



اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی

Effect of Soil Application of Magnesium Sulfate on Fruit Quantitative and Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati

بهاره دامن کشان^{۱*}، بهمن پناهی^۲ و جواد فرخی تولیر^۳

۱- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۲- دانشیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

دامن کشان، ب.، پناهی، ب. و فرخی تولیر، ج. ۱۴۰۳. اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) رقم مضافتی. نهال و بذر ۴۰: ۳۸۶-۳۹۳

منیزیم از جمله عناصر غذایی مؤثر بر عملکرد، کیفیت و طعم میوه خرما است. در این پژوهش، اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم به صورت کاربرد خاکی در هر درخت)، بر روی ۱۲ نفر نخل خرما ۲۰ ساله رقم مضافتی در دو سال زراعی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) در نخلستانی در بروات از توابع شهرستان بزم در استان کرمان بررسی شد. نتایج نشان داد اثر سطوح تیمار سولفات منیزیم بر عملکرد میوه درخت، قطر میوه، میزان مواد جامد محلول کل (TSS) خرما و غلظت منیزیم در برگ در سطح احتمال یک درصد و بر طول هسته خرما در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد میوه درخت (۷۴/۶۶ کیلوگرم در درخت)، بیشترین قطر میوه (۲/۳۱ سانتی‌متر) و بالاترین مقدار TSS میوه (۶۶/۳۳ درصد) مربوط به تیمار سولفات منیزیم به میزان ۲۵۰ گرم در هر درخت بود. بیشترین میزان منیزیم در برگ (۰/۱۸۸۳ درصد) و کمترین طول هسته (۱/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم ثبت شد. این یافته‌ها نقش حیاتی سولفات منیزیم را در بهینه‌سازی بهره‌وری عملکرد و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی برجسته کرده و بر ضرورت مدیریت مناسب و بهینه کودهای دارای عنصر منیزیم در نخلستان‌های منطقه تأکید می‌کند. بنابراین، استفاده بهینه از سولفات منیزیم می‌تواند به عنوان راهکاری عملی جهت ارتقاء کمیت و کیفیت میوه خرما رقم مضافتی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خرما، صفات پومولوژیکی، قطر میوه، عملکرد میوه، نخلستان.



مقدمه

نخل خرما (*Phoenix dactylifera* L.) از قدیمی ترین درختان میوه کشت شده در جهان است (Hussain *et al.*, 2020). کشت و پرورش نخل خرما با توجه به نیازهای اندک رشدی، اهمیت اقتصادی، تولید میوه مغذی و پایدار بودن آن، به عنوان محصولی مقرون به صرفه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به سرعت رو به گسترش می باشد (Fernández-López *et al.*, 2022). کشور ایران با تولید ۱۲۸۳۴۹۹ تن خرما ۱۳/۵ درصد از تولید دنیا را به خود اختصاص داده است و تولید این محصول در پنج سال اخیر، رشد ۲۴/۳ درصدی داشته است (FAO, 2022).

استان کرمان با سهم ۱۵/۸ درصدی پس از استان سیستان و بلوچستان، در رتبه دوم تولید خرما در کشور قرار دارد (Anonymous, 2022). هرچند در سال های اخیر در این استان، تغذیه درختان خرما به دلیل خسارت عارضه خشکیدگی خوشه خرما، اهمیت بیشتری یافته است، اما در اکثر نخلستان ها، این مهم بر اساس آزمون های خاک و برگ انجام نمی شود. نتایج آزمون خاک راهنمایی مفید برای تنظیم راهبردهای کوددهی فراهم می کند و اطمینان می دهد که مصرف کودها با شرایط خاک و نیازهای خاص درختان همخوانی دارد (Obreza *et al.*, 2020). تجزیه برگ ارزیابی مستقیمی از وضعیت تغذیه ای درخت ارائه می دهد و امکان شناسایی کمبودها یا مسمومیت های عناصر غذایی را فراهم می کند

(De Mello Prado and Rozane, 2020).

مقایسه سطح عناصر غذایی در برگ ها با استانداردهای مشخص به تنظیم برنامه های کوددهی کمک می کند (Bould, 1963).

ترکیب آزمایش خاک و تجزیه برگ دیدگاهی جامع از تغذیه درختان ارائه می دهد و امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی بهتر را با در نظر گرفتن شرایط خاک و سلامت گیاه فراهم می کند (Pushparajah, 1994).

(Qureshi and Srivastava, 1966). علائمی مانند تغییر رنگ برگ ها و رشد کم درخت نیازمند پایش دقیق و مداخلات به موقع است (Aiswarya. *et al.*, 2023) اگرچه کمبود عناصر و عدم تعادل تغذیه ای در محصولات باغی بر اساس بروز علائم ظاهری و رنگ پریدگی گیاه قابل تشخیص است ولی این علائم معمولاً زمانی ظاهر می شوند که آسیب جدی به رشد گیاه وارد شده و کاهش غیرقابل برگشتی در عملکرد ایجاد شده است (Barker and Pilbeam, 2015).

منیزیم عنصری است که در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان نقش دارد. پژوهش ها نشان می دهد غلظت بحرانی منیزیم برای تشکیل زیست توده و محصول حدود ۱/۵ میلی گرم بر گرم ماده خشک (معادل ۰/۰۲ درصد) است (Cakmak and Kirkby, 2008). اما غلظت بحرانی منیزیم ممکن است در گیاهان مختلف متفاوت باشد و به نوع فرآیند گیاهی نیز بستگی دارد. مطالعات نشان داده اند که حساسیت فرآیندهای فتوسنتزی به کمبود منیزیم

کمتر از حساسیت تشکیل زیست توده است (Tränkner *et al.*, 2019).

منیزیم برای فتوسنتز و سنتز کلروفیل ضروری است و نقش مهمی در متابولیسم و رشد گیاهان دارد. کاربرد کافی منیزیم برای جلوگیری از کمبودهایی که می تواند منجر به کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در رشد گیاه شود ضروری است (Assis, 2024; Li *et al.*, 2022). در دسترس بودن منیزیم در خاک تحت تأثیر برهمکنش آن با کاتیون های دیگر مانند پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) است که می توانند با منیزیم برای جذب توسط گیاهان رقابت کنند (Assis, 2024; Mayland and Wilkinson, 1989). منیزیم در خاک بسیار متحرک است که می تواند منجر به آبشویی قابل توجه آن به ویژه در خاک های شنی با هدایت الکتریکی بالا شود (Senbayram *et al.*, 2015; Gransee and Führs, 2013).

گرم شدن خاک جذب منیزیم را در گیاهان بهبود می بخشد (Li *et al.*, 2022). دماهای بالا می تواند آزادسازی منیزیم از مواد معدنی خاک را افزایش داده و دسترسی آن را در محلول خاک برای جذب گیاه افزایش دهد (Senbayram *et al.*, 2015). دمای بالا اثر تنش های غیرزیستی را تشدید می کند، منیزیم در این شرایط به افزایش تحمل گیاه کمک می کند (Gransee and Führs, 2013). در حالی که دماهای بالا می توانند جذب منیزیم را افزایش دهند، اما می توانند خطر شستشوی منیزیم را نیز افزایش دهند، به ویژه در

مناطق که بارندگی شدید یا آبیاری زیاد دارند. این اثر دوگانه بر اهمیت راهبردهای کوددهی متعادل تأکید می کند (Mayland and Wilkinson, 1989; Sun *et al.*, 2018).

