

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر بنتونیت بر صفات بیوشیمیایی و محتوای رطوبت نسبی مرزه (*Satureja hortensis*) تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

فریبا محمدی فرد^۱ و محمد مقدم^{۲*}

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد بنتونیت در سطوح مختلف رطوبت خاک آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۳ تکرار در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد بر روی گیاه مرزه اجرا شد. فاکتور اول کاربرد بنتونیت در ۳ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ گرم در کیلوگرم خاک) و فاکتور دوم سطوح مختلف رطوبت خاک در ۳ سطح (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ و زیست توده تر و خشک اندام هوایی در مرزه شد؛ این در حالی بود که کاربرد بنتونیت باعث بهبود صفات ذکر شده گردید. در طی تنش خشکی مقدار زیست توده تر و خشک ریشه، طول ریشه، نشت الکترولیت، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنول کل و میزان پرولین روندی صعودی داشتند. کاربرد بنتونیت موجب شد که این صفات بهبود یابند. به طوری که در بالاترین سطح تنش خشکی کاربرد بنتونیت (۵۰ گرم در کیلوگرم خاک) باعث کاهش نشت الکترولیت (۲۲/۴۵ درصد) و پرولین (۵۸/۳۳ درصد) در گیاه شد. همچنین محتوای نسبی آب برگ در شرایط کاربرد بنتونیت (به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک) در بالاترین سطح تنش خشکی به ترتیب به میزان ۲۰/۷۵ و ۲۲/۷۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ۵۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک در شرایط تنش خشکی تأثیر بهتری بر روی صفات مورد بررسی داشت و کاربرد آن در این شرایط توصیه می شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع گیاه، سوپر جاذب، طول ریشه، نشت الکترولیت

مقدمه

(Yazdanpanah et al., 2011). این گیاه بومی نواحی جنوب اروپا، آناتولی، قفقاز، عراق و غرب ایران است (Novak et al., 2006). مرزه یکی از گیاهان دارویی پرمصرف و پرکاربرد است. از این گیاه برای درمان دردهای عضلانی، حالت تهوع، بیماری‌های عفونی و اسهال استفاده می‌شود و همچنین هضم-کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، ضد درد، ضد سرطان، محرک و مقوی معده است (Hajhashemi et al., 2000). از اسانس مرزه به عنوان عامل ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدان در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌گردد (Hadian et al., 2010).

گیاهان در طول فصل رشد در معرض انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند که باعث واکنش‌های فیزیولوژیکی در آن‌ها می‌شوند (Tas and Tas, 2007).

مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاه علفی یک یا چندساله و جزء گیاهان معطر متعلق به خانواده نعناعیان (*Lamiaceae*) است که دارای تعداد زیادی ساقه به طول ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است که رنگ آن‌ها تیره‌تر از برگ‌ها است. ساقه‌ها و شاخه‌ها معمولاً با کرک پوشیده شده‌اند. دارای گل‌آذین گرزنی بوده، گل‌ها در محور برگ‌های بالایی ظاهر می‌شوند، گل‌ها نر و ماده بوده و به رنگ‌های سفید تا ارغوانی دیده می‌شوند

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲ دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (* نویسنده مسئول: m.moghadam@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۹

بتنویت سدیک به دلیل داشتن سدیم زیاد و یون‌های قابل تعویض، از ظرفیت بالایی برای متورم شدن و ژل شدن در هنگام افزودن آب برخوردار است. بتنویت دارای ظرفیت جذب آب نسبتاً بالایی است و این قابلیت در نوع سدیم از انواع دیگر بیشتر است (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۳). این تحقیق باهدف بررسی ماده معدنی بتنویت به‌عنوان یک نوع سوپر جاذب طبیعی در کمک به کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی از طریق تأمین رطوبت موردنیاز گیاه انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند منجر به کاربرد صحیح سوپر جاذب‌ها به‌عنوان راهکاری مناسب برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان مطرح گردد.

مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی تأثیر سوپر جاذب بتنویت بر روی گیاه مرزه در حضور سطوح مختلف رطوبت خاک آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور و در ۳ تکرار در گلخانه گروه علوم باغبانی (دمای 25 ± 3 و 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد به ترتیب در روز و شب و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۶۰ تا ۸۰ درصد) دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. فاکتور اول کاربرد بتنویت در ۳ سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ گرم در یک کیلوگرم خاک) و فاکتور دوم سطوح مختلف رطوبت خاک در ۳ سطح (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها شامل خاک زراعی، خاک برگ و ماسه به‌نسبت ۱:۱:۱ بود. قبل از کاشت گیاه سطوح مختلف بتنویت به خاک موردنظر اضافه گردید. بذرها 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 تنش خشکی، هنگامی که گیاه در مرحله‌ی ۸-۶ برگی بود صورت گرفت. ابتدا محتوای آب گلدان را به حد ظرفیت زراعی رسانده سپس با کمک دستگاه رطوبت‌سنج (EXTECH MO75, USA) تیمارهای موردنظر اعمال گردید. در طول دوره رشد گیاهان کلیه اعمال زراعی شامل دفع

