پاسخ‌های رویشی و زایشی گل مریم رقم دزفول (*Polianthes tuberosa* L. cv. Dezful) به کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت در محیط کشت گلدانی

فرزاد نظری[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گل مریم، این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی) و ۱۰ تکرار (هر تکرار یک گلدان با دو سوخ) به‌صورت گلدانی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت در آمیخته خاکی کشت گلدانی گل مریم، اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رویشی و زایشی اندازه‌گیری شده دارد؛ اگر چه صفات رویشی در مقایسه با صفات زایشی، پاسخ مثبت و معنی‌داری به کاربرد زئولیت در آمیخته خاکی داشتند. بیشترین تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، ریشه و سوخک‌ها، بلندترین طول ریشه و حجم ریشه در استفاده از ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در مقایسه با سایر تیمارها به‌دست آمد. هر چند که بیشترین طول و قطر ساقه گل در کاربرد ۲۵ گرم زئولیت مشاهده شد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) نداشت. استفاده از زئولیت در همه مقادیر سبب کاهش وزن تر و خشک ساقه گل شد و بیشترین مقدار این صفت‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد. همچنین، کاربرد زئولیت در محیط کشت سبب زود گل‌دهی سوخ‌ها شد. در همه صفات اندازه‌گیری شده، افزایش مقدار زئولیت از ۲۵ گرم به ۲۰۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی سبب کاهش مقادیر آنها شد. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان مقدار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی را برای کشت گلدانی گل مریم توصیه کرد. هر چند که نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه است.

کلمات کلیدی: بهبود دهنده‌های خاک، سوخک، گل‌دهی، گیاهان سوخوار

مقدمه

گل مریم یکی از گیاهان سوخوار (Bulbous plants) زینتی محبوب از تیره آگاوسانان (Agavaceae) و بومی مکزیک است. همچنین، یکی از مهم‌ترین گل‌ها در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است که به‌صورت شاخه‌بریده، باغچه‌ای و نیز در صنعت عطرسازی از آن استفاده می‌شود (۳۱). در سال‌های اخیر، نگرش جامعه جهانی و به‌ویژه بخش کشاورزی، به سمت اصلاح الگوی مصرف آب و جلوگیری از هدر رفتن آن، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آبشویی عناصر غذایی از خاک و نیز آمیخته‌های خاکی است. در این راستا، کاربرد

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.nazari@uok.ac.ir

مـواد معـدنی طبیعـی بـه‌عنـوان بهبـود دهنـده‌هـای خـاک (Soil amendments)، به‌منظور افزایش حاصل‌خیـزی و اصـلاح سـاختمان فیزیکـی و شـیمیایی خـاک کـه افـزون بـر افـزایش نگـه‌داری آب در خـاک، منجـر بـه افـزایش کـارآیی مصـرف کود می‌شوند، توصیه شده اسـت (۲۷، ۲۸ و ۳۰). یکـی از ایـن بهبود دهنده‌های خاک با منشأ طبیعـی، زئولیـت‌هـا (Zeolites) هسـتند. زئولیـت‌هـا کـانی‌هـای آلومینوسـیلیکات‌هـای آبـداری (Hydrated alumino-silicates) هستند که به‌وسیله شـبکه‌هـای سه‌بعدی تترا اکسید سـیلیکون (SiO_4) و تتـرا اکسـید آلومینیـوم (AlO_4) و نیـز اتـم‌هـای اکسـیژن یـک سـاختار چهـار وجهـی را تشـکیل مـی‌دهنـد (۳۵). امـروزه بـیش از ۵۰ نـوع زئولیـت طبیعی توسط پژوهشگران در سراسر دنیـا گـزارش شـده و نیـز بیش از ۱۵۰ نوع زئولیت نیز به‌صورت مصنوعی در آزمایشـگاه تولید شده است (۳۳). کلینوپتیلولیت (Clinoptilolite) با فرمول شیمیایی $(K_2, Na_2, Ca)_3Al_6Si_{30}O_{72}.21H_2O$، فراوان‌ترین زئولیـت طبیعی در سطح دنیا است (۲۴) و به‌علت توانـایی در نگـه‌داری کاتیون‌های بـزرگ ماننـد آمونیـوم (NH_4^+) و پتاسـیم (K^+)، در سـاختن کـودهـای شـیمیایی کُنـدرها (Slow release) اسـتفاده مـی‌شـود (۲۳). بـه‌طـور کلـی، زئولیـت‌هـای طبیعـی دارای ویژگـی‌هـایی ماننـد ظرفیـت تبـادل کـاتیونی (CEC)، قـدرت نگه‌داری آب، سطح جذب زیاد، قابلیت برگشت‌پـذیری جـذب آب، جذب آمونیوم و جلوگیری از آب‌شـویی نیتـرات، افـزایش کارایی مصرف کـود نیتـروژن و بهبـود جـذب پتاسـیم هسـتند. افزون بر این، گزارش شده که اضافه کـردن زئولیـت بـه محـیط کشت سبب بهبود ویژگی‌های شـیمیایی و فیزیکـی آن، افـزایش تخلخل کل و ظرفیـت نگـه‌داری آب و نیـز کـاهش آب‌شـویی پتاسیم شده است (۱۶). همچنین، افزودن زئولیـت‌هـا بـه بسـتر کشت، ضمن کاهش هزینه‌های آبیاری و تغذیه، نگرانی پرورش دهندگان را در مورد مشکلات زیست‌محیطی کاهش می‌دهد. در همین راستا، نظری و همکاران (۳۰) در پژوهشی، با بررسـی اثـر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیـت بـر ویژگـی‌هـای رویشـی، زایشـی و فیزیولوژیک گل جعفری آفریقـایی (*Tagetes erecta* L. 'Queen')، دریافتند که استفاده از زئولیـت طبیعـی کلینوپتیلولیـت در محـیط کشت با افزایش CEC خاک و کاهش آب‌شویی عناصر غـذایی، سبب افزایش نیتروژن، فسـفر، پتاسـیم، کلسـیم و منیـزیم قابـل دسترس در خاک گلدان شد. همچنین، این پژوهشگران گزارش کردند که زئولیـت سـبب افـزایش وزن تـر و خشـک ریشـه و شاخساره، سطح برگ، میزان فتوسنتز، کارایی یاخته‌های مزوفیل، کارآیی مصرف آب و میزان کلروفیل شد. در پژوهشی دیگـر بـا اضافه کردن ۵۰ گرم زئولیت طبیعـی کلینوپتیلولیـت بـه محـیط کشت گلدان‌های ۱/۵ لیتـری گـل داوُدی بـدون مصـرف کـود، عملکرد یکسانی در مقایسه با کاربرد روزانه ۲۳۴ میلـی‌گـرم در لیتر پتاسیم همراه آبیاری، بـدون اسـتفاده از زئولیـت در محـیط کشت، به‌دست آمده است (۱۳). کاربرد خاکی کلینوپتیلولیت در گندم، بادمجان، هویج، گوجه‌فرنگی و فلفل بـه‌طـور معنـی‌داری سبب افزایش محصول شده است (۲۶). همچنـین، پژوهشـگران زیادی گزارش کرده‌اند که افزودن زئولیت بـه مقـدار ۱۰ تـا ۵۰ درصد به محیط کشت گیاهـانی ماننـد فیکـوس بنجـامین (۲۱)، دیفن باخیا (۲۵)، گوجه‌فرنگی (۳۶) و خیار (۴۰) اثر مثبتـی بـر رشد آنها داشته و سبب افزایش کیفیـت آنهـا شـده اسـت. البتـه پژوهش‌های محدودی هم وجـود دارد کـه کـاربرد زئولیـت در محیط کشت اثر مثبتی بر برخی صفات مربوط به رشـد رویشـی و زایشی نداشته است. به‌عنوان نمونه، نظـری و همکـاران (۲۸) اثر مقادیر مختلف زئولیـت طبیعـی بـر ویژگـی‌هـای رویشـی و زایشی گل نرگس شیراز رقم شهلا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشـترین اثـر مثبـت زئولیـت بـر وزن تـر ریشـه، عمـق ریشه‌دهی و تعداد سوخک (Bulblet) بود که در تیمار ۱۰ گـرم زئولیت در هر کیلـوگرم آمیختـه خـاکی بـه‌دسـت آمـد. امـا در صفاتی مانند قطر ساقه گل، تعـداد بـرگ، تعـداد گلچـه و وزن خشک برگ و ریشه یا تفاوت معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد و یا اینکه در برخی صفات، اثر زئولیت بـر آنهـا منفـی بـود. در پژوهشی دیگر، افزودن زئولیت به محیط کشت بـا اینکـه سـبب بهبود سیستم ریشه نشاء گل‌هـای گازانیـا (*Gazania rigens*) و پریوش (*Catharanthus roseus*) شد، اما در گازانیا بـه نسـبت

