

ارزیابی کاربرد کیتوزان بر ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی و میزان اسانس مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

عادل علیزاده^۱، محمد مقدم^{۲*}، احمد اصغرزاده^۳، محمد محمودی سورستانی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۳. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، شیروان
۴. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: ارتفاع گیاه پرولین زیست توده مالون‌دی‌آلدئید هیدروژن پراکسید	تنش‌های محیطی مهم‌ترین عامل در کاهش عملکرد محصولات به شمار می‌روند و تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در گیاهان محسوب می‌شود. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر خصوصیات رشدی، بیوشیمیایی و میزان اسانس مرزه (<i>Satureja hortensis</i> L.) تحت سطوح مختلف رطوبت خاک، این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۳ تکرار در سال ۹۸-۱۳۹۹ در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. فاکتور اول سطوح مختلف رطوبت خاک (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم سطوح مختلف محلول‌پاشی کیتوزان (شاهد آب، شاهد اسید استیک، ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر) بود. صفات مورد بررسی شامل خصوصیات رشدی، زیست توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، هیدروژن پراکسید و اسانس بودند. بر اساس نتایج به دست آمده با کاهش رطوبت خاک، شاخص‌های رشدی و محتوای نسبی آب برگ گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافتند و در مقابل بر میزان نشت الکترولیت، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، هیدروژن پراکسید و میزان اسانس گیاه افزوده شد. به طوری که بیشترین میزان هیدروژن پراکسید (۰/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان باعث بهبود تحمل گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی گردید؛ به طوری که کاربرد این غلظت از کیتوزان به ترتیب سبب کاهش ۸/۸۶ و ۲۳/۷۷ درصدی نشت الکترولیت و هیدروژن پراکسید در بالاترین سطح تنش شد. همچنین کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان در بالاترین سطح از تنش منجر به افزایش میزان ارتفاع گیاه (۲/۷۸ درصد)، زیست توده تر اندام هوایی (۶۰/۱۸ درصد) و ریشه (۱۱۸/۱۸ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۱۸/۶ درصد) در مقایسه با شاهد گردید.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۱	
۴۴۲-۴۲۷ (۲) ۱۵	

مقدمه

است که ارتفاع آن حداکثر ۶۰ سانتی‌متر است و ساقه‌ها و شاخه‌های آن معمولاً با کرک پوشیده شده است. دارای گل‌آذین گرزب بوده، گل‌ها در محور برگ‌های بالایی ظاهر می‌شوند و به رنگ‌های سفید تا ارغوانی دیده می‌شوند. این گیاه بومی نواحی جنوب اروپا، آناتولی، قفقاز، عراق و غرب ایران است (Novak et al., 2006). از این گیاه برای درمان دردهای عضلانی، حالت تهوع، بیماری‌های عفونی و اسهال

امروزه با توجه به اثرات جانبی داروهای شیمیایی مصرف و اهمیت گیاهان دارویی رو به افزایش است و گیاهان دارویی با منابعی سرشار از متابولیت‌های ثانویه، مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها را تأمین می‌کنند (Saedi et al., 2020). مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی علفی یک یا چندساله، معطر و متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که دارای تعداد زیادی ساقه به طول ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر

گیاهان در محیط‌های کمبود مواد مغذی با افزایش جذب این مواد از خاک است، علاوه بر این، کیتوزان با عمل به‌عنوان یک عامل ضد تعرق به گیاهان نیز کمک می‌کند تا با استرس‌های غیرطبیعی مانند خشکی کنار بیایند (Malerba and Cerana, 2016; Dzung et al., 2011). کاربرد کیتوزان در شرایط تنش نه‌تنها باعث بهبود شرایط رشدی گیاه می‌گردد بلکه باعث افزایش میزان اسانس می‌شود. همچنین باعث بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط بدون تنش نیز می‌شود (Emami Bistgani et al., 2017; Vosoughi et al., 2018). کیتوزان از طریق بهبود رشد ریشه، باعث افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی در گیاه می‌شود (Zeng and Luo, 2012). در پژوهش‌های مختلف گزارش شده که تیمار با کیتوزان باعث کاهش میزان تعرق در گیاهانی از جمله قهوه (Dzung et al., 2011) و فلفل (Bittelli et al., 2001) شده است. همچنین در مطالعه‌ی که بر روی گیاه شب‌بوی معمولی در شرایط محلول‌پاشی با کیتوزان و دور آبیاری مختلف صورت گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری میزان کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل در گیاه کاهش پیدا کرد؛ ولی کاربرد کیتوزان باعث افزایش صفات ذکر شده نسبت به شاهد در گیاه شد (Heydari et al., 2016). با توجه به اثرات مخرب تنش خشکی بر روی رشد و عملکرد گیاه و با در نظر گرفتن ارزش بالای دارویی گیاه مرزه هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثرات کاربرد کیتوزان به‌صورت محلول‌پاشی بر خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، هیدروژن‌پراکسید و میزان اسانس این گیاه دارویی تحت سطوح مختلف رطوبت خاک است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول سطوح مختلف رطوبت خاک (۳۰، ۶۰، ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم سطوح مختلف محلول‌پاشی کیتوزان شامل (شاهد آب، شاهد اسید استیک (اسید استیک حلال کیتوزان است و احتمال دارد بر صفات مورد بررسی اثرگذار باشد)، ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر کیتوزان) (Taheri, 2015; Yadollahi Dehchecsme et al., 2014). بود. برای تهیه محلول کیتوزان، از پودر کیتوزان با وزن مولکولی متوسط محصول شرکت سیگما (Sigma)

استفاده می‌شود و همچنین هضم‌کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، ضد درد، ضد سرطان، محرک و مقوی معده است (Hajhashemi et al., 2000).

تنش‌های محیطی نقش مهمی در الگوی توزیع گیاهان در سراسر جهان دارند و تنش خشکی نیز به‌نوبه خود بخش بزرگی از این توزیع را تعیین می‌کند (Kafi et al., 2009). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محیطی محدودکننده‌ی رشد و نمو گیاهان در جهان است، به‌طوری‌که کاهش رشد ناشی از تنش خشکی بسیار بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (Veisipoor et al., 2012). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی در سراسر جهان است (Todaka et al., 2015). گیاهان در مناطق خشک یا نیمه‌خشک، معمولاً تنش خشکی را تجربه می‌کنند. پاسخ فیزیولوژیکی اولیه گیاهان به تنش خشکی، تنظیم اسمزی و بستن روزنه است که از آن برای حفظ رطوبت داخل بافت و هم‌زمان جذب آب از محیط استفاده می‌شود و در نتیجه فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نرمال سلول‌ها حفظ می‌شود (de Oliveira Maia Junior et al., 2020). در پژوهشی که روی گیاه دارویی ریحان تحت تنش خشکی صورت گرفت نتایج نشان داد که تنش باعث کاهش رشد و عملکرد اسانس شد (Khalil et al., 2010). همچنین در پژوهشی که بر روی گیاه مرزه ریشنگری (*Satureja rechingeri* L. در شرایط تنش خشکی انجام گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه کاهش پیدا کرد (Mousavi, 2016). یکی از راه‌های کاهش خسارات تنش خشکی در گیاهان استفاده از بیوپلیمرها است و کیتوزان یکی از این ترکیبات است. کیتوزان به دلیل داشتن خواص متعدد در دهه‌های گذشته به یکی از بیوپلیمرهای برجسته برای گیاهان در مقابل انواع تنش تبدیل شده است (Malerba and Cerana, 2016; Rinaudo, 2006).

کیتوزان یک پلیمر زیستی است که از کیتین سخت‌پوستان، قارچ‌ها و بندپایان به وجود می‌آید و دومین پلی‌ساکارید فراوان پس از سلولز روی سطح زمین است (Akakuru et al., 2018). کیتوزان دارای خاصیتی منعکس‌کننده و ضد تعرق است که باعث کاهش هدر رفت آب در گیاه می‌شود و در نتیجه گیاه را خنک می‌کند (Muchate et al., 2016). کیتوزان می‌تواند تأثیرات مفیدی در کشاورزی داشته باشد که یکی از این تأثیرات افزایش رشد

ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال (مدل Guanglu) اندازه‌گیری شد.

زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه

زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. سپس برای تعیین وزن خشک نمونه‌ها تا زمان رسیدن به ثبات وزنی در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. زیست‌توده تر و خشک با اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی به دست آمد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، نمونه‌هایی از برگ کامل تهیه و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از این زمان وزن تورژسانس نمونه قرائت شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در پایان وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد و محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Cherki et al., 2002)

$$RWC = 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})$$

[۱]

نشت الکترولیت

میزان پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی برگ ارزیابی می‌شود. برای این منظور نمونه‌های برگ با آب مقطر بدون یون شسته شده و به شیشه‌های دربدار محتوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر بدون یون منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس میزان هدایت الکتریکی آن‌ها به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه درون اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در نهایت میزان شاخص پایداری غشاء از طریق معادله زیر محاسبه شد (Teutonica et al., 1993).

$$EC = EC1/EC2 \times 100$$

[۲]

پرولین

جهت اندازه‌گیری اسیدآمین پراولین در گیاه ۰/۱ گرم نمونه خشک برگ درون هاون چینی به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳/۳ درصد عصاره‌گیری شد. ۲ میلی‌لیتر از

استفاده شد. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها شامل خاک زراعی، خاک‌برگ و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ بود. بذرها مرزه از شرکت عنبری تهیه و به‌طور مستقیم در گلدان‌ها کشت شدند. پس از استقرار گیاهان، تنک کردن در مرحله ۴-۶ برگی انجام و تعداد بوته‌ها به ۶ عدد در سطح هر گلدان (در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) رسانده شد. اعمال سطوح مختلف رطوبت خاک، هنگامی که گیاهان به مرحله ۴-۶ برگی رسیدند صورت گرفت. قبل از اعمال تنش خشکی ظرفیت زراعی خاک تعیین گردید. به‌طوری‌که ابتدا خاک مورد نظر اشباع از آب شد و رطوبت آن با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری و یادداشت گردید. سپس خاک اشباع به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد پایه قرار داده شد و ظرفیت زراعی خاک محاسبه گردید. اعمال تنش خشکی توسط دستگاه رطوبت‌سنج خاک صورت پذیرفت. روش کار بدین‌صورت بود که در طی مدت انجام آزمایش رطوبت خاک به‌صورت روزانه با دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری و در هر نوبت آبیاری میزان آب مورد نظر با هدف جایگزین نمودن کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی مدنظر محاسبه و اعمال شد. محلول‌پاشی کیتوزان در دو مرحله صورت گرفت. مرحله‌ای اول زمانی که گیاهان در مرحله‌ای ۸-۶ برگی بودند و دومین محلول‌پاشی دو هفته بعد از محلول‌پاشی اول انجام شد (Taheri, 2015). در طول دوره‌ی رشد گیاهان کلیه اعمال زراعی شامل دفع علف‌های هرز به‌طور یکنواخت در بین تیمارها صورت گرفت. اندازه‌گیری تمامی صفات در مرحله گلدهی صورت گرفت. صفات مورد بررسی شامل خصوصیات رشدی، زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، هیدروژن پراکسید و اسانس بودند.

خصوصیات رشدی

خصوصیات رشدی گیاه شامل ارتفاع گیاه، طول و عرض برگ، قطر ساقه، تعداد گره، فاصله میان‌گره، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک برگ بود که در مرحله گلدهی و پس از برداشت گیاهان (انتخاب ۳ بوته به‌طور تصادفی در هر گلدان) اندازه‌گیری شد. صفات رشدی ذکر شده با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری گردید. ارتفاع گیاه، طول و عرض برگ و فاصله میان‌گره، با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. قطر

هیدروژن پراکسید

به منظور اندازه‌گیری هیدروژن پراکسید از روش ساگی‌ساکا (Sagisaka, 1976) استفاده شد. ابتدا مقدار ۰/۵ گرم از بافت تر برگ را با ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۱ درصد (w/v) در هاون چینی که در حمام یخ قرار داشت، کاملاً ساییده شد. هموژن حاصل را به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. در مرحله‌ی بعد ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور به لوله‌آزمایش منتقل و به آن ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی-مولار با pH=7 و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم (KI) ۱ مولار اضافه شد (تمام مراحل در حمام یخ انجام شد). مخلوط واکنش را به خوبی با هم ترکیب نمودیم. در نهایت جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد.

میزان اسانس

برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب به وسیله دستگاه کلونجر استفاده شد. بدین صورت که ۳۰ گرم نمونه خشک گیاهی به همراه ۶۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن ریخته شده و به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد تا اسانس آن استخراج گردد. میزان اسانس به روش حجمی وزنی محاسبه و گزارش گردید.

آنالیز داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون Bonferroni در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رشدی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده و متقابل کیتوزان و سطوح مختلف رطوبت خاک بر ارتفاع گیاه، طول و عرض برگ، قطر ساقه، تعداد گره، فاصله میان‌گره، تعداد شاخه فرعی و وزن تر و خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، صفات رشدی گیاه روندی نزولی داشتند. به طوری که به ترتیب در سطوح ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در مقایسه با ۹۰

عصاره تهیه‌شده را با ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در لوله‌آزمایش ریخته و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خروج، نمونه‌ها در حمام یخ به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند و بعد از خنک شدن در زیر هود به محتوی هر یک از نمونه‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و به مدت ۳۰ ثانیه توسط ورتکس به خوبی مخلوط شدند. لوله‌ها مدتی در فضای اتاق ثابت باقی ماند و ۲ لایه مجزا از هم در لوله‌آزمایش تشکیل شد. به منظور اندازه‌گیری میزان پرولین لایه فوقانی (صورتی‌رنگ بود) نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Bio Quest C250) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرار گرفت و در نهایت نیز با استفاده از رسم منحنی استاندارد، محتوای پرولین نمونه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت (Bates et al., 1973).

مالون‌دی‌آلدئید

میزان آسیب به غشاء را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار مالون-دی‌آلدئید (MDA) که به عنوان فراورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء محسوب می‌شود تعیین کرد که به این منظور ۰/۲۵ گرم از نمونه تازه گیاهی را در ازت مایع پودر کرده، سپس با ۵۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=7 مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس ۱۵۰ میکرولیتر از محلول فوقانی برداشته شد و به آن ۳۰۰ میکرولیتر تری کلرواستیک (TCA) ۲۰ درصد که حاوی اسید تری تیوباربیتریکی (TBA) ۰/۵ درصد بود، اضافه گردید. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بلافاصله در حمام یخ سرد گذاشته شد. سپس نمونه‌ها مجدد به مدت ۵ دقیقه با شدت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای محیط سانتریفیوژ گردید. ماده قرمز رنگ مالون‌دی‌آلدئید تیوبارتریکی اسید حاصل شده و جذب نوری آن در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت برای تعیین غلظت مالون‌دی‌آلدئید از فرمول زیر با ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مولار بر سانتی‌متر استفاده شد (Davey et al., 2005).

$$MDA = (A532 - A600/155) \times 1000 \quad [3]$$

تیمار آبیاری با آب شور و محلول‌پاشی با کیتوزان صورت گرفت مشخص شد که محلول‌پاشی کیتوزان باعث افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک برگ در گیاه شد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (Gohari and Bahrami, 2020). گزارش شده است که کیتوزان باعث افزایش فعالیت ABA در هنگام مواجهه گیاه با تنش می‌شود که نقش مهمی در کاهش میزان تعرق دارد (Lim et al., 2015) که این عمل را از طریق کاهش قطر روزنه انجام داده، مانع تبخیر آب‌شده و درنهایت باعث افزایش رشد و عملکرد در گیاه می‌شود (Abu-Muriefah, 2013).

