

بررسی اثر بهبود دهنده اسید سالیسیلیک و کیتوزان در گیاه بابا آدم (*Arctium lappa* L.) تحت تنش خشکی

علیرضا صفاهانی لنگرودی*، رضا نورا^۱

^۱گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۹

چکیده

اسید سالیسیلیک و کیتوزان مقاومت در برابر خشکی را با استفاده از مکانیسم‌های مختلف افزایش می‌دهند. به همین منظور آزمایش مزرعه‌ای در رابطه با تأثیر کاربرد کیتوزان و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژی و فیزیولوژی در گیاه دارویی بابا آدم در شرایط تنش خشکی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور اصفهان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل دسترس (I₁-I₃) و عامل فرعی محلول پاشی در چهار سطح، عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی کیتوزان ۵ گرم بر لیتر، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌گرم بر لیتر و کاربرد توام آنها (S₁-S₄) بودند. نتایج نشان داد که تشدید کم آبی میزان موسیلاژ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و گونه‌های واکنشی اکسیژن در گیاه بابا آدم را نسبت به عدم تنش I₁ افزایش داد. میزان موسیلاژ ریشه افزایش ۶۱ و ۱۱۰ درصدی را در تیمار I₂ و I₃ در مقایسه با تیمار I₁ بدون در نظر گرفتن محلول پاشی نشان داد. همچنین کاربرد کیتوزان و اسید سالیسیلیک اثرات منفی کم آبی را بر پارامترهای تبادل گازی، محتوی کلروفیل، جذب عناصر غذایی و وضعیت آبی گیاه را کاهش داد. مقدار فتوسنتز خالص در گیاه بابا آدم در تیمار محلول پاشی S₂-S₄ در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی S₁ بدون توجه به تیمارهای آبیاری را بطور متوسط به ترتیب ۱/۹، ۲/۹ و ۲/۴ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه افزایش داد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد اسید سالیسیلیک و کیتوزان به طور موثری باعث افزایش کارایی گیاه بابا آدم در تنش خشکی شد.

واژه‌های کلیدی: اسید سالیسیلیک، بابا آدم، کم آبیاری، کیتوزان، موسیلاژ

مقدمه

شده این گیاه قسمتی است که برای اهداف دارویی، درمانی و تغذیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chan et al., 2011). ریشه بابا آدم دارای اثر تصفیه کننده خون، زیاد کننده ترشحات صفرا، مدر و معرق است و مصرف آن نیز از قدیم الایام برای رفع نفرس، روماتیسم، رفع عوارض سیفیلیس و امراض جلدی مختلف بین مردم معمول بوده است (Zargari, 1997).

بابا آدم (*Arctium lappa* L.) گیاهی علفی، از خانواده کاسنی است که به حالت وحشی در نقاط مختلف ایران می‌روید (Zargari, 1997). اجزا و ترکیبات فعالی که از این گیاه جداسازی شده‌اند شامل فیبرها از جمله پکتین، موسیلاژ و غیره که اغلب در ریشه گیاه بابا آدم وجود دارند می‌باشد. ریشه خشک

*نویسنده مسئول: safahani.ali@gmail.com

قرار دهند (Harish Prashanth et al., 2007). این مواد به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش مقدار تعرق باعث افزایش مقدار فتوسنتز شده، بر ارتفاع گیاه، طول ریشه‌ها و مقدار زیست توده گیاهی تأثیر گذارند (Boonlertinirun et al., 2008). افزایش کارایی مصرف آب (Boonlertinirun et al., 2008)، افزایش مدت ماندگاری میوه‌ها (Iriti and Faoro, 2009) و گل‌ها (Uthairatanakij et al., 2007) و تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Zhili et al., 2012) با مصرف ترکیبات کیتوزانی گزارش شده است.

اسید سالیسیلیک یا اسید اورتو هیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی گیاهی است که به عنوان یک تنظیم کننده هورمونی مورد توجه است و در راهبردهای دفاعی بر علیه تنش‌های زیستی و محیطی نیز نقش دارد (Singh and Usha, 2003). کاربرد سالیسیلات خارجی موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی و شوری می‌شود (Tari et al., 2002). اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفات رشدی در گیاهان دارویی مرزنجوش و ریحان در تنش خشکی شد (El-Lateef Gharib, 2006). سالیسیلات اثرات کلیدی در گیاهان متأثر از تنش از جمله اثر بر جذب عناصر معدنی، پایداری غشاء و روابط آبی، عملکرد روزنه‌ها و بازدارندگی سنتز اتیلن و بهبود رشد دارد و بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاهان را تنظیم و باعث سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود (Hayat et al., 2010).

بنابراین، باتوجه به این که خشکی و کم آبی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی است، از این پدیده طبیعی و غیر قابل تغییر راه فراری نیست و از طرفی، مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به طور روزافزونی در جامعه افزایش می‌یابد، لذا بایستی به چاره اندیشی پرداخت. هر چند تحقیقات متعددی بر نقش اسید سالیسیلیک و کیتوزان

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی محدودکننده رشد و تولید گیاهان است. همان طور که مدل‌های کنونی تغییر اقلیم پیش بینی می‌کنند، پراکنش و شدت خشکی در بسیاری از مناطق جهان رو به افزایش است و همین امر نیاز به شناخت بهتر اثر خشکی بر کارکرد گیاه و به ویژه سازوکارهای فیزیولوژیکی و واکنش‌های گیاه در دوره تنش و بازسازی پس از آن را افزایش می‌دهد. استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیر زیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول است. از ترکیبات با خواص ایستتوری که مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها القا می‌کنند می‌توان به کیتوزان و اسید سالیسیلیک اشاره کرد (Singh and Usha, 2003).

کیتوزان به‌عنوان یکی از ایستتورهای زیستی کارآمد برای بهبود بخشیدن در تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی زیادی تأیید شده است (Cheng et al., 2006). کیتوزان با فرمول شیمیایی $(C_6H_{11}O_4N)_n$ از پلی‌ساکاریدهای نیتروژن‌دار است که با واکنش استیل‌زدای کیتین به صورت طبیعی ایجاد می‌شود (Pariser et al., 1988). این پلی‌ساکارید در پوسته سخت‌پوستانی مانند خرچنگ، میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی قارچ‌ها یافت می‌شود (Pichynagkura et al., 2002). کیتوزان کاربردهای بسیاری در کشاورزی دارد. با فعال نمودن تعدادی از آنزیم‌های نظیر فیتواکسین و کیتینازها مقاومت گیاه را در برابر شرایط نامساعد محیطی و تنش‌ها افزایش داده و صدمات ناشی از آنها را کاهش می‌دهد (Zhili et al., 2012). کیتوزان می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرد و گفته شده است که خاصیت محافظت از اسیدهای نوکلئیک را دارد و به دلیل تأثیر کیتوزان‌ها بر بیان ژن‌های گیاهی، گزارش شده که این مواد قادرند مقاومت به برخی عوامل نامساعد محیطی را تحت تأثیر

در گیاهان زراعی انجام شده است اما در مورد محلول پاشی همزمان این ترکیبات در یک گیاه تحت تنش خشکی گزارش‌های اندکی صورت گرفته است. بنابراین ارزیابی محلول پاشی اسید سالیسیک و کیتوزان بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه بابا آدم در شرایط مختلف آبی (نرمال تا تنش شدید) از اهداف این آزمایش بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محرک زیستی کیتوزان و اسید سالیسیک و سطوح مختلف آبیاری در گیاه بابا آدم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده با چهار تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال متوالی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور اصفهان که در فاصله ۱۰ کیلومتری شرق اصفهان واقع شده، انجام گرفت. عرض جغرافیایی محل ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و طول آن ۴۷ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و ارتفاع محل ۱۵۴۵ متر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم منطقه براساس روش اقلیم بندی کوپن گرم با تابستان‌های خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. میانگین درازمدت بارش و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۱۲۰ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. بارش و دما طی دو سال آزمایش مشابه بود (جدول ۱). برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کشت، ۱۰ نمونه از نقاط مختلف مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری انجام شد و سپس یک نمونه مرکب انتخاب و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی منتقل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۲).

عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل بدون تنش (I1) آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل دسترس، تنش متوسط (I2) آبیاری پس از ۶۰ درصد

تخلیه رطوبتی قابل دسترس و تنش شدید (I3) آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل دسترس بود. عامل فرعی محلول پاشی شامل عدم محلول‌پاشی (S1)، محلول‌پاشی ۵ گرم در لیتر کیتوزان (S2)، محلول‌پاشی اسید سالیسیک ۱ میلی‌گرم در لیتر (S3) و کاربرد توام آنها (S4) بود.

جهت انجام تحقیق حاضر در هفته سوم فروردین ماه هر دو سال آزمایش، کشت نشاء گیاه بابا آدم از خزانه به مزرعه تحقیقاتی انجام شد. وضعیت حاصل خیزی خاک خزانه شبیه به خاک مزرعه مورد آزمایش بود. در خزانه بوته‌های بابا آدم هر ۲-۳ روز یک بار آبیاری شدند و در پایان ۴ هفته (تقریباً ۳۰ روز پس از کاشت، ارتفاع نشاء ۱۰ سانتی‌متر) به زمین اصلی منتقل شدند. در هر کرت فاصله خطوط کشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله روی خطوط ۵۰ سانتی‌متر، تراکم بطور متوسط ۴ بوته در مترمربع و ابعاد هر کرت ۹ متر در ۵ متر بود. پس از استقرار کامل بوته‌ها و دو هفته بعد از نشاکاری اقدام به اعمال تیمارهای تنش کم آبیاری گردید. همچنین، تمام مزرعه مورد آزمایش با یک شیار بزرگ محصور شده بود و فاصله ۲ متر بین کرت‌های اصلی به منظور جلوگیری از گسترش جانبی آب رها شده بود. در طول آزمایش تمامی عوامل زراعی به صورت یکنواخت اعمال شده و از سیستم آبیاری قطره‌ای در کنترل و مدیریت بهتر آبیاری استفاده شد. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب موجود در خاک در منطقه ریشه بود. آب موجود در خاک به عنوان تفاوت بین ذخیره سازی آب منطبق ریشه در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائمی در نظر گرفته شد. برای تخمین ذخیره آب خاک، محدوده بهره‌وری ریشه گیاه بابا آدم به اندازه ۰-۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد (Bahramian, 2015). رطوبت خاک با اندازه گیری وزنی، تعیین شد. مقدار آب به کار رفته، پس از دستیابی به MAD از پیش

تعیین شده، طبق روش زیر محاسبه شد (Panda et al., 2004).

$$V_d = \frac{MAD(\%)(FC - WP)R_z A}{100}$$

که V_d حجم آب آبیاری است، R_z عمق ریشه‌دهی موثر، A مساحت سطح پلات و FC ظرفیت زراعی مزرعه و WP نقطه پژمردگی است. مقدار کل آب در هر رژیم آبیاری در جدول ۱ برای دو فصل آزمایش نشان داده شده است. قبل از نشاکاری ۵۳ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به خاک اضافه شد. کود نیتروژن، از ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به شرح زیر توزیع شد: ۵۰ درصد در مرحله نشا به شکل سولفات آمونیوم (۲۱ درصد N) و ۵۰ درصد دیگر به شکل نترات آمونیوم (۳۳ درصد N) در دو مرحله استقرار گیاهچه و دیگری در ابتدای گلدهی. برای اعمال تیمارهای تنش خشکی از دستگاه رطوبت سنج TDR استفاده شد. گیاهان در طول دوره آزمایش سه بار با فواصل زمانی ۲۰ روزه با کیتوزان و اسید سالیسیلیک بعد از اعمال تیمارهای

آبیاری محلول پاشی شدند. محلول پاشی‌ها در ساعت ۴ عصر و در هوای صاف و ملایم، پس از نایلون کشی کرت‌های مجاور برای عدم اختلاط تیمارها و به طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند، انجام شد.

نمونه برداری‌ها در مرحله گلدهی کامل تقریباً ۱۵ روز بعد از آخرین محلول پاشی انجام شد. به منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق و غلظت دی اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه‌ای از دستگاه تحلیلگر گاز مادون قرمز (ADC Bioscientific LTD Hoddeston, UK) (IRGA, Modle: LCA) مرحله گلدهی کامل استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰-۱۲ صبح و در شدت نور ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. برای اندازه‌گیری متغیرهای مربوط به تبادلات گازی، ۵ نمونه از هر کرت به صورت تصادفی مشخص و قسمت میانی آخرین برگ هر بوته از هر تیمار در اتاقک شیشه‌ای انبرک دستگاه قرار داده شد و پس از ۳۰ ثانیه که شرایط درون اتاقک به حالت ثابت رسید داده‌های مربوطه ثبت شد.

جدول ۱: نوسانات بارندگی، دما و حجم آبیاری تیمارها در طی فصل رشد (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

| ماه | میانگین دما (سانتی‌گراد) | | بارندگی (میلی‌متر) | |
|-------------------------------|--------------------------|---------|--------------------|---------|
| | سال اول | سال دوم | سال اول | سال دوم |
| فروردین | ۱۸ | ۱۹ | ۲۶ | ۲۵ |
| اردیبهشت | ۲۱ | ۲۲ | ۴/۵ | ۵/۲ |
| خرداد | ۲۶ | ۲۵ | ۲ | ۲/۷ |
| تیر | ۲۷ | ۲۷ | ۰/۹ | ۰/۵ |
| مرداد | ۲۸ | ۲۹ | - | - |
| تیمار آبیاری میلی‌متر | سال اول | سال دوم | | |
| I1، ۴۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز | ۳۷۵ | ۴۰۰ | | |
| I2، ۶۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز | ۳۱۰ | ۳۳۰ | | |
| I3، ۸۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز | ۲۱۰ | ۲۲۵ | | |

جدول ۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه (عمق ۰-۳۰cm)

| هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$) | ظرفیت مزرعه % | نقطه پژمردگی % | پتاسیم در دسترس ($mg.kg^{-1}$) | فسفر در دسترس ($mg.kg^{-1}$) | نیروزن کل ($mg.kg^{-1}$) | کربن کل خاک ($mg.kg^{-1}$) | اسیدیته | وزن مخصوص ظاهری ($g.m^{-3}$) | بافت خاک |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------|-----------------------------------|--------------|
| ۲/۵ | ۲۶/۴ | ۱۴/۹ | ۱۱۱/۱۲ | ۵/۵۶ | ۰/۹ | ۱۲/۹ | ۷/۴ | ۱/۳۶ | لوم سیلتی |

روش (Janero, 1990)، (Velikova et al., 2000) و (Wang and Jiao, 2000) ارزیابی شدند.

برای اندازه‌گیری موسیلاژ ریشه از هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای چند بوته به صورت تصادفی برداشت شدند. به منظور تعیین درصد موسیلاژ ریشه براساس روش شرح داده شده از روش Samsam Shariat (۲۰۰۷) اقدام گردید.

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. ضمناً به دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل آبیاری و محلول پاشی در پارامترهای اندازه‌گیری شده، نتایج هر سطح آبیاری با روش برش‌دهی (Ismeans) مقایسه شدند (Soltani, 2005).

نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح آبیاری در محلول پاشی در سال برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود (جدول ۳)، که این موضوع نشان‌دهنده رفتار یکسان اثرات متقابل سطوح محلول پاشی در تنش کم آبی در طی دو سال آزمایش می‌باشد. به همین خاطر مقایسات میانگین برای این صفات براساس داده‌های دو سال آزمایش انجام شد.

