶۲/۰^{d}	۱/۰۰^{abcd}
	سالیسیلیک اسید۱۵۰	۱۹/۴۹^{bcd}	۸/۴۶^{abc}	۲۹/۱^{d}	۶۴/۸^{c}	۶۹/۳^{c}	۱/۰۷^{abc}
	اسپرمین	۲۱/۴۱^{ab}	۸/۱۲^{abcde}	۳۶/۳^{b}	۵۷/۱^{de}	۶۰/۶^{de}	۱/۰۶^{abc}
	اسپرمین + سالیسیلیک اسید ۷۵	۱۸/۴۰^{cde}	۸/۶۳^{ab}	۲۷/۱^{e}	۷۱/۰^{b}	۷۵/۶^{b}	۱/۰۷^{abc}
	اسپرمین + سالیسیلیک اسید ۱۵۰	۱۷/۲۵^{def}	۹/۰۷^{a}	۲۶/۸^{e}	۸۶/۳^{a}	۸۳/۳^{a}	۰/۹۷۱^{bcde}

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

انجام شده بر روی سویا (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2016) و گلرنگ (امیری و همکاران،۱۳۹۴) مطابقت دارد.

طول و طول ویژه ریشه: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر طول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). تحت تیمارهای آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد (۲۰ درصد تخلیه رطوبت) طول ریشه به ترتیب ۲۵ و ۷۴ درصد افزایش ولی طول ویژه ریشه در هر دو تیمار ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب کاهش ۱۳، ۱۷ و ۵ درصدی طول ریشه و ۲۸، ۴۰ و ۱۸ درصدی طول ویژه ریشه گردید. بیشترین میزان کاهش در طول ریشه (۲۵ درصد) و طول ویژه ریشه (۵۵ درصد) در تیمار محلولپاشی توام غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلولپاشی بر طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱) در اثر کاهش رطوبت خاک بیشترین افزایش در طول ریشه در سطح تنش ملایم آب در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین (٤١ درصد) و در سطح شدید تنش در تیمار عدم محلولپاشی (٩٤ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). در اثر محلولپاشی طول ریشه در کلیه سطوح رطوبتی کاهش یافت و بیشترین کاهش در هر سه رژیم رطوبتی در اثر محلولپاشی توأم اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد که میزان کاهش آن در سطح شدید تنش (۳۱ درصد) بالاترین بود.

نتایج آزمایش فوق نشان داد تنش خشکی باعث افزایش طول ریشه گیاه سرخارگل می‌شود. گیاهان در مقابله با اثرات منفی تنش خشکی، سیستم ریشه‌ای خود را گسترش می‌دهند (Amiri *et al.*, 2017). افزایش طول ریشه در گیاهانی که در شرایط تنش خشکی رشد می‌کنند به‌علت جذب بهتر رطوبت و عناصر غذایی از خاک ، صفتی مطلوب محسوب شده و تا حدود زیادی برای ادامه حیات گیاهان حائز اهمیت است (Hosseinzadeh *et al.*, 2011). Asseng و همکاران (۱۹۹۸) در آزمایشی در ارتباط با بررسی تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات ریشه دریافتند که ریشه گیاهان در شرایط تنش شدید، برای تأمین آب مورد نیاز در لایه‌های عمیق‌تر خاک که دارای رطوبت بیشتری هستند گسترش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر،گیاهان مقاوم با افزایش طول و عمق ریشه، تغییر توزیع و پراکنش سیستم ریشه در خاک، و یا تغییر اندازه آوندهای ریشه با جذب بیشتر آب با اثرات منفی تنش خشکی مقابله می‌کنند (Turner, 1986). همچنین Uga و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که تنظیم ژن DRO1 تحت تأثیر هورمون اکسین، باعث تحریک رشد طولی ریشه در گونه‌های مقاوم به تنش خشکی می‌شود. محلولپاشی اسید سالیسلیک با افزایش هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکنین (Tomaszewski and Thimman., 1966) و کاربرد اسپرمین به علت کنترل تقسیم سلولی ریشه، تشکیل ریشه اولیه و ریشه‌های جانبی (Couee *et al.*, 2004)، باعث بهبود طول ریشه از طریق تأثیر بر مریستم انتهایی ریشه می‌شود(Habba *et al.*, 2016).