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که بر روی رشد و تولید محصولات در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Blum, 2011). کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی است. در پژوهشی که بر روی سه گونه نعنای در شرایط تنش خشکی انجام شد، نتایج بیانگر این مطلب بود که با کاهش رطوبت خاک تعداد و طول شاخه‌ها، تعداد برگ و طول استولون در هر سه گونه نعنای کاهش پیدا کردند (نظامی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در پژوهشی که بر روی گیاه دارویی کتان در شرایط تنش خشکی صورت گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان ترکیبات فنولی در گیاه افزایش پیدا کرد (قربانلی و همکاران، ۱۳۹۰). پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌ها است که در گیاهانی که در معرض تنش خشکی هستند انباشته می‌شود (Jogawat et al., 2019). در مطالعه‌ی که بر روی گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی صورت گرفت، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میزان پرولین در گیاه در طی تنش افزایش پیدا کرد (سودایی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). در مناطق خشک، محور کشاورزی آب است، بنابراین همگرایی کلیه عملیات کشاورزی باید به‌منظور استفاده بهینه از آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی باشد. با توجه به نقش مدیریتی استفاده از برخی اصلاح‌کنندگان مانند هیدروژل‌های سوپر برای استفاده بهینه از آب در کشاورزی، به‌منظور افزایش بازده محصول در شرایط تنش کمبود آب ضروری است، هیدروژل‌های سوپر جاذب، به‌شدت آب‌دوست و از ظرفیت جذب آب بالایی برخوردار هستند که در شرایط بحرانی آب و مواد غذایی محلول را در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند. اضافه کردن آب و مواد نگهدارنده مواد غذایی به بستر می‌تواند در کاهش پسماندهای مواد غذایی و کاهش هزینه‌های تولید کمک کند. بتنویت یکی از سوپر جاذب‌های طبیعی است که از ظرفیت جذب آب نسبتاً بالایی برخوردار است و همچنین از شسته شدن مواد معدنی در خاک جلوگیری کرده و به حاصلخیزی خاک کمک می‌کند (Tas and Tas., 2007). بتنویت به سه شکل پتاسیک، سدیک و کلسیک موجود است.

محتوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر بدون یون منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس میزان هدایت الکتریکی آن‌ها به عنوان نشأت اولیه اندازه‌گیری شد. نشأت 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).

$$Ec = \frac{Ec_1}{Ec_2} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه Ec_1 نشأت اولیه و Ec_2 نشأت ثانویه است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از آزمون (2,2-Diphenyl-Picryl-Hydrazyl) انجام شد (Moon and Terao, 1998).

فنول کل

جهت تعیین میزان فنول کل موجود در عصاره متانولی تهیه شده از برگ گیاه از معرف فولین سیکالتو برای اندازه‌گیری استفاده شد. مقدار جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله کالیبره کردن منحنی استاندارد با گالیک اسید صورت گرفت (Singleton et al., 1965).

پرولین

به منظور اندازه‌گیری پرولین از روش بتیس (Bates et al., 1973) استفاده و سپس میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Bio Quest C250) خوانده شد.

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

نتایج و بحث

علف‌های هرز به طور یکنواخت در بین تیمارها صورت گرفت. اندازه‌گیری تمامی صفات در مرحله گلدهی صورت گرفت. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، طول ریشه، زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب برگ، نشأت الکترولیت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و پرولین بود. ارتفاع گیاه و طول ریشه در مرحله گلدهی و پس از برداشت گیاهان (انتخاب ۳ بوته به طور تصادفی در هر گلدان) با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری گردید.

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 به مدت ۴۸ ساعت به آونی 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 شده و پس از این زمان وزن تورژسانس نمونه قرائت شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در پایان وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری و از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Cherki et al., 2002).

$$RWC = \frac{(Ww - Wd)}{(Wt - Wd)} \quad (1)$$

که در این رابطه Ww وزن تر، Wd وزن خشک و Wt وزن تورژسانس است.

نشأت الکترولیت

میزان پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشأت الکترولیتی برگ ارزیابی می‌شود. برای این منظور نمونه‌های برگ با آب مقطر بدون یون شسته شده و به شیشه‌های درب‌دار

ارتفاع گیاه

نتیجه تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده و متقابل بنتونیت و سطوح مختلف رطوبت خاک بر روی ارتفاع گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با کاهش رطوبت خاک ارتفاع گیاه مرزه کاهش پیدا کرد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به مقدار ۵۳/۶۴ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع گیاه در تیمار ۱۰۰ گرم بنتونیت در یک کیلوگرم خاک و رطوبت ۵۰٪ ظرفیت زراعی به‌میزان ۴۱/۵۸ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۲). در پژوهش‌هایی که اکرمی‌نژاد و همکاران و سودایی‌زاده و همکاران بر روی گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی انجام دادند، مشاهده کردند تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری ارتفاع در این گیاه شد (اکرمی‌نژاد، ۱۳۹۲؛ سودایی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از نتایج تنش خشکی، کاهش رشد سلولی و در نهایت کاهش ارتفاع گیاه است و هرچه زمان استرس طولانی‌تر باشد، اثرات آن واضح‌تر خواهد بود (Ayan et al., 2005). به‌طوری‌که در این تحقیق اختلافی به میزان ۱۵/۲۱ درصد بین کمترین سطح رطوبت خاک (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. کاربرد ۵۰ گرم در یک کیلوگرم خاک بنتونیت در بالاترین سطح تنش (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث افزایش ارتفاع گیاه به میزان ۳/۵۱ درصد در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) شد؛ اما کاربرد ۱۰۰ گرم در یک کیلوگرم بنتونیت باعث کاهش ارتفاع گیاه شد، به‌طوری‌که ارتفاع گیاه در بالاترین سطح تنش (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) به میزان ۶/۹۴ درصد کاهش پیدا کرد. به نظر می‌رسد بنتونیت با کاهش ارتفاع گیاه باعث تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود و به افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند. نتایج این پژوهش با پژوهشی که بر روی نهال‌های صنوبر در شرایط تنش خشکی و شوری و در حضور دو نوع پلیمر سوپر جاذب صورت گرفت کاملاً همخوانی دارد، نتایج بیانگر این مطلب بود که رشد بوته

