دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 2, 2026, Pages 47-60

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The Effect of Foliar Application of Micronutrients and Type of Seed Priming on the growth characteristics and essential oil yield of Savory (*Satureia hortensis L.*)

Mortaza Mohammadzadeh[1], Reza Amirnia[2], Mahdi Ghiyasi[2*], Sakineh Abdi[3], Soheila Mohammadi Alagoz[4]

Received: October 9, 2024	Accepted: January 23, 2025

1-Ph.D. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2-Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, respectively, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.
3-Assoc. Prof. Ahar, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tabriz University, Tabriz, Iran.
4- Ph.D. graduate from the Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
Corresponding Author E-mail: m.ghiasi@urmia.ac.ir.

Abstract

Background & Objective: Savory (*Satureia hortensis* L.) is a medicinal plant whose essential oil contains valuable compounds such as carvacrol and thymol. Improving germination and micronutrient availability can enhance its quantitative and qualitative yields. However, few studies have examined the combined effects of seed priming and foliar application of micronutrients (especially in nano-form) on the growth and essential oil of savory. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of foliar application of zinc, iron, and manganese (conventional and nano) along with different seed priming methods on the growth characteristics and essential oil yield of savory.

Material and Methods: A factorial RCBD experiment with three replications was conducted over two growing seasons (2019–2021) at Ahar, Iran. Factors: (1) seed priming at four levels (control, osmopriming with PEG 6000, hardening, hydropriming with distilled water for 24 h); (2) foliar application at seven levels (control water spray, conventional Zn/Fe/Mn sulfates, and nano-chelates of Zn/Fe/Mn, all at 5 g L^{-1}). Measured traits: plant height, number of flowering branches, dry weight of branches and aerial parts, essential oil and oil yield (kg ha^{-1}). ANOVA was performed using SAS (v. 9.1) and means compared by the LSD test at $p \leq 0.05$.

Results: The results indicated that the simultaneous application of osmopriming treatments and nano zinc had the greatest significant effect on increasing most growth components and essential oil yield in savory plants. So that this treatment increased the number of flowering stems, dry weight of flowering stems, dry weight of aerial parts, and the yield of savory essence by approximately 38%, 25%, 44%, and 43%, respectively, in the first year of the study and approximately 38%, 24%, 44%, and 40%, respectively, in the second year compared to the control treatment.

Conclusion: Overall, the results demonstrated that the simultaneous application of osmopriming of summer savory seeds along with foliar application of nano zinc with a concentration of 5 grams per liter is a promising method for increasing essential oil yield of Savory under similar climatic conditions.

Keywords: Essence Yield, Medicinal Plant, Nano Zinc, Osmopriming

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Mahdi Ghiyasi E-mail: m.ghiasi@urmia.ac.ir.

https://doi.org/10.22034/saps.2025.63363.3291

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۶۰-۴۷

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تاثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و نوع پرایمینگ بذر بر صفات رشدی و عملکرد اسانس مرزه (*Satureia hortensis* L.)

مرتضی محمد زاده[۱]، رضا امیرنیا[۲]، مهدی قیاسی[۲]، سکینه عبدی[۳]، سهیلا محمدی آلاگوز[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲-به ترتیب استاد و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز
۴- دانش آموخته دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده

مقدمه و اهداف: مرزه(*Satureia hortensis* L.) گیاهی دارویی با اسانسی حاوی ترکیبات ارزشمند همچون کارواکرول و تیمول است. بهبود جوانه‌زنی و فراهمی ریزمغذی‌ها می‌تواند عملکرد کمی و کیفی آن را افزایش دهد. با این حال، مطالعات محدودی بر روی اثر تلفیق پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها (به‌ویژه در شکل نانو) بر رشد و اسانس این گیاه انجام شده است. از این رو، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی روی، آهن و منگنز (به شکل معمولی و نانو) همراه با روش‌های مختلف پرایمینگ بذر بر صفات رشدی و عملکرد اسانس مرزه انجام شد.

مواد و روش ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو فصل زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۸) در شهرستان اهر انجام شد. فاکتور اول این تحقیق پرایمینگ بذر در چهار سطح (شاهد، اسموپرایمینگ با PEG 6000، هاردنینگ و هیدروپرایمینگ با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت) و فاکتور دوم محلول‌پاشی در هفت سطح (شاهد، سولفات‌های روی، آهن، منگنز و نانوکلات‌های آن‌ها) همه با غلظت ۵ گرم در لیتر بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده، وزن خشک شاخه و اندام هوایی ،درصد و عملکرد اسانس بودند. تجزیه واریانس با SAS نسخه ۹.۱ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند کاربرد همزمان تیمارهای اسموپرایمینگ و محلول‌پاشی نانو روی بیشترین تاثیر را بر افزایش معنی‌دار اکثر مولفه‌های رشد و عملکرد اسانس مرزه داشت. به طوری که تیمار یاد شده تعداد سرشاخه‌های گلدار، وزن خشک سرشاخه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس گیاه مرزه را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب حدود ۳۸، ۲۵، ۴۴ و ۴۳ درصد در سال اول پژوهش و حدود ۳۸، ۲۴، ۴۴ و ۴۰ درصد در سال دوم افزایش داد.

نتیجه‌گیری: اعمال همزمان اسموپرایمینگ بذور گیاه مرزه به همراه محلول‌پاشی عنصر روی به صورت نانو با غلظت ۵ گرم در لیتر، به عنوان روشی امیدبخش جهت افزایش عملکرد اسانس مرزه در شرایط آب و هوایی مشابه قابل توصیه است.

واژه های کلیدی: اسموپرایمینگ، عملکرد اسانس، گیاه دارویی، نانو روی

مقدمه

داروهای گیاهی به دلیل سمیت و عوارض جانبی کمتر در مقایسه با داروهای معمول مصرفی، توجه بسیاری از متخصصین و محققین را به خود جلب کرده است (گوتهامی و همکاران ۲۰۲۱). توسعه‌ی کشت زراعی گیاهان دارویی علاوه بر نقشی که در تأمین سلامت

جامعه دارد، به دلیل ایجاد تنوع کشت در سیستم کشاورزی و افزایش صادرات غیرنفتی، بر ضرورت انجام تحقیقات به‌زراعی درباره شناسایی و معرفی گونه‌های قابل کشت این گیاهان می‌افزاید. گیاهان دارویی ازجمله محصولات کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشند که در حوزه مطالعات اقتصادی کشور کمتر ظهور کرده‌اند و توجه کمی به آنها شده است. در حالی که با توجه به سیاست‌های اقتصادی کشور، توجه به صادرات محصولات کشاورزی به ویژه گیاهان دارویی ارزشمند، ضروری به‌نظر می‌رسد (خواجه بیشک و همکاران ۲۰۱۸).

گیاه دارویی مرزه (*Satureia hortensis* L) گیاهی یکساله، علفی و متعلق به خانواده نعناعیان است که در بسیاری از مناطق کشور شامل استان‌های آذربایجان، کردستان، کرمانشاه، مازندران، گیلان، لرستان، اصفهان، فارس، چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه و بویراحمد وخراسان می‌روید. این گیاه با تولید اسانس، حاوی مواد موثره با ارزشی همچون تیمول و کارواکرول، از جایگاه ویژه‌ای در میان گیاهان دارویی برخوردار می‌باشد، پاراسیمن، گاما- ترپینن و لیمونن از سایر ترکیبات موثره در اسانس مرزه می‌باشند (شمس و همکاران ۲۰۲۲).

