

## پاسخ های 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<sup>\*۱</sup>

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

### چکیده

به منظور بررسی اثر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر ویژگی های 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) به صورت گلدانی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت در آمیخته خاکی کشت گلدانی گل مریم، اثر معنی داری بر ویژگی های رویشی و زایشی اندازه گیری شده دارد؛ اگر چه صفات رویشی در مقایسه با صفات زایشی، پاسخ مثبت و معنی داری به کاربرد زئولیت در آمیخته خاکی داشتند. بیشترین تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، ریشه و سوخک ها، بلندترین طول ریشه و حجم ریشه در استفاده از ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در مقایسه با سایر تیمارها به دست آمد. هر چند که بیشترین طول و قطر ساقه گل در کاربرد ۲۵ گرم زئولیت مشاهده شد، اما تفاوت معنی داری 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 صفات در تیمار شاهد به دست آمد. همچنین، کاربرد زئولیت در محیط کشت سبب زود گل دهی سوخ ها شد. در همه صفات اندازه گیری 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، می توان مقدار ۲۵ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی را برای کشت گلدانی گل مریم توصیه کرد. هر چند که نیاز به پژوهش های بیشتری در این زمینه است.

کلمات کلیدی: بهبود دهنده های خاک، سوخک، گل دهی، گیاهان سوخوار

### مقدمه

صنعت عطرسازی از آن استفاده می شود (۳۱). در سال های اخیر، نگرش جامعه جهانی و به ویژه 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 آمیخته های خاکی است. در این راستا، کاربرد

گل مریم یکی از گیاهان سوخوار (Bulbous plants) زیتنی محبوب از تیره آگواسانان (Agavaceae) و بومی مکزیک است. همچنین، یکی از مهم ترین گل ها در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است که به صورت شاخه بریده، باغچه ای و نیز در

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

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

مواد معدنی طبیعی به‌عنوان بهبود دهنده‌های خاک (Soil amendments)، به‌منظور افزایش حاصل‌خیزی و اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک که افزون بر افزایش نگه‌داری آب در خاک، منجر به افزایش کارایی مصرف کود می‌شوند، توصیه شده است (۲۷، ۲۸ و ۳۰). یکی از این بهبود دهنده‌های خاک با منشأ طبیعی، زئولیت‌ها (Zeolites) هستند. زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکات‌های آبداری (Hydrated aluminosilicates) هستند که به‌وسیله شبکه‌های سه‌بعدی تترا اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ ) و تترا اکسید آلومینیوم ( $\text{AlO}_3$ ) و نیز اتم‌های اکسیژن یک ساختار چهار وجهی را تشکیل می‌دهند (۳۵). امروزه بیش از ۵۰ نوع زئولیت طبیعی توسط پژوهشگران در سراسر دنیا گزارش شده و نیز بیش از ۱۵۰ نوع زئولیت نیز به‌صورت مصنوعی در آزمایشگاه تولید شده است (۳۳). کلینوپتیلولیت (Clinoptilolite) با فرمول شیمیایی  $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_3\text{Al}_6\text{Si}_3\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، فراوان‌ترین زئولیت طبیعی در سطح دنیا است (۲۴) و به‌علت توانایی در نگه‌داری کاتیون‌های بزرگ مانند آمونیوم ( $\text{NH}_4^+$ ) و پتاسیم ( $\text{K}^+$ )، در ساختن کودهای شیمیایی کندرها (Slow release) استفاده می‌شود (۲۳). به‌طور کلی، زئولیت‌های طبیعی دارای ویژگی‌هایی مانند ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، قدرت نگه‌داری آب، سطح جذب زیاد، قابلیت برگشت‌پذیری جذب آب، جذب آمونیوم و جلوگیری از آب‌شویی نترات، افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن و بهبود جذب پتاسیم هستند. افزون بر این، گزارش شده که اضافه کردن زئولیت به محیط کشت سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن، افزایش تخلخل کل و ظرفیت نگه‌داری آب و نیز کاهش آب‌شویی پتاسیم شده است (۱۶). همچنین، افزودن زئولیت‌ها به بستر 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 بررسی اثر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر ویژگی‌های رویشی، زایشی و فیزیولوژیک گل جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L. 'Queen')،

