فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۱-۱۸
https://doi.org/10.22034/12.57.1

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)

کلثوم ستار و طهماسب آسمانه*

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰)

چکیده

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، گیاه دارویی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. پراکنش طبیعی و مواد مؤثره برخی از گونه‌های آویشن با مقادیر کلسیم و منیزیم خاک، مرتبط بوده است. بر این اساس در این پژوهش، اثرات نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم (نسبت-های ۰/۲۸، ۰/۸، ۲، ۳ (شاهد) و ۸) که به ترتیب حاوی غلظت‌های: ۱ به ۳/۵، ۲ به ۲/۵، ۳ به ۱/۵، ۱/۵ به ۰/۵ و ۴ به ۰/۵ میلی‌مولار کلسیم به منیزیم بوده بر شاخص‌های رویشی، و فیزیولوژیک گیاه آویشن باغی در محیط‌کشت هیدروپونیک، در قالب طرح کاملاً تصادفی، بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد که مقادیر بالای کلسیم و منیزیم در محلول غذایی، منجر به افزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های کلروفیل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های برگ، کربوهیدرات محلول و پروتئین کل و کاهش مقدار پتاسیم در ریشه و بخش هوایی گیاه، نسبت به شاهد گردید. از سویی دیگر، نسبت ۸ کلسیم به منیزیم، موجب افزایش غلظت کلسیم و کاهش غلظت منیزیم در ریشه و بخش هوایی گردید. بیشترین مقدار ترکیبات فنلی گیاه آویشن باغی در نسبت ۸ تیمار کلسیم به منیزیم مشاهده شد و با افزایش منیزیم، مقدار ترکیبات فنلی این گیاه نسبت به شاهد کاهش یافت. نسبت‌های کلسیم به منیزیم اعمال‌شده در این پژوهش، به‌ویژه نسبت ۰/۸، منجر به افزایش معنی-دار متوسط سطح برگ، وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه آویشن باغی، نسبت به شاهد گردید. در مجموع، می‌توان اذعان داشت بهترین نسبت‌های کلسیم به منیزیم در محلول غذایی برای رشد این گیاه، نسبت‌های ۸ و ۰/۸ و برای تولید ترکیبات فنلی، نسبت ۸ تیمار است.

کلمات کلیدی: آویشن، شاخص‌های فیزیولوژیک، کلسیم، منیزیم

مقدمه

عناصری که حداقل به یکی از صورت‌های آزاد یا پیوسته قابل حل در آب بوده، کم و بیش در گیاهان نفوذ می‌کنند. با این وجود، فقط برخی از عناصر برای رشد گیاه ضروری هستند (Taiz and Zeiger, 2010). کلسیم از عناصر غذایی پرمصرف است که در خاک و گیاه غیرمتحرک بوده و جذب آن توسط ریشه و انتقال آن در آوند چوب، تحت‌تأثیر جریان تعرق گیاه است (White and Broadley, 2003). این عنصر، از طریق فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، بر رشد و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد (Pathak *et al.*, 2020). بقا و پایداری گیاه به سلامتی غشا بستگی دارد که خود نیازمند مقادیر مناسب کلسیم است (Lautner *et al.*, 2007). کلسیم بین ۲ تا ۵ درصد وزن خشک برگ را تشکیل می‌دهد (Supanjani *et al.*, 2005) و در پوسته زمین نیز، کلسیم با ۳/۶

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: asemaneh@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

درصد، بعد از اکسیژن، سیلیسیم، آلومینیوم و آهن در ردیف پنجم قرار می‌گیرد (Mengel and Kirkby, 2001). کلسیم، برای تقسیم سلولی، تشکیل و استحکام دیواره‌های جدید سلولی، ایفای نقش غشا، جلوگیری از آسیب آن و عدم تراوش مواد به بیرون از سلول، به تأخیر انداختن پیری و افزایش عمر انبارداری محصولات باغبانی ضروری است (نیجار، ۱۳۹۳). کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه عمل می‌کند. پیک ثانویه، باعث بروز پاسخ‌های متنوع گیاه به اثرات عوامل محیطی و نیز حفظ عملکرد گیاهی در پاسخ به تنش‌ها می‌شود. کلسیم، نقشی شبیه به هورمون‌ها در تنظیم عملکردهای سلولی مختلف در گیاهان دارد. چنین عملکردی در تنظیم پمپ پروتونی که دریافت و حرکت مواد غذایی در ریشه و ورود و خروج آنها از سلول گیاهی را تنظیم می‌کند، قابل مشاهده است. کلسیم، کالمودولین را نیز تحریک می‌کند. همچنین به نظر می‌رسد که هورمون اکسین، به کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه نیاز دارد (McCormack *et al.*, 2005). تغییرات سطح کلسیم سیتوزولی در مسیرهای انتقال سیگنالی، نقش کلیدی بسیار مهمی را در پاسخ‌های سلولی ایفا می‌کند (Janick, 2013).

علامت مشخصه کمبود کلسیم، نکروزه‌شدن مناطق مریستمی جوان مثل نوک ریشه‌ها و برگ‌های جوان است که در آنها تقسیم سلولی و تشکیل دیواره بسیار سریع است (Taiz and Zeiger, 2010).

جذب کلسیم و انتقال آن، به کلسیم قابل دسترس در خاک، رشد ریشه، جذب کلسیم توسط ریشه، رقابت کلسیم با دیگر مواد غذایی در ریشه و کلسیم قابل دسترس در شیره آوند چوبی بستگی دارد. نقش بسیاری از عوامل محیطی و مواد معدنی، در جذب کلسیم گیاهی، انتقال کلسیم به میوه و حساسیت گیاه به بی‌نظمی‌های کمبود کلسیم، گزارش شده است. این عوامل محیطی شامل خشکی، شوری، رطوبت نسبی، گرما، نور و حالت تعادل مواد معدنی هستند (Janick, 2013).

از دیگر عناصر ضروری رشد گیاه، می‌توان به منیزیم اشاره کرد که میزان جذب آن به وسیله کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم، آمونیوم و کلسیم به شدت کاهش می‌یابد. منیزیم، در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اساسی از قبیل؛ سنتز کلروفیل، تولید، انتقال و استفاده از محصولات فتوسنتزی، فعال‌سازی آنزیم و سنتز پروتئین نقش دارد (Ishfaq *et al.*, 2022). این عنصر، رشد ریشه را افزایش می‌دهد، جذب آب و مواد مغذی و صدور کربوهیدرات را تسهیل می‌کند و آسیب اکسیداتیو نوری به سلول‌ها را در شرایط استرس کاهش می‌دهد (Verma *et al.*, 2019).

مقدار منیزیم خاک‌ها اغلب بین ۰/۰۵ درصد (در خاک‌های شنی) تا ۰/۵ درصد (در خاک‌های رسی) تغییر می‌کند. وضعیت منیزیم خاک‌ها به عوامل مختلفی مانند آب و هوا، pH، درجه حرارت، رطوبت خاک و غلظت کاتیون‌های دیگر، بستگی دارد. کمبود منیزیم در خاک‌های زراعی کشور به دلایل متعددی از جمله آبشویی (در شمال) و سنگ‌ها (در غرب)، به وفور مشاهده می‌گردد. حد بحرانی منیزیم در خاک‌های آهکی، حدود ۷۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، با روش استات آمونیم پیشنهاد می‌شود (ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲). علامت کمبود منیزیم، کلروز بین رگبرگ‌ها است که ابتدا از برگ‌های مسن‌تر شروع می‌شود. علامت تکمیلی کمبود منیزیم، ریزش زود هنگام برگ‌های نابالغ است (Taiz and Zeiger, 2010).

بسیاری از پژوهشگران معتقدند که نسبت کلسیم به منیزیم یک فاکتور کلیدی در تعیین بقا گونه گیاهی است. یون‌های این دو عنصر برای اشغال محل‌های جذب در ریشه گیاه رقابت می‌کنند (Brooks, 1987; Baker *et al.*, 1992). با توجه به اهمیت وجود غلظت‌های کافی یون کلسیم در محلول خاک، به منظور جلوگیری از سمیت سایر عناصر مانند کادمیم (Li *et al.*, 2022)، سدیم و منیزیم، معمولاً حد بحرانی این عنصر را به صورت نسبت کلسیم به غلظت سایر کاتیون‌ها اعلام می‌کنند. در اکثر موارد، نسبت کلسیم به منیزیم بالاتر از یک، مناسب دانسته شده است (Grattant and Grieve, 1993).

آویشن (*Thymus* spp) از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. این سرده، دارای بیش از ۲۲۰ گونه در جهان است که در منطقه معتدل شمالی پراکنده‌اند. در ایران نیز ۱۸ گونه از این جنس به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

صورت خودرو در چندین استان از جمله کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری و فارس وجود دارد و در اغلب استان‌های کشور نیز کشت می‌شود. از میان گونه‌های آویشن، چهار گونه به نام آویشن ایرانی، آویشن دنایی، آویشن مرندی و آویشن برگ نیزه‌ای انحصاری ایران هستند (جمزاد، ۱۳۸۸). آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، گیاهی پایا، بوته‌ای و چند ساله، با ساقه‌های چوبی، تقریباً راست، بسیار منشعب و در برش عرضی چهار گوش، کوتاه قد با برگ‌های معطر، ساده ندرتاً مرکب شانه‌ای یا پنجه‌ای متقابل، بدون گوشوارک و در مناطق خشک برگ‌ها پوشیده از تار و کرک فراوان و گل‌ها کامل، نامنظم، هرمافرودیت، با تقارن سطحی، جام گل لوله‌ای پیوسته و معمولاً دارای دو لوب و گیاهی با ارتفاع ۵۰-۳۰ سانتی‌متر است (جمزاد، ۱۳۸۸؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۸۵؛ Cronquist, 1988).

