

Effect of foliar application of humic acid and silicon on some quantitative and qualitative characteristics of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Pages
45-62

M. Salehi^{1*} and R. Zeinali²

1&2) Department of Horticultural Sciences and Engineering, Nahavand Higher Education Complex, Bu -Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding author: mahtab.salehi@basu.ac.ir

Received date: 2025.11.01

Accepted date: 2026.02.01

Abstract

In order to investigate the effect of foliar application of humic acid and silicon on some quantitative and qualitative characteristics of *Matricaria chamomilla* L. under salt stress, an experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with three replications in research greenhouse of Nahavand Higher Education Complex during 2024. Experimental factors included salinity stress at three levels (0, 50, 100 mM), foliar application of humic acid at three levels (0, 0.5 and 1.5 g.L⁻¹) and silicon foliar application at three levels (0, 1.5 and 3 mM). Chlorophyll *a*, *b* content, fresh and dry weight of flower, height of the plant, capitulum diameter, total phenol and flavonoid contents were measured traits in this experiment. The results indicated a positive effect of the application of humic acid and silicon on most of the studied traits, so that the highest amount of chlorophyll *a* (1.04 mg.g⁻¹) and chlorophyll *b* (0.55 mg.g⁻¹) was observed at 50 mM salinity and using 0.5 g.L⁻¹ humic acid and without the use of silicon. The highest values of plant height (41 cm) and capitulum diameter (8.28 mm) were obtained by applying 50 mM salinity and the simultaneous use of 0.5 g.L⁻¹ humic acid and 3 mM silicon. The increase percentage of these traits compared to the absence of humic acid and silicon at the same salinity level were 24.39 and 23.55%, respectively. The highest levels of total phenols (13.07 mg gallic acid.g⁻¹ extract) and total flavonoids (26.66 mg rutin.g⁻¹ extract) were obtained at a salinity level of 100 mM, 1.5 mM silicon, and without the use of humic acid. With simultaneous application of humic acid and silicon, the adverse effects of salt stress on some traits such as plant height and capitulum diameter were reduced. Therefore, the use of humic acid and silicon can be suggested as an effective method to reduce the destructive effects of salinity stress.

Keywords: Chlorophyll *a* and *b* content, *Matricaria chamomilla* L., Salinity, Total phenol and flavonoid contents.

اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون روی برخی خصوصیات کمی و کیفی بابونه (*Matricaria chamomilla L.*) در شرایط تنش شوری

مهتاب صالحی^{۱*} و رومینا زینلی^۲

۱ و ۲) گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا - مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)، همدان، ایران.

* نویسنده مسئول: mahtab.salehi@basu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر برخی خصوصیات کمی و کیفی بابونه تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی نهاوند در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، محلول پاشی اسید هیومیک در سه سطح (صفر، ۰/۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) و محلول پاشی سیلیکون در سه سطح (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) بود. صفاتی که در این آزمایش مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند، عبارت بودند از: محتوای کلروفیل a و b ، وزن تر و خشک گل، ارتفاع گیاه، قطر کاپیتول، محتوای فنل و فلاونوئید کل. نتایج، بیانگر تأثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک و سیلیکون بر اکثر صفات مورد بررسی بود، به طوری که بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۰۴ میلی‌گرم بر گرم) و بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) در شوری ۵۰ میلی‌مولار و با استفاده از ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و بدون کاربرد سیلیکون مشاهده شد. بیشترین مقادیر ارتفاع گیاه (۴۱ سانتی‌متر) و قطر کاپیتول (۸/۲۸ میلی‌متر)، با کاربرد ۵۰ میلی‌مولار شوری و استفاده همزمان از ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۳ میلی‌مولار سیلیکون به دست آمد. درصد افزایش این صفات در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک و سیلیکون در همان سطح شوری، به ترتیب ۲۴/۳۹ و ۲۳/۵۵ درصد بود. بیشترین میزان فنل کل (۱۳/۰۷ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم عصاره) و فلاونوئید کل (۲۶/۶۶ میلی‌گرم روتین بر گرم عصاره)، در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون و بدون استفاده از اسید هیومیک به دست آمد. با کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیکون، آثار سوء تنش شوری در برخی صفات مانند ارتفاع گیاه و قطر کاپیتول کاهش یافت. بنابراین می‌توان کاربرد اسید هیومیک و سیلیکون را به عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات تخریبی تنش شوری پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: بابونه، شوری، محتوای فنل و فلاونوئید کل و محتوای کلروفیل a و b .

مقدمه

شوری خاک، یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران است. در این مناطق، اغلب میزان بارندگی به اندازه‌ای نیست که بتواند نمک‌های خاک را شسته و از دسترس ریشه گیاه خارج کند و همچنین میزان تبخیر بالا از سطح خاک، منجر به تجمع نمک و شورتر شدن سطح خاک می‌شود (Aghaei Joubani *et al.*, 2015). شوری موجب بروز تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن، تخریب غشای سلول، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، عدم توازن تغذیه‌ای، اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، کاهش بازده فتوسنتز و در نهایت، از بین رفتن گیاه می‌گردد (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). همچنین، تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل از طریق اکسیداسیون آن توسط رادیکال‌های آزاد، تداخل یون‌های نمک با کمپلکس‌های رنگدانه پروتئین، اختلال در عمل کلروپلاست و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز می‌شود (Sarker and Oba, 2020). آسیب و کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، منجر به کاهش بازده جذب نور در هر دو فتوسیستم I و II و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (Ashraf and Harris, 2013). گیاهان برای سم‌زدایی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، از مسیرهای مشخصی بهره می‌گیرند که عبارتند از: طیف وسیعی از املاح سازگار از جمله پروتئین محلول، پرولین و قندهای محلول یا سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی همانند کارتنوئیدها، فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنلی و آنزیمی مانند پلی‌فنل‌اکسیداز (به تنهایی یا در ترکیب با یکدیگر). این مسیرها، نقش مهمی در متعادل کردن تنش اسمزی و محافظت از ساختمان ماکرومولکول‌ها (مانند پروتئین‌ها و غشاها) در برابر آسیب‌های ناشی از تنش شوری دارند (Tester and Davenport, 2003). گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش عنصر سیلیس در کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاهان وجود دارد (Abdelaal *et al.*, 2015; Hurtado *et al.*, 2020; Rizwan *et al.*, 2020). سیلیکون با افزایش مقاومت به آفات (Sakr, 2017) و بیماری‌ها (Fauteux *et al.* 2005)، بهبود تعادل آبی (Wang *et al.* 2021)، فعال نمودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و کلسیم (Ahmad *et al.* 2019) و افزایش سنتز کلروفیل (Silva *et al.* 2012)، موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌گردد.

Veisi *et al.* (2023) گزارش کردند که محلول پاشی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) با نانوذرات سیلیکون در غلظت کمتر (۷۵ میلی‌گرم در لیتر)، باعث افزایش کلروفیل در همه سطوح تنش شوری شد و حتی در غلظت‌های بیشتر (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، باعث افزایش کلروفیل (در شوری ۷۰ میلی‌مولار) و یا حفظ آن در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) شد (Veisi *et al.*, 2023). نانوذرات سیلیکون، به‌ویژه در غلظت‌های کمتر، با حذف یا سمیت‌زدایی رادیکال‌های آزاد، باعث بهبود سیستم دفاعی گیاه و افزایش کارایی فتوسیستم II و عملکرد کوآنتومی می‌شوند (Tripathi *et al.*, 2017). در واقع، افزایش رشد گیاه در حضور سیلیکون می‌تواند ناشی از تجمع سیلیکون در برگ‌ها باشد که از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها، باعث ایستادگی ساقه و گسترش برگ‌ها در برابر نور و افزایش جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی گیاه

می‌شود (Raj and Thakral, 2008). بررسی اثر نانوذرات سیلیکون توأم با تیمار شوری بر برخی فاکتورهای رشدی در گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) نشان داد که کاربرد نانوسیلیکون از طریق محلول‌پاشی، تا حدود زیادی اثرات منفی ناشی از تنش شوری بر فاکتورهای رشدی زعفران را بهبود بخشید (Asemeh and Pourakbar, 2016).