سبب محدود شدن رشد شاخساره شده و در پریوش تعداد برگ کاهش یافته بود (۹). بهادران و همکاران (۵) با بررسی اثر زئولیت طبیعی در مقادیر مختلف ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در گل مریم گزارش کردند که استفاده از زئولیت در محیط کشت، طول و قطر ساقه گل، قطر گل، سطح برگ و کلروفیل را افزایش داد؛ اما سبب کاهش وزن خشک ساقه، ریشه‌ها و سوخک‌ها شد. بنابراین استفاده از بهبود دهنده‌های خاک با ویژگی‌های بهبود بافت خاک، کاهش آب‌شویی عناصر غذایی و نیز کاهش مصرف آب در آمیخته‌های خاکی برای کشت گلدانی گیاهان سوخوار مانند گل مریم، ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین، با توجه به اینکه بیشتر گیاهان سوخوار به خاطر وجود اندام‌های زیرزمینی نیاز به ترکیبات خاکی با ویژگی‌هایی مانند تخلخل زیاد، CEC مناسب و نیز بافت سبک دارند، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت در آمیخته خاکی بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گل مریم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از اردیبهشت تا دی ماه سال ۱۳۹۶، به‌صورت گلدانی، در گلخانه شیشه‌ای بخش علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان با میانگین دمای روزانه ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و دمای شبانه ۱۶ تا ۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ تا ۵۵٪ با سیستم خنک کننده پوشال و پنکه انجام شد. در اواسط اردیبهشت ماه، سوخ‌های گل مریم رقم دزفول از شهرستان دزفول، که یکی از مراکز تولید زمستانه گل مریم در ایران است، خریداری شدند و به‌مدت ۲۰ روز در دمای اتاق، داخل جعبه‌های پلاستیکی ویژه حمل و نقل میوه‌ها بدون پوشاندن، قرار داده شدند. سپس در پنجم خرداد ماه، سوخ‌هایی که به نسبت از لحاظ ظاهری و قطر (میانگین قطر ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر) یکسان بودند در گلدان‌های پلاستیکی ۴/۵ کیلوگرمی حاوی صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی (خاک، کود حیوانی و ماسه به نسبت مساوی) کشت شدند. در تیمار شاهد، فقط از آمیخته خاکی بدون زئولیت جهت کشت سوخ‌ها استفاده شد. در چهاردهم مرداد ماه، گل‌دهی شروع شد و از همین زمان تا پایان گل‌دهی در دی ماه، داده برداری‌ها انجام شد. در این پژوهش، صفات رویشی مانند تعداد کل برگ‌ها (روی بوته و روی ساقه گل)، وزن تر و خشک برگ‌ها پس از برداشت شاخه گل، وزن تر و خشک، طول بلندترین و حجم ریشه، تعداد سوخک‌ها و وزن تر و خشک آنها و نیز صفات زایشی مانند طول، قطر، تعداد گلچه، وزن تر و خشک ساقه گل همراه با برگ‌های روی آن ارزیابی شد. تغذیه گیاهان هر ماه یکبار با محلول ۲ در هزار کود کامل کریستالون (Kristalon) که دارای ۳۸٪ پتاسیم، ۱۲٪ نیتروژن، ۱۲٪ فسفر، ۰/۰۷ درصد آهن، ۰/۰۴ درصد منگنز، ۰/۰۲۸ درصد بور، ۰/۰۲۵ درصد روی، ۰/۰۱ درصد مس و ۰/۰۰۴ درصد مولیبدن بود، انجام شد. آبیاری آنها هر ۷ روز یکبار صورت گرفت. با گل‌دهی هر بوته، ابتدا ساقه گل را از سطح سوخ جدا کرده و پس از شمارش تعداد برگ روی آن، طول و قطرآن با کولیس دیجیتالی گانگلو (Guanglu) و نیز وزن آن با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از اتمام گل‌دهی همه بوته‌ها (در دی ماه)، برگ های باقی مانده روی بوته ها شمارش شده و نیز وزن تر و خشک آنها اندازه‌گیری شد. سپس، با خارج کردن سوخ از گلدان و با شستشوی کامل خاک اطراف آن و ریشه‌ها، تعداد سوخک‌های هر کدام از آن‌ها شمارش و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. پس از این، با جدا کردن ریشه‌ها، طول بلندترین ریشه و نیز وزن تر، خشک و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. برای سنجش حجم ریشه، از یک ظرف شیشه‌ای ۵۰۰ میلی‌لیتری استفاده شد. بدین‌صورت که تا حجم ۳۰۰ میلی‌لیتری ظرف با آب مقطر پر شده و پس از افزودن ریشه‌ها درون این ظرف، میزان حجم افزایش یافته مایع برحسب میلی‌لیتر (سانتی‌متر مکعب) به‌عنوان حجم ریشه محاسبه شد (۱۷). جهت اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های برگ، ساقه گل و نیز سوخک، از آون الکتریکی به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۲ درجه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و عناصر زئولیت کلینوپتیلولیت مورد استفاده در این پژوهش

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	جرم مخصوص حقیقی (g/cm^3)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	تخلخل کل (٪)	pH	EC (µS/cm)	CEC (meq/100g)
	۲/۲۱	۰/۹۵	۰/۵۷	۷/۴۵	۱۳	۳/۹۷
ترکیب یا عنصر	Mgo (٪)	Cao (٪)	Fe_2O_3 (٪)	Al_2O_3 (٪)	SiO_2 (٪)	Na (ppm)	K (ppm)
	۰/۳۶	۲/۵۳	۰/۸۲	۶/۶۹	۴۴/۴۱	۱۶/۶۰	۷۸/۴۰