دریافتند که استفاده از زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت در محیط کشت با افزایش CEC خاک و کاهش آب‌شویی عناصر غذایی، سبب افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل دسترس در خاک گلدان شد. همچنین، این پژوهشگران گزارش کردند که زئولیت سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، سطح برگ، میزان فتوسنتز، کارایی یاخسته‌های مزوفیل، کارایی مصرف آب و میزان کلروفیل شد. در پژوهشی دیگر با اضافه کردن ۵۰ گرم زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به محیط کشت گلدان‌های ۱/۵ لیتری گل داودی بدون مصرف کود، عملکرد یکسانی در مقایسه با کاربرد روزانه ۲۳۴ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم همراه آبیاری، بدون استفاده از زئولیت در محیط کشت، به‌دست آمده است (۱۳). کاربرد خاکی کلینوپتیلولیت در گندم، بادمجان، هویج، گوجه‌فرنگی و فلفل به‌طور معنی‌داری سبب افزایش محصول شده است (۲۶). همچنین، پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که افزودن زئولیت به مقدار ۱۰ تا ۵۰ درصد به محیط کشت گیاهانی مانند فیکوس بنجامین (۲۱)، دیفن باخیا (۲۵)، گوجه‌فرنگی (۳۶) و خیار (۴۰) اثر مثبتی بر رشد آنها داشته و سبب افزایش کیفیت آنها شده است. البته پژوهش‌های محدودی هم وجود دارد که کاربرد زئولیت در محیط کشت اثر مثبتی بر برخی صفات مربوط به رشد رویشی و زایشی نداشته است. به‌عنوان نمونه، نظری و همکاران (۲۸) اثر مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گل نرگس شیراز رقم شهلا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین اثر مثبت زئولیت بر وزن تر ریشه، عمق ریشه‌دهی و تعداد سوخک (Bulblet) بود که در تیمار ۱۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی به‌دست آمد. اما در صفاتی مانند قطر ساقه گل، تعداد برگ، تعداد گلچه و وزن خشک برگ و ریشه یا تفاوت معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد و یا اینکه در برخی صفات، اثر زئولیت بر آنها منفی بود. در پژوهشی دیگر، افزودن زئولیت به محیط کشت با اینکه سبب بهبود سیستم ریشه‌نشاء گل‌های گازانیا (*Gazania rigens*) و پرپوش (*Catharanthus roseus*) شد، اما در گازانیا به نسبت

سبب محدود شدن رشد شاخساره شده و در پریش 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 به نظر 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 به منظور 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، به صورت 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 به مدت 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 ۰/۳۸٪ پتاسیم، ۰/۱۲٪ نیتروژن، ۰/۱۲٪ 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 قطر آن 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)، برگ‌های باقی مانده روی بوته‌ها 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. بدین صورت 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

CEC (meq/100g)		EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	تخلخل کل (%)	جرم مخصوص ظاهری ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	جرم مخصوص حقیقی ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی
۳/۹۷		۱۳	۷/۴۵	۰/۵۷	۰/۹۵	۲/۲۱	
K (ppm)	Na (ppm)	SiO <sub>۲</sub> (%)	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> (%)	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	ترکیب یا عنصر
۷۸/۴۰	۱۶/۶۰	۴۴/۴۱	۶/۶۹	۰/۸۲	۲/۵۳	۰/۳۶	

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

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

سلسیوس استفاده شد (۳۰).

گردید. با تهیه عصاره گل اشباع و قرائت آن با دستگاه فلیم‌فوتومتر ساخت شرکت BWB انگلستان و با جاگذاری اعداد خوانده شده در معادله منحنی استاندارد، غلظت سدیم و پتاسیم برحسب ppm به دست آمد (جدول ۱). افزون بر این، برخی از ویژگی‌های 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 ( $\theta_m$ ) محاسبه شد:

$$\theta_m = \frac{M_{sw} - M_s}{M_s} \quad [1]$$

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 بدین صورت 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 فلیم‌فوتومتر (۳۲)، ابتدا محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم به ترتیب با استفاده از پودر خالص کلروسدیم و کلروپتاسیم تهیه شد و با استفاده از این محلول‌های استاندارد، منحنی استاندارد رسم

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 فالتون دور ریخته و این عمل تا زمانی ادامه یافت تا مرحله اشباعی به اتمام برسد. سپس، با افزودن ۳۳ میلی‌لیتر الک 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 به هم 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 به دست 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):

$$CEC = \left( \frac{\text{غلظت سدیم از منحنی}}{23} \right) \times \left( \frac{\text{حجم نهایی عصاره}}{1000} \right) \times \left( \frac{100}{\text{وزن خاک خشک}} \right) \quad [7]$$

برای اندازه‌گیری pH و EC به نسبت ۱:۱۰ (یک قسمت زئولیت خالص و یا آمیخته‌های خاکی دارای مقادیر مختلف زئولیت با ۱۰ قسمت آب مقطر به صورت وزنی) آب اضافه شد و پس از ۲۴ ساعت و تکان دادن آن به مدت ۳۰ دقیقه، عصاره آبی تهیه شد (۳۲) و به ترتیب 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