به طور کلی کمبود منیزیم در خاک ها در برخی شرایط اتفاق افتد، از جمله در خاک های اسیدی با pH کمتر از ۵/۴، زمانی که نسبت منیزیم در ظرفیت تبادل کاتیونی کمتر از ۶٪ باشد و یا محتوای منیزیم کمتر از ۴۸ میلی گرم در دسی متر مکعب خاک باشد و یا خاک های ناشی از سنگ های فقیر از منیزیم. همچنین اگر نسبت پتاسیم به منیزیم بیش از چهار باشد و یا در خاک های سبک با مقدار کم مواد آلی کمبود منیزیم مشاهده می شود (Ferreira *et al.*, 2023). ارائه برنامه مناسب و بهینه کوددهی جهت افزایش جذب مواد غذایی و به حداقل رساندن کاربرد کودهای شیمیایی، باید از اهداف مهم پژوهشگران و پرورش دهندگان درختان میوه باشد (Ezz *et al.*, 2010). در استان کرمان، علیرغم هزینه کرد بالای باغداران و مصرف میزان زیادی کودهای آلی و شیمیایی، برخی نخیلات عملکرد و کیفیت میوه قابل قبولی نداشتند و این مسئله موجب دغدغه خاطر و دلسردی نخل کاران شده بود.

در پژوهش حاضر، ابتدا وضعیت موجود تغذیه ای نخلستان ها بررسی شد و پس از بررسی وضعیت عناصر برگ در نخل های رقم مضافتی، که کمبود منیزیم برگ را نشان داد، اثر کاربرد خاکی سولفات منیزیم بر خصوصیات

کمی و کیفیت میوه نخل خرما ی رقم مضافتی ارزیابی شد.

مواد و روش ها

بررسی وضعیت موجود تغذیه ای نخلستان ها

این بررسی در تیر سال ۱۴۰۱ وضعیت موجود تغذیه ای درختان ۱۵ نخلستان رقم مضافتی در مناطق بروات، بم، شهداد، فهرج، ریگان، نرماشیر، اندوهجرد و چهارفرسخ در استان کرمان بررسی شد. نمونه برگ از ردیف دوم برگ های درختان خرما (Mohebbi and Nabhani, 2011) از نظر عناصر پتاسیم (Isaac and Kerber, 1971)، کلسیم (Klute, 1986)، منیزیم (Ryan et al., 2001)، فسفر (Noonan and Holcombe., 1975) و نیتروژن (Bremner, 1965) بررسی شد. میانگین عناصر برگ ۱۵ نخلستان در نرم افزار Excel (Microsoft, USA, Version 2016) وارد و نمودار مربوط به مقایسه میانگین ها رسم شد.

بررسی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و

کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی

این آزمایش در نخلستانی در شهر بروات در استان کرمان با ارتفاع ۹۹۸ متر از سطح دریا و با طول جغرافیایی "۳۹°۵۸' و عرض جغرافیایی "۵۸°۲۹'۳۰ اجرا شد. بروات در نه کیلومتری شرق شهر بم و در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان کرمان واقع شده است. آزمایش در

دو سال باغی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) بر روی ۱۲ نفر نخل خرما ی رقم مضافتی ۲۰ ساله در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار شامل سطوح مختلف سولفات منیزیم (Salama et al., 2014; El-Salhy et al., 2014) به شرح زیر اجرا شد.

- ۱- Control: عدم کاربرد سولفات منیزیم.
 - ۲- $MgSO_4$ 250: کاربرد خاکی سولفات منیزیم (چالکود) به میزان ۲۵۰ گرم برای هر درخت
 - ۳- $MgSO_4$ 500: کاربرد خاکی سولفات منیزیم (چالکود) به میزان ۵۰۰ گرم برای هر درخت
 - ۴- $MgSO_4$ 750: کاربرد خاکی سولفات منیزیم (چالکود) به میزان ۷۵۰ گرم برای هر درخت
- علاوه بر کاربرد خاکی سولفات منیزیم در بهمن هر سال، محلول پاشی سولفات منیزیم با غلظت ۰/۵ درصد (۵ گرم در لیتر) (Chandra and Singh, 2015) در شرایط خنکی هوا در صبح زود در نیمه فروردین و نیمه اردیبهشت برای کلیه درختان آزمایشی به طور یکسان انجام شد. در فصل بهار، درختان خرما در مرحله رشد فعال هستند، قدرت جذب عناصر از طریق برگ بالا است و محلول پاشی گزینه مناسب برای تغذیه تکمیلی است. قطعه نخلستان انتخاب شده پیش از شروع آزمایش از نظر عناصر غذایی موجود در خاک و نمونه برگ (از ردیف دوم برگ های درختان خرما) مورد ارزیابی قرار گرفت. داده های آزمایش خاک و برگ در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نخلستان محل اجرای آزمایش

Table 1. Physico-chemical soil properties of experimental palm date orchard

عمق خاک (سانتی‌متر)	درصد اشباع	درصد کربن آلی	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته گل اشباع	درصد مواد خنثی شونده
Soil depth (cm)	Saturation (%)	Organic carbon (%)	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	pH	Total neutralizing value (%)
0-30	7.9	1.01	1.94	7.9	0.00
30-60	8.1	1.0	2.3	8.1	13.00

Table 1. Continued.

ادامه جدول ۱-

درصد شن	درصد رس	درصد لای	درصد نیتروژن	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	منیزیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)
Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	N (%)	Available P (ppm)	Available Mg (ppm)	Available K (ppm)
59.00	6.00	35.00	1.25	10	25	550
57.00	9.00	34.00	1.27	9	23	560

جدول ۲- محتوای عناصر برگ نخل خرما رقم مضافتی در نخلستان محل اجرای آزمایش

Table 2. Element contents of leaf of palm date cv. Mazafti in experimental orchard

منیزیم (درصد)	کلسیم (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	نیتروژن (درصد)
Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	N (%)
0.08	0.6	2.56	0.08	1.52

جهات مختلف هر نخل، جهت انجام داده‌برداری، انتخاب شده و بقیه خوشه‌ها در مرحله کیمیری حذف شدند.

دسترسی به منیزیم به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل مختلفی به ویژه اسیدی شدن خاک قرار می‌گیرد (Hailes *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2022)، بنابراین در این آزمایش از ترکیب سولفات منیزیم آبدار ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) استفاده شد. محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو، کلیدی برای بهبود تشکیل میوه، باروری و کیفیت میوه‌هاست،

تغذیه متداول نخل داران که شامل استفاده از کودهای دارای عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود، در سال اول اجرای آزمایش انجام نشد و در سال دوم در بهمن، ۵۰ کیلوگرم کود آلی از نوع گاوی به هر درخت داده شد. سامانه آبیاری نخلستان از نوع غرقابی با فاصله زمانی ده روز یکبار بود. عملیات هرس برگ، گرده‌افشانی (با گرده سازگار محلی)، کنترل آفات، خوشه‌بندی و پوشش خوشه‌ها برای کلیه درختان آزمایشی به‌طور یکسان انجام شد. یک ماه پس از گرده‌افشانی، هشت خوشه تلقیح شده و سالم از

همچنین نقش مؤثری در بازیابی تغذیه و رفع اختلالات فیزیولوژیکی در درختان میوه دارد (Lalithya et al., 2014)

در زمان برداشت، وزن کل میوه‌های هر یک از هشت خوشه با کمک ترازوی دیجیتالی ۳۰ کیلوگرمی با دقت ۱۰ گرم، اندازه‌گیری و به عنوان عملکرد میوه در درخت یادداشت شد. میوه‌های خرما به‌طور تصادفی و به تعداد ۳۰ عدد از هر درخت برداشته شد. صفات کمی شامل (طول، قطر و وزن) میوه و هسته، وزن گوشت میوه و نسبت گوشت به هسته اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول و قطر میوه و هسته با کولیس اندازه‌گیری شد.

میزان مواد جامد محلول کل (Total soluble solids = TSS) میوه با قرائت عدد بریکس در دستگاه رفراکتومتر دستی مدل Carl Zeiss (ساخت آلمان) یادداشت شد (AOAC, 2000). میزان منیزیم به روش کمپلکسومتری سنجیده شد. از عصاره برگی پنج میلی‌لیتر برداشته شد و پس از رساندن به حجم ۲۵ میلی‌لیتر با آب مقطر، چهار قطره اربی کروم‌بلک تی و ۱۰ قطره بافر آمونیم کلرید به آن اضافه شد و با EDTA تیتراشد. تیتراسیون تا تبدیل رنگ محلول از قرمز آجری به آبی یا سبز ادامه یافت و سپس میزان منیزیم برگ محاسبه گردید (Ryan et al., 2001).