در طی این تحقیق کاهش پیدا کرد (Shi et al., 2010).

طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده بنتونیت و سطوح مختلف رطوبت خاک بر طول ریشه گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج جدول مقایسه میانگین بیانگر این مطلب بود که کاهش رطوبت خاک باعث افزایش طول ریشه در گیاه مرزه شد، به‌طوری‌که در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با افزایشی به میزان ۴/۷۸ درصد همراه بود (جدول ۲). نتایج بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه دارویی سرخارگل نشان داد که طول ریشه گیاه در بالاترین سطح تنش (۶۰ درصد تخلیه رطوبت) نسبت به شاهد (۲۰ درصد تخلیه رطوبت) به میزان ۷۴ درصد با افزایش همراه بود (درویزه و همکاران، ۱۳۹۸) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها کاربرد بنتونیت باعث کاهش طول ریشه در گیاه شد. به‌طوری‌که کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ گرم در کیلوگرم خاک بنتونیت در سطح رطوبت ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بنتونیت) به‌ترتیب به میزان ۲/۵۵ و ۱۱/۱۸ درصد کاهش همراه بود. به نظر می‌رسد که بنتونیت با فراهم کردن رطوبت لازم برای گیاه از رشد ریشه جلوگیری می‌کند (Yang and Miao, 2010).

زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثرات متقابل بنتونیت و سطوح مختلف رطوبت خاک بر روی زیست‌توده تر (در سطح احتمال پنج درصد) و خشک (در سطح احتمال یک درصد) اندام هوایی و ریشه معنی‌دار شد. نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که مقدار زیست‌توده تر اندام هوایی در طی تنش خشکی با کاهش، در صورتی‌که مقدار زیست‌توده تر ریشه در زمان تنش خشکی با افزایش همراه بود؛

داد که با افزایش تنش خشکی میزان زیست توده تر و خشک اندام هوایی در گیاه کاهش پیدا کرد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. طبق نتایج جدول مقایسه میانگین بالاترین مقدار زیست توده تر (۱۵/۸۶ گرم در بوته) و خشک (۳/۶۱ گرم در بوته) اندام هوایی در کاربرد بنتونیت ۱۰۰ گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۲).

ولی در مقدار زیست توده خشک اندام هوایی و ریشه تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تنش خشکی یکی از تنش های مهم محیطی است که بر متابولیسم و رشد گیاه تأثیر منفی می گذارد (Sheikh-Mohamadi et al., 2018) و منجر به کاهش عملکرد و مرگ گیاه می شود (Zhang et al., 2018). نتایج تحقیقی که بر روی گیاه مرزه ریشنگری (*rechingeri L.*) (*Satureja*) در شرایط تنش خشکی انجام گرفت، نتایج نشان

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر بنتونیت بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	طول ریشه	زیست توده خشک ریشه	زیست توده تر ریشه	زیست توده خشک اندام هوایی	زیست توده تر اندام هوایی
بنتونیت	۲	۱۳۲/۰۴**	۲۶۵/۰۳**	۰/۰۱۶۶۳**	۱/۰۰۱**	۰/۴۱**	۱۰/۶۱**
تنش خشکی	۲	۳۶/۱۴**	۳۵/۹**	۰/۰۰۰۵۴**	۰/۱۳۳*	۰/۰۲**	۰/۵۷**
بنتونیت × تنش خشکی	۴	۱۲/۱۱**	۲/۶۶*	۰/۰۰۰۵۳**	۰/۰۷*	۰/۰۸**	۰/۲۲*
خطا	۱۸	۰/۰۲۱	۰/۱۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۵

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر بنتونیت بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت سطوح مختلف رطوبت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	فنول کل	فعالیت آنتی اکسیدانی	نشست الکتروولیت	محتوای نسبی آب برگ
بنتونیت	۲	۰/۰۲۱**	۱۷/۸۶**	۰/۱۳۱۷۸**	۱۱۸/۱۲**	۱۱/۴۷*
تنش خشکی	۲	۰/۰۱۴**	۵۸/۰۱**	۰/۰۰۷۳۳۵**	۳۳/۵۲**	۲۳/۹**
بنتونیت × تنش خشکی	۴	۰/۰۲۹**	۱/۰۲**	۰/۰۰۲۲۹۷**	۳۴/۹۱**	۸۹/۵۵**
خطا	۱۸	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۴۸۷	۱/۹۹