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آمیخته خاکی دارای مقادیر مختلف زئولیت کلینوپتیلولیت

گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی	جرم مخصوص حقیقی (g/cm^3)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	تخلخل کل (٪)	pH	EC (ms/cm)	CEC (meq/۱۰۰g)	ماده آلی (٪)
شاهد (بدون زئولیت)	۲/۲۹	۱/۴۸	۳۵/۰۰	۷/۷	۲/۱۱	۰/۴۹	۲/۱۵
۲۵	۲/۴۱	۱/۴۹	۳۸/۰۰	۷/۳۷	۳/۱۴	۲/۵۷	–
۵۰	۲/۴۸	۱/۱۹	۵۲/۰۰	۷/۵۰	۴/۱۰	۲/۷۰	–
۱۰۰	۲/۴۲	۱/۱۸	۵۳/۰۰	۷/۴۱	۵/۶۴	۳/۱۷	–
۲۰۰	۲/۳۸	۱/۲۲	۴۸/۰۰	۷/۵۱	۷/۱۶	۳/۵۵	–

سلسیوس استفاده شد (۳۰).

زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت مورد استفاده در این پژوهش با قطر ذرات حدود ۰/۱ تا ۱ میلی‌متر، از شرکت افرازند در سمنان تهیه شد. برخی از عناصر آن (جدول ۱) با دستگاه فلورسانس پرتوی ایکس (X-Ray fluorescence) کارخانه سیمان ایلام با مدل ARL8460s و ساخت کشور سوئیس اندازه‌گیری شد. روش کار بدین‌صورت بود که ابتدا برای همگن‌سازی نمونه، ذرات زئولیت به‌گونه‌ای آسیاب شدند که اندازه ذرات آن به حدود ۷۵ میکرون رسید. سپس پودر آماده شده، توسط دستگاه پرس در قالب‌های ویژه‌ای پرس شد و پس از آن این قالب‌ها در زیر فک‌های دستگاه فلورسانس پرتوی ایکس گذاشته شد و در پایان مقدار عناصر منیزیم، کلسیم، آهن، آلومینیوم و سیلیس برحسب درصد اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری مقدار عناصر سدیم و پتاسیم زئولیت با فلیم‌فتومتر (۳۲)، ابتدا محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم به‌ترتیب با استفاده از پودر خالص کلروسدیم و کلروپتاسیم تهیه شد و با استفاده از این محلول‌های استاندارد، منحنی استاندارد رسم گردید. با تهیه عصاره گل اشباع و قرائت آن با دستگاه فلیم‌فتومتر ساخت شرکت BWB انگلستان و با جاگذاری اعداد خوانده شده در معادله منحنی استاندارد، غلظت سدیم و پتاسیم برحسب ppm به‌دست آمد (جدول ۱). افزون بر این، برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مانند وزن مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد تخلخل، pH، هدایت الکتریکی (EC) و CEC در زئولیت خالص و نیز آمیخته‌های کشت دارای مقادیر مختلف زئولیت اندازه‌گیری شد. در تیمار شاهد، که فقط دارای آمیخته خاکی بود، علاوه بر ویژگی‌های ذکر شده، درصد ماده آلی هم اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک (۳۲)، ابتدا ۱۰ گرم از خاک (زئولیت خالص و یا آمیخته‌های خاکی دارای مقادیر مختلف زئولیت) را داخل یک تین ریخته و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ گذاشته شد و پس از آن بر اساس رابطه (۱) رطوبت وزنی خاک (θm) محاسبه شد:

$$\theta m = \frac{Msw - Ms}{Ms} \qquad [۱]$$

که در آن Msw وزن ۱۰ گرم خاک پیش از گذاشتن در آون و Ms وزن خاک پس از خارج کردن از آون است. سپس، با ریختن ۱۰ گرم خاک در پیکنومتر و وزن کردن آن، آب مقطر اضافه شد تا حدی که ۱ تا ۲ میلی‌متر بالای سطح خاک باشد و پس از این روی چراغ الکلی گذاشته شد تا زمانی که به جوش آمد. پس از سرد شدن، با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و از رابطه (۲)، حجم خاک خشک (Vs) محاسبه شد:

$$Vs = \frac{(Mpw-Mp)-(Mpws-Mps)}{\rho w} \qquad [۲]$$

که Mp وزن پیکنومتر خالی، Mpw وزن پیکنومتر با آب، Mps وزن پیکنومتر با خاک، Mpws وزن پیکنومتر با خاک و آب و ρw جرم مخصوص ظاهری آب است. همچنین، برای اندازه‌گیری جرم خاک خشک (Ms) از رابطه (۳) استفاده شد:

$$Ms = \frac{Msw}{۱+\theta m} \qquad [۳]$$

بنابراین، با اندازه‌گیری حجم (Vs) و جرم خاک خشک (Ms) و با استفاده از رابطه ۴، جرم مخصوص حقیقی خاک (ρs) محاسبه شد:

$$\rho s = \frac{Ms}{Vs} \qquad [۴]$$

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک (ρb)، پس از پر کردن سیلندر نمونه‌برداری از ترکیب خاکی و وزن کردن آن، داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت گذاشته شد و پس از خارج کردن از آون، تفاوت وزن آنها به‌عنوان جرم خاک خشک (Ms) در نظر گرفته شد (۳۲). همچنین، با استفاده از معادله $Vt= \pi r^{۲}h$ که در آن r شعاع سیلندر، h ارتفاع سیلندر و π=۳/۱۴ بود، حجم سیلندر و با استفاده از رابطه (۵)، ρb محاسبه شد:

$$\rho b = \frac{Ms}{Vt} \qquad [۵]$$

تخلخل کل (۲) در زئولیت خالص و آمیخته‌های دارای مقادیر مختلف زئولیت با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد:

$$\text{تخلخل کل} = ۱۰۰ \times \left(۱ - \frac{\rho b}{\rho s}\right) \qquad [۶]$$