داده‌ها در نرم‌افزار Excel وارد شد و پس از

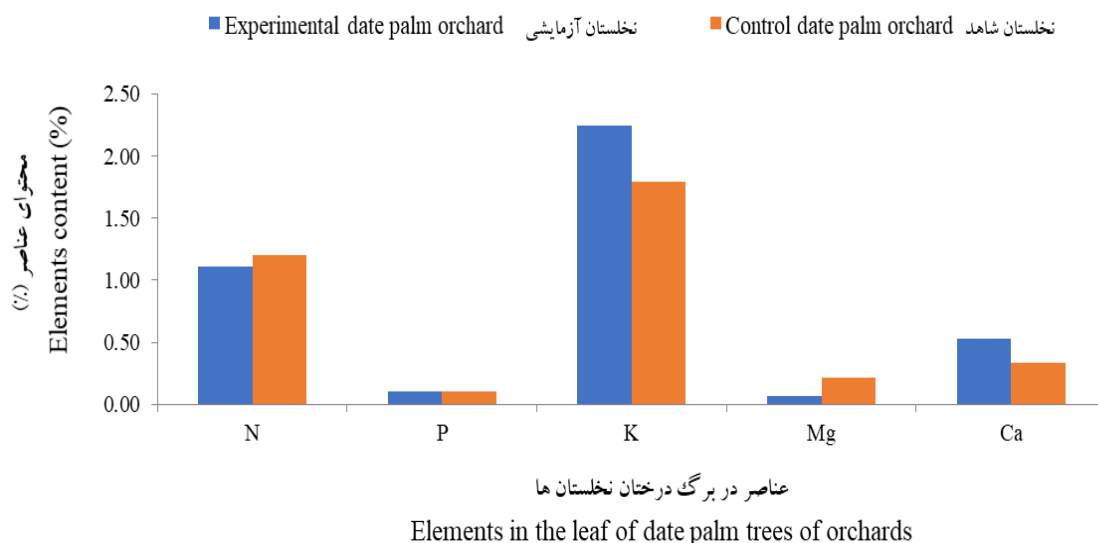
انجام تست نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (Version SPSS 26) انجام شد. از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار (Microsoft, USA, Excel Version 2016) استفاده شد.

نتایج و بحث

وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌ها

مقایسه میانگین محتوای عناصر غذایی در برگ درختان خرما بر پایه رقم مضافتی در نخلستان‌های آزمایشی و شاهد نشان داد که میزان نیتروژن و فسفر در برگ درختان شاهد و آزمایشی تفاوت زیادی وجود نداشت (شکل ۱). اما میزان پتاسیم و کلسیم در نخلستان‌های آزمایشی بیشتر از نخلستان شاهد بود، در حالی که میزان عنصر منیزیم کمتر از نخلستان شاهد بود.

میانگین عناصر برگ درختان خرما بر پایه رقم مضافتی در دو گروه آزمایشی و شاهد مربوط به ۱۵ نخلستان مورد مطالعه نشان داد با توجه به محدوده نرمال عناصر مورد بررسی در درختان خرما هیچ کدام از نخلستان‌های مورد مطالعه با کمبود فسفر یا کلسیم مواجه نبودند (جدول ۳). در ۷۰ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت پتاسیم برگ بیشتر از سطح نرمال (۰/۴ تا ۲/۱۲ درصد) بود. این موضوع نشان‌دهنده جذب بیش از حد (Mohebbi and Nabhani, 2011)



شکل ۱- میانگین عناصر برگ درختان خرما رقم مضافتی در نخلستان‌های آزمایشی و شاهد
Fig. Mean of elements in the leaves of date palm trees cv. Mazafati in the experimental and control date palm orchard

نخلستان شاهد (بر اساس آزمون خاک) باعث شده برخی عناصر مانند منیزیم و کلسیم در محدوده بهینه باشند، در حالی که در درختان نخلستان آزمایشی این تعادل مختل شده است. با توجه به نتایج بررسی وضعیت موجود تغذیه‌ای نخلستان‌های آزمایشی که کمبود منیزیم محرز شد و با توجه به نقش مؤثر منیزیم در بسیاری از فرآیندهای مهم گیاهی مانند فتوسنتز، تشکیل زیست توده (بیوماس) و محصول (Tränkner *et al.*, 2019) و تأثیر آن بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه (Zhang *et al.*, 2022)، پژوهش حاضر، بر روی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل های خرماي رقم مضافتی در نخلستان آزمایشی متمرکز شد.

پتاسیم است. مقدار بالای پتاسیم در گروه درختان نخلستان‌های آزمایشی می‌تواند منجر به اختلال در جذب سایر عناصر مانند منیزیم و کلسیم شود (Zhang *et al.*, 2021; Mohamad, 2003). در ۸۵ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت منیزیم برگ کمتر از سطح نرمال (۰/۱۱ تا ۰/۲۷ درصد) بود و در ۷۰ درصد از درختان مورد مطالعه، غلظت نیتروژن برگ کمی پایین‌تر از سطح نرمال (۱/۲۲ تا ۱/۷۲ درصد) بود (جدول ۳). این کمبودها ممکن است تأثیر منفی بر سلامت و رشد درختان داشته باشد و به کاهش کیفیت میوه و سلامت درخت منجر شود (Zhang *et al.*, 2023). این نتایج نشان می‌دهد که برنامه تغذیه‌ای در

جدول ۳- میانگین محتوای عناصر برگ درختان خرماي رقم مضافتي در نخلستان‌های آزمایشی و شاهد، همچنین دامنه نرمال این عناصر در برگ درختان خرما (محبی و نبهانی، ۱۳۹۰).

Table 3. Mean of element contents of the leaves of date palm trees cv. Mazafati in experimental and control date palm orchard plus normal range of elements in leaves of date palm tree (Mohebbi and Nabhani, 2011)

					محتوای عناصر برگ برگ (%)					
					Leaf elements content (%)					
نخلستان	شناسه نخلستان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	
Date palm orchard	Date palm orchard identity	Longitude	Latitude	Altitude above sea level	N	P	K	Mg	Ca	
نخلستان‌های آزمایشی Experimental date palm orchard	A	58° 25' 37.005"	29° 03' 37.716"	976	1.53	0.09	2.37	0.04	0.52	
	B	58° 25' 08.349"	29° 04' 49.933"	996	1.12	0.11	1.69	0.06	0.52	
	C	58° 16' 24.798"	29° 08' 25.277"	1154	1.14	0.13	2.30	0.08	0.48	
	D	58° 16' 11.203"	29° 08' 52.264"	1166	1.00	0.12	2.18	0.05	0.56	
	E	58° 17' 53.787"	29° 07' 21.579"	1113	1.11	0.08	2.81	0.08	0.56	
	F	58° 29' 35.176"	28° 50' 46.577"	890	1.16	0.09	2.10	0.07	0.52	
	G	58° 52' 33.911"	28° 42' 43.765"	699	1.00	0.09	2.31	0.04	0.56	
	H	59° 04' 46.199"	28° 35' 57.251"	604	1.00	0.08	2.06	0.06	0.52	
	I	57° 45' 13.209"	30° 16' 47.581"	683	1.00	0.11	2.50	0.11	0.40	
	J	57° 45' 13.518"	30° 16' 34.906"	686	1.00	0.11	2.31	0.08	0.48	
	K	57° 45' 06.107"	30° 13' 59.651"	844	1.11	0.12	2.31	0.04	0.56	
	L	57° 42' 06.584"	30° 25' 34.404"	449	0.99	0.11	2.18	0.04	0.56	
	M	58° 20' 25.580"	29° 05' 46.276"	1086	1.01	0.11	1.87	0.14	0.52	
	N	58° 24' 39.183"	29° 03' 58.538"	998	1.52	0.08	2.65	0.08	0.60	
Control date palm orchard	نخلستان شاهد	Control	58° 16' 27.155"	29° 08' 22.565"	1146	1.2	0.10	1.79	0.21	0.35
Normal range of elements in leaves of date palm tree					دامنه نرمال عناصر در برگ درختان خرما	1.22-1.72	0.08-0.13	0.4-2.12	0.11-0.27	0.35-1.12

