اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر کارایی مصرف آب، برخی اسمولیت‌ها و صفات فیزیولوژیک سیب‌زمینی رقم بانبا در شرایط تنش خشکی

عاطفه پوراسدالهی، عادل سی‌وسه‌مرده*، فرزاد حسین‌پناهی و یوسف سهرابی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰٤/۰۵)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر دورهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی، آزمایشی در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی شهرستان ملایر به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شاخص‌های آزمایشی شامل عامل اصلی آبیاری قطره‌ای در فواصل یک، دو، سه، چهار، پنج و شش روز یکبار و آبیاری بارانی به‌عنوان شاهد (به فواصل شش روز یکبار) بود. عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با چهار سطح شامل اپی‌براسینولید، جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید که به‌همراه شاهد درنظر گرفته شدند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای کارایی مصرف آب و مقدار پروتئین محلول برگ کاهش و مقدار پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده و غلظت پتاسیم به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در کاهش آثار تنش ناشی از افزایش دورهای آبیاری مؤثر بود و کارایی مصرف آب، مقدار پروتئین محلول برگ، پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده و پتاسیم، رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدان‌ها را به‌طور معنی‌دار افزایش داد. همچنین افزایش دور آبیاری مقدار کلروفیل کل و کاروتنویید را ۳۳٪ و ٤۵٪ نسبت به شاهد کاهش و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را۵۰٪ و ٤۱٪ در سیب‌زمینی افزایش داد. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار کلروفیل کل را ۱۱٪ افزایش داد. تأثیر اپی‌براسینولید بیشتر از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، بانبا، پرولین، پروتئین، کربوهیدرات

مقدمه

سیب‌زمینی چهارمین محصول غذایی مهم جهان است و تولید آن در کشورهای در حال توسعه در دو دهه گذشته افزایش یافته است، این امر نشان‌دهنده سهم مهم آن در تأمین امنیت غذایی است (FAO, 2017). ایران سومین تولیدکننده سیب‌زمینی در آسیا است و در داخل کشور نیز استان همدان با دارا بودن ۲٦ هزار هکتار سطح زیر کشت مقام نخست را در سطح کشور دارا است (احمدی و همکاران، ۱۳۹٦). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است که تقریباً تولید ۲۵ درصد اراضی جهان را محدود ساخته است. حتی گاهی یک تنش ملایم می‌تواند با اثر بر روی حساس‌ترین فرآیندها، رشد و عملکرد هر گیاهی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. تحقیقات نشان داده است سیب‌زمینی در همه مراحل نموی به

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a33@ouk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

ویژه مرحله تشکیل غده حساس به تنش خشکی است. ریشه کم عمق با گسترش محدود و ناتوانی آن در جذب آب از اعماق پایین‌تر، از دلایل این حساسیت به شمار می‌رود (Ayas, 2013).

جمعیت کشور در سال ۱٤۰۰ بالغ بر ۸۹ میلیون نفر برآورد می‌گردد. برای تأمین احتیاجات غذایی کشور باید کل تولیدات کشاورزی حداقل ۱۷۲ میلیون تن باشد که از این میزان ۱٦۰ میلیون تن آن باید توسط کشاورزی آبی تأمین گردد. با فرض حداکثر امکان تأمین ۱۰۰ میلیارد مترمکعب آب برای بخش کشاورزی در آن سال، کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی باید به حدود ۱/٦ کیلوگرم بر متر مکعب برسد. تنها در صورت بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش کارایی مصرف آب در این بخش می‌توان به اهداف تولیدات کشاورزی در برنامه‌های توسعه کشور در افق سال ۱٤۰٤ دست یافت (حیدری، ۱۳۹۰).

آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از روش‌های آبیاری میکرو به‌علت افزایش راندمان آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است (Zarzynska *et al*., 2017). برای کاهش اثر سو تنش آبی بر گیاهان زراعی، روش‌های زراعی و فیزیولوژیکی مختلفی بکار می‌روند که در این میان استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها است (Anjum *et al*., 2011). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با روش‌های اصلاحی که اغلب بلند مدت و پرهزینه هستند، آسان‌تر و ارزان‌تر هستند (Vardhini and Anjum, 2015). جیبرلین‌ها هم رشد طولی هم تقسیم سلولی را افزایش می‌دهند. رایج‌ترین جیبرلیک، جیبرلیک اسید (GA_3) است که مهم‌ترین جیبرلین در گیاهان است (کشاورزی و همکاران، ۱۳۹۲). هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در مقابله با تنش‌های غیرزیستی استفاده می‌شوند. امروزه فرضیه‌ای درباره ارتباط بین سطح جیبرلین و مقابله با تنش‌های غیرزیستی در گیاهان وجود دارد (ناصری و عباسی،۱۳۹۱). براسینواستروئیدها گروه جدید هورمون‌های گیاهی که منجر به افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود. براسینولید (یکی از فرم‌های فعال و پایدار براسینواسترویيدها) از جمله موادی هستند که رشد و تولید گیاهان را در شرایط تنش کم آبی تنظیم می‌کند (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۲). سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوییک یک ترکیب فنلی است که در طبیعت وجود داشته و در برخی بافت‌های گیاهی به فراوانی یافت می‌شود (Hashempour *et al*., 2014). یکی از آنالوگ‌های این ترکیب استیل سالیسیلیک اسید (آسپرین) است که پس از جذب به‌سرعت به سالیسیلیک اسید تبدیل می‌شود. نقش سالیسیلیک اسید در ارتباط با سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیرزیستی مشخص شده است (Kabiri and Naghizadeh, 2015). با توجه به اهمیت سیب‌زمینی در ایران، این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی مصرف آب و پاسخ‌های فیزیولوژیکی سیب‌زمینی نسبت به کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در شرایط تنش خشکی ناشی از دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹٤ در شهرستان ملایر استان همدان اجرا شد. ملایر در جنوب استان همدان قرار گرفته و دارای ۱۷۲۵ متر ارتفاع از سطح دریا بوده و در ٤۸ درجه و ۸۲ دقیقه طول شرقی و ۳٤ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد (جدول ۱). شرایط هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. در این تحقیق از رقم بانبا (نیمه‌دیررس، گرد، زرد رنگ، مناسب کشت بهاره، مقاوم به آفات و بیماری‌ها) سیب‌زمینی برای کشت استفاده شد. عامل اصلی آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای در فواصل یک، دو، سه، چهار، پنج و شش روز یکبار براساس نیاز آبی گیاه و آبیاری بارانی براساس عرف منطقه شش روز یکبار درنظر گرفته شد. مقدار آب در کلیه تیمارهای آبیاری قطره‌ای یکسان و بر پایه روش پنمن مانتیث فائو محاسبه شد (Allen *et al*., 1998). مقدار آب مصرف‌شده در روش قطره‌ای ٤٤۸۲

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

جدول۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق نمونه‌برداری	اسیدیته	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	کربنات کلسیم	کربن آلی	ازت	فسفر	پتاسیم	سیلت	شن	رس
			٪			(ppm)			٪	
۰-۳۰	۷/۱	۰/٤	۵/۵	۰/۲	۰/۰۲	٤	۲٤۷	٦٤	۱۲	۲٤

جدول۲- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش

ماه	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	میانگین ساعات آفتابی	میانگین تشعشع خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز)
خرداد	۲۳/۰٤	۰	۱۰/۹۱	۱٤/۲۳
تیر	۲۷/۲۳	۰/۰٦	۹/۷۸	۱۵/۲۳
مرداد	۲٦/۹	۰	۱۱/۱۵	۲۰/۸٤
شهریور	۲۲/۸	۰/٤۲	۹/۷۲	۱۷/۱۱

متر مکعب در هکتار و در روش بارانی ۷۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود. عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با چهار سطح شامل اپی‌براسینولید با غلظت یک میلی‌گرم در لیتر، جیبرلیک اسید با غلظت۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Rasouli and Javanmardi, 2010) و استیل سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام (Awad et al., 2007) که به‌همراه شاهد درنظر گرفته شدند و در کرت‌های شاهد آب‌مقطر روی گیاه آب‌پاشی شد و در مرحله تشکیل غده اعمال گردید (Hassanpanah and Akbarlo, 2013). محلول‌پاشی در اول صبح انجام گرفت (Abdur and Ihsan-ul, 2012). کاشت زمین در دهه اول خردادماه و عملیات آماده‌سازی نظیر شخم، دیسک، مصرف کودهای پایه به‌طور یکسان برای کلیه تیمارها انجام شد. عملیات زراعی در مرحله داشت نظیر وجین علف‌های هرز، خاکدهی پای بوته، سم‌پاشی، مصرف کود سرک و غیره به موقع انجام شد.