گزارش شده است که کاربرد سیلیکون می‌تواند با تغییر میزان اسمولیت‌ها مانند پرولین (Yin *et al.*, 2016)، گلاسیپین بتائین (Torabi *et al.*, 2015)، کربوهیدرات‌ها (Ming *et al.*, 2012)، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل فنل‌ها (Hashemi *et al.*, 2010)، قند محلول و آمینواسیدها (Hajiboland *et al.*, 2017)، تحمل به شوری را در گیاه افزایش دهد. با توجه به ملاحظات محیط زیست، اخیراً استفاده از اسیدهای آلی برای بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، کاربرد زیادی یافته و باعث اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی شده است (Samavat and Malakooti, 2006). پژوهش‌های مختلف نشان داده است که اسید هیومیک می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه داشته باشد. این پژوهش‌ها نشان داده است که در محیط‌های شور، اثرات غیرمستقیم این ترکیبات بر سیستم خاک، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر است (Mohamed, 2012; Rady, 2012; Pizzeghello *et al.*, 2013). اثرات مستقیم این ترکیبات بر سیستم گیاه از طریق افزایش جوانه‌زنی، به‌دلیل ویژگی جذب آب و تأمین رطوبت مناسب برای بذر، رشد گیاه، افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و جذب عناصر غذایی، تسریع انتقال عناصر غذایی ضروری در ریشه، سنتز و فعالیت‌های آنزیمی و فعالیت‌های شبه‌هورمونی می‌باشد و به این ترتیب، سبب تحمل گیاه به شوری خواهد شد (Gülser *et al.*, 2010; Ouni *et al.*, 2014). بابونه با نام علمی *Matricaria chamomilla* L. گیاهی از تیره کاسنیان است. یکی از گیاهان دارویی شناخته شده است که در صنایع داروسازی، آرایشی - بهداشتی و عطرسازی، از اهمیت زیادی برخوردار است (Petronilho *et al.*, 2012). مرکز اصلی و خزانه ژنی این گیاه، منطقه مدیترانه به‌ویژه ایران می‌باشد (Ghanavati *et al.*, 2010). بابونه دارای خواص بسیاری از جمله درمان اختلالات گوارشی (Menale *et al.*, 2021)، سرماخوردگی (Güzel *et al.*, 2015)، اختلالات کبدی (Živković *et al.*, 2020)، مشکلات عصبی و تنفسی (Neves *et al.*, 2009) می‌باشد. همچنین از این گیاه برای درمان درد و عفونت (Mikou *et al.*, 2016) و برای درمان بیماری‌های پوستی، چشمی و دهانی استفاده می‌شود (Petrakou *et al.*, 2020). نظر به اهمیت دارویی گیاه بابونه و با توجه به روند روبه‌رشد شور شدن خاک‌های زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و لزوم پژوهش در زمینه یافتن راهکارهای تحمل و مقاومت به شوری در گیاهان و با توجه به نقش اسید هیومیک و سیلیکون در کاهش اثرات مخرب تنش‌های زنده و غیرزنده، این مطالعه با هدف بررسی اثر اسید هیومیک و سیلیکون بر گیاه بابونه تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، با سه عامل شامل شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، اسید هیومیک در سه سطح (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) و سیلیکون در سه سطح (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) در گلخانه مجتمع آموزش عالی نهبوند در نیمه دوم

فروردین ماه ۱۴۰۳ اجرا گردید. میانگین بیشترین دمای گلخانه ۳۵ درجه سلسیوس و کمترین دما ۲۰ درجه سلسیوس بود. میزان روشنایی ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. بذر بابونه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. سیلیکون مورد استفاده در آزمایش (سیلیکات پتاسیم به شکل کود مایع، شامل ۲۶ درصد سیلیسیوم محلول در آب و ۱۲/۶ درصد پتاسیم محلول در آب)، از شرکت سپاهان اصفهان تهیه گردید. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری Diamond Grow، متشکل از مواد آلی (۵۰ درصد)، پتاسیم (۱۲ درصد)، کلسیم (۱ درصد)، نیتروژن (۱ درصد) و کربن کل (۳۶ درصد) بود. برای اعمال تنش شوری از نمک NaCl استفاده شد. گلدان‌ها با خاک زراعی با مشخصات فیزیکوشیمیایی ارائه شده در جدول ۱، پر شد. وزن خاک گلدان‌ها ۳ کیلوگرم و ابعاد گلدان‌ها ۳۰ سانتی‌متر (قطر دهانه) × ۲۲ سانتی‌متر (ارتفاع) بود.

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

Table 1- Physio-chemical properties of pots soil

پتاسیم قابل جذب (پی. پی. ام) Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب (پی. پی. ام) Absorbable phosphorus (ppm)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	یافت خاک Soil texture
334	54	25	35	40	لومی Loam

ادامه جدول ۱ -

Table 1 coninued

کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	کربنات کلسیم معادل (درصد) Carbonate calcium equivalent (%)	اسیدیته گل اشباع (پی. ایچ) Saturated soil acidity (pH)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds.m ⁻¹)
1/4	0.14	35	7.8	4.3

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد. بعد از استقرار کامل بوته‌ها، تعداد گیاهان به ۵ عدد بوته در هر گلدان تنک گردید. محلول‌های شوری، با حل کردن مقادیر مورد نیاز از کلرید سدیم (ساخت شرکت مرک) با خلوص ۹۵ درصد در آب آبیاری برای رسیدن به هدایت الکتریکی تیمار مورد نظر، تهیه و آب آبیاری (با هدایت الکتریکی ۰/۶۹ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. محلول پاشی با اسید هیومیک و سیلیکون و آبیاری با آب شور، با ظهور برگ‌ها آغاز شد و تا شروع گلدهی ادامه یافت. به منظور جلوگیری از تجمع نمک، آبشویی گلدان‌ها، هر دوهفته یکبار با آب معمولی انجام گرفت و برای اطمینان از رسیدن به شوری مورد نظر، هدایت الکتریکی آب خروجی جمع شده در زیرگلدانی اندازه‌گیری شد. آبیاری با آب شور به حدی انجام می‌شد که محلول نمک از انتهای گلدان خارج شود و هدایت الکتریکی آب ورودی و آب خروجی (در زیرگلدانی)، اندازه‌گیری می‌شد تا سطح تنش در تمام گلدان و در تمام مراحل رشد، ثابت باشد (Mollazadeh et al., 2024). گلدهی از ۱۵ تیرماه، آغاز گردید و عملیات برداشت گل‌ها، از ۱۵ تیرماه آغاز و تا آخر شهریورماه ادامه داشت. گل‌ها در دمای اتاق، خشک گردیدند و سپس برای اندازه‌گیری فنل و فلاونوئید کل، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در این آزمایش، صفاتی از قبیل محتوای کلروفیل a و b ، وزن تر و خشک گل، ارتفاع گیاه، قطر کاپیتول و میزان فنل و فلاونوئید کل اندازه‌گیری