بررسی اثر تغذیه منیزیم بر خصوصیات کمی و کیفیت میوه نخل خرما رقم مضافتی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تیمار سولفات منیزیم بر پارامترهای عملکرد درخت، قطر میوه، میزان TSS خرما و غلظت منیزیم برگ رابطه معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و بر طول هسته خرما رابطه معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴ و ۵). نتایج مطالعات سایر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که استفاده از سولفات منیزیم می‌تواند بهبود قابل توجهی در کیفیت و عملکرد میوه‌ها داشته باشد و تأثیر مثبتی بر ویژگی‌ها مانند قطر و طول میوه گذارد (Zhang et al., 2022). تیمارهای مختلف منیزیم می‌توانند به طور قابل توجهی بر رشد ریشه و جذب مواد غذایی در گیاهان تأثیر گذارند، که این امر به نوبه خود می‌تواند بر ویژگی‌های میوه اثر گذار باشد (Qu et al., 2023).

اثر تیمارهای سولفات منیزیم بر عملکرد میوه در درخت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد میوه در درخت در تیمارهای آزمایشی نسبت به شاهد بیشتر بود و بیشترین عملکرد میوه در درخت با ۷۴/۶۶ کیلوگرم

متعلق به تیمار سولفات منیزیم ۲۵۰ گرم بود که نسبت به شاهد ۱۶/۵ کیلوگرم افزایش محصول را نشان داد (شکل ۲). سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده اند که استفاده از کودهای حاوی منیزیم می‌تواند عملکرد میوه را به طور میانگین ۸/۵ درصد افزایش دهد (Wang et al., 2020).

منیزیم برای سنتز کلروفیل ضروری است که فتوسنتز و زیست توده را افزایش می‌دهد (Ahmad et al., 2023) و موجب بهبود عملکرد میوه می‌شود (Wang et al., 2020). منیزیم دارای عملکردهای فیزیولوژیکی متنوعی در سامانه‌های بیولوژیکی است (Cakmak, 2013, Peng et al., 2018). کمبود این عنصر، رشد و توسعه گیاهان را مهار می‌کند و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و کیفیت پائین محصولات می‌شود (Cakmak, 2013).

اثر تیمارهای سولفات منیزیم بر قطر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های قطر میوه نشان داد که بیشترین قطر میوه با ۲/۳۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار سولفات منیزیم ۲۵۰ گرم بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال و سطوح سولفات منیزیم بر عملکرد و برخی صفات میوه درخت خرما رقم مضافتی

Table 4. Table 5. Combined analysis of variance for the effect of year and magnesium sulfate levels on yield and some fruit traits of date palm cv. Mazafati

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	Mean squares				عملکرد میوه در درخت Fruit yield tree ⁻¹
			قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit length	وزن گوشت میوه Fruit flesh weight	وزن میوه Fruit weight	
Year (Y)	سال	1	0.018*	0.028	165.550**	174.850	5.042
Error 1	اشتباه آزمایشی ۱	4	0.036	0.296	4.335	4.348	2.837
Treatment (T)	تیمار	3	0.022**	0.027	2.440	2.40	314.375**
T × Y	تیمار × سال	3	0.009	0.016	1.290	1.247	12.700*
Error 2	اشتباه آزمایشی ۲	12	0.004	0.021	1.220	1.200	2.167
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		4.50	4.30	25.10	23.80	9.80

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

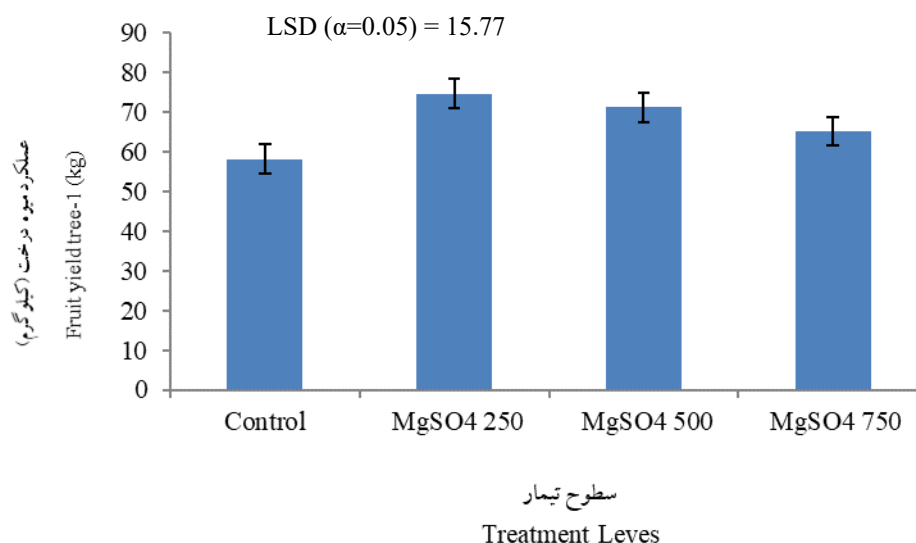
جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای اثر سال و سطوح سولفات منیزیم بر برخی صفات میوه و محتوای منیزیم برگ خرما رقم مضافتی

Table 5. Combined analysis of variance for the effect of year and magnesium sulfate levels on some fruit traits and leaf magnesium content of date palm cv. Mazafati

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	Mean squares				محتوای منیزیم برگ Leaf Mg conten
			مواد جامد محلول کل TSS	نسبت گوشت به هسته میوه fruit flesh: seed ratio	قطر هسته Seed diameter	طول هسته Seed length	وزن هسته Seed weight
Year (Y)	سال	1	0.01	79.76**	0.005	0.010	0.127
Error 1	اشتباه آزمایشی ۱	4	3.29	5.52	0.005	0.014	0.003
Treatment (T)	تیمار	3	20.37**	3.7	0.001	0.024*	0.001
T × Y	تیمار × سال	3	0.45	3.22	0.011	0.005*	0.004
Error 2	اشتباه آزمایشی ۲	12	3.13	3.79	0.002	0.007	0.008
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		3.40	19.70	8.00	5.00	11.60

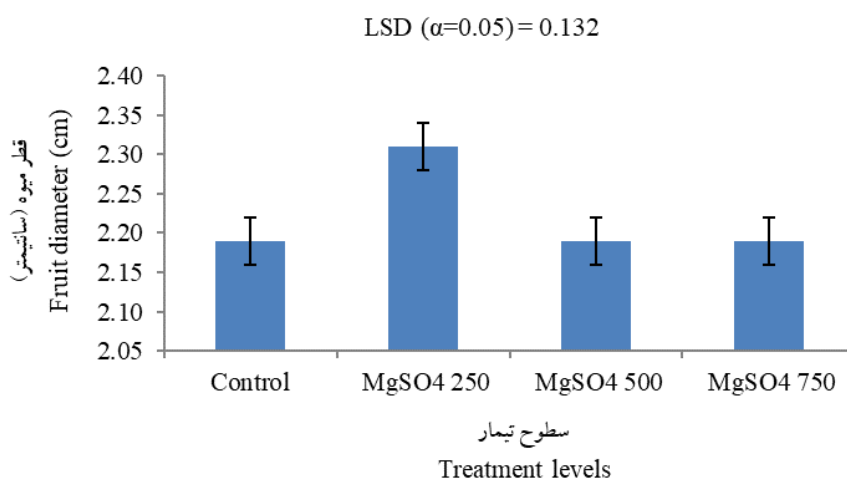
* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد



شکل ۲- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات منیزیم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم برای هر درخت) بر عملکرد میوه در درخت خرما ی رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند

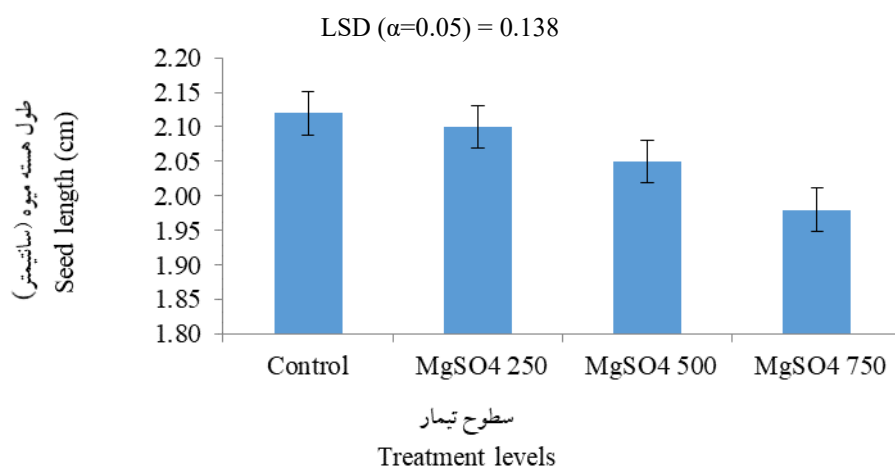
Fig. 2. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree⁻¹) on fruit yield tree⁻¹ cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean



شکل ۳- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات منیزیم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم برای هر درخت) بر قطر میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 3. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree⁻¹) on fruit diameter of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

اثر تیمارهای سطوح سولفات منیزیم بر طول هسته در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۵). با افزایش سطوح تیمارها، طول هسته کاهش یافت و کمترین مقدار طول هسته در تیمار سولفات منیزیم ۷۵۰ گرم (۱/۹۸ سانتی متر) بود (شکل ۴).

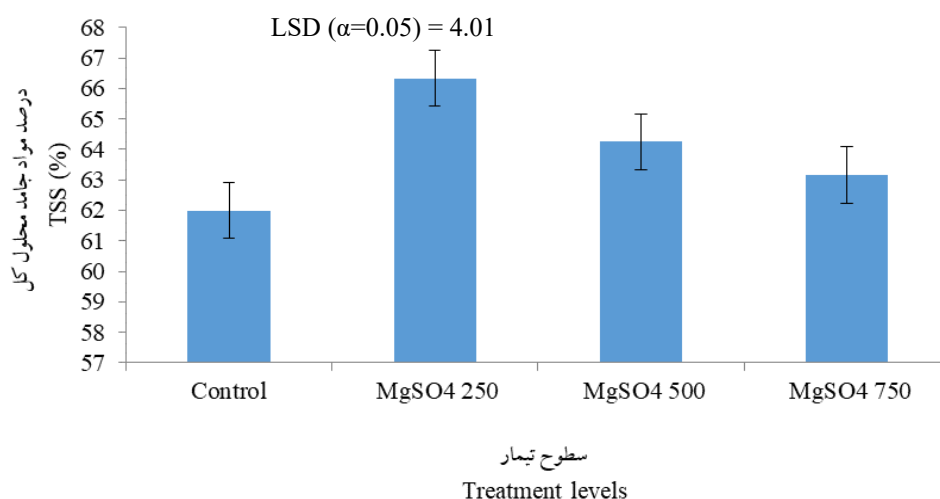


شکل ۴- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات منیزیم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم برای هر درخت) بر طول هسته میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 4. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree⁻¹) on fruit seed length of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

تیمار شاهد بود (شکل ۵). رکیس و همکاران (Rekis *et al.*, 2020) گزارش کردند که منیزیم می تواند در افزایش مواد جامد محلول در میوه نقش مؤثری داشته باشد. در میوه های ازگیل ژاپنی محلول پاشی سولفات منیزیم، به طور قابل توجهی نسبت قند به اسید را افزایش داد و موجب افزایش TSS تا ۵۳/۸۱ درصد و کاهش اسیدیته تا ۷۲/۴۵ درصد شد (Ali *et al.*, 2024).

اثر سطوح سولفات منیزیم بر مواد جامد محلول کل میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین میزان TSS میوه (۶۶/۳۳ درصد) مربوط به تیمار سولفات منیزیم ۲۵۰ گرم بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی داری داشت. با افزایش سطح سولفات منیزیم از ۲۵۰ به ۷۵۰ گرم، میزان TSS کاهش یافت و کمترین میزان TSS (۶۲ درصد) مربوط به



شکل ۵- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات منیزیم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم برای هر درخت) بر مواد محلول جامد کل میوه در درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 5 Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree⁻¹) on fruit total soluble solids of date palm cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

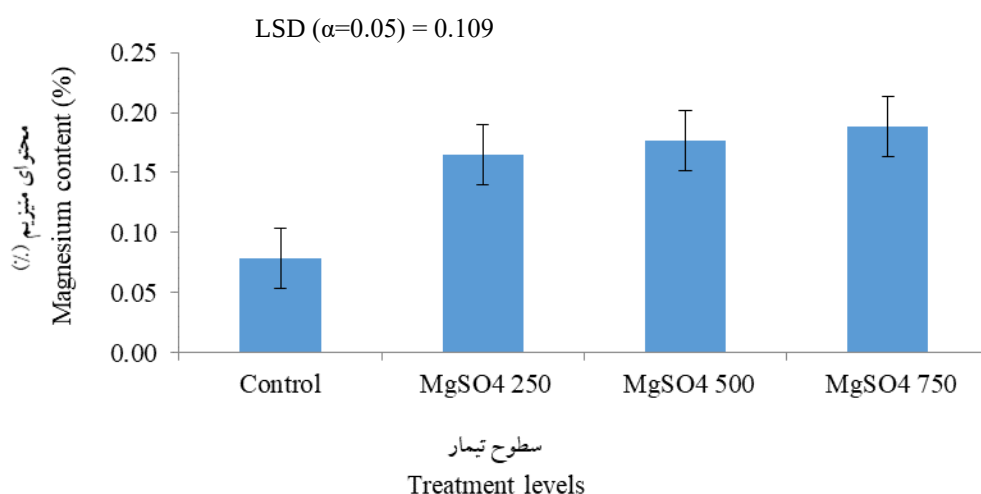
بهبود می بخشد، در حالی که مقادیر بیش از حد ممکن است این مزیت را حفظ نکنند (Zhang et al., 2022).

در مرکبات، تیمار منیزیم با افزایش فعالیت آنزیم های متابولیزه کننده ساکارز، کل مواد جامد محلول و محتوای قند را افزایش داد (Han et al., 2024). نقش مثبت منیزیم در تنظیم آنزیم های کلیدی دخیل در متابولیسم ساکارز، مانند ساکارز سنتاز و ساکارز فسفات سنتاز، باعث تجمع قند می شود (Han et al., 2024). از طرفی منیزیم یک عنصر کلیدی در ترکیب کلروفیل است و به فرآیند فتوسنتز کمک می کند. با افزایش میزان فتوسنتز، تولید قند و سایر

نتایج پژوهش حاضر نشان داد سطوح بالاتر سولفات منیزیم (تیمارهای 500 MgSO₄ و 750 MgSO₄) می تواند منجر به کاهش TSS شود. تأثیر منفی افزایش منیزیم بر صفات کیفیت میوه در نتیجه نسبت نامتعادل کاتیون ها است (Gerendás, 2013). غلظت بالای منیزیم می تواند جذب سایر عناصر غذایی، مانند کلسیم و پتاسیم را مختل کند. این امر موجب کمبود عناصر و کاهش کیفیت میوه می شود. همچنین غلظت بالای منیزیم می تواند تعادل یونی را در خاک تغییر دهد و منجر به شرایط غیرمطلوب برای رشد گیاه شود. این نتایج نشان می دهند که کاربرد MgSO₄ در مقادیر متوسط TSS را

برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد درختان شاهد دارای کمترین غلظت منیزیم (۰/۰۷۸۳ درصد) در برگ بودند و با افزایش سطوح تیمارها، غلظت منیزیم در برگ درختان خرما رقم مضافتی افزایش یافت. به طوری که در سطوح ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم به ترتیب مقادیر منیزیم برگ ۰/۱۶۵۰ درصد، ۰/۱۷۶۷ درصد و ۰/۱۸۸۳ درصد مشاهده گردید (شکل ۶).