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر بنتونیت بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه تحت تنش خشکی

زیست توده تر ریشه (گرم در گیاه)	زیست توده خشک اندام هوایی (گرم در گیاه)	زیست توده تر اندام هوایی (گرم در گیاه)	طول ریشه (سانتی متر)	ارتفاع (سانتی متر)	تنش خشکی (در کیلوگرم)	بنتونیت (گرم)
۱/۰۴ ^c	۳/۲۱ ^c	۱۳/۶۵ ^c	۹۳/۲۵ ^b	۵۳/۶۴ ^a	۱۰۰	۰
۱/۵۸ ^a	۳/۱۳ ^{cd}	۱۲/۹۷ ^d	۹۶/۷۸ ^a	۵۱/۴۹ ^b	۷۵	۰
۱/۴۹ ^b	۳/۰۴ ^d	۱۳/۴۷ ^{cd}	۹۷/۷۱ ^a	۴۵/۴۸ ^d	۵۰	۰
۰/۸۶ ^e	۳/۱۱ ^{cd}	۱۳/۶۳ ^c	۹۰/۸۷ ^c	۴۶/۴۴ ^c	۱۰۰	۰
۰/۸۷ ^e	۳/۵۱ ^b	۱۳/۵۷ ^{cd}	۹۱/۲۳ ^c	۴۵/۲۵ ^d	۷۵	۵۰
۰/۹۵ ^d	۳/۱۵ ^c	۱۳/۷۸ ^c	۹۳/۳۹ ^b	۴۵/۰۹ ^d	۵۰	۵۰
۰/۶۷ ^g	۳/۵۶ ^{ab}	۱۵/۱۴ ^b	۸۲/۸۲ ^f	۴۴/۰۵ ^e	۱۰۰	۱۰۰
۰/۷۶ ^f	۳/۴۶ ^b	۱۵/۱ ^b	۸۴/۸۴ ^e	۴۲/۱۷	۷۵	۱۰۰
۰/۷۵ ^f	۳/۶۱ ^a	۱۵/۸۶ ^a	۸۷/۸۳ ^d	۴۱/۵۸ ^g	۵۰	۵۰

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

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر بنتونیت بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مرزه تحت تنش خشکی

بنتونیت	تنش خشکی	زیست توده خشک ریشه	محتوای نسبی آب برگ	نشست الکترولیت	فعالیت آنتی اکسیدانی	فنول کل
(گرم در کیلوگرم)		(گرم در گیاه)	(%)	(%)	(%)	(میلی گرم در گرم وزن تر برگ)
.	۱۰۰	۰/۳۳ ^a	۶۶/۶۹ ^{ab}	۷/۵۲ ^{de}	۰/۵۷۶ ^f	۲۲/۸۳ ^b
	۷۵	۰/۳۱ ^{ab}	۶۹/۰۱ ^a	۹/۵۳ ^{cd}	۰/۵۸۴ ^e	۲۵/۹۷ ^c
	۵۰	۰/۳۳ ^a	۵۵/۰۰ ^d	۱۲/۷۴ ^b	۰/۶۵۱ ^d	۲۸/۲۳ ^c
۵۰	۱۰۰	۰/۲۸ ^c	۶۷/۳۱ ^{ab}	۶/۵۳ ^e	۰/۷۴۸ ^c	۲۵/۴۲ ^f
	۷۵	۰/۲۶ ^d	۶۲/۰۲ ^c	۵/۶۶ ^e	۰/۸۳۴ ^a	۲۹/۹۱ ^a
	۵۰	۰/۲۹ ^{bc}	۶۶/۴۱ ^{ab}	۹/۸۸ ^e	۰/۸۱۹ ^b	۲۹/۹۳ ^a
۱۰۰	۱۰۰	۰/۲۱ ^e	۶۳/۹۲ ^{bc}	۱۹/۵۵ ^a	۰/۸۱۴ ^b	۳۳/۸ ^g
	۷۵	۰/۲۵ ^d	۶۵/۷ ^{abc}	۱۰/۱۳ ^c	۰/۸۲۱ ^b	۲۷/۰۹ ^d
	۵۰	۰/۲۴ ^d	۶۷/۵۲ ^{ab}	۱۳/۸۵ ^b	۰/۸۳۶ ^a	۲۸/۵۶ ^b

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

به طوری که کمترین مقدار (۵۵٪) آن در عدم کاربرد بنتونیت و رطوبت ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک مشاهده گردید که در مقایسه با شاهد (بدون بنتونیت و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی خاک) با کاهش به میزان ۱۱۷/۵۳٪ همراه بود. نتایج این پژوهش با تحقیقی که بر روی گیاه چیا (*Salvia hispanica L.*) در شرایط تنش خشکی صورت گرفت کاملاً همخوانی دارد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۸).

از میان عواملی مانند محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ و پتانسیل تورژسانس گیاه، محتوای نسبی آب برگ به عنوان بهترین معیار اندازه گیری واکنش گیاه به تنش خشکی معرفی شده است زیرا محتوای نسبی آب برگ به طور مستقیم وضعیت آب گیاهان را منعکس می کند (Yazdanpanah et al., 2011). سطوح مختلف بنتونیت در مقایسه با شاهد از محتوای نسبی آب برگ بیشتری برخوردار بودند؛ هرچند از نظر آماری بین سطوح بنتونیت اختلاف معنی داری مشاهده نشد. محتوای نسبی آب برگ یک شاخص مناسب برای تعیین حساسیت و تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی محسوب می شود (Sanchez-Rodriguez et al., 2010).