در تحقیق حاضر کاربرد ۲ گرم در لیتر کیتوزان منجر به کاهش مقدار صفات رشدی در مرزه شد، به طوری که محلول-پاشی ۲ گرم در لیتر کیتوزان در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با عدم کاربرد کیتوزان در همین سطح رطوبت خاک باعث کاهش ۶/۹ درصدی ارتفاع گیاه، ۱۰/۸ درصدی طول برگ و ۶/۶ درصد عرض برگ گیاه مرزه شد. به نظر می‌رسد که سطوح بالای کیتوزان خود باعث تنش در گیاه می‌شود. نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که کاربرد کیتوزان در غلظت‌های کم باعث بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه دارویی سرخارگل (*Echinaceae purpurea*) شد (Babaei et al., 2018). محلول‌پاشی با کیتوزان باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد در گیاه (*Scutellaria baicalensis*) شده است (Cheng et al., 2018). همچنین نشان داده شده است که کیتوزان باعث تقویت فتوسنتز، افزایش زیست‌توده، بهبود رشد، افزایش زمان گلدهی و تعداد گل و میوه در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود، در نتیجه به‌عنوان یک محرک بیولوژیکی شناخته شده است (Malerba and Cerana, 2016). این احتمال وجود دارد که کیتوزان از طریق سنتز هورمون‌های رشدی مثل جیبرلین و اکسین باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Katiyar et al., 2015; Hidangmayum et al., 2019).

زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و محلول‌پاشی کیتوزان بر زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که با

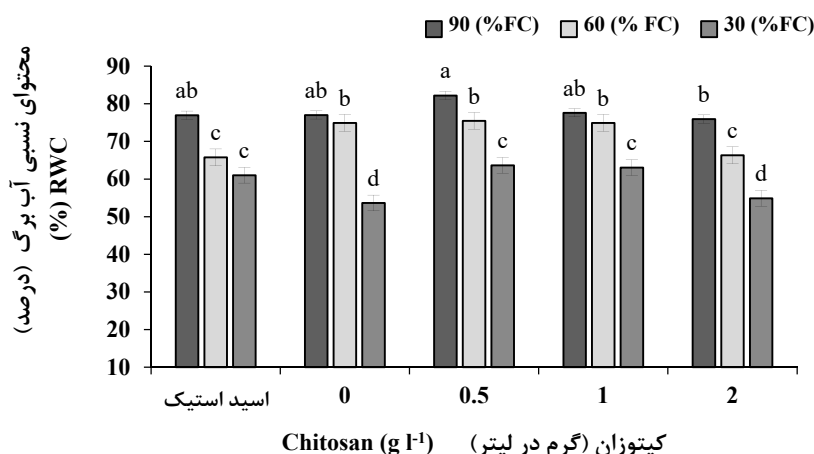
درصد ظرفیت زراعی خاک منجر به کاهش صفات ارتفاع گیاه (۹/۵ و ۱۲ درصد)، طول (۱۰/۴ و ۲۴/۱ درصد) و عرض (۳۴/۷ و ۳۸/۱ درصد) برگ، قطر ساقه (۲۴/۴ و ۳۶/۵ درصد)، تعداد گره (۱۰ و ۱۰ درصد)، فاصله میانگره (۸/۵ و ۲۰/۳ درصد)، تعداد شاخه فرعی (۱۵/۱ و ۲۶ درصد) و وزن تر (۲۷/۴ و ۴۴/۴ درصد) و خشک (۳۱/۵ و ۵۱/۱ درصد) گردید. اکرمی نژاد و همکاران و سودائی زاده و همکاران نیز گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع مرزه شد (Akraminejad et al., 2015; Sodaiizadeh et al., 2016) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. به نظر می‌رسد علت کاهش خصوصیات رشدی در گیاه به این دلیل است که تنش‌های زنده و غیرزنده باعث کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Hafez et al., 2020). تنش خشکی یکی از تنش‌های مهم محیطی است که بر متابولیسم و رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Sheikh-Mohamadi et al., 2018) و منجر به کاهش عملکرد و در نهایت مرگ گیاه می‌شود (Zhang et al., 2018). همچنین تنش خشکی باعث کاهش میزان آب در بافت‌ها و به دنبال آن کاهش فشار هیدرواستاتیک در سلول می‌شود که به نوبه خود مانع از تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن می‌گردد و درنهایت کاهش رشد گیاه را به دنبال خواهد داشت (Hassanselim et al., 2011). یکی دیگر از نتایج تنش خشکی، کاهش رشد سلولی و درنهایت کاهش ارتفاع گیاه است و هرچه زمان تنش طولانی‌تر باشد، اثرات آن واضح‌تر خواهد بود (Ayan et al., 2005). همچنین جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین مقدار صفات رشدی اندازه‌گیری شده در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان حاصل شد. به طوری که در مقایسه با تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی کیتوزان باعث افزایش ارتفاع گیاه (۲/۸ درصد)، طول برگ (۹/۶ درصد)، عرض برگ (۵/۵ درصد) و تعداد شاخه فرعی (۲۶/۷ درصد) گیاه شد. در تحقیقی که روی برخی از ارقام سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی کیتوزان و نانو کیتوزان صورت گرفت، گزارش شد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار نانو کیتوزان و محلول‌پاشی کیتوزان به دست آمد (Alaghmand et al., 2020). همچنین نتایج پژوهشی که روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط

محققین کیتوزان از طریق افزایش در سنتز جیبرلین در رشد ساقه و برگ نقش دارد (Uthairatanakij et al., 2007). بر اساس نتایج تحقیقی که روی گیاه تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) صورت گرفت، نتایج بیانگر این مسئله بود که هورمون‌ها در غلظت‌های بسیار کمی عمل می‌کنند و اگر غلظت خیلی زیاد باشد، روی رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Berliana et al., 2020). کیتوزان با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز، گلوتامین سنتتاز و آنزیم‌های پروتئاز باعث افزایش فعالیت آن‌ها می‌گردد و از این طریق به جذب نیتروژن و متابولیسم آن به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند (Bashan and de-Bashan, 2005).

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ یک شاخص مناسب برای تعیین حساسیت و تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی محسوب می‌شود (Liang et al., 2013). نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کیتوزان بر محتوای نسبی آب برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. با کاهش رطوبت خاک محتوای نسبی آب برگ گیاه کاسته شد. کمترین میزان آن (۵۳/۷ درصد) در تیمار آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کیتوزان مشاهده شد (شکل ۱).

کاهش رطوبت خاک میزان زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه نیز روندی کاهشی در گیاه داشتند، به طوری که کاهش ۵۹/۷، ۵۶/۵، ۵۴/۲ و ۵۱/۸ درصدی به ترتیب در زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه مشاهده شد. کمبود آب بر بسیاری از خصوصیات مورفولوژیکی و فرآیندهای فیزیولوژیکی مربوط به رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (Alinejadian Bidabadi et al., 2016). تنش خشکی باعث کاهش میزان آب در بافت‌ها و به دنبال آن کاهش فشار هیدرواستاتیک در سلول می‌شود که به نوبه خود مانع از تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن می‌گردد و در نهایت کاهش رشد گیاه را به دنبال خواهد داشت (Hassanselim and Fathiel-Nady, 2011). در مطالعه حاضر کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان باعث بهبود صفات مذکور در مرزه گردید. به طوری که بالاترین مقدار زیست‌توده تر اندام هوایی (۶/۳۷ گرم در بوته) و زیست‌توده تر ریشه (۰/۳۲ گرم در بوته) و زیست‌توده خشک ریشه (۰/۱۸۷ گرم در بوته) در کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد. در پژوهشی که روی گیاه بادرنشبی در شرایط آبیاری با آب‌شور و کاربرد محرک زیستی کیتوزان انجام گرفت، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با کیتوزان باعث افزایش در میزان زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی در گیاه شد (Gohari and Bahrami, 2020). ولی کاربرد غلظت بالای کیتوزان خود باعث تنش در گیاه شد. طبق نتایج



شکل ۱. اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کیتوزان بر محتوای نسبی آب برگ مرزه

Fig. 1. Interaction of different levels of soil moisture and chitosan on the relative water content of *Satureja hortensis* leaves

درصد ظرفیت زراعی خاک کاهش پیدا کرد. کاهش در محتوای نسبی آب برگ گیاه آفتاب‌گردان (*Helianthus*)