مواد محلول در میوه ها افزایش می یابد که در نهایت منجر به افزایش TSS می شود. منیزیم با تأثیر بر رشد ریشه نیز به گیاه کمک می کند تا آب و عناصر غذایی را به خوبی جذب کند و از این رو کیفیت میوه را بهبود می بخشد (Qu et al., 2023). آنها بیان داشتند که منیزیم به عنوان یک عنصر کلیدی، نقش بسزایی در بهبود کیفیت، طعم میوه و عملکرد درخت ایفاء می کند. اثر سطوح سولفات منیزیم بر محتوای منیزیم



شکل ۶- اثر کار برد خاکی سطوح مختلف سولفات منیزیم (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ گرم سولفات منیزیم برای هر درخت) بر محتوای منیزیم برگ درخت خرما رقم مضافتی. میله های خطا روی ستون ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشند.

Fig. 6. Effect of different levels of soil applied magnesium sulfate (250, 500, and 750 g tree⁻¹) on magnesium content of leaf of date palm tree cv. Mazafati. Error bars on columns indicate standard error of the mean

می شود (Melanie and Merle, 2019; Esteves et al., 2022) منیزیم عمدتاً در واکوئل های برگ انباشته می شود و

سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده اند که استفاده از ترکیبات منیزیم، به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای منیزیم در برگ ها و خاک

ناقل‌های خاصی نقش مهمی در این فرآیند دارند (Waters, 2011). مطالعات نشان می‌دهد که محتوی منیزیم در برگچه‌های ناحیه میانی نخل خرما بیشترین مقدار را دارد که نشان‌دهنده نقش حیاتی آن در سلامت برگ است (Kolsi-Benzina and Zougari, 2008). سطوح کافی منیزیم با بهبود محتوی کلروفیل مرتبط است که برای فتوسنتز و سلامت گیاه حیاتی است. بارندگی باعث شسته شدن و از دست رفتن منیزیم خاک می‌شود (Sun et al., 2018).

کمبود منیزیم منجر به کاهش بازده فتوسنتزی و زیست توده می‌شود. همانطور که در گیاهان دارای کمبود منیزیم، کاهش قابل توجه فلورسانس کلروفیل و بازده کوانتومی مشاهده می‌شود. محلول پاشی برگی منیزیم با جبران این کمبودها، زیست توده را افزایش داده و سطح برگ را در گونه‌های مختلف گیاهی بهبود می‌بخشد (He et al., 2022). وجود منیزیم در گیاه باعث تسهیل بارگیری ساکارز در آوند آبکش می‌شود که برای توزیع کربوهیدرات در گیاه ضروری است (Cakmak and Kirkby, 2008).

علاوه بر اثر مستقیم کاربرد سولفات منیزیم بر صفات کمی و کیفیت میوه، باید به نقش ویژگی‌های خاک نخلستان مورد آزمایش نیز توجه داشت. خاک این نخلستان دارای هدایت الکتریکی (۱/۹۴-۲/۳ دسی زیمنس بر متر) در محدوده قابل قبول برای رشد نخل خرما قرار

می‌گیرد (جدول ۱). با این حال احتمال بروز رقابت یونی به ویژه در حضور کاتیون‌های پتاسیم و کلسیم وجود دارد. بر اساس داده‌های اولیه تجزیه برگ در نخلستان مورد مطالعه، نسبت پتاسیم به منیزیم برگ زیاد و بیش از چهار بود (Ferreira et al., 2023)، همچنین غلظت پتاسیم برگ (۲/۵۶٪) نسبتاً بالا بود (Mohebbi and Nabhani, 2011).

با این وضعیت عناصر جذب منیزیم را از طریق مهار رقابتی می‌تواند کاهش داده باشد، چون که رقابت بین یون‌های K^+ ، Mg^{2+} و Ca^{2+} در محل تبادل ریشه در شرایط مناطق گرمسیری و نیمه خشک گزارش شده است (Marschner, 2012; Zörb et al., 2014). همچنین در خاک‌های قلیایی با اسیدیته بالاتر از هفت، که در مناطق جنوبی و جنوب شرقی معمول است، در دسترس بودن منیزیم برای گیاه کاهش می‌یابد زیرا منیزیم ممکن است به صورت ترکیبات نامحلول رسوب کند و قابلیت جذب آن محدود شود (Cakmak and Kirkby, 2008).

بنابراین می‌توان بیان کرد که در پژوهش حاضر، بخشی از تغییرات مشاهده شده در غلظت منیزیم برگ و اثر آن بر عملکرد میوه و مواد جامد محلول کل (TSS) می‌تواند ناشی از همین محدودیت‌های خاکی باشد. به نظر می‌رسد استفاده از سولفات منیزیم با مقدار متوسط (۲۵۰ گرم برای هر درخت) توانسته است بر این محدودیت‌ها غلبه کند و موجب افزایش جذب Mg^{2+} و بهبود کیفیت میوه شود، در حالی که

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از پشتیبانی‌های مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان برای اجرای این پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از کارشناسان و مدیریت‌های جهاد کشاورزی و نخلکاران استان کرمان در شهرستان‌ها و بخش‌های بم، بروات، شهداد، فهرج، ریگان، نرماشیر، اندوهجرد و چهارفرسخ بابت دقت نظر، ارائه گزارش و همکاری در تهیه نمونه‌های گیاهی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نخلستان‌ها و مشارکت در اجرای پروژه قدردانی می‌نمایند. همچنین به روح شادروان آقای علی رستمی باغدار محترم بروات که این آزمایش در باغ ایشان اجرا شد، درود می‌فرستند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه تعارض منافی با هم و با سایر اشخاص حقوقی/حقیقی ندارند.

افزایش بیشتر این عنصر (۵۰۰ و ۷۵۰ گرم برای هر درخت) احتمالاً به واسطه بروز اختلال در جذب سایر عناصر یا برهم خوردن تعادل یونی خاک، موجب کاهش ویژگی‌های کیفیت میوه از جمله TSS شد (Gerendás and Fühns, 2013).

باتوجه به محدودیت‌های پژوهش حاضر، از جمله عدم بررسی انواع دیگر ترکیبات منیزیمی و در شرایط مختلف اقلیمی پیشنهاد می‌شود که در آینده بررسی‌های تکمیلی برای اثر ترکیبات دیگر منیزیمی و شرایط محیطی مختلف پرداخته شود. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر بر اهمیت تغذیه درختان براساس نیازهای غذایی خاص آن‌ها، همراه با آزمایش‌های منظم خاک و برگ برای شناسایی کمبودها و بهینه‌سازی برنامه‌های کوددهی تأکید می‌کنند. همچنین اهمیت تامین منیزیم کافی برای بهبود کیفیت و کمیت میوه خرما را برجسته می‌کند و توصیه‌هایی را برای نخل کاران برای مدیریت و افزایش بهره‌وری نخلستان‌های خرما رقم مضافتی در منطقه هدف ارائه می‌کند.