حجم، سطح و قطر ریشه: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر حجم، سطح و قطر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت رژیم‌های آبیاری ٤٠ و ٦٠ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد حجم ریشه به ترتیب ٤٧ و ۱۱۲، سطح ریشه ٣٦ و ۹۱ و قطر ریشه ۱۱ و ۱۲ درصد افزایش یافت (جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب افزایش ۱۷، ۲۳ و ۷ درصدی حجم ریشه، ۲، ۲ و ۳ درصدی سطح ریشه و ۱۳، ۲۱ و ۸ درصدی قطر ریشه گردید. بیشترین میزان افزایش در حجم ریشه (٤٩ درصد)، سطح ریشه (٦ درصد) و قطر ریشه (٤٠ درصد) در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد.

تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلولپاشی بر حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در اثر کاهش رطوبت خاک بیشترین میزان افزایش در حجم ریشه در سطح تنش ملایم آب در تیمار عدم محلولپاشی (٦٥ درصد) و در سطح شدید تنش در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین (١٢٦ درصد) بدست آمد (جدول ۳). در اثر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین حجم ریشه در کلیه سطوح رطوبتی افزایش یافت و بیشترین افزایش در هر سه رژیم رطوبتی در اثر محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد که میزان افزایش آن در سطح شدید تنش (٦١ درصد) بالاترین بود.

در شرایط تنش خشکی، جذب آب و مواد غذایی از طریق افزایش حجم، سطح و قطر ریشه در گیاهان افزایش می‌یابد (Ganjeali *et al.*, 2004). با افزایش طول و مساحت ریشه طبیعی است که میزان حجم ریشه نیز افزایش پیدا کند(Serraj *et al.*, 2004). در واقع افزایش حجم ریشه به‌عنوان صفت مطلوبی در ارزیابی مقاومت به تنش خشکی به شمار می‌آید و ژنوتیپ‌های دارای حجم ریشه بالاتر، توانایی جذب آب، مواد غذایی بیشتر و به دنبال آن، تولید بیشتر اندام‌های هوایی را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

دارند (عبدالشاهی و همکاران، ۱۳۸۹). در این آزمایش محلولپاشی تا حدود زیادی باعث افزایش تمامی صفات مورد مطالعه گیاه به استثنای فنول، طول ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی گردید. کاربرد اسید سالیسلیک و اسپرمین با افزایش تقسیم سلولی در ناحیه مریستم ریشه (Singh and Usha., 2003)، افزایش هورمون اکسین و جیبرلین و کاهش هورمون آبسزیک اسید (Hussein *et al.*, 2006) و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش رادیکال‌های آزاد (Gunes *et al.*, 2007) باعث بهبود رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌شود. دلیل افزایش طول، حجم و سایر صفات ریشه و به‌طورکلی رشد گیاه در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک به تأثیر مثبت آن بر فتوسنتز خالص و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و کربنیک آنهیدراز نیز ارتباط داده شده است (El-Tayeb, 2005). رضوانی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در آزمایشی دریافتند که محلولپاشی پلی‌آمین‌ها (پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین) در گیاه فریزیا باعث افزایش قابل توجهی در تعداد، قطر و وزن ریشه و همچنین موجب افزایش رشد عمومی می‌شود. در واقع پلی‌آمین‌ها به‌عنوان منبع نیتروژنی، در تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها نقش داشته و باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند (Youssef *et al.*, 2004). نتایج فوق با نتایج بدست آمده برای گیاهان سیب زمینی (Mader, 1999)، نیمفوئیدس پلتاتام (*Nymphoides peltatum*) (Wang *et al.*, 2006)، صنوبر (Habba *et al.*, 2016) و گلایول (Kumar *et al.*, 2011) مطابقت دارد.

چگالی وزنی و سطحی ریشه: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر چگالی ریشه و چگالی سطحی ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت رژیم‌های آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد چگالی ریشه به ترتیب ۲۲، ۲۴ و چگالی سطحی ریشه ۴۲ و ۹۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم و محلولپاشی توأم اسید سالیسیلیک با اسپرمین موجب افزایش ۴ درصدی چگالی ریشه و محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین موجب افزایش ۵ درصدی چگالی سطحی ریشه گردید. تأثیر سایر تیمارهای محلولپاشی بر این دو صفت معنی‌دار نبود.

تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلولپاشی بر چگالی ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در اثر کاهش رطوبت خاک بیشترین میزان افزایش در چگالی ریشه در سطح تنش ملایم (۶۸ درصد) و شدید آب (۵۴ درصد) در تیمار عدم محلولپاشی بدست آمد (جدول ۳). تأثیر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر چگالی ریشه در سطوح مختلف رطوبت مشابه نبود. چگالی ریشه در اثر محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین تحت آبیاری ۲۰ درصد تخلیه رطوبت افزایش ولی تحت آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبت کاهش یافت. درحالی‌که محلولپاشی گیاهان تحت آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبت بر چگالی ریشه تأثیر معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش خشکی میزان چگالی وزنی و سطحی ریشه افزایش پیدا می‌کند. افزایش چگالی ریشه را می‌توان تا حدود زیادی به انتقال مواد فتوسنتزی تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها برای جذب آب بیشتر در شرایط تنش خشکی مربوط دانست (Leport *et al.*, 2006)

وزن خشک اندام هوایی، ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی: تأثیر رژیم آبیاری و محلولپاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک و اسپرمین بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت تیمارهای آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت نسبت به شاهد وزن اندام هوایی به ترتیب ۲۹ و ۴۰ درصد کاهش ولی وزن ریشه ۷۶ و ۱۵۱ درصد و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی ۱۶۴ و ۳۵۶ درصد افزایش یافت (جدول ۲). محلولپاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم و اسپرمین با غلظت ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب افزایش ۳۳، ۶۰ و ۱۲ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ۲، ۲۳ و ۹ درصدی وزن خشک ریشه ولی باعث کاهش ۱۸، ۲۷ و ۵ درصدی نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی گردید. بیشترین میزان افزایش در وزن خشک ریشه (۴۷ درصد) و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

اندام هوایی (۸۶ درصد) در تیمار محلولپاشی توأم غلظت بالای اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد.

تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و محلولپاشی بر وزن خشک ریشه و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با اعمال تنش آب بیشترین میزان افزایش در وزن خشک ریشه در سطح ملایم (۱۷۷ درصد) و شدید تنش آب (۲۴۵ درصد) در تیمار بدون محلولپاشی بدست آمد (جدول ۳). در اثر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و اسپرمین وزن خشک ریشه در کلیه سطوح رطوبتی افزایش یافت (به استثنای تیمارهای کاربرد اسید سالیسیلیک و اسپرمین به‌تنهایی در شرایط تنش ملایم آب که این افزایش معنی‌دار نبود). بیشترین کاهش در هر سه رژیم رطوبتی در اثر محلولپاشی توأم اسید سالیسیلیک با اسپرمین بدست آمد و میزان افزایش در وزن خشک ریشه در سطح شدید تنش (۴۸ درصد) بیشتر بود.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تنش خشکی نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را در گیاهان افزایش می‌دهد. این افزایش در شرایط تنش خشکی، به تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها در جهت جذب بیشتر آب از خاک نسبت داده می‌شود (Leport *et al.*, 2006; Krishnamurthy *et al.*, 2003). ازآنجایی‌که نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی تا حدود زیادی توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب محققین این نسبت را به‌عنوان معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش معرفی می‌کنند (Hussain *et al.*, 2000). چنانچه در آزمایش پیرنجم الدین و همکاران (۱۳۹۲) داشتن سیستم ریشه ای مطلوب به عنوان یکی از سازوکارهای اجتناب و تحمل خشکی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند معرفی شد که می‌تواند در مطالعات اصلاحی گیاه به کار گرفته شود. در شرایط تنش خشکی، آبسزیک اسید با ایجاد تغییراتی در روند رشدی گیاه و از طریق بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها، تحریک رشد ریشه و کاهش رشد اندام‌های هوایی، باعث افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌شود (Turner *et al.*, 2001). Gray و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقات دو ساله خود با اعمال تیمارهای تنش خشکی در سه مرحله رشدی (گل‌دهی، تشکیل بذر و در هر دو مرحله گل‌دهی و تشکیل بذر) بر گیاه سرخارگل دریافتند که وزن ریشه در تیمارهای تنش خشکی در فصل دوم رشد نسبت به فصل اول به ترتیب ۴۰، ۴۸ و ۱۰۸ درصد افزایش یافت که بیانگر تحریک رشد ریشه در شرایط تنش می‌باشد. محلولپاشی اسید سالیسلیک و اسپرمین به‌عنوان یک سازوکار دفاعی باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌شود. به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و بهبود فتوسنتز و همچنین جذب بیشتر عناصر، سبب بهبود رشد ریشه و اندام هوایی تحت تنش خشکی می‌شود (Popova *et al., 2009*). همچنین کاربرد پلی‌آمین‌ها، تحت شرایط تنش کم‌آبی باعث فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گردید (اکبری و همکاران، ۱۳۹۶) و از این طریق ضمن جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها و پراکسیداسیون غشاء، تحمل به کم‌آبی را در گیاه افزایش داده (Farooq *et al.*, 2009) و بهبود وزن ریشه و اندام‌های هوایی گیاه پنبه (Abdel-Wahed, 2006) و گلایول (Abdel Aziz Nahed *et al.*, 2009) را به همراه داشت.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده در شرایط تنش خشکی به‌علت تنش اکسیداتیو میزان رشد و تولید ماده خشک گیاه سرخارگل کاهش یافت. در چنین شرایطی گیاهان برای جذب بیشتر آب، مواد فتوسنتزی را به نسبت بیشتری به ریشه انتقال داده و موجب بهبود خصوصیات ریشه (طول، سطح، حجم و وزن) شده که در نتیجه آن نسبت وزن ریشه به اندام‌های هوایی نیز افزایش یافته است. در این راستا به نظر می‌رسد افزایش تولید ترکیبات فنولی به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در جهت کاهش اثرات منفی تنش در گیاهان عمل نموده است. در این میان محلولپاشی اسید سالیسلیک و اسپرمین به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی تا حدود زیادی اثرات مضر تنش کم‌آبی بر گیاه را کاهش داده و موجب بهبود اکثر شاخص‌های اندازه‌گیری شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