جهت اندازه‌گیری پارامترهای در هر کرت سه بوته به صورت تصادفی انتخاب و در هر بوته آخرین برگ توسعه یافته جهت اندازه‌گیری انتخاب شد. این اندازه‌گیری‌ها هم زمان با اندازه‌گیری تبدلات گازی انجام گرفت. کلروفیل و کاروتنوئیدها در برگ براساس روش شرح داده شده توسط Moran (۱۹۸۲) تعیین شد. محتوای پروکلین آزاد طبق روش شرح داده شده توسط Dionisio-Sese and Tobita (۱۹۹۸) تعیین شد.

شاخص پایداری غشایی با توجه به روش Sairam و همکاران (۱۹۹۰) که توسط Premchandra (۱۹۹۴) اصلاح شد، تعیین شد. همچنین محتوای نسبی آب در برگ با توجه به روش Smart، ۱۹۷۴، تعیین شد.

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر N, P, K موجود در برگ گیاه از دستگاه فلیم فتومتر استفاده شد. استخراج و برآورد فعالیت آنتی‌اکسیدان آنزیمی، همانند آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) به ترتیب با توجه به روش (Nakano and Asada, 1981)، (Van Rossum et al., 1997) و (Singh et al., 2010) اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین غلظت مالون دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و رادیکال آزاد اکسیژن به ترتیب با توجه به

جدول ۳: تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در مرحله گلدهی گیاه بابا آدم طی سال‌های آزمایش (۹۶-۹۷)

| پروبلین | شاخص - پایداری غشا | محتوی آب نسبی | K | P | N | وزن خشک برگ | تعداد برگ در بوته | کارتنوئید | کلروفیل | تغرق | هدایت روزنه‌ای | فتوستیز خالص | منبع تغییرات | |
|---------|-----------------------|------------------|-------|------|------|----------------|----------------------|-----------|---------|------|-------------------|-----------------|------------------------|--------------|
| | | | | | | | | | | | | | برگ | منبع تغییرات |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال | |
| * | * | ** | ns | ns | ns | ** | * | * | * | ** | ** | ** | آبیاری | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال* آبیاری | |
| * | * | * | * | * | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | محلول پاشی | |
| * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | ** | محلول پاشی* آبیاری | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال*محلول پاشی | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال* آبیاری*محلول پاشی | |
| ۱۸/۱ | ۱۴/۳۳ | ۱۱/۵۴ | ۱۰/۱۲ | ۸/۱۸ | ۷/۲۷ | ۱۵/۸۷ | ۱۱/۴۵ | ۸/۶۵ | ۹/۴۱ | ۷/۱۱ | ۷/۵ | ۶/۴۳ | ضربت تغییرات % | |

| پراکسید هیدروژن | رادیکال آزاد | مالون دی - آلدید | موسیلانز | آسکوربات پراکسیداز | کاتالاز | سوپراکسید دیسموتاز | منبع تغییرات | |
|--------------------|--------------|---------------------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|------------------------|--------|
| | | | | | | | سال | آبیاری |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال | |
| ** | ** | ** | * | * | * | * | آبیاری | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال* آبیاری | |
| * | * | * | * | * | * | * | محلول پاشی | |
| * | * | * | * | * | * | ** | محلول پاشی* آبیاری | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال*محلول پاشی | |
| ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | سال* آبیاری*محلول پاشی | |
| ۱۲/۶۳ | ۱۴/۱ | ۱۰/۴۲ | ۱۷/۵۴ | ۱۴/۲۷ | ۱۳/۲ | ۱۱/۲۱ | ضربت تغییرات % | |

*، **، ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و عدم معنی داری است.

آمد اما با محلول پاشی تنها کیتوزان، تیمار S2 و همزمان، تیمار S4 در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایدار غشا و میزان پرولین در زمان گلدهی در جدول ۵ نشان داد که اثر سطوح آبیاری، محلول پاشی و همچنین اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بودند. میانگین محتوای آب نسبی برگ در سطوح مختلف آبیاری به صورت معنی‌داری متفاوت بوده و این خصوصیت در تیمار تنش شدید کم آبیاری I3 ۳۵ درصد کمتر از تیمار آبیاری مطلوب، II بود. کاهش محتوای نسبی آب به کاهش قابلیت دسترسی به آب در شرایط تنش کم آبی مربوط می‌باشد. محلول پاشی محتوای نسبی آب را به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). گرچه بیشترین صفت یاد شده در تیمار S4 مشاهده شد، اما محلول پاشی تیمار S2 و S3 نسبت به شاهد، تیمار S1، افزایش را نشان دادند (جدول ۵). نشت الکتروولت از غشای سلولی بوته‌های بابا آدم، با افزایش شدت تنش خشکی بطور قابل توجهی افزایش یافت (جدول ۵). با این حال، در گیاهان محلول پاشی شده در تیمار S4 که در معرض تنش کم آبیاری بودند نشت الکتروولت به طور قابل توجهی کاهش یافت (جدول ۵).

میزان پرولین در گیاهان تحت تنش کم آبی افزایش معنی‌داری داشت و محلول پاشی گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۵). در آزمایش حاضر میزان پرولین در گیاهان محلول پاشی شده با کیتوزان تیمار S2 نسبت شاهد تیمار S1 افزایش معنی‌دار نشان داد همچنین نسبت به سایر محلول پاشی‌ها بالاتر بود ولی اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد (جدول ۵).

نتایج نشان داد که اثر سطوح آبیاری و برهمکنش با محلول پاشی در تعداد و وزن خشک برگ در بوته معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش، تعداد و وزن خشک برگ گیاه بابا آدم کاهش یافت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر تنظیم کننده‌های رشدی در شرایط بدون تنش، تیمار II برای صفت تعداد و وزن خشک برگ نشان داد که محلول پاشی تنها اسید سالیسیلیک تیمار S3 بیشترین مقدار این صفات را دارا بود و کمترین متعلق به عدم محلول پاشی، تیمار S1 بود. اما در شرایط تنش تیمارهای I2 و I3 بالاترین مقدار این صفات برگ در تیمار S4 محلول پاشی همزمان کیتوزان و اسید سالیسیلیک بدست آمد (جدول ۴).

تیمار آبیاری، و اثر متقابل با محلول پاشی تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای تبادل گازی و رنگدانه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شده در این تحقیق داشت (جدول ۴). حداکثر مقدار میزان تبادل کربن، هدایت روزنه‌ای و تعرق در تیمار II مشاهده شد. تیمارهای محلول پاشی S2، S3 و S4، اثر افزایشی در میزان تبادل کربن و اثر کاهشی در میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای در مقایسه با تیمار S1 داشتند. افزایش شدت تنش کم آبیاری میزان تبادل کربن، تعرق و هدایت روزنه‌ای را در تمام تیمارهای محلول پاشی کاهش داد اما میزان کاهش در بوته‌های تیمار S4 قابل توجه بود (جدول ۴).