شدند. به منظور عصاره‌گیری از گیاه، از روش Ozkan *et al.* (2007) استفاده شد، به این صورت که مقدار ۱۵ گرم از پودر گل‌ها، در یک بالنِ دردار ریخته شد و ۱۵۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه گردید. عصاره‌گیری به مدت ۲ ساعت با استفاده از دستگاه اولتراسونیک انجام شد (۱۵ دقیقه عصاره‌گیری، ۱۵ دقیقه استراحت به دستگاه، در مجموع این فرایند ۴ ساعت به طول انجامید). با استفاده از قیف بوختر و کاغذ صافی، عصاره صاف گردید. عصاره صاف‌شده با دستگاه تبخیرکننده دوآر در دمای زیر ۴۰ درجه، تغلیظ و دوباره توزین شد، وزن عصاره محاسبه گردید و تا زمان مصرف، در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (Ozkan *et al.*, 2007). جهت بررسی محتوای فنل کل، از روش Gutfinger (1981) استفاده شد. به طور خلاصه، غلظت‌های مختلف از اسید گالیک (استاندارد)، عصاره گیاه و آب مقطر (شاهد) در سه تکرار تهیه شد و به آنها به ترتیب، آب مقطر، معرف فولین - سیوکالتو و سدیم کربنات اضافه گردید. بعد از ۹۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها در برابر شاهد، توسط اسپکتروفوتومتر UV در طول موج ۷۲۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. در پایان، محتوای فنل کل، برحسب مقدار معادل اسید گالیک (میلی‌گرم) در عصاره محاسبه شد (Gutfinger, 1981). به منظور بررسی محتوای فلاونوئید کل، از روش Yoo و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا، غلظت‌های مختلف از روتین (استاندارد)، عصاره و آب مقطر (شاهد) در سه تکرار تهیه شد و به آنها به ترتیب، سدیم نیتريت، آلومینیوم کلرید و سود اضافه شد. سپس جذب محلول صورتی‌رنگ در برابر شاهد، توسط اسپکتروفوتومتر UV در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. در نهایت، محتوای فلاونوئید کل، برحسب مقدار معادل روتین (میلی‌گرم در عصاره) محاسبه شد (Yoo *et al.*, 2008). برای تعیین میزان کلروفیل *a* و *b* از روش Arnon (1949) استفاده گردید. استخراج کلروفیل از برگ، توسط استون ۸۰٪ صورت گرفت. مقدار ۰/۲ گرم از بافت تر برگ هرکدام از تیمارها، وزن شد. ساییدن برگ با استون به صورت تدریجی و تا حصول یک محلول سبزرنگ ادامه یافت. سپس حجم محلول با استون، به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. آنگاه، جذب محلول به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر ثبت گردید (Arnon, 1949) و در نهایت به منظور محاسبه محتوای کلروفیل *a* و *b* از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد.

$$\text{رابطه ۱: } a \text{ (mg/g) کلروفیل} = [V / (1000 \times W)] [D \text{ (در ۶۴۵ نانومتر)} - 2/69 \text{ (در ۶۶۳ نانومتر)}] \quad 12/7$$

$$\text{رابطه ۲: } b \text{ (mg/g) کلروفیل} = [V / (1000 \times W)] [D \text{ (در ۶۶۳ نانومتر)} - 4/68 \text{ (در ۶۴۵ نانومتر)}] \quad 22/9$$

در این رابطه‌ها، $D =$ غلظت نوری؛ $V =$ حجم نهایی استون ۸۰٪ (۲۰ میلی‌لیتر)؛ $W =$ وزن تر نمونه بر حسب گرم (۰/۲ گرم) می‌باشد. تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون آماری کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر شوری بر محتوای کلروفیل *b*، ارتفاع گیاه و میزان فنل کل در سطح ۱ درصد و بر

میزان فلاونوئید کل، در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر اسید هیومیک بر ارتفاع گیاه در سطح ۱ درصد و بر میزان فنل کل، در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر سیلیکون بر وزن تر و خشک گل، ارتفاع گیاه و قطر کاپیتول، در سطح ۱ درصد و بر محتوای کلروفیل *b*، در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر دو عامل شوری × هیومیک، شوری × سیلیکون و هیومیک × سیلیکون و همچنین اثر سه عامل شوری × هیومیک × سیلیکون بر صفات محتوای کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، وزن تر و خشک گل، ارتفاع گیاه، قطر کاپیتول، میزان فنل و فلاونوئید کل، از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲).

جدول ۲ - تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر برخی صفات کمی و کیفی بابونه تحت تنش شوری

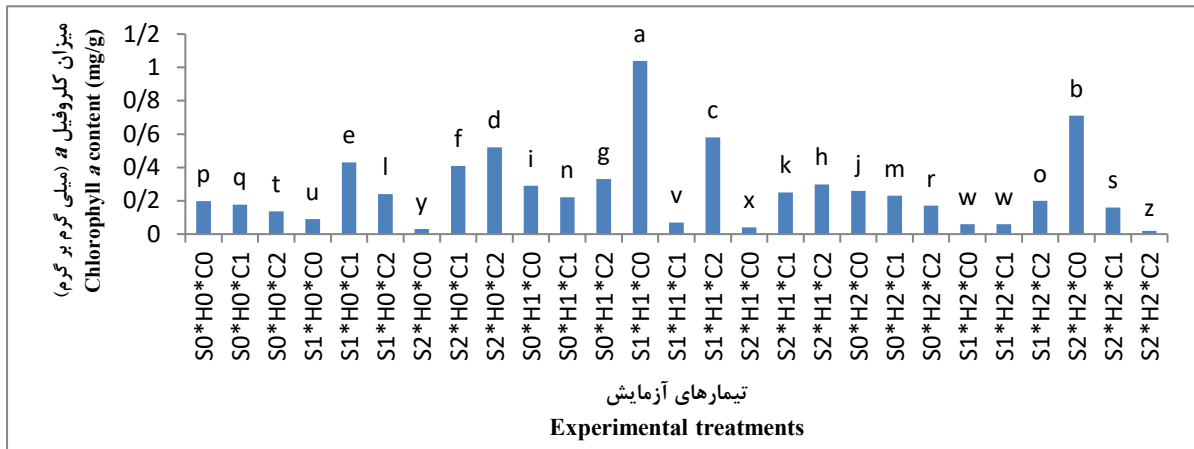
Table 2- Variance analysis of humic acid and silicon foliar application effect on some quantitative and qualitative traits of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

میانگین مربعات (Means of squares)								درجه آزادی DF	منابع تغییرات Source of variations
فلاونوئید کل Total flavonoid	فنل کل Total phenol	قطر کاپیتول Capitulum diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن خشک گل Flower dry weight	وزن تر گل Flower fresh weight	کلروفیل <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	کلروفیل <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>		
40.78*	12.48**	0.76 ^{ns}	84.70**	0.00012 ^{ns}	0.0011 ^{ns}	0.1013**	0.075 ^{ns}	2	شوری Salinity
15.07 ^{ns}	11.31*	0.53 ^{ns}	139.59**	0.00007 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0331 ^{ns}	0.15 ^{ns}	2	اسید هیومیک Humic acid
5.20 ^{ns}	1.12 ^{ns}	3.91**	177.81**	0.00071**	0.0064**	0.0590*	0.073 ^{ns}	2	سیلیکون Silicon
21.50**	7.79**	2.02**	77.50**	0.00014**	0.0012**	0.071**	0.17**	8	شوری × اسید هیومیک Salinity × Humic acid
55.71**	9.71**	1.40**	81.22**	0.00035**	0.0032**	0.052**	0.06**	8	شوری × سیلیکون Salinity × Silicon
42.19**	3.93**	1.50**	110.36**	0.00025**	0.0023**	0.046**	0.13**	8	اسید هیومیک × سیلیکون Humic acid × Silicon
40.76**	6.63**	1.29**	69.13**	0.00019**	0.0017**	0.057**	0.16**	26	شوری × اسید هیومیک × سیلیکون × Humic acid × Silicon
12.67	2.37	0.31	14.18	0.00006	0.0005	0.015	0.049	74	خطا Error
17.90	15.34	8.33	12.49	21.15	23.15	24.66	24.16		ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