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه مهم‌ترین مراحل در چرخه زندگی گیاه هستند. جهت بهبود جوانه‌زنی و استقرار محصول روش‌های مختلفی در مدیریت‌های آگروتکنولوژیکی مطرح می‌باشد. یک روش کارآمد برای بهبود سرعت جوانه‌زنی و همچنین استقرار گیاه، پرایمینگ یا پیشرفت فیزیکی بذر است (وگاس ۲۰۱۹). در واقع پرایمینگ بذر یک استراتژی قبل از کاشت است که بر جوانه‌زنی و توسعه گیاهچه‌ها از طریق تنظیم فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی و ظهور ریشه‌چه و بطورکلی افزایش سرعت جوانه‌زنی و عملکرد گیاه موثر است،. در پرایمینگ بذر، آبگیری بذر تا حدی است که در آن فرایند مربوط به جوانه‌زنی آغاز شده، اما کامل نیست. بذرهای تیمار شده دوباره خشک می‌شوند و به رطوبت اولیه خود می‌رسند که در شرایط عادی و یا استرس وقتی دوباره آب جذب کنند باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود. از پیش خیساندن و یا انواع پرایمینگ برای افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر استفاده می‌شود (پاگانو و همکارن ۲۰۲۳). متعارف‌ترین روش‌های پرایمینگ بذر هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، هاردنینگ و هالوپرایمینگ می‌باشد. اساس تمامی این روش‌ها، خیس کردن بذر پیش از کاشت در شرایط کنترل شده می‌باشد (کومار و همکاران ۲۰۲۱).

از سوی دیگر به علت فقر موادغذایی در اکثر خاک‌های زراعی کم بازده و عدم تامین نیاز گیاه به عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها، عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی از جمله مرزه کاهش معنی‌داری می‌یابد. بنابراین اعمال تیمارهایی که شرایط تغذیه‌ایی آن را بهبود بخشد می‌تواند در ارتقای عملکرد کمی و کیفی آن موثر باشد (پارسامهر و همکاران ۲۰۱۷).

تغذیه برگی به عنوان روشی موفق جهت کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و در نتیجه کاهش خطرات محیطی از جمله آلودگی خاک و آب است. با این روش تغذیه می‌توان عناصر را در سریع‌ترین زمان در اختیار گیاه قرار داد. تغذیه برگی به عنوان یک روش مکمل جهت تأمین بخشی از نیازهای غذایی و جبران کمبودهای خاک، به علت راندمان بالا و همچنین جذب عناصر غذایی توسط برگ‌ها، از کارایی بالایی برخوردار بوده و می‌تواند عملکرد کمی و کیفی گیاه را بهبود بخشد (سالاری و رستگار ۱۴۰۰). روش محلول‌پاشی در تامین عناصر ریز مغذی گیاه به علت نیاز کم گیاهان به این عناصر، تاثیر بیشتری را به همراه داشته است (عبدلی و همکاران ۲۰۲۱).

آهن از جمله عناصر کم مصرف است که به توصیه محققان در محصولات مختلف به صورت محلول‌پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عنصر به عنوان عامل اکسایش و کاهش در ساختمان ناقلانی مانند سیتوکروم‌ها و پروتئین‌های دیگری که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن مشارکت دارند، ایفای نقش می‌کند (عبدلی و همکاران ۲۰۲۱). عنصر منگنز نیز در شکل‌گیری واکنش‌های متابولیکی مهم در گیاهان از جوانه‌زنی تا رسیدگی بذر نقش ایفاء کرده و شرایط را برای افزایش قابلیت دسترسی به برخی از عناصر مهم و پر مصرف مانند فسفر و کلسیم هموار می‌کند. عنصر روی نیز

وظایف مهمی در بخش‌های مختلف گیاه، از جمله مکانیزم‌های حفاظتی و ترمیم صدمات مکانیکی دارد (سالاری و رستگار ۲۰۲۱).

در سال‌های اخیر چگونگی تاثیر محلول‌پاشی عناصر مورد نیاز گیاه به فرم نانوذرات بر رشد و عملکرد گیاهان مورد توجه قرار گرفته و در این راستا گزارش‌هایی نیز ارائه شده است. این مواد به دلیل ساختار ویژه‌ای که در مولکول‌های خود دارند عملاً ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی متفاوتی از خود نشان می‌دهند (مگازی و همکاران ۲۰۲۲). جذب راحت از طریق سیستم‌های روزنه‌ای گیاه، جذب بالا به‌ویژه در تغذیه برگی، افزایش قابل ملاحظه سطح مولکولی، حلالیت بیشتر و سبک‌تر بودن، جلوگیری از آلودگی خاک، ممانعت از آبشویی و سازگاری با محیط زیست از جمله خواص نانوذرات می‌باشند (ویسانی و همکاران ۲۰۲۲). این ذرات پس از محلول‌پاشی به دلیل ابعاد کوچک خود به‌راحتی از طریق سیستم روزنه‌ایی گیاه وارد برگ می‌شوند و به دلیل افزایش قابل ملاحظه سطح مولکولی مواد نانو، واکنش‌پذیری آن‌ها نیز افزایش یافته و در نتیجه قابلیت استفاده از این ترکیبات توسط گیاه بهبود می‌یابد (مگازی و همکاران ۲۰۲۲).

باقری و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز (محلول‌پاشی نانوکلات‌های آهن، پتاسیم، کلسیم و منگنز شامل سه سطح ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عناصر غذایی گیاه نعناع فلفلی گزارش کردند که کاربرد نانوکلات‌ها بطور معنی‌داری صفات مورد ارزیابی را نسبت به شاهد افزایش دادند، به طوری که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل کل و میزان آهن در تیمار نانوکلات آهن ۶ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین وزن تر وخشک ریشه و میزان پتاسیم در تیمار نانوکلات پتاسیم ۶ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد.

صمدی و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی تاثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی و به صورت معمولی و نانو بر عملکرد کمی و کیفی گیاه گلرنگ گزارش کردند که اعمال پرایمینگ بذور گلرنگ به همراه محلول پاشی عناصر ریز مغذی به ویژه روی و آهن به صورت نانو، به عنوان روشی امیدبخش جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه و روغن گیاه گلرنگ قابل توصیه است. امیرنیا و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تاثیر تیمار پیش جوانه‌زنی بذر بر صفات کیفی، عملکرد علوفه تر و خشک ماشک گزارش کردند که پیش تیمار با فسفات بارور-۲ و نیتروکسین تاثیر مثبت بر عملکرد کمی و کیفی ماشک داشت.

نتایج پژوهشی روی کاهش اثرات تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار زیره سبز با اعمال پرایمینگ بذر، نشان داد که پرایمینگ بذر به طور قابل توجهی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه زیره را در شرایط تنش خشکی بهبود بخشید (امیرنیا و همکاران ۲۰۱۶). در پژوهش دیگری با ارزیابی رویش بذر و بنیه گیاهچه سه جمعیت گونه آویش با روش‌های مختلف پرایمینگ بذر، شامل تیمارهای اسموپرایمینگ پلی‌اتیلن گلایکول ۰/۶ و ۰/۹ مگاپاسگال، هورمونال پرایمینگ اکسین ۲۵۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام، ماتریکس پرایمینگ (زوئولیت)، هیدرو پرایمینگ (آب مقطر)، شاهد (بدون پرایمینگ) گزارش شد که حداکثر درصد و سرعت سبزشدن(۸۸ درصد) و ۱۵/۳۹جوانه/روز، طول گیاهچه و شاخص بنیه (۵۷ میلی‌متر، ۵۰) با اثر پلی اتیلن گلایکول (۰/۹ مگاپاسگال) در جمعیت ۱۱۱۰-لرستان به دست آمد (علیزاده و همکاران ۲۰۱۹).

هادیان و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات عملکرد و ترکیبات اسانس گیاه مرزه در واکنش به تیمارهای مختلف مس و روی را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که بیشترین محتوا و عملکرد اسانس در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس و سولفات روی و کمترین محتوا و عملکرد اسانس در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات مس و سولفات روی به دست آمد.