که در آن  $M_{sw}$  وزن ۱۰ گرم خاک پیش از گذاشتن در آون و  $M_s$  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 ( $V_s$ ) محاسبه شد:

$$V_s = \frac{(M_{pw} - M_p) - (M_{pws} - M_{ps})}{\rho_w} \quad [2]$$

که  $M_p$  وزن پیکنومتر خالی،  $M_{pw}$  وزن پیکنومتر با آب،  $M_{ps}$  وزن پیکنومتر با خاک،  $M_{pws}$  وزن پیکنومتر با خاک و آب و  $\rho_w$  جرم مخصوص ظاهری آب است. همچنین، برای اندازه‌گیری جرم خاک خشک ( $M_s$ ) از رابطه (۳) استفاده شد:

$$M_s = \frac{M_{sw}}{1 + \theta_m} \quad [3]$$

بنابراین، با اندازه‌گیری حجم ( $V_s$ ) و جرم خاک خشک ( $M_s$ ) و با استفاده از رابطه ۴، جرم مخصوص حقیقی خاک ( $\rho_s$ ) محاسبه شد:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad [4]$$

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک ( $\rho_b$ )، 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 به عنوان جرم خاک خشک ( $M_s$ ) در نظر گرفته شد (۳۲). همچنین، با استفاده از معادله  $V_t = \pi r^2 h$  که در آن  $r$  شعاع سیلندر،  $h$  ارتفاع سیلندر و  $\pi = 3/14$  بود، حجم سیلندر و با استفاده از رابطه (۵)،  $\rho_b$  محاسبه شد:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \quad [5]$$

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

$$\text{تخلخل کل} = 100 \times \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \quad [6]$$

(بدون کاربرد ژئولیت) به‌دست آمد. با افزودن ژئولیت به آمیخته خاکی مقدار این صفات در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. اما با افزایش مقدار ژئولیت به بیش از ۲۵ گرم ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی، به‌تدریج مقدار آنها کاهش یافت. تیمار ۲۰۰ گرم ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی به‌دست آمد، که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین حجم ریشه به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵ گرم ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد مشاهده شد؛ هر چند که مقادیر مختلف ژئولیت 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 ژئولیت قرار گرفتند. در هر سه صفت، بیشترین و کمترین مقدار آنها در تیمارهای ۲۵ گرم ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد به‌دست آمد. باز در هر سه صفت ذکر شده، با افزایش مقدار ژئولیت 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 ژئولیت 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

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 اُرتوفانترویلین در محلول با فرسولفات آمونیوم تیترا 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):

میلی‌لیتر فرسولفات آمونیوم مصرفی برای نمونه -

میلی‌لیتر فرسولفات آمونیوم مصرفی برای شاهد

وزن خاک خشک

$$OC (\%) = \frac{0.5 \times 0.39}{\text{وزن خاک خشک}}$$

[۸]

$$OM (\%) = OC (\%) \times 1.724$$

[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 ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی و نیز تیمار شاهد