محلول پاشی محتوی کلروفیل و کاروتنوئیدها را در تمام سطوح آبیاری افزایش داد (جدول ۴). تنش ناشی از کم آبیاری به طور قابل توجهی محتوی کلروفیل و کاروتنوئیدها را کاهش داد (جدول ۴). بیشترین مقادیر فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی در محلول پاشی تنها اسید سالیسیلیک، تیمار S3 بدست

جدول ۴: پارامترهای تبادل گازی برگ، تعداد برگ، وزن خشک برگ، محتوی کلروفیل و کاروتنوئیدها در برگ در پاسخ به رژیم‌های کم آبیاری و محلول پاشی. (داده‌ها میانگین دو سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶).

| تیمار | فتوستنتز خالص $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | هدایت روزنه‌ای $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | تعرق $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | کلروفیل $\text{mg g}^{-1} \text{ fw}$ | کاروتنوئیدها $\text{mg g}^{-1} \text{ fw}$ | تعداد برگ در بوته | وزن خشک برگ gr plant^{-1} |
|---|---|--|---|--|---|-------------------------|--|
| I1×S1 | ۱۳/۴۳b | ۰/۱۷۷a | ۲/۹a | ۱/۵۱b | ۰/۳۰b | ۵/۳b | ۲/۱۸b |
| I1×S2 | ۱۵/۰۹a | ۰/۱۴۷b | ۲b | ۱/۷۳a | ۰/۳۶a | ۷/۵a | ۳/۵۵a |
| I1×S3 | ۱۶/۲۵a | ۰/۱۵۰b | ۲/۱b | ۱/۸۸a | ۰/۳۸a | ۸/۲a | ۴/۳۰a |
| I1×S4 | ۱۵/۵۴a | ۰/۱۴۴b | ۱/۹b | ۱/۵۷a | ۰/۳۷a | ۷/۸a | ۳/۶۷a |
| I2×S1 | ۱۲/۴b | ۰/۱۲۰a | ۲/۵a | ۱/۰۴b | ۰/۲۲b | ۴/۶b | ۱/۴۵b |
| I2×S2 | ۱۳/۹a | ۰/۱۰۲b | ۱/۸b | ۱/۲۶ab | ۰/۲۸a | ۶/۲a | ۲/۵۱a |
| I2×S3 | ۱۴/۹a | ۰/۱۰۳b | ۱/۸b | ۱/۳۰a | ۰/۲۹a | ۶/۳a | ۲/۹۴a |
| I2×S4 | ۱۴/۳a | ۰/۰۹۷b | ۱/۶b | ۱/۲۴ab | ۰/۲۸a | ۶/۶a | ۳/۱a |
| I3×S1 | ۶/۶b | ۰/۰۵۹a | ۱/۴a | ۰/۶۰b | ۰/۱۸b | ۳/۲b | ۰/۸۳b |
| I3×S2 | ۹/۱a | ۰/۰۵۱ab | ۰/۹ab | ۰/۹۰a | ۰/۲۲ab | ۵/۵a | ۱/۷۹a |
| I3×S3 | ۹/۸a | ۰/۰۵۰ab | ۱/۰b | ۰/۹۴a | ۰/۲۵a | ۵/۳a | ۱/۴۵a |
| I3×S4 | ۹/۷a | ۰/۰۴۰b | ۰/۸b | ۰/۹۱a | ۰/۲۳ab | ۵/۷a | ۲/۳۸a |
| منابع تغییر | فتوستنتز خالص | هدایت روزنه‌ای | تعرق | کلروفیل | کاروتنوئیدها | تعداد برگ | وزن خشک برگ |
| I | ** | ** | ** | * | * | * | ** |
| S | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| S × I | ** | * | * | * | * | * | * |
| تجزیه واریانس برش دهی اثر محلول پاشی در سطوح مختلف آبیاری | | | | | | | |
| I1 | * | * | * | * | * | * | * |
| I2 | * | * | * | * | * | * | * |
| I3 | * | * | * | * | * | * | * |

I1-I3 به ترتیب آبیاری در ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک؛ S1-S4 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی با کیتوزان، محلول پاشی با اسید سالیسیلیک و محلول پاشی. *، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی داری است. اعدادی که در یک حرف کوچک مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

محلول پاشی همزمان، تیمار S4، در هر سه عنصر بیشترین اثر افزایشی را نشان داد (جدول ۵). اثرات نامطلوب تنش کم آبیاری (یعنی: تیمارهای I2 و I3)، که منجر به تولید مالون‌دی‌آلدئید، رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسید هیدروژن در برگ‌های بابا آدم شده را می‌توان در جدول ۶ مشاهده کرد. از سوی دیگر،

اثر تنش خشکی در محتوای پتاسیم، نیتروژن و فسفر معنی دار نبود، اگر چه روند کاهش با افزایش شدت تنش خشکی ثبت شد (جدول ۵). محلول پاشی باعث افزایش یون‌های معدنی نسبت به گیاهان شاهد S1 شد و همچنین تاثیر القایی تنش خشکی را تا حد مشخصی کاهش می‌دهد شایان ذکر است

باعث افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی های مورد مطالعه و این افزایش با افزایش شدت تنش کم آبیاری هماهنگ بود (جدول ۶). علاوه بر این محلول پاشی فعالیت های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۶). بالاترین مقدار این فعالیت های آنتی اکسیدانی در تیمار S4 محلول پاشی همزمان کیتوزان و اسید سالسیلیک بدست آمد (جدول ۶).

محلول پاشی برگ های بابا آدم باعث کاهش تولید مالون دی آلدئید، رادیکال های آزاد اکسیژن و پراکسید هیدروژن می شود (جدول ۶)، محلول پاشی همزمان، تیمار S4 نسبت به شاهد، تیمار S1 کاهش معنی دار در تنش اکسایشی نشان داد اما با سایر محلول پاشی ها در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۶).

نتایج در مورد فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی در جدول ۶ شرح داده شده است. تنش کم آبیاری

جدول ۵: میزان عناصر غذایی، محتوی آب نسبی، نفوذپذیری غشا و میزان پرولین در برگ در پاسخ به رژیم های کم آبیاری و محلول پاشی. (داده ها میانگین دو سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶).

| تیمار | N % | P % | K % | محتوی آب نسبی (%) | شاخص پایداری غشا (%) | پرولین mg g ⁻¹ DW |
|---|--------|---------|-------|-------------------|----------------------|------------------------------|
| 11×S1 | ۲/۴۴b | ۰/۱۶۵ b | ۲/۱a | ۹۰b | ۸۷/۹a | ۵/۱b |
| 11×S2 | ۲/۶۸ab | ۰/۱۶۹ b | ۲/۳a | ۹۱ab | ۹۱/۲a | ۶/۱a |
| 11×S3 | ۲/۷۳a | ۰/۱۷۰ b | ۲/۵a | ۹۴ab | ۹۳/۵a | ۵/۴ab |
| 11×S4 | ۲/۷۵a | ۰/۱۹۵ a | ۲/۹a | ۹۷ab | ۹۵/۱a | ۵/۶ab |
| 12×S1 | ۲/۱۵b | ۰/۱۳۸ a | ۱/۳b | ۶۶b | ۷۴/۷b | ۹/۳b |
| 12×S2 | ۲/۴۰a | ۰/۱۴۰ a | ۱/۶ab | ۷۷ab | ۷۶/۱ab | ۱۰/۲a |
| 12×S3 | ۲/۴۱a | ۰/۱۴۹ a | ۱/۶ab | ۷۸ab | ۸۱/۱ab | ۹/۷ab |
| 12×S4 | ۲/۴۳a | ۰/۱۵۱ a | ۲/۱a | ۸۱ | ۸۷/۹a | ۹/۶۵ab |
| 13×S1 | ۱/۸۸b | ۰/۰۸۲ b | ۰/۸a | ۵۰b | ۵۲/۲b | ۱۲/۳b |
| 13×S2 | ۲/۰۵ab | ۰/۱۱۱ a | ۱/۱a | ۶۲a | ۶۲/۳a | ۱۳/۴a |
| 13×S3 | ۲/۱۷ab | ۰/۱۱۹ a | ۱/۰a | ۶۲a | ۶۸/۹a | ۱۳/۰ab |
| 13×S4 | ۲/۲۱a | ۰/۱۲۰ a | ۱/۲a | ۶۶a | ۷۰/۵a | ۱۲/۹ab |
| منابع تغییر | N | P | K | محتوی آب نسبی | شاخص پایداری غشا | پرولین |
| I | ns | ns | ns | ** | * | * |
| S | * | * | * | * | * | * |
| S×I | * | * | * | * | * | * |
| تجزیه واریانس برش دهی اثر محلول پاشی در سطوح مختلف آبیاری | | | | | | |
| I1 | * | * | ns | * | ns | * |
| I2 | * | ns | * | * | * | * |
| I3 | * | * | ns | * | * | * |

I1-I3 به ترتیب آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک؛ S1-S4 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی با کیتوزان، محلول پاشی با اسید سالسیلیک و محلول پاشی همزمان. *، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی داری است. اعدادی که در یک حرف کوچک مشترک می باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

درصد موسیلاژ که در واقع میزان موسیلاژ در ریشه است، تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی سبب افزایش درصد موسیلاژ ریشه شد (جدول ۶)، کمترین درصد موسیلاژ در تیمار II بدست آمد و با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت. البته محلول پاشی کیتوزان، تیمار S2 موسیلاژ بیشتری تولید شد ولی تفاوت معنی داری با سایر محلول پاشی‌ها به جز شاهد نداشت (جدول ۶).