با بررسی تأثیر سطوح مختلف مس و روی بر جذب عناصر کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پر مصرف (فسفر) شامل سه سطح مس (صفر، ۵ و ۲۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم از منبع سولفات مس) و سه سطح روی (صفر، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی) به همراه ترکیبی از تمام

سطوح فوق (در مجموع ۹ تیمار) در ریشه و شاخساره گیاه مرزه، نشان داده شد که کاربرد سطوح کفایت روی (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجب افزایش ۸۵/۳۶، ۵۳/۲۰ و ۶۶/۰۸ درصدی به‌ترتیب غلظت روی، مس و منگنز شاخساره گردید. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که برهمکنش منفی بین مس، روی و آهن در سطوح بالاتر کاربرد مس و روی اتفاق افتاده است، لذا در مزارع تحت کشت مرزه که دارای کمبود مس و روی و سایر عناصر کم مصرف هستند باید این مسئله را در نظر گرفت که استفاده توام این دو عنصر در سطوح بالا صورت نگیرد (عسگری و همکاران ۲۰۱۴).

مواد و روش ها

مطالعه حاضر به‌صورت به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان اهر (۱۱۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز در عرض جغرافیایی ۴۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۶۸ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۳۴۱ متری از سطح دریا) در دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ انجام شد. در این مطالعه فاکتور اول پرایمینگ بذر با چهار سطح شامل: شاهد (عدم پرایمینگ)، اسموپرایمینگ، هاردنینگ، هیدروپرایمینگ و فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با هفت سطح (عناصر روی، آهن و منگنز به دو فرم معمولی و نانو همچنین شاهد(عدم محلول‌پاشی) بودند. به‌منظور پرایمینگ بذر در اسموپرایمینگ با (PEG) و هیدروپرایمینگ بذور در آب معمولی به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه در دمای ۲۲ + و -۲ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۱:۵ رطوبت به بذر خیسانده و سپس بذور خیس شده را بر روی کاغذ صافی یا روزنامه خشک نموده و طی ۴۸ ساعت پس از آن کشت انجام گرفت. برای اعمال تیمار پلی اتیلن گلیکول (PEG) نیز از عملیات هوادهی با پمپ آکواریوم استفاده گردید و بذوری که در حال اعمال تیمار بودند پس از هر ۳ تا ۴ ساعت به هم زده شد.

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل پژوهش، پیش از شروع کشت، از پنج قسمت از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد و پس از خردکردن کلوخه‌ها، نمونه‌های حاصله از الک ۱ میلی‌متری گذرانده شدند. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه از لحاظ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر بودند و فواصل کاشت بذور بر روی خط کاشت ۴۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر و عمق کاشت بذر ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش، از ۸۴ واحد آزمایشی (کرت) کشت شده مرزه، نمونه‌گیری به صورت تصادفی انجام و برای دستیابی به نمونه همگن، ۷ نمونه از هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای انتخاب گردید و میانگین آنها به عنوان داده برای هر تکرار ثبت شد. علف‌های هرز در طول فصل رشد از طریق وجین دستی کنترل شدند. از نظر آفات مزرعه، برای کنترل شته از حشره‌کش دیازینون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش

عمق نمونه (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	آهن ($mg.kg^{-1}$)	روی ($mg.kg^{-1}$)	منگنز ($mg.kg^{-1}$)	مواد آلی (%)	نیتروژن کل (%)	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۸	۱/۲	۴۰۷	۱۰/۲	۱۴	۱/۷۳	۱۱	۱/۴۹	۰/۱۳	رسی سیلتی

محلول‌پاشی بوته‌ها با کودهای ریزمغذی (آهن، روی و منگنز) بصورت معمولی و نانو پس از استقرار کامل بوته‌ها در دو مرحله شروع رشد رویشی و شروع رشد زایشی گیاه با غلظت ۵ گرم در لیتر به مدت هر ۱۵ روز یک بار در دو نوبت اعمال، به‌طوری که برگ‌های گیاه کاملا خیس شوند، انجام شد. لازم به ذکر است که

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در اوایل صبح انجام گرفت و برای حذف اثرات محلول‌پاشی در تیمار شاهد، همزمان اقدام بـه آب‌پاشـی آن‌ها گردید. پس از هر بار محلول‌پاشی، مزرعه آبیاری شد. یادداشت‌برداری نتایج در مرحله گلدهی کامل انجام شد و صفاتی نظیر تعداد شاخه گلدار، وزن سرشاخه گلدار، عملکرد سرشاخه گلدار، عملکرد و ارتفاع بوته، طول ریشه اصلی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های گیاه از آون با دمای ۷۲ درجه به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. جهت حفظ کمیت و کیفیت اسانس گیاه، نمونه‌های مذکور در سایه و در درجه حرارت محیط خشک شدند و به منظور تعیین عملکرد اسانس به آزمایشگاه منتقل شدند. استخراج اسانس به روش تقطیر با بخار آب و توسط دستگاه کلونجر به مدت ۲ ساعت انجام شد. اسانس توسط سولفات سدیم، آب‌گیری شد. داده‌های حاصل از آزمایش نیز با استفاده از نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌ها به وسیله آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD1) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از برنامه Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای پرایمینگ بذور × محلول‌پاشی در هر دو سال انجام پژوهش در سطح احتمال ۱ درصد بر ارتفاع گیاه مرزه معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین اثر برهمکنش پرایمینگ بذر × محلول‌پاشی نشان داد که در هر دو سال آزمایش، تحت تمامی تیمارهای پرایمینگ مورد بررسی، ارتفاع بوته در گیاهانی که محلول منگنز (هم در مقیاس معمولی و هم در مقیاس نانو) را دریافت کرده بودند، به‌طور معنی‌داری از گیاهان دریافت کننده محلول‌های روی و آهن با تیمار پرایمینگ بذر مشابه بیشتر بود (جدول ۴). به‌طوری‌که در سال اول پژوهش بیشترین ارتفاع بوته (۵۶/۷۵ سانتی‌متر) در گیاهان تحت تیمار اسموپرایمینگ و محلول‌پاشی نانو منگنز مشاهده شد (جدول۴). در سال دوم پژوهش نیز بیشترین ارتفاع بوته (۵۷/۳۰ سانتی‌متر) در گیاهان با بذور اسموپرایمینگ شده که محلول منگنز معمولی را دریافت کرده بودند مشاهده شد که این مقدار اختلاف معنی داری با گیاهان تحت تیمار اسموپرایمینگ بذور به همراه محلول پاشی نانو منگنز (۵۶/۵۷ سانتی‌متر) نداشت (جدول ۴). به عبارت دیگر نتایج در مجموع نشان داد که اسموپرایمینگ بذور به همراه محلول‌پاشی منگنز بیشترین تاثیر را در افزایش معنی‌در ارتفاع بوته گیاه مرزه داشته است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عملکرد کمی و کیفی گیاه مرزه تحت تاثیر، تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (سال اول)

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه	وزن خشک سرشاخه	وزن خشک اندام هوایی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
بلوک(R)	۲	۱۲۸/۲۳	۴۲/۲۷	۷۵۱۵۷/۸۲	۷۱۸۶۲/۳۶	۰/۴۲	۱۳۹/۰۳
پرایمینگ بذر (A)	۳	۲۴/۴۶**	۱۲/۵۳**	۳۹۷۰۴/۱۰**	۱۴۷۰۴۶۱/۲۹**	۰/۱۲**	۳۲/۲۲**
محلول‌پاشی (B)	۶	۳۳/۹۵**	۸/۰۲**	۶۴۱۰۹/۳۱**	۱۸۰۶۲۹۰/۸۷**	۰/۰۸**	۲۷/۴۵**
A×B	۱۸	۳/۵۳**	۱/۰۸**	۶۰۰۹/۶۳**	۴۸۲۰۲/۶۱**	۰/۰۱**	۲/۰۷**
خطای آزمایش	۵۴	۱/۳۷	۱/۵۶	۱۷/۶۴	۳۳/۹۹	۰/۰۰۳	۱/۷۶
ضریب تغییرات(٪)	-	۸/۶۵	۷/۹۴	۹/۱۸	۱۰/۳۲	۱۱/۱۳	۱۰/۶۴