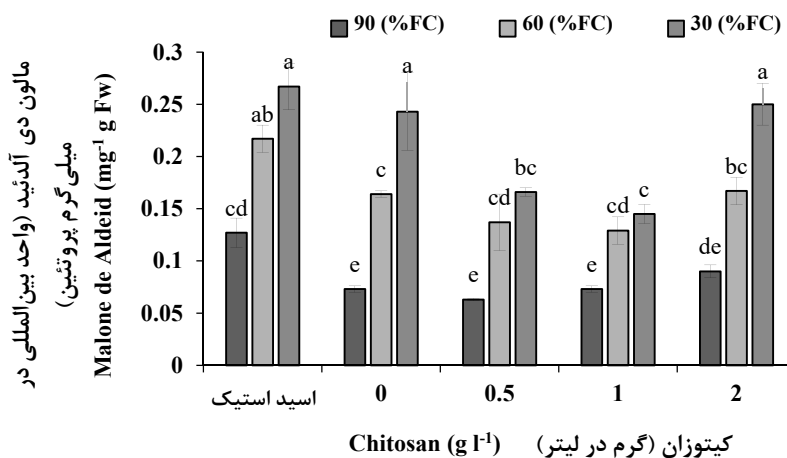
با رسیدن آبیاری به سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی محتوای نسبی آب برگ ۳۰/۳ درصد نسبت به سطح ۹۰

رطوبت خاک (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک با ۲۳۲/۹ درصد افزایش همراه بود. افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدئید در شرایط مختلف تنش نشان می‌دهد که تنش خشکی می‌تواند، منجر به القای پراکسیداسیون غشاء به‌وسیله گونه‌های اکسیژن آزاد شود (Moussa and Abdel-Aziz, 2008). در پژوهشی که روی گیاهان رازیانه (Mosapour et al., 2016) و آدونیس (Gao et al., 2020) صورت گرفت، نتایج حاکی از آن بود که با افزایش سطح تنش میزان مالون‌دی‌آلدئید نیز روندی صعودی داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. با افزایش کمبود آب، ساختار غشاء از بین می‌رود و منجر به تخریب نفوذپذیری انتخابی غشاء و آسیب جدی دیگر می‌شود. مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون لیپید غشایی و شاخص خشک‌سالی و سایر تنش‌ها در نظر گرفته می‌شود (Cheng et al., 2018). کمترین مقدار مالون‌دی‌آلدئید (۰/۰۶۳) واحد بین‌المللی در میلی‌گرم پروتئین) در کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد. کاربرد ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر کیتوزان باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در گیاه، اما کاربرد ۲ گرم در لیتر کیتوزان خود باعث تنش و افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید در گیاه شد. ترکیبات کیتوزانی تولید مالون‌دی‌آلدئید را در سلول‌های گیاهی کاهش می‌دهند که این عمل خود باعث کاهش میزان آسیب در شرایط تنش خشکی به گیاه می‌شود (Abdalla, 2011).

Shehzad et al.,) و همکارانش (*annuus L.*) توسط شزد و همکارانش (2020) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. همچنین تحقیقات پیشین نشان داد که کاهش آب آبیاری از ۹۰ درصد به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در دو گونه آویشن (*Thymus vulgaris L.*) و (*Thymus serpyllum Serpolet*) شد (Mohasseli and Sadeghi, 2019). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۸۲/۲ درصد) نیز در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان مشاهده شد. کاربرد کیتوزان با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر سبب افزایش ۱۸/۶ درصدی این صفت نسبت به عدم محلول‌پاشی کیتوزان در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی شد. در پژوهشی که در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالسیلیک و کیتوزان بر روی گیاه باب‌آدم (*Arctium lappa L.*) صورت گرفت، نتایج بیانگر این مسئله بود که محلول‌پاشی با کیتوزان در شرایط تنش خشکی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد در گیاه شد (Nora and Safahani, 2020).

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۲) با کاهش رطوبت خاک میزان مالون‌دی‌آلدئید نیز روندی صعودی در گیاه داشت، به‌طوری‌که در پایین‌ترین سطح



شکل ۲. اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کیتوزان بر میزان مالون‌دی‌آلدئید مرزه

Fig. 2. Interaction of different levels of soil moisture and chitosan on malondialdehyde content of *Satureja hortensis*

نشست الکتروولیت

گردید. کمترین نشست الکتروولیت (۲۰/۴ درصد) در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین نشست الکتروولیت (۲۹/۸ درصد) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر کیتوزان مشاهده شد (شکل ۳).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات ساده و متقابل کیتوزان و سطوح مختلف رطوبت خاک بر نشست الکتروولیت برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی کیتوزان بر صفات رشدی گیاه مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

Table 1. Analysis of variance the effect of chitosan foliar application on growth traits of *Satureja hortensis* under different levels of soil moisture

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه			طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد گره Number of node
		ارتفاع Plant height	فرعی Number of branches	قطر ساقه Stem diameter			
رطوبت خاک Soil moisture (a)	2	78.11**	115.10**	0.51**	72.61**	3.17**	4.17**
کیتوزان Chitosan (b)	4	23.94**	28.59**	0.18**	2.26**	0.74**	0.94**
(a)×(b)	8	15.35**	10.99**	0.24**	37.38**	0.44**	1.88**
خطا Error	30	2.08	0.50	0.02	0.41	0.02	0.23

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فاصله میانگره Internode length	زیست توده		ریشه Root fresh weight	زیست توده خشک ریشه Root dry weight
			زیست توده تر اندام هوایی Fresh weight of aerial part	زیست توده خشک اندام هوایی Dry weight of aerial parts		
رطوبت خاک Soil moisture (a)	2	0.77**	14.35**	3.335**	0.420**	0.0003**
کیتوزان Chitosan(b)	4	0.17**	0.46**	0.120**	0.422**	0.0157**
a × b	8	0.51**	2.03**	0.102**	0.003**	0.0020**
خطا Error	30	0.02	0.06	0.007	0.0003	0.000061

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant at 1% probability level.

لفل دلمه‌ای صورت گرفت همراستا بود، به‌طوری‌که آن‌ها نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش میزان نشست الکتروولیت در این گیاه شد و در مقایسه با شاهد، موجب افزایش ۹۹ درصدی آن گردید (Haghighi et al., 2020)

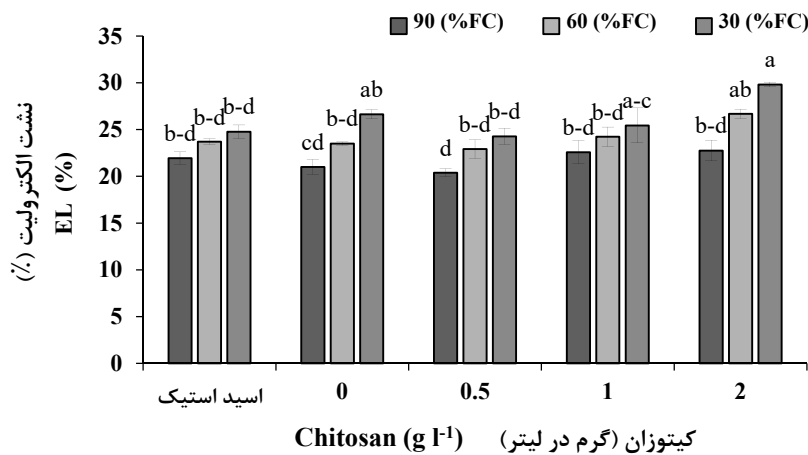
با کاهش رطوبت خاک میزان نشست الکتروولیت نیز افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در مقایسه با تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با افزایش ۲۶/۸ درصدی همراه بود. نتایج این تحقیق، با پژوهشی که توسط حقیقی و همکاران (Haghighi et al., 2020) روی گیاه

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک
 Table 2. Analysis of variance the effect of chitosan foliar application on biochemical properties and essential oil content of *Satureja hortensis* under different levels of soil moisture

