



Effects of Long-term Use of Saline Irrigation Water with $\text{Ca/Mg} < 1$ on Soil Chemical Properties and Ionic Composition of Fertile Pistachio Trees in Yazd Province

F. Dehghani, *  Gh. H. Ranjbar, M. Abooei and A. Dehghani

Assistant prof., Faculty member, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. dehghany47@gmail.com

Associate Prof., Faculty member, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. ranjbar71@gmail.com

Yazd Agricultural and Natural Resources Research Center, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. m.abooei2010@gmail.com

Yazd Province Agricultural Jihad Organization, Yazd, Iran. abf_dehghani@yahoo.com

Article Info	Abstract
Research Article	Calcium and magnesium are essential nutrients for plant growth due to their critical roles in cellular structure and physiological processes. They, however, exhibit different performances in soil solution, which turns Ca/Mg ratio into a key parameter for evaluating irrigation water quality and saturated soil extracts. In this study, the impacts of irrigation water with a calcium-to-magnesium (Ca/Mg) ratio of less than 1 were investigated on 15 fertile pistachio orchards to evaluate soil chemical properties as well as the uptake and distribution of these elements within plants. Results revealed that sodium, calcium, and magnesium served as dominant cations contributing to salinity in the water and soil samples examined. Moreover, variations in soil salinity at different depths were found to be directly associated with irrigation water salinity. Despite the presence of large amounts of lime in the soils tested, a positive correlation was observed between Ca/Mg ratios in both soil and irrigation water; however, no consistent relationship was identified between electrical conductivity (EC) of saturated soil extracts and Ca/Mg ratio of soil solutions, nor between electrical conductivity and Ca/Mg ratios of irrigation water. Leaf and root sample examinations demonstrated that, unlike magnesium concentrations, those of calcium were below the optimal threshold levels for pistachio leaves in all the cases tested. Indeed, leaves exhibited higher magnesium concentrations than did the roots. Additionally, an inverse relationship was identified between calcium and magnesium levels in pistachio roots. Moreover, increases in soil magnesium and calcium levels were observed to enhance leaf magnesium and root calcium, respectively. Foliar application of calcium-based fertilizers and soil amendment may be recommended for pistachio orchards with $\text{Ca/Mg} < 1$ in the irrigation water applied.
Received: April 26, 2025	
Accepted: October 13, 2025	
Keywords: Evaluation, Ionic Ratio, Saline water, Salinity	
Corresponding author's email: dehghany47@gmail.com	

Cite this article: Dehghani, F., Ranjbar, Gh. H., Abooei, M., and Dehghani, A., 2025. Effects of Long-term Use of Saline Irrigation Water with $\text{Ca/Mg} < 1$ on Soil Chemical Properties and Ionic Composition of Fertile Pistachio Trees in Yazd Province. *Journal of land Management*, 13(2), pp.161-174.



DOI: <https://doi.org/10.22092/lmj.2025.369234.386>



تأثیر استفاده درازمدت آب‌های شور با نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و ترکیب یونی درختان پسته بارور استان یزد

فرهاد دهقانی* , غلامحسین رنجبر، منیره ابویی و ابوالفضل دهقانی

استادیار و عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. dehghany47@gmail.com

دانشیار و عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ranjbar71@gmail.com

کارشناس ارشد مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

m.abooei2010@gmail.com

کارشناس معاونت آب و خاک، سازمان جهاد کشاورزی یزد، یزد، ایران. abf_dehghani@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	اگرچه نقش کلسیم و منیزیم در ساختار و فرآیندهای سلولی برای رشد و نمو گیاه ضروری شناخته شده، ولی عملکرد متفاوت آن‌ها در محلول خاک باعث شده تا نسبت این دو عنصر از پارامترهای مهم ارزیابی کیفیت آب آبیاری و عصاره اشباع خاک محسوب شود. در این راستا تحقیقی در ۱۵ باغ پسته بارور در استان یزد به منظور بررسی اثرات مصرف آب‌های آبیاری با $\frac{Ca}{Mg} < 1$ بر مشخصات شیمیایی خاک و همچنین جذب و توزیع این دو عنصر در گیاه انجام شد. نتایج نشان داد سدیم، کلسیم و منیزیم اصلی‌ترین کاتیون‌های موجود آورنده شوری در نمونه‌های آب‌و خاک مورد بررسی بوده و تغییرات شوری در عمق‌های خاک به شوری آب آبیاری بستگی داشت. همچنین علیرغم وجود مقادیر زیاد آهک در خاک، نسبت کلسیم به منیزیم خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با نسبت این دو عنصر در آب آبیاری داشت، ولی بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک و همچنین بین هدایت الکتریکی آب آبیاری و نسبت کلسیم به منیزیم آن روند مشخصی مشاهده نشد. تجزیه نمونه‌های برگ و ریشه درختان باغات مورد بررسی نشان داد که میزان کلسیم در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد بهینه پیشنهادی کلسیم در برگ پسته بود. بر خلاف کلسیم، میانگین غلظت منیزیم در برگ گیاه بیشتر از ریشه بود. همچنین بین میزان کلسیم و منیزیم در ریشه پسته رابطه عکس وجود داشت. افزایش میزان منیزیم و کلسیم خاک به ترتیب باعث افزایش منیزیم برگ و کلسیم ریشه گیاه گردید. پس علیرغم آهکی بودن خاک‌های مورد بررسی مدیریت تغذیه‌ای کلسیم و یا اصلاح خاک از نظر نسبت کلسیم به منیزیم عصاره اشباع، در باغات پسته تحت آبیاری با منابع آب دارای نسبت کلسیم به منیزیم کوچک‌تر از یک توصیه می‌گردد.
دریافت: ۱۴۰۴/۲/۶	
پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۲۱	
واژه‌های کلیدی:	
ارزیابی، آب شور، نسبت یونی	

آدرس ایمیل نویسنده مسئول:
dehghany47@gmail.com

استناد: دهقانی، فرهاد، رنجبر، غلامحسین، ابویی، منیره، و دهقانی، ابوالفضل، ۱۴۰۴. تأثیر استفاده درازمدت آب‌های شور با نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و ترکیب یونی درختان پسته بارور استان یزد. نشریه مدیریت اراضی، ۱۳ (۲)، صص ۱۶۱-۱۷۴.



مقدمه

افزایش شوری همراه با به هم خوردن نسبت‌های یونی در آب آبیاری عامل مشکلات فراوانی در کاهش کیفیت خاک و تولیدات کشاورزی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری و محلول خاک مانند SAR از جمله این نسبت‌ها است که در ارزیابی‌های کیفی خاک و آب باید مورد توجه قرار گیرد، این موضوع علیرغم فرض اولیه تشابه اثر کلسیم و منیزیم بر خصوصیات شیمیایی خاک است. کیفیت آب آبیاری بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (فاز جامد و محلول) و کیفیت زه‌آب مؤثر است به‌علاوه تغییرات بوجود آمده در خصوصیات شیمیایی خاک می‌تواند بر عملکرد گیاه مؤثر باشد. واکنش‌های تبادل یونی، انحلال و رسوب (خصوصاً در ارتباط با کربنات‌ها و گچ در مناطق خشک و نیمه‌خشک) جذب سطحی یون‌ها، تغییر در ساختمان کانی‌های ثانویه از جمله عواملی هستند که نوع و شدت این تغییرات را تعیین می‌کنند. بررسی داده‌های چهل ساله در منطقه کانال Arys در جنوب قزاقستان، کاهش کلسیم تبدلی از ۷۵ به ۵۷ درصد و افزایش منیزیم تبدلی از ۲۴ به ۴۲ درصد را نشان می‌دهد (Vyshpolsky et al., 2008). عوامل مؤثر در تشکیل خاک‌های منیزیمی در این منطقه مدیریت ضعیف آبیاری، و استفاده از آب‌های شور با غلظت منیزیم بالاتر از کلسیم عنوان شده است (Karimov et al., 2009). امروزه مطالعات زیادی نشان داده که در بسیاری از مناطق مهم از لحاظ تولید غذا در دنیا، وجود منابع آب‌و خاک غنی از منیزیم باعث ایجاد مشکل در شرایط شیمیایی خاک و در نهایت کاهش معنی‌دار عملکرد شده است (Qadir et al., 2018). ترکیب یونی محلول خاک مستقیماً بر ترکیب یونی فاز تبدلی تأثیر می‌گذارد. مطالعات صورت گرفته در دلتای نیل بر روی خاک‌های منیزیمی نشان داد که منیزیم تبدلی و نسبت منیزیم تبدلی به کلسیم تبدلی را می‌توان به‌خوبی با اندازه‌گیری این پارامترها در عصاره اشباع محدوده وسیعی از خاک‌ها با خواص و شوری متفاوت پیش‌بینی نمود (Abou El-Soud et al., 2016).