برای اندازه‌گیری CEC، ابتدا مقداری از نمونه آمیخته خاکی از الک ۲ میلی‌متری عبود داده شد. سپس، ۳۳ میلی‌لیتر استات سدیم به ۵ گرم آمیخته خاکی که قبلاً رطوبت آن مشخص شده افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه همزن قرار داده و پس از این به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. مایع داخل فالکون دور ریخته و این عمل تا زمانی ادامه یافت تا مرحله اشباعی به اتمام برسد. سپس، با افزودن ۳۳ میلی‌لیتر الکل اتانول ۹۵٪، مراحل به هم زدن، سانتریفیوژ و دور ریختن قسمت مایع تا زمانی تکرار شد که EC آن کمتر از ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر است. پس از اتمام مرحله شستشو و با افزودن ۳۳ میلی‌لیتر استات آمونیوم و به‌هم زدن و سانتریفیوژ کردن آن تا ۳ مرتبه، قسمت مایع آن که ۱۰۰ میلی‌لیتر است، جمع‌آوری شد. جهت اندازه‌گیری سدیم در عصاره آماده شده، محلول‌های استاندارد در غلظت‌های صفر تا ۲۰۰ ppm در استات آمونیوم تهیه شد و با استفاده از این محلول‌های استاندارد و دستگاه فلیم فتومتر، منحنی استاندارد به‌دست آمد. سپس، با برداشتن مقداری از عصاره و خواندن آن در دستگاه، رقم آن یادداشت شد. با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت سدیم در عصاره خاک بر حسب ppm تعیین شد و با استفاده از رابطه (۷)، مقدار CEC برحسب میلی‌اکی والان بر ۱۰۰ گرم محاسبه گردید (۱۲):

$$\text{CEC}\left(\frac{\text{میلی اکی والان}}{\text{100 گرم}}\right) = \left(\frac{\text{غلظت سدیم از منحنی}}{23}\right) \times \left(\frac{\text{حجم نهایی عصاره}}{1000}\right) \times \left(\frac{100}{\text{وزن خاک خشک}}\right) \qquad [۷]$$

برای اندازه‌گیری pH و EC به نسبت ۱:۱۰ (یک قسمت زئولیت خالص و یا آمیخته های خاکی دارای مقادیر مختلف زئولیت با ۱۰ قسمت آب مقطر به‌صورت وزنی) آب اضافه شد و پس از ۲۴ ساعت و تکان دادن آن به مدت ۳۰ دقیقه، عصاره آبی تهیه شد (۳۲) و به‌ترتیب با دستگاه EC متر مدل Inolab Cond 7310 و pH متر مدل Metrohm اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه مقدار ماده آلی ترکیب خاکی، با عبور مقداری از ترکیب خاکی از الک ۰/۵ میلی‌لیتری، ۱ گرم از آن جدا شد و ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم ۰/۱ نرمال به آن

افزوده و به آرامی تکان داده شد تا ذرات در محلول پراکنده شوند. سپس، در زیر هود شیمیایی، ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه نموده و محلول را به مدت ۱۰ دقیقه به حال خود رها کرده و پس از سرد شدن، ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس، با ریختن ۵ تا ۷ قطره معرف اُرتوفنانترولین در محلول با فروسولفات آمونیوم تیتر شد تا زمانی که به رنگ ارغوانی در آمد. همه این مراحل برای نمونه شاهد (آب مقطر) بدون خاک نیز انجام شد. در پایان، براساس روابط (۸) و (۹)، ابتدا کربن آلی (OC) و سپس میزان ماده آلی (OM) تعیین شد (۴):

$$OC\ (\%) = ۰/۵ \times ۰/۳۹ \times \frac{\text{میلی‌لیتر فروسولفات آمونیوم مصرفی برای نمونه} - \text{میلی‌لیتر فروسولفات آمونیوم مصرفی برای شاهد}}{\text{وزن خاک خشک}} \qquad [۸]$$

$$OM\ (\%) = OC\ (\%) \times ۱/۷۲۴ \qquad [۹]$$

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مقایسه شدند.

نتایج

ویژگی‌های رویشی

همچنان که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود که تیمار زئولیت بر همه صفات رویشی، به جز وزن تر ریشه، در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌دار داشت. وزن تر ریشه در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر مقادیر مختلف زئولیت در آمیخته خاکی قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد که همه ویژگی‌های رویشی اندازه‌گیری شده، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت قرار گرفتند. بیشترین و کمترین تعداد کل برگ‌ها (روی بوته و روی ساقه گل)، وزن تر و خشک برگ‌های روی بوته پس از برداشت شاخه گل و نیز وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد (بدون کاربرد زئولیت) به‌دست آمد. با افزودن زئولیت به آمیخته خاکی مقدار این صفات در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. اما با افزایش مقدار زئولیت به بیش از ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی، به‌تدریج مقدار آنها کاهش یافت. تیمار ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری سبب کاهش مقادیر صفاتی مانند وزن تر و خشک برگ‌ها شد. بلندترین ریشه (۹/۳۰ سانتی‌متر) روی صفحه پایگاهی سوخ‌های گل مریم باز هم در تیمار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی مشاهده شد و تفاوت آن با تیمار شاهد معنی‌داری بود. اما با برخی دیگر از تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. کوتاه‌ترین ریشه (۶/۰ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی به‌دست آمد، که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین حجم ریشه به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد مشاهده شد؛ هر چند که مقادیر مختلف زئولیت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۴).

تعداد سوخک‌ها و نیز وزن تر و خشک سوخک‌ها از صفاتی رویشی دیگری بودند که به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت قرار گرفتند. در هر سه صفت، بیشترین و کمترین مقدار آنها در تیمارهای ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد به‌دست آمد. باز در هر سه صفت ذکر شده، با افزایش مقدار زئولیت از ۲۵ گرم به ۲۰۰ گرم، مقدار آن‌ها کاهش یافت (جدول ۴).

ویژگی‌های زایشی

نتایج جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های زایشی (جدول ۵) نشان می‌دهد که همه صفات زایشی اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت در آمیخته خاکی قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین‌های داده‌های مربوط به صفات زایشی (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین تعداد روز تا گل‌دهی به‌ترتیب مربوط به

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقادیر مختلف زئولیت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی) بر ویژگی‌های رویشی گل مریم رقم دزفول

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد کل برگ‌ها	وزن تر برگ‌های روی بوته پس از برداشت شاخه گل (گرم)	وزن خشک برگ‌های روی بوته پس از برداشت شاخه گل (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول بلندترین ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	تعداد سوخک‌ها	وزن تر سوخک‌ها (گرم)	وزن خشک سوخک‌ها (گرم)
تیمار	۴	۲۷۴/۳۵**	۷۴۱/۰۳**	۷/۴۴**	۱۹/۴۳*	۳/۵۸**	۱۳/۶۵**	۱۶/۵۶**	۴۳/۹۸**	۵/۱۰**	۱۵/۶۸**
خطا	۴۵	۴/۴۴	۶/۰۴	۰/۰۸	۹/۳۰	۰/۲۴	۱/۸۱	۱/۷۸	۱/۳۶	۰/۰۹	۰/۳۸
ضریب تغییرات	---	۶/۲۰	۹/۶۶	۱۰/۶۲	۱۷/۸۰	۱۵/۷۷	۱۶/۲۳	۹/۶۸	۱۸/۳۵	۱۹/۵۰	۱۵/۹۸

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ درصد

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر مقادیر مختلف زئولیت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی) بر ویژگی‌های رویشی گل مریم رقم دزفول

گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی	تعداد کل برگ‌ها	وزن تر برگ‌های روی بوته پس از برداشت شاخه گل (گرم)	وزن خشک برگ‌های روی بوته پس از برداشت شاخه گل (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول بلندترین ریشه (سانتی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	تعداد سوخک‌ها	وزن تر سوخک‌ها (گرم)	وزن خشک سوخک‌ها (گرم)
شاهد (بدون زئولیت)	۲۶/۸۰^{d}	۲۴/۰۸^{bc}	۲/۷۲^{c}	۱۵/۳۷^{b}	۲/۵۹^{c}	۶/۹۵^{b}	۱۱/۶۰^{b}	۳/۲۵^{b}	۴/۸۹^{c}	۰/۹۳^{d}
۲۵	۴۰/۰۵^{a}	۳۹/۴۳^{a}	۳/۹۷^{a}	۱۸/۴۷^{a}	۴/۱۵^{a}	۹/۳۰^{a}	۱۴/۷۰^{a}	۶/۱۰^{a}	۹/۹۷^{a}	۲/۶۵^{a}
۵۰	۳۷/۰۵^{b}	۲۵/۶۰^{b}	۳/۱۹^{b}	۱۸/۱۶^{a}	۳/۰۷^{b}	۹/۲۰^{a}	۱۳/۷۵^{a}	۳/۶۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۱/۸۷^{b}
۱۰۰	۳۵/۲۰^{b}	۲۲/۱۲^{c}	۲/۵۴^{c}	۱۷/۷۵^{ab}	۳/۲۰^{b}	۶/۰۰^{b}	۱۴/۳۰^{a}	۳/۳۰^{b}	۵/۹۶^{b}	۱/۴۵^{c}
۲۰۰	۳۰/۷۵^{c}	۱۶/۰۷^{d}	۱/۶۲^{d}	۱۵/۹۳^{ab}	۲/۸۲^{bc}	۸/۷۰^{a}	۱۴/۶۴^{a}	۳/۱۵^{b}	۴/۹۱^{c}	۰/۹۷^{d}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقادیر مختلف زئولیت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی) بر صفات زایشی گل مریم رقم دزفول

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد روز تا گل‌دهی	طول ساقه گل (سانتی‌متر)	قطر ساقه گل (میلی‌متر)	وزن تر ساقه گل (گرم)	وزن خشک ساقه گل (گرم)	تعداد گلچه
تیمار	۴	۶۴۸/۹۷**	۳/۵۸**	۱۳/۶۵**	۹۱۰/۷۶**	۳۴/۹۹**	۱۵/۶۸**
خطا	۴۵	۶۷/۶۰	۰/۲۴	۱/۸۱	۱۷/۷۸	۱/۱۱	۰/۳۸
ضریب تغییرات	---	۹/۷۳	۱۵/۷۷	۱۶/۲۳	۸/۶۷	۱۴/۳۵	۱۵/۹۸

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر مقادیر مختلف زئولیت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی) بر ویژگی‌های زایشی گل مریم رقم دزفول

گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی	تعداد روز تا گل‌دهی	طول ساقه گل (سانتی‌متر)	قطر ساقه گل (میلی‌متر)	وزن تر ساقه گل (گرم)	وزن خشک ساقه گل (گرم)	تعداد گلچه
شاهد (بدون زئولیت)	۱۰۹/۱۰^{ab}	۵۶/۸۰^{ab}	۶/۶۳^{a}	۶۱/۰۴^{a}	۸/۶۸^{a}	۱۱/۶۵^{cd}
۲۵	۹۲/۷۰^{c}	۶۱/۹۰^{a}	۶/۶۳^{a}	۵۴/۷۲^{b}	۸/۵۵^{a}	۱۷/۷۰^{a}
۵۰	۱۰۰/۹۰^{bc}	۵۳/۷۵^{b}	۵/۶۵^{b}	۴۸/۶۴^{c}	۷/۸۷^{ab}	۱۳/۴۰^{b}
۱۰۰	۱۰۱/۸۰^{bc}	۵۹/۳۵^{ab}	۶/۰۶^{ab}	۴۰/۴۵^{d}	۷/۵۰^{b}	۱۳/۲۰^{bc}
۲۰۰	۱۱۳/۶۰^{a}	۴۴/۳۵^{c}	۴/۵۹^{c}	۳۸/۲۰^{d}	۴/۱۱^{c}	۱۰/۷۰^{d}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

تیمارهای ۲۰۰ و ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی است. کاربرد زئولیت به مقدار ۲۵ گرم سبب زودگل‌دهی در مقایسه با تیمار شاهد و سایر مقادیر زئولیت شد و سوخ‌های گل مریم کشت شده در آمیخته خاکی با این مقدار زئولیت، ۹۲/۷ روز پس از کشت گل دادند.

زمان لازم از کشت سوخ تا گل‌دهی در تیمارهای ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت و در هر دو تیمار، در مقایسه با سایر تیمارها، بیشتر بود. با اینکه طول و قطر ساقه گل با یک روند مشخصی تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت در محیط کشت قرار نگرفتند، اما بیشترین و کمترین مقدار آنها به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۲۵ و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی بود؛ هر چند که در هر دو صفت، تیمار ۲۵ گرم، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. وزن تر و خشک ساقه گل با یک روند مشخصی تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت در محیط کشت قرار گرفتند و بیشترین و کمترین مقدار آنها به‌ترتیب در تیمارهای شاهد و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی به‌دست آمد. با افزایش مقدار زئولیت از ۲۵ به ۲۰۰ گرم در هر دو صفت ذکر شده، مقادیر آنها کاهش یافت. وزن تر ساقه گل در تیمار شاهد با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. اما در مورد وزن خشک با برخی دیگر از تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. تعداد گلچه روی شاخه گل یکی دیگر از صفاتی بود که به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر مختلف زئولیت در آمیخته خاکی قرار گرفت. بیشترین و کمترین تعداد گلچه در تیمارهای ۲۵ و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی مشاهده شد. مشابه برخی صفات دیگر، با افزایش مقدار زئولیت از ۲۵ گرم

به ۲۰۰ گرم، تعداد گلچه‌ها کاهش یافت و حتی در تیمار ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی، تعداد گلچه‌ها کمتر از شاهد بود (جدول ۶).