References

- Ahmad, R., Ali, H.M., Lisek, A., Mosa, W.F., Ercisli, S. and Anjum, M.A. 2023. Correlation among some phenological and biochemical traits in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) germplasm. *Frontiers in Plant Science*, 14. 1118069. DOI: 10.3389/fpls.2023.1118069.
- Aiswarya, J., Mariammal, K. and Veerappan, K. 2023. Plant nutrient deficiency detection and classification-a review. Pp.796-802. In: Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications. DOI:

10.1109/ICIRCA57980.2023.10220778

- Ali, M.M., Hu, X., Chao, P., Ali, S., Akram, M.T., Naveed, W.A., Gull, S., Deng, H., Mosa, W.F., Hou, Y. and Chen, F. 2024.** Magnesium's impact on fruit quality of loquat: Insights into sugar and acid dynamics. *Scientia Horticulturae*, 328. 112972. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112972.
- Anonymous. 2022.** Agricultural statistical yearbook. 3rd Volume. Horticultural and Glasshouse Products. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran. 401 pp (in Persian).
- AOAC. 2000.** Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 17th edition. Gaithersburg, Maryland, U.S.A.
- Assis, V.C.S.S. 2024.** Magnesium dynamics in the soil-plant system and its role in plant metabolism and nutrition: a review. *Scientific Electronic Archives*, 17(4), pp.1-10. DOI: 10.36560/17420241898
- Barker, A.V. and Pilbeam, D.J. 2015.** Handbook of Plant Nutrition; CRC Press: Boca Raton, Florida, USA. 661 pp.
- Bould, C. 1963.** Soil and leaf analysis in relation to fruit nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14(10), pp.710-718.
- Bremner, J.M. 1965.** Total nitrogen. Pp. 1149-1178. In: Norman, A.G. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties*, 9(2). American Society of Agronomy. Wisconsin, USA.
- Cakmak, I. 2013.** Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant Soil*. 368, pp.1-4. DOI: 10.1007/s11104-013-1781-2
- Cakmak, I. and Kirkby, E.A. 2008.** Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum*, 133(4), pp.692-704. DOI: 10.1111.j.1399-3054.2007.01042.x
- Chandra, R. and Singh, K.K. 2015.** Foliar application of zinc sulphate, magnesium sulphate and copper sulphate on the yield and quality of aonla (*Emblica officinalis* Gaertn L.) cv. "NA-7" under Garhwal Himalaya. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3(5), pp.42-45.
- De Mello Prado, R. and Rozane, D.E. 2020.** Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. *Fruit Crops*, pp.131-143. DOI: 10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3
- El-Salhy, A.M., El-Akaad, M.M., El-Deen, E.Z. and Ahmed, M.M. 2017.** Effect of magnesium fertilization and leaf/bunch ratio on growth and fruiting of Sewy date palm.

- Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 48(4), pp.132-144.
DOI: 10.21608/ajas.2017.5014
- Esteves, E., Kadyampakeni, D.M., Zambon, F., Ferrarezi, R.S. and Maltais-Landry, G. 2022.** Magnesium fertilization has a greater impact on soil and leaf nutrient concentrations than nitrogen or calcium fertilization in Florida orange production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 122(1), pp.73-87. DOI: 10.1007/s10705-021-10182-1
- Ezz, T.M., Kassem, H.A. and Marzouk, H.A. 2010.** Response of date palm trees to different nitrogen and potassium application rates. *Acta Horticulturae*, 882(84), pp.761-768. DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.882.84
- FAO. 2022.** World food and agricultural-statistics yearbook 2022. Rome, Italy. 380 pp.
<https://www.fao.org/10.4060/cc2211en>
- Gerendás, J. and Führrs, H. 2013.** The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil*, 368, pp.101-128. DOI: 10.1007/s11104-012-1555-2
- Gransee, A. and Führrs, H. 2013.** Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368, pp.5-21. DOI: 10.1007/s11104-012-1567-y
- Hailes, K.J., Aitken, R.L. and Menzies, N.W. 1997.** Magnesium in tropical and subtropical soils from north-eastern Australia. II. Response by glasshouse-grown maize to applied Magnesium. *Soil Research*, 35, pp.629–641. DOI: 10.1071/S96082
- Han, H., Chen, X.L., Liu, Y.Z., Zhou, T., Alam, S.M. and Khan, M.A. 2024.** Foliar spraying magnesium promotes soluble sugar accumulation by inducing the activities of sucrose biosynthesis and transport in citrus fruits. *Scientia Horticulturae*, 324, 112593. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112593
- He, H., Khan, S., Deng, Y., Hu, H., Yin, L. and Huang, J. 2022.** Supplemental foliar-applied magnesium reverted photosynthetic inhibition and improved biomass partitioning in magnesium-deficient banana. *Horticulturae*, 8(11), 1050 pp. DOI: 10.3390/horticulturae8111050
- Hussain, M.I., Farooq, M. and Syed, Q.A. 2020.** Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A review. *Food Bioscience*, 34, 100509. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.100509
- Isaac, R.A. and Kerber, J.D. 1971.** Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. Pp. 17-37. In: Instrumental methods for

- analysis of soils and plant tissue. DOI: 10.2136/1971.instrumentalmethods.c2
- Klute, A. 1986.** Water retention: laboratory methods. Pp. 635-662. In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA. Madison.
- Kolsi-Benzina, N. and Zougari, B. 2008.** Mineral composition of the palms leaflets of the date palm. *Journal of Plant Nutrition*, 31(3), pp.583-591. DOI: 10.1080/01904160801895100
- Lalithya, K.A., Bhagya, H.P. and Choudhary, R. 2014.** Response of silicon and micro nutrients on fruit character and nutrient content in leaf of sapota. *Biolife*, 2(2), pp.593-598.
- Li, J., Jin, S., Zhou, W., Meng, L., Song, X., Chen, Q., Shi, H. and Wang, Y. 2022.** Magnesium fertilizer application and soil warming improves tomato yield by increasing magnesium absorption under PE-film covered greenhouse. *Agronomy*, 12(4), 940. DOI: 10.3390/agronomy12040940
- Marschner, H. 2012.** Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. Vol. 89, Academic press, London. 651 pp.
- Mayland, H.F. and Wilkinson, S.R. 1989.** Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems: a review. *Journal of Animal Science*, 67(12), pp.3437-3444.
- Melanie, H.J. and Merle, T. 2019.** Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: A systematic review and meta-analysis from 70 years of research. *Plant Science*, 10, pp.766-781. DOI: 10.3389/fpls.2019.00766
- Mohamad, A. 2003.** Response of oil palm seedlings planted on highly weathered acid soils to magnesium fertilizers. Ph. D. Thesis. University of Putra. Malaysia. 120 pp.
- Mohebi, A. and Nabhani, L. 2011.** Principles and foundations of date palm nutrition. Katibeh Sabz Publications. Ahvaz, Iran. 118 pp. (in Persian).
- Noonan, L. and Holcombe, E.E. 1975.** Procedures for chemical analyses of plant and soil samples, Oregon State University. 72 pp.
- Obreza, T.A., Zekri, M. and Hanlon, E.A. 2008.** Soil and leaf tissue testing. Pp. 24-32. In: Obreza, T.A and Morgan, K.T (eds.) *Nutrition of Florida citrus trees*. University of Florida institute of food and agricultural. Gainesville, USA.
- Peng, W., Zhang, L., Zhou, Z., Chen, F., Chen, Z. and Liao, H. 2018.** Magnesium promotes root nodulation through facilitation of carbohydrate allocation in soybean. *Plant*