در گیاه سرخارگل گردیده است.

منابع

اکبری، ع.، خادمی، الف.، شرفی، ی. و طباطبایی، س. ج. (۱۳۹٦) اثر تیمار پوترسین بر میوه توت فرنگی رقم کاماروسا تحت شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، به زراعی کشاورزی ۱۹: ۱٤۷-۱٦۱.

امیری، الف.، سیروس مهر، ع. ر. و اسماعیل زاده بهابادی، ص. (۱۳۹٤) اثر محلولپاشی اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی، مجله پژوهشهای گیاهی ۲۸: ۷۱۵-۷۲۵.

پیر نجم الدین، ف.، مجیدی، م. م. و کیانی، ر. (۱۳۹۲) واکنش خصوصیات سیستم ریشه‌ای و عملکرد ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند(*Festuca arundinacea*) در شرایط تنش رطوبتی، فرآیند و کارکرد گیاهی ۲: ٤۱-٤۸.

رضوانی‌پور، ش.، حاتم زاده، ع.، الهی نیا، س. ع. و اصغری، ح. ر. (۱۳۹۵) تأثیر پلی‌آمین‌های خارجی بر رشد، گل‌دهی و تولید پداژه در ارقام Golden Wave و Blue Sea فریزیا، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۷: ٦۳-۷۵.

زل آلواتان، ح. (۱۳۹۲) اثر کاربرد خاکی هیومیک اسید و محلولپاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (Echinacea purpurea (L.) Moench). پایان نامه کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشگاه شیراز.

صفی‌خانی، ق.، حیدری شریف آباد، ح.، سیادت، س. ع.، شریفی عاشورآبادی، الف.، سیدنژاد، س. م و عباس‌زاده، ب. (۱۳۸٦) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و صفات مورفولوژیک گیاه دارویی بادرشبو(*Dracocephalum moldavica L.*)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۳: ۱۸۳-۱۹٤.

عبدالشاهی، ر.، طالعی، ع.، امیدی، م و یزدی صمدی، ب. (۱۳۸۹) مطالعه ویژگی‌های فیزیولوژیکی ومورفولوژیک وابسته به تحمل به خشکی در گندم نان. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۲: ۲٤۷-۲۵۸.

عسکری، الف. (۱۳۹۳) بررسی اثر رژیم رطوبتی و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد، اسانس ومواد مؤثره جمعیت‌های رازیانه. رساله دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان.

کافی، م.، زند، الف.، کامکار، ب.، مهدوی دامغانی، ع. م.، عباسی، ف. و شریفی، ح. ر. (۱۳۸۸) فیزیولوژی گیاهی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد.