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	وزن تر برگ‌های روی		وزن خشک برگ‌های روی		وزن تر		وزن خشک		طول بلندترین		حجم ریشه		تعداد سوخک‌ها		وزن تر		وزن خشک		
		برگ‌ها	تعداد کل برگ‌ها	بسته پس از برداشت	شاخه گل (گرم)	روى بوته پس از برداشت	برداشت شاخه گل (گرم)	ریشه	(گرم)	ریشه	(گرم)	ریشه	(سانتی متر)	ریشه	(سانتی متر مکعب)	سوخک‌ها	(گرم)	سوخک‌ها	(گرم)	سوخک‌ها
تیمار	۴	۲۷۴/۳۵**	۷۴۱/۰۳**	۷/۴۴**	۱۹/۴۳*	۳/۵۸**	۱۳/۶۵**	۱۶/۵۶**	۴۳/۹۸**	۵/۱۰**	۴۳/۹۸**	۱۶/۵۶**	۱۳/۶۵**	۱۹/۴۳*	۱۵/۶۸	۱۹/۵۰	۱۵/۶۸	۱۹/۵۰	۱۵/۶۸	۱۹/۵۰
خطا	۲۵	۴/۴۴	۶/۰۴	۰/۰۸	۹/۳۰	۰/۲۴	۱/۸۱	۱/۷۸	۱/۳۶	۰/۰۹	۱/۳۶	۱/۷۸	۱/۸۱	۰/۳۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸
ضرب تغییرات	---	۶/۲۰	۹/۶۶	۱۰/۶۲	۱۷/۸۰	۱۵/۷۷	۱۶/۲۳	۹/۶۸	۱۸/۳۵	۱۹/۵۰	۱۵/۶۸	۱۶/۲۳	۱۵/۷۷	۱۷/۸۰	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	۱۵/۹۸	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 برگ‌ها	بسته پس از برداشت	شاخه گل (گرم)	وزن تر برگ‌های روی	وزن خشک برگ‌های روی	ریشه	ریشه	ریشه	طول بلندترین	حجم ریشه	تعداد سوخک‌ها	وزن تر	وزن خشک	طول بلندترین	ریشه	ریشه	ریشه	تعداد سوخک‌ها	وزن تر	وزن خشک	شاهد (بدون زئولیت)
۲۵	۴۰/۰۵ <sup>a</sup>	۳۹/۴۳ <sup>a</sup>	۲۴/۰۸ <sup>bc</sup>	۲۶/۸۰ <sup>d</sup>	۲/۷۲ <sup>c</sup>	۱۵/۳۷ <sup>b</sup>	۱۵/۳۷ <sup>b</sup>	۱۵/۳۷ <sup>b</sup>	۶/۹۵ <sup>b</sup>	۱۱/۶۰ <sup>b</sup>	۳/۲۵ <sup>b</sup>	۴/۸۹ <sup>c</sup>	۳/۲۵ <sup>b</sup>	۶/۹۵ <sup>b</sup>	۲/۵۹ <sup>c</sup>	۲/۵۹ <sup>c</sup>	۲/۵۹ <sup>c</sup>	۳/۲۵ <sup>b</sup>	۴/۸۹ <sup>c</sup>	۳/۲۵ <sup>b</sup>	۲۶/۸۰ <sup>d</sup>
۵۰	۳۷/۰۵ <sup>b</sup>	۲۵/۶۰ <sup>b</sup>	۲۲/۱۲ <sup>c</sup>	۳۷/۰۵ <sup>b</sup>	۳/۱۹ <sup>b</sup>	۱۸/۱۶ <sup>a</sup>	۱۸/۱۶ <sup>a</sup>	۱۸/۱۶ <sup>a</sup>	۹/۲۰ <sup>a</sup>	۱۳/۷۵ <sup>a</sup>	۳/۶۰ <sup>b</sup>	۶/۰۰ <sup>b</sup>	۳/۶۰ <sup>b</sup>	۹/۲۰ <sup>a</sup>	۳/۰۷ <sup>b</sup>	۳/۰۷ <sup>b</sup>	۳/۰۷ <sup>b</sup>	۳/۶۰ <sup>b</sup>	۶/۰۰ <sup>b</sup>	۳/۶۰ <sup>b</sup>	۳۷/۰۵ <sup>b</sup>
۱۰۰	۳۵/۲۰ <sup>b</sup>	۲۲/۱۲ <sup>c</sup>	۲۲/۱۲ <sup>c</sup>	۳۵/۲۰ <sup>b</sup>	۲/۵۴ <sup>c</sup>	۱۷/۷۵ <sup>ab</sup>	۱۷/۷۵ <sup>ab</sup>	۱۷/۷۵ <sup>ab</sup>	۶/۰۰ <sup>b</sup>	۱۴/۳۰ <sup>a</sup>	۳/۳۰ <sup>b</sup>	۵/۹۶ <sup>b</sup>	۳/۳۰ <sup>b</sup>	۶/۰۰ <sup>b</sup>	۳/۲۰ <sup>b</sup>	۳/۲۰ <sup>b</sup>	۳/۲۰ <sup>b</sup>	۳/۳۰ <sup>b</sup>	۵/۹۶ <sup>b</sup>	۳/۳۰ <sup>b</sup>	۳۵/۲۰ <sup>b</sup>
۲۰۰	۳۰/۷۵ <sup>c</sup>	۱۶/۰۷ <sup>d</sup>	۱۶/۰۷ <sup>d</sup>	۳۰/۷۵ <sup>c</sup>	۱/۶۲ <sup>d</sup>	۱۵/۹۳ <sup>ab</sup>	۱۵/۹۳ <sup>ab</sup>	۱۵/۹۳ <sup>ab</sup>	۸/۷۰ <sup>a</sup>	۱۴/۶۴ <sup>a</sup>	۳/۱۵ <sup>b</sup>	۴/۹۱ <sup>c</sup>	۳/۱۵ <sup>b</sup>	۸/۷۰ <sup>a</sup>	۲/۸۲ <sup>bc</sup>	۲/۸۲ <sup>bc</sup>	۲/۸۲ <sup>bc</sup>	۳/۱۵ <sup>b</sup>	۴/۹۱ <sup>c</sup>	۳/۱۵ <sup>b</sup>	۳۰/۷۵ <sup>c</sup>