در این تحقیق از نوارهای آبیاری با قطر ۱٦ میلی‌متر و فاصله بین قطره چکان‌ها ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی ۲ لیتر در ساعت استفاده شد. کنترل فشار و اندازه‌گیری آب مصرف‌شده در تیمارها با استفاده از شیر قابل تنظیم و کنتور حجمی صورت گرفت. جهت اعمال تیمارهای آبیاری قطره‌ای ابتدا نیاز آبی گیاه مطابق معادله ۱ محاسبه شد (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷)

$$WR = (ET_c + R_o - P_e - CR) / (E_i / 100) \quad [۱]$$

WR: نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر)، R_o: رواناب (میلی‌متر)، P_e: بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر) و E_i: کارایی آبیاری (٪) هستند.

با توجه به پایین‌بودن سطح ایستابی آب در منطقه آزمایش مقدار صعود کاپیلاری صفر درنظر گرفته شد. با توجه به اینکه آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد مقدار رواناب نیز صفر لحاظ گردید. از طرفی فاصله موجود بین کرت‌ها و تکرارهای آزمایش مانع ورود و خروج جریان‌های افقی درون خاک گردید، لذا مقدار این اجزا نیز صفر درنظر گرفته شد (Allen *et al*., 1998). بنابراین نیاز آبی گیاه در عمل براساس معادله ۲ محاسبه شد.

$$WR = (ET_c - P_e) / (E_i / ۱۰۰) \quad [۲]$$

میزان تبخیر و تعرق توسط مدل پنمن مانتیث فائو و براساس داده‌های روزانه هواشناسی محاسبه شد. در این روش ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) و تبخیر و تعرق گیاه زراعی (ETc) با استفاده از معادله‌های ۳ و ٤ محاسبه شد. [۳]

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

$$ET_o = ۰/٤۰۸ \times \Delta \times (R_n - G) + (\gamma \times ۹۰۰ \times U_2 \times (e_s - e_a) / T + ۲۷۳) / \Delta + \gamma \times (۱ + ۰/۳٤ \times U_2)$$

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad [٤]$$

در این معادلات، ETo: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، Rn: تشعشع خالص (مگاژول بر متر مربع در روز)، G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T: دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e_s: فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_a: فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلو پاسکال به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد)، γ: ضریب سایکرومتری (کیلو پاسکال به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد)، ETc: تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، Kc: ضریب گیاهی (بدون واحد) هستند. محاسبه اجزای معادله تبخیر و تعرق مرجع نیازمند اطلاعات جغرافیایی، ارتفاع محل از سطح دریا و اطلاعات هواشناسی از قبیل دماهای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی است که از ایستگاه هواشناسی دریافت شد. ضرایب Kc در گیاه سیب‌زمینی برای مراحل ابتدایی رشد، توسعه، آغاز رسیدگی و رسیدگی به‌ترتیب ۰/۵، ۱/۵۱، ۰/۷۵ و ۰/٦ درنظر گرفته شدند (رسول‌زاده و رئوف، ۱۳۹۲). کارایی مصرف آب (کیلوگرم به ازا هر مترمکعب آب) تیمارهای مختلف از نسبت عملکرد (کیلوگرم) به مقدار آب مصرفی (مترمکعب) محاسبه شد (حسین‌پناهی و همکاران، ۱۳۹۰). اندازه‌گیری پرولین نمونه‌های برگ با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا مقدار ۰/۲ گرم گیاهچه توزین شد و در هاون چینی در ۳ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ ٪ به‌خوبی سائیده شد و هموژنات حاصل با ۱۸۰۰۰ دور به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گشت. آنگاه ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده را به لوله‌های دردار منتقل نموده و به تمام لوله‌ها مقدار ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال اضافه شد. سپس در لوله‌ها بسته شده و به‌مدت یک ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از سردکردن لوله‌ها به هر کدام مقدار ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گشت و با استفاده از دستگاه ورتکس به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شد. سرانجام فاز روئی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بوده برداشته و همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار گرفت و اعداد در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. واحد به‌صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان می‌شود. غلظت پروتئین محلول برگ نیز به‌روش Bradford (۱۹۷٦) تعیین گردید. کربوهیدرات‌های محلول برگ و غده‌ها با استفاده از معرف آنترون با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول‌موج ٦۲۵ نانومتر بر اساس روش Fsles (۱۹۵۱) اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، بالاترین برگ‌های توسعه‌یافته گیاه در مرحله غده‌بندی مورد نمونه‌برداری قرار گرفت و در داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها به روش Arnon (۱۹٤۹) بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با استفاده از روابط (۵) و (٦) تعیین گردید. در روابط زیر V حجم نهایی نمونه استخراج‌شده و W وزن تر نمونه (گرم) است.

[۵]

$$Chl\ a+b = [20.2\times(A645) - 8.02\times(A663)]\times v / 1000\times w$$

[٦]

$$Car = [100\times(A470) - 3.27\times(chl\ a) - 104\times(chl\ b)] / 227$$

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌روش Giannopolitis و Ries (۱۹۹۷) انجام شد (Giannopolitis and Ries, 1997). محلول واکنش، شامل بافر پتاسیم فسفات با pH=۷ حاوی EDTA 1/0 میلی‌مولار، کربنات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۱۰/۲، L-methionine 12 میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۱ میکرومولار و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی است. نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور قرار گرفت و پس از این مدت جذب آنها در طول‌موج ۵٦۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. همچنین از یک لوله آزمایش حاوی مخلوط واکنش بجز عصاره آنزیمی به‌عنوان شاهد (بلانک) استفاده شد. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان مقدار آنزیمی درنظر گرفته

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

می‌شود که منجر به مهار ۵۰ درصد احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم می‌گردد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز بر طبق روش Ghanati و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد (Ghanati *et al.*, 2002). فعالیت آنزیمی با افزودن مقادیر مناسب از عصاره آنزیمی، بافر، گایاکول با غلظت نهایی ۲۸ میلی‌مولار و هیدروژن پراکسید با غلظت نهایی ۵ میلی‌مولار در طول‌موج ٤٧٠ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده، و فعالیت آنزیمی به‌ازای تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد. داده‌ها به‌صورت آزمایش کرت خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2002) آنالیز شدند. سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به اینکه مقدار آب مصرف‌شده در روش قطره‌ای ٤٤٨٢ متر مکعب در هکتار و در روش بارانی ۷۲۰۰ متر مکعب در هکتار بود، نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای موجب صرفه‌جویی در مصرف آب (بیش از ٤٠ درصد) در مقایسه با روش بارانی شد. کمترین کارایی مصرف آب در آبیاری بارانی (۰/۸۳) و بیشترین آن از آبیاری قطره‌ای هر روز (۱/۸۲) و دو روز یکبار (۱/۸۵) کیلوگرم ماده خشک به‌ازای هر متر مکعب آب به‌دست آمد. بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای هر روز و دو روز یکبار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). یکی از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک تغییر روش آبیاری به آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت سیب‌زمینی است. در این آزمایش با افزایش دور آبیاری قطره‌ای کارایی مصرف آب کاهش پیدا کرد و کمترین مقدار آن از دور آبیاری شش روز یکبار به‌دست آمد (جدول ٤). کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در حدود یک کیلوگرم ماده خشک به‌ازای هر مترمکعب آب ذکر شده است (Iwama and Yamaguchi, 2006). در مورد تأثیر تنش‌های ملایم بر کارایی مصرف آب، می‌توان گفت تحت تنش کمبود آب در سیب‌زمینی، بسته‌شدن جزیی روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و درنتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. اما تنش شدید باعث بسته‌شدن کامل روزنه‌ها شده و کارایی مصرف آب به‌علت پایین‌آمدن فتوسنتز و درنهایت عملکرد کاهش می‌یابد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). در آبیاری نواری عواملی مثل کاهش تبخیر از سطح خاک، عدم‌وجود رواناب سطحی و کنترل نفوذ عمقی باعث افزایش تولید و در نتیجه کارایی مصرف آب می‌شوند. همچنین تبخیر در سیستم آبیاری بارانی بیشتر از روش قطره‌ای است (نجفی موسوی، ۱۳۹۰).

محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد اثرات منفی تنش خشکی ناشی از افزایش دور آبیاری بر کارایی مصرف آب را کاهش داد. به طوری که کمترین کارایی مصرف آب در تیمار شاهد و بیشترین آن در محلول‌پاشی اپی‌براسینولید به‌دست آمد (جدول ۵). اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین کارایی مصرف آب از تیمار آبیاری هر روز و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید حاصل شد (جدول ۵).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که پرولین به‌عنوان یکی از اسیدهای آمینه شاخص در بررسی اثر تنش‌ها، تحت تأثیر معنی‌دار دور آبیاری قرار گرفت و تنش خشکی ناشی از افزایش دورهای آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در سطح احتمال یک درصد گردید (جدول ۳). از آنجا که اسیدآمینه پرولین به‌عنوان رایج‌ترین و گسترده‌ترین اسمولیت در بسیاری از گیاهان، تنظیم اسمزی، نگهداری آب و حفظ تورژسانس سلول‌ها را در زمان بروز تنش خشکی عهده دار است (Miller *et al.*, 2010)، در این آزمایش نیز اثر خود را نشان داده و به‌واسطه اعمال تنش میزان آن در بافت‌های برگ افزایش یافت (جدول ۵). افزایش اسیدآمینه پرولین در اثر اعمال تنش خشکی در تحقیق گذشته عنوان شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۳) گزارش شده است. پرولین به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد، در شرایط تنش غلظت آن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

جدول۳- تجزیه واریانس کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب‌زمینی تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در دوره‌های مختلف آبیاری قطره‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کارایی مصرف آب	پرولین	پروتئین محلول برگ	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات غده
تکرار	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۹۳	۰/٤۹٦	۰/۰۱۸	۰/۵۹۷
عامل اصلی (آبیاری)	٦	۲/۰۹۷**	٦/۸۵۷**	۱/۱۳۱**	۷۷/۹۳۲**	۷۳/۵**
خطای اصلی	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰٤٤	۰/۰۱۳	۰/۰٦۲	۰/۱۳۸
عامل فرعی (محلول‌پاشی)	۳	۰/۱۷۸**	۰/۷۸**	۰/۲۷۸**	۱۰/۱٤٤**	۱۳/٤٤۸**
آبیاری × محلول‌پاشی	۱۸	۰/۰۰٤**	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۲۸۸**	۰/٦۲۱**
خطای b	٤۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰٤	۰/۰۰۱	۰/۰۲۷	۰/۰۸٤
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۲۷	۲/۷۷	۱/۲۱	۲/۳۳	۳/۲۹

***، ** و بدون علامت به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار**

ادامه جدول۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل کل	کاروتنوئید	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	عملکرد تر غده
		۱/۰۱*	۰/۰۳۳**	۰/۰۰٦**	۰/۰۰٤**	۱۱۵۹/۰۲
عامل اصلی (آبیاری)	٦	۰/۱٤**	۰/۰۱**	۰/۰٤**	۰/۰۲**	۹۳٤۸۸۳۸/۸۹**
خطای اصلی	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۳	۷۱۸۰/٤۵
عامل فرعی (محلول‌پاشی)	۳	۰/۳۷**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۱**	۰/۰۰۲**	۵۵۸۳۳۳/۲۷**
آبیاری × محلول‌پاشی	۱۸	۰/۰۰۰٦^{ns}	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۸**	۱۸۲۵٤/٤۸**
خطای b	٤۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰٦	۰/۰۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۱	۲٤۵۷/۰٦
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/٤	۵/۱۵	٤۲/۳	۱/۱۵	۱/٦۲

***، ** و بدون علامت به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی‌دار**

نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. افزایش میزان پرولین تحت تنش شوری و خشکی ممکن است به‌علت شکستن پروتئین‌های غنی از پرولین یا به‌واسطه سنتز مجدد پرولین باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۳). با کاهش پتانسیل آب، میزان سنتز پرولین از گلوتامیک اسید افزایش می‌یابد. در اثر تنش کم آبی و شوری، رونویسی mRNA آنزیم‌های Δ- پرولین 5- کروبوکسیلات سنتتاز (P5Cs) Δ- و پرولین 5 - کروبوکسیلات ردوکتاز (P5CR) القا می‌شود (Liang *et al.*, 2013). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد منجر به افزایش مقدار پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد شد (جدول ۳). بیشترین مقدار پرولین برگ در محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید به‌دست آمد و سایر محلول‌پاشی‌ها نیز دارای اختلاف معنی‌دار با شاهد بودند (جدول ٤). مطابق با نتایج این آزمایش، مسلم (۱۳۹٤) در بررسی اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید بر ذرت تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند محلول‌پاشی گیاهان با اپی‌براسینولید، صرف نظر از غلظت آن، باعث کاهش اثرات تنش بر گیاه می‌شود. شعاع و میری (۱۳۹۱) گزارش کردند تحت شرایط تنش با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، میزان پرولین افزایش می‌یابد. کاربرد جیبرلیک اسید می‌تواند با مکانیسم‌های مختلفی توانایی گیاه را در پاسخ به تنش خشکی افزایش داده و سبب افزایش میزان فتوسنتز در گیاه شود. اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

جدول ٤- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب‌زمینی تحت تأثیر اثرات اصلی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای

تیمارها	کارایی مصرف آب	پرولین	پروتئین محلول	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات
	(کیلوگرم/مترمکعب)	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			
آبیاری					
قطره‌ای هر روز	۱/۸۲۸^{a}	۱/۱۸^{d}	۳/۳۹^{a}	۳/۷۹^{e}	۵/٦۲^{e}
قطره‌ای دو روز یکبار	۱/۸۵۲^{a}	۱/۲۵^{d}	۳/۳٦^{a}	۳/۹٤^{e}	۵/۸۹^{e}
قطره‌ای سه روز یکبار	۱/۵٦۲^{b}	۱/۹۲^{c}	۳/۱۷^{b}	۵/۹۱^{d}	۷/٦۹^{d}
قطره‌ای چهار روز یکبار	۱/۲۵۳^{c}	۲/٤۷^{b}	۲/۹۵^{c}	۸/۰۲^{c}	۹/۷۸^{c}
قطره‌ای پنج روز یکبار	۱/۰٤۱^{d}	۲/۸۸^{a}	۲/۷٦^{d}	۸/۹۵^{b}	۱۰/۸۸^{b}
قطره‌ای شش روز یکبار	۰/۹۵٤^{e}	۳/۱۳^{a}	۲/۵٦^{e}	۱۰/٤۵^{a}	۱۲/۰۸^{a}
شاهد	۰/۸۳٦^{f}	۲/۳^{b}	۳/۰۹^{bc}	۸/۱۷^{c}	۹/۸٤^{c}
محلول¬پاشی					
شاهد	۱/۲۲۷^{d}	۱/۹۱^{c}	۲/۸۹^{c}	٦/۲۱^{d}	۷/۸٦^{c}
جیبرلیک اسید	۱/۳٤^{b}	۲/۱۸^{b}	۳/۰٤^{b}	۷/۱^{b}	۸/۸۹^{b}
اپی براسینولید	۱/٤۵^{a}	۲/۳۸^{a}	۳/۱۷^{a}	۷/۹^{a}	۹/۸۱^{a}
استیل سالیسیلیک اسید	۱/۳۱۲^{c}	۲/۱۸^{b}	۳/۰٦^{b}	٦/۹۳^{c}	۸/۷۵^{b}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ ٪، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