*: معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد **: معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد ns: غیر معنی دار
*: significant at P<0.05 **: significant at P<0.01 ns: not significant

بالاترین میزان کلروفیل *a* (۱/۰۴ میلی گرم بر گرم) و کلروفیل *b* (۰/۵۵ میلی گرم بر گرم) در شوری ۵۰ میلی مولار و با کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و بدون کاربرد سیلیکون به دست آمد (شکل ۱ و ۲). افزایش غلظت اسید هیومیک به ۱/۵ گرم در لیتر، در سطح شوری ۵۰ میلی مولار باعث کاهش میزان کلروفیل *a* و *b* گردید. این موضوع نشان می دهد که اثربخشی اسید هیومیک در افزایش سطح کلروفیل، بسته به غلظت آن، می تواند متغیر باشد. میزان کلروفیل در گیاهان، یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار بر فتوسنتز می باشد. گزارش شده است که با توجه به شدت تنش، طول دوره تنش و مرحله رشدی گیاه، تأثیر تنش بر هر کدام از مقادیر کلروفیل *a*، *b* و کل، ممکن است متفاوت باشد (Meganid et al., 2015). در بررسی اثرات تنش شوری بر کاهو (*Lactuca sativa* L.) بومی اهواز و استفاده از اسید هیومیک با هدف کاهش اثرات شوری، نتایج حاکی از آن بود که با افزایش غلظت اسید هیومیک به مقدار ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم، میزان کلروفیل افزایش یافت (Silavi and Eftekhari,

(2016). کاربرد اسید هیومیک در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.) تحت تنش شوری، سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل شد (Bacilio *et al.*, 2016) که با نتایج مطالعه حاضر، همخوانی دارد.



شکل ۱- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر میزان کلروفیل a با بونه تحت تنش شوری

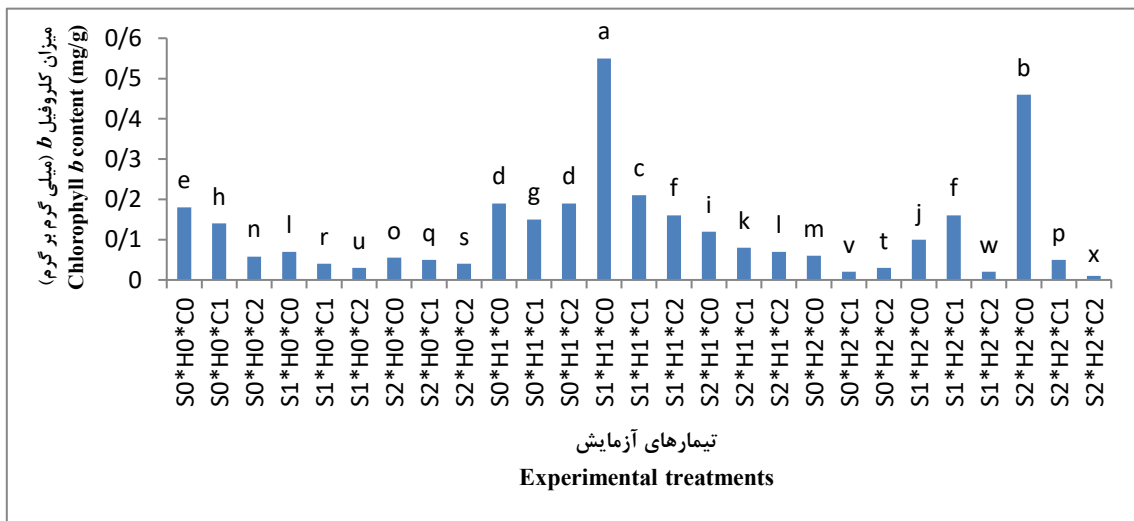
حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی‌مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی‌مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی‌مولار

Figure 1- Effect of humic acid and silicon foliar application on chlorophyll a of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM



شکل ۲- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر میزان کلروفیل b با بونه تحت تنش شوری

حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی‌مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی‌مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی‌مولار

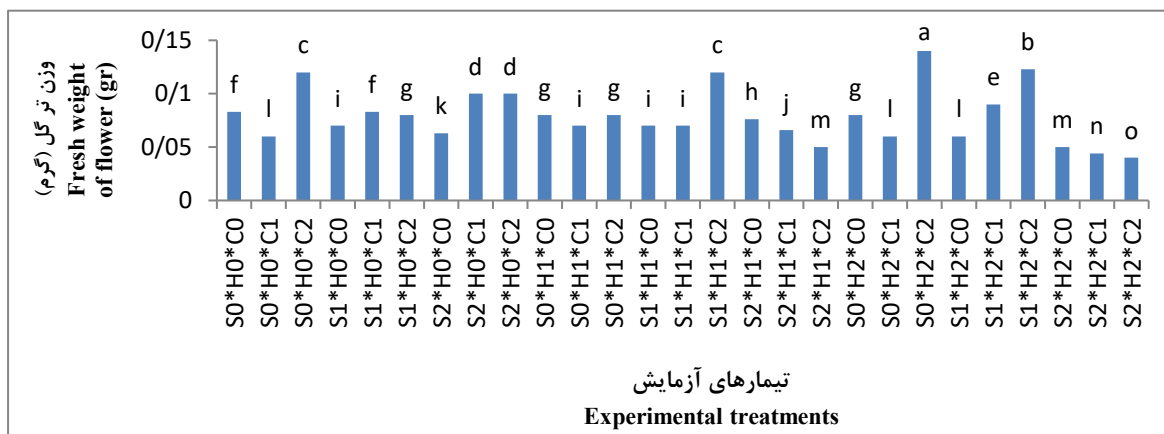
Figure 2- Effect of humic acid and silicon foliar application on chlorophyll b of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM

همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بالاترین وزن تر گل (۰/۱۴ گرم) در بالاترین سطح اسید هیومیک و سیلیکون و بدون تنش شوری ایجاد شد. بالاترین وزن خشک گل (۰/۰۶ گرم) نیز در همین تیمار به دست آمد (شکل ۴). هرچند استفاده از اسید هیومیک و سیلیکون در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار نیز توانست وزن گل مناسبی تولید کند؛ به طوری که میزان کاهش وزن تر گل در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون شوری، فقط ۱۴/۲۸ درصد بود. اگرچه در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار)، کاربرد اسید هیومیک و سیلیکون نتوانست از کاهش وزن تر و خشک گل جلوگیری کند. *Mohammed et al.* (2019) گزارش کردند که کاربرد بالاترین سطح اسید هیومیک (۳ لیتر در هکتار)، باعث افزایش وزن تر و خشک گل در بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) گردید (*Mohammed et al.*, 2019). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از سیلیکون می‌تواند به طور قابل توجهی آسیب ناشی از شوری را کاهش دهد (*Liang et al.*, 2005; *Yan et al.*, 2018). به دلیل نقش مثبت سیلیکون در مکانیسم‌هایی مانند رسوب یون‌های سدیم (*Zhu et al.*, 2019)، کاهش جذب سدیم، افزایش جذب پتاسیم (*Liang et al.*, 2005) و افزایش انتخاب پتاسیم نسبت به سدیم (*Kim et al.*, 2017)، کاربرد سیلیکون در جهت افزایش تحمل به شوری پیشنهاد شده است. تأثیر سیلیکون در جذب و انتقال عناصر مغذی، می‌تواند از طریق دو مکانیسم صورت گیرد: مکانیسم اول، رسوب سیلیکون در دیواره سلولی که می‌تواند جذب آپوپلاستی برخی از عناصر از طریق ریشه و کاهش انتقال آنها در جریان تعرق را کاهش دهد (*Mali and Aery*, 2008)؛ در مکانیسم دوم، سیلیکون می‌تواند عملکرد و یکپارچگی غشای سلولی را بهبود بخشد و باعث افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی شود (*Zhu et al.*, 2019). در مطالعه حاضر، بیشترین ارتفاع گیاه بابونه (۴۱ سانتی‌متر) با کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۳ میلی‌مولار سیلیکون در شوری ۵۰ میلی‌مولار به دست آمد (شکل ۵). بدین ترتیب، استفاده از اسید هیومیک و سیلیکون، تا حدودی در کاهش آثار مخرب شوری نقش داشتند. کاهش ارتفاع گیاه به دلیل تنش شوری در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (*Gengmao et al.*, 2015) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (*Bybordi*, 2014) گزارش شده است؛ با این حال، استفاده از سیلیکون، اثرات منفی تنش شوری را جبران کرد و ارتفاع گیاه با افزایش غلظت سیلیکون در مقایسه با گیاهان تیمار نشده، بهبود یافت. اثر تسریع‌کنندگی مواد هیومیکی روی رشد ساقه، به علت تأثیر بر فعالیت H^+ -ATPase ریشه و توزیع نیترات ریشه در ساقه بوده که به نوبه خود، منجر به تغییرات در توزیع سایتوکینین‌ها، پلی‌آمین‌ها و ATP می‌شود؛ بنابراین روی رشد ساقه اثر دارد (*Rubio et al.*, 2009). براساس نتایج به دست آمده، بیشترین قطر کاپیتول (۸/۲۸ میلی‌متر) در شوری ۵۰ میلی‌مولار و با کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۳ میلی‌مولار سیلیکون تولید شد (شکل ۶). چنان‌که مشاهده می‌شود، اسید هیومیک و سیلیکون نقش مهمی در افزایش قطر کاپیتول در این سطح شوری داشتند. هرچند، کاربرد همین غلظت‌های اسید هیومیک و سیلیکون در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر قابل توجهی بر قطر کاپیتول نداشت. می‌توان نتیجه گرفت که اثربخشی اسید هیومیک و سیلیکون، تنها در برخی سطوح شوری قابل مشاهده است. نتایج مطالعه *Hussain et al.* (2018) نشان داد که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری و سدیمی در

آفتابگردان (*Helianthus annus L.*)، باعث افزایش ۲۲ تا ۳۰ درصدی قطر طبق گردید (Hussain *et al.*, 2018). کاربرد ۳ لیتر در هکتار اسید هیومیک در شرایط نیتروژن کافی، باعث افزایش معنی‌دار قطر طبق در آفتابگردان (*Helianthus annus*) شد (Tadayyon *et al.*, 2021).



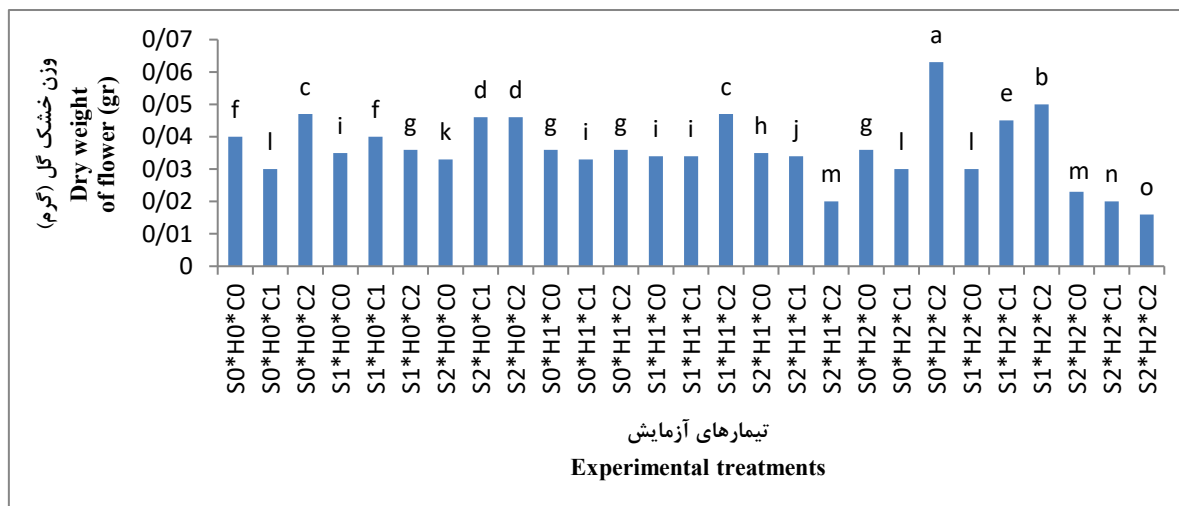
شکل ۳- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر وزن تر گل بابونه تحت تنش شوری حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی‌مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی‌مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی‌مولار

Figure 3- Effect of humic acid and silicon foliar application on flower fresh weight of *Matricaria chamomilla L.* under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM



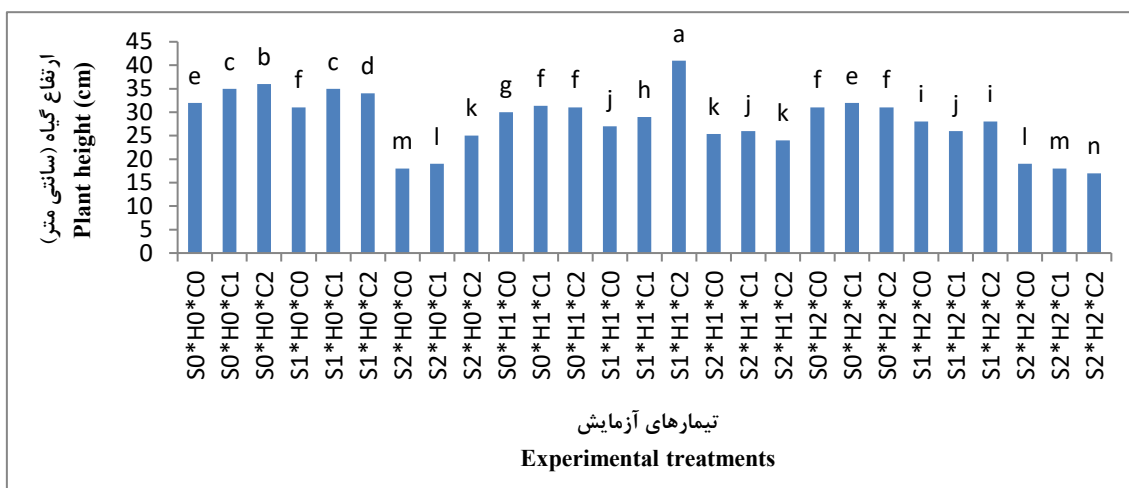
شکل ۴- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر وزن خشک گل بابونه تحت تنش شوری حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی‌مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی‌مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی‌مولار

Figure 4- Effect of humic acid and silicon foliar application on flower dry weight of *Matricaria chamomilla L.* under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM



شکل ۵- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر ارتفاع بابونه تحت تنش شوری