علت افزایش زیست توده تر و خشک اندام هوایی در شرایط کاربرد بنتونیت را این گونه می توان بیان کرد که کاربرد بنتونیت باعث بهبود ویژگی های فیزیکی بستر شد (عابدی کوپایی و مسفروش، ۱۳۸۶) و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس برای گیاه را افزایش می دهد (Yang and Miao, 2010)؛ اما کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ گرم در کیلوگرم خاک بنتونیت باعث کاهش زیست توده تر (به ترتیب ۳۶/۲۴ و ۴۹/۶۶ درصد) و خشک (۸/۵۲ و ۲۴/۹۲ درصد) ریشه در گیاه شد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات متقابل سطوح مختلف بنتونیت و رطوبت خاک و اثر ساده رطوبت خاک بر محتوای نسبی آب برگ گشنیز در سطح احتمال یک درصد، ولی اثر ساده بنتونیت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها (جدول ۲) نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، محتوای نسبی آب برگ مرزه به طور معنی داری کاهش پیدا کرد.

تنش خشکی منجر به افزایش نشت غشاء در گیاه شد (اکرمی‌نژاد، ۱۳۹۲). نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب بود که کاربرد ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک بنتونیت باعث کاهش اثرات تنش رطوبتی در گیاه شد. در پژوهشی که بر روی گیاه شاهدانه (درویژه و همکاران، ۱۳۹۸) تحت شرایط تنش خشکی و زئولیت صورت گرفت، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان نشت الکترولیت شد؛ ولی کاربرد زئولیت باعث کاهش میزان نشت الکترولیت در گیاه شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

آنالیز آماری نشان داد که اثرات متقابل و ساده بنتونیت و رطوبت خاک بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین مقدار (۰/۸۳۶ درصد) فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۵۰٪ ظرفیت زراعی و کاربرد ۱۰۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک مشاهده شد، درحالی‌که کمترین مقدار (۰/۵۷۶ درصد) فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۲).

نتایج نشان داد که با کاهش رطوبت خاک میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش پیدا کرد، به طوری‌که در بالاترین سطح تنش (۵۰٪ ظرفیت زراعی) نسبت به شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) با افزایش ۱۴/۲۱ درصدی همراه بود. واکنش آنتی‌اکسیدانی یک پروسه مهم برای محافظت از گیاهان در برابر آسیب‌های اکسیداتیو است که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی پدیدار می‌شود (۲۸) که خود دلیل افزایش این ترکیبات در این پژوهش است. گرگینی شینکاره و همکاران (۱۳۹۶) در طی پژوهشی که بر روی گیاه مرزه انجام دادند، به این نتیجه دست یافتند که در طول تنش خشکی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز در گیاه روندی صعودی دارد به طوری‌که در بالاترین سطح تنش (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به میزان ۲۰/۰۷ درصد افزایش پیدا کردند. در مطالعه حاضر نشان داده شد که کاربرد بنتونیت باعث افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در مرزه شد، به طوری‌که در بالاترین سطح تنش به میزان ۲۵/۸۱ و

پژوهش‌هایی که بر روی گیاه کاهو (ولی‌زاده قلعه بیگ و همکاران، ۱۳۹۴) در شرایط تنش خشکی و بنتونیت و همچنین گیاه شاهدانه (بهادر و همکاران، ۱۳۹۶) تحت تنش خشکی و زئولیت انجام گرفت نیز همین نتایج حاصل گردید.

نشت الکترولیت

پایداری غشای سلولی به‌عنوان شاخص تحمل به تنش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Farhoudi et al., 2012). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات متقابل و ساده بنتونیت و رطوبت خاک بر نشت الکترولیت برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۲) نشان داد که کمترین مقدار نشت الکترولیت در کاربرد ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک بنتونیت و ۷۵٪ ظرفیت زراعی خاک به میزان ۵/۶۶ درصد و بیشترین مقدار نشت الکترولیت در کاربرد ۱۰۰ گرم در کیلوگرم خاک بنتونیت و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی خاک به میزان ۱۹/۵۵ درصد مشاهده شد. غشای سلولی اهداف اصلی تنش خشکی است و 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). تنش سبب پراکسیداسیون چربی‌های غشاء در گیاه و به دنبال آن افزایش میزان نشت در گیاه می‌شود (Daneshmand et al., 2009). در این پژوهش با افزایش سطوح تنش خشکی میزان نشت الکترولیت هم روند صعودی داشت به طوری‌که در تیمار عدم کاربرد بنتونیت و سطوح رطوبت ۷۵ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد بنتونیت و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به ترتیب به میزان ۲۶/۶۳ و ۶۹/۴۱ درصد افزایش مشاهده گردید. در بررسی که توسط معصومی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گیاه فلفل دلمه‌ای صورت گرفت، نتایج نشان داد که اثر ساده تنش خشکی باعث افزایش میزان نشت الکترولیت در گیاه شد، به طوری‌که در مقایسه با شاهد، افزایش ۹۹ درصدی مشاهده شد. اکرمی‌نژاد تأثیر تنش خشکی بر گیاه دارویی مرزه را مورد مطالعه قرار داد و گزارش کرد که اعمال

ظرفیت زراعی) در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک با افزایش ۶/۰۲ و ۱/۱۷ درصدی (به‌ترتیب کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک) همراه بود. نتایج تحقیقاتی که بر روی گیاه مرزه صورت گرفته است به نظر می‌رسد بنتونیت با تأثیر بر افزایش تولید ترکیبات فنولی به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در جهت کاهش اثرات منفی تنش در گیاهان عمل نموده است.