جدول ۶: فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، محتوی مالون‌دی‌آلدئید، رادیکال آزاد اکسیژن و پراکسید هیدروژن در برگ و میزان موسیلاژ ریشه در پاسخ به رژیم‌های کم آبیاری و محلول پاشی. (داده‌ها میانگین دوسال ۱۳۹۶-۱۳۹۷).

| تیمار | سوپراکسید دیسموتاز U g ⁻¹ FW | کاتالاز U g ⁻¹ FW | آسکوربات پراکسیداز U g ⁻¹ FW | موسیلاژ % | مالون‌دی‌آلدئید mmol g ⁻¹ FW | رادیکال آزاد اکسیژن μmol g ⁻¹ FW | پراکسید هیدروژن μmol g ⁻¹ FW h ⁻¹ |
|---|--|---------------------------------|--|-----------|--|--|--|
| 11×S1 | ۰/۷۵b | ۰/۳۹a | ۰/۲۱a | ۱۲/۹۳a | ۱/۵۵a | ۰/۱۳a | ۰/۱۷a |
| 11×S2 | ۰/۹۸ab | ۰/۴۵a | ۰/۲۹a | ۱۸/۲۴a | ۱/۳۵ab | ۰/۱۰ab | ۰/۱۴b |
| 11×S3 | ۰/۹۵ab | ۰/۴۹a | ۰/۳a | ۱۵/۲۲a | ۱/۳ab | ۰/۱۱ab | ۰/۱۳b |
| 11×S4 | ۱/۱۹a | ۰/۵۰a | ۰/۳۱a | ۱۷/۱۹a | ۱/۲b | ۰/۰۹b | ۰/۱۳b |
| 12×S1 | ۱/۵۴b | ۱/۳۶b | ۱/۲۳b | ۱۸/۵۵b | ۵/۹۳a | ۰/۱۵a | ۰/۲۰a |
| 12×S2 | ۱/۹۷a | ۲/۴۴a | ۲/۰۱a | ۲۹/۳۵a | ۲/۶b | ۰/۱۳ab | ۰/۱۶b |
| 12×S3 | ۱/۸۷a | ۲/۱۵a | ۱/۹۸a | ۲۶/۳a | ۲/۵۶b | ۰/۱۳ab | ۰/۱۶b |
| 12×S4 | ۲/۱۷a | ۲/۳۴a | ۲/۰۸a | ۲۸/۲a | ۲/۵b | ۰/۱b | ۰/۱۴b |
| 13×S1 | ۲/۷۵b | ۲/۱۶b | ۲/۹۸b | ۲۵/۹۳b | ۷/۱۴a | ۰/۱۹a | ۰/۲۵a |
| 13×S2 | ۳/۰۱a | ۳/۰۷a | ۴/۴۳a | ۳۶/۹۹a | ۴/۷۱b | ۰/۱۵b | ۰/۲۱b |
| 13×S3 | ۲/۹۹a | ۳/۳۰a | ۴/۴۲a | ۳۵/۵۶a | ۴/۶۳b | ۰/۱۵b | ۰/۱۹b |
| 13×S4 | ۳/۰۴a | ۳/۳۳a | ۴/۸۹a | ۳۵/۵a | ۴/۱۶b | ۰/۱۴b | ۰/۱۸b |
| منابع تغیر | سوپراکسید دیسموتاز | کاتالاز | آسکوربات پراکسیداز | موسیلاژ | مالون‌دی‌آلدئید | رادیکال آزاد اکسیژن | پراکسید هیدروژن |
| I | * | * | * | * | ** | ** | ** |
| S | * | * | * | * | * | * | * |
| S × I | ** | * | * | * | * | * | * |
| تجزیه واریانس برش‌دهی اثر محلول پاشی در سطوح مختلف آبیاری | | | | | | | |
| II | * | ns | ns | ns | * | * | * |
| I2 | * | * | * | * | * | * | * |
| I3 | * | * | * | * | * | * | * |

I1-I3 به ترتیب آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک؛ S1-S4 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی، محلول پاشی با کیتوزان، محلول پاشی با اسید سالیسیلیک و محلول پاشی همزمان. *، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی داری است. اعدادی که در یک حرف کوچک مشترک میباشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری ندارند.

بحث

یافته‌های محققان حاکی از آن است که رشد گیاه به طور معنی‌داری در شرایط تنش کم آبی کاهش می‌یابد (Manivannan et al., 2007). در تنش خشکی به علت کاهش هدایت روزنه‌ای، فراهمی دی‌اکسید کربن برای انجام فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و مقدار تثبیت دی‌اکسید کربن و ساخت قندها کاهش می‌یابد (جدول ۴). عقیده بر این هست که اثر مهارى تنش خشکی بر شاخص‌های رشد به دلیل کاهش میزان آب برگ و تثبیت ترکیبات نیتروژنی می‌باشد که بر تقسیم سلولی و طول شدن تأثیر می‌گذارد (Reddy et al., 2003). علاوه بر این تنش خشکی باعث کاهش جذب عناصر ضروری و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (جدول ۴)، در نتیجه باعث تخریب اکسیداتیو DNA پروتئین و لیپیدها شده و منجر به کاهش رشد می‌شود (Yazdanpanah et al., 2011). بنظر می‌رسد کاهش رشد در شرایط تنش خشکی به علت جلوگیری از توسعه و رشد سلول و در واکنش به فشار آماس پایین باشد.

ارزیابی اثرات تنظیم کننده رشد گیاهی اسیدسالیسیلیک و کیتوزان بر رشد و نمو گیاه دارویی بابا آدم تحت تنش خشکی نشان داد که کاربرد آنها سبب بهبود رشد و نمو بابا آدم گردید. به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک اثرات کلیدی در گیاهان متأثر از تنش از جمله اثر بر جذب عناصر معدنی، پایداری غشاء و روابط آبی، عملکرد روزنه‌ها و بازدارندگی سنتز گونه‌های واکنشگر اکسیژن و بهبود رشد داشته است (Jalalvand et al., 2018)، که با نتایج این تحقیق همسویی دارد (جدول ۳، ۴ و ۵). در تحقیقات مختلفی افزایش رشد تحت تأثیر کیتوزان گزارش شده است (Farouk et al., 2011). شاید اثر تحریک کنندگی کیتوزان بر رشد گیاه به دلیل افزایش جذب آب و عناصر ضروری و کاهش انباشت رادیکال‌های آزاد

اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (جدول ۶). افزایش رشد تحت تأثیر کیتوزان به دلیل تأثیر آن بر تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی و افزایش تثبیت CO₂ می‌باشد. در آزمایشی بر روی ذرت محققان به این نتیجه رسیدند که کیتوزان باعث افزایش رشد رویشی گیاه ذرت می‌شود و همچنین در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف، موثر است (Guan et al., 2009).