n.s، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

1 Least Significant Difference

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد کمی و کیفی گیاه مرزه تحت تاثیر، تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (سال دوم)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه	وزن خشک سرشاخه	وزن خشک اندام هوایی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
بلوک(R)	۲	۱۳۰/۲۴	۲۵/۰۷	۷۸۸۵۶/۲۹	۱۲۹۸۶۷/۵۲	۰/۴۲	۲۱۲/۳۳
پرایمینگ بذر (A)	۳	۲۶/۷۲**	۱۸/۹۳**	۴۱۷۱۵/۷۵**	۱۰۶۴۱۱۹/۷۶**	۰/۱۲**	۳۵/۵۶**
محلول‌پاشی (B)	۶	۳۹/۸۱**	۱۱/۶۰**	۷۴۲۲۴/۴۹**	۲۰۲۹۳۷۴/۱۱**	۰/۰۷**	۳۰/۴۰**
A×B	۱۸	۵/۲۳**	۱/۶۸**	۶۵۸۱/۳۳**	۱۰۶۳۵۵/۷۲**	۰/۰۱**	۲/۲۳**
خطای آزمایش	۵۴	۲/۶۷	۳/۱۲	۱۹/۲۶	۳۰/۲۴	۰/۰۰۵	۲/۱۸
ضریب تغییرات(٪)	-	۹/۱۱	۹/۲۳	۸/۹۴	۹/۷۸	۱۱/۷۴	۱۱/۵۹

n.s، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

نتایج داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه در گیاه مرزه تحت تاثیر تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی قرار گرفت. به‌طوری که در هر دو سال آزمایش اثرات ساده و برهمکنش این تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد براین صفت معنی‌دار شد (جدول ۲ و۳). مقایسه میانگین اثرات برهمکنش این تیمارها نشان داد که اعمال همزمان پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی هر سه عنصر روی، آهن و منگنز چه در حالت معمولی و چه به‌صورت نانو باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های گیاه مرزه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی عناصر با تیمار پرایمینگ مشابه شد (جدول ۴). اما نکته قابل توجه این بود که بیشترین تعداد شاخه (۱۶/۶۷ شاخه در سال اول پژوهش و ۱۷/۰۸ شاخه در سال دوم پژوهش) در تیمار اعمال اسموپرایمینگ به‌همراه محلول‌پاشی نانو روی مشاهده شد و پس از آن نیز تیمار اعمال همزمان اسموپرایمینگ با محلول پاشی روی معمولی، رتبه‌ی دوم بیشترین تعداد شاخه در مرزه (۱۳/۹۹ شاخه در سال اول پژوهش و ۱۶/۵۶ شاخه در سال دوم پژوهش) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). به عبارت دیگر اسموپرایمینگ و عنصر روی بیشترین تاثیر را بر افزایش شاخه‌های گلدار مرزه داشته‌اند.

اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای پرایمینگ بذور × محلول‌پاشی در هر دو سال انجام پژوهش در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک سرشاخه گیاه مرزه معنی‌دار بود (جدول ۲ و۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نیز نشان داد که از میان تیمارهای پرایمینگ بذر، اسموپرایمینگ بیشترین تاثیر را بر افزایش وزن خشک سرشاخه گیاه مرزه داشته است. از میان تیمارهای محلول پاشی نیز، فرم نانو روی بیشترین تاثیر را بر این صفت داشت به‌طوری که در هر دو سال پژوهش و در تمامی تیمارهای پرایمینگ، گیاهانی که فرم نانو روی را دریافت کرده بودند در مقایسه با گیاهان دریافت کننده سایر عناصر ریزمغذی مورد بررسی با تیمار پرایمینگ بذر مشابه از وزن خشک سرشاخه بیشتری برخوردر بودند و در مجموع نیز بیشترین میزان وزن خشک سرشاخه در گیاه مرزه (۱۴۷۹ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۱۵۱۹/۲۴ کیلوگرم در هکتار در سال دوم) تحت تیمار اسموپرایمینگ بذور به همراه محلول‌پاشی نانو روی مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه و وزن سرشاخه گیاه مرزه

		مقایسه میانگین اثرات متقابل					
		ارتفاع بوته (cm)		تعداد شاخه		وزن خشک سرشاخه ($kg.ha^{-1}$)	
فاکتور اول	فاکتور دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
عدم پرایمینگ	عدم محلول پاشی	۴۸/۰۵ r	۴۹/۰۱۳p	۱۰/۲۶ q	۱۰/۵۷ q	۱۱۰۷/۳۳r	۱۱۴۶/۱۱ o
	روی	۴۹/۵۰no	۵۰/۸۵ gh	۱۲/۳۸ ijk	۱۳/۱۲ cd	۱۱۹۶/۰۱ kl	۱۲۳۵/۷۱ h
	آهن	۴۹/۰۲ p	۵۰/۰۱ jk	۱۱/۶۸ n	۱۱/۵۲ mn	۱۱۵۰/۰۷ o	۱۱۹۱/۵۱ kl
	منگنز	۵۰/۴۶ hi	۵۳/۹۹ c	۱۱/۲۰o	۱۱/۹۲ lm	۱۱۶۴/۱۰ n	۱۲۰۶/۸۸ k
	نانو روی	۴۹/۹۵ kl	۵۱/۰۶ f	۱۲/۵۰ghij	۱۳/۰۷ e	۱۲۲۶/۳۳ i	۱۲۶۶/۳۵ ef
	نانو آهن	۵۰/۱۸ j	۵۱/۲۶ f	۱۱/۹۸ lm	۱۲/۵۷ghij	۱۲۵۰/۰۰ fg	۱۲۸۶/۶۱ e
	نانو منگنز	۵۰/۵۶ hi	۵۲/۰۷ e	۱۲/۴۵ hijk	۱۲/۷۸ ig	۱۲۰۰/۳۳ k	۱۲۴۲/۳۰ g
اسموپرایمینگ	عدم محلول پاشی	۴۸/۵۷ q	۵۰/۰۷ jk	۱۲/۵۷ ghi	۱۲/۹۹ ef	۱۱۵۰/۱۱ o	۱۱۹۵/۵۱ kl
	روی	۵۰/۰۳ jk	۵۱/۸۸ e	۱۳/۹۹ b	۱۶/۵۶ b	۱۲۴۱/۳۳ gh	۱۲۸۵/۷۱ e
	آهن	۴۹/۷۸ lm	۵۰/۹۴ g	۱۲/۶۹ gh	۱۳/۳۰cd	۱۲۵۸/۳۵ f	۱۲۹۸/۸۴ e
	منگنز	۵۲/۶۷ cd	۵۷/۳۰ a	۱۲/۷۶ ig	۱۲/۷۸ ig	۱۱۸۹/۱۷ l	۱۲۲۸/۸۴ i
	نانو روی	۵۴/۷۳ b	۵۵/۲۳ b	۱۶/۶۷ a	۱۷/۰۸ a	۱۴۷۹/۰۰a	۱۵۱۹/۲۴a
	نانو آهن	۵۲/۰۱ e	۵۳/۰۲ c	۱۳/۳۰cd	۱۳/۶۲ c	۱۴۰۱/۱۳ b	۱۴۴۲/۷۳ b
	نانو منگنز	۵۶/۷۵ a	۵۶/۵۷ a	۱۳/۵۲ c	۱۴/۲۹ bc	۱۲۹۹/۳۶ e	۱۳۴۰/۴۰ d
هاردنینگ	عدم محلول پاشی	۴۸/۱۴ r	۴۹/۵۹ mn	۱۰/۷۷ p	۱۱/۳۷ no	۱۱۳۳/۶۶ p	۱۱۷۵/۴۶ m
	روی	۴۹/۳۲ o	۵۰/۷۷ gh	۱۳/۴۰c	۱۳/۸۳ b	۱۲۹۹/۴۳ e	۱۳۴۰/۵۹ d
	آهن	۴۹/۷۵ lm	۵۰/۳۳ hi	۱۲/۴۸ hijk	۱۲/۳۶ jk	۱۱۷۹/۶۷ m	۱۲۲۴/۷۱ i
	منگنز	۵۰/۸۲ gh	۵۱/۰۵ f	۱۲/۱۹ klm	۱۲/۲۲ jk	۱۲۱۲/۴۵ j	۱۲۵۰/۴۴ fg
	نانو روی	۵۰/۹۳ g	۵۱/۰۱۹ f	۱۳/۵۳ c	۱۳/۰۱ ef	۱۳۲۲/۰۵ d	۱۳۶۲/۱۵ c
	نانو آهن	۵۰/۰۲ jk	۵۱/۰۷ f	۱۲/۷۳ gh	۱۲/۹۹ ef	۱۲۴۰/۷۱ h	۱۲۸۴/۲۵ e
	نانو منگنز	۵۰/۹۶ g	۵۲/۰۱ e	۱۲/۲۵ jk	۱۲/۰۲ lm	۱۲۰۲/۶۶ k	۱۲۴۶/۳۹ h
هیدروپرایمینگ	عدم محلول پاشی	۴۷/۹۹ r	۴۹/۰۳ p	۱۱/۹۷ lm	۱۲/۳۸ jk	۱۱۲۳/۵۲ q	۱۱۷۹/۴۶ m
	روی	۴۹/۶۱ mn	۵۵/۰۵ b	۱۲/۹۹ ef	۱۲/۶۸ gh	۱۲۰۲/۲۸ k	۱۲۵۳/۵۴ fg
	آهن	۴۹/۰۷ p	۵۰/۴۱ hi	۱۲/۷۷ fg	۱۲/۵۴ ghi	۱۲۲۰/۸۵ ij	۱۲۶۹/۷۵ ef
	منگنز	۵۱/۳۰ f	۵۴/۹۶ b	۱۲/۵۱ghij	۱۱/۸۲ mn	۱۲۲۶/۴۱ i	۱۲۰۳/۸۷ k
	نانو روی	۵۲/۸۳ c	۵۳/۱۱ c	۱۳/۲۸cd	۱۴/۸۰ ab	۱۳۷۷/۷۷ c	۱۴۷۴/۴۰ab
	نانو آهن	۵۱/۸۵ e	۵۲/۰۱ de	۱۲/۷۲ fg	۱۲/۷۵ gh	۱۳۲۲/۰۹ d	۱۴۰۶/۷۲ b
	نانو منگنز	۵۳/۷۲ c	۵۴/۷۷ b	۱۳/۵۳ c	۱۳/۵۵ c	۱۲۹۰/۶۵ e	۱۳۰۰/۴۲ e