درک بهتر نقش منیزیم در رابطه با سایر یون‌ها در خاک می‌تواند به ارائه معیارهای مناسب‌تر برای قضاوت در مورد مناسب بودن آب‌های مختلف برای آبیاری ارائه دهد. پژوهش‌های مختلفی برای تعریف دقیق نقش یون‌های منیزیم در مقابل یون‌های سدیم تک‌ظرفیتی و کلسیم دو ظرفیتی در تأثیرگذاری بر ویژگی‌های خاک و در نتیجه ایجاد تغییرات مناسب در معیارهای رتبه‌بندی کیفیت آب انجام شده است. علاوه بر این کاهش نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک و آب آبیاری می‌تواند به کاهش دسترسی به برخی عناصر ضروری برای گیاه گردد (Qadir et al., 2018). بنابراین، وجود نسبت مناسبی از Ca^{2+} و Mg^{2+} به حفظ ساختمان خاک و در نتیجه عدم مشکل نفوذپذیری خاک کمک می‌نماید (Shammi et al., 2016).

بسیاری از پژوهش‌ها، نسبت $\frac{Ca}{Mg} > 1$ را برای آب آبیاری و محلول خاک مناسب می‌دانند و از این نسبت برای بررسی پتانسیل کمبود کلسیم در خاک استفاده می‌کنند (Rhoades, 1989). پژوهش‌های صورت گرفته به‌منظور بررسی اثر نسبت Ca:Mg بر رشد گیاه به سال ۱۹۰۱ باز می‌گردد، که در آن محدوده Ca:Mg مؤثر بر تولید، با کاربرد مقادیر مختلف کربنات‌های کلسیم و منیزیم بررسی شده است. نشان داده شده که در محلول‌هایی با پتانسیل اسمزی یکسان، کمترین علائم سمیت برگی مربوط به محلول دارای مقادیر متعادل عناصر غذایی است. در مقابل، میزان کلسیم اندام‌های گیاه در تیمارهای حاوی مقادیر زیاد منیزیم کاهش نشان داده است. یون منیزیم بیشترین تأثیر را روی رشد ریشه دارد، به‌طوری‌که در اثر زیادی منیزیم نسبت به کلسیم، توقف رشد ریشه مشاهده شده است. پایین‌ترین نسبت ریشه به ساقه هم در تیمار نمک‌های منیزیمی مشاهده شده است (Marcar and Termaat, 1990). رشد و عملکرد محصول در خاک‌های با منیزیم بالا و یا تحت آبیاری با آب‌های منیزیمی به علت مشکلات ناشی از زیادی منیزیم کاهش می‌یابد به‌صورتی که مصرف انواع منابع یون کلسیم علاوه بر بهبود شرایط فیزیکی خاک

استفاده از نسبت‌های متفاوت Na:Ca:Mg نشان داده است که در سطوح پائین شوری ($EC < 4.5 \text{ dS/m}$) ناشی از نمک سدیم، حتی افزایش وزن ماده خشک دیده می‌شود، درحالی‌که در هر سطح شوری با نسبت ۱:۱:۵ یون‌ها، کاهش عملکرد مشاهده می‌شود. نسبت‌های متفاوت یونی بر زنده ماندن نهال‌ها نیز به‌طور متفاوت اثر گذاشته‌اند به‌طوری‌که در محلول‌های دارای نسبت بالای منیزیم، بالاترین مرگ نهال گزارش شده است (Moein Rad, 2006). در یک آزمایش گلدانی دیگر اثر متقابل نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری و شوری بر مشخصات شیمیایی خاک و ترکیب یونی نهال پسته نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد در (Dehghani et al., 2023). بررسی این اثر بر روی میزان فسفر قابل دسترس، فسفر محلول در آب و فسفر کل نشان داد با کاهش این نسبت مقادیر فسفر محلول در آب افزایش یافته ولی در میزان فسفر برگ نهال پسته تفاوت معنی‌داری به وجود نمی‌آید (Saadat et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد، درصد و غیریکنواختی سبز شدن بذور کینوا به نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری واکنش نداشت، ولی افزایش میزان منیزیم سرعت سبز شدن بذور کینوا را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. هر چند نتایج نشان داد که وزن تر و خشک بوته در مرحله گلدهی تحت تأثیر معنی‌دار نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری قرار گرفته اما اثر بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات اندک صورت گرفته در خصوص اصلاح خاک‌های تحت تأثیر زیادی منیزیم نشان داد که مصرف کلسیم از منابع مختلف می‌تواند باعث بهبود وضعیت خاک و افزایش عملکرد شود (Vyshpolsky et al., 2010). هرچند برتری منابع مختلف کلسیم، میزان بهینه مصرف و مدیریت آن نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

گسترش شوری منابع آب در اثر تغییر اقلیم و محدودیت منابع آب مناسب و فراوانی آب‌های منیزی در برخی نقاط مهم کشاورزی دنیا و کشور و ضرورت استفاده مستمر از این آب‌ها خصوصاً در مناطقی که محل اصلی

و عملکرد در نهایت سود اقتصادی محصول را نیز به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد (Qadir et al., 2014).

اگرچه نسبت $\frac{Ca}{Mg}$ نقش مهمی در دسترس بودن برخی عناصر مورد نیاز گیاه مانند فسفر دارد (Ghafoor, 2011; Saadat et al., 2020; Wadu et al., 2013). ولی نقش این دو عنصر به‌طور جداگانه در فرآیندهای سلولی گیاه غیر قابل انکار است. برای مثال گیاهان از Ca^{2+} برای استحکام دیواره‌های سلولی، خنثی کردن آنیون‌های واکوئلی و محافظت از استرس استفاده می‌کنند (Miedema et al., 2001). هر دویون Ca^{2+} و Mg^{2+} از خاک توسط ریشه‌های گیاه جذب و از طریق آوند چوبی به سمت بالا منتقل می‌شوند. ضمن این‌که در مقایسه با Ca^{2+} که تحرک کمتری در آوندهای آبکش دارد، Mg^{2+} در آوندهای آبکش بسیار متحرک‌تر است. مسیرها و انتقال‌دهنده‌های یونی مختلفی به انتقال بهتر Ca^{2+} و Mg^{2+} در غشای پلاسمایی و غشاهای درون سلولی کمک می‌کنند. هماهنگی فعالیت‌های این سامانه‌های انتقال در سطوح سلولی و کل گیاه، میزان انتقال نهایی Ca^{2+} و Mg^{2+} به داخل گیاه را کنترل می‌کند. موضوعی که به‌ویژه در مورد میزان جذب و انتقال Ca^{2+} به‌شدت تحت کنترل مراحل رشد و نمویی و محیطی است. بنابراین علی‌رغم نقش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متمایز این دو کاتیون، به نظر می‌رسد مقادیر جذب و انتقال آن در گیاه با هم مرتبط بوده و احتمالاً حداقل تا حدی توسط شبکه‌های سیگنالی موجود در گیاه تنظیم می‌شود (Tang and Luan, 2017). این موضوع در خاک‌هایی که دارای مقادیر بالای آهک می‌باشند می‌تواند اهمیت داشته باشد.