بحث

در پژوهش حاضر، کاربرد زئولیت در مقادیر کمتر از ۲۵ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی، سبب افزایش تعداد و وزن تر و خشک برگ‌ها، وزن تر و خشک ریشه، طول بلندترین ریشه، تعداد و وزن تر و خشک سوخک و نیز طول و قطر ساقه گل شد. یافته‌های ما در مورد صفات رویشی با نتایج پژوهش‌های دیگر که گزارش کرده‌اند زئولیت سبب بهبود رشد رویشی در گیاهانی مانند چمن آگروستیس (*Agrostis palustris*)، توت‌فرنگی، گل جعفری آفریقایی و رُز شاخه‌بریده شده، مطابقت دارد (۱، ۱۴، ۱۵، ۳۰ و ۳۷). همچنین، در پژوهشی، با افزودن زئولیت همراه با کود اوره به محیط کشت تربچه، درصد افزایش قابل توجهی را در وزن تر و خشک شاخساره در مقایسه با کاربرد کود اوره به تنهایی گزارش کردند (۲۰). به‌طور حتم، بهبود ویژگی‌های ذکر شده در گل مریم با کاربرد زئولیت در این پژوهش مرتبط با کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل و ظرفیت تبادل کاتیونی محیط کشت است (جدول ۲). البته ممکن است استفاده از زئولیت در محیط کشت سبب افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم شود و از این طریق بر رشد گیاه اثر بگذارد (۱ و ۳۰). در همین راستا، آقاعلیخانی و همکاران (۳) و غلامحسینی و همکاران (۱۰) افزایش سطح برگ، وزن خشک کل و عملکرد با کاربرد زئولیت به ترتیب در محیط کشت کلزا (*Brassica napus*) و آفتابگردان را مرتبط با افزایش دسترسی گیاهان به نیتروژن توسط زئولیت دانسته‌اند. گزارش شده که در گل سنبل (*Hyacinthus orientalis* L.)، نوع محیط کشت می‌تواند روی نرخ فتوسنتز (Photosynthesis rate) اثرگذار باشد (۲۹). با توجه به نقش زئولیت‌ها در افزایش تخلخل محیط کشت و توسعه سیستم ریشه‌ای (۹)، ممکن است از این طریق قابلیت جذب عناصر غذایی را بهبود دهند و با افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه، کارآیی سیستم فتوسنتز افزایش یافته و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر، منجر به رشد بهتر گیاهان شده باشد (۳۰). در پژوهشی، کاربرد زئولیت به‌صورت محلول‌پاشی با مقدار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در گوجه‌فرنگی و سیب، به دلیل توانایی بالای آن در جذب دی‌اکسید کربن، سبب افزایش فتوسنتز شده است (۳۸). افزون بر این، گزارش شده که کاربرد زئولیت در محیط کشت جو و ذرت (۱۸)، گل جعفری آفریقایی (۳۰) و پیاز (۶) سبب افزایش فتوسنتز شده است.

کاملاً مشخص است که وجود فسفر کافی در محیط ریشه، سبب توسعه سریعتر ریشه‌ها و استفاده بهتر گیاه از آب و دیگر مواد غذایی ضروری گیاه می‌شود (۲۲). گزارش شده که افزدن زئولیت کلینوپتیلولیت به محیط کشت گیاهان به دلیل داشتن ویژگی‌های ترکیبی حل‌کنندگی کودها و فرایندهای تبادل یونی، به‌طور معنی‌داری سبب بهبود فسفر قابل دسترس خواهد شد (۱۹). افزون بر این، پژوهش‌های پیشین (۱، ۱۱ و ۳۰) نشان داده‌اند که کاربرد زئولیت‌ها سبب افزایش مقدار فسفر در خاک شده که به احتمال قوی یکی از دلایل بارز اثر زئولیت بر ویژگی‌های ریشه، مربوط به اثر آن بر افزایش جذب فسفر است. همچنین، دلیل دیگر آن می‌تواند بهبود ساختمان محیط کشت تحت تأثیر زئولیت‌ها باشد، که برای رشد ریشه‌ها مناسب است. یافته‌های پژوهش حاضر در مورد افزایش وزن تر و خشک ریشه حاصل از کاربر زئولیت با نتایج پژوهش‌های دیگر محققین روی توت‌فرنگی (۱)، پریوش (۹)، گل جعفری (۳۰)، گل نرگس (۲۸)، تربچه (۳۴) و خیار (۴۰) همسو است. جالب‌تر اینکه در پژوهشی، کاربرد زئولیت در محیط کشت و نیز چسبیدن ذرات زئولیت به سطح ریشه در ذرت، گزارش شده که سبب افزایش حلالیت مواد آلی و نیز دسترسی مواد غذایی برای ریشه‌ها شده و از این طریق سبب افزایش تولید ریشه‌های ثانویه و نیز پرآوری (Proliferation) ریشه‌های مویی شده است (۳۹).

یافته‌های پژوهش حاضر در مورد افزایش تعداد برگ با

کاربرد زئولیت، همسو با نتایج سایر پژوهشگران در گیاهان مختلف مانند توت‌فرنگی (۱)، گل داوُدی (۷)، دیفن باخیا (۲۵) و گل جعفری آفریقایی (۳۰) است که در آن‌ها زئولیت سبب افزایش تعداد برگ شده بود. در توجیه این افزایش تعداد برگ، پژوهشگران گزارش کرده‌اند که زئولیت‌ها به‌عنوان یک مخزن (Reservoir) مواد غذایی عمل کرده و با نگه‌داری مواد غذایی در ساختار خود و نیز جلوگیری از آبشویی آنها، عناصر غذایی را به‌صورت کودهای کند رها در اختیار گیاه قرار می‌دهند (۴۰) و از این طریق سبب رشد بهتر و به نسبت سریع‌تر گیاهان شده و لذا تعداد برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در پژوهش حاضر، اثر مثبت زئولیت در مقدار کمتر از ۲۵ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی بر سوخک‌دهی گزارش شد. سوخک‌دهی در گیاهان سوخوار تحت تأثیر عوامل مختلف رویشی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیک و نیز محیط کشت است (۸). بنابراین، در توجیه افزایش ویژگی‌های مرتبط با سوخک در مقدار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در این پژوهش می‌توان به سه مورد اشاره کرد: ۱- این مقدار از زئولیت سبب افزایش تخلخل و نیز تهویه در آمیخته خاکی شد که این ویژگی‌ها برای سوخک‌دهی در گیاهان سوخوار مناسب می‌باشند، ۲- براساس پژوهش‌های پیشین (۳۰) و با توجه به نتایج آنالیز خاک در جدول ۲ که نشان داده شد کاربرد زئولیت سبب افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک می‌شود، بنابراین ممکن است این مقدار از زئولیت با حفظ عناصری مانند نیتروژن، کلسیم، پتاسیم و منیزیم در خاک سبب افزایش جذب این عناصر توسط گیاه شده باشند (۱، ۱۱ و ۳۰) و ۳- با توجه به تأثیر مناسب زئولیت بر ویژگی‌های رویشی مانند تعداد برگ و نیز وزن تر و خشک برگ، بنابراین می‌توان احتمال داد که در بوته‌های گل مریم رشد یافته در این مقدار از زئولیت، میزان فتوسنتز بیشتر بوده و منجر به ساخت بیشتر فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر در شاخساره و هدایت آن به سمت سوخ مادری شده و این هم به نوبه خود روی میزان سوخک‌دهی اثر گذاشته است (۲۸). این نتیجه با یافته‌های نظری و همکاران (۲۸) که گزارش کردند استفاده از ۱۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی گل نرگس، سبب افزایش تعداد سوخک می‌شود، همسو است.

در این پژوهش، مشخص شد که یکی از صفات زایشی که به‌طور مثبتی تحت تأثیر زئولیت در محیط کشت قرار می‌گیرد تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد گلچه است و در تیمار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی نسبت به تیمار شاهد گل‌دهی زودتر مشاهده شد که به احتمال قوی می توان این را به اثر زئولیت در این مقدار بر رشد رویشی نسبت داد. در واقع، این مقدار از زئولیت، با بهبود رشد رویشی و افزایش تعداد برگ، گیاهان را زودتر از مرحله رویشی به مرحله زایشی وارد کرده است و بنابراین زودتر گل داده‌اند.