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش پرایمینگ بذر در محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر وزن خشک اندام هوایی، درصد اسانس و عملکرد اسانس گیاه مرزه

		مقایسه میانگین اثرات متقابل					
		وزن خشک اندام هوایی ($kg.ha^{-1}$)		درصد اسانس		عملکرد اسانس ($kg.ha^{-1}$)	
فاکتور اول	فاکتور دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
عدم پرایمینگ	عدم محلول پاشی	۲۴۸۵/۴۰x	۲۵۳۵/۶۶i	۱/۳۴ o	۱/۵۸l	۱۳/۷۲n	۱۶/۳۹n
	روی	۳۲۲۵/۶۰l	۳۲۷۹/۲۴fg	۱/۵۵ jk	۱/۷۹gh	۱۶/۲۳ jk	۱۸/۹۷klm
	آهن	۲۸۵۲/۰۲s	۳۲۹۸/۸۴f	۱/۴۸l	۱/۷۲j	۱۵/۶۸l	۱۸/۴۴m
	منگنز	۲۶۵۵/۱۶w	۳۱۸۲/۴۱fgh	۱/۴۴m	۱/۶۷k	۱۴/۸۰m	۱۷/۵۰n
	نانو روی	۳۴۴۵/۵۲hi	۴۰۲۲/۶۶b	۱/۵۷ghi	۱/۸۰gh	۱۷/۷۲e	۲۰/۶۶e
	نانو آهن	۳۰۹۱/۶۰n	۳۱۳۵/۳۹fgh	۱/۵۱k	۱/۷۵ij	۱۵/۷۳l	۱۸/۴۵m
	نانو منگنز	۲۸۰۶/۳۳t	۳۱۶۵/۱۸fgh	۱/۵۶hij	۱/۸۰gh	۱۶/۳۶k	۱۹/۱۱kl
اسموپرایمینگ	عدم محلول پاشی	۲۸۸۲/۶۳r	۳۰۳۵/۷۵h	۱/۵۷ghi	۱/۸۱gh	۱۶/۸۰i	۱۹/۶۰ij
	روی	۳۶۶۰/۱۲e	۳۷۱۵/۶۳d	۱/۷۱b	۱/۹۵b	۱۸/۷۸c	۲۱/۶۶ cd
	آهن	۳۵۰۱/۱۷f	۳۵۶۴/۷۱de	۱/۵۸gh	۱/۸۲fgh	۱۷/۳۷fgh	۲۰/۲۴fg
	منگنز	۳۰۵۶/۳۰op	۳۱۱۱/۲۳g	۱/۵۹fg	۱/۸۳efgh	۱۷/۳۲gh	۲۰/۱۷fg
	نانو روی	۴۴۹۲/۱۲a	۴۵۴۹/۲۹a	۱/۹۸ a	۲/۲۵ a	۲۴/۲۰ a	۲۷/۴۱a
	نانو آهن	۳۹۰۸/۱۵c	۳۹۷۱/۱۱b	۱/۶۵ cd	۱/۸۸ cd	۱۸/۴۰d	۲۱/۳۲d
	نانو منگنز	۳۴۵۴/۷۴h	۳۵۰۲/۱۷e	۱/۶۷c	۱/۹۱c	۱۸/۴۸d	۲۱/۳۸d
هاردنینگ	عدم محلول پاشی	۲۷۳۶/۳۵v	۳۱۲۲/۳۴fgh	۱/۵۱k	۱/۶۷k	۱۵/۵۵l	۱۷/۴۴n
	روی	۳۴۶۳/۱۸h	۳۵۰۷/۴۱e	۱/۶۱ef	۱/۸۸ cd	۱۷/۳۳h	۲۰/۵۲ef
	آهن	۳۰۹۱/۶۰n	۳۱۳۵/۸۲fgh	۱/۵۹fg	۱/۸۱gh	۱۶/۸۸i	۱۹/۴۶ijkl
	منگنز	۲۹۶۲/۴۱q	۳۰۳۲/۷۸h	۱/۵۷ghi	۱/۷۸hi	۱۷/۴۰fgh	۲۰/۱۰efgh
	نانو روی	۳۷۲۰/۳۰d	۳۷۷۷/۲۸e	۱/۶۴ cde	۱/۹۱c	۱۸/۹۰c	۲۲/۲۰ c
	نانو آهن	۳۲۱۱/۹۳m	۳۲۸۳/۶۹fg	۱/۵۹fg	۱/۸۳efgh	۱۷/۲۱h	۲۰/۱۳fgh
	نانو منگنز	۳۰۷۷/۵۶no	۳۱۲۰/۰۲fgh	۱/۶۳def	۱/۸۲gh	۱۷/۴۱fgh	۱۹/۵۶ijk
هیدروپرایمینگ	عدم محلول پاشی	۲۷۹۰/۴۸u	۳۰۶۰/۷۱h	۱/۳۹n	۱/۷۵ ij	۱۴/۷۸m	۱۸/۸۹l
	روی	۳۴۸۰/۳۳g	۳۷۴۶/۲۰ c	۱/۶۴ cd	۱/۸۵ef	۱۷/۶۱ef	۲۰/۱۳fghi
	آهن	۳۲۹۵/۱۱k	۳۵۶۲/۵۹de	۱/۵۶hij	۱/۸۳efg	۱۶/۳۸ jk	۱۹/۴۳ijkl
	منگنز	۳۰۴۸/۴۲op	۳۱۴۵/۷۷fgh	۱/۶۵ cd	۱/۸۰gh	۱۶/۳۱k	۱۹/۴۵ijkl
	نانو روی	۴۰۱۰/۳۱b	۴۵۲۴/۳۳a	۱/۶۷c	۱/۸۸ cd	۱۹/۸۲b	۲۲/۶۹b
	نانو آهن	۳۴۳۰/۶۰i	۴۰۰۳/۶۱b	۱/۵۹fg	۱/۸۳fg	۱۷/۳۸fgh	۲۰/۲۰efg
	نانو منگنز	۳۳۳۷/۷۶j	۳۵۳۶/۱۸d	۱/۵۴ jk	۱/۸۷de	۱۶/۴۰ij	۲۰/۳۷efg