اسانس آویشن باغی خاصیت ضدباکتری، قارچی و ویروسی دارد همچنین، به دلیل وجود ترکیب‌های فنلی دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و محافظت‌کننده است. مهمترین ترکیب‌های موجود در اسانس این گیاه عبارتند از تیمول، کارواکرول، پاراسیمین و لینالول (Shirasu *et al*., 1997; Stahl-Biskup *et al*., 2002). از خواص درمانی آویشن می‌توان به ضدتشنج، هضم‌کننده، ضداسپاسم، ضداکسنده اشاره کرد و برگ آن، التهاب و درد را کاهش می‌دهد (Ramezani *et al*., 2004; Mansoor *et al*., 2002; Letchamo *et al*., 1995).

فاکتورهای زراعی روی عملکرد اسانس و ماده خشک در واحد سطح این گیاه، تأثیر معنی‌داری دارد (Letchamo *et al*., 1995). نسبت‌های پایین کلسیم به منیزیم در خاک، به عنوان یکی از عوامل اساسی محدودکننده رشد گیاهان در خاک محسوب می‌شود (Loide, 2002). دمای بالا به همراه وجود کلسیم بالای خاک، در تولید بیشتر اسانس در گونه آویشن باغی گزارش شده است (Thompson, *et al*., 2003). امیدبیگی (۱۳۸۵)، خاک‌های سبک حاوی ترکیب‌های کلسیم را برای افزایش بازده اسانس مطلوب معرفی کرده است. افزایش ارتفاع از سطح دریا، تنوع خاک، آب و هوا مقدار مواد ارگانیکی، مقادیر مختلف عناصر خاک، فاکتورهای مهم در تفاوت پراکندگی گونه *Thymus piperella* در شرق اسپانیا گزارش شده است (Blanquer *et al*., 1998). مقادیر مختلف کربنات، با بعضی از مواد مؤثره دارویی رابطه مثبت و بعضی از ترکیبات روغنی گیاه آویشن با عوامل محیطی، همبستگی معنی‌داری را نشان داده است (Corticchiato *et al*., 1998; McGimpsey *et al*., 1994).

همان‌طور که در بالا اشاره شد، غلظت‌های مختلف کلسیم و منیزیم، بر بسیاری از شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک گیاهان، از جمله محتوی رنگیزه‌های گیاهی، کربوهیدات‌ها، پروتئین و متابولیت‌های ثانویه اثر دارد. از طرفی، واکنش گیاهان به غلظت‌های مختلف عناصر در دسترس، بسته به نوع گونه گیاهی، می‌تواند متفاوت باشد. بر این اساس در این پژوهش، اثرات نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر شاخص‌های رویشی، و فیزیولوژیک آویشن باغی که پراکنش طبیعی آن متأثر از غلظت‌های مختلف این عناصر است، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کشت هیدروپونیک: بذر یک‌ساله گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. پس از ضدعفونی و شستشوی بذرها با آب‌مقطر، در گلدان‌های حاوی شن شسته با اسید سولفوریک رقیق‌شده و عاری از مواد آلی، در سال ۱۳۹۶ کشت گردید. برای آبیاری گلدان‌ها، تا زمان سبز شدن از آب‌مقطر استفاده گردید اما بعد از مرحله سبزشدن، هر سه روز یک بار، با محلول غذایی هوگلند ۰/۵ آبیاری شدند. پس از حدود دو ماه از زمان کاشت، گیاهچه‌ها به محیط‌کشت هیدروپونیک انتقال داده شدند. محلول غذایی براساس فرمول ارائه‌شده توسط هوگلند تهیه گردید که شامل ترکیبات ذیل

جدول ۱- تیمار غلظت‌های نمک‌های کلسیم و منیزیم (mM) و نسبت Ca/Mg در محلول هوگلند استفاده شده در شرایط آزمایشگاهی

Ca/Mg	$Ca(NO_3)_2$	$Mg(NO_3)_2$	$MgSo_4$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

۰/۵	صفر	۴	۸
۰/۵	۱	۳	۲
۰/۵	۲	۲	۰/۸
۰/۵	۳	۱	۰/۲۸

است (اعداد داخل پرانتز غلظت ترکیب براساس میکرومولار است):

KNO_3 (1000), KH_2PO_4 (20), NaOH (900), $Ca(NO_3)_2$ (1500), NH_4NO_3 (500), $MgSO_4.7H_2O$ (500), EDTA (50), $FeSO_4.7H_2O$ (50), $ZnSO_4.7H_2O$ (0.5), $MnSO_4.H_2O$ (0.7), $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ (0.1), H_3BO_3 (1), $CuSO_4$ (0.1), NaCl (100).

محلول فوق با نسبت Ca/Mg = ۳ به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و محلول‌هایی با نسبت‌های مختلف Ca/Mg مطابق جدول ۱ به‌عنوان تیمار استفاده شد (Pakdaman *et al.*, 2013).

هر تیمار، شش تکرار داشت و هر تکرار شامل چهار گیاه بود. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. گلدان‌ها در اتاق کشت، در دمای متناوب ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای شب و ۲۲ درجه سانتی‌گراد برای روز نگهداری گردید. در طول هفته، اسیدیته (pH) محلول غذایی، توسط دستگاه pHمتر مدل ۳۰۲ اندازه‌گیری و در حدود ۰/۲± ۶ ثابت نگه داشته شد. محلول غذایی نیز، دو بار در هفته تعویض شدند. گیاهان پس از هفت هفته اعمال تیمار برداشت گردید و صفات مورد نظر، مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری صفات رویشی: پس از قطع ریشه از محل یقه، ریشه و بخش هوایی به‌طور جداگانه، با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل Te 313s، با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن و اندازه‌گیری شدند. سپس، به صورت جدا در پاکت‌های کاغذی در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آنها تعیین گردید. در نهایت مقدار میانگین برای یک گیاه در هر گلدان محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری سطح برگ، از هر گلدان چند برگ ناحیه میانی انتخاب و جدا شد. سپس با قراردادن برگ‌ها بر روی کاغذ شطرنجی از آنها کپی کاغذی تهیه گردید. سپس با محاسبه وزن و مساحت کپی‌های کاغذی، متوسط سطح برگ مربوطه برای هر تکرار و تیمار محاسبه شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichten Thaler (۱۹۸۷) انجام پذیرفت. ۰/۲ گرم از بخش هوایی تازه گیاه در هاون چینی، با ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شد و پس از صاف‌کردن، جذب آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 در طول‌موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. از استن ۸۰ درصد به‌عنوان بلانک استفاده شد. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید.

معادله ۱

$$Chla = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$$

معادله ۲

$$Chlb = 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$$

معادله ۳

$$ChlT = Chla + Chlb$$

معادله ۴

$$Car = (1000\ A_{470} - 1.8\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b)\ /198$$

در این فرمول‌ها: Chla، Chlb، ChlT و Car به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b، غلظت کلروفیل کل و غلظت کاروتنوئید است. غلظت برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره گیاهی تعیین گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه شد.

سنجش آنتوسیانین: از روش Wagner (۱۹۷۹)، جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌های اندام هوایی استفاده شد. ۰/۱ گرم از بخش هوایی گیاه، در هاون چینی، با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹)، کاملاً سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

سرپیچ‌دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس لوله‌ها، به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ مدل itd-2010 قرار داده شدند و جذب محلول بالایی آنها، با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محاسبه غلظت با استفاده از فرمول زیر و ضریب خاموشی M^{-1} cm^{-1} ۳۳۰۰۰ انجام و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد.

$$A = \varepsilon bc$$

A = جذب

b = عرض کووت

c = غلظت محلول موردنظر

اندازه‌گیری مقدار پروتئین کل: برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین کل در نمونه‌های گیاهی، از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده گردید. در این روش برای تعیین مقادیر پروتئین از منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های معین پروتئین استفاده می‌گردد. برای استخراج عصاره پروتئینی، ۰/۰۵ گرم از بخش هوایی تازه نمونه‌های گیاهی وزن گردید و ۴ سی‌سی بافر تریس اسید کلریدریک به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها روی شیکر مدل ۳۰۰۵ به‌مدت ۲۰ دقیقه ورتکس گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دور ۵۰۰ توسط دستگاه سانتریفیوژ مدل itd-2010 سانتریفیوژ گردیدند و فاز بالایی جدا گردید که حاوی پروتئین کل است. به ۰/۱ سی‌سی عصاره پروتئینی از هر نمونه، ۵ سی‌سی محلول برادفورد اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه ورتکس گردید. سپس، جذب نمونه‌ها، با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100 در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر، یادداشت گردید.