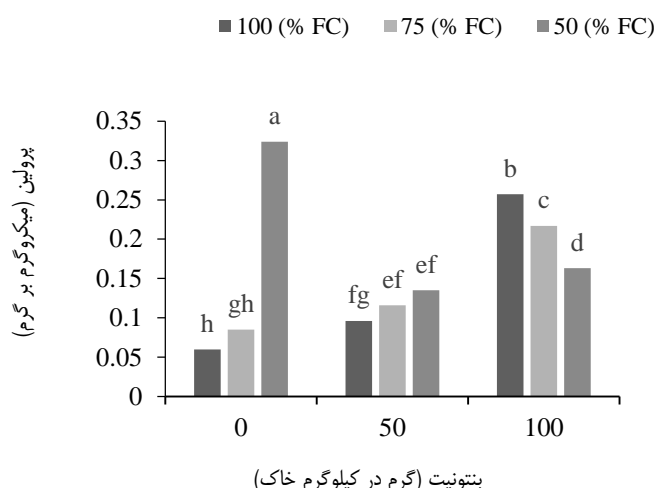
پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات متقابل و ساده سطوح مختلف بنتونیت و رطوبت خاک بر میزان پرولین برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (شکل ۱) که تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین در برگ مرزه شد، به‌طوری‌که در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با افزایشی به میزان ۴۴۰ درصد همراه بود. در مطالعات انجام‌شده بر روی گیاه خار مریم (*Silybum marianum*) در شرایط تنش خشکی، نتایج بیانگر این مطلب بود که در طی تنش متوسط و شدید خشکی میزان پرولین در گیاه افزایش پیدا کرد (Keshavarz Afshar et al., 2016). در شرایط تنش کم‌آبی، گیاه اسیدهای آمینه مانند پرولین را در سلول جذب و ذخیره می‌کند، این عمل باعث حفظ فشار آماس می‌گردد و بنابراین رشد سلول ادامه می‌یابد (Patakas et al., 2002). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد بنتونیت در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث کاهش اثر تنش در گیاه شد. به‌طوری‌که کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک در پایین‌ترین سطح رطوبت خاک (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد بنتونیت) به‌ترتیب به‌میزان ۵۸/۳۳ و ۴۹/۶۹ درصد موجب کاهش میزان پرولین در گیاه شد. نتایج این تحقیق با تحقیقی که بر روی گیاه اسفناج در شرایط تنش خشکی و کاربرد بنتونیت صورت گرفت، مطابقت دارد (Bandian et al., 2016).

۲۸/۴۲ درصد (به‌ترتیب کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک) افزایش نسبت به شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده شد. در پژوهشی که بر روی گیاه اسفناج صورت گرفت، نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی و کاربرد بنتونیت میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه روندی صعودی داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Bandian et al., 2016).

فنول کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر سطوح مختلف بنتونیت و رطوبت خاک بر میزان فنول کل برگ مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح خشکی میزان فنول کل برگ مرزه روند صعودی داشت. بیشترین مقدار فنول کل (۲۹/۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در کاربرد ۵۰ گرم بنتونیت در کیلوگرم خاک و رطوبت ۵۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین مقدار آن (۲۲/۸۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) آن در تیمار شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده شد (جدول ۲). در پژوهش‌هایی که بر روی گیاه کمای بینالودی (طاهری، ۱۳۹۴) و فلفل دلمه‌ای (معصومی و همکاران، ۱۳۹۹) صورت گرفت، مشاهده شد که در زمان تنش میزان ترکیبات فنولی در گیاه افزایش پیدا می‌کنند این ترکیبات با خواص آنتی‌اکسیدانی خود قادر به جمع‌آوری و بازیابی گونه‌های اکسیژن فعال هستند که از اکسیداسیون مولکول‌های زیستی جلوگیری کرده و مانع استرس اکسیداتیو و یا کاهش اثرات سوء آن بر سلول‌های گیاهی می‌شوند (Myung-Min et al., 2009). با توجه به نقش آن‌ها در کاهش یا مهار پراکسیداسیون لیپیدها، جارو کردن رادیکال‌های آزاد و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان ضروری در برابر اثرات منفی تنش اکسیداتیو در گیاهان در نظر گرفته می‌شوند (Ksouri et al., 2007). نتایج نشان داد که کاربرد بنتونیت باعث افزایش فنول کل در برگ گیاه شد. به‌طوری‌که نسبت به شاهد (بدون کاربرد بنتونیت و ۵۰٪



شکل ۱- اثر متقابل سطوح مختلف بنتونیت و تنش خشکی بر میزان پرولین در گیاه مرزه

دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۸۲ صفحه.