Abdel Aziz Nahed, G., Taha Lobna, S. and Ibrahim Soad, M. M. (2009) Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus Plants at Nubaria. Ozean Journal of Applied Sciences 2: 169-179.

AbdEl-Wahed, M. S. A. (2006) Exogenous and endogenous polyamines relation to growth, α–cellulose precipitation in fibres productivity of cotton plant. World Journal of Agricultural Science 2: 139-148.

Aerts, R. and Chapin, F. S. (1999) The mineral nutrition of wild plants revisited: re-evaluation of processes and patterns. Advences in Ecological Research 30: 1-67.

Allen, R. G., Pereira,L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage 12: 1-15.

Amiri, H., Ismaili, A. and Hosseinzadeh, S. R. (2017) Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). Compost Science and Utilization 26:1-14.

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 37:2-14.

Asseng, S., Ritchie, J. T., Smucker, A. J. M. and Robertson, M. J. (1998) Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant and Soil 201: 265-273.

Attila Tatrai, Z., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F and Gianquinto, G. (2016) Morphological and physiological plant Responses to drought stress in thymus citriodorus. International Journal of Agronomy 12:1-8.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

Basu,S., Ramegowda,V., Kumar, A. and Pereira, A. (2016) Plant adaptation to drought stress. F1000Research 5:1554-1560.

Blumenthal, M., Lindstrom, A., Lynch, M. E. and Rea, P. (2011) Herb sales continue growth up 3.3% in 2010. Herbal Gram 90:64-67.

Bouchereau, A., Aziz, A., Lahrer, F. and Martin-Tanguy, J. (1999) Polyamines and environmental challenges: recent development. Plant Sciences 140:103-125.

Boudet, A. M. (2007) Evolution and current status of research in phenolic compounds. Journal of Phytochemistry 68: 2722-2735.

Bourgou, S., Kchouk, M. E., Bellila, A. and Marzouk, B. (2010) Effect of salinity on phenolic composition and biological activity of *Nigella sativa*. Journal of Acta Horticulture 853:57-60.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of micro gram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Chattopadayay, M. K., Tiwari, B. S., Chattopadhayay, G., Bose, A., Sengupta, D. N. and Ghosh, B. (2002) Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (*Oryza sativa*) plants. Physiolologia Plantarum 116:192-199.

Cheon Chae, S.(2016) Shoot organogenesis of *Echinacea angustifolia* DC as influenced by polyamines. Life Science Journal 13:16-19.

Costa, M., Civell, P. M., Chaves, A. R. and Martinez, G. A. (2005) Effects of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20°C. Postharvest Biology and Technology 35: 191-199.

Couee, I., Hummel, I., Sulmon, C., Gouesbet, G. and EL- Amrani, A. (2004) Involvement of polyamines in root development. Plant Cell Tissue and Organ Culture 76: 1-10.

Dianat, M., Saharkhi, M. J. and Tavassolian, I. (2016) Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia citriodora* L.: Effects on biochemical traits and essential oil yield. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 8:286-293.

Dong, J., Wand, G. and Liang, Z. (2010) Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzymes in Salvia miltiorrhiza cell culture. Journal of Biotechnology 148: 99-104.

Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D. (2009) Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. Food Chemistry 113: 557–562.

El-Esawi, M. A., Elansary, H. O., El-Shanhorey, N. A., Abdel-Hamid, AME., Ali, H. M and Elshikh, M. S.(2017) Salicylic acid-Regulated antioxidant mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions. Frontiers in Physiology 21: 716-720.

El-Tayeb, M. A. (2005) Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulators 45: 215-225.

Farahbakhsh, H and Shamsaddin Saiid, M. (2011) Effect of seed priming with NaCl on maize germination under different saline conditions. African Journal of Agricultural Research 66095-6099.

Faraji-Mehmany, A., Esmaielpour, B., Sefidkon, F., Khorramdel, S. (2016) Effects of foliar spraying with salicylic acid and putrescine on growth characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 14: 73-85.

Farhangi-Abriz, S. and Ghassemi-Golezani, K. (2016) Improving amino acid composition of soybean under salt stress by salicylic acid and jasmonic acid. Journal of Applied Botany and Food Quality 89: 243-248.

Farooq, M., Shahzad, M. A., Basra, H. and Rehman, M. (2008) Seed priming with Polyamines improves the germination and early seedling growth in fine rice. Journal of New Seed 9:145-155.