اندازه‌گیری کربوهیدرات: این اندازه‌گیری، با روش فنل سولفوریک اسید (Chaplin and Kennedy, 1987) انجام گرفت. ۰/۱ گرم از ماده خشک بخش هوایی نمونه‌های گیاهی کاملاً پودر شد، در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد ریخته شد و پس از یک هفته از بخش روئی محلول، ۰/۵ میلی‌لیتر برداشته شد و با آب‌مقطر، به حجم ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد اضافه گردید و پس از هم‌زدن، ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ افزوده شد. حدود نیم ساعت پس از خنک‌شدن کامل محلول، جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV-2100، در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر، خوانده شد. برای اندازه‌گیری مقدار قند، از منحنی استاندارد تهیه شده از گلوکز استفاده شد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم در نمونه‌های گیاهی: به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم و منگنز ریشه و بخش هوایی گیاه، از روش جذب اتمی استفاده شد (Zhong *et al.*, 2016). برای این سنجش، ۰/۱ گرم از ریشه و بخش هوایی خشک گیاه در هر گلدان، با ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۰ درصد، به مدت یک شبانه روز هضم گردید. سپس، نمونه‌ها در حمام آبی، به مدت دو ساعت در ۹۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. پس از سرد شدن، ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به نمونه‌ها اضافه گردید و به مدت نیم ساعت در حمام آبی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از سردشدن نمونه‌ها، با آب‌مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شدند و مقادیر عناصر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل Hitachi High-Technologies, 22300، اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی: ابتدا نمونه‌های خشک‌شده بخش هوایی گیاه، به‌طور کامل پودر گردید. سپس، به ۰/۵ گرم از پودر خشک‌شده، ۵۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (حاوی ۱ درصد کلریدریک اسید) اضافه شد و مخلوط، به مدت ۴۸ ساعت در شرایط بدون نور هم زده شد. عصاره استخراج‌شده، برای انجام مراحل بعدی آزمایش فوراً مورد استفاده قرار گرفت و یا حداکثر به مدت چهار روز در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل از معرف Folin-Ciocalteau استفاده شد (McDonald *et al.*, 2001). به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده گیاهی، استانداردهای گالیک اسید اضافه شد سپس، به مخلوط حاصل، ۴ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۱ مولار اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر، توسط دستگاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

اسپکتروفتومتر UV-Vis خوانده شد. با استفاده از غلظت‌های مختلف گالیک اسید منحنی استاندارد رسم و معادله خط (y= 0.00439 x + 0.07603, R2: 0.9906) بدست آمد. نتایج به صورت میلی‌گرم هم ارز گالیک اسید بر گرم وزن خشک گزارش شد (Pandjaitan *et al*., 2005; Shui and Leong, 2002).

در نهایت تجزیه و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر تیمار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم، بر شاخص‌های کلروفیل کل، کاروتنوئید و آنتوسیانین گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*) در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود.

در ادامه، به تفکیک، اثر سطوح مختلف تیمار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم، بر رنگیزه‌های گیاهی آویشن باغی نشان داده شده است (شکل ۱).

چنان‌چه مشاهده می‌شود سطوح مختلف تیمار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم، به‌ویژه سطح ۰/۸ که غلظت‌های بالای هر دو عنصر کلسیم و منیزیم (به ترتیب ۲ و ۲/۵ میلی‌مولار) را دارا است، منجر به افزایش نسبی میانگین رنگیزه کلروفیل کل نسبت به سطح شاهد گردیده است (شکل a–۱).

منیزیم تنها بخش معدنی مولکول کلروفیل است که در مرکز این مولکول قرار گرفته است و طبیعتاً کمبود آن در گیاه سبب کاهش مقدار کلروفیل و در نتیجه کندشدن رشد ریشه گیاه می‌شود. از طرفی دیگر، رابطه مستقیمی بین غلظت منیزیم درون بافت گیاهی و میزان سنتز کلروفیل وجود دارد (Marschner, 2012). منیزیم علاوه بر حضور به عنوان یک عنصر ساختاری کلروفیل، به عنوان رنگیزه اصلی فتوسنتز، در ساخت ATP نیز نقش دارد (قادری و ملکوتی، ۱۳۷۹). در روندی مشابه با دیگر پژوهش‌ها (Nguyen *et al*., 2017; Alrashidi *et al*., 2022)، منیزیم منجر به افزایش قابل توجه محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گردید.

سطح ۸ تیمار (نسبت کلسیم به منیزیم)، منجر به کاهش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید نسبت به شاهد گردید (شکل b–۲). از طرفی سطوح دیگر تیمار، منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید (تا حدود ۳۳ درصد) نسبت به شاهد گردیده است. همچنین بین سطوح مختلف تیمار نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده گردید. بیشترین محتوای کاروتنوئید (۰/۸ mg g^{-1} Fw) در سطح ۰/۸ تیمار و کمترین محتوای کاروتنوئید (۰/۴ mg g^{-1} FW) در سطح ۸ تیمار، بدست آمد.

در این مطالعه، محتوای کاروتنوئیدها در سطوح پایین‌تر و بالاتر تیمار، که واجد کلسیم و یا منیزیم بیشتری در قیاس با شاهد بودند، نسبت به شاهد افزایش یافت. کاروتنوئیدها علاوه بر اینکه رنگیزه‌های کمکی هستند، در حفاظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها نیز مؤثرند (Lawlore and Cornice, 2002). از آنجایی که کاروتنوئیدها از راه سازوکاری که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود، موجب مصرف اکسیژن و حفاظت از سبزینه در برابر اکسایش نوری (فتواکسیداسیون) می‌شوند (Loggini *et al*., 1999)، این افزایش سبزینه را می‌توان به نقش حفاظتی کاروتنوئید نسبت داد و بیانگر نقش مثبت تیمار یادشده در تحریک تولید کاروتنوئید است. سولفات منیزیم کلاته با تحت تأثیر قرار دادن میزان رنگیزه‌های نورساختی و افزایش سبزینه، موجب افزایش کاروتنوئیدها می‌گردد (Eraslan *et al*., 2008). همچنین در پژوهشی دیگر، مصرف توأم کلسیم و پتاسیم باعث افزایش محتوای کاروتنوئیدها گردید (Jifon and Lester, 2009).

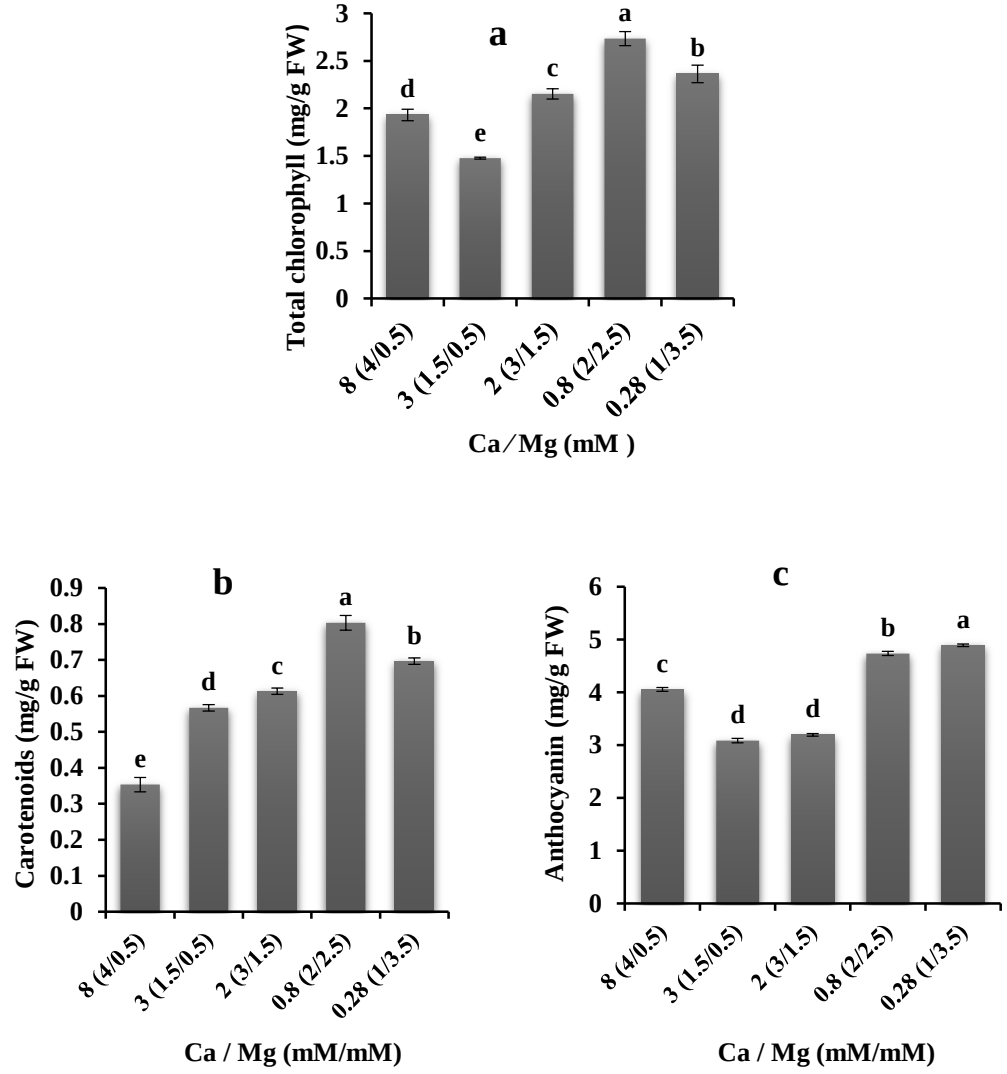
سطوح مختلف تیمار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم، بجز سطح ۲ تیمار، ضمن داشتن اختلاف معنی‌دار نسبت به همدیگر، منجر به افزایش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین نسبت به