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد بررسی (پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عناصر غذایی) در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک اندام هوایی گیاه مرزه معنی دار بود و این تیمارها اثری مشابه و همسو با وزن

خشک سرشاخه در گیاه مرزه ایجاد کردند. به‌طوری‌که با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که تیمار اعمال همزمان اسموپرایمینگ بذور و محلول‌پاشی نانو روی موجب حصول حداکثر ماده خشک اندام هوایی گیاه مرزه (۴۴۹۲/۱۲ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۴۵۴۹/۲۹ کیلوگرم در هکتار در سال دوم) شد (جدول ۵). به عبارت دیگر اسموپرایمینگ بذور و محلول پاشی نانو روی بیشترین تاثیر را بر افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در گیاه مرزه داشته است

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و برهمکنش پرایمینگ بذور و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر درصد اسانس گیاه مرزه معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). با مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که اسموپرایمینگ بذور و محلول‌پاشی روی نانو بیشترین تاثیر را بر افزایش درصد اسانس این گیاه داشتند. به‌طوری‌که اعمال همزمان اسموپرایمینگ بذور و محلول‌پاشی روی نانو درصد اسانس گیاه مرزه را در سال اول پژوهش حدود ۳۲ درصد و در سال دوم پژوهش حدود ۳۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در هر دو سال انجام پژوهش، عملکرد اسانس در گیاه مرزه تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی قرار گرفت. و اثرات ساده و برهمکنش این تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد اسانس مرزه تحت تیمارهای پژوهش، در هر دو سال انجام پژوهش رفتاری همراستا با وزن خشک سرشاخه و درصد اسانس داشته است، یعنی در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی (چه در حالت معمولی عناصر و چه در حالت نانو)، اعمال اسموپرایمینگ بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد مرزه در مقایسه با اعمال سایر روش‌های پرایمینگ (هیدروپرایمینگ و هاردنینگ) با تیمار محلول‌پاشی مشابه داشته است (جدول ۵). از بین تیمارهای محلول‌پاشی نیز به ترتیب نانو روی و روی معمولی بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد اسانس مرزه داشتند. به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد اسانس ۲۴/۲۰ کیلوگرم در هکتار (سال اول پژوهش) و ۲۷/۴۱ کیلوگرم در هکتار (سال دوم پژوهش) تحت تیمار اسموپرایمینگ بذور و محلول‌پاشی نانو روی حاصل شد (جدول ۵).

گزارش شده که تیمار اسموپرایمینگ بذور می‌تواند با فعال‌سازی فرآیندهای رشدی (افزایش فعالیت‌های متعددی که در رشد و توسعه گیاهان نقش دارند و شامل فعالیت آنزیمی، جذب و استفاده از مواد غذایی، فعالیت‌های فتوسنتزی، تنظیم فشار اسموزی، تولید هورمون‌های رشد می‌شود) در داخل بذر، بهبود قابلیت‌های رشدی گیاه را فراهم کند (مامدی و همکاران ۲۰۲۲). همچنین گزارش شده است که عنصر منگنز در فرآیندهای مختلفی از جمله فتوسنتز و فعالیت آنزیمی گیاهان نقش دارد (باقری و همکاران ۲۰۲۲). بنابراین محلول پاشی عنصر منگنز می‌تواند بهبود قابلیت‌های رشدی گیاه را، به ویژه در مواردی که نقص این عنصر در خاک وجود داشته باشد، فراهم کند. به طور خاص، افزایش ارتفاع گیاه مرزه پس از محلول پاشی عنصر منگنز ممکن است بهبودهایی در فرآیندهای فتوسنتزی و یا فعالیت آنزیمی داشته باشد که منجر به رشد بهتر و افزایش ارتفاع بوته گیاه مرزه می‌شود (ناظمی و همکاران ۲۰۲۱).

پرایمینگ بذرها می‌تواند به بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان کمک کند. از آنجایی که اکثر گیاهان در طول فصل رشد نوعی از تنش‌های محیطی را تجربه می‌کنند و با توجه به اینکه اسموپرایمینگ با استفاده از مواد اسمزی انجام می‌شود و می‌تواند در شرایط تنش به گیاه کمک کند تا بهتر رشد کند و تعداد شاخه‌های بیشتری تولید کند، به‌طور خاص، اسموپرایمینگ می‌تواند به افزایش طول ریشه و بهبود شاخص‌های رشد مانند شاخص بنیه و شاخص سطح برگ کمک کند که همگی این عوامل به طور غیرمستقیم بر تعداد شاخه‌های گیاه تأثیرگذار هستند (هیدایا و همکاران ۲۰۲۲). از طرفی عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی و منگنز نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارند و می‌توانند بر رشد و توسعه گیاهان تأثیر بگذارند. به طور خاص، روی نقش کلیدی در تنظیم بیان ژن‌ها دارد و می‌تواند بر تعداد

شاخه‌های گلدار تأثیر بگذارد (عبدلی و همکاران ۲۰۲۰). روی به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان، در فعالیت‌های آنزیمی و سنتز هورمون‌های گیاهی مانند اکسین که در رشد و تقسیم سلولی نقش دارند، مشارکت می‌کند. این موضوع می‌تواند دلیلی بر تأثیر بیشتر روی نسبت به سایر عناصر ریزمغذی در افزایش تعداد شاخه‌های گیاه مرزه باشد (محمدقاسمی و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین به نظر می‌رسد هنگامی که این روش (اسموپرایمینگ بذر) با کاربرد توام عنصر روی انجام می‌شود، می‌تواند به افزایش تعداد شاخه‌های گیاه مرزه کمک کند.

در صورت استفاده از اسموپرایمینگ بذور در گیاه مرزه، این فرآیند می‌تواند به افزایش وزن خشک سرشاخه آن منجر شود. به عنوان مثال، با افزایش فعالیت آنزیم‌ها مانند آمیلاز و پروتئاز، هیدرولیز گلوکز و پروتئین‌ها در دوره گریز از خشکی که می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک گیاه شود (بوریگ و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین یکی از دلایلی که تاثیر اسموپرایمینگ بذور بر افزایش وزن خشک سرشاخه گیاه مرزه بیشتر از هیدروپرایمینگ و هاردنینگ بذور بوده احتمالا این است که اسموپرایمینگ بذور می‌تواند به طور موثرتری فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درون بذر را تنظیم کند که به افزایش رشد و توسعه سرشاخه کمک می‌کند (بوریگ و همکاران ۲۰۲۰). همچنین، این فرآیند ممکن است منجر به افزایش جذب و استفاده از مواد غذایی و آب توسط گیاه شود (مامدی و همکاران ۲۰۲۱)، که این امر نیز به افزایش وزن خشک سرشاخه کمک می‌کند. در مورد تاثیر عناصر ریز مغذی بر گیاه مرزه گزارش شده است که محلول پاشی عنصر روی به صورت نانو بر این گیاه به دلیل ویژگی‌های نانوذرات روی و واکنش آن با گیاه، باعث افزایش وزن خشک سرشاخه می‌شود (احمد و همکاران ۲۰۲۱). روی به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان، نقش مهمی در فعالیت‌های آن‌ها دارد و به دلیل حضور آن به صورت نانو، اثربخشی بیشتری دارد. همچنین، ویژگی‌های نانوذرات روی شامل بزرگنمایی سطح تماس با گیاه و افزایش قابلیت جذب و استفاده از عناصر غذایی می‌باشد که باعث افزایش تاثیر آن بر رشد و توسعه سرشاخه گیاه می‌شود (هوشمند و همکاران ۲۰۲۲). به نظر می‌رسد مجموع این عوامل موجب تاثیر بیشتر محلول پاشی نانو روی بر افزایش وزن خشک سرشاخه گیاه مرزه در مقایسه با محلول پاشی عناصر آهن و منگنز به صورت معمولی شده است.