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب برگ RWC	نشست الکترولیت Electrolyte leakage	پرولین Proline	مالون دی آلدئید MDA	هیدروژن پراکسید H ₂ O ₂	میزان اسانس Essential oil content
رطوبت خاک Soil moisture (a)	2	477.77**	22.40**	0.000073**	0.01779**	0.012**	1.52**
کیتوزان Chitosan (b)	4	112.55**	12.82**	0.000041**	0.0126**	0.020**	0.36**
a × b	8	237.81**	18.81**	0.000074**	0.0123**	0.005**	0.39**
Error خطا	30	3.00	2.25	0.000001	0.00026	0.0001	0.03

** Significant at 1% probability level.

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۳. اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کاربرد کیتوزان بر میزان نشست الکترولیت مرزه

Fig. 3. Interaction of different levels of soil moisture and chitosan application on electrolyte leakage of *Satureja hortensis*

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی کیتوزان بر صفات رشدی و میزان اسانس گیاه مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

Table 3. Mean comparison of the effect of chitosan foliar application on growth traits and essential oil content of *Satureja hortensis* under different levels of soil moisture

رطوبت خاک Soil moisture	کیتوزان Chitosan	ارتفاع Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branches	قطر ساقه Stem diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد گره Number of node
FC%	g l ⁻¹	cm			mm		
90	Acetic acid	43.7±0.96 ^{a-d}	16.8±0.43 ^{cd}	1.98±0.01 ^{a-c}	24.0±0.57 ^{cd}	3.1±0.06 ^{bc}	12.5±0.289 ^{a-d}
90	0	44.9±0.01 ^{a-c}	18.3±0.43 ^{bc}	2.30±0.11 ^a	25.2±0.27 ^{bc}	4.2±0.06 ^a	13.0±0.033 ^{ab}
90	0.5	47.2±0.086 ^a	23.1±0.63 ^a	2.31±0.09 ^a	31.1±0.41 ^a	4.2±0.05 ^a	13.5±0.289 ^a
90	1	45.4±1.400 ^a	20.3±0.43 ^b	2.22±0.03 ^{ab}	26.7±0.21 ^b	3.5±0.09 ^b	13.0±0.289 ^{ab}
90	2	43.5±0.76 ^{a-d}	17.3±0.66 ^{cd}	1.75±0.08 ^{cd}	23.1±0.34 ^d	3.1±0.07 ^{cd}	12.0±0.289 ^{a-d}
60	Acetic acid	42.4±0.90 ^{b-d}	16.2±0.16 ^{cd}	1.75±0.07 ^{cd}	22.6±0.47 ^{de}	2.8±0.08 ^{c-e}	11.3±0.144 ^{cd}
60	0	40.6±0.61 ^{c-e}	15.5±0.29 ^{f-f}	1.74±0.07 ^{cd}	22.6±0.09 ^{de}	2.7±0.03 ^{c-e}	11.7±0.333 ^{b-d}
60	0.5	43.5±0.95 ^{a-d}	16.5±0.29 ^{cd}	1.88±0.14 ^{a-d}	23.4±0.16 ^{cd}	3.1±0.03 ^{cd}	13.3±0.333 ^a
60	1	42.4±0.94 ^{b-d}	16.5±0.29 ^{cd}	1.81±0.05 ^{b-d}	22.7±0.77 ^{de}	2.8±0.02 ^{c-e}	12.4±0.220 ^{a-d}
60	2	42.1±0.23 ^{b-d}	15.8±0.14 ^{de}	1.70±0.13 ^{c-e}	22.5±0.44 ^{de}	2.7±0.11 ^{c-e}	11.5±0.289 ^{b-d}
30	Acetic acid	36.8±1.607 ^e	11.8±0.43 ^{gh}	1.53±0.02 ^{c-e}	20.5±0.47 ^{fg}	2.6±0.01 ^e	11.0±0.289 ^d
30	0	39.5±0.144 ^{de}	13.3±0.44 ^e	1.46±0.07 ^{c-e}	19.1±0.10 ^g	2.6±0.16 ^e	11.7±0.333 ^{b-d}
30	0.5	40.6±0.61 ^{c-e}	13.8±0.44 ^{e-g}	1.70±0.06 ^{c-e}	21.0±0.02 ^{e-g}	2.7±0.03 ^{c-e}	12.7±0.333 ^{a-c}
30	1	40.3±0.49 ^{c-e}	12.8±0.14 ^{gh}	1.65±0.02 ^{c-e}	20.6±0.10 ^{e-g}	2.6±0.002 ^{de}	12.3±0.333 ^{a-d}
30	2	36.8±0.349 ^e	10.8±0.44 ^h	1.29±0.07 ^e	17.1±0.08 ^h	2.4±0.15 ^e	11.2±0.167 ^{cd}

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

رطوبت خاک Soil moisture FC%	کیتوزان Chitosan g l ⁻¹	فاصله میانگره Internode length cm	زیست توده تر		زیست توده خشک		میزان اسانس Essential oil content %v/w
			اندام هوایی Fresh weight of aerial part	هوایی Dry weight of aerial parts	زیست توده تر ریشه Root fresh weight	زیست توده خشک ریشه Root dry weight	
90	Acetic acid	3.2±0.005 ^{a-c}	5.10±0.26 ^{bc}	1.67±0.01 ^{ab}	0.21±0.016 ^{cd}	0.09±0.0050 ^d	2.2±0.0403 ^{b-d}
90	0	3.3±0.0023 ^{ab}	5.36±0.04 ^{ab}	1.86±0.07 ^a	0.24±0.0096 ^{bc}	0.11±0.0023 ^{bc}	1.7±0.0274 ^d
90	0.5	3.6±0.0033 ^a	6.37±0.21 ^a	1.76±0.16 ^a	0.32±0.0152 ^a	0.19±0.0033 ^a	2.5±0.0115 ^{a-c}
90	1	3.3±0.0124 ^{ab}	4.52±0.03 ^{b-d}	1.76±0.06 ^a	0.28±0.0093 ^{ab}	0.17±0.0124 ^a	2.0±0.023 ^{cd}
90	2	3.1±0.004 ^{b-d}	4.15±0.47 ^{c-e}	1.57±0.06 ^{a-c}	0.12±0.0089 ^{ef}	0.07±0.004 ^{d-g}	2.3±0.1300 ^{bc}
60	Acetic acid	2.8±0.003 ^{c-e}	3.73±0.08 ^{d-f}	0.84±0.01 ^{ef}	0.10±0.0086 ^f	0.06±0.0034 ^{fg}	2.5±0.0515 ^{a-c}
60	0	3.0±0.002 ^{b-e}	2.62±0.03 ^{g-i}	1.08±0.07 ^{de}	0.11±0.0066 ^f	0.06±0.003 ^{e-g}	3.0±0.193 ^a
60	0.5	3.3±0.0029 ^{ab}	4.27±0.09 ^{c-e}	1.30±0.07 ^{b-d}	0.28±0.0038 ^{ab}	0.12±0.0029 ^b	3.0±0.161 ^a
60	1	3.2±0.002 ^{a-c}	3.71±0.01 ^{d-f}	1.28±0.06 ^{cd}	0.17±0.0104 ^{de}	0.08±0.0017 ^{de}	2.3±0.017 ^{bc}
60	2	2.6±0.0051 ^{ef}	2.63±0.09 ^{g-i}	0.85±0.04 ^{ef}	0.10±0.0026 ^f	0.05±0.0051 ^{fg}	2.3±0.156 ^{bc}
30	Acetic acid	2.3±0.0001 ^f	3.08±0.11 ^{f-h}	0.66±0.02 ^f	0.09±0.0005 ^f	0.05±0.0001 ^g	2.6±0.0378 ^{ab}
30	0	2.6±0.003 ^{d-f}	2.16±0.05 ^{hi}	0.81±0.05 ^{ef}	0.11±0.0105 ^f	0.06±0.0028 ^{fg}	2.8±0.225 ^a
30	0.5	3.3±0.0007 ^{a-c}	3.46±0.02 ^{c-g}	1.15±0.09 ^{de}	0.24±0.0096 ^{bc}	0.09±0.0007 ^{cd}	3.0±0.025 ^a
30	1	3.1±0.0006 ^{bc}	3.26±0.34 ^{c-g}	0.87±0.01 ^{ef}	0.13±0.0089 ^{ef}	0.07±0.0006 ^{d-f}	3.0±0.0491 ^{ab}
30	2	2.3±0.049 ^f	2.05±0.06 ⁱ	0.67±0.03 ^f	0.10±0.0077 ^f	0.05±0.049 ^{fg}	3.1±0.049 ^a

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون Bonferroni می‌باشد.