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پنج سطح کلسیم به منیزیم (نسبت‌های ۰/۲۸، ۰/۸، ۲، ۳ و ۸) بر رنگیزه‌های گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

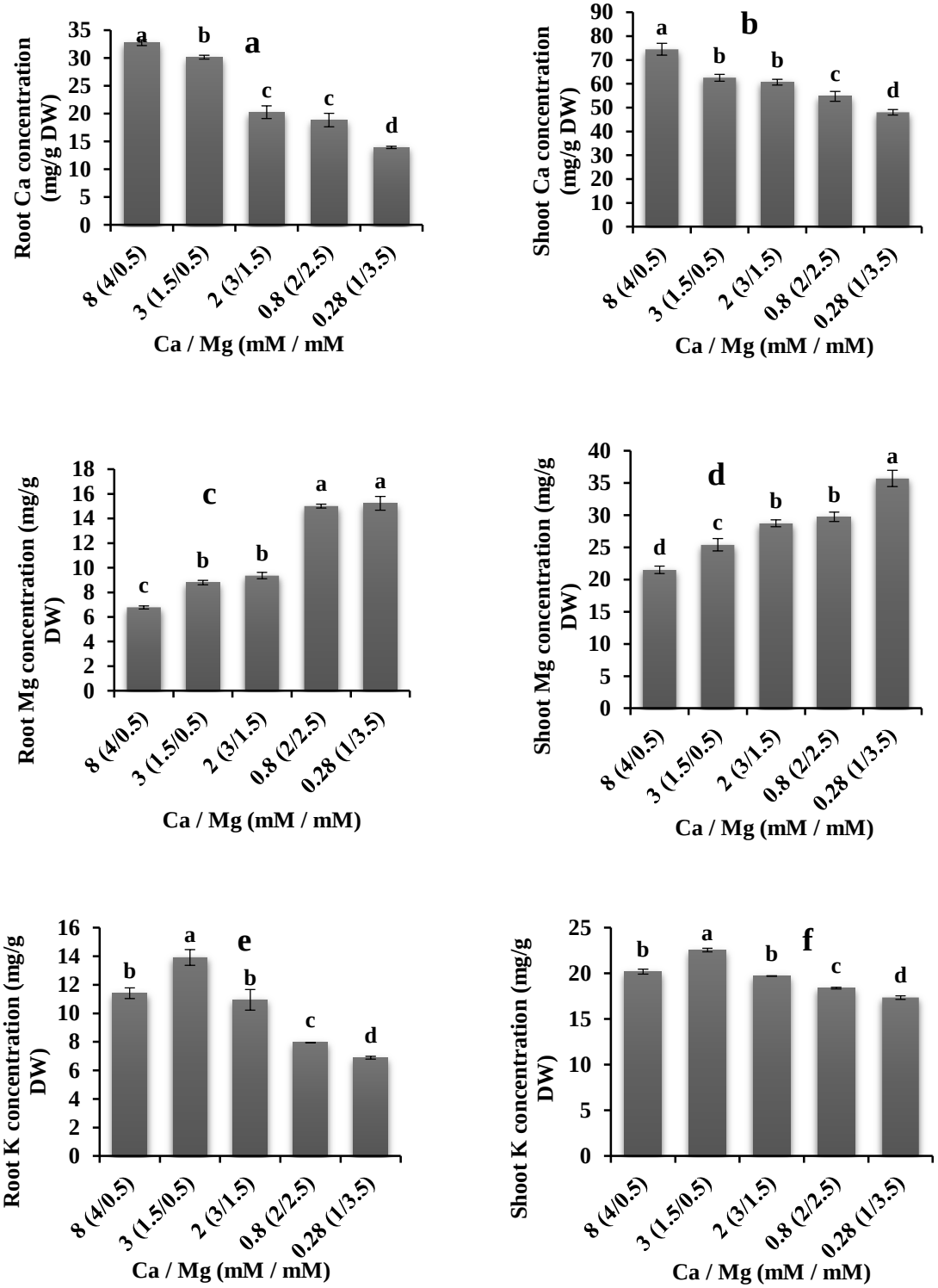
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کلروفیل کل	کاروتنوئید	آنتوسیانین
تیمار (نسبت کلسیم به منیزیم)	۴	۰/۶۶۴**	۰/۰۸۴**	۱/۸**
خطا	۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۶۱
ضریب تغییرات		۰/۰۶۸	۰/۰۳۳	۰/۰۲۵

****، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.**



شکل ۱- مقایسه اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر میانگین کلروفیل کل (a)، کاروتنوئید (b) و آنتوسیانین (c) برگ گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*). حروف غیرمشترک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها، براساس آزمون دانکن است (P≤0.05).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۲- مقایسه اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر میانگین غلظت کلسیم، منیزیم و پتاسیم ریشه و بخش هوایی گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*). حروف غیرمشترک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها، براساس آزمون دانکن است (P≤0.05).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

شاهد گردید (شکل c–۱). بیشترین مقدار آنتوسیانین‌های برگ (۴/۹ $\mu g\ g^{-1}$) در سطح ۰/۲۸ تیمار و کمترین میزان شاخص مورد نظر (۳ $\mu g\ g^{-1}$) در شاهد مشاهده گردید.

آنتوسیانین‌ها، در زمره مهمترین رنگدانه‌های گیاهان آوندی هستند که پایداری آنها به عوامل شیمیایی و فیزیکی مانند: دما، نور، pH، تغذیه معدنی، اکسیژن، اسید آسکوربیک، قندها و فرآورده‌های تجزیه‌ای آنها بستگی دارد (Reyes and Cisneros-Zevallos, 2007). در برخی از گزارش‌ها، با روندی مشابه با یافته‌های این بخش از پژوهش، افزایش میانگین آنتوسیانین بخش هوایی، در پاسخ به تیمار غلظت‌های مختلف کلسیم و منیزیم مشاهده شد. به عنوان نمونه؛ نتایج تحقیقی نشان داد که جهت ساخته شدن آنتوسیانین وجود قندها (ساکارز و مالتوز) و کلسیم لازم است (Vitrac *et al.*, 2000). مواد معدنی مانند کلسیم، باعث بالا رفتن میزان تولید کربوهیدرات شده و توسعه پیگمان‌های سلولی از جمله سنتز آنتوسیانین را باعث می‌شود. هم‌چنین پیشنهاد شده است که کلسیم با تأثیر مثبت روی آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، باعث افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شود. سنتز پیگمان‌های سلول با بالا رفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم داشته و هر عاملی که بتواند روی افزایش، جذب یا ساخته‌شدن قندها مؤثر باشد باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل در گلبرگ‌ها می‌شود (Dahanayake and Galwey, 1999). تیمار منیزیم باعث تشکیل کمپلکس پایدار آنتوسیانین- فلز می‌گردد و در نهایت از تجزیه آنتوسیانین جلوگیری می‌نماید (Shaked- Sachray *et al.*, 2002).

اثر غلظت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر مقدار عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم ریشه و بخش هوایی، محتوای کربوهیدرات و پروتئین کل بخش هوایی و ترکیبات فنلی در بخش هوایی گیاه آویشن باغی بررسی و تجزیه واریانس نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر تیمار بر تمامی شاخص‌های فوق در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار گردید. بنابراین در ادامه، به تفکیک اثر سطوح مختلف این تیمار، بر این شاخص‌ها نشان داده شده است (شکل‌های ۲ و ۳).

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد سطح ۸ تیمار (نسبت کلسیم به منیزیم)، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم ریشه و بخش هوایی و کاهش معنی‌دار غلظت منیزیم ریشه و بخش هوایی نسبت به شاهد (سطح ۳ تیمار)، گردید. از طرفی سطوح ۲، ۰/۸ و ۰/۲۸ تیمار با تفاوت آماری معنی‌دار نسبت به شاهد منجر به کاهش غلظت کلسیم ریشه شدند. بالاترین غلظت کلسیم ریشه (۳۲/۸ $mg\ g^{-1}\ DW$)، در سطح ۸ تیمار و پایین‌ترین غلظت کلسیم در ریشه (۱۴ $mg\ g^{-1}DW$)، در سطح ۰/۲۸ تیمار مشاهده گردید (شکل a–۲). از طرفی سطوح ۰/۸ و ۰/۲۸ با تفاوت آماری معنی‌دار نسبت به شاهد منجر به کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی گردید. بالاترین غلظت کلسیم بخش هوایی (۷۴/۵ $mg\ g^{-1}\ DW$)، در سطح ۸ تیمار و پایین‌ترین غلظت کلسیم بخش هوایی (۴۸ $mg\ g^{-1}\ DW$)، در سطح ۰/۲۸ تیمار مشاهده گردید (شکل b–۲). بطورکلی، نتایج نشان‌دهنده انباشتگی بیشتر کلسیم در بخش هوایی نسبت به ریشه در سطوح مختلف این تیمار است.

سطوح ۰/۲۸ و ۰/۸ این تیمار، بدون داشتن اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت منیزیم ریشه نسبت به شاهد، گردید. بیشترین غلظت منیزیم ریشه (۱۵/۲۳ $mg\ g^{-1}\ DW$)، در سطح ۰/۲۸ تیمار و کمترین آن (۶/۷۸ $mg\ g^{-1}\ DW$)، در سطح ۸ تیمار مشاهده گردید (شکل c–۲).