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

Ganjeali, A., Kafi, M. Bagheri, A. and Shahriyari, F. (2004) Allometric relationship between root and shoot characteristics of chickpeas seedling (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 18: 67-80.

Gray D. E., Pallardy, S. G., Garrett, H. E. and Rottinghaus, G. E. (2003) Acute drought stress and plant age effects on alkamide and phenolic acid content in purple coneflower roots. Planta Medica 69: 50-55.

Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagcl, E. G. and Cicek, N. (2007) Salicylic acid induced changes on some physiological parameters sympotomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology 164: 728-736.

Gutierrez-Corronado, M. A., Trejo-Lopez, C. and Larque-Saavedra, A. (1998) Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry 38: 563-565.

Habba, E., EL- Abdel Aziz, N. G., Sarhan, A. M. Z., Arafa, A. M. S. and Youssef, N. M. (2016) Effect of putrescine and growing media on vegetative growth and chemical constituents of populus euramericana plants. Journal of Innovations in pharmaceuticals and Biological Sciences 3: 61-73.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

Hajabbasi, M. A.(2001)Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal of Agricultural Science and Technology 3: 67-77.

Hajar, A. S., Khafagi, O.A. and Ibrahim, S. M.(1997) Response of grain sorghum to water deficit. Alexandrian Journal of Agricultural Researches 42: 37-47.

Hamada, A. M. and Al-Hakimi, A. M. A. (2001) Salicylic acid versus salinity-drought-induced stress on wheat seekaurdlings. Rostlina Vyroba 47: 444-450.

Haworth, M., Killi, D., Materassi, A., Raschi, A. and Centritto, M. (2016) Impaired stomatal control is associated with reduced photosynthetic physiology in crop species grown at elevated [CO_2]. Front plant Science 7: 1568-1572.

Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A. and Ganjeali, A. (2011) Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Enviromntal stresses in crop science 4: 139-150.

Hsiao, T. C. (1973) Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570.

Hussain, M. M., Reid, J. B., Othman, H. and Gallagher, Y. N. (2000) Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptation to drought stress. Field Crop Research 23: 1-17.

Hussein, M.,Nadia, M., EL-Gereadly, H. M. and EL-Desuki, M. (2006) Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). Applied Science Research 2: 598-604.

Jaafar, H. Z., Ibrahim, M. H. and Fakri, N. F. M. (2012) Impact of soil field water capacity on secondary metabolites, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), malondialdehyde (MDA) and photosynthetic responses of Malaysian kacip fatimah (*Labisia pumila Benth*). Molecules 17: 7305–7322.

Jajic, I., Sarna, T. and Strzalka, K. (2015) Senescence, stress, and reactive oxygen species. Plants 4:393-411.

Jie, S., Xing-Zheng, F., Ting, P., Xiao-San, H., Qi-Jun, F. and Ji-Hong, L. (2010) Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of citrus in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal reponse. Tree Physiology 30: 914-922.

Kabiri, R., Nasibi, F. and Farahbakhsh, H. (2014) Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in *nigellasativa* under hydroponic culture. Journal of Plant Protection Science, 50: 43–51.

Kaur-awhney, R., Tiburcio, A., Altabella, T. and Galton, W. (2003) Polyamines in plants: An overview. Journal of Cell and Molecular Biology 2: 1-12.

Kreft, S. (2005). Cichoric acid content and biomass production of *Echinacea purpurea* plants cultivated in Slovenia. Pharmaceutical Biology 43: 662-665.

Khalil, S. E., Abd El- Aziz, N. G. and Abou-Leila, B. H. (2010) Effect of water stress and ascorbic acid on some morphologicaland biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. Journal of American Science 6: 33-44.

Khan, A. S., Zora, S. and Abbasi, N. A. (2007) Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in Angelino plum. Postharvest Biology and Technology 46: 36-46.

Kordi, S., Saidi, M. and Ghanbari, F. (2013) Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid,. International Journal of Agricultural and Food Research 2: 18-26.

Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J. and Upadhyaya, H. D. (2003) Genetic diversity of drought avoidance root traits in the minicore germplasm collection of chickpea a. International Chickpea and Pigeon pea Newsletters 10: 21-24.

Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, M., Grignon, C. and Abdelly, C. (2007) Salinity effect on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritime*. Journal of Plant Physiology and Biochemistry 45: 244-248.