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)	۱۰۹/۱ <sup>ab</sup>	۵۶/۸۰ <sup>ab</sup>	۶/۶۳ <sup>a</sup>	۶۱/۰۴ <sup>a</sup>	۸/۶۸ <sup>a</sup>	۱۱/۶۵ <sup>cd</sup>
۲۵	۹۲/۷۰ <sup>c</sup>	۶۱/۹۰ <sup>a</sup>	۶/۶۳ <sup>a</sup>	۵۴/۷۲ <sup>b</sup>	۸/۵۵ <sup>a</sup>	۱۷/۷۰ <sup>a</sup>
۵۰	۱۰۰/۹۰ <sup>bc</sup>	۵۳/۷۵ <sup>b</sup>	۵/۶۵ <sup>b</sup>	۴۸/۶۴ <sup>c</sup>	۷/۸۷ <sup>ab</sup>	۱۳/۴۰ <sup>b</sup>
۱۰۰	۱۰۱/۸۰ <sup>bc</sup>	۵۹/۳۵ <sup>ab</sup>	۶/۰۶ <sup>ab</sup>	۴۰/۴۵ <sup>d</sup>	۷/۵۰ <sup>b</sup>	۱۳/۲۰ <sup>bc</sup>
۲۰۰	۱۱۳/۶۰ <sup>a</sup>	۴۴/۳۵ <sup>c</sup>	۴/۵۹ <sup>c</sup>	۳۸/۲۰ <sup>d</sup>	۴/۱۱ <sup>c</sup>	۱۰/۷۰ <sup>d</sup>

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 به ترتیب 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 به ترتیب در تیمارهای شاهد و ۲۰۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی به دست 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



طریق قابلیت جذب عناصر غذایی را بهبود دهند و با افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه، کارایی سیستم فتوسنتز افزایش یافته و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر، منجر به رشد بهتر گیاهان شده باشد (۳۰). در پژوهشی، کاربرد زئولیت به صورت 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 افزودن 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 کاربرد زئولیت با نتایج پژوهش‌های دیگر محققین روی توت‌فرنگی (۱)، پرپوش (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

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 رز 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، آف‌آلیخانی 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

(۲۸) که گزارش کردند استفاده از ۱۵ گرم ژئولیت 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 ژئولیت در محیط کشت قرار می‌گیرد تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد گلچه است و در تیمار ۲۵ گرم ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی نسبت به تیمار شاهد گل‌دهی زودتر مشاهده شد که به احتمال قوی می‌توان این را به اثر ژئولیت در این مقدار بر رشد رویشی نسبت داد. در واقع، این مقدار از ژئولیت، 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 ژئولیت 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 ژئولیت سبب افزایش طول ساقه در گل مریم شده بود اما با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. برخلاف نتایج ما در مورد قطر ساقه گل، این پژوهشگران نشان دادند که بیشترین قطر ساقه در تیمار ۵ گرم ژئولیت به دست آمده که با شاهد تفاوت معنی داری داشته است و عنوان کردند 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 ژئولیت بر ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاهان گزارش شده است. اما در پژوهش حاضر مشخص شد که استفاده از ژئولیت 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 ژئولیت در مقادیر بیشتر از ۱۰ گرم در هر کیلوگرم

کاربرد ژئولیت، همسو با نتایج سایر پژوهشگران در گیاهان مختلف مانند توت‌فرنگی (۱)، گل داودی (۷)، دیفن باخیا (۲۵) و گل جعفری آفریقایی (۳۰) است که در آنها ژئولیت سبب افزایش تعداد برگ شده بود. در توجیه این افزایش تعداد برگ، پژوهشگران گزارش کرده‌اند که ژئولیت‌ها 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 ژئولیت 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 ژئولیت در هر کیلوگرم آمیخته خاکی در این پژوهش می‌توان به سه مورد اشاره کرد: ۱- این مقدار از ژئولیت 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 ژئولیت سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود، بنابراین ممکن است این مقدار از ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت، 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

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.

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

### 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. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clark and R.C. Dinauer (Eds.), *Methods of Soil Analysis, 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 zeolite 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. Ornament. Hort. Plants* 1: 13-18.
22. Marschner, H. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3<sup>rd</sup> 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. 1<sup>st</sup> 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. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> edition, ASA, SSSA, Madison, USA, 1159 p.
33. Polat, E., M. Karaka, H. Demir and N. Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. J. Fruit Orn. 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.