سطوح ۲، ۰/۸ و ۰/۲۸ تیمار (نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم)، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت منیزیم بخش هوایی نسبت به شاهد گردیدند. از طرفی سطوح ۲ و ۰/۸ تیمار، تفاوت آماری معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند. بیشترین غلظت منیزیم بخش هوایی (۳۵/۷ $mg\ g^{-1}\ DW$) در سطح ۰/۲۸ تیمار و کمترین آن (۲۱/۵ $mg\ g^{-1}\ DW$) در سطح ۸ تیمار مشاهده گردید (شکل d–۲).

با بررسی شکل ۲– e و f می‌توان دریافت که، سطوح مختلف تیمار (نسبت کلسیم به منیزیم)، منجر به کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم ریشه و بخش هوایی گیاه، نسبت به شاهد (سطح ۳ تیمار) گردید. بیشترین غلظت پتاسیم ریشه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم (۰/۲۸، ۰/۸، ۲، ۳ و ۸) بر شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*).

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلسیم ریشه	کلسیم بخش هوایی	منیزیم ریشه	منیزیم بخش هوایی
تیمار	۴	۱۹۰/۳**	۲۸۹/۹**	۴۴/۵**	۸۳/۷**
خطا	۱۰	۱/۹	۹/۳	۰/۲۶۵	۲/۲
ضریب تغییرات		۰/۰۴۳	۰/۰۳۳	۰/۰۸۲	۰/۰۵۹

، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلسیم ریشه	کلسیم بخش هوایی	منیزیم ریشه	منیزیم بخش هوایی
تیمار	۴	۱۹۰/۳**	۲۸۹/۹**	۴۴/۵**	۸۳/۷**
خطا	۱۰	۱/۹	۹/۳	۰/۲۶۵	۲/۲
ضریب تغییرات		۰/۰۴۳	۰/۰۳۳	۰/۰۸۲	۰/۰۵۹

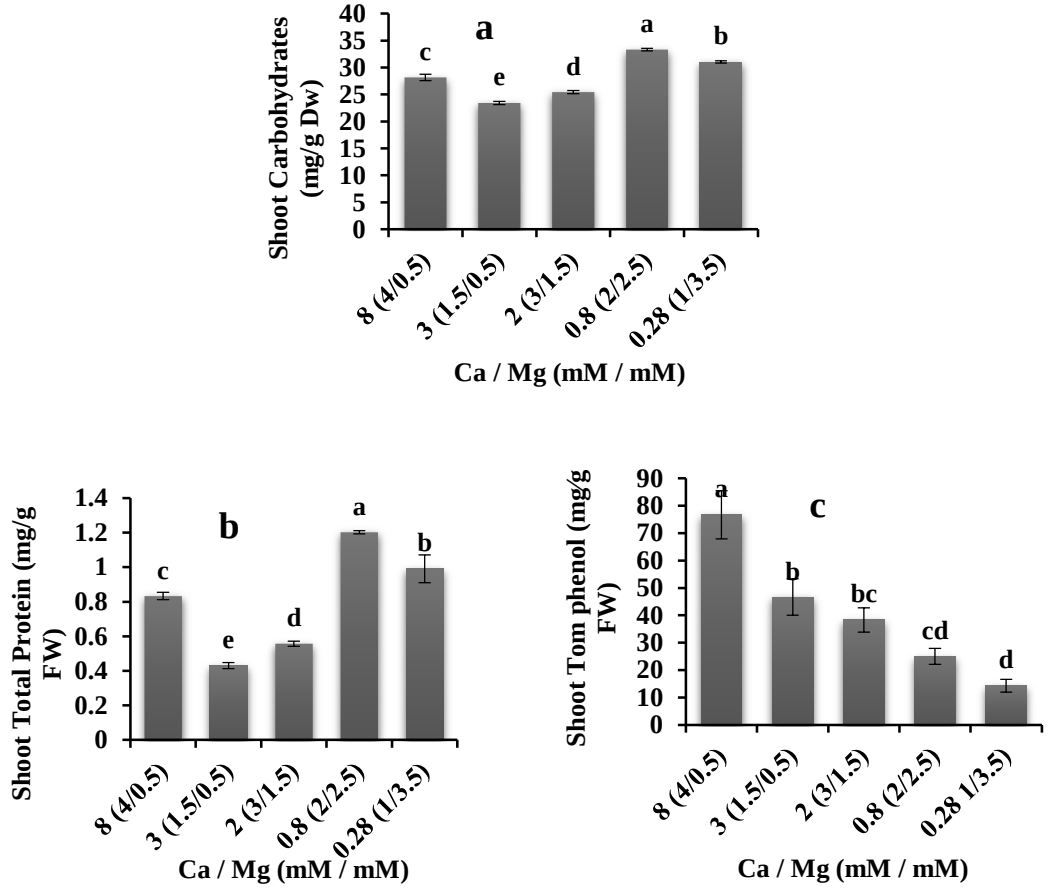
، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

بخش هوایی، در شاهد و کمترین آن در سطح ۰/۲۸ این تیمار مشاهده گردید.

بسیاری از پژوهشگران معتقدند که نسبت کلسیم به منیزیم یک فاکتور کلیدی در تعیین بقاء گونه گیاهی است. یون‌های این دو عنصر برای اشغال محل‌های جذب در ریشه گیاه رقابت می‌کنند. وقتی غلظت منیزیم بالا است به علت اشباع محل‌های جذب، کسب کلسیم برای گیاهان مشکل می‌گردد (Brooks, 1987; Baker *et al.*, 1992). محققین بر این باورند که بین منیزیم با کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشا ریشه رقابت وجود دارد (زرندی میاندوآب وهمکاران، ۱۳۹۸). مصرف خاکی و محلول‌پاشی منیزیم، کاهش مقدار کلسیم در برگ و اندام‌های هوایی را در پی دارد (Vang-Petersen, 1974).

نتایج بدست آمده از این پژوهش، مبنی بر اثر ضدیت (آنتاگونیستی) عناصر کلسیم و منیزیم با پتاسیم و تأثیر منفی سطوح بالای کلسیم و منیزیم بر غلظت پتاسیم ریشه و بخش هوایی، مشابه با برخی از یافته‌های دیگر محققین است. در طی تحقیقی دریافتند که افزایش سطح پتاسیم در خاک منجر به کاهش جذب منیزیم و کلسیم توسط گیاه یونجه گردید. همچنین در این تحقیق مشخص شد که در صورت عدم مصرف پتاسیم، افزودن منیزیم به خاک، جذب پتاسیم را کاهش داده و تولید ماده خشک را محدود نمود. از طرفی دیگر، نتایج این بررسی نشان داد که با افزودن کودهای پتاسیمی و منیزیمی به خاک، غلظت این عناصر در اندام‌های رویشی یونجه افزایش می‌یابد ولی در مصرف توأم آنها مشاهده گردید که با افزایش سطوح منیزیم، غلظت پتاسیم در گیاه کاهش و نیز با افزایش سطوح پتاسیم، غلظت منیزیم در گیاه کاهش یافت. به عبارت دیگر، تیمارها بر غلظت عناصر پتاسیم و منیزیم در گیاه تأثیر گذاشته و افزایش مصرف هر کدام سبب کاهش غلظت دیگری در گیاه گردید که بیانگر اثرات متقابل منفی بین دو عنصر است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۳- مقایسه اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر میانگین محتوای کربوهیدرات محلول (a)، پروتئین کل (b) و فنل کل (c) بخش هوایی گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*). حروف غیرمشترک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها، براساس آزمون دانکن است (P≤0.05).

(Walworth and Summner, 1990). در پژوهشی دیگر، Rani و Jose (۲۰۰۹)، اثر متقابل منیزیم و پتاسیم را بر گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* Moench.) مورد بررسی و نشان دادند که جذب کلسیم، به‌طور قابل توجهی با افزایش سطح پتاسیم، به‌ویژه در غیاب منیزیم، کاهش یافت. گزارش شده که غلظت زیاد کلسیم در برگ‌ها می‌تواند موجب کاهش غلظت پتاسیم در شاخ و برگ گردد (Hepler, 2005) و محلول‌پاشی کلسیم بر روی سیب نیز منجر به کاهش نسبت K/Ca در برگ‌ها در مقایسه با شاهد گردید (Domagala-Swiatkiewicz and Blaszczyk, 2009).

با بررسی شکل زیر می‌توان دریافت سطوح مختلف تیمار (نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم)، منجر به افزایش معنی‌دار کربوهیدرات بخش هوایی نسبت به شاهد (سطح ۳ تیمار) گردیده است. همچنین بین سطوح مختلف تیمار نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده گردید. بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول (۳۳ mg g^{-1} DW) در سطح ۰/۸ تیمار و کمترین آن (۲۳/۴ mg g^{-1} DW)، در سطح شاهد مشاهده شد (شکل a–۳).

سطوح مختلف تیمار (نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم)، منجر به افزایش معنی‌دار پروتئین کل بخش هوایی نسبت به شاهد (سطح ۳ تیمار) گردیده است (شکل b–۳). همچنین بین سطوح مختلف تیمار نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده گردید. بالاترین سطح پروتئین کل بخش هوایی در سطح ۰/۸ تیمار (۱/۲ mg g^{-1} FW) و کمترین این مقدار در تیمار شاهد (۰/۴ mg g^{-1} FW) مشاهده گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم (۰/۲۸، ۰/۸، ۲، ۳، ۸) بر شاخص‌های رشد گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*).