ادامه جدول ٤-

تیمارها	کلروفیل کل	کاروتنوئید	پراکسیداز	سوپراکسید	عملکرد غده
	(کیلوگرم/مترمکعب)		(میلی¬گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه)		(گرم در متر مربع)
آبیاری					
قطره‌ای هر روز	۱/۸۲۸^{a}	۱/۱۸^{d}	۳/۳۹^{a}	۳/۷۹^{e}	۵/٦۲^{e}
قطره‌ای دو روز یکبار	۱/۸۵۲^{a}	۱/۲۵^{d}	۳/۳٦^{a}	۳/۹٤^{e}	۵/۸۹^{e}
قطره‌ای سه روز یکبار	۱/۵٦۲^{b}	۱/۹۲^{c}	۳/۱۷^{b}	۵/۹۱^{d}	۷/٦۹^{d}
قطره‌ای چهار روز	۱/۲۵۳^{c}	۲/٤۷^{b}	۲/۹۵^{c}	۸/۰۲^{c}	۹/۷۸^{c}
قطره‌ای پنج روز	۱/۰٤۱^{d}	۲/۸۸^{a}	۲/۷٦^{d}	۸/۹۵^{b}	۱۰/۸۸^{b}
قطره‌ای شش روز	۰/۹۵٤^{e}	۳/۱۳^{a}	۲/۵٦^{e}	۱۰/٤۵^{a}	۱۲/۰۸^{a}
شاهد	۰/۸۳٦^{f}	۲/۳^{b}	۳/۰۹^{bc}	۸/۱۷^{c}	۹/۸٤^{c}
محلول¬پاشی					
شاهد	۱/۲۲۷^{d}	۱/۹۱^{c}	۲/۸۹^{c}	٦/۲۱^{d}	۷/۸٦^{c}
جیبرلیک اسید	۱/۳٤^{b}	۲/۱۸^{b}	۳/۰٤^{b}	۷/۱^{b}	۸/۸۹^{b}
اپی براسینولید	۱/٤۵^{a}	۲/۳۸^{a}	۳/۱۷^{a}	۷/۹^{a}	۹/۸۱^{a}
استیل سالیسیلیک	۱/۳۱۲^{c}	۲/۱۸^{b}	۳/۰٦^{b}	٦/۹۳^{c}	۸/۷۵^{b}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ ٪، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

جدول ۵- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب و صفات فیزیولوژیکی سیب‌زمینی تحت تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای

آبیاری	محلول‌پاشی	صفات			
		کارایی مصرف آب	پرولین برگ	کربوهیدرات برگ	کربوهیدرات غده
		(کیلوگرم/مترمکعب)	(میلی‌گرم برگرم وزن تر)		
قطره‌ای هر روز	شاهد	۸/۹۳^{cd}	۱/۰٤^{j}	۳/٤٦^{n}	۵/۳۵^{l}
	جیبرلیک اسید	۹/۱۵^{bc}	۱/۲۱^{hi}	۳/۸۵^{lmn}	۵/۷^{kl}
	اپی براسینولید	۹/۷^{a}	۱/۲۵^{hi}	٤/۲^{kl}	۵/۹^{kl}
	استیل سالیسیلیک	۸/۸۷^{d}	۱/۲۲^{hi}	۳/٦۵^{mn}	۵/٦۱^{kl}
قطره‌ای دو روز یکبار	شاهد	۸/۹٤^{cd}	۱/۱۵^{ij}	۳/٦۷^{mn}	۵/٦^{kl}
	جیبرلیک اسید	۹/۳۲^{b}	۱/۲۷^{hi}	۳/۹٦^{klm}	۵/۹^{kl}
	اپی براسینولید	۹/۵۷^{a}	۱/۳۲^{h}	٤/۲۸^{k}	٦/۱^{k}
	استیل سالیسیلیک	۹/۱۲^{bcd}	۱/۲۵^{hi}	۳/۹۱^{klm}	۵/۸۵^{kl}
قطره‌ای سه روز یکبار	شاهد	۹/٦۹^{g}	۱/۵۹^{g}	٤/۹۸^{j}	٦/۹۱^{j}
	جیبرلیک اسید	۷/۷^{f}	۱/۹۵^{f}	٦/۰۷^{h}	۷/۷۹^{hi}
	اپی براسینولید	۸/۱۵^{e}	۱/۲۲^{e}	٦/٦۵^{i}	۸/۵۸^{g}
	استیل سالیسیلیک	۷/۵۵^{f}	۱/۹^{f}	۵/۹٦^{i}	۷/٤۷^{ij}
قطره‌ای چهار روز یکبار	شاهد	۵/۳۷^{i}	۲/۱۹^{e}	۷/۰۸^{g}	۸/٤۲^{gh}
	جیبرلیک اسید	٦/۰۳^{h}	۲/٤۹^{d}	۸/۰۱^{f}	۹/۷۷^{f}
	اپی براسینولید	٦/۷٤^{g}	۲/۷۲^{c}	۹/۱۳^{de}	۱۱/۱٤^{de}
	استیل سالیسیلیک	۵/۹۲^{h}	۲/٤۸^{d}	۷/۸۸^{f}	۹/۸۱^{f}
قطره‌ای پنج روز یکبار	شاهد	٤/٤٤^{klm}	۲/۵۵^{d}	۸/۰٤^{f}	۹/٦٦^{f}
	جیبرلیک اسید	٤/۸٤^{j}	۲/۸۷^{c}	۹/۰٦^{de}	۱۰/۹^{de}
	اپی براسینولید	۵/۳۹^{i}	۳/۲۲^{b}	۹/۱۹^{c}	۱۲/۱^{bc}
	استیل سالیسیلیک	٤/٦^{kl}	۲/۸۷^{c}	۸/۷۷^{e}	۱۰/۸^{de}
قطره‌ای شش روز یکبار	شاهد	۳/۷٤^{p}	۲/۸۵^{c}	۹/۱۹^{d}	۱۰/۷۱^{e}
	جیبرلیک اسید	٤/۳۷^{lmn}	۳/۱۵^{b}	۱۰/۵۵^{b}	۱۲/۲۲^{b}
	اپی براسینولید	٤/٦٤^{jk}	۳/٤^{a}	۱۱/۸۱^{a}	۱۳/٤۱^{a}
	استیل سالیسیلیک	٤/۲۳^{mno}	۳/۱۳^{b}	۱۰/۲٦^{bc}	۱۱/۹۷^{bc}
شاهد	شاهد	٤/۰۳^{o}	۲/۰۱^{f}	۷/۰۹^{g}	۸/۲٦^{gh}
	جیبرلیک اسید	٤/۱۵^{no}	۲/۳۲^{e}	۸/۲۲^{f}	۹/۹^{f}
	اپی براسینولید	٤/۲^{mno}	۲/۵۵^{d}	۹/۳۳^{d}	۱۱/٤۷^{cd}
	استیل سالیسیلیک	٤/۱۱^{o}	۲/۳٤^{e}	۸/۰۸^{f}	۹/۷۳^{f}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ ٪، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار پرولین برگ در تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید مشاهده شد (جدول ۵).