کاهش پارامترهای فتوسنتزی در واکنش به تنش خشکی برای گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است (Afshar et al., 2016). عوامل محدود کننده فتوسنتز شامل دو نوع روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای می‌باشند. در زمانی که عامل محدود کننده روزنه‌ای باشد با کاهش آب در سلول‌های برگ، روزنه‌ها بسته می‌شوند. در این حالت به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای انتشار دی‌اکسید کربن به فضای بین سلولی کاهش یافته و فعالیت فتوسنتزی کم و یا متوقف می‌شود. در مواقعی که عامل محدود کننده غیرروزنه‌ای باشد، به دلیل اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه، غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد و موجب اشباع برگ‌ها از مواد فتوسنتزی می‌گردد که ممکن است عملکرد دستگاه فتوسنتز را محدود نماید (Alvarez and Sanchez-Blanco, 2013). با توجه به نتایج (جدول ۴)، هر دو عامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای موجب کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی گردید. یکی از مهمترین دلایل کاهش کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاهان تحت تنش، تخریب آنها توسط گونه‌های اکسیژن فعال و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Schutz and Fangmeir, 2001) می‌باشد. کاهش کاروتنوئیدها و مقادیر کلروفیل تحت تأثیر تنش خشکی در اکثر گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Gautam et al., 2011; Afshar et al., 2016).

شرایط تنش خشکی گردیده است (Ramroudi et al., 2013). در گیاهان تحت تنش خشکی، کیتوزان بر میزان محتوای نسبی آب اثر مثبت داشت این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Gu et al., 2010). بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش و گزارش های سایر محققین میتوان استنباط کرد که کیتوزان ممکن است با کاهش تعرق و همچنین حفظ محتوی نسبی آب، باعث ایجاد تحمل به کم آبی گردد. نفوذپذیری غشاء معمولاً به عنوان نشانه کتروولیت ارزیابی می شود که یک شاخص کلیدی سلامت غشاء سلولی گیاهان در معرض تنش است (Datta et al., 2014). غشای سیتوپلاسمی سلول های گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان در شرایط معمولی از هدایت الکتریکی بالاتری برخوردار هستند، بالاتر بودن هدایت الکتریکی نشان دهنده پایین بودن پایداری غشا سیتوپلاسمی می باشد. در نتیجه در شرایط تنش غشا از پایداری کمتری برخوردار است و میزان نشست مواد درون سلولی در آنها افزایش می یابد. در حالی که در گیاهان مقاوم به تنش این قضیه عکس می باشد. به نظر می رسد اسید سالیسیلیک و کیتوزان با داشتن خاصیت آنتی اکسیدانی تمامیت غشاء، جذب انتخابی یون و نقل و انتقال یون را که توسط خشکی آسیب دیده است بهبود می بخشد. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط سایر محققان همخوانی دارد (Amiri et al., 2017).

مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی ملایم در اثر تجمع اسمولیت ها تا حدودی افزایش می یابد. پرولین یکی از مهم ترین اسمولیت های تجمع یافته در گیاهان قرار گرفته در معرض تنش خشکی است. تجمع پرولین تحت شرایط تنش می تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه برای گیاه را فراهم کند ولی اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه بر است و منجر به کاهش عملکرد

با مصرف اسید سالیسیلیک و کیتوزان میزان فتوسنتز، کاهش تعرق و مفادیر رنگیزه های کلروفیل و کاروتنوئید در تمام سطوح آبیاری به طور معنی داری افزایش یافتند (جدول ۴). محققان دریافتند که اسید سالیسیلیک و کیتوزان در افزایش کلروفیل و فتوسنتز نقش دارد و علاوه بر این، آنها ثابت کردند که کیتوزان بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار می دهد به طوریکه تغییرات در اندازه کلروپلاست ممکن است عامل تحریک کننده رشد گیاهان باشد (Jalalvand et al., 2018). همچنین، کیتوزان اثر مستقیمی بر بیان برخی از ژن های دخیل در مسیر سنتز جاسمونیک اسید دارد که این ترکیب فعالیت مشابهی با هورمون گیاهی آبسزیک اسید ایفا می نماید (Bittelli et al., 2000). بدین ترتیب، تغییر در مسیر انتقال سیگنال آبسزیک اسید موجب کاهش آب مصرفی در گیاهان، از طریق کاهش گشودگی روزنه ها و تعرق، می گردد (Ramachandra et al., 2004). علاوه بر این محققان اعلام کردند که کاربرد کیتوزان باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کلروفیل و افزایش رنگیزه های فتوسنتزی در گیاه انگور گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Gornik et al., 2008). اسید سالیسیلیک از طریق افزایش توان آنتی اکسیدان های سلولی، جاروب کردن رادیکال های آزاد اکسیژن و سنتز پروتئین های جدید از دستگاه فتوسنتزی حمایت و در نتیجه میزان کلروفیل را در گیاه افزایش می دهد (Wasternack and Hause, 2013). همچنین باید در نظر داشت که گزارش هایی دال بر تأثیر منفی سالیسیلیک اسید و کیتوزان بر رشد گیاهان وجود دارد، تأثیر این تنظیم کننده های رشد بستگی زیادی به گونه، شرایط کاربرد و غلظت کاربرد دارد (Horvath et al., 2007).

پیش از این محققان گزارش کردند سالیسیلیک اسید سبب افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان در

گیاهان می‌شود، تجمع پرولین در بسیاری از گیاهان در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Niu et al., 2004; Xue et al., 2008). پرولین در ادامه مسیر متابولیسم نیتروژن ساخته می‌شود و منبع مهم نیتروژن در شرایط تنش به شمار می‌رود. با توجه به نقش اسیدسالیسیلیک در توسعه ریشه و متابولیسم نیتروژن، می‌توان افزایش تجمع پرولین را از آثار اسیدسالیسیلیک در نظر گرفت (Hayat et al., 2010). تاثیر اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر میزان پرولین بسته به گونه گیاهی، شدت تنش و غلظت محلول پاشی و اندام گیاهی متفاوت است به طوریکه در بعضی مطالعات افزایش و کاهش میزان پرولین گزارش شده است (Dehnavi et al., 2017; Singh et al., 1990).

به خوبی مشخص شده است که خشکی باعث عدم تعادل مواد مغذی در گیاهان می‌شود. محلول پاشی به گیاهان کمک می‌کند مواد غذایی بیشتری را جذب کنند. از آنجائیکه انتقال مواد فتوسنتزی در داخل گیاه به فسفر نیازمند است، لذا کاهش میزان جذب فسفر در تنش خشکی، می‌تواند منجر به کاهش انتقال این گونه مواد به اندام های رویشی و در نهایت کاهش عمومی رشد گیاه گردد (Ge et al., 2012). با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غیرمتحرک است، می‌توان کاهش جذب آن را به کاهش طول ریشه این گیاه در شرایط خشکی نسبت داد (Ge et al., 2012). افزایش عناصر غذایی پر مصرف با کاربرد سالیسیلیک اسید به اثبات رسیده است (Nematollahi et al., 2013). سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است که در ریشه گیاهان به میزان کم تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز، تعرق، جذب و انتقال عناصر داشته و به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Vicente and Plasencia, 2011). به هر شکل بهبود

محتوای آب گیاه ممکن است باعث ارتقا رشد گیاه و افزایش جذب عناصر به‌خصوص در شرایط کم آبی شود. در همین راستا در آزمایشی گزارش گردید سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار تیمارهای محتوای نسبی آب نسبت به شاهد گردیده است (Nematollahi et al., 2013). با توجه به این واقعیت که رشد گیاه با جذب بیشتر عناصر غذایی افزایش می‌یابد لذا نقش مثبت کیتوزان در بهبود رشد ریشه و اندام‌های هوایی می‌تواند بر تاثیر مستقیم این ماده در جذب عناصر دلالت داشته باشد (Amiri et al., 2017).