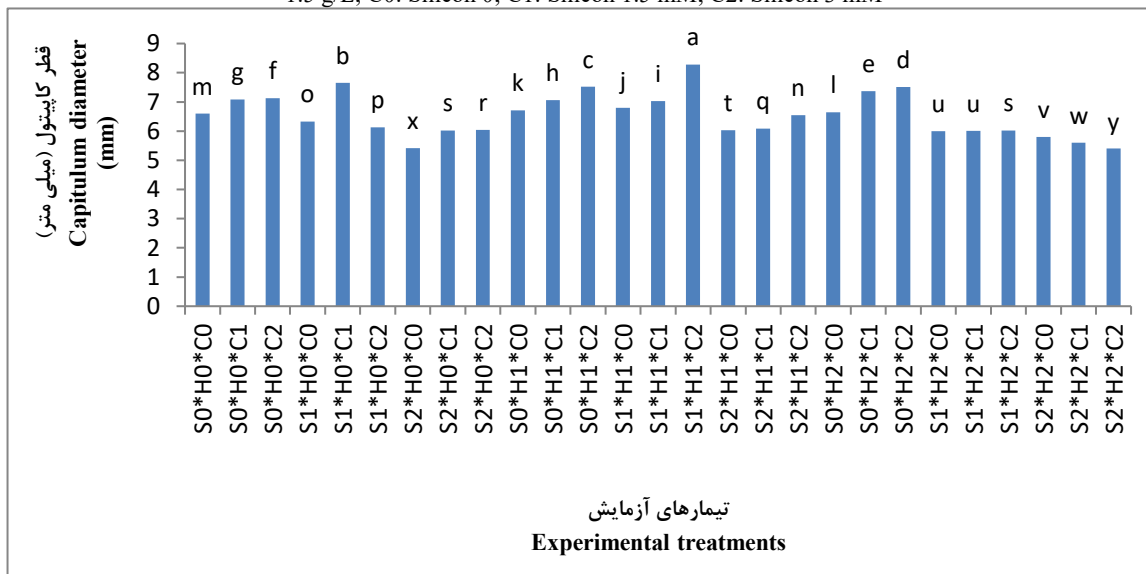
حروف مشابه، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی مولار

Figure 5- Effect of humic acid and silicon foliar application on height of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM



شکل ۶- اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر قطر کاپیتول بابونه تحت تنش شوری

حروف مشابه، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

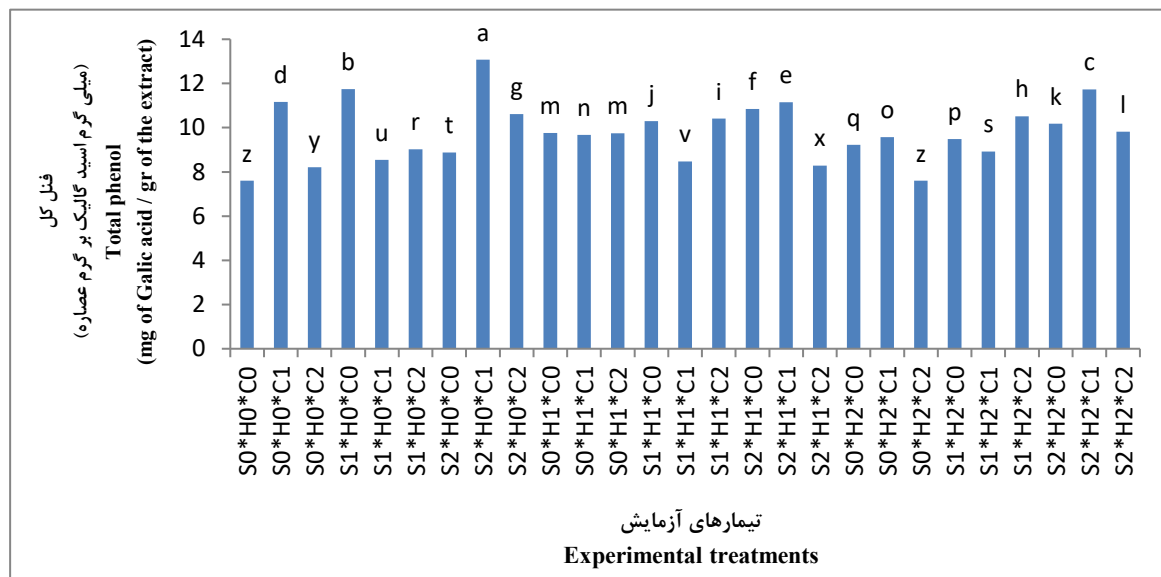
S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی مولار

Figure 6- Effect of humic acid and silicon foliar application on capitulum diameter of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM

در این مطالعه، بیشترین میزان فنل کل (۱۳/۰۷ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم عصاره) در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، با استفاده از ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون و بدون کاربرد اسید هیومیک به دست آمد (شکل ۷). در حالی که در همین سطح شوری و سیلیکون و با افزایش اسید هیومیک به ۰/۵ گرم در لیتر، میزان فنل کل ۱۴/۶۹ درصد کاهش یافت و به ۱۱/۱۵ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم عصاره رسید. از آنجا که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، استفاده از سطح بالاتر سیلیکون (۳ میلی‌مولار) باعث کاهش فنل کل گردید، به نظر می‌رسد که سطح غلظت سیلیکون، عامل تعیین‌کننده‌ای بوده و می‌تواند مسیرهای متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار دهد. در مطالعه‌ای روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.)، کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، باعث کاهش ۵۶/۵ درصدی میزان فنل تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار گردید (Narimani et al., 2018). تولید ترکیبات فنلی تحت اثر شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است. این ترکیبات، آنتی‌اکسیدان‌های نیرومندی در بافت‌های گیاهان تحت تنش هستند و این ویژگی به علت ساختار اسکلتی و گروه فنلی این متابولیت‌هاست. گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک، توان جارو کردن رادیکال‌های آزاد را داشته؛ بدین ترتیب، آسیب‌های اکسیداتیو را کاهش می‌دهند و ساختارهای سلولی را از تأثیرات منفی شوری محافظت می‌کنند (Al-Amier and Craker, 2007). کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون به طور قابل توجهی، محتوای فنل کل را در اندام‌های هوایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش داد (Robotjazi et al., 2020).



شکل ۷ - اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر میزان فنل کل بابونه تحت تنش شوری

حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

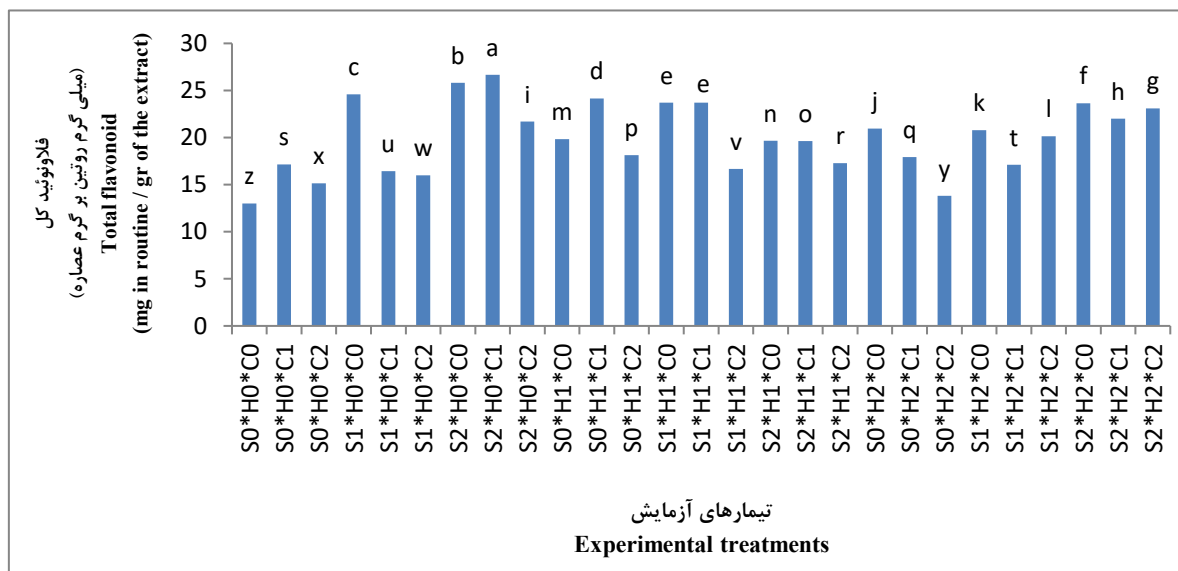
S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی‌مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی‌مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی‌مولار