Similar letters in each column shows non-significant difference according to Bonferroni test at 5% level

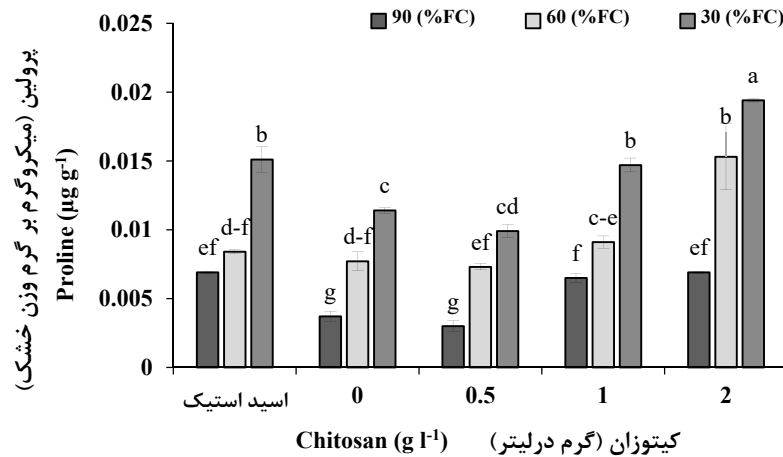
پرولین

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴) نشان داد که با کاهش رطوبت خاک میزان پرولین هم در گیاه روند صعودی داشت به طوری که در مقایسه با تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک با افزایش ۱/۱۰۸ و ۱/۲۰۸ درصدی (به ترتیب در تیمارهای ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) همراه بود. افزایش در محتوای پرولین تحت تنش خشکی در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است از جمله در پژوهشی که روی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) صورت گرفت، نتایج حاکی از آن بود که اثرات ساده تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین در گیاه شد (Saedi et al., 2020)؛ اما کمترین مقدار پرولین (۰/۰۰۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان و بیشترین مقدار آن (۰/۱۹۴ میکروگرم بر گرم) در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و کاربرد ۲ گرم در لیتر کیتوزان مشاهده شد (شکل ۴). محلول پاشی با ترکیبات کیتوزان از طریق افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین و کاهش پراکسیداسیون چربی غشایی، اثرات منفی تنش خشکی را روی گیاهان کاهش می‌دهد (Bistgani et al., 2017).

نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب بود که کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر کیتوزان باعث کاهش شدت تنش خشکی در مرزه شد، ولی کاربرد ۱ و ۲ گرم در لیتر کیتوزان در تمامی سطوح رطوبت خاک (به جز تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و محلول پاشی ۱ گرم در لیتر کیتوزان) خود باعث تشدید تنش در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کیتوزان) در گیاه شد. تنش سبب پراکسیداسیون چربی‌های غشاء سلول و به دنبال آن باعث افزایش میزان نشت در گیاه می‌شود (Daneshmand et al., 2009). تنش‌های غیرزنده اثرات بسیار مخربی بر گیاه می‌گذارد و باعث آسیب اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی می‌گردد که منجر به افزایش میزان پراکسیداسیون لیپیدها، انواع اکسیژن فعال و نشت الکترولیت می‌شود (El-Banna and Abdelaal, 2018; Abdelaal et al., 2020). غشای سلولی در زمان تنش و با توجه به شدت تنش دچار آسیب می‌شود و میزان این تنش را می‌توان با اندازه‌گیری نشت الکترولیت از بافت آسیب‌دیده اندازه گرفت (Chaturvedi et al., 2012). پایداری غشاء هنگام تنش خشکی به عنوان شاخص تحمل در این شرایط در نظر گرفته می‌شود (Abbasi et al., 2014).

غشاء سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی محافظت و گونه‌های اکسیژن فعال را مهار و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد (Liang et al., 2013) و با حفظ غشاء سلولی باعث کاهش میزان نشت الکترولیت و در نتیجه باعث افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Anjum et al., 2017).

پرولین از طریق تنظیم اسمزی مانع از دست دادن آب در گیاهان می‌شود و به‌عنوان یک سازنده سلولی عمل می‌کند (de Oliveira Maia Junior et al., 2020). همچنین تجمع پرولین به‌عنوان یک شاخص در زمان تنش در گیاهان محسوب می‌شود که به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل می‌کند و به حفظ فشار تورگر در سلول‌ها کمک می‌کند (Elewa et al., 2017). افزایش پرولین در زمان تنش از



شکل ۴. اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کاربرد کیتوزان بر میزان پرولین مرزه

Fig. 4. Interaction of different levels of soil moisture and chitosan application on proline content of *Satureja hortensis*

دسترس بودن مواد مغذی باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و با افزایش سیستم حفاظت آنتی‌اکسیدانی، مقاومت گیاه در شرایط تنش را افزایش می‌دهد (Guan et al., 2009). رادیکال‌های آزاد HO و O₂ در حضور کیتوزان خنثی و مشخص شده نقش حفاظت‌کنندگی از DNA را دارد (Harish Prashanth et al., 2007). در آزمایشی که روی گیاه دارویی بادرنجبویه تحت تیمار کیتوزان صورت گرفت نتایج نشان داد که مقدار رادیکال‌های آزاد در حضور کیتوزان کاهش پیدا کرد (Khaje and Naderi, 2014).

میزان اسانس

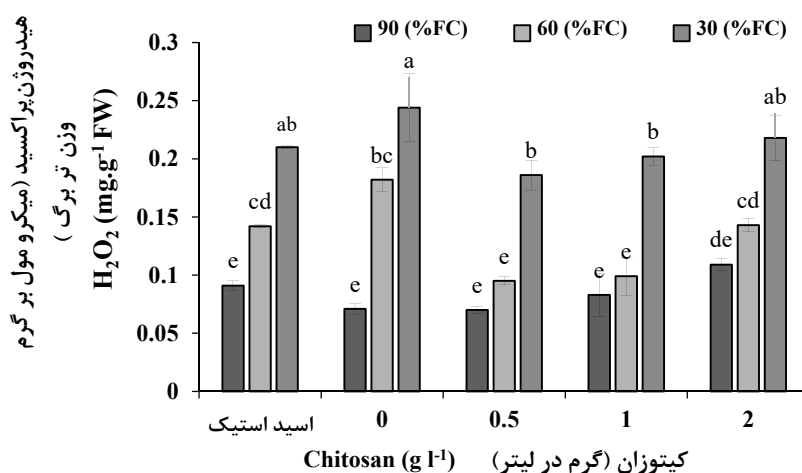
تجزیه واریانس اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و محلول‌پاشی کیتوزان در سطح احتمال یک درصد بر میزان اسانس مرزه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که با کاهش رطوبت خاک بر میزان اسانس گیاه افزوده شد. به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش رطوبتی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) نسبت به تیمار شاهد (۹۰

هیدروژن پراکسید (H₂O₂)

نتایج ارائه‌شده در جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) بیانگر این مطلب بود که اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کیتوزان بر میزان هیدروژن پراکسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. هیدروژن پراکسید یک مولکول و سیگنال مهم در طول استرس اکسیداتیو است و در صورت بروز استرس در گیاه به‌عنوان یک سیگنال عمل می‌کند (Deeba et al., 2012; Koffler et al., 2014). مقایسه اثرات میانگین داده‌ها (شکل ۵) نشان داد که استفاده از کیتوزان باعث کاهش میزان هیدروژن پراکسید (به جزء در تیمارهای کاربرد ۱ و ۲ گرم در لیتر کیتوزان در سطح ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) در گیاه شد. به‌طوری‌که در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم کاربرد کیتوزان در مقایسه با سطوح مختلف کاربرد کیتوزان به میزان ۲۳/۸، ۱۷/۲ و ۱۰/۷ درصد (به ترتیب در کاربرد ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر کیتوزان) کاهش مشاهده شد. کیتوزان با تنظیم فشار اسمزی سلول، افزایش جذب آب و در

درصد ظرفیت زراعی) به میزان ۶۴/۷۱ درصد افزایش همراه بود. این درحالی‌که کمترین میزان اسانس (۱/۷ درصد) نیز در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و عدم محلول‌پاشی کیتوزان مشاهده شد که محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر موجب افزایش ۴۷/۱ درصدی آن شد (جدول ۴). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق افزایش تنش خشکی موجب شد تا میزان اسانس در ریحان (Ghaemi et al., 2019) و بادرشبو (Safikhani et al., 2007) نیز افزایش یابد که دلیل این امر را می‌توان چنین بیان کرد که اسانس‌ها از جمله متابولیت‌های ثانویه گیاه بوده که در شرایط تنش جهت محافظت از گیاه ساخته می‌شوند و از عمل اکسیداسیون سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Baher Nik et al., 2017).