اسموپرایمینگ بذور، فرآیندی است که باعث فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی و رشدی گیاه می‌شود (کومار و همکاران ۲۰۲۱). احتمالا در گیاه مرزه، افزایش وزن خشک سرشاخه به عنوان نتیجه‌ای از اسموپرایمینگ بذور رخ می‌دهد، که با افزایش سرشاخه، فرایندهای جذب و تبادل مواد غذایی در سرشاخه افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش وزن خشک کل اندام هوایی گیاه مرزه می‌شود. این فرآیند باعث فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی و رشدی گیاه می‌شود که اثر بیشتری بر تبادل مواد غذایی و رشد دارد (بوریگ و همکاران ۲۰۲۰). این عوامل احتمالا باعث شده اثر اسموپرایمینگ بذور بر افزایش وزن خشک کل اندام هوایی گیاه مرزه بیشتر از هیدروپرایمینگ و هاردنینگ بذور باشد. از طرفی روی به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان، نقش مهمی در فعالیت‌های آنها دارد و به دلیل حضور آن به صورت نانو، اثربخشی بیشتری دارد (هادیان و همکاران ۲۰۱۴). بنابراین به نظر می‌رسد از آنجایی که دو فرآیند اسموپرایمینگ و محلول پاشی نانو روی باعث افزایش عملکرد مکانیسم‌های رشدی و تغذیه‌ای گیاه می‌شوند، اعمال همزمان اسموپرایمینگ بذور و محلول پاشی نانو روی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک کل اندام هوایی گیاه مرزه شده است.

اسمو پرایمینگ بذور گیاه مرزه باعث افزایش جذب و نفوذپذیری آن‌ها می‌شود درنتیجه بذرها انرژی کمتری جهت جذب عناصر مغذی و هورمون‌ها موجود در محیط خود مصرف می‌کنند که این امر منجر به رشد بهتر و توسعه بیشتر گیاه مرزه و در طول فصل رشد می‌شود (مامدی و همکاران ۲۰۲۲). از طرفی گزارش شده است که روی از جمله عناصر ریزمغذی مورد نیاز برای فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه می‌باشد و از آنجایی که نانوذرات روی از اندازه بسیار کوچکی برخوردارند،

راحت‌تر به داخل گیاه نفوذ می‌کنند (جم و همکاران ۲۰۲۳). بنابراین استفاده از نانوذرات روی به گیاه این امکان را می‌دهد که به راحتی این عناصر را جذب کرده و برای سنتز اسانس استفاده نماید. به عبارت دیگر نانوذرات روی به دلیل اندازه بسیار کوچک خود، امکان نفوذ و جذب بهتر توسط ساقه و برگ‌های گیاه را فراهم می‌کنند. این نفوذ و جذب بهینه به معنای این است که گیاه به طور کاملتر و بیشتر از عناصر روی موجود در محلول پاشی نانو استفاده می‌کند. همچنین، روی یکی از عناصر ضروری برای فعالیت برخی از آنزیم‌ها و فرایندهای بیولوژیکی در گیاهان است که برای سنتز اسانس نیز اهمیت دارد. بنابراین، افزودن نانوذرات روی به محیط رشد باعث ایجاد شرایط بهتری برای فعالیت آنزیم‌ها و فرآیندهای بیولوژیکی مرتبط با تولید اسانس مرزه می‌شود، که در نتیجه، باعث افزایش درصد اسانس می‌گردد. بنابراین، درمجموع به نظر می‌رسد ترکیب تیمارهای اسموپرایمینگ و محلول‌پاشی نانو روی باهم تاثیرات مثبتی بر رشد، توسعه و تولید اسانس مرزه داشته و باعث افزایش درصد اسانس این گیاه شده‌اند (سالاری و رستگار، ۲۰۲۱).

فرآیند اسموپرایمینگ بذور با افزایش درصد اسانس و وزن خشک گیاه همراه است، زیرا اسموپرایمینگ باعث فعال‌شدن سیستم‌های مولکولی در بذرها می‌شود که در نتیجه تولید اسانس واحد وزنی گیاه افزایش می‌یابد (هیدایا و همکاران ۲۰۲۲). اعمال محلول پاشی عنصر روی نیز باعث افزایش عملکرد اسانس گیاه مرزه می‌شود (شمس و همکاران ۲۰۲۲). روی یکی از عناصر مورد نیاز برای تولید اسانس است و وجود آن به عنوان یک عنصر غذایی حیاتی، فرآیندهای بیوشیمیایی در گیاه را تسهیل می‌کند که منجر به افزایش تولید اسانس می‌شود. اعمال همزمان اسموپرایمینگ بذور و محلول پاشی روی باعث افزایش بیشتر عملکرد اسانس گیاه مرزه می‌شود (هادیان و همکاران ۲۰۱۵). این ترکیب بهبودهای متقابلی را در فرآیندهای بیوشیمیایی ایجاد می‌کند که به تولید و ذخیره اسانس در گیاه کمک می‌کند و در نتیجه، افزایش قابل توجهی در عملکرد اسانس ایجاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده از اسموپرایمینگ به‌عنوان موثرترین روش پرایمینگ بذر، تاثیر قابل‌توجهی در بهبود صفات رشدی و عملکرد اسانس مرزه دارد. این روش با تقویت ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه و افزایش توان آن برای جذب و حفظ آب، نقش مهمی در افزایش کارایی گیاه در شرایط عادی ایفا می‌کند. همچنین، محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی نانو، به‌ویژه نانو روی، تاثیر بیشتری بر محتوای آب نسبی برگ و عملکرد کلی گیاه نشان داده است. بنابراین، کشاورزان می‌توانند از این روش‌ها برای بهبود رشد و بهره‌وری گیاه مرزه استفاده کنند. در این تحقیق، استفاده از نانو روی به‌طور خاص بیشترین تاثیر را بر بهبود ویژگی‌های عملکردی و مرفولوژیکی گیاه داشته است و می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای افزایش کارایی گیاه در شرایط بدون تنش باشد. از طرفی، ترکیب اسموپرایمینگ و محلول‌پاشی نانو روی می‌تواند بهترین نتایج را در افزایش محتوای آب نسبی برگ و بهبود رشد مرزه به ارمغان آورد. توصیه می‌شود کشاورزان در مراحل حساس رشد گیاه، مانند اوایل رشد رویشی و آغاز گل‌دهی، محلول‌پاشی با نانو روی را انجام دهند تا تاثیر مثبت آن در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و افزایش عملکرد گیاه مشاهده شود. به‌علاوه، قبل از اجرای این روش‌ها، کشاورزان بهتر است با کارشناسان کشاورزی مشورت کنند تا دوز دقیق محلول‌پاشی و نحوه اجرای پرایمینگ به‌طور دقیق مطابق با نیازهای گیاه و شرایط مزرعه تعیین شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت‌های خالصانه اساتید محترم راهنما و مشاور و کمک‌های سایر افراد مرتبط با اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abdoli S, Ghasemi-Golezani K and Alizadeh-Salteh S. 2020. Responses of ajwain (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. Environmental Science and Pollution Research, 27: 36939-36953. DOI: 10.1007/s11356-020-09453-1