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		سطح برگ	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه
تیمار (نسبت کلسیم به منیزیم)	۴	۲۰۶/۷**	/۰۰۲**	/۰۰۵**
خطا	۲۰	۳/۷	/۰۰۰۱	/۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۰/۰۳۱	۰/۰۷۹	۰/۰۸۱

، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

چنانچه از بررسی شکل c-۳ مشاهده می‌شود، سطح ۸ تیمار منجر به افزایش معنی‌دار فنل کل بخش هوایی نسبت به شاهد گردید. از طرفی سطوح ۰/۸ و ۰/۲۸ تیمار بدون داشتن تفاوت آماری معنی‌داری نسبت به یکدیگر، منجر به کاهش معنی‌دار ترکیبات فنلی بخش هوایی این گیاه نسبت به شاهد گردید. بالاترین میزان فنل بخش هوایی گیاه آویشن باغی (۷۶/۷ mg g^{-1} DW)، در سطح ۸ تیمار و پایین‌ترین آن (۱۴/۳ mg g^{-1} DW)، در سطح ۰/۲۸ تیمار مشاهده گردید. مشاهدات فوق را می‌توان با شواهد و یا دلایل زیر، تفسیر و یا تأیید نمود.

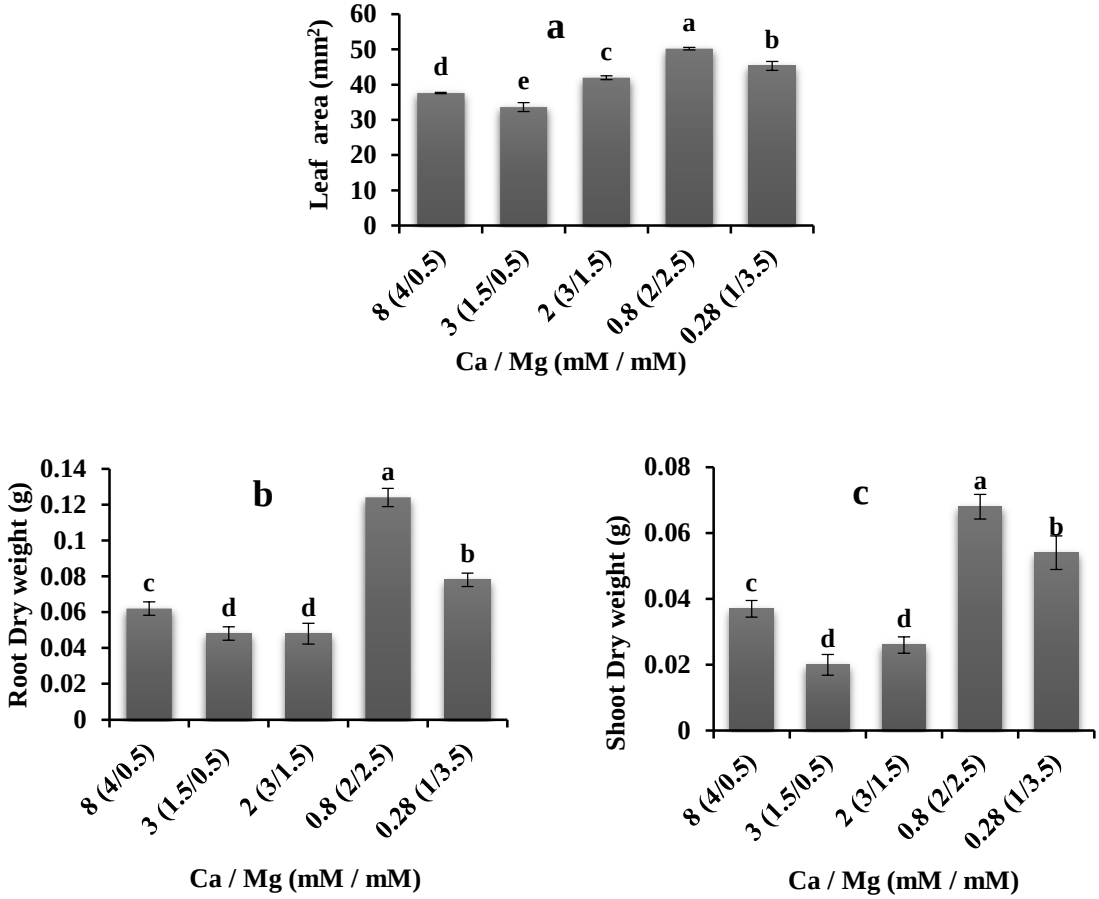
منیزیم در تعداد بی‌شماری آنزیم‌های گیاهی نقش فعال‌کننده دارد. این عنصر در متابولیسم مواد هیدروکربنه به خصوص در چرخه اسید سیتریک که در تنفس گیاه مؤثر است، دخالت دارد. منیزیم به ایجاد قندها، چربی‌ها و زنجیرهای پلی‌پپتیدی از اسیدهای آمینه کمک می‌کند (Marschner, 2012).

کلسیم می‌توانند از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های متعدد و تولید کربوهیدارت‌ها و ساخت ترکیبات آلی مانند نشاسته و پروتئین‌ها در گیاه، باعث تحریک شاخه‌زایی و تعداد شاخه‌های فرعی گردند (Hepler, 2005). کاربرد کلسیم باعث افزایش پلی‌ساکاریدها و مواد جامد غیرقابل محلول در الکل در دیواره سلولی میوه می‌شود و نفوذپذیری غشاء را افزایش می‌دهد (Dunn and Able, 2006؛ ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۶).

با توجه به نتایج نمودار فوق، هر دو عنصر کلسیم و منیزیم اثر افزایشی بر محتوای پروتئین کل بخش هوایی داشتند. در برگ‌ها، تخریب پروتئین و کلروفیل، با افزودن سیتوکینین یا کلسیم کاهش می‌یابد (Marquenie *et al*., 2002; Ramazanian *et al*., 2009). منیزیم، تنها عنصر فلزی موجود در کلروفیل است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در فرایندهای متابولیسمی گیاه مانند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین و تنفس سلولی، نقش مهمی را بر عهده دارد. منیزیم، در ساخت RNA و در نتیجه پروتئین نقش دارد. در شرایط کمبود این عنصر، پروتئین‌سازی متوقف شده و نشاسته در برگ تجمع می‌یابد (Marschner, 2012).

ترکیبات فنلی از جمله متابولیت‌های ثانوی گیاهان هستند که به فنل‌های ساده، فنولیک اسیدها، کومارین‌ها، فلاونوئیدها، تانن-های متراکم (پروسیانیدین‌ها)، لیگنان‌ها و لیگنین‌ها تقسیم می-شوند (Karaman *et al*., 2010). ترکیبات فنلی به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، از جمله ترکیبات مهم گیاهان محسوب می‌شوند که نقش مهمی در حذف رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از تبدیل هیدروپراکسیدها به رادیکال‌های آزاد را دارند (Jimoh *et al*., 2008; Naik *et al*., 2003). در برخی گزارش‌ها با روندی مشابه با یافته‌های این بخش از پژوهش، افزایش فعالیت ترکیبات فنلی بخش هوایی، در پاسخ به غلظت‌های بالاتر کلسیم مشاهده شد. به عنوان نمونه، تغذیه برگی کلسیم منجر به افزایش قابل توجه اسید آسکوربیک و فنل کل در برگ گیاه گوجه‌فرنگی گردید (Alrashidi *et al*., 2022).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]



شکل ۴- مقایسه اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر میانگین سطح برگ (a)، وزن خشک ریشه (b) و بخش هوایی (c) گیاه آویشن باغی (*T. vulgaris*). حروف غیرمشترک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها، براساس آزمون دانکن است (P≤0.05).

بررسی شاخص‌های رویشی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris*): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، حاکی از آن است که اعمال سطوح مختلف کلسیم به منیزیم بر شاخص‌های رویشی گیاه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است. بر این اساس در ادامه، بررسی و مقایسه تفکیکی این اثرات به عمل آمده است.

شکل ۴ به تفکیک اثر تیمار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بر شاخص‌های رشد گیاه آویشن باغی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، سطوح مختلف تیمار (نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم)، منجر به افزایش معنی‌دار متوسط سطح برگ نسبت به شاهد گردیده است. بیشترین سطح برگ (۵۰/۲ mm^2) در غلظت ۰/۸ تیمار و کمترین مقدار آن (۳۳/۷ mm^2)، در سطح شاهد مشاهده شد (شکل a-۴).

همچنین، همه سطوح تیمار بجز سطح ۲، منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و بخش هوایی نسبت به شاهد (سطح ۳ تیمار) گردیده است. همچنین بین اثر سطوح مختلف تیمار بر این شاخص‌ها نیز، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده گردید(شکل ۴-b و c).