Figure 7- Effect of humic acid and silicon foliar application on total phenol content of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM

بیشترین میزان فلاونوئید کل (۲۶/۶۶ میلی گرم روتین بر گرم عصاره) در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار، با استفاده از ۱/۵ میلی مولار سیلیکون و بدون کاربرد اسید هیومیک به دست آمد (شکل ۸). در حالی که در همین سطح شوری و سیلیکون و با کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک، مقدار فلاونوئید کل، ۲۶/۴۰ درصد کاهش یافت و به ۱۹/۶۲ میلی گرم روتین بر گرم عصاره رسید. Narimani *et al.* (2018) نیز گزارش کردند که میزان فلاونوئید در گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.)، با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک کاهش یافت (Narimani *et al.*, 2018). در مورد نقش سیلیکون در افزایش میزان فلاونوئید، Amiripour *et al.* (2021) گزارش کردند که بیشترین میزان فلاونوئید در گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)، با کاربرد ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیلیکون و در تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار به دست آمد (Amiripour *et al.*, 2021). سیلیکون به دلیل نقشی که در بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فنل و فلاونوئید کل دارد، می‌تواند گیاهان تحت تنش را از رادیکال‌های آزاد محافظت کند (Fatemi *et al.*, 2020).



شکل ۸ - اثر محلول پاشی اسید هیومیک و سیلیکون بر میزان فلاونوئید کل بایونه تحت تنش شوری حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD است.

S0: شوری صفر؛ S1: شوری ۵۰ میلی مولار؛ S2: شوری ۱۰۰ میلی مولار؛ H0: اسید هیومیک صفر؛ H1: اسید هیومیک ۰/۵ گرم در لیتر؛ H2: اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر؛ C0: سیلیکون صفر؛ C1: سیلیکون ۱/۵ میلی مولار؛ C2: سیلیکون ۳ میلی مولار

Figure 8- Effect of humic acid and silicon foliar application on total flavonoid content of *Matricaria chamomilla* L. under salinity stress

Similar letters indicate no significant difference at the 5% level using the LSD test.

S0: Salinity 0; S1 (Salinity 50 mM); S2 (Salinity 100 mM); H0: Humic acid 0; H1: Humic acid 0.5 g/L; H2: Humic acid 1.5 g/L; C0: Silicon 0; C1: Silicon 1.5 mM; C2: Silicon 3 mM

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این آزمایش، کاربرد اسید هیومیک و سیلیکون، اثرات مخرب تنش شوری را کاهش داد؛ به طوری که بیشترین ارتفاع گیاه و قطر کاپیتول، با کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و بالاترین سطح سیلیکون (۳ میلی مولار) و شوری

۵۰ میلی مولار به دست آمد. درصد افزایش صفات مذکور، در مقایسه با تیمار فاقد هیومیک و سیلیکون در همین سطح شوری، نسبتاً قابل توجه بود. همچنین، بیشترین میزان فنل و فلاونوئید کل، در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار، ۱/۵ میلی مولار سیلیکون و بدون کاربرد اسید هیومیک تولید گردید. به نظر می‌رسد در راستای کاهش اثرات مخرب تنش شوری می‌توان از اسید هیومیک و سیلیکون استفاده نمود. بدین ترتیب، به طور همزمان هم از خاک‌های شور استفاده می‌گردد و هم عملکرد بالاتری حفظ خواهد گردید. پیشنهاد می‌گردد این موضوع در مطالعات مزرعه‌ای نیز در خاک‌های شور مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا که با اختصاص گرنت شماره ۴۰۳۳۶، مسیر تدوین این مقاله را

هموار نمودند، قدردانی می‌گردد.

منابع

Abdelaal, K.A.A., Mazrou, Y.S.A., & Hafez, Y.M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, 9(6), Article 733, 1-15.

Aghaei Joubani, K., Taei, N., Kanani, M.R., & Yazdani, M. (2015). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. *Plant Process and Function*, 3(9), 85-96. [In Persian]

Ahmad, P., Ahanger, M.A., Alam, P., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., Ali, S., & Ashraf, M. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 70-82.

Al-Amier, H., & Craker, L.E. (2007). In-vitro selection for stress tolerant spearmint. In: Janick, J. and Whipkey A. (eds), *Issues in New Crops and New Uses*, Pp. 306-310, ASHS Press.

Amiripour, A., Ghanbari Jahromi, M., Souri, M.K., & Mohammadi Torkashvand, A. (2021). Silicon stimulates physiochemical properties of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to improve growth and yield under salt stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 209-216.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.

Asemeh, M., & Pourakbar, L. (2016). Effect of silica nanoparticles on some growth factors in saffron plant under salinity stress. Iranian Biology Congress (19th National Congress and 7th International Congress), University of Tabriz and Iranian Biology Society, Tabriz. [In Persian]

Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163-190.

Bacilio, M., Moreno, M., & Bashan, Y. (2016). Mitigation of negative effects of progressive soil salinity gradients by application of humic acids and inoculation with *Pseudomonas stutzeri* in a salt-tolerant and a salt-susceptible pepper. *Applied Soil Ecology*, 107, 394-404.

Bybordi, A. (2014). Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9), 1889-1899.

Fatemi, H., Esmail Pour, B., Rizwan, M. (2020). Foliar application of silicon nanoparticles affected the growth, vitamin C, flavonoid, and antioxidant enzyme activities of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants grown in lead (Pb)-spiked soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1417-1425.

Fauteux, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J.G., & Bélanger, R.R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, Article 249, 1-6.

Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S., & Changhai, W. (2015). Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial Crops and Products*, 64, 175-181.