Kumar, A., Palni, L. M. S. and Sood, A. (2011) Factors affecting in vitro formation of cormlets in Gladiolus hybridus Hort. and their field performance. Acta Physiologiae Plantarum 33: 509-515.

Leport L., Turner N. C., French R. J., Barr M. D., Duda R. and Davies S. L.(2006) Physiological response of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. European Journal of Agronomy 11: 279–291.

Lobato, A. K. S., Oliveira Neto C. F., Santos Filho B. G., Costa R. C. L., Cruz F. J. R., Neves H. K. B. and Lopes, M. J. S. (2008) Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. Australian Journal Crop Science 2: 25-32.

Mader, J. C. (1999) Effects of jasmonic acid, silver nitrate and L-AOPP on the distribution of free and conjugated polyamines in roots and shoots of Solanum tuberosumin vitro. Journal Plant Physiology 154: 79-88.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J.(2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. Plant Physiology 132: 272-281.

Meyers, K. J., Watkins, C. B., Pritts, M. P. and Hai-Liu, R. (2003) Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. Agricultural and Food Chemistry 51: 6887-6892.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

Michele, A., Douglas, T. and Frank, A. (2009) The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology 200: 205-215.

Munne-Bosch, S. and Alegre, L. (2004) Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. Funetional Plant Biology 31: 203-216.

Nahed, G. A. A., Lobna, S. T. and Soad, M. M. I. (2009) Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus plants at Nubaria. Ozean Journal of Applied Science 2: 169-179.

Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E. and Szali, G. (2002) Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.

Newman, E. I. (1966) A method for estimating the total length of roots in a sample. Journal of Applied Ecology 3: 139-145.

Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. and Osuagwu, A. N. (2010) The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology 2: 27-33.

Pacheco, A. C., Cabral, C., Fermino, E. S. and Aleman, C. C. (2013) Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. Global Journal of Medicinal Plant Reserch, 1:95-100.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. and Janda, T. (2009) Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 47: 224-231.

Rabia, N., and asghari, B. (2013) Influnce of exogenously applied salicylic acid and plant growth promoting rhizobacteria inoculation on the growth and physology of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under salt stress. Pakistan Journal Botany 45: 367-373.

Rai, V. K., Sharma, S. S. and Sharma, S. (1986) Reversal of ABA–induced Stomatal closure by phenolic compounds. Journal of Experimental Botany 37: 129–34.

Razali, N., Razab, R., Mat Junit, S. and Abdulaziz, A. (2008) Radical scavenging and reducing proper ties of extracts of cashew shoots (*Anacardium occidental*e L.). Food Chemistry 111: 38–44.

Sabra, A., Daayf, F. and Renault, S. (2012) Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. Scientia Horticulturae 135: 23-31.

Safaei Nezhad, T., Mobasser, H. R., Dahmardeh, M. and karimian, M. (2014) Effect of foliar application of salicylic acid and drought stress on quantitative yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). Journal of Novel Applied Sciences 3:512-515.

Saki Nejad, T., Bakhshande, A., Boromand Nasab, S. and Payande, K. (2010) Effect of drought stress on corn root growth. Report and Opinion 2: 47-53.

Schaller, G. and Kieber, J. (2002) Ethylene. American Society Plant Biologists 1-17.

Serraj, R. Krishnamurthy, L. Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S. and Crouch, J. H. (2004) Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. Field Crops Research 88: 115-127.

Setayesh Mehr, Z., khajeh, H., Esmaeilzadeh Bahabadi, S. and Sabbagh, S. Z. (2012) Changes on proline, phenolic compounds and activity of antioxidant enzymes in *Anethum graveolen* L. under salt stress. International journal of Agronomy and Plant Production 3: 710-715.

Sharma, P. and Dubey, R. S. (2005) Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46: 209-221.

Sharma, P. and Shanker, R. (2005) Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46: 209-221.

Singh, B. and Ushu., K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137–141.

Sing, G., Sekhon, H. S. and Kolar, J. S.(2005) Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.

Takeda, T., Yokota, A. and Shigeoka, S. (1995) Resistance of photosynthesis to hydrogen peroxide in algae. Plant Cell Physiology 36: 1089-1095.

Talaat, I. M. and Laila, K. (2010) Physiological response of sweet basil plants (*Ocimum basilicum* L.) to Putrescine and Trans-Cinnamic Acid. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 8: 438-445.