کاربرد زئولیت اثر معنی داری بر طول و قطر ساقه گل نداشت و اثر آن بر وزن تر و خشک ساقه گل منفی بوده است (جدول ۴). این نتایج همسو با پژوهش پیشین در گل نرگس بود (۲۸). همچنین، بهادران و همکاران (۵) گزارش کردند که با این وجود که زئولیت سبب افزایش طول ساقه در گل مریم شده بود اما با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. برخلاف نتایج ما در مورد قطر ساقه گل، این پژوهشگران نشان دادند که بیشترین قطر ساقه در تیمار ۵ گرم زئولیت به دست آمده که با شاهد تفاوت معنی‌داری داشته است و عنوان کردند که که این تفاوت ممکن است به دلیل نوع رقم و یا تفاوت آمیخته خاکی و نیز شرایط محیطی باشد. از دلایل بیشتر بودن وزن تر و خشک ساقه گل در تیمار شاهد، می‌توان به دیر گل دادن آنها و نیز رشد بیشتر ساقه گل در این تیمار استناد نمود.

در بیشتر پژوهش‌های پیشین و در گیاهان مختلف، اثر مثبت زئولیت بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاهان گزارش شده است. اما در پژوهش حاضر مشخص شد که استفاده از زئولیت در مقادیر بیشتر از ۲۵ گرم در هر کیلوگرم آمیخته خاکی، اثر نامناسبی بر برخی صفات رویشی و زایشی دارد. مشابه این نتایج، در پژوهش پیشین ما در گل نرگس (۲۸) مشاهده شد که استفاده از زئولیت در مقادیر بیشتر از ۱۰ گرم در هر کیلوگرم

آمیخته خاکی باز اثرهای نامناسبی بر برخی صفات دارد. پس در اینجا می‌توان گفت که گیاهان سوخوار به مقادیر کمتر زئولیت در محیط کشت نیاز دارند و این مقدار بسته به نوع گونه متفاوت است. احتمالاً بتوان از دلایل این اثرهای نامناسب مقادیر بیشتر از ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی بر برخی از صفات رویشی و زایشی به چند مورد اشاره کرد: ۱- با توجه به نوع ساختار رویشی گیاهان سوخوار و نیز ساختار ذخیره‌ای زیر زمینی آن‌ها، مانند سوخ در گل مریم که دارای مواد غذایی تا حدی کافی برای رشد و گل‌دهی است، بنابراین به مقدار کمتری از زئولیت در محیط کشت نیاز دارند (۲۸). در همین راستا و در پژوهشی با کاربرد زئولیت در محیط کشت دو گیاه ذرت و جو گزارش کرده‌اند که پاسخ ذرت از نظر افزایش سطح برگ، ارتفاع و بیوماس (زیست توده) گیاه در مقایسه با جو بهتر بوده و دلیل آن را نیاز بیشتر گیاهان ذرت به رطوبت و مواد غذایی و نیز سیستم ریشه توسعه یافته آن نسبت داده‌اند (۱۸)؛ ۲- همچنین، به این دلیل که استفاده از زئولیت‌ها در محیط کشت سبب افزایش ظرفیت نگه‌داری آب می‌شود (۹)، بنابراین، با توجه به اینکه گیاهان سوخوار نیاز بالایی به آب ندارند، استفاده از مقادیر بیشتر از ۲۵ گرم در هر کیلوگرم زئولیت در آمیخته خاکی با افزایش تخلخل بیشتر در محیط کشت (جدول ۲) و به‌دنبال آن جذب آب بیشتر و مرطوب نگه‌داشتن محیط کشت، اثر منفی بر رشد آنها گذاشته باشد؛ ۳- احتمال دارد استفاده از زئولیت در مقادیر بیشتر در محیط کشت با افزایش جذب زیاد عناصر غذایی مانند نیتروژن (۳ و ۱۰) تا حدی حالت سمیت را برای گیاه ایجاد کرده باشد؛ ۴- همچنان که در آنالیز شیمیایی زئولیت مشاهده شد (جدول ۱) مقدار EC به نسبت در آن بالا بوده و استفاده از آن در مقادیر بیشتر سبب افزایش EC محیط کشت به بیش از ۳ برابر در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). بنابراین، ممکن است از این طریق اثر منفی بر رشد گیاه گذاشته باشد و ۵- با توجه به وجود مقادیر زیاد عنصر سیلیس در ساختار زئولیت ممکن است استفاده از آن در مقادیر بیشتر، سبب جذب بیشتر این عنصر شده باشد و این عنصر اثر نامناسبی بر رشد رویشی و زایشی گل مریم گذاشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های رویشی گل مریم به‌طور معنی‌دار و مثبتی تحت تأثیر مقدار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی قرار می‌گیرند. برخلاف ویژگی‌های رویشی، اثر زئولیت بر ویژگی‌های زایشی، به جز قطر ساقه گل و تعداد گلچه، یا معنی‌دار نبود و یا اینکه اثر مثبتی نداشت. با توجه به اثر مناسب زئولیت بر ویژگی‌های سوخ مادری و نیز سوخک‌ها، می‌توان گفت که استفاده از زئولیت در کشت‌های مزرعه‌ای یا گلدانی گل مریم، جهت تولید سوخ‌ها و نیز سوخک‌های با تعداد بیشتر و کیفیت بهتر مناسب است. همچنین، ممکن است کشت سال بعد سوخ‌های مادری رشد یافته در آمیخته خاکی دارای ۲۵ گرم زئولیت، گل‌های با کیفیت مناسب تولید نمایند، که باید بررسی شود. در پایان، باید اذعان شود که با توجه به پژوهش‌های محدود در این زمینه، به‌منظور پیشنهاد استفاده از زئولیت در محیط کشت پرورش گیاهان سوخوار نیاز به پژوهش‌های بیشتر با مدت زمان بررسی بیشتر است و همچنین ضروری است در این پژوهش‌ها اثرهای زئولیت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، هورمونی و نیز عناصر غذایی بخش‌های هوایی گیاه (شاخساره) و زیر زمینی آن (سوخ) ارزیابی شود.

منابع مورد استفاده

1. Abdi, G.R., M. Khosh-Khui and S. Eshghi. 2006. Effect of natural zeolite on growth and flowering of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). Intl. J. Agri. Res. 1: 384-389.
2. Adamson, R.M. and E.F. Mass. 1971. Sawdust and other soil substitutes and amendments in greenhouse tomato production. Hort. Sci. 6: 397-399.