- Ghanavati, M., Houshmand, S., Zeinali, H., & Ebrahimpour, F. (2010).** Chemical composition of the essential oils of *Matricaria recutita* L. belonging to central and south parts of Iran. *Journal of Medicinal Plants*, 9(34), 102-108. [In Persian]
- Gülser, F., Sönmez, F., & Boysan Canal, S. (2010).** Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 873-876.
- Gutfinger, T. (1981).** Polyphenols in olive oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 58, 966-968.
- Güzel, Y., Güzelşemme, M., & Miski, M. (2015).** Ethnobotany of medicinal plants used in Antakya: A multicultural district in Hatay Province of Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 174, 118-152.
- Hajiboland, R., Cherghvareh, L., & Dashtebani, F. (2017).** Effect of silicon supplementation on wheat plants under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5(18), 1-12.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013).** Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahmad, P., Azooz, M., Prasad, M. (eds), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, Pp: 25-87, Springer, New York.
- Hashemi, A., Abdolzadeh, A., & Sadeghipour, H.R. (2010).** Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L. plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 244-253.
- Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., Prado, R. de M., Sousa Junior, G. da S., Gratão, P.L., Felisberto, G., Viciedo, D.O., & Mathias dos Santos, D.M. (2020).** Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, Article 110964, 1-11.
- Hussain, S.A., Farooq, M.A., Akhtar, J., & Saqib, Z.A. (2018).** Silicon-mediated growth and yield improvement of sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to brackish water stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 180.
- Kim, Y-H., Khan, A.L., Waqas, M., & Lee, I-J. (2017).** Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 510, 1-7.
- Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., & Ding, R. (2005).** Effects of silicon on H⁺-ATPase and H⁺-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 53(1), 29-37.
- Mali, M., & Aery, N.C. (2008).** Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 31(11), 1867-1876.
- Meganid, A.S., Al-Zahrani, H.S., El-Metwally, Selim, M.S. (2015).** Effect of humic acid application on growth and chlorophyll contents of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress conditions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2651-2660.
- Menale, B., De Castro, O., Di Iorio, E., Ranaldi, M., & Muoio, R. (2021).** Discovering the ethnobotanical traditions of the island of Procida (Campania, southern Italy). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 156(2), 450-468.
- Mikou, K., Rachiq, S., & Jarrar Oulidi, A. (2016).** Étude ethnobotanique des plantes médicinales et aromatiques utilisées dans la ville de Fès au Maroc. *Phytothérapie*, 14, 35-43.
- Ming, D.F., Pei, Z.F., Naeem, M.S., Gong, H.J., & Zhou, W.J. (2012).** Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(1), 14-26.
- Mohamed, W.H. (2012).** Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 6(8), 597-604.
- Mohammed, A.E.M.E., Mewead, A.A.A., Gendy, A.S.H., & Abdelkader, M.A.I. (2019).** Influence of humic acid rates and application times on vegetative growth and yield components of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) plants grown under reclaimed sandy soil conditions. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 46(6B), 2171-2181.

- Mollazadeh, F., Ghanbari Jahromi, M., & Marashi, M. (2024).** Alleviating salinity stress in Chinese lantern (*Physalis alkekengi* L.) by improving the plants growth characteristics and yield using zinc nanoparticle. *Journal of Plant Process and Function*, 14(65), 191-209. [In Persian]
- Narimani, R., Moghaddam, M., Nemati, S.H., & Ghasemi Pirbaluti, A. (2018).** Evaluation of salinity adjusted by using humic acid and ascorbic acid in medicinal plant of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(4), 927-938. [In Persian]
- Neves, J.M., Matos, C., Moutinho, C., Queiroz, G., & Gomes, L.R. (2009).** Ethnopharmacological notes about ancient uses of medicinal plants in Trás-os-Montes (northern of Portugal). *Journal of Ethnopharmacology*, 124(2), 270-283.
- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, Ch., & Lakhdar, A. (2014).** The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*, 8(3), 353-374.
- Ozkan, G., Sagdic, O., Ekici, L., Ozturk, I., & Ozcan, M.M. (2007).** Phenolic compounds of *Origanum sipyleum* L. extract, and its antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Food Lipids*, 14(2), 157-169.
- Petrakou, K., Iatrou, G., & Lamari, F.N. (2020).** Ethnopharmacological survey of medicinal plants traded in herbal markets in the Peloponnisos, Greece. *Journal of Herbal Medicine*, 19, Article 100305.
- Petronilho, S., Maraschin, M., Coimbra, M.A., & Rocha, S.M. (2012).** In vitro and in vivo studies of natural products: A challenge for their valuation. The case study of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Industrial Crops and Products*, 40, 1-12.
- Pizzeghello, D., Francioso, O., Ertani, A., Muscolo, A., & Nardi, S. (2013).** Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. *Journal of Geochemical Exploration*, 129, 70-75.
- Rady, M.M. (2012).** A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African Journal of Botany*, 81, 8-14.
- Raj, H., & Thakral, K.K. (2008).** Effect of chemical fertilizers on growth, yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Journal of Spices and Aromatic Crops (JOSAC)*, 17(2), 134-139.
- Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., & Abbas, F. (2015).** Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 15416-15431.
- Robotjazi, R., Roshandel, P., & Hooshmand, S. (2020).** Benefits of silicon nutrition on growth, physiological and phytochemical attributes of basil upon salinity stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7(1), 37-50.
- Rubio, V., Bustos, R., Irigoyen, M.L., Cardona-López, X., Rojas-Triana, M., & Paz-Ares, J. (2009).** Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 361-373.
- Sakr, N. (2017).** The Role of Silicon (Si) in increasing plant resistance against insect pests; Review article. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 52(2), 185-204.
- Samavat, S., & Malakooti, M.J. (2006).** The necessity of using organic acids (humic acid and fulvic acid) in increasing the quantity and quality of agricultural products. Technical bulletin No. 463, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Agricultural - Jihad. [In Persian]
- Sarker, U., & Oba, S. (2020).** The response of salinity stress-induced *A. tricolor* to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 559876.
- Silavi, B., & Eftekhari, S.A. (2016).** Studying the effects of irrigation water salinity on leaf chlorophyll content and nutrient uptake of native Ahvaz lettuce by using different amounts of humic acid. 2nd National Conference on New Findings in Agricultural Sciences, Environment and Sustainable Natural Resources, Kerman, Jiroft. [In Persian]
- Silva, O.N., Lobato, A.K.S., Ávila, F.W., Costa, R.C.L., Oliveira Neto, C.F., Santos Filho, B.G., Martins Filho, A.P., Lemos, R.P., Pinho, J.M., Medeiros, M.B.C.L., Cardoso, M.S., & Andrade, I.P. (2012).** Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 58(11), 481-486.

Tadayyon, M.R., Tadayyon, A., & Esmaili, S. (2021). Effect of humic acid on growth and yield indices of sunflower (*Helianthus annuus*) in a saline soil. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), 101-110. [In Persian]

Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91(5), 503-527.

Torabi, F., Majd, A., & Enteshari, S. (2015). The effect of silicon on alleviation of salt stress in borage (*Borago officinalis* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(5), 788-798.

Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, V.P., Prasad, S.M., Dubey, N.K., & Chauhan, D.K. (2017). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 70-81.

Veisi, Z., Ghorbanpour, M., & Akramian, M. (2023). The effects of silicon nanoparticles on morpho-physiological and biochemical parameters of *Calendula officinalis* L. plants under salinity stress in hydroponic culture conditions. *Plant Process and Function*, 11(47), 211-229. [In Persian]

Wang, D., Hou, L., Zhang, L., & Liu, P. (2021). The mechanisms of silicon on maintaining water balance under water deficit stress. *Physiologia Plantarum*, 173(3), 1253-1262.

Yan, G-C., Miroslav, N., Ye, M-J., Xiao, Z-X., & Liang, Y-C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2138-2150.

Yin, L., Wang, S., Tanaka, K., Fujihara, S., Itai, A., Den, X., & Zhang, S. (2016). Silicon-mediated changes in polyamines participate in silicon-induced salt tolerance in *Sorghum bicolor* L. *Plant, Cell and Environment*, 39(2), 245-258.

Yoo, K.M., Lee, C.H., Lee, H., Moon, B., & Lee, C.Y. (2008). Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food Chemistry*, 106, 929-936.

Zhu, Y-X., Gong, H-J., & Yin, J-L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A review. *Plants*, 8, Article 147, 1-22.

Živković, J., Ilić, M., Šavikin, K., Zdunić, G., Ilić, A., & Stojković, D. (2020). Traditional use of medicinal plants in south-eastern Serbia (Pčinja District): Ethnopharmacological investigation on the current status and comparison with half a century old data. *Frontiers in Pharmacology*, 11, Article 1020.