در شرایط تنش آب، بسته شدن روزنه‌ها، باعث محدود شدن هدررفت آب و نفوذ دی اکسید کربن می‌شود. کاهش نفوذ دی اکسید کربن، تثبیت آن و اکسیده شدن دوباره $NADP^+$ توسط چرخه کالوین را کاهش می‌دهد، تنش خشکی، با افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن، موجب تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل، پراکسید هیدروژن و اکسیژن منفرد می‌شود (Kanazawa et al., 2000). بنابراین یکی از پیامدهای پرهیز ناپذیر تنش خشکی، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در اجزای مختلف یاخته مانند کلروپلاست‌ها، پراکسیزوم‌ها و میتوکندری‌ها است (De Carvalho, 2008). گیاهان برای کاستن از آسیب‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی دارند که شامل اجزای غیر آنزیمی مانند آسکوربات، گلوکاتیون، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها و آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) هستند (Agarwal and Pandey, 2004). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی را در پاک سازی گونه‌های اکسیژن فعال ایفا می‌کنند این آنزیم‌ها توانایی تحمل به تنش در گیاه را

علت افزایش موسیلاژ در شرایط تنش کم آبی در پیکره گیاه، ناشی از سازگاری اکولوژیک گیاه به تنش خشکی برای حفظ گیاه در برابر خشکی می‌باشد. از آنجا که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن آب با کربوهیدرات‌های آب دوست نظیر موسیلاژهای موجود در سلول‌ها، بافت هادی و فضای بین سلولی و سطح بذر برخی گونه‌ها می‌باشد، این سازگاری منجر به توانایی بالای این گونه در حفظ پتانسیل آب درون سلولی می‌باشد (Moradi et al., 2010). در تحقیقات Abdolahi and Maleki (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که درصد موسیلاژ در گیاه بارهنگ در تنش خشکی نسبت به آبیاری نرمال بالاتر بود که با نتایج این تحقیق منطبق می‌باشد. همچنین Shekofteh و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که درصد موسیلاژ در بذر گیاه بارهنگ در تنش خشکی و کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به آبیاری نرمال و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک بالاتر بود که با نتایج این تحقیق هماهنگ می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی آسیب‌های شدیدی بر صفات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه بابا آدم شامل محتوای رنگدانه‌ها، پارامترهای فتوسنتزی، محتوای آب نسبی، میزان عناصر معدنی و نفوذپذیری غشا وارد کرد. با این وجود کاربرد کیتوزان و اسیدسالیسیلیک به‌ویژه همزمان از گیاه بابا آدم در برابر رژیم کم آبی محافظت کرد و باعث کاهش خسارت‌های ناشی از آن شد. نقش حفاظتی و تعدیل‌کنندگی کاربرد کیتوزان و اسیدسالیسیلیک بر تنش کم آبی را می‌توان به تأثیر مثبت آنها در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در زمان تنش، افزایش فعالیت مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، افزایش مقدار متابولیت‌های سازگاری مانند پرولین و تأثیر در پایداری غشاهای سلولی نسبت داد. با توجه به ماهیت طبیعی و داشتن مزایایی از

افزایش داده و پیری را به تأخیر می‌اندازند، آنزیم‌های CAT، APX و SOD از سامانه‌های نورساختی (فتوسنتزی) گیاهانی که در معرض تنش‌های محیطی قرار گرفته اند، حفاظت می‌کنند (Cavalcanti et al., 2004).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برگ گیاه بابا آدم تحت تیمار محلول پاشی اسید سالیسیلیک و کیتوزان افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدان را طی تنش‌های محیطی در بهبود پاسخ گیاه به تنش تنظیم می‌کند که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاهان مؤثر است (Hayat et al., 2010). یافته‌های این تحقیق با نتایج محلول پاشی گیاهان مختلف با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی که با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب کاهش خسارت اکسیداتیو، مطابقت دارد (Hayat et al., 2010). کیتوزان می‌تواند رادیکال‌های آزاد را خنثی کند و مشخص شده که خاصیت حفاظت‌کننده از DNA را دارد (Harish Prashanth et al., 2007). سازوکار خنثی‌کنندگی رادیکال‌های آزاد توسط کیتوزان ممکن است به ساختار خاص آن مربوط باشد که از شمار زیادی گروه آمین و هیدروکسیل قابل دسترس تشکیل شده که با رادیکال‌های آزاد واکنش نشان می‌دهد (Xie et al., 2001). بنا بر نتایج تحقیقات انجام شده، تیمار کیتوزان باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیب‌های فنلی در گیاه شده است (Liu et al., 2007).

مواد مؤثره اگرچه اساساً با هدایت فرایندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، اما سنتز آنها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که عوامل محیطی سبب تغییراتی در رشد و نمو گیاهان دارویی و نیز کمیت و کیفیت مواد مؤثره آنها، علت افزایش موسیلاژ می‌شود (Omidbaigi et al., 2003).

سپاسگزاری

نگارندگان سپاسگزاری خود را از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه پیام نور به علت حمایت مادی از این پژوهش اعلام می‌کنند.

جمله ایمن بودن و زیست تجزیه پذیر بودن این ترکیبات و با عنایت به خشکسالی و کمبود آب و انجام مطالعات تکمیلی می‌توان کاربرد این دو ماده آلی را برای کاهش تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مشابه در بابا آدم پیشنهاد کرد.

References

- Abdollahi, M. and Farahani, S.M. (2015).** Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31: 676-686.
- Afshara, R.K., Hashemi, M., DaCosta, M., Spargo, J. and Sadeghpour, A. (2016).** Biochar application and drought stress effects on physiological characteristics of *Silybum marianum*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(6): 743-752.
- Agarwal, S. and Pandey, V. (2004).** Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, 48: 555-560.
- Alvarez, S. and Sanchez-Blanco, M.J. (2013).** Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. *Scientia Horticulture*, 156: 54-62.
- Amiri, A., Esmailzadeh Bahabadi, S., Yadollahi Dehcheshmeh, P. and Sirousmehr, A. (2017).** The Role of salicylic acid and chitosan foliar applications under drought stress condition on some physiological traits and oil yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 11: 69-84.
- Bahramian, A. (2015).** Effect of water stress on phenology and growth indices of burdock (*Arctium lappa* L.). MSc. Thesis. I. A. Univ. Branch-Sharkord. (In Persian).
- Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G.S. and Nichols, E.J. (2000).** Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 107: 167-175.
- Boonlertinirun, S., Chaweewan, B. and Suvanasara, R. (2008).** Application of chitosan in rice production. *Journal of Metals Materials and Minerals*. 18: 47-52.
- Cavalcanti, F. R., Oliveira, J. T., Martins-Miranda, A., Viegas, A. S. and Silveira, R. A. (2004).** Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-saltstressed. *New Phytologist*. 163: 563-571.
- Chan, Y.S., Cheng, L.N., Wu, J.H., Chan, E., Kwan, Y.W., Lee, S.M., Leung, G.P., Yu, P.H. and Chan, S.W. (2010).** A review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock). *Inflammopharmacology*. 19: 245-254.
- Cheng, X., Zhou, U. and Cui, X. (2006).** Improvement of phenylethanoid glycosides biosynthesis in *Cistanche deserticola* cell suspension cultures by chitosan elicitor. *Journal of Biotechnology*, 121: 253 - 60.
- Datta, P. and Kulkarni, M. (2014).** Arbuscular mycorrhizal colonization improves growth and biochemical profile in *Acacia arabica* under salt stress. *Journal of BioScience & Biotechnology*, 3: 235-245.
- De Carvalho, M.H.C. (2008).** Drought stress and reactive oxygen species. *Plant signaling & Behavior*, 3: 156-165.
- Dehnavi, M.M., Niknam, N., Behzadi, Y., Mohtashami, R. and Bagheri, R. (2017).** Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. *Iranian Journal of Plant Biology*, 9: 39-62.
- Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S. (1998).** Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, 135: 1-9.
- El-Lateef Gharib, F. (2006).** Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8:485-492.
- Farouk, S., Mosa, A.A., Taha, A.A, Ibrahim Heba, M. and EL-Gahmery, A.M. (2011).** Protective effect of humic acid and chitosan on radish (*Raphanus sativus* L. var. sativus) plants subjected to cadmium stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7:99-116.
- Gautam, P.P., Fritz, A.K., Kirkham, M.B.K. and Gill, B. (2011).** Response of aegilops species to drought stress during reproductive stages of development. *Fundamental for Life. Soil, Crop and Environmental*