پروتئین محلول برگ تازه نیز از جمله صفاتی بود که پس از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله غده‌بندی به‌منظور بررسی ارتباط تنش خشکی ناشی از دورهای مختلف آبیاری با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

ادامه جدول ۵-

آبیاری	محلول‌پاشی	صفات			
		کاروتنوئید (میلی‌گرم برگرم وزن تر)	پراکسیداز (میلی‌گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه)	سوپر اکسید دیسموتاز	عملکرد تر غده (گرم در متر مربع)
	شاهد	۰/۱۹^{a}	۰/۱۰^{l}	۰/۲۷^{p}	٤۰۰٦/٥۲^{cd}
	جیبرلیک اسید	۰/۱۷^{abc}	۰/۱۰^{kl}	۰/۲۷^{p}	٤۱۰۰/۹۷^{bc}
	اپی براسینولید	۰/۱۷^{abcd}	۰/۱۱^{k}	۰/۳۰^{lm}	٤۳٥۰/۳۸^{a}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱۸^{ab}	۰/۱۰^{kl}	۰/۲۹^{no}	۳۹۷۷/۷٦^{d}
قطره‌ای دو روز یکبار	شاهد	۰/۱۸^{a}	۰/۱۱^{k}l	۰/۲۸^{p}	٤۰۰٦/۹٤^{cd}
	جیبرلیک اسید	۰/۱۸^{ab}	۰/۱۳^{j}	۰/۲۹^{o}	٤۱۷۸/۹۳^{b}
	اپی براسینولید	۰/۱۷^{bcd}	۰/۱٥^{i}	۰/۳۰^{l}	٤۲۹۱/۹٦^{a}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱۷^{ab}	۰/۱۲^{j}	۰/۲۹^{mn}	٤۰۸٦/۸۷^{bcd}
قطره‌ای سه روز یکبار	شاهد	۰/۱٥^{fg}	۰/۱٥^{i}	۰/۳۲^{k}	۳۱۲۱/۱٦^{g}
	جیبرلیک اسید	۰/۱٦^{ef}	۰/۱۷^{h}	۰/۳۲^{k}	۳٤٥۲/۱٦^{f}
	اپی براسینولید	۰/۱٦^{def}	۰/۲۰^{g}	۰/۳٥^{gh}	۳٦٥۳/۸۹^{e}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱٥^{f}	۰/۱۷^{h}	۰/۳۳^{jk}	۳۳۸٤/۷٥^{f}
قطره‌ای چهار روز یکبار	شاهد	۰/۱٤^{gh}	۰/۱۷^{h}	۰/۳٤^{i}	۲٤۰۷/۱۲^{k}
	جیبرلیک اسید	۰/۱٥^{fg}	۰/۲۱^{fg}	۰/۳٦^{fg}	۲۷۰۳/۳۸^{j}
	اپی براسینولید	۰/۱٦^{f}	۰/۲٥^{d}	۰/۳۷^{e}	۳۰۲۳/۸۱^{gh}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱٤^{gh}	۰/۲۱^{fg}	۰/۳٥^{fg}	۲٦٥٦/۳^{j}
قطره‌ای پنج روز یکبار	شاهد	۰/۱۲^{ij}	۰/۲۱^{fg}	۰/۳٦^{fg}	۱۹۸۹/۸^{mno}
	جیبرلیک اسید	۰/۱٥^{hi}	۰/۲٤^{de}	۰/۳۹^{c}	۲۱۷۲/۲۸^{l}
	اپی براسینولید	۰/۱٤^{gh}	۰/۲۹^{b}	۰/۳۹^{bc}	۲٤۱٦/٤٦^{k}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱۲^{jk}	۰/۲٤^{de}	۰/۳۷^{de}	۲۰٦۳/۲٥^{lmn}
قطره‌ای شش روز یکبار	شاهد	۰/۱۰^{l}	۰/۲۳^{e}	۰/۳۸^{d}	۱٦۷٤/٦٦^{p}
	جیبرلیک اسید	۰/۰۹^{lm}	۰/۲٦^{c}	۰/۳۹^{b}	۱۹٦۱/۱۷^{no}
	اپی براسینولید	۰/۱۱^{kl}	۰/۳۱^{a}	۰/٤۱^{a}	۲۰۷۹/۱٦^{lm}
	استیل سالیسیلیک	۰/۰۸^{m}	۰/۲٦^{c}	۰/٤۰^{b}	۱۸۹٥/۳٦^{o}
شاهد	شاهد	۰/۱٦^{cdef}	۰/۱۸^{h}	۰/۳۳^{j}	۲۹۰۳/۸٦^{i}
	جیبرلیک اسید	۰/۱٦^{def}	۰/۲۲^{f}	۰/۷۲^{hi}	۲۹۹۲/۸۲^{hi}
	اپی براسینولید	۰/۱۸^{ab}	۰/۲٤^{ed}	۰/۳٦^{f}	۳۰۲۷/۰۹^{gh}
	استیل سالیسیلیک	۰/۱۷^{bcde}	۰/۲۲^{f}	۰/۳٥^{hi}	۲۹٦٤/۷۹^{hi}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ ٪، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

این صفت فیزیولوژیک، اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این آزمایش، تأثیر دور آبیاری بر پروتئین محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با افزایش دورهای آبیاری، مقدار پروتئین محلول برگ کاهش یافت (جدول ۳). بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای هر روز و دو روز یکبار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار پروتئین محلول برگ از تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

آبیاری قطره‌ای هر روز و دو روز یکبار و کمترین آن از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار حاصل شد (جدول ٤). تنش خشکی همراه با تأثیر بر محتوای پروتئین کلروپلاست، پیوستگی غشا کلروپلاست را تحت تأثیر قرار می‌دهد که با کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی همراه است. کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز آن، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است. از علل کاهش پروتئین محلول برگ‌ها در شرایط تنش آبی، افزایش غلظت آبسزیک اسید است که باعث کاهش میزان پروتئین محلول می‌شود (Yang *et al.*, 2004). تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر مقدار پروتئین محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کم‌ترین مقدار پروتئین محلول برگ در تیمار شاهد (۰/۸۹ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) و بیش‌ترین مقدار در تیمار محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید (۳/۱۷ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) مشاهده شد. افزایش میزان پروتئین‌های محلول به‌دلیل کاربرد براسینولید به‌علت افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سوخت و ساز نیتروژن است (Syed Ali Fathima *et al.*, 2011). براسینولید فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی مانند فتوسنتز، اسیدهای نوکلئیک، تجمع پرولین و ساخت پروتئین را تحریک می‌کند. همچنین ثابت شده است که این ماده، در مراحل رونویسی ژن و ترجمه نقش داشته و بنابراین سطوح پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را بهبود می‌بخشد. با وجود اینکه بسیاری از مطالعات روی بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا متمرکز شده‌اند، گزارش‌های محدودی در خصوص قابلیت براسینولید در کاهش اثر خشکی در گیاهان زراعی وجود دارد (Anjum *et al.*, 2011). اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر مقدار پروتئین محلول برگ در این آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۳).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با تأخیر در آبیاری، میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ در تیمار آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار به‌دست آمد (جدول ٤). نتایج این آزمایش با نتایج سعیدی ابواسحقی و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. تجمع کربوهیدرات‌های محلول در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با تنظیم اسمزی و یا حفاظت غشاهای سلولی است. در شرایط تنش خشکی قندهای محلول افزون بر تنظیم اسمزی و کاهش پتانسیل آب، از سلول در برابر آسیب‌های اکسایشی اکسیداتیو محافظت می‌کنند و نقش مؤثری در حفاظت از غشا سلولی و پروتئین‌ها دارند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۳). تنش کمبود آب سبب افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ نخود گردید (ثمن و همکاران،۱۳۹۰). اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد نیز بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربوهیدرات محلول برگ در تیمار محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید مشاهده شد. مقدار کربوهیدرات محلول برگ در تیمار با استیل سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ٤). میزان قندهای محلول کل در تیمار با سالیسیلیک اسید در برگ و ریشه به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۳). اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای و محلول‌پاشی بر مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