Ahmed MM, Hagagy N and Abdolgawad H. 2021. Establishment of actinobacteria–*Satureja hortensis* interactions under future climate CO2-enhanced crop productivity in drought environments of Saudi Arabia. Environmental Science and Pollution Research, 28: 62853-62867. DOI: 10.1007/s11356-021-14777-7

Alizadeh M, Hosseini-Todashki N, Sobhanian H, Bakhshi-Khaniki GH and Jafari A. 2019. Evaluation of seedling growth and establishment of three populations of thyme species under the influence of different priming methods in greenhouse conditions. Journal of Iranian Seed Science and Research, 7(3): 341-350. (In Persian). DOI: 10.22124/jms.2020.4594

Amirnia R and Ghiyasi M. 2016. Reducing drought stress effects in germination and establishment stage of cumin (*Cuminum Cyminum* L.) by seed priming. Ournal of Applied Biological Sciences, 10 (3): 24-26. DOI:10.29252/jstnar.21.4.161

Amirnia R, Jalilian J, Gholinezhad E and Abbaczadeh S. 2018. The effect of supplemental irrigation and seed priming on yield and some quantity and quality characteristics of vetch rainfed marage cultivar. Journal of Water and Soil Science, 21(4):161-176. (In Persian). DOI:10.29252/jstnar.21.4.161

Asgari-Legair H, Motsharazadeh B, Sawaqabi-Firouzabadi GH and Hadian J. 2014. The effect of copper and zinc application on the concentration and absorption of low-consumption (copper, zinc, iron and manganese) and high-consumption (phosphorus) nutrients in the savory medicinal plant (*Satureja hortensis* L.) in greenhouse conditions. Soil and Plant Relations, 5 (3): 95-112. (In Persian).

Azgomi S, Iranbakhsh A and Majd A. 2023. The importance of sound rhythm: music and noise elicit different biological responses in *Satureja hortensis* L. Plant Physiology, 35: 215-232. DOI: 10.1007/s40626-023-00277-1

Bagheri H, Laden Moghadam A, Danai E and Abdousi V. 2022. The effect of foliar application of iron, potassium, calcium and manganese nanochelates on some morphophysiological characteristics and nutritional elements of peppermint plant (*Mentha piperita*). Plant Environmental Physiology, 29(5): 1-13. (In Persian). DOI: 10.30495/iper.2022.690261

Bourioug M, Ezzaza K and Bouabid R. 2020. Influence of hydro- and osmo-priming on sunflower seeds to break dormancy and improve crop performance under water stress. Environmental Science and Pollution Research, 27: 13215–13226. DOI: 10.1007/s11356-020-07893-3

Ghasemi-Golezani K, Farhangi-Abriz S and Abdoli S. 2021. How can biochar-based metal oxide nanocomposites counter salt toxicity in plants? Environmental Geochemistry and Health, 43: 2007-2023. DOI: 10.1007/s10653-020-00780-3

Ghojavand M, Kasraie P and Tohidi-Moghadam HR. 2024. Morphological and physiological responses of summer savory (*Satureja hortensis* L.) to azotobacter, mycorrhiza, and salicylic acid under drought stress conditions in Rey Region. Proseedings of the Indian national science academy, 90: 132–144. DOI: 10.1007/s43538-023-00230-5

Kardan J, Amirnia R, Ghiyasi M and Sharifi L. 2024. Effects of foliar application of salicylic acid and Kinetin on physiological responses, yield and its components in soybean plants at different levels of salt stress. Scientific Research Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 34 (2): 335-353. DOI: 10.22034/saps.2024.60335.3178

Gowthami R, Sharma N and Pandey R. 2021. Status and consolidated list of threatened medicinal plants of India. Genetic Resources and Crop Evolution, 68: 2235-2263. DOI: 10.1007/s10722-021-01199-0

Hadian J, Asgari Legair H, Motsharazadeh B and Ghorbanpour M. 2014. Investigating changes in yield and composition of essential oil of *Satureja hortensis* in response to different treatments of copper and zinc. Journal of Plant Biology of Iran, 7 (24): 53-66. (In Persian). DOI: 20.1001.1.20088264.1394.7.24.6.4

Hidayah A, Nisak RR and Susanto FA. 2022. Seed halopriming improves salinity tolerance of some rice cultivars during seedling stage. Botanical Studies, 63: 24. DOI: 10.1186/s40529-022-00354-9

Houshmand P, Shirani M and Ehsanzadeh P. 2022. Insights into temperature and soil moisture-induced alterations in safflower Physiological, seed filling, quality, and yield attributes. International Journal of Plant Production, 16: 181-193. DOI: 10.1007/s42106-021-00168-y

Jam BJ, Shekari F and Andalibi B. 2023. Impact of silicon foliar application on the growth and physiological Traits of *Carthamus tinctorius* L. exposed to salt stress. Silicon, 15: 1235–1245. DOI: 10.1007/s12633-022-02090-y

Khajeh Bishak Y, Yaghchian M, Mohajeri M and Piaho L. 2017. A review of the therapeutic uses of ginger from the perspective of modern science and traditional Islamic medicine. Journal of Traditional Medicine of Islam and Iran, 9(3): 121-136. (In Persian).

Kumar VK and Rajalekshmi R. 2021. Effect of hydro-, halo- and osmopriming on seed germination and seedling performance of psophocarpus *Tetragonolobus* (L.) DC. (winged bean). Journal of Crop Science and Biotechnology, 24: 411-428. DOI: 10.1007/s12892-021-00090-9

Mamedi A, Sharifzadeh F and Maali-Amiri R. 2022. Seed osmopriming with Ca2+ and K+ improves salt tolerance in quinoa seeds and seedlings by amplifying antioxidant defense and ameliorating the osmotic adjustment process. Physiology and Molecular Biology of Plants, 28: 251-274. DOI: 10.1007/s12298-022-01125-3

Mogazy AM and Hanafy RS. 2022. Foliar Spray of Biosynthesized Zinc Oxide Nanoparticles Alleviate Salinity Stress Effect on Vicia faba Plants. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22: 2647-2662. DOI: 10.1007/s42729-022-00833-9

Mohammadghasemi V, Siavash Moghaddam S and Rahimi A. 2021. The Effect of Winter Sowing, Chemical, and Nano-Fertilizer Sources on Oil Content and Fatty Acids of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyrefeer). J Plant Growth Regul, 40: 1714-1727. DOI: 10.1007/s00344-020-10220-2

Pagano A, Macovei A and Balestrazzi A. 2023. Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research. Plant Cell Reports, 42: 657-688. DOI: 10.1007/s00299-023-02988-w

Parsamehr S, Aminian R and Habibzadeh F. 2016. Reactions of different genotypes of safflower to foliar application of nano iron oxide under low irrigation conditions. Crop Production Journal. 10(4): 136-121.

Salari A, Rastegar S. 2021. Effect of foliar application of zinc and iron on some quantitative and qualitative characteristics of Orlando Tangelo. Plant Process and Function, 10 (41):157-170. DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.10.0

Samadi B, Ghiyasi B and Amirnia R. 2024. The effect of seed priming and foliar application in normal and nano ways on the quantitative yield of safflower. Journal of Crops Improvement, 26(1): 109-124. (In Persian). DOI: 10.22059/jci.2023.358846.2827

Shams S, Ismaili A, Nazarian Firouzabadi F and Momiwand H. 2022. Identification of microRNAs and related target genes in *Satureja hortensis*. Journal of Genetic Research and Improvement of Pasture and Forest Plants of Iran, 29(2), 182-195. (In Persian). DOI: 10.22092/ijrfpbgr.2021.354879.1386

Waqas M, Korres NE, khun MD, Nizami AS, Deeba F, Iftikhar A and Haziq A. 2019. Advances in the concept and methods of seed priming. Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings, 11-41. DOI: 10.1007/978-981-13-8625-1_2

Weisany W, Mohammadi M and Tahir N. 2021. Changes in growth and nutrient status of Maize (Zea mays L.) in response to two Zinc sources under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 3367-3377. DOI: 10.1007/s42729-021-00612-y