- Sciences. International Annual Meetings. Pp:16-19.
- Ge, T., Sun, N., Bai, L., Tong, C. and Sui, F. (2012).** Effects of drought stress on phosphorus and potassium uptake dynamics in summer maize (*Zea mays*) throughout the growth cycle. *Acta Physiology Plantarum*, 34: 2179–2186.
- Gornik, K., Grzesik, M. and Duda, B.R. (2008).** The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 333-343.
- Gu, L. Q., Li, C.X., Qiao, Y.X., Gao, F.J. and Lu, H. (2010).** Effects of Exogenous Chitosan on Physiological Characteristics of Cucumber Seedlings under Drought Stress. *Southwest China Journal Agriculture Science*, 1: 70- 73.
- Guan, Y.J., Hu, J., Wang, X.J. and Shao, C.X. (2009).** Seed priming with chitosan improves maize stress germination and seedling growth in relation to physiology changes under low temperature. *J. Zhejiang University- Science*. 10:427-433.
- Harish Prashanth, K.V., Dharmesh, S.M., Jagannatha Rao, K.S. and Tharanathan, R.N. (2007).** Free radical-induced chitosan depolymerized products protect calf thymus DNA from oxidative damage. *Carbohydrate Research*, 342:190 – 195.
- Hayat, S., Hayat, Q., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010).** Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 14-25.
- Horváth, E., Szalai, G. and Janda, T. (2007).** Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26:290-300.
- Iriti, M., and Faoro, F. (2009).** Chitosan as a MAMP, searching for a PRR. *Plant signaling & behavior*, 4:66-68.
- Jalalvand, A., Andalibi, B. and Tavakoli, A. (2018).** Evaluation the effects of cycocel and salicylic acid on some physiological characteristic and essential oil under normal and drought conditions in medical plant Dragonhed (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Production Resarch*, 24:111-128.
- Janero, D.R. (1990).** Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radical Biology and Medicine*, 9:515–540.
- Kanazawa, S., Sano, S., Koshiba, T. and Ushimaru, T. (2000).** Changes in antioxidative enzymes in cucumber cotyledons during natural senescence: comparison with those during dark-induced senescence. *Physiologia Plantarum*, 109:211–216.
- Luan L.Q., Ha, V.T.T., Nagasawa, N., Kume, T., Yoshii, F. and Nakanishi, T.M. (2005).** Biological effect of irradiated chitosan on plants in vitro, *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 41:49 - 57.
- Liu, Y., Cui, Y. and Mukherjee, A. (2007).** Characterization of a novel RNA regulator of *Erwinia carotovora* spp. Carotovora that controls production of extracellular enzymes and secondary metabolites. *Molecular Microbiology*, 29:219-34.
- Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sanka, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. and Panneerselvam, R. (2007).** Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59:141–149.
- Moradi, K.A.Z.E.M., Shangari, A.H., Shahrajabian, M.H., Gharineh, M.H. and Madandost, M. (2010).** Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) response to irrigation intervals and different nitrogen levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26:196-204.
- Moran, R. (1982).** Formula for determination of chlorophyllous pigments extracted with N.N.dimethylformamide. *Plant Physiology*, 69:1371-1381.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981).** Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate- specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22:867–880.
- Nematollahi, A., Jafari, A. and Bagheri, A. (2013).** Effects of drought and salicylic acid on photosynthetic pigment and nutrient uptake of the cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant EchoPhysiology*, 5:86-102.
- Niu, J., Zhang, S., Iu, S.L., Ma, H., Chen, J., Shen, Q., Ge, C., Zhang, X., Pang, C. and Zhao, X. (2008).** The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 224: 30-48.
- Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F. (2003).** Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil-Bearing Plant*, 6:104-108.

- Panda, R.K., Behera, S.K. and Kashyap, P.S. (2004).** Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 66:181-203.
- Pariser, E.R. and Lombardi, D.P. (1988).** A guide to the research literature chitin, Source book. Plenum Press. New York, U.S.A. p: 560.
- Pichynagkura, R. and Kudan, S. (2002).** Quantitative production of 2-acetamido 2-deoxy-Dglucose from Cryatallin Chitin by Bactrial Chitinase. *Carbohydrate Resarch*, 337:1-9.
- Premchandra, G.S., Saneoka, H. and Ogata, S. (1990).** Cell membrane stability, an indicator of drought tolerance as affected by applied nitrogen in soybean. *The Journal of Agricultural Science*, 115: 63-66.
- Ramachandra, R.A., Choityana, K.V. and Ivekanadan, A. (2004).** Drought-induced response to photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202.
- Ramroudi, M. and Khamar, A.R. (2013).** Interaction of salicylic acid spraying and irrigation treatments on some properties of quantitative, qualitative and basil osmotic regulator. *Journal Applied Research EchoPhysiology plants*, 1: 19- 32.
- Reddy, T.Y., Reddy, V.R. and Anbumozhi, N. (2003).** Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to drought stress and its amelioration: critical review. *Plant Growth Regulation*, 41: 75-78.
- Sairam, R.K. (1994).** Effect of moisture stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 32: 594-597.
- Samsam Shariat, H. (2007).** Medicinal plant extracts and extract active ingredients and methods of identification and evaluation. Publication Mani. Isfahan. 258 pp. Smart, R.E. (1974). Rapid estimate of relative water content. *Plant Physiology*, 53: 258-260.
- Schutz, M., and Fangmeir, E. (2001).** Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*. 114: 187-194.
- Shekofteh, H., Shahrokhi, H. and Solimani, E. (2015).** Effect of drought stress and salicylic acid on yield and mucilage content of the medicinal herb *Plantago ovata* Forssk. *Desert*, 20: 245-252.
- Singh, B. and Usha, K. (2003).** Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39: 137-141.
- Singh, B.K., Sharma, S.R. and Singh, B. (2010).** Antioxidant enzymes in cabbage: variability and inheritance of superoxide dismutase, peroxidase and catalase. *Scientia Horticulturae*, 124: 9-13.
- Singh, V.D., Verma, S.K. and Singh, B.L. (1990).** Effect of irrigation and phosphorus on safflower (*Carthamus tinctorious* L.) yield in Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Science*, 40: 644-647.
- Soltani, A. (2005).** Re-consideration of application of statical methods in agricultural researches. *Jahad Daneshgahi of Mashhad Press*.
- Tari, I., Csiszar, J., Szalai, G., Horvath, F., Pecsvaradi, A., Kiss, G., Szepesi, A., Szabo, M. and Redei, L. (2002).** Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pretreatment. *Acta Biologica Szegediensis*, 46: 55-56.
- Uthairatanakij, A., Teixeira, J. A. and Obsuwan, K. (2007).** Chitosan for improving Orchid production and quality. *Science*, 1: 1-5.
- Van Rossum, M.W.P.C., Alberda, M. and Van der Plas, L.H.W. (1997).** Role of oxidative damage in tulip bulb scale micropropagation. *Plant Science*, 130: 207-216.
- Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A. (2000).** Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151: 59-66.
- Vicente, M. and Plasencia, J. (2011).** Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botani*, 62: 3321-3338.
- Wang, S.Y. and Jiao, H. (2000).** Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 5677-5684.
- Wasternack, C. and Hause, B. (2013).** Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*. *Annals of Botany*, 111: 1021-1058.
- Xie, W.M., Xu, P. X. and Liu, Q. (2001).** Antioxidant activity of water-soluble chitosan derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 11: 1699-1701.
- Xue, G. X., Gao, H.Y., Li, P.M. and Zou, Q. (2004).** Effects of chitosan treatment on

physiological and biochemical characteristics in cucumber seedlings under low temperature. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 30: 441-448.

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F. (2011). The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 798-807.

Zargari, A. (1997). *Medicinal Plants*. Vol. 2, 6th ed. Tehran University Publication, Tehran, pp: 619.

Zhili, J., Yong, L., Juanjuan, L., Xu, X., Li, H., Lu, D. and Jingying, W. (2012). Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. *Potato Research*, 55: 293-301.