بهادر، م.، تدین، م.ر.، رفیعی الحسینی، م. و صالحی، م.ح. ۱۳۹۶. تغییرات دمای سایه‌انداز و برخی صفات فیزیولوژیک شاهدانه (*Cannabis sativa*) تحت تنش کم‌آبی و سطوح زئولیت. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۰(۲): ۲۶۹-۲۷۹.

جمشیدی، ا.م.، احمدی، ع.، کریمی، م. و متشعزاده، ب. ۱۳۹۸. بررسی برخی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی چیا (*Salvia hispanica* L.) به رژیم‌های مختلف رطوبتی. علوم گیاهی زراعی ایران. ۵(۴): ۹۹-۱۱۰.

درویش، ح.، زاهدی، م. و عباس زاده، ب. ۱۳۹۸. تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسپرین بر رشد و خصوصیات ریشه گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۸(۳۰): ۲۲۵-۲۴۲.

سودایی‌زاده، ح.، شمسایی، م.، تجملیان، م.، میرمحمدی میبدی، س. ع. م. و حکیم‌زاده، م. ع. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی. ۵(۱۵): ۱-۱۱.

نتیجه‌گیری

خشک‌سالی متداول‌ترین عامل زیست‌محیطی است که تولید گیاهان را در مناطق مختلف جهان، به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران محدود می‌کند. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی است که موجب کاهش رشد در گیاهان می‌شود. تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع، زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و محتوای نسبی آب برگ در مرزه شد. بر اساس دستاوردهای این پژوهش در شرایط تنش خشکی استفاده از سوپرجاذب بنتونیت باعث کاهش اثرات مخرب آن می‌شود که می‌تواند به‌عنوان راهکاری مدیریتی در مناطق مستعد به تنش خشکی از آن استفاده گردد. درنهایت از میان غلظت‌های به‌کاربرده شده بنتونیت، سطح ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک در شرایط تنش خشکی بهترین نتیجه را در بهبود صفات نشان داد و به‌عنوان سطح مطلوب پیشنهاد می‌گردد.

منابع

اکرمی‌نژاد، ا. ۱۳۹۲. بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های مورفولوژی، فیزیولوژیکی و اسانس دو توده مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت شرایط نرمال و تنش خشکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی

- گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۶ (۲۱): ۱۶۷-۱۵۷
- Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gercek, V. and Sahin, A. 2005. Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L.) seedlings propagation. In International Symposium on Growing Media. 779: 583-590.
- Bandian, L., Saeb, H. and Abedy, B. 2016. Effect of bentonite on growth indices and physiological traits of spinach (*Spinacia oleracea* L) under drought stress. Journal of Productivity and Development. 2(4): 1-6.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for waterstress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.
- Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited environments, Springer, New York. 258p.
- Chaturvedi, A. K., Mishra, A., Tiwari, V. and 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(2): 280-287.
- Cherki, G. H., Foursy, A. and 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(1): 39-50.
- Daneshmand, F. M., Arvin, J. and 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(1): 92-99.
- Farhoudi, R., Hussain, M. and Lee, D. J. 2012. Modulation of enzymatic antioxidants improves the salinity resistance in canola (*Brassica napus* L.) International Journal of Agriculture and Biology. 14(3): 465-468.
- Hadian, J., Ebrahimi, S. N. and Salehi, P. 2010. Variability of morphological and phytochemical characteristics among *Satureja hortensis* L. accessions of Iran. Industrial Crops and Products. 32(1): 62-69.
- Hajhashemi, V., Sadraei, H., Ghannadi, A. R. and طاهری، غ. ۱۳۹۴. اثر محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات فیزیولوژیکی کمای بینالودی (*Ferula flabelliloba*) تحت تنش خشکی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳ (۴): ۷۳۷-۷۲۸.
- عابدی کوپایی، ج. و سهراب. ف. ۱۳۸۳. تأثیر کانی‌های زئولیت و بنتونیت بر خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران. دانشگاه شهید چمران. اهواز. ۵۶۲-۵۶۷.
- عابدی کوپایی، ج. و مسفروش، م. ۱۳۸۶. ارزیابی کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای. مجموعه مقالات اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای. ۲۹ مهر. تهران.
- قربانلی، م.، بخشی خانیکی، غ. و ذاکری، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش خشکی بر ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه دارویی کتان (*Linum usitatissimum* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۷ (۴): ۶۸۵-۶۴۷.
- گرگینی شبانکاره، ج. و خراسانی نژاد، س. ۱۳۹۶. اثر سدیم‌نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه (*Satureja khuzestanica*) تحت رژیم‌های کم آبیاری. تولید گیاهی ۳ (۲): ۷۰-۵۵.
- معصومی، ز.، حقیقی، م. و جلالی، س.ا. ۱۳۹۹. تغییر پاسخ فیزیولوژیک و روابط آبی لفل دل‌مه‌ای در توقف فعالیت آکوپورین‌های ریشه در تنش خشکی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی. ۹ (۳۵): ۲۷۵-۲۸۷.
- موسوی، س. ز. ۱۳۹۵. بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و تغییرات کمی و کیفی اسانس گیاه مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* J.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه لرستان. ۱۲۸ صفحه.
- نظامی، س.، نعمتی، س.ح.، آروبی، ج. و باقری، ع. ۱۳۹۵. تأثیر بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر خصوصیات رویشی سه گونه نناع. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۹ (۱): ۷۴-۵۹.
- ولی‌زاده قلعه بیگ، ا.، نعمتی، س.ح.، تهرانی‌فر، ع. و امامی، ج. ۱۳۹۴. تأثیر سوپر جاذب A200، بنتونیت و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و ویتامین ث کاهو در شرایط کشت