- Physiology*, 163, pp.372–385. DOI: 10.1111/ppl.12730
- Pushparajah, E. 1994.** Leaf analysis and soil testing for plantation tree crops. Pp 1–12 .In: Proceedings of the international workshop on ‘Leaf diagnosis and soil testing as a guide to crop fertilization’, Taiwan.
- Qu, S., Li, H., Zhang, X., Gao, J., Ma, R., Ma, L. and Ma, J. 2023.** Effects of magnesium imbalance on root growth and nutrient absorption in different genotypes of vegetable crops. *Plants*, 12(20). 3518. DOI: 10.3390/plants12203518
- Qureshi, I.M. and Srivastava, P.B.L. 1966.** Foliar diagnosis and mineral nutrition of forest trees. *Indian Forester*, 92(7), pp.447-60.
- Rekis, A., Laiadi, Z. and Mehenni, M. 2020.** Morphological characteristics denomination of date palm studied cultivars. *Algerian Journal of Arid Regions*, 14(1), pp.131-140.
- Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. 2001.** Soil and plant analysis laboratory manual. 2nd edition. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. 172 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/67563>
- Salama, A.S.M., Omima, E.S.M. and Abdel-Hameed, A.A. 2014.** Effect of magnesium fertilizer sources and rates on yield and fruit quality of date palm cv. Hayany under Ras-Sudr conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10(2), pp.118-126.
- Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V. and Thiel, H. 2015.** Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*, 66(12), pp.1219-1229. DOI: 10.1071/CP15104
- Sun, X., Chen, J.H., Liu, L.S., Rosanoff, A., Xiong, X. and Zhang, Y.J. 2018.** Effects of magnesium fertilizer on the forage crude protein content depend upon available soil nitrogen. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 66, pp.1743–1750. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b04028
- Tränkner, M. and Jaghdani, S.J. 2019.** Minimum magnesium concentrations for photosynthetic efficiency in wheat and sunflower seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, pp.234-243. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.040
- Wang, Z., Hassan, M.U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F. and Li, X. 2020.** Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 495191. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727
- Waters, B.M. 2011.** Moving magnesium in plant cells. *New Phytologist*, 190(3), pp.510-513. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03724.x.

- Zhang, S.W., Yang, W.H., Muneer, M.A., Ji, Z.J., Tong, L. and Zhang, X. 2021.** Integrated use of lime with Mg fertilizer significantly improves the pomelo yield, quality, economic returns and soil physicochemical properties under acidic soil of southern China. *Scientia Horticulturae*, 290, 110502. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110502
- Zhang, W., Liu, Y., Muneer, M.A., Jin, D., Zhang, H., Cai, Y., Ma, C., Wang, C., Chen, X., Huang, C. and Tang, Y. 2022.** Characterization of different magnesium fertilizers and their effect on yield and quality of soybean and pomelo. *Agronomy*, 12(11), 2693. DOI: 10.3390/agronomy12112693
- Zhang, Q., Shi, Y., Hu, H., Shi, Y., Tang, D., Ruan, J., Fernie, A.R. and Liu, M.Y. 2023.** Magnesium promotes tea plant growth via enhanced glutamine synthetase-mediated nitrogen assimilation. *Plant Physiology*, 192(2), pp.1321-1337. DOI: 10.1093/plphys/kiad143
- Zörb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. 2014.** Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of plant physiology*, 171(9), pp.656-669. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.08.008

Effect of Soil Application of Magnesium Sulfate on Fruit Quantitative and Quality Characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati

B. Damankeshan^{1*} , B. Panahi² and J. Farrokhi Toolir³

1. Researcher, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

2. Associate Professor, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

3. Assistant Professor, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

ABSTRACT

Damankeshan, B., Panahi, B. and Farrokhi Toolir, J. 2024. Effect of soil application of magnesium sulfate on fruit quantitative and quality characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati. *Seed and Plant*, 40, pp.363–386 (in Persian).

To investigate the effects of different magnesium sulfate on fruit quantitative and quality characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Mazafati, a field experiment was carried out using randomized complete block design with three replications in palm date orchard cv. Mazafati in Baravat district of Bam, Kerman province, in Iran, in two growing seasons (2022 and 2023). The experimental treatments were four levels (0, 250, 500, and 750 g tree⁻¹) of soil applied magnesium sulfate. The results showed that magnesium sulfate levels had significant effect on fruit yield, fruit diameter, seed length, total soluble solids (TSS), and leaf magnesium content. The 250 g level had the highest fruit yield and quality, while the 750 g level showed the highest leaf magnesium content. In conclusion, soil application of magnesium sulfate improved fruit yield, fruit quality and pomological traits. The results underlined the importance of magnesium role in improvement of productivity and fruit quality of date palm trees cv. Mazafati.

Keywords: Date palm, orchard, fruit diameter, pomological traits, fruit yield.

Introduction

In recent years, numerous studies have investigated the role of magnesium in improving plant growth, yield, and fruit quality. Tränkner *et al.* (2019) highlighted the importance of magnesium in biomass production and chlorophyll synthesis. Similarly, research by Assis (2024) emphasized the role of magnesium in enhancing plant tolerance to abiotic stresses. In most of these studies, the effects of soil-applied magnesium were examined (Zhang *et al.*, 2021). Unlike previous research, which mainly focused on other fruit crops, this study specifically assesses the effects of different levels of soil applied magnesium sulfate on the fruit quantitative and quality characteristics of date palm cv. Mazafati under the climatic conditions of Kerman province.

This study aimed to determine the optimum level of soil application of magnesium sulfate levels to improve fruit yield and quality traits of date palms cv. Mazafati in arid and semi-arid regions in Iran.

Materials and Methods

This research was carried out in two phases. First, the nutritional status of 15 cv. Mazafati date palm orchards in Kerman Province (Baravat, Bam, Shahdad, Fahraj, Rigan, Narmashir, Anduhjerd, and Chahar-Farsakh) was assessed. Leaf samples were analyzed for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. Data were processed in mean comparisons.

Second, the main field experiment was carried out in two growing seasons (2022 and 2023) in Baravat district, Bam, Kerman Province, in Iran, on 20-year-old date palm trees cv. Mazafati using randomized complete block design with three replications and four soil applied magnesium sulfate levles 0 (control), 250, 500, and 750 g MgSO₄ tree⁻¹. Routine orchard management practices were uniformly applied. At harvest, fruit yield tree⁻¹, fruit weight, fruit diameter, seed length, fruit flesh: seed ratio, and total soluble solids (TSS) were measured. Leaf Mg content was determined by complexometric titration. Combined analysis of variance and mean comparision LSD tests at the 5% probability level was performed using SPSS (Version 26) software.

Results and Discussion

The results showed that despite non-significant differences in nitrogen and phosphorus contents between the control and experimental date palm orchards, potassium and calcium levels were higher, while magnesium levels were lower in the experimental orchards compared to the control. In 85% of the leaf samples, leaf magnesium contents

were lower than normal thresholds, which could potentially reduce fruit yield and quality. The higher potassium contents likely inhibited magnesium uptake in the experimental orchard (Zhang *et al.*, 2021).

Soil application of 250 g magnesium sulfate tree⁻¹ resulted in the highest fruit yield (74.66 kg tree⁻¹) and fruit diameter (2.31 cm). This treatment also had the highest TSS content (66.33%). However, excessive magnesium sulfate application (500 and 750 g tree⁻¹) led to reduction in TSS, likely due to disturbances in cation balance and the uptake of other nutrient elements. Our findings are in consistent with the findings of Wang *et al.* (2021).

Therefore, balanced soil applied magnesium sulfate was effective in correcting nutrient deficiencies and improving fruit yield and quality characteristics of date palm cv. Mazafati.

References

Assis, V.C.S.S. 2024. Magnesium dynamics in the soil-plant system and its role in plant metabolism and nutrition: a review. *Scientific Electronic Archives*, 17(4), pp.1-10. DOI: 10.36560/17420241898

Tränkner, M. and Jaghdani, S.J. 2019. Minimum magnesium concentrations for photosynthetic efficiency in wheat and sunflower seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, pp.234-243. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.040

Wang, Z., Hassan, M.U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F. and Li, X. 2020. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 495191. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727

Zhang, S.W., Yang, W.H., Muneer, M.A., Ji, Z.J., Tong, L. and Zhang, X. 2021. Integrated use of lime with Mg fertilizer significantly improves the pomelo yield, quality, economic returns and soil physicochemical properties under acidic soil of southern China. *Scientia Horticulturae*, 290, 110502. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110502

*Corresponding author: damankeshan_2@yahoo.com

Tel.: +983432112391

Received: 04 August 2024

Accepted: 10 November 2024



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.