نتایج بدست آمده از این پژوهش، مبنی بر تأثیر غلظت بالای کلسیم در سطح ۸ تیمار بر سطح برگ گیاه آویشن باغی، مشابه برخی از یافته‌های دیگر محققین است. تیمار کلسیم؛ سطح برگ، وزن خشک و محتوای قند و پروتئین محلول ساقه و برگ بادام زمینی را افزایش داد (Liu *et al.*, 2005). توسعه سطح برگ به سطوح منیزیم کاربردی وابسته است و کود سولفات منیزیم موجب افزایش سطح برگ می‌گردد (De Oliveira *et al.*, 2000). به نظر می‌رسد افزایش وزن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

خشک گیاه، در تیمار با سطح ۰/۸ تیمار، به علت نقش عنصر منیزیم در تشکیل کلروفیل، فتوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات و افزایش سطح برگ باشد (Mengel and Kirkby, 2001). Rani و Jose (۲۰۰۹)، در آزمایشی گلخانه‌ای اثر سطوح مختلف منیزیم (صفر، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم در لیتر سولفات منیزیم) را بر رشد گیاه یونجه مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که، افزایش تولید ماده خشک به وسیله منیزیم، ممکن است به دلیل افزایش فعالیت فتوسنتز گیاه و یا افزایش جذب گوگرد توسط گیاه باشد. کمبود منیزیم در گیاه، سبب کاهش مقدار کلروفیل و در نتیجه کندشدن رشد ریشه گیاه می‌شود (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۶). طبق یافته‌های برخی از پژوهشگران، مصرف کلسیم موجب افزایش رشد رویشی و عملکرد در توت‌فرنگی (Kaya *et al.*, 2002) و گوجه‌فرنگی (Levent Tun *et al.*, 2007) شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر با عنوان بررسی تأثیر مقادیر مختلف کلسیم و منیزیم بر گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، نشان داد که تیمار نسبت‌های ۰/۲۸، ۰/۸، ۲ و ۸ کلسیم به منیزیم، که به ترتیب حاوی غلظت‌های: ۱ به ۳/۵، ۲ به ۲/۵، ۳ به ۵/ ۱و ۴ به ۰/۵ میلی‌مولار کلسیم به منیزیم بوده، در قیاس با شاهد (نسبت ۳ این دو عنصر در محلول پایه هوگلند که حاوی غلظت ۱/۵ به ۰/۵ میلی‌مولار کلسیم به منیزیم است)، بر بسیاری از جنبه‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی اثر نموده است.

در مجموع، با توجه به افزایش اکثر شاخص‌های رویشی و بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی، در حضور مقادیر بالای در دسترس هر دو عنصر کلسیم و منیزیم در تیمار مورد اشاره در بالا، می‌توان اذعان داشت بهترین نسبت‌های کلسیم به منیزیم در محلول غذایی برای رشد این گیاه، نسبت ۸ تیمار (غلظت‌های ۴ میلی‌مولار کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار منیزیم) و ۰/۸ (غلظت‌های ۲ میلی‌مولار کلسیم و ۲/۵ میلی‌مولار منیزیم) است. همچنین، بهترین نسبت کلسیم به منیزیم در محلول غذایی برای تولید ترکیبات فنلی که مهمترین مواد مؤثره این گونه گیاه دارویی است، نسبت ۸ تیمار (غلظت‌های ۴ میلی‌مولار کلسیم و ۰/۵ میلی‌مولار منیزیم) است.

منابع

امیدبیگی، رضا (۱۳۸۵). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد سوم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

جم‌زاد، زیبا (۱۳۸۸). آویشن و مرزه‌های ایران. چاپ اول. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

حبیبی، حسن، مظاهری، داریوش، مجنون حسینی، ناصر، چائی‌چی، محمدرضا، و فخر طباطبایی، محمد (۱۳۸۵). اثر ارتفاع بر روغن اسانس و ترکیبات گیاه دارویی آویشن وحشی (*Thymus Kotschyanus* Boiss.) منطقه طالقان. *پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۷۳، ۱۰-۲.

زرندی میاندوآب، لیلا، چاپارزاده، نادر، و فکری شالی، حمید (۱۳۹۸). اثرات برهمکنش شوری و منیزیم روی روابط آبی و یونی اسفندک (*Zygophylum fabago* L.). *پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۲(۱)، ۸۵-۷۲. https://sid.ir/paper/394913/fa

قادری، جلال، و ملکوتی، محمدجعفر (۱۳۷۹). تأثیر روش و زمان کاربرد سولفات منیزیم و کودهای محتوی عناصر کم مصرف بر عملکرد و بهبود کیفیت گندم دیم. *علوم خاک و آب*، ۱۴(۱)، ۳۵-۲۶. https://sid.ir/paper/15963/fa

محمدی، غلامعباس، مهدویان، کبری، قربانلی، مه‌لقا، و منوچهری کلانتری، خسرو (۱۳۸۵). تأثیر باندهای مختلف اشعه ماوراء بنفش بر عوامل فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی فلفل (*Capsicum annuum* L.). *مجله زیست‌شناسی ایران*، ۱۹(۱)، ۵۳-۴۳. https://sid.ir/paper/21132/fa

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

ملکوتی، محمدجعفر، و سپهر، ابراهیم (۱۳۸۲). تغذیه بهینه دانه‌های روغنی گامی مؤثر در نیل به خود کفایی روغن در کشور. چاپ اول، انتشارات خانیران، تهران.

ملکوتی، محمدجعفر، و طهرانی، محمد مهدی (۱۳۷۶). نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی عناصر خرد با تأثیر کلان. چاپ اول، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

نیجار، جی، اس. (۱۳۹۳). تغذیه درختان میوه. ترجمه معز اردلان، محمد، و ثوابقی فیروزآبادی غلامرضا. انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

Alrashidi, A. A., Alhaitheloul, H. A. S., Solaiman, M. H., Attia, M. S., Elsayed, S. M., Ali, M. M., Sadek, A. M., & Fakhr, M. A. (2022). Role of calcium and magnesium on dramatic physiological and anatomical responses in tomato plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 50*(1), 12614. https://doi.org/10.15835/nbha50112614

Baker, A. J. M., Proctor, J., & Reeves, R. D. (1992). The Vegetation of Uttramafic (Serpentine) Soils. Intercept Ltd, Andover.

Blanquer, A., Boira, H., Soler, V., & Perez, I. (1998). Variability of the essential oil of *Thymus piperella*. *Phytochemistry, 47*, 1271-1276. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00737-1

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Brooks, R. (1987). Serpentine and its Vegetation. A multidisciplinary Approach. Dioscorides press, Portland.

Chaplin, M. F. & Kennedy, J. F. (1987). Carbohydrate Analysis: A Practical Approach. Oxford Univ: IRL Press, Oxford.

Corticchiato, M., Tomi, F., Bernardini, A. F., & Casanova, J. (1998). Composition and infraspecific variability of essential oil from *Thymus herbabarona* Lois. *Biochemical Systematics and Ecology, 26*, 915-932. DOI:10.1016/S0305-1978(98)00041-6

Cronquist, A. (1988). The Evolution and Classification of Flowering Plants. New York Botanical Garden, USA.

Dahanayake, S. R. & Galwey, N. W. (1999). Diallel analysis of vernalization responses in spring rape (*Brassica napus* L.): A basis for adaptation to a Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Research, 50*, 1417-1423. https://doi.org/10.1071/AR98081

De Oliveira, I. P., Colin, J. A., David, G. E., & Santos, S. R. M. D. (2000). Magnesium sulphate the development of the common bean cultivated in an ultisol of Northeast Australia. *Scientia Agricola, 57*(1), 103-107. https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100025

Domagala-Swiatkiewicz, I. & Blaszczyk, J. (2009) Effect of calcium nitrate spraying on mineral contents and storability of 'Elise' apples. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 971-976.

Dunn, A. & Able, J. (2006) Pre-harvest calcium effects on sensory quality and calcium mobility in strawberry fruit. *Acta Horticulturae, 708*, 307-312. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.708.52

Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J., & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation, 55*, 207-219. DOI: 10.1007/s10725-008-9277-4

Grattant, S. R. & Grieve, C. M. (1993). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 38*(4), 275-300. https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90151-Z.

Hepler, P. K. (2005). Calcium: A centeral regulator of plant growth and development. *The Plant Cell, 17*, 2142-2155. https://doi.org/10.1105/tpc.105.032508

Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C., & Li, X. (2022). Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China. *Frontiers in Plant Science, 13*, 802274. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274

Janick, J. (2013). Horticultural Reviews. John Wiley and Sons, Inc, New York.

Jifon, J. L. & Lester, G. (2009). Foliar potassium fertilization improves fruit quality of field-grown muskmelon on calcareous soils in south Texas. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 89*, 2452-2460. https://doi.org/10.1002/jsfa.3745

Jimoh, F. O., Adedapo, A. A., Aliero, A. A., & Afolayan, J. (2008). Polyphenolic contents and biological activities of *Rumex ecklonianus*. *Pharmacentical Biology, 46*, 333-340. https://doi.org/10.1080/13880200801887765

Karaman, S., Tutem, E., Bas-Kan, K. S., & Apak, R. (2010). Comparison of total antioxidant capacity and phenolic composition of some apple juices with combined HPLC-CUPRAC assay. *Food Chemistry, 120*, 1201-1209. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.065

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

Kaya, C. H., Kirnak, D., Higgs & Saltali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae, 93*, 65-74. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00313-2

Lautner, S., Ehlting, B., Windeisen, E., Rennenberg, H., Matyssek, R., & Fromm, J. (2007). Calcium nutrition has a significant influence on wood formation in poplar. *New Phytologist, 174*, 743-752. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.01972.x

Lawlore, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. *Plant Cell and Environmental, 25*, 275-294. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x

Letchamo, W., Xn. H. L., & Gosselin, A. (1995). Variation in photosynthesic potential of *Thymus vulgaris* selections under two light regimes and three soil watere levels. *Scienntia Horticultural, 62*, 89-101. https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)00752-2

Levent Tun, A. C., Kayab, M., Ashraf, H., Altunlu, I., Yokas & Yagmur, B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany, 59*, 173-178. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.007

Li, X., Teng, L., Fu, T., He, T., & Wu, P. (2022). Comparing the effects of calcium and magnesium ions on accumulation and translocation of cadmium in rice. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(27), 41628-41639. DOI: 10.1007/s11356-021-17923-3

Lichten Thaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Liu, X. M., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S., Fang, R., Feng, Z., & Wang, Y. (2005). Responses of peanut to nano-calcium carbonate. *Plant Nutriation Fertilizer Science, 11*, 3-9. https://doi.org/10.3390/plants12142598

Loggini, B., Scartazza, A., Brugonli, E., & Navari-Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology, 119*, 1091-1099. Doi: 10.1104/pp.119.3.1091

Loide, V. (2002). The content of available magnesium of estonian soils, its ratio to potassium and calcium and effect on the field crops. *Agriculture Sciences, 31*, 321-340.