Tomaszewski, M. and Thimman, K. V. (1966) Interaction of phenolic acids, metallic ions and chelating agents on auxin induced growth. Plant physiology 41: 1443 – 1454.

Tourchi, M., Shaikh, F., Valizadeh, M., Shakiba, M. and Pasbane Eslam, B. (2005) Relationship between root morphological characters and resistance to water deficit in some canola genotypes. Journal of Agricultural Science 15: 15-26.

Tsai, Y. L., Chiou, S. Y., Chan, K. C. and Sung, J. M. (2012) Caffeic acid derivatives, total phenols, antioxidant and antimutagenic activities of Echinacea purpurea flower extracts. LWT-Food Science and Technology 46: 169-176.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

Turkan, I., Bor, M., ojzdemir, F. and Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought tolerant *P. acutifolius* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science 168:223–231.

Turner, N. C. (1986) Adaptation to water deficit: A changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology 13: 175-190.

Turner, N. C., Wright, G. C. and Siddique, K. H. M. (2001) Adaptation of grain legumes (Pulses) to water-limited environments. Advance Agronomy 71: 123-231.

Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K. and Kanno, N. (2013) Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. Nature Genetic 45: 1097–1102.

Vogt, T. (2010) Phenylpropanoid biosyntesis. Molecular Plant 3: 2-20.

Waraich, E. A., Amad, R., Ashraf, M. Y., Ahmad, M. (2011) Improving agricultural water use efficiency by nutrient management. Acta Agriculturae Scandinavica 61: 291–304.

Wang, X., Shi, G., Xu, Q. and Hu, J. (2006) Exogenous polyamines enhance copper tolerance of nymphoides pelta. Journal of Plant Physiology 10: 1016–1023.

Youssef, A. A., Mahgoub, M. H. and Talaat, M. (2004) Physiological and biochemical aspects of matthiola incana plants under the effect of putrescine and kinetin treatments. Egyption Journal of Basic and Applied Sciences 19: 492-510.

Zhang, W., Cao, Z., Xie, Zhicai., Lang, D., Zhou, L., Chu,Y., Zhao, Q., Zhang, X., and Zhao,Y. (2017) Effect of water stress on roots biomass and secondary metabolites in the medicinal plant *Stellaria dichotoma* L. var. lanceolata Bge. Scientia Horticulturae 224: 280-285.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]

Effects of Foliar Application of Salicylic Acid and Spermine on the Growth and Root Morphological Characteristics of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) Under Drought Stress

Hakimeh Darvizheh[1], Mortez Zahedi[1]* and Bohllol Abbaszadeh[2]

[1]Department of Agronomy and Plant breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, [2]Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran

(Received: 31/10/2017, Accepted: 17/02/2018)

Abstract

In order to study the effects of water deficit and foliar application of salicylic acid and spermine on dry matter production and biochemical and morphological treats of Echinacea purpurea, a split plot experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications during 2016- 2017 growing seasons at research field of Institute of Forests and Rangelands, Iran. In this experiment, irrigation regimes of three levels (irrigation after 20, 40 and 60% depletion of soil available water) were considered in main plots and salicylic acid (SA) and spermine (SPM) spray treatments (75 mg/l SA, 150 mg/l SA, 75 mg/l SPM, 75 mg/l SA+75 mg/l SPM and 150 mg/l SA+75 mg/l SPM) were considered as sub plots. The effects of irrigation regime and spray treatments were significant on the studied traits. Water stress increased phenol, flavonoid, root length, volume, area, weight and density but decreased plant height, number of tillers, leaf area index, shoot weight, specific root length and protein. The application of salicylic acid and spermine increased plant height, number of tillers, leaf area index, flavonoid, root volume, root weight and protein but decreased phenol, shoot weight root length. The interactions between water deficit and foliar application were significant on the concentration of phenol and flavonoid in shoot and also on root length, volume, weight and density. The highest flavonoid, root volume and root weight were obtained in plants sprayed by combined applications of high rate of SA with SPM and the highest phenol, root length and root density were achived in unsprayed plants; both under irrigation after 60% water depletion. Based on the results from this experiment, the foliar application of salicylic acid and spermine improved the growth of coneflower plants under both normal and water stress conditions and the positive effects of salicylic acid were greater as compared with spermine.

Keywords: Salicylic acid, Spermine, Water stress, Biomass production, Root parameters.

***Corresponding author, Email: mzahedi@cc.iut.ac.ir**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5]