کربوهیدرات محلول در غده‌های سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی تنش، تحت تأثیر تنش خشکی ناشی از افزایش دورهای آبیاری قطره‌ای قرار گرفت. به‌طوری که افزایش دورهای آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش میزان کربوهیدرات محلول در غده‌ها شد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول غده عموماً پاسخی به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی است (Zadehbagheri *et al.*, 2012). بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول در غده از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار حاصل شد (جدول ٤). در شرایط تنش کمبود آب، به‌دلیل تجزیه نشاسته، تشکیل نقاط با تجمع بالای قندهای ساده در داخل غده و افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتتاز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

غلظت قندهای احیایی غده سیب‌زمینی افزایش می‌یابد (Kumar *et al.*, 2004). قندهای محلول از دیگر اسمولیت‌های سازگاری هستند که در شرایط تنش خشکی تجمع یافته و به‌عنوان عامل تنظیم اسمزی عمل می‌نمایند (Zadehbagheri, 2012). در شرایط تنش، گیاه برای حفظ تعادل اسمزی و توانایی جذب بیشتر آب از محیط ریشه، ترکیباتی مانند کربوهیدرات‌ها که در ساختار سلول‌ها شرکت دارند و باعث رشد گیاه می‌شوند، را در خود افزایش می‌دهد تا تنظیم اسمزی بهتر صورت گیرد (نورزاد و همکاران، ۱۳۹٤). مطابق با نتایج این آزمایش مطلبی‌فرد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با افزایش تنش کمبود آب، غلظت قندهای احیایی غده افزایش یافت، به‌طوری که غلظت قندهای احیایی در سطوح تنش شدید کمبود آب ۱۸ درصد بیشتر از آبیاری کامل بود. با توجه به افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش شدید خشکی، می‌توان نتیجه گرفت محتوای قندهای محلول غده می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل گیاه سیب‌زمینی به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد. اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد نیز بر مقدار کربوهیدرات محلول در غده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کم‌ترین مقدار کربوهیدرات محلول در غده در تیمار شاهد (۷/٦ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) و بیش‌ترین مقدار در تیمار محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید (۹/۸۱ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه) مشاهده شد (جدول ۵). مطابق با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش باقری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند درصد قندهای محلول در غده‌های سیب‌زمینی به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی تنش، تحت اثر سطوح تنش خشکی قرار گرفت. به‌طوری که اعمال تنش منجر به افزایش میزان قندهای محلول در غده‌ها شد. نتایج این آزمایش نشان داد برهمکنش محلول‌پاشی و دورهای مختلف آبیاری قطره‌ای بر مقدار کربوهیدرات محلول غده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین کربوهیدرات محلول غده از تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید حاصل شد (جدول ۵).

نتایج نشان داد با تأخیر در آبیاری قطره‌ای از تیمار هر روز یکبار تا شش روز یکبار و بروز تنش خشکی، میزان کلروفیل کل برگ ۳۳٪ کاهش یافت. تأثیر دورهای مختلف آبیاری در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین مقدار کلروفیل کل در روش آبیاری قطره‌ای یک، دو و سه روز یکبار به‌ترتیب ۱۳/۵٪، ۱۰/۷٪ و ٤/۷٪ بیشتر از آبیاری بارانی بود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که محلول‌پاشی استیل سالیسیلیک اسید و اپی‌براسینولید کلروفیل کل را به‌ترتیب معادل ۱٤/۵٪ و ۸/۵٪ نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین مقدار کلروفیل از محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید معادل ۰/۸۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ حاصل شد (جدول ۵). بارزترین اثر تنش اکسیداتیو در شرایط تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل کل است. درنتیجه اکسیداسیون نوری کلروفیل و رنگدانه‌ها تخریب می‌شود، بنابراین علت اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی کاهش محتوای کلروفیل برگ است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). افزایش محتوای کلروفیل به‌دنبال کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش دور آبیاری می‌تواند توجیهی برای بهبود گیاهان زراعی باشد. جیبرلیک اسید باعث افزایش مقدار کلروفیل می‌شود ولی به‌دلیل افزایش سطح برگ توسط آن، مقدار کلروفیل نسبت به واحد سطح کاهش می‌یابد (Rasouli and Javanmardi, 2010).

اثر دور آبیاری بر محتوای کاروتنویید و تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش دورهای آبیاری قطره‌ای محتوای کاروتنوییدهای برگ ٤۵٪ کاهش یافت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۰/۰۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد. بین کاربرد جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). کاهش کارآیی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوییدها و کلروفیل در شرایط تنش می‌شود (Oliviera-Neto *et al.*, 2009). استفاده از جیبرلین سبب کاهش میزان گزانتوفیل و β-کاروتن در شرایط تنش می‌شود (عباس‌پور و رضایی، ۱۳۹۳). استیل سالیسیلیک اسید با افزایش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی موجب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید (Khan *et al*., 2015).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار دورهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها در سطح ۱٪ بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز است (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد با افزایش دور آبیاری فعالیت آنزیم پراکسیداز ٤۹٪ افزایش یافت و بیشترین مقدار آن از آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۰/۲۷۰۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار آبیاری بارانی ۵۰٪، ۳۸٪ و ۱٦٪ و بیش از تیمار آبیاری قطره‌ای یک، دو و سه روز یکبار بود (جدول ۵). در شرایط تنش افزایش آنزیم پراکسیداز جهت جلوگیری از کاهش عملکرد صورت می‌گیرد. البته افزایش آنزیم پراکسیداز قادر به جبران کامل کاهش عملکرد نبود و عملکرد کاهش یافت. مطابق با نتایج به‌دست آمده گزارش شده است تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در سیب‌زمینی می‌شود (Shi *et al*., 2015). کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار این آنزیم را نسبت به شاهد ۲۵٪ افزایش داد. بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز در محلول‌پاشی اپی‌براسینولید به‌ترتیب معادل ۰/۲۲٦ و ۰/۲۱۱ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. همچنین بین کاربرد جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری نبود و هر دو فعالیت آنزیم پراکسیداز را ۱۳٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۵). احیاشدن بیش از حد معمول زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی به‌واسطه فعال‌شدن الکترون در مبدأ و عدم‌استفاده از آن در قسمت پایانی زنجیره در شرایط محدودیت دی‌اکسید کربن ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها تحت تنش خشکی به تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) می‌انجامد (Pyngrope *et al*., 2013). پراکسیداز می‌تواند طیف وسیعی از ترکیبات اکسیژن فعال را به H_2O_2 اکسید کرده و H_2O_2 را به آب احیا نمایند. گزارش شده است تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شرایط بدون تنش در گیاه جو معنی‌دار نبود (Ghobadi *et al*., 2013). در مقابل مطالعات دیگری وجود دارد که افزایش در میزان فعالیت پراکسیداز را در شرایط تنش رطوبتی نشان می‌دهد (Manivannan *et al*., 2008).

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ است (جدول ۵). کمترین مقدار آنزیم از رژیم آبیاری قطره‌ای یک روز یکبار ۰/۲۸۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین و بیشترین آن از رژیم آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۰/٤۸ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. بیش‌ترین محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به تیمار آبیاری شش روز یکبار و محلول‌پاشی اپی براسینولید معادل ۰/٤۲۳ به‌ازای هر میلی‌گرم پروتئین بود (جدول ۵). ترکیبات هورمونی مورد استفاده مقدار این آنزیم را ۸٪ نسبت به شرایط عدم‌استفاده از این ترکیبات افزایش دادند. بین کاربرد استیل سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). تنش‌های خشکی و شوری هر دو موجب تغییرات اسمزی و به‌دنبال آن تغییر فعالیت‌های آنزیمی در گیاهان می‌شوند (Lokhande *et al*., 2010; Keshavarz *et al*., 2016). تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سیب‌زمینی می‌شود (Shi *et al*., 2015). گزارش‌ها نشان می‌دهد استیل سالیسیلیک اسید باعث بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی نظیر کاروتنویید، آسکوربات، گلوتاتیون، ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و برخی فلاونویید‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی گلوتاتیون ردوکتاز، پراکسیداز، آسکوربیت پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز گردید (Khan *et al*., 2015).