Mansoor, P., Hadjiakhoondi, A., Ghavami, R., & Shaficc, A. (2002). Clinical evaluation of *Zataria multiflora* essential oil mouth wash in the management of recurrent aphthous stomatitis Daru. *Journal of Pharmaceatical Sciences, 10*(2), 74-77.

Marquenie, D., Michiels, C. W., Geeraerd, A. H., Schenk, A., Soontjens, C., & Van Impie, J. F. (2002). Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and head treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *International Journal of Food Microbiology, 73*, 187-196. DOI: 10.1016/s0168-1605(01)00648-1

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. 3nd Ed. Academic Press, London.

McCormack, E., Tsai, Y. C., & Braam, J. (2005). Handling calcium signaling: *Arabidopsis* CaMs and CMLs. *Trends in Plant Science, 10*, 383-389. DOI: 10.1016/j.tplants.2005.07.001

McDonald, S., Prenzler, P. D., Antolovich, M., & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry, 73*, 73-84. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.06.001

McGimpsey, J. A., Douglas, M. H., Van klink, J. W., Beauregard, D. A., & Perry, N. B. (1994). Seasonal variation in essential oil yield and composition from naturalized *Thymus* L. *Newzealand Flavor and Fragrance Journal, 9*(6), 347-352. https://doi.org/10.1002/ffj.2730090613

Mengel, K. & Kirkby, E. K. (2001). Principles of plant nutrition. 5nd Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Naik, G. H., Priyadarsini, K. I., Satav, J. G., Banavalikar, M. M., Sohoni, D. P., Biyani, M. K., & Mohan, H. (2003). Comparative antioxidant activity of individual herbal components used in Ayurvedic medicine. *Phytochemistry, 63*, 97-104. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00754-9

Nguyen, H. H., Maneepong, S., & Suraninpong, P. (2017). Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of Pummelo. *The Journal of Agriculture Science, 9*(12), 110-121. DOI:10.5539/jas.v9n12p110

Pakdaman, N., Ghaderian, S. M., Ghasemi, R., & Asemaneh, T. (2013). Effects of calcium/magnesium quotients and nickel in the growth medium on growth and nickel accumulation in *Pistacia atlantica*. *Journal of Plant Nutrition, 36*(11), 1708-1718. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.810247

Pandjaitan, N., Howard, L. R., Morelock, T., & Gil, M. I. (2005). Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53*, 8618-8623. DOI: 10.1021/jf052077i

Pathak, J., Ahmed, H., Kumari, N., Pandey, A., Rajneesh, & Sinha, R. P. (2020). Role of calcium and potassium in amelioration of environmental stress in plants. In: Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress (eds. Roychoudhury, A. and Tripathi, D. K.) Pp. 535-562. John Wiley and Sons Ltd, New Jersiey.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

Ramazanian, A., Rahemi, M., & Vazifeshenas, M. R. (2009). Effects of foliar application of calcium chloride and urea on quantitative characteristics of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae, 121*, 171-175. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.039

Ramezani, M., Hossein zadeh, H., & Samizadeh, S. (2004). Antinociceptive effects of *Zataria multiflora* Boiss fractioxs in mice. *Journal of Ethnopharmacology, 91*, 167-170. DOI: 10.1016/j.jep.2003.12.016

Rani, B. & Jose, A. I. (2009). Studies on the dynamics of potassium and magnesium in okra (*Abelmoschus esculentus* Moench.). In: Proceeding of 16th International Plant Nutrition, California, USA.

Reyes, L. F. & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple-and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry, 100*(3), 885-894. 10.1016/j.foodchem.2005.11.002

Shaked-Sachray, L., Weiss, D., Reuveni, M., Nissim-Levi, A., & Oren-Shamir, M. (2002). Increased anthocyanin accumulation in aster flowers at elevated temperatures due to magnesium treatment. *Physiologia Plantarum, 114*, 559-565. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1140408.x

Shirasu, K., Nakajima, A., Rajshekar, K., Dixon, R. A., & Lamb, C. (1997). Salicylic acid potentiates an agonist dependent gain control that amplifies pathogen signalin the activation of defence mechanism. *Plant Cell, 9*, 261-270. DOI: 10.1105/tpc.9.2.261

Shui, G. & Leong, L. P. (2002). Separation and determination of organic acids and phenolic compounds in fruit juices and drinks by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A,* 977(1), 89-96. DOI: 10.1016/s0021-9673(02)01345-6

Stahl-Biskup, H., Ando, B., Tomiyama, M., & Kaku, H. (2002). *Thymus vulgaris* as a potential source of antituberculosis compounds. *Pharmacologyonline, 3*, 569-574.

Supanjani Abdel, R., Tawaha, M., Suukyang, M., Shim Hanm, H., & Deng Lee, K. (2005). Calcium effect on yield, mineral uptake and terpene components of hydroponic *Chrysanthemum coronarium*. *Research Journal of Agriculture and Biological sciences, 1*, 146-151. DOI: 10.3923/ijb.2005.196.200

Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology. Sinauer Associatins, Inc, Sunderland.

Thompson, J., Chalcha, J., Michet, A., Linhart, Y., & Ehlers, B. (2003). Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. *Journal of Chemical Ecology, 29*, 859-880. DOI: 10.1023/a:1022927615442

Vang-Petersen, O. (1974). Magnesium til aeble. *Tidsskr Planteavl, 78*, 627-634.

Verma, G., Srivastava, D., Tiwari, P., & Chakrabarty, D. (2019). ROS modulation in crop plants under drought stress. In: Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms. (eds. Hasanuzzaman, M., Fotopoulos, V., Nahar, K. and Fujita, M.) Pp. 311-336. John Wiley and Sons Ltd, New Jersey.

Vitrac, X. F., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, D., & Merillon, J. M. (2000). Sugar sensing and Ca^{2+}–calmodulin requirement in *Vitis vinifera* cells producing anthocyanins. *Phytochem, 53*, 659-665. DOI: 10.1016/s0031-9422(99)00620-2

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. *Plant Physiology, 64*, 88-93. Doi: 10.1104/pp.64.1.88

Walworth. J. L., & Summner, M. E. (1990). Alfalfa response to lime, phosphorus, potassium, magnesium, and molybdenum on acid Ultisols. *Fertilizer Reasearch,* 24, 167-172. DOI:10.1007/BF01073585

White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany, 92*, 487-511. Doi: 10.1093/aob/mcg164

Zhong, W. S., Ren, T., & Zhao, L. J. (2016). Determination of Pb (Lead), Cd (Cadmium), Cr (Chromium), Cu (Copper) and Ni (Nickel) in chinese tea with high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Journal of Food and Drug Analysis, 24*, 46-55. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.04.010

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]

Study of effect of various calcium magnesium quotients on growth and some biochemical characteristics of *Thymus vulgaris* L.

Kolsoom Sattar and Tahmaseb Asemaneh *

Department of Biology, Faculty of Science, Yasouj University, Yasouj, Iran
(Received: 2018/06/12, Accepted: 2023/06/20)

Abstract

Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) is a medicinal plant belonging to the Lamiaceae. The natural distribution and effective substances of some thyme species have been related to the amounts of calcium and magnesium in the soil. Accordingly, in this study, the effects of different calcium to magnesium quotients (0.28, 0.8, 2, 3 (control) and 8), which contain 1 to 3.5, 2 to 2.5, 3 to 1.5, 1.5 to 0.5 and 4 to 0.5 mM calcium to magnesium concentrations, were investigated on the vegetative and physiological charactristics of garden thyme in a hydroponic culture in a completely randomized design. The results showed that the high amounts of calcium and magnesium in the nutrient solution resulted in a significant increase in the leaf chlorophyll, carotenoids and anthocyanins, soluble carbohydrates and total protein content and a decrease in the root and shoot potassium content of the plant compared to the control. On the other hand, at the 8 calcium to magnesium quotient in the nutrient solution, the root and shoot calcium concentrations increased and the magnesium concentration reduced. The highest amount of phenolic compounds of garden thyme was observed at the 8 quotient of calcium/magnesium treatment. The amount of phenolic compounds in the plant decreased compared to control by increasing available magnesium. The calcium to magnesium quotients applied in this study, especially the ratio of 0.8, resulted in a significant increase of average leaf area, fresh and dry weight of root and shoot compared to the control. In general, it can be stated that 8 and 0.8 calcium to magnesium quotients in nutrient solution were the best for the growth of the plant species, and an 8 quotient was the best for phenolic compounds production.

Keywords: Calcium, Magnesium, Physiological charactristics, Thyme

Corresponding author, Email: asemaneh@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-03]