درصد ظرفیت زراعی) به میزان ۶۴/۷۱ درصد افزایش همراه بود. این درحالی‌که کمترین میزان اسانس (۱/۷ درصد) نیز در تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و عدم محلول‌پاشی کیتوزان مشاهده شد که محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر موجب افزایش ۴۷/۱ درصدی آن شد (جدول ۴). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق افزایش تنش خشکی موجب شد تا میزان اسانس در ریحان (Ghaemi et al., 2019) و بادرشبو (Safikhani et al., 2007) نیز افزایش یابد که دلیل این امر را می‌توان چنین بیان کرد که اسانس‌ها از جمله متابولیت‌های ثانویه گیاه بوده که در شرایط تنش جهت محافظت از گیاه ساخته می‌شوند و از عمل اکسیداسیون سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Baher Nik et al., 2017).



شکل ۵. اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و کاربرد کیتوزان بر میزان هیدروژن پراکسید مرزه

Fig. 5. Interaction of different levels of soil moisture and chitosan application on the amount of hydrogen peroxide of *Satureja hortensis*

شاخص‌های رشدی، محتوای نسبی آب در گیاه و همچنین باعث کاهش اثرات مخرب نشت الکترولیت، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و هیدروژن پراکسید در مرزه شد؛ اما کاربرد ۲ گرم در لیتر کیتوزان باعث افزایش میزان پرولین و میزان اسانس در گیاه شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد کیتوزان به دلیل کاهش اثرات مخرب حاصل از تنش خشکی باعث بهبود رشد در مرزه شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی با کیتوزان به‌ویژه ۰/۵ گرم در لیتر آن باعث بهبود تحمل گیاه مرزه به شرایط تنش خشکی گردید.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه تنش خشکی اثر منفی بر شاخص‌های رشدی و محتوای نسبی آب در گیاه مرزه داشت؛ اما با کاهش رطوبت خاک سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده از جمله میزان اسانس، نشت الکترولیت، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و هیدروژن پراکسید در گیاه با افزایش همراه بود. به نظر می‌رسد با افزایش مقدار پرولین، گیاه خود را برای مقابله با شرایط تنش خشکی آماده می‌کند. محلول‌پاشی با کیتوزان به‌ویژه کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر منجر به بهبود

منابع

- Abbasi, A.R., Sarvestani, R., Mohammadi, B., Bagheri, A., 2014. Drought stress-induced changes at physiological and biochemical levels in some common vetches (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16, 505-516. [In Persian with English Summary].
- Abdalla, M.M., 2011. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 2, 207-220.
- Abdelaal, Kh.A.A., EL-Maghraby, L.M., Elansary, H., Hafez, Y.M., Ibrahim, E.I., El-Banna, M., El-Esawi, M., Elkelish, A., 2020. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronomy*. 10, 1-26.
- Abu-Muriefah, S., 2013. Effect of chitosan on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under water stress conditions. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 3, 192-199.
- Akakuru, O.U., Louis, H., Amos, P.I., Akakuru, O.C., Nosike, E.I., Ogulewe E.F., 2018. The chemistry of chitin and chitosan justifying their nanomedical utilities. *Biochemical and Pharmacology*. 7, 241- 247.
- Akrami Nejad, O., Saffari, M., Abdolshahi, R., 2015. Effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil of two ecotypes of savory (*Satureja hortensis* L.) under normal and drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13, 675-686. [In Persian with English Summary].
- Alaghmand, A., khaghani, S., Bihamta, M., Gomarian, M., Ghorbanpour, M., 2020. Effect of chitosan and nano-chitosan on agronomic properties and omega-3, 6 and 9 fatty acids in some cultivars of *Nigella sativa* L. under drought stresscondition. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 7, 83-96. [In Persian with English Summary].
- Alinejadian Bidabadi, A., Jorooni, E., Barzegar, A., Maleki, A., 2016. The effect of different irrigation levels on water use efficiency on the basis of maize grain and soil moisture variations. *Water and Irrigation Management*. 6, 47-59.
- Anjum, SA., Ashraf, U., Tanveer, M., Khan, I., Hussain, S., Shahzad, B., Wang, LC., 2017. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. *Frontiers of Plant Science*. 8, 1-11
- Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gercek, V., Sahin, A., 2005. Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L.) utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L.(Link.) seedlings propagation. In *International Symposium on Growing Media*. 779, 583-590.
- Babaei Aghjedarband, F., Jamshidi, S., Nourafcan, H., 2018. The effect of chitosan and ascorbic acid foliar spraying on coneflower vegetative and reproductive indices. *Agroecology Journal*. 14, 3. 39-47.
- Baher Nik, Z., Rezaii, M., Ghorbanli, M., Asgari, F., Araghi, M., 2004. Research on the changes of metabolism in response to water stress in *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 20, 263-275. [In Persian with English Summary].
- Bashan, Y., de-Bashan, L.E., 2005. Fresh-weight measurements of roots provide inaccurate estimates of the effects of plant growth-promoting bacteria on root growth: a critical examination. *Soil biology and biochemistry*. 37, 1795-1804.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for waterstress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Berliana, A.I., Kuswandari, C.D., Retmana, B.P., Putrika, A., Purbaningsih, S., 2020. Analysis of the potential application of chitosan to improve vegetative growth and reduce transpiration rate in *Amaranthus hybridus*. *Earth and Environmental Sciences*. 481, 012021.
- Bistgani, Z.E., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A.G., Hashemi, M., 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*. 5, 407-415. [In Persian with English Summary].
- Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G.S., Nichols, E.J., 2001. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 107, 167-175.