3. Aghaalikhani, M., M. Gholamhoseini, A. Dolatabadian, A. Khodaei-Joghan and K. Sadat Asilan. 2011. Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. Arch. Agron. Soil Sci. 58: 1149-1169.
4. Allison, I.E. 1965. Organic carbon. PP. 1367-1378. In: Black, C.A., D.D. Evanns, J.L. White, L.E. Ensmiger, F.E. Clark and R.C. Dinauer (Eds.), Methods of Soil Anlysis, Part 2, ASA, Madison, Wisconsin, USA.
5. Bahadoran, M., H. Salehi and S. Eshghi. 2012. Growth and flowering of tuberose as affected by adding natural zeolite to the culture medium. J. Plant Nut. 35: 1491-1496.
6. Bybordi, A., S. Saadat and P. Zargaripour. 2017. The effect of zeolite, selenium and silicon on qualitative and quantitative traits of onion grown under salinity conditions, Arch. Agron. Soil Sci. 64: 520-530.
7. Carlino, J.L., K.A. Williams and E.R. Allen. 1998. Evaluation of zeolite based soilless root media for potted *Chrysanthemum* production. HortTechnol. 8: 373-378.
8. De Hertogh, A. and M. Le Nard. 1993. The Physiology of Flowering Bulbs. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 811 p.
9. Dobrowolska, A. and P. Żurawik. 2016. Zeolite as a component of substrate in cultivation of ornamental plant– *Catharanthus roseus* (L.) G. Don and *Gazania rigens* var. Rigens (L.) Gaertn. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 15: 13-25.
10. Gholamhoseini, M., A. Ghalavand, A. Khodaei-Joghan, A. Dolatabadian, H. Zakikhani and E. Farmanbar. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil Till. Res. 126: 193-202.
11. Hamidpour, M., S. Fathi and H.R. Roosta. 2013. Effects of zeolite and vermicompost on growth characteristics and concentration of some nutrients in *Petunia hybrida*. J. Sci. Technol. Greenh. Cult. 4: 95-103. (In Persian).
12. Harada, Y. and A. Inoko. 1980. The measurement of cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. Soil Sci. Plant Nutr. 26: 127-134.
13. Hershey, D.R., J.L. Paul and R.M. Carlson. 1980. Evaluation of potassium-enriched clinoptilolite as a potassium source of putting media. HortSci. 15: 87-89.
14. Huang, Z.T. and A.M. Petrovic. 1995. Clinoptilolite zeolite effect on evaporation rate and shoot growth rate of bentgrass on sand base grass. J. Turf. Manage. 25: 35-39.
15. Ibrahim, K.M., A.M. Ghiri and H.N. Khoury. 2001. Influence Jordanian Chabazite-phillipsite tuff on nutrient concentration and yield of strawberry. Stud. Surf. Sci. Catal. 135: 181.
16. Jayasinghe, G.Y., Y. Tokashiki, K. Kinjo and I.D. Liyana Arachchi. 2010. Evaluation of the use of synthetic red soil aggregates (SRA) and zeolite as substrate for ornamental plant production. J. Plant Nutr. 33: 2120-2134.
17. Klein, I., Y. Ben-Tal, S. Lavee, Y. De Malach and I. David. 1993. Saline irrigation of cv. Manzanillo and Uovo di Piccione trees. II. International Symposium on Olive Growing 356: 176-180.
18. Krutilina, V.S., S.M. Polyanskaya, N.A. Goncharova and W. Letchamo. 2000. Effects of zeolite and phosphogypsum on growth, photosynthesis and uptake of Sr, Ca and Cd by barley and corn seedlings. J. Environ. Sci. Health 35: 15-29.
19. Lancellotti, I., T. Toschi, E. Passaglia and L. Barbieri. 2014. Release of agronomical nutrient from zeolitite substrate containing phosphatic waste. Environ. Sci. Pollut. Res. 21: 13237-13242.
20. Lewis, M.D., F.D. Moore and K.L. Goldsberry.1980. Clinoptilolite a fertilizer N exchanger. HortSci. 18: 235-239.
21. Mahboub Khomami, A. 2011. Influence of substitution of peat with Iranian zeolite (clinoptilolite) in peat medium on *Ficus benjamina* growth. J. Ornam. Hort. Plants 1: 13-18.
22. Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. (3rd Edition). Academic Press, London, 672 p.
23. Ming, D.W. and J.B. Dixon. 1986. Clinoptilolite in South Texas soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1618-1622.
24. Ming, D.W. and J.B. Dixon. 1987. Quantitative determination of clinoptilolite in soils by a cation exchange capacity method. Clays Clay Miner. 35: 463-468.
25. Mohammadi Torkashvand, A., A. Karami, A. Mahboub Khomami and V. Shadparvar. 2012. Zeolite: An appropriate alternative to peat in the growth medium of ornamental plants. Indian J. Fundam. Appl. Life Sci. 2: 127-132.
26. Mumpton, F.A. 1999. La roca: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. Geol., Miner. Human Welfare 96: 3463-3470.
27. Nazari, F. 2016. The use of natural zeolites in growth media in order to keep water and prevent leaching of fertilizers. 1st National Conference on Water Management Approach to Optimize Water Use in Agriculture, Aug. 11, Hamadan, Iran, pp. 1-7. (In Persian).
28. Nazari, F., H. Farahmand and M. Ghasemi Ghehsareh. 2014. The effects of different amounts of natural zeolite on vegetative and reproductive characteristics of *Narcissus tazetta* L. cv. Shahla. J. Plant Prod. 2: 39-48.
29. Nazari, F., H. Farahmand, M. Khosh-Khui and H. Salehi. 2011. Effects of different pot mixtures on vegetative, reproductive and physiological characteristics of Iranian hyacinth (*Hyacinthus orientalis* L. cv. Sonbol-e-Irani). Int. J. Agric. Food Sci. 1: 34-38.

30. Nazari, F., M. Khosh-Khui, H. Salehi and S. Eshghi. 2007a. Effect of natural zeolite on vegetative and physiological characteristics of African marigold (*Tagetes erecta* L. cv. Queen). Hort. Environ. Biotech. 48: 241-245.
31. Nazari, F., H. Farahmand, M. Khosh-Khui and H. Salehi. 2007b. Effects of two planting methods on vegetative and reproductive characteristics of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Adv. Nat. Appl. Sci. 1: 26-29.
32. 32. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd edition, ASA, SSSA, Madison, USA, 1159 p.
33. Polat, E., M. Karaka, H. Demir and N. Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinopetilolite) in agriculture. J. Fruit Ornam. Plant Res. 12: 183-189.
34. Pond, W.G. and F.A. Mumpton. 1984. Zeo-agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture. Westview Press, Boulder, Colorado, 296 p.
35. Rehakova, M., S. Cuvanova, M. Dzivak, J. Rimar and Z. Gavalova. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 8: 397-404.
36. Rydenheim, L. 2007. Effects of zeolites on the growth of cucumber and tomato seedlings. Bachelor Project in the Horticultural Science Program, Swedish University of Agriculture, Alnarp.
37. Samartzidis, C., T. Awada, E. Maloupa, K. Radoglou and H.A.A. Constantidou. 2005. Rose productivity and physiological response to different substrates for soilless culture. Sci. Hort. 106: 203-212.
38. Smedt, C.D., K. Steppe and P. Spanoghe. 2017. Beneficial effects of zeolites on plant photosynthesis. Adv. Mater. Sci. 2: 1-11.
39. Trinchera, A., C.M. Rivera, S. Rinaldi, A. Salerno, E. Rea and P. Sequi. 2010. Granular size effect of clinoptilolite on maize seedlings growth. Open Agric. J. 4: 23-30.
40. Yilmaz, E., İ. Sönmez and H. Demir. 2014. Effects of zeolite on seedling quality and nutrient contents of cucumber plant (*Cucumis sativus* L. cv. Mostar) grown in different mixtures of growing media. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45: 2767-2777.