با توجه به متحمل بودن گیاه پسته به شوری و گسترش کشت و کار آن در مناطق مختلف دنیا، مطالعات زیادی درباره مقاومت به شوری ارقام پسته، مکانیسم‌های مقاومت به شوری و تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در اثر شوری صورت گرفته است (Momenpour, 2018; Akbari et al., 2020). مقایسه منابع مختلف شوری بر شاخص‌های رشد دو گونه پسته با

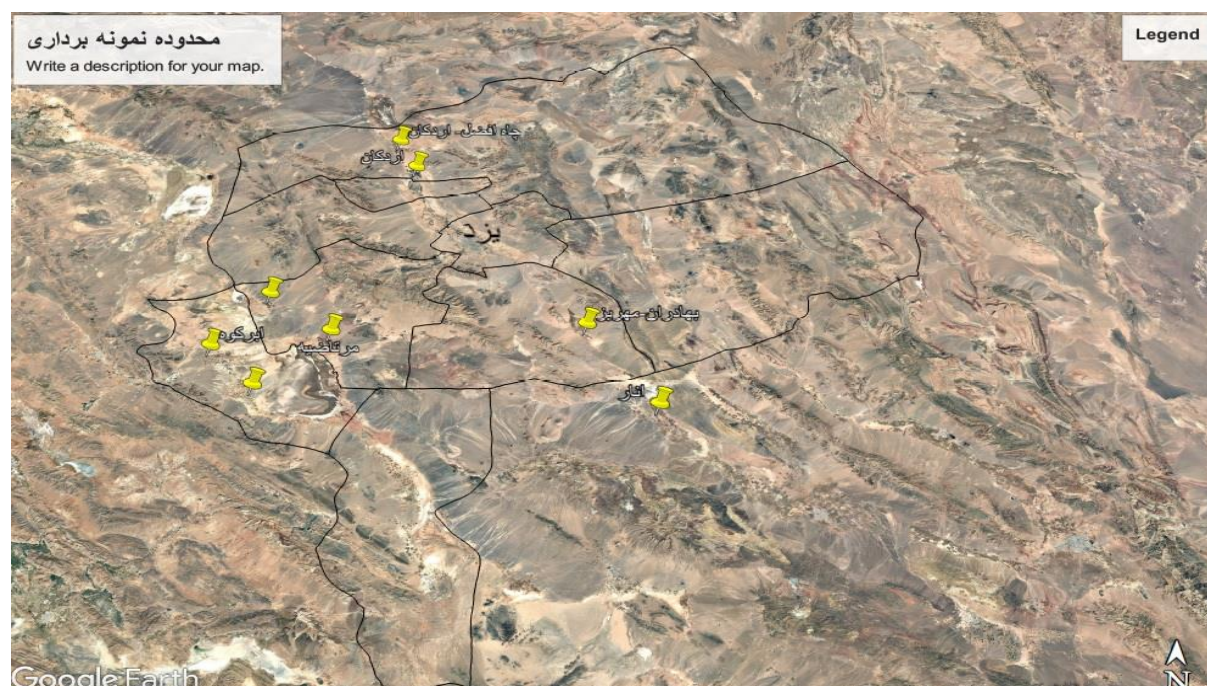
تولید پسته در کشور است، ارزیابی دو موضوع را در اولویت قرار داده است: یکی بررسی اثرات درازمدت استفاده از این آب‌ها بر شرایط شیمیایی خاک‌های آهکی و دیگری اثر غلظت بالای منیزیم محیط ریشه بر جذب و تجمع یون‌های مختلف در ریشه و برگ درختان بارور پسته تا در صورت بروز مشکلات تغذیه‌ای و کاهش عملکرد یا تخریب شیمیایی و فیزیکی خاک‌های این مناطق، استفاده از مواد اصلاح‌کننده مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی

مطالعات قبلی اهمیت نسبت کلسیم به منیزیم عصاره اشباع خاک و پراکندگی آن در منابع آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفته بود، همچنین در مطالعه دیگری اثر هم‌زمان شوری و نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری در دانهال پسته به‌عنوان یکی از محصولات مهم مناطق مرکزی کشور ارزیابی شد (Dehghani et al., 2023). همان‌گونه که ذکر شد هدف از این مطالعه بررسی اثرات نسبت‌های کلسیم به منیزیم بر میزان این نسبت در عصاره اشباع خاک و ترکیب یونی برگ و ریشه درختان بارور (حداقل پانزده‌ساله) پسته است. به همین منظور ابتدا با توجه به نتایج تجزیه آب‌های آبیاری موجود در سوابق آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، تعدادی منبع آب آبیاری مورد استفاده در باغات پسته مناطق مختلف استان که آب آبیاری آن‌ها دارای $\frac{Ca}{Mg} < 1$ بود، مورد ارزیابی مجدد قرار گرفتند. تنوع منابع آب آبیاری باغات از لحاظ شوری و دامنه وسیع نسبت $\frac{Ca}{Mg}$ در آن‌ها از معیارهای اصلی انتخاب بود. در نهایت نقاطی انتخاب شدند که در آن‌ها منبع آب باغات طی حداقل سه سال گذشته تغییر نکرده باشد، درختان بالغ و بارور بوده و نسبتاً یکنواخت باشند. با عنایت به شرایط فوق در نهایت

۱۵ باغ پسته انتخاب شد (تصویر ۱). همان‌گونه که ذکر شد باغات منتخب همگی حداقل در سه سال قبل از نمونه‌برداری با منابع آب ثابتی، آبیاری شده بودند و به همین دلیل شرایط شیمیایی محلول خاک و آب به تعادل نسبی رسیده بود. در این مناطق پسته‌کاری عمق ریشه‌های درختان بارور با توجه به نوع مدیریت آبیاری (دور آبیاری طولانی حداقل ۱۵ روز) و روش کاشت مرسوم، زیاد است. ریشه فعال معمولاً در عمق بیش از ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتری قرار می‌گیرد، به همین علت نمونه‌برداری خاک در هر باغ از دو عمق ۴۰-۰ و ۸۰-۴۰ سانتی‌متری که شامل عمق ریشه فعال نیز باشد، به عمل آمد. در نمونه‌های مختلف خاک جمع‌آوری‌شده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری با روش‌های مندرج در نشریات شماره ۱۰۲۴ و ۸۹۳ موسسه تحقیقات خاک و آب مورد تجزیه قرار گرفت. هم‌زمان نمونه‌های آب آبیاری نیز مجدداً تهیه‌شده و از نظر میزان هدایت الکتریکی، اسیدیته و غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، کربنات، بیکربنات و کلر مورد ارزیابی قرار گرفتند. (علی‌احیائی، ۱۳۷۶، علی‌احیائی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲)

در اواخر خردادماه نمونه‌هایی از ریشه‌های جوان مربوط به سال جاری و نمونه‌های برگ تهیه گردید. نمونه‌های برگ بالغ از شاخه‌های سال جاری و در ارتفاع حدود دو متری تهیه شد. دقت شد که نمونه‌ها در باغات دارای ارقام مختلف از یک رقم خاص برداشته شود. در این نمونه‌ها نیز نسبت کلسیم به منیزیم و میزان سدیم اندازه‌گیری و بررسی شد. رابطه مقادیر اندازه‌گیری‌شده با برخی پارامترهای خاک و تأثیر عمق نمونه‌برداری بر این روابط نیز ارزیابی و تجزیه و تحلیل گردید. عناصر غذایی برگ درختان پسته نیز بر اساس روش‌های مندرج در نشریه فنی شماره ۹۸۲ موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵).