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار دورهای مختلف آبیاری برعملکرد غده است (جدول ۳). با افزایش دورهای آبیاری قطره‌ای عملکرد غده کاهش یافت به‌طوری که بیشترین عملکرد غده از تیمار آبیاری دو روز یکبار معادل ٤۱٤۱/۱۷ گرم در متر مربع (٤۱/٤۱ تن در هکتار) و کمترین عملکرد از تیمار آبیاری قطره‌ای شش روز یکبار معادل ۱۹۰۲/۵۹ گرم در متر مربع (۱۹/۰۲ تن در هکتار) به‌دست آمد (جدول ٤). عملکرد غده در تیمارهای آبیاری قطره‌ای هر روز، دو و شش روز یکبار به‌طور معنی‌دار و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

به‌ترتیب معادل ۲۷٪، ۲۸٪ و ۱۲٪ بیشتر از عملکرد غده در تیمار شاهد (آبیاری بارانی) بود (جدول ۳). بالابودن عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای احتمالاً به این دلیل است که خاک همیشه دارای وضعیت رطوبتی مناسبی بوده و گیاه انرژی کمتری را صرف جذب آب از خاک نموده و انرژی اضافی خود را صرف سایر اعمال فیزیولوژیکی و بیولوژیکی می‌کند (نجفی موسوی،۱۳۹۰). به‌نظر می‌رسد در تیمار آبیاری هر روز و دو روز یکبار به‌دلیل ارتفاع بوته و تعداد ساقه در بوته بیشتر، مواد فتوسنتزی زیادتری به طرف غده‌ها سرازیر می‌شود که منجر به افزایش وزن غده‌ها شد (Awad *et al*., 2007). افزایش عملکرد ممکن است به‌دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر واکنش هیل و جذب CO_2 باشد که به افزایش تجمع رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و محتوای بیش‌تر پروتئین‌های محلول نسبت داده می‌شود (نجفی موسوی، ۱۳۹۰). بررسی نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد غده در سطح یک درصد است. بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی از محلول‌پاشی اپی‌براسینولید معادل ۳۲/٦۳ تن در هکتار به‌دست آمد که معادل ۱۲٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۳). عملکرد غده در تیمارهای محلول‌پاشی با جیبرلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید نیز به‌ترتیب ٦٪ و ٤٪ بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۳). مطابق با نتایج به‌دست آمده گزارش شده است که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید منجر به بروز تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گردیده که موجب افزایش رشد و نمو سیب‌زمینی، افزایش فتوسنتز، انتقال مواد، تولید آسمیلات فراوان و درنهایت منتهی به افزایش عملکرد و اجزا عملکرد گیاهان می‌شود (Khan *et al*., 2015). اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد غده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). مطلبی‌فرد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند عملکرد کل در تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و سطوح آبیاری قرار می‌گیرد و امکان اینکه در سطوح بسیار پایین آبیاری اختلال در فرآیند غده‌سازی به بدشکلی و ناهنجاری رشدی در غده‌ها نیز منجر شود وجود دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، افزایش دور آبیاری قطره‌ای موجب اعمال تنش خشکی بر گیاه شد و کاهش کارایی مصرف آب و مقدار پروتئین محلول برگ و افزایش مقدار پرولین، کربوهیدرات محلول برگ و غده، محتوای رنگیزه‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در پی داشت. براساس نتایج این تحقیق آبیاری قطره‌ای موجب صرفه‌جویی در مصرف آب در مقایسه با روش آبیاری بارانی شد. همچنین نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند در شرایط تنش خشکی ناشی از افزایش دورهای آبیاری مؤثر باشد. نقش اپی‌براسینولید در کاهش آثار تنش خشکی بیشتر از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بود.

منابع

احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، ا. و رفیعی، م. (۱۳۹٦) آمارنامه کشاورزی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول.

باقری، ح.، قرینه، م. ح.، بخشنده، ع.، طایی، ج.، محنتکش، ع. و اندرزیان، ب. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و مقدار نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات کیفی و فیزیولوژیک سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی چهارمحال و بختیاری. فصل‌نامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز ۲۲: ۲۲-۱۵.

ثمن، م.، سپهری، ع. و احمدوند، گ. (۱۳۹۰) تجمع ماده خشک و تولید متابولیت‌های سازگار در شش ژنوتیپ نخود تحت سطح مختلف رطوبت خاک. مجله زیست‌شناسی ایران ۲٤: ۳۸۹-۳۷۳.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

حسین‌پناهی، ف.، کافی، م.، پارسا، م.، نصیری محلاتی، م. و بنایان، م. (۱۳۹۰) ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم مقاوم و حساس به خشکی تحت شرایط تنش رطوبتی با بهره‌گیری از مدل پنمن مونتیث فائو. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ٤: ٦٣-٤٧.

حسین‌زاد بهبود، ح.، چاپارزاده، ن. و دیلمقانی، ک. (۱۳۹۳) اثر سالیسیلیک اسید بر پارامترهای رشد، اسمولیت‌ها و پتانسیل اسمزی در گیاه تربچه تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۷: ٤۰-۳۲.

حیدری، ن. (۱۳۹۰) تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان درکشور. مجله مدیریت آب و آبیاری ۱: ۵۷-٤۳.

رسول‌زاده، ع. و رئوف، م. (۱۳۹۲) اصول و روش‌های آبیاری. انتشارات امیدی، تبریز.

رضایی، ع. و سلطانی، ا. (۱۳۸۳) زراعت سیب‌زمینی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سعیدی ابواسحقی، ر.، یدوی، ع.، موحدی دهنوی، م. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹۳) اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز. فرایند و کارکرد گیاهی ۳: ٤۱-۲۷.

شعاع. م. و میری. ح. ر. (۱۳۹۱) کاهش اثرات سو تنش شوری بر خصوصیات مورفو فیزیولوژیک گندم از طریق کاربرد سالیسیلیک اسید. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵: ۸۸-۷۱.

عباس‌پور، ج. و رضایی، ح. (۱۳۹۳) اثر جیبرلیک اسید بر سرعت واکنش هیل، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنلی در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران) ۵: ۹۰۳-۸۹۳.

علیزاده، ا. و کمالی، غ. (۱۳۸۷) نیاز آبی گیاهان در ایران. دانشگاه امام رضا (ع).

کشاورزی، م. ص.، جعفری حقیقی، ب. و باقری، ع. (۱۳۹۲) ارزیابی تأثیر هورمون اکسین و جیبرلین بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۵: ۳۵-۲٦.

مسلم، ل. (۱۳۹٤) اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید بر واکنش ذرت به تنش شوری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار.

مطلبی فرد، ر.، نجفی، ن. و اوستان، ش. (۱۳۹۵) اثرهای روی و فسفر بر غلظت عناصر غذایی، نشاسته و قندهای احیایی غده سیب‌زمینی در شرایط با و بدون تنش کمبود آب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۳۰: ۵۱۰-٤۹۷.

مؤمنی، ن.، آروین، م. ج.، خواجویی‌نژاد، غ.، کرامت، ب. و دانشمند، ف. (۱۳۹۲) اثر سدیم کلرید و سالیسیلیک اسید بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه معدنی گیاه ذرت. زیست‌شناسی گیاهی ۱۵: ۳۰-۱۵.