- M.A., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*. 178(1): 30-40.
- Sheikh-Mohamadi, M. H., Etemadi, N., Nikbakht, A., Farajpour, M., Arab, M. and Majidi, MM. 2018. Wheatgrass germination and seedling growth under osmotic stress. *Agronomy Journal*. 110(2): 572-585.
- Shi, Y., Li, J., Shao, J., Deng, S., Wang, R., Li, N., Sun, J., Zhang, H., Zheng, X., Zhou, D., Huttermann, A. and Chen, S. 2010. Effects of stockosorb and luquasorb polymers on salt and drought tolerance of *Populus popularis*. *Scientia Horticulturae*. 124(2): 268-273.
- Singleton, V .L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*. 16(3): 144-158.
- Tas, S. and Tas, B. 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *World Journal of Agricultural Sciences*. 3(2): 178-183.
- Teutonica, R. A, Palta, J. P. and Osborn T. C. 1993. In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. *Crop Science*. 33(1): 103-107.
- Yang, F. and Miao, L. F. 2010. Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. *Silva Fennica*. 44(1): 23-37.
- 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(4): 798-807.
- Zhang, Y., Li, Z., Li, Y. P., Zhang, X. Q., Ma, X., Huang, L. K., Yan, Y. H. and Peng, Y. 2018. Chitosan and spermine enhance drought resistance in white clover, associated with changes in endogenous phytohormones and polyamines, and antioxidant metabolism. *Functional Plant Biology*. 45(12): 1205-1222.
- Mohseni, M. 2000. Antispasmodic and anti-diarrhoeal effect of *Satureja hortensis* L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*. 71(1-2): 187-192.
- Jogawat, A. 2019. Osmolytes and their Role in Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Molecular Plant Abiotic Stress: Biology and Biotechnologym*. 91-104.
- Keshavarz Afshar, R., 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.
- Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, M., Grignon, C. and Abdelly, C. 2007. Salinity effect on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritime*. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*. 45(3-4): 244-248.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Vanbreusegem, F. 2004. Reactive oxygen network of plants. *Trends Plant Science*: 9(10): 490-498.
- Moon, J.H. and Terao, J. 1998. Antioxidant activity of caffeic acid and dihydrocaffeic acid in lard and human low-density lipoprotein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(12): 5062-5065.
- Myung-Min, H., Trick, H.N. and Rajasheka, E.B. 2009. Secondary metabolism and antioxidant are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology*. 166(2): 180-191.
- Novak, J., Bahoo, L., Mitteregger, U. and Franz, C. 2006. Composition of individual essential oil glands of savory (*Satureja hortensis* L., Lamiaceae) from Syria. *Flavour and Fragrance Journal*. 21(4): 731-734.
- Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K. and Noitsakis, B. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought stressed grapevines. *Plant Science*, 163(2): 361-367.
- Sanchez Rodriguez, E., Rubio Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales,

Effect of Bentonite on Biochemical Traits and Relative Water Content of Summer Savory (*Satureja Hortensis*) under Different Soil Moisture Levels

F. Mohammadifard¹ and M. Moghaddam^{*2}

Abstract

In order to investigate the effect of bentonite application in different soil moisture levels, an experimental factorial study was performed on summer savory in a completely randomized design with two factors and three replications in the greenhouse of Department of Horticultural Science, Ferdowsi University of Mashhad. The first factor was the application of bentonite at 3 levels (0, 50, and 100 g/kg soil) and the second factor was the different levels of soil moisture at 3 levels (50, 75, and 100% of field capacity). The results showed that drought stress reduced plant height, relative water content and fresh and dry biomass of shoots in summer savory, while the use of bentonite improved the mentioned traits. During drought stress, fresh and dry root biomass, root length, electrolyte leakage, antioxidant activity, total phenol, and proline content were on the rise. The use of bentonite improved these traits. At the highest level of drought stress, the use of bentonite (50 g/kg soil) reduced electrolyte leakage (22.45%) and proline content (58.33%) in the plant. Also, the relative water content in bentonite application (50 and 100 g/kg soil, respectively) at the highest level of drought stress increased by 20.75% and 22.76%, respectively, compared to the control. In general, the results of this study showed that the application of 50 g of bentonite per kg of soil in drought stress conditions had a better effect on the studied traits and its use in these conditions is recommended.

Keywords: Plant height, Superabsorbent, Root length, Electrolyte leakage

¹ M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Corresponding author, Associate Professor., Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (* Corresponding Author Email: m.moghaddam@um.ac.ir)

Received: 14 May 2021

Accepted: 30 May 2021