- Chaturvedi, A.K., Mishra, A., Tiwari, V., Jha, B., 2012. Cloning and transcript analysis of type 2 metallothionein gene (SbMT-2) from extreme halophyte *Salicornia brachiata* and its heterologous expression in *E. coli*. *Gene*. 499, 280-287.
- Cheng, L., Han, M., Yang, L.M., Yang, L., Sun, Z., Zhang, T., 2018. Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress. *Industrial Crops and Products*. 122, 473-482.
- Cherki, G.H., Foursy A., Fares, K., 2002. Effects of salt stress on growth inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47, 39-50.
- Daneshmand, F.M., Arvin, J., Kalantari, K., 2009. Effect of acetylsalicylic acid (aspirin) on Salt and osmotic stress tolerance in *Solanum bulbocastanum* in vitro enzymatic antioxidants. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 6, 92-99.
- Davey, M.W.E., Stals, B., Panis, J., Keulemans, R.L., 2005. High throughput determination of malon dialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*. 347, 201-207.
- de Oliveira Maia Junior, S., de Andrade, J.R., dos Santos, C.M., Silva, A.L.J., Endres, L., Silva, J.V., dos Santos Silva, L.K., 2020. Osmoregulators' accumulation minimizes the effects of drought stress in sugarcane and contributes to the recovery of photochemical efficiency in photosystem II after rewatering. *Acta Physiologiae Plantarum*. 42, 1-11.
- Deeba, F., Pandey, A.K., Ranjan, S., Mishra, A., Singh, R., Sharma, Y.K., Shirke, P.A., Pandey, V., 2012. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 53, 6-18.
- Dehghani, M., Naeemi, M., Gholamali Alamdari, E., Jabari, H., 2019. Effects of chitosan foliar application on quantitative and qualitative characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 35, 121-133. [In Persian with English Summary].
- Dzung, N.A., Khanh, V.T.P., Dzung, T.T., 2011. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymers*. 84, 751-755.
- El-Banna, M.F., Abdelaal, Kh.A.A., 2018. Response of strawberry plants grown in the hydroponic system to pretreatment with H₂O₂ before exposure to salinity stress. *Journal of Plant Production Mansoura University*. 9, 989-1001.
- Elewa, T.A., Sadak, M.S., Saad, A.M., 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Biosciences Research*. 14, 21-33.
- Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W., He, X., 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two *Adonis* species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*. 259, 108795.
- Ghaemi, M., Zare, Z., Nasiri, Y., 2019. Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth and development. *Developmental Biology*. 11, 15-26. [In Persian with English Summary].
- Gohari, G., Bahrami, M., 2020. Effects of chitosan as growth elicitor on some growth parameters and essential oils yield of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 30, 155-169. [In Persian with English Summary].
- Guan, YJ., Hu, J., Wang, XJ., Shao, CX., 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Zhejiang University Science*. 10, 427-433.
- Hafez, Y.M., Mourad, R.Y., Nasr, E.B., Kotb, A., Abdelaal, Kh.A., Ghazy, A.I., Al-Ateeq, T.K., Ibrahim, E.I., Mohammed, A.A., 2020. Biochemical and molecular characterization of non-host resistance keys in food crops. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27, 1091-1099.
- Haghighi, M., Masoumi, Z., Jalali, S.A.H., 2020. Changing the physiological response and water relationships in sweet pepper when stopping the activity of root aquaporin in drought stress. *Journal of Plant Process and Function*. 9, 275-287. [In Persian with English Summary].
- Hajhashemi, V., Sadraei, H., Ghannadi, A.R., Mohseni, M., 2000. Antispasmodic and anti-diarrhoeal effect of *Satureja hortensis* L.

- essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*. 71, 187-192.
- Harish Prashanth, K.V., Dharmesh, S.M., Jagannatha Rao, K.S., Tharanathan, R.N., 2007. Free radical-induced chitosan depolymerized products protect calf thymus DNA from oxidative damage. *Carbohydr. Research*. 342, 190-195.
- Hassanselim, A.F., Fathiel-Nady, M., 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. *Acta Astronautica*. 69, 387-396
- Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D., Hemantaranjan, A., 2019. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 25, 313-326.
- Kafi, M., Borzouey, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2009. Environmental stress physiology of plants. *Jahad Daneshgahi Mashhad press*, 504p. [In Persian].
- Katiyar, D., Hemantaranjan, A., Singh, B., 2015. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*. 20, 1-9.
- Khaje, H., Naderi, S., 2014. The effect of chitosan on some antioxidant enzymes activities and biochemistry characterization in melissa (*Melissa officinalis*). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*. 1, 100-117. [In Persian with English Summary].
- Khalil, S.E., Abd El- Aziz, N.G., Abou Leila, B.H., 2010. Effect of water stress, ascorbic acid and spraying time on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *Journal of American Science*. 6, 33-44.
- Koffler, B.E., Luschin-Ebengreuth, N., Stabentheiner, E., Müller, M., Zechmann, B., 2014. Compartment specific response of antioxidants to drought stress in *Arabidopsis*. *Plant Sciences*. 227, 133-144.
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., Becker, D.F., 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling*. 19, 998-1011.
- Lim, C.W., Baek, W., Jung, J., Kim, J.H., Lee, S.C. 2015. Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. *International Journal of Molecular Sciences*. 16, 15251-15270.
- Malekpoor, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Salimi, A., Momtaz, H., 2017. Effects of chitosan on gene expression of chavicol-O-methyl transferase and phenylpropanoid components of *Ocimum basilicum* (*purple cultivar*) under water deficit. *Journal of Cellular and Molecular Research*. 30, 282-294. [In Persian with English Summary].
- Malerba, M., Cerana, R., 2016. Chitosan effects on plant systems. *International journal of molecular sciences*. 17, 996-1010.
- Mohasseli, V., Sadeghi, S., 2019. Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*. 130, 130-136.
- Mosapour Yahyaabadi, H., Asgharipour, M.R., 2016. Effects of drought stress and its interaction with silicon on stimulates the antioxidant system and lipid peroxidation in fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Plant Process and Function*. 5, 16.71-84.
- Moussa, H., Abdel-Aziz, S.M., 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*. 1, 31-36.
- Muchate, N.S., Nikalje, G.C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P., Nikam, T.D., 2016. Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*. 82, 371-406.
- Noora, R., Safahani, A., 2020. Alleviatory activities of salicylic acid and chitosan in burdock plant (*Arctium lappa* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 14, 39-56. [In Persian with English Summary].
- Novak, J., Bahoo, L., Mitteregger, U., Franz, C., 2006. Composition of individual essential oil glands of savory (*Satureja hortensis* L., Lamiaceae) from Syria. *Flavour and Fragrance Journal*. 21, 731-734.
- Omara, R.I., El-Kot, G.A., Fadel, F.M., Abdelaal, Kh.A.A., Saleh, E.M., 2019. Efficacy of certain bioagents on patho-physiological characters of wheat plants under wheat leaf rust stress. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 106, 102-108.
- Rinaudo, M., 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in polymer science*. 31, 603-632.

- Saedi, F., Sirousmehr, A., Javadi, T., 2020. Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research*. 33, 35-45. [In Persian with English Summary].
- Safikhani, F., Heydari sharifabad, H., Syadat, A., Sharifi Ashorabadi, E., Syednedjad, S. Abbaszadeh, B., 2007. The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. [In Persian with English Summary].
- Sagisaka, S., 1976. The occurrence of peroxide in a perennial plant, *Populus gelrica*. *Plant Physiology*. 57, 308-309.
- Sanchez Rodriguez, E., Rubio Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*. 178, 30-40.
- Shehzad, M.A., Nawaz, F., Ahmad, F., Ahmad, N., Masood, S., 2020. Protective effect of potassium and chitosan supply on growth, physiological processes and antioxidative machinery in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Ecotoxicology and environmental safety*. 187, 109841.
- Sheikh-Mohamadi, M-H., Etemadi, N., Nikbakht, A., Farajpour, M., Arab. M., Majidi MM., 2018. Wheatgrass germination and seedling growth under osmotic stress. *Agronomy Journal*. 110, 572-585.
- Sodaii zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, AM., Hakimzadeh, M.A., 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of Plant Process and Function*. 5, 1-12. [In Persian with English Summary].
- Taheri, F., 2015. Effect of Chitosan foliar application on quantitative and qualitative traits of Ajowan (*Carum copticum* L.) under drought stress. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. [In Persian with English Summary].
- Teutonica, RA., Palta, JP., Osbom, TC., 1993. In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. *Crop Science*. 33, 103-107.
- Todaka, D., Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., 2015. Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. *Frontiers in Plant Science*. 6, 2-20.
- Uthairatanakij, A., Teixeira da Silva, J.A., Obsuwan, K., 2007. Chitosan for improving orchid production and quality. *Orchid Science and Biotechnology*. 1, 1-5.
- Weisipoor, A., Majidi, M. M., Mirlohi, A., 2012. Traits relationship in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under normal and water stress conditions. *Journal of Field Crop Science*. 42,745-756. [In Persian with English Summary].
- Yadollahi Dehchechsme, P., Bagheri, A., Amiri, A., Esmailzade Bahabadi, S., 2014. Effect of drought tension and chitosan foliar application on yield and photosynthetic pigments of sunflower (*Heliantus unnuus* L.). *Crop Physiology Journal*. 21, 73-83.
- Zhang, S.H., Xu, X.F., Sun, Y.M., Zhang, J.L., Li, C.Z., 2018. Influence of drought hardening on the resistance physiology of potato seedlings under drought stress. *Journal of Integrative Agriculture*. 17, 336-347