شکل ۱- پراکندگی نقاط نمونه برداری
Figure 1- Scatter of sampling points

یافته‌ها

الف- ویژگی‌های شیمیایی خاک و آب آبیاری

همان‌گونه که ذکر شد کلیه باغات انتخابی حداقل به مدت سه سال با آب‌های آبیاری با مشخصات مندرج در جدول ۱ آبیاری شده بودند؛ بنابراین می‌توان ادعا نمود که خاک و آب از لحاظ شیمیایی به یک تعادل نسبی رسیده‌اند. شوری نمونه‌های آب آبیاری به‌جز یک نمونه که ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (غیر شور) بین ۴/۲ تا حداکثر ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر قرار داشت. حداقل شوری خاک سطحی در نمونه‌ها ۱/۳ و در خاک عمقی ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر و حداکثر آن در همین عمق‌ها به ترتیب ۳۶ و ۳۴ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲). با توجه به مقادیر انحراف معیار اشاره‌شده در جدول ۱ داده‌های مربوط به شوری، اسیدیته، نسبت کلسیم به منیزیم، بی‌کربنات و نسبت جذب سدیم نزدیک به میانگین و پراکندگی کمتر داشتند. بیشترین پراکندگی داده‌ها از میانگین نمونه مربوط به مقادیر سدیم و کلر بود.

نتایج همچنین نشان داد که اولاً تغییرات شوری در عمق‌های مورد مطالعه خاک به میزان شوری آب آبیاری وابسته بود و ثانیاً نسبت شوری خاک و آب در هر دو عمق

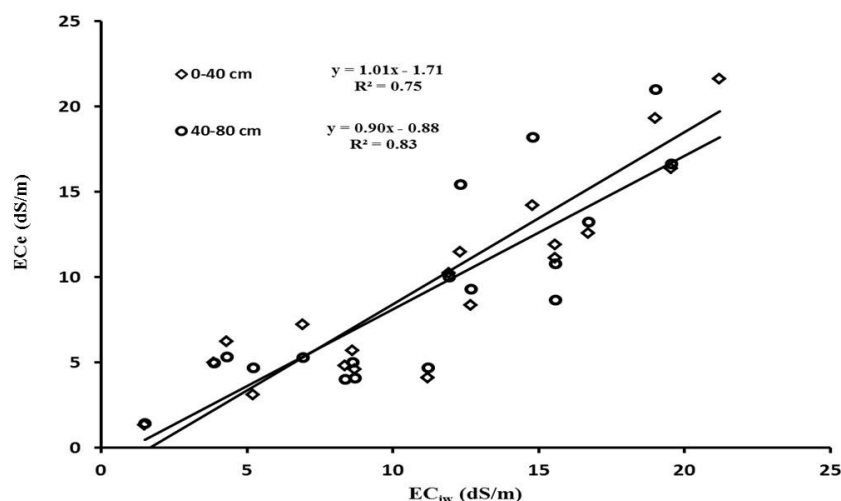
نزدیک به یک است که نشان‌دهنده جزء آبشویی بالا در منطقه است (شکل ۱). نتایج مشابهی توسط ژانگ و همکاران در یک مطالعه بلندمدت بر روی مزرعه پنبه آبیاری شوری با تیمارهای مختلف آب شور در دو عمق ۰-۳۰ و ۰-۱۰۰ سانتی‌متری خاک گزارش شده است (Zhang et al, 2024). لرمحمد حسنی و همکاران (۱۴۰۳) نیز گزارش کردند که تغییرات شوری عصاره اشباع خاک کاملاً با میزان شوری و حجم آب آبیاری کاربردی وابسته است؛ به عبارت دیگر عدم تخصیص کسر آبشویی در شرایط شور باعث افزایش شوری خاک در درازمدت می‌گردد (Ayers et al., 1993).

با توجه به جدول ۲ مقدار نسبتاً پائین سدیم تبدلی و سایر شرایط شیمیایی خاک باعث شده تا متوسط اسیدیته خاک کمتر از ۷/۴ باشد، موضوعی که نشان می‌دهد در نمونه‌های مورد بررسی pH تحت کنترل آهک خاک است. البته وجود مقادیر مختلف گچ در برخی نمونه‌ها نیز باعث کاهش اسیدیته و متعادل شدن آن شده است (جدول ۲). نتایج مندرج در این جدول نشان می‌دهد خاک‌های مورد مطالعه به‌طور میانگین دارای ۲۵ درصد مواد خثی شونده با اسید (TNV) بوده و این میزان حتی به بیش از

۴۰ درصد نیز رسیده است از طرف دیگر با توجه به پیچیدگی‌های موجود در جذب و انتقال یون کلسیم توسط گیاه در مناطق گرم و خشک، حضور این میزان ترکیبات کلسیم‌دار نمی‌تواند به معنی کفایت کلسیم مورد نیاز گیاه یا حتی بالا بودن نسبت $\frac{Ca}{Ma}$ در عصاره اشباع خاک باشد.

Table 1 -Statistical summary of the analysis results of water samples in selected orchards

SAR	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	EC	
نسبت جذب سدیم	سولفات	بیکربنات	کلر	کلسیم	منیزیم	سدیم	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی	
meq/l								dS/m	
5.56	4.0	1.9	8.5	2.6	3	9.3	6.7	1.49	Min حداقل
36.9	139	14.7	403	122	84.6	337	8	34.5	Max حداکثر
18.9	41.7	5.02	111.2	25.7	32.1	100.1	7.35	13.2	Mean میانگین
8.1	29.3	3.51	90.1	29/5	21	73.1	0.35	7.72	CV انحراف معیار

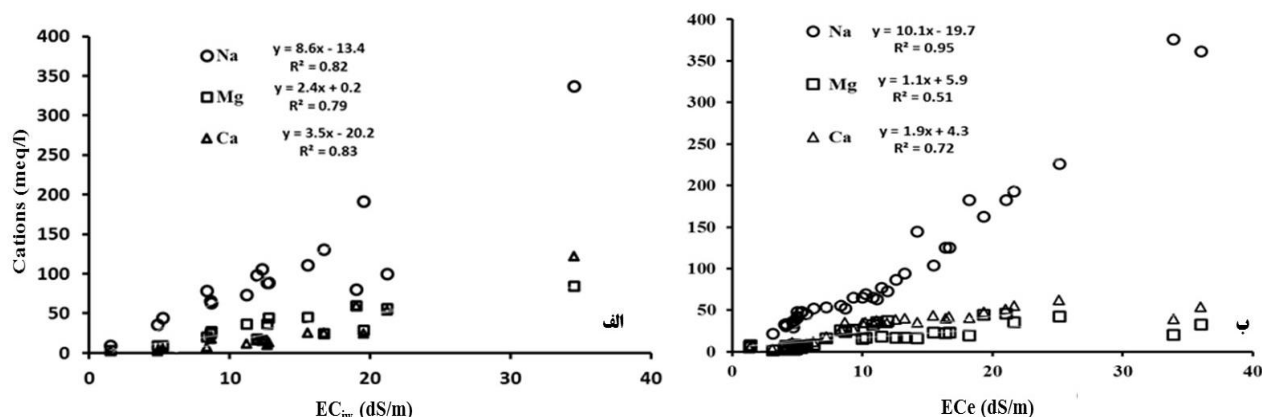


شکل ۱- رابطه بین هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) و عصاره اشباع (EC_e) در عمق‌های ۰-۴۰ و ۴۰-۸۰ سانتی‌متری خاک

Figure 1-Relationship between electrical conductivity of irrigation water (EC_{iw}) and saturated extract (EC_e) at 0-40 and 40-80 cm soil depths

Table 2- Summary of statistical parameters of chemical analysis of soil irrigated with selected waters (surface and depth)

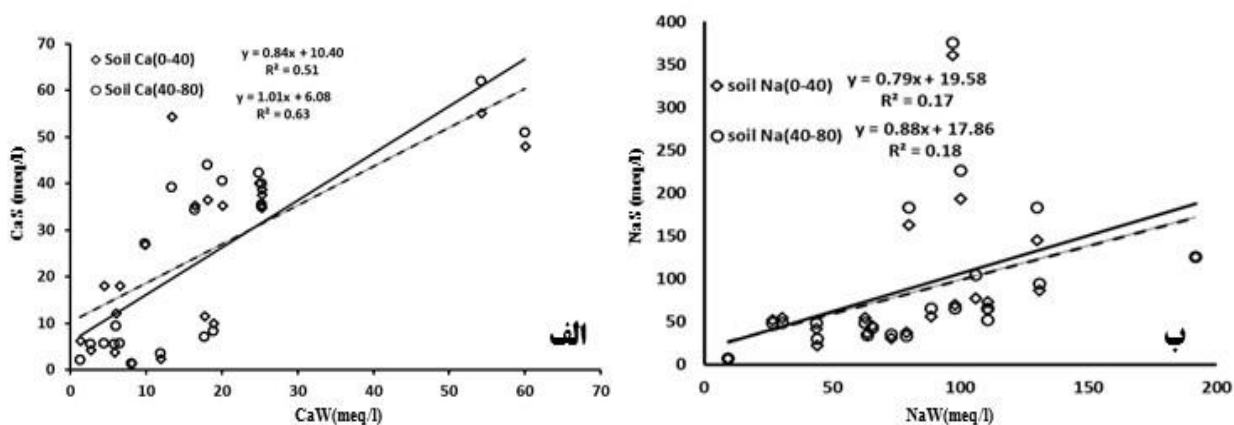
Surface and depth											
TNV	ESP*	SAR	SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	EC	عمق
معادل آهک	درصد سدیم تبادلی	نسبت جذب سدیم	سولفات	بیکربنات	کلر	کلسیم	منیزیم	سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	Depth
%	meq/l								dS/m	cm	
24.1	24.7	24.8	1.3	3.8	66.5	25.6	18.8	87	7.6	10.8	40-0
25.4	26.6	27.9	1.4	3.1	73.7	25.0	17.1	93.3	7.7	11.1	80-40
7.3	9.8	14.1	0.59	1.75	53.7	18.1	12.6	80.8	0.29	8.1	40-0
8.0	11.1	17.3	0.59	1.2	68.4	19.4	12.9	88.7	0.33	8.4	80-40



شکل ۲- رابطه بین الف) هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) و ب) عصاره اشباع خاک (EC_e) با غلظت کاتیون‌های Na و Ca، Mg
Figure 2- Relationship between a) Electrical conductivity of irrigation water (EC_{iw}) and b) saturated soil extract (EC_e) with Mg, Ca and Na cations concentration

کاتیون‌های محلول خاک نیز مانند شوری تابعی از میزان ورود این کاتیون‌ها به خاک توسط آب آبیاری است (لرمحمد حسنی و همکاران، ۱۴۰۳). حسین و همکاران نیز گزارش کردند که سهم کاتیون‌هایی مانند سدیم، کلسیم و منیزیم در محلول خاک با کاربرد آب شور بسیار بیشتر از آنیون‌هایی مانند کربنات و بیکربنات است (Hussain et al., 2016).

بین میزان سدیم و کلسیم آب آبیاری و مقادیر این کاتیون‌ها در عمق‌های مختلف خاک رابطه وجود داشت (شکل ۳). هر چند این ارتباط در مورد یون کلسیم معنی‌دارتر بود. این موضوع می‌تواند بدین علت باشد که انحلال بیشتر نمک‌های سدیمی نسبت به سایر کاتیون‌ها و حرکت آن در پروفیل خاک همراه با آب آبیاری باعث تجمع کمتر آن در خاک می‌گردد؛ به عبارت دیگر غلظت



شکل ۳- روابط بین الف) میزان کلسیم آب آبیاری (CaW) با کلسیم عصاره اشباع (CaS) و ب) میزان سدیم آب آبیاری (NaW) و سدیم عصاره اشباع (NaS) در عمق‌های ۰-۴۰ و ۴۰-۸۰ سانتی‌متری خاک

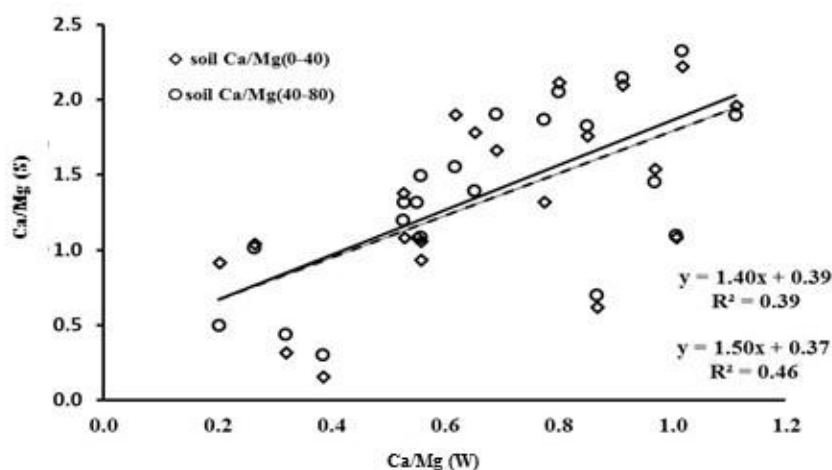
Figure 3- Relationships between a) calcium content of irrigation water (CaW) and calcium of saturated extract (CaS) and b) sodium content of irrigation water (NaW) and sodium of saturated extract (NaS) at 0-40 and 40-80 cm soil depths

که نسبت کلسیم به منیزیم عصاره اشباع خاک مستقیماً تحت تأثیر این نسبت در آب آبیاری قرار می‌گیرد البته به دلیل تفاوت حلالیت ترکیبات منیزیمی نسبت به کلسیم در

بر اساس نتایج بدست آمده نسبت کلسیم به منیزیم در خاک همبستگی مثبتی با نسبت این دو عنصر در آب ورودی داشت (شکل ۴). این موضوع بدین معنی است

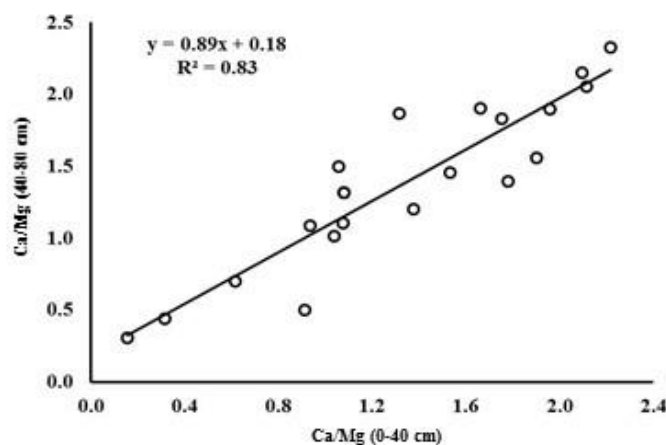
از مقدار آن در آب آبیاری باشد. این همبستگی معنی‌دار بین میزان یون‌های سدیم و کلسیم عصاره اشباع در دو عمق نمونه‌برداری وجود داشت (شکل ۶). هرچند با توجه به حلالیت بالای ترکیبات سدیمی موجود در خاک، بالاترین همبستگی مربوط به این عنصر بود (شکل ۶-ب).

خاک و در نتیجه تفاوت الگوی حرکتی آن‌ها در پروفیل خاک، این نسبت در محلول خاک دست‌خوش تغییراتی شده و میزان همبستگی کاهش پیدا می‌کند. نسبت کلسیم به منیزیم در هر دو عمق خاک رابطه مستقیم و معنی‌داری داشت و از همبستگی خوبی برخوردار بودند (شکل ۵) که دلیل آن می‌تواند متأثر شدن این نسب در هر دو عمق خاک



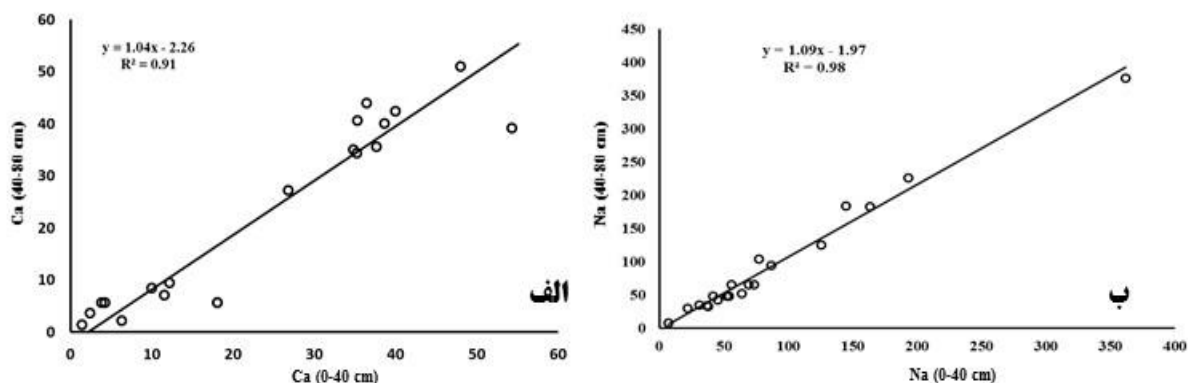
شکل ۴- رابطه بین نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری (Ca/Mg W) و عصاره اشباع خاک (Ca/Mg S) در عمق‌های ۴۰-۰ و ۸۰-۴۰ سانتی‌متری خاک

Figure 4- Relationship between calcium to magnesium ratio of irrigation water (Ca/Mg W) and saturated soil extract (Ca/Mg S) at soil depths of 0-40 and 40-80 cm



شکل ۵- ارتباط بین کلسیم به منیزیم عصاره اشباع در عمق‌های ۴۰-۰ و ۸۰-۴۰ سانتی‌متری خاک

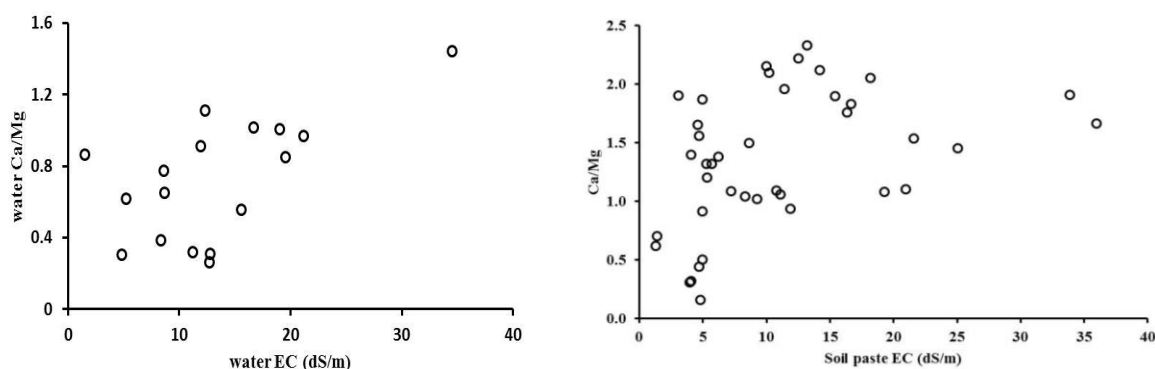
Figure 5- Relationship between calcium and magnesium in saturated extract at 0-40 and 40-80 cm soil depths



شکل ۶- ارتباط بین الف) میزان کلسیم و ب) میزان سدیم در عصاره اشباع عمق‌های ۰-۴۰ و ۴۰-۸۰ سانتی‌متری خاک
Figure 6- Relationship between a) calcium content and b) sodium content in saturated extracts of 0-40 and 40-80 cm soil depths

این بدین معنی است که نمونه‌های آب با شوری‌های متفاوت می‌تواند مقادیر متفاوتی از نسبت این دو عنصر را دارا باشند و از روی میزان شوری نمی‌توان نسبت کلسیم به منیزیم را پیش‌بینی کرد.

شکل ۷ رابطه بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک و آب آبیاری را نشان می‌دهد هرچند برعکس رابطه شوری با یون‌های اصلی در این رابطه روند مشخصی مشاهده نشد.



شکل ۷- ارتباط بین میزان هدایت الکتریکی آب آبیاری الف) و عصاره اشباع خاک ب) با نسبت کلسیم به منیزیم آن‌ها
Figure 7- The relationship between the electrical conductivity of irrigation water (a) and saturated soil extract (b) with their calcium to magnesium ratio

مختلف از ۰/۵ تا ۰/۸ درصد ارائه شده که در نمونه‌های مورد بررسی مقادیر در محدوده این غلظت و کمی کمتر از آن است. میانگین غلظت Ca^{2+} در ریشه نزدیک به درصد آن در برگ و حتی کمی بیشتر است (۰/۸۷ درصد در مقابل ۰/۸۱). در حالیکه این موضوع در مورد Mg^{2+} حالت معکوس دارد (۰/۳۳ درصد در ریشه در مقابل ۰/۴۹ در برگ) که این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در تحرک این دو عنصر در گیاه باشد. به‌طوری‌که Mg^{2+} با آزادی عمل

ترکیب یونی گیاه

نتایج تجزیه نمونه‌های برگ و ریشه درختان باغات مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد میزان کلسیم در تمامی نمونه‌های کمتر از دو درصد است. مقایسه این اعداد با حد بهینه Ca برگ پسته ارائه شده در منابع مختلف (بیش از ۱/۵ تا ۲ درصد) حاکی از کمبود آن است (Hokmabadi et al., 2005). از طرف دیگر حد بهینه Mg^{2+} برگ پسته در مناطق

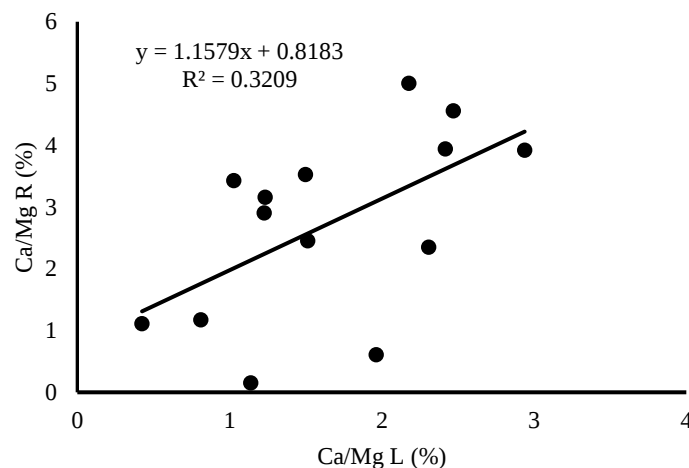
بسیار بیشتری حرکت کرده و به برگ منتقل می‌شود (جدول ۳). ارتباط نسبتاً کم $\frac{Ca}{Mg}$ برگ و ریشه نیز این موضوع را به‌وضوح نشان می‌دهد (شکل ۸).

بر اساس نتایج به دست آمده بین میزان کلسیم و منیزیم در ریشه پسته رابطه عکس وجود داشت (شکل ۹-الف). این رابطه عکس می‌تواند به دلیل رابطه آنتاگونیستی این دو عنصر در مراحل جذب باشد. این در حالی بود که

بین میزان‌های کلسیم و منیزیم در برگ گیاه رابطه مستقیم وجود داشت (شکل ۹-ب). انتقال این دو عنصر از مکانیزم‌های متفاوتی تبعیت کرده و منیزیم برعکس کلسیم در داخل گیاه دارای تحرک بیشتری است. با افزایش میزان‌های منیزیم و کلسیم خاک به ترتیب باعث افزایش منیزیم برگ و کلسیم ریشه گیاه گردید (شکل ۹-ج و ۹-د). ارتباط مشخصی بین میزان منیزیم و کلسیم عصاره اشباع خاک با مقدار این عناصر در ریشه پسته مشاهده نشد.

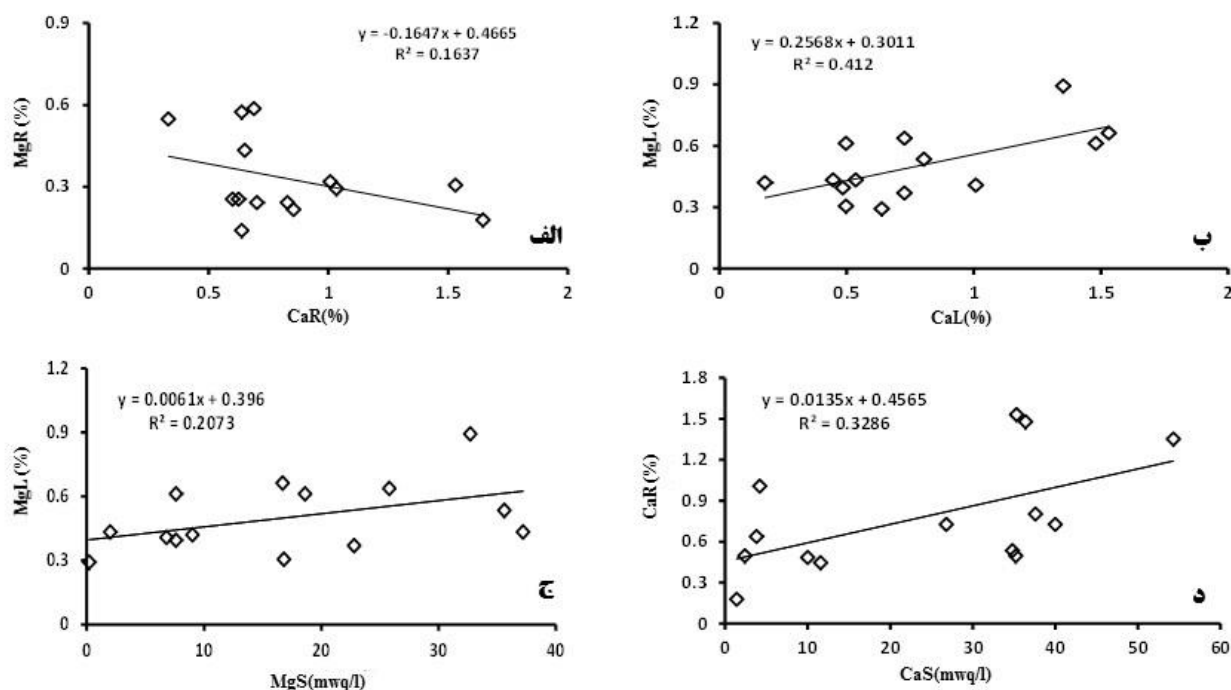
جدول ۳- مقادیر کلسیم و منیزیم برگ و ریشه درختان پسته

Table 3- Calcium and magnesium levels in the leaves and roots of pistachio trees				شماره نمونه
Mg منیزیم	Ca کلسیم	Mg منیزیم	Ca کلسیم	
% in Root / درصد در ریشه		% in Leaf / درصد در برگ		
0.293	1.033	0.536	0.804	1
0.434	0.065	0.683	0.727	2
0.319	1.008	0.434	0.536	3
0.587	0.689	0.612	0.497	4
0.574	0.638	0.421	0.179	5
0.306	1.531	0.293	0.638	6
0.548	0.332	0.370	0.727	7
0.179	1.645	0.306	0.497	8
0.217	0.855	0.612	1.480	9
0.140	0.638	0.408	1.008	10
0.319	1.25	0.421	1.237	11
0.242	0.829	0.434	0.446	12
0.242	0.702	0.395	0.485	13
0.255	0.599	0.663	1.531	14
0.255	0.625	0.893	1.352	15
0.327	0.867	0.495	0.810	Mean میانگین



شکل ۸- رابطه بین نسبت کلسیم به منیزیم برگ (Ca/Mg L) و ریشه (Ca/Mg R) درخت پسته

Figure 8- Relationship between calcium to magnesium ratio in leaves (Ca/Mg L) and roots (Ca/Mg R) of pistachio tree



شکل ۹- روابط رگرسیونی بین میزان‌های الف) کلسیم و منیزیم ریشه و ب) کلسیم و منیزیم برگ پسته و ج) منیزیم برگ و منیزیم عصاره اشباع خاک و د) میزان کلسیم ریشه و کلسیم عصاره اشباع خاک

Figure 9- Regression relationships between the levels of a) root calcium and magnesium, b) pistachio leaf calcium and magnesium, c) leaf magnesium and soil saturated extract magnesium, and d) root calcium and soil saturated extract calcium

دو عنصر کلسیم و منیزیم و نسبت آن‌ها از جهات

مختلف در رشد و عملکرد محصول اهمیت داشته و با عنایت به اثر مستقیم نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری بر میزان آن در عصاره اشباع خاک، فاز تبادلی خاک و نهایتاً اندام‌های گیاهی (Girdhar and Yadav, 1982) باید در تفسیر نتایج آزمون آب‌وخاک مورد توجه قرار گیرند. نکته مهم دیگر اینکه همان‌گونه که نتایج این تحقیق (شکل ۷) و برخی از منابع دیگر نشان داد بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و آب آبیاری با نسبت کلسیم به منیزیم ارتباط معنی‌داری وجود ندارد، یعنی نمونه‌های آب با شوری یکسان می‌تواند مقادیر متفاوتی از نسبت این دو عنصر را دارا باشد و در نتیجه مدیریت متفاوتی را باید برای استفاده درازمدت آن‌ها در نظر گرفت. این نوع ارتباط در مطالعه دیگری که داده‌های زیادی از منابع آب یازده استان کشور را در بر می‌گرفت نیز نشان داده شده بود (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۱).

بحث

همان‌طور که نشان داده شد میانگین شوری عصاره اشباع خاک (شوری خاک) در هر دو عمق از میانگین شوری آب آبیاری کمتر بود. آبیاری سنگین در باغات پسته با توجه به شوری منابع آب، زیاد بودن فواصل آبیاری و در نتیجه نیاز به اعمال آبشویی در هر نوبت آبیاری، مرسوم است که باعث کاهش راندمان آبیاری و افزایش کسر آبشویی در منطقه شده است. به صورت یک قانون کلی هدایت الکتریکی محلول عصاره اشباع خاک (ECe)، n برابر هدایت الکتریکی آب آبیاری (ECiw) است (Ayers and Westcot, 1985). ضریب n در واقع بیانگر نوع مدیریت آبیاری انجام شده است؛ بنابراین در شرایط فاریاب و با کسر آبشویی ۴۰ تا ۸۰ درصد، مقدار عددی n می‌تواند به ترتیب بین ۰/۹ تا ۰/۶ متفاوت باشد که در این حالت شوری عصاره اشباع خاک کمتر از شوری آب آبیاری است.

از طرف دیگر علیرغم وجود مقادیر زیاد آهک در خاک‌های مورد بررسی، مصرف آب آبیاری با نسبت کلسیم به منیزیم پائین در طولانی‌مدت باعث کاهش این نسبت در فاز محلول خاک شده و به همین ترتیب بر جذب این دو عنصر به گیاه نیز تأثیر داشته است به صورتی که مصرف کلسیم ضروری خواهد بود (Karajeh, 2008). مقایسه میزان کلسیم نمونه‌های برگ در این آزمایش با حد بهینه Ca برگ پسته ارائه‌شده در منابع مختلف (بیش از ۱/۵ تا ۲ درصد)، حاکی از کمبود آن در گیاه علیرغم آهکی بودن خاک است (Hokmabadi et al., 2005; Robinson and Zhang, 2018). از طرف دیگر حد بهینه Mg^{2+} برگ پسته در مناطق مختلف از ۰/۵ تا ۰/۸ درصد بیان شده که در نمونه‌های مورد بررسی مقادیر در محدوده این غلظت و کمی کمتر از آن است. نسبت کلسیم به منیزیم در محیط ریشه علاوه بر کیفیت آب آبیاری به ترکیب شیمیایی فاز جامد خاک و وجود انواع کانی‌های کلسیم و منیزیم‌دار بستگی دارد. بنابراین پیش‌بینی این نسبت در عصاره اشباع و یا فاز تبادلی با توجه به سایر پارامترهای خاک سخت خواهد بود (Dehghani et al., 2023).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که:

اندازه‌گیری شوری آب آبیاری نمی‌تواند اطلاعات کاملی در خصوص نسبت یون‌های موجود در آن خصوصاً نسبت کلسیم به منیزیم را ارائه کند. بنابراین در تفسیر نتایج تجزیه آب آبیاری باید به دو نسبت مهم SAR و $\frac{Ca}{Mg}$ توجه نمود.

پیش‌بینی این نسبت در عصاره اشباع خاک از روی میزان هدایت الکتریکی آن امکان‌پذیر نبوده و علیرغم حضور آهک در خاک‌های تحت کشت پسته، اندازه‌گیری و بررسی این میزان توصیه می‌شود.

کوچک بودن نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری در نهایت و بعد از تعادل بین آب و خاک منجر به کاهش این نسبت در عصاره اشباع و به طبع آن فاز تبادلی خواهد شد که می‌تواند در تعادل تغذیه‌ای گیاه مؤثر باشد.

درصدهای پائین Ca^{2+} در نمونه‌های برگ کلیه باغات پسته مورد بررسی، نشانگر عدم مدیریت صحیح این عنصر در شرایط فوق است. به‌طوری‌که در این شرایط اگرچه زیاده Mg^{2+} در ریشه و برگ مشاهده نشد ولی کمبود Ca^{2+} می‌تواند بر عملکرد درخت تأثیر منفی داشته باشد. در این شرایط نیاز به تأمین کلسیم طریق محلول‌پاشی (کودهای کلسیمی) و یا اصلاح شرایط شیمیایی خاک (مصرف اصلاح‌کننده‌هایی مانند گچ) وجود دارد.

با توجه به نتایج بدست‌آمده و سایر منابع موجود پیشنهادها زیر ارائه می‌گردد:

طراحی و تکمیل آزمایش‌های مرتبط با ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم در فاز تبادلی خاک‌های آهکی و گچی

انجام آزمایش‌های تعیین ضرایب تبادل کلسیم و منیزیم در خاک‌های مختلف

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

Reference

1. Abou El-Soud, M.A., Gazia, E.A. E, Amer, M.M. and Aboelsoud, H.M. 2016. The Relationship Between The Soluble And Exchangeable Magnesium In Nile Delta Soils. *International Journal of Advanced Research*. Vol.4(8),pp.1755-1761. Doi:10.21474/IJAR01/1388
2. Akbari, M., Katam, R., Husain, R., Farajpour, M., Mazzuca, S., and Mahna, N. 2020. Sodium Chloride Induced Stress Responses of Antioxidative Activities in Leaves and Roots of Pistachio Rootstock. *Biomolecules*, 10(2),pp. 189. doi:10.3390/biom10020189
3. Ali Ehyaei, M. 1997. Description of soil chemical analysis methods (Volume 2). No. 1024. *Soil and Water Research Institute Publications*. (in persian)

4. Ali Ehyaei, M. Behbahani Zadeh, A. A. 1993. Description of soil chemical analysis methods (Volume 1). No. 893. *Soil and Water Research Institute Publications*. (in persian)
5. Ayars, J.E., Hutmacher, R.B., Schoneman, R.A., Vail S. S., and Pflaum T. 1993. Long term use of saline water for irrigation. *Irrigation Science*, 14, pp.27–34.
doi: 10.1007/BF00195003
6. Chen, L., Li, C., Feng, Q., Wei, Y., Zhao, Y., Zhu, M. and Deo, R.C. 2019. Direct and indirect impacts of ionic components of saline water on irrigated soil chemical and microbial processes. *Catena*, 172, pp.581-589. **doi:10.1016/j.catena.2018.09.030**
7. Dehghani, F., Rahnemaie, R., Dalir, N., Saadat, S., and Zarebanadkouki, M. 2023. Interactive effect of salinity and Ca to Mg ratio of irrigation water on pistachio growth parameters and its ionic composition in a calcareous soil. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51(3), pp.432-450. **doi:10.1080/01140671.2021.2007958**
8. Dehghani, F., Malaki, P., Salehi, M., Saadat, S., and Bahrami H.A. 2022. Investigating the effect of different ratios of calcium to magnesium in irrigation water on growth characteristics and yield of grain quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14:4, pp.1105-1113.
doi:10.22077/escs.2020.3198.1817 (in persian)
9. Dehghani, F., Rahnemaie, R., Malakouti, M.J., and Saadat, S. 2012. Investigating Calcium to Magnesium Ratio Status in Some Irrigation Water in Iran. *Journal of water research in agriculture*. 26, pp.113-125.. **doi:10.22092/JWRA.2012.118956** (in persian)
10. Emami, A. 1996. Plant Analysis Methods (Volume 1). No. 982. *Soil and Water Research Institute Publications*.
11. Ghafoor, A.M.R. 2011. The role of magnesium in increasing of phosphorous fertilizer efficiency and wheat yield Mesopotamia. *Journal of Agriculture*, 39, pp.33