ناصری، ز. و عباسی، ف. (۱۳۹۱) بررسی اثر تیمارهای مختلف هورمون جیبرلین بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور جو خوراکی تحت تنش خشکی. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد.

نجفی‌موسوی، ع. (۱۳۹۰) بررسی اثر زمان، روش آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سیب‌زمینی در منطقه جیرفت. یافته‌های نوین کشاورزی ۵: ٤۲۱-٤۱۳.

نورزاد، س.، احمدیان، ا. و مقدم، م. (۱۳۹٤) بررسی میزان پرولین، شاخص کلروفیل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. پژوهش‌های زراعی ایران ۱۳: ۱۳۹-۱۳۱.

Abdur, R. A. B. and Ihsan-ul, H. A. Q. (2012) Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. Turkish Journal Agriculture Forest 36: 695-701.

Ahmadi, H. and Shaemi, A. (2012) Evaluate the thermal conditions in the cultivation of potatoes to make a calendar of selected meteorological stations in Ilam. Journal of Geography and Nature 15: 65-76.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 FAO Rome Italy 301.

Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L. and Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177-185.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-150.

Awad, El. M. M., Safa, A. and Mansour, A. (2007) Growth, yield and quality of potato as affected by some antioxidants. Journal of Agricultural Science 32: 6661-6669.

Ayas, S. (2013) The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. Bulgarian Journal of Agricultural Science 19: 87-95.

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

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analal Biochemistry 72: 248-254

FAO. (2017) FAO (Food and Agricultural Organization). FAOSTAT database for agriculture. Available online at: http://www.fao.org/faostat/en/cpmpare.

Fsles, F. W. (1951) The assimilation and degradation of carbohydrates of yeast cells. Journal of Biology Chemistry 193: 113-116.

Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. (2002) Induction of suberin and increase of liginin content by exess boron in tabacco cell. Soil Science. Plant Nutrition 48: 357-364.

Ghobadi, M., Taherabadia, S., Ghobadi, M. E., Mohammadi, Gh. R. and Jalali-Honarmand, S. (2013) Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. Industrial Crops and Products 50: 29-38.

Giannopolitis, C. and Ries, S. (1997) Superoxid desmutase. I. Occurence in higher plant. Plant Physiology 59: 309-314.

Hashempour, A., Ghasemzhad, M., Fotouhi, G. and Sohani, M. M. (2014) The physiological and biochemical response to freezing stress olive plants treated with salicylic acid. Russian Journal of Plant Physiology 61: 443-450.

Hassanpanah, D. and Akbarlo, H. (2013) Cultivation and processing of edible and seed potatoes. Danesh Negar 224.

Iwama, K. and Yamaguchi, J. (2006) Abiotic stresses. In: Handbook of Potato Production, Improvement and Postharvest Management. (eds. Gopal, J. and Khurana, S. M.) Pp. 231-278. Food Product Press, New York.

Kabiri, R. and Naghizadeh, M. (2015) Exogenous acetylsalicylic acid stimulates' physiological changes to improve growth, yield and yield components of barley under water stress condition. Journal of Plant Physiology and Breeding 5: 35-45.

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

Khan, M. I., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A. and Khan, N. A. (2015) Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Plant Science Journal 6 :462.

Kumar, D., Singh, B. P. and Kumar, P. (2004) An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. Annals of Applied Biology 145: 247-256.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K. and Becker, D. F. (2013) Proline mechanisms of stress survival. Antioxidants and Redox Signaling 19: 998-1011.

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.

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2008) Osmoregu-lation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. Comptes Rendus Biologies 331: 418-425.

Miller, G., Suzuki, N. and Ciftci-Yilmaz, S. (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. Plant Cell and Environment 33: 453-467.

Oliviera-Neto, C. F., Silva Lobato, A. K., GoncalvesVidigal, M. C., Costa, R. C. L., Santos Filho, B. G., Alves, G. A. R., Silva-Maia, W. J. M., Cruz, F. J. R., Neres, H. K. B. and Santos Lopes, M. J. (2009) Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Science and Technology 7: 588-593.

Pyngrope, S., Bhoomika, K. and Dubey, R. S. (2013) Oxidative stress, protein carbonylation, proteolysis and anti-oxidative defense system as a model for depicting water deficit tolerance in Indica rice seedlings. Plant Growth Regulator 69: 149-165.

Rasouli, F. and Javanmardi, J. (2010) Interaction effects of GA_3 and Zinc sulfate on vegetative characteristics and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.var.Agria). Available online at: http://

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

www.researchgate.net/publication/263785453
Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2012) Response of common bean to exogenous application of salicylic asid under water stress conditions. Environmental Biology 6: 1160-1168.
SAS Institute Inc. (2002) The SAS system for windows, release 9.0. Cary, NC, USA: Statistical Analysis Systems Institute.
Shi, Sh., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L. (2015) Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. International Journal of Plant Production 9: 305-320.
Syed Ali Fathima, M., Johnson, M. and Lingakumar, K. (2011) Effect of crude brassinosteroid extract on growth and biochemical changes of *Gosssypium hirsutum* L. and *Vigna mungo* L. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 7: 324-334.
Vardhini, B. V. and Anjum, N. A. (2015) Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. Frontiers in Environmental Science 2: 67.
Yang, Y. N., Qi, M., and Mei, C. S. (2004) Endogenous salicylic acid protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic stress. Plant Journal 40: 909-919
Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M. M., Javanmardi, S. and Sharafzadeh, S. (2012) Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean genotype. African Journal of Agriculture Research 7: 5661-5670.
Zarzynska, K., Boguszewska-Mankowska, D. and Nosalewicz, A. (2017) Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. Plant Soil Environment 63: 159-164..

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]

Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency, some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions

Atefeh Pourasadollahi, Adel Siosemardeh, Farzad Hosseinpanahi and Yusof Sohrabi

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(Received: 01/05/2019, Accepted: 26/06/2019)

Abstract

Drought is one of the most important environmental stresses that limits plant growth through effects on physiological processes. In order to evaluate spraying growth regulators on some physiological traits and water use efficiency of potato under drip irrigation system, a study was conducted at the research farm in Malayer during 2015 growing seasons. The experiment was conducted as a split-plot scheme based on randomized complete block designs with three replications. Different drip irrigation intervals (once every day, once every 2 days, once every 3 days, once every 4 days, once every 5 days and once every 6 days) and sprinkler irrigation (once every 6days) were considered as a main plots and substrate foliar application of growth regulators with four levels, including epibrassinolide, gibberellic acid, acetylsalicylic acid and the control treatment (distilled water) were considered as a subplots. Results showed that with an increase in drip irrigation intervals, the amount of water use efficiency and protein content as well as the amount of proline, sugar solution of leaf and tuber and potassium concentration increased significantly. The activity of antioxidant peroxidase and superoxide dismutase enzymes on potato seemed to increase as the irrigation frequency increased. The highest enzymatic activities were obtained from once every5 and 6days drip irrigation intervals. Foliar applications of growth regulators were effective in reducing hazard effects of drought stress via the increase in photosynthetic pigments and antioxidant enzymes. Foliar application of growth regulators increased the amount of peroxidase and superoxidase enzymes by 25% and 10%. Foliar application of growth regulators was effective in reducing the effects of stress caused by irrigation period prolongation whereas significantly increased water use efficiency, leaf protein content, proline, leaf and sugar solution of potassium, photosynthetic pigments, and antioxidants. Also, increasing the irrigation interval reduced the total chlorophyll content as well as carotenoid by 33% and 45% compared to the control and increased the activity of peroxidase and superoxide dismutase enzymes by 50% and 41% in potato. Foliar application of growth regulators increased the total chlorophyll content by 11%. The effect of epibrassinolide was higher than other growth regulators.

Key words: Potato, Pigments, drip irrigation, yield.

Corresponding author, Email: a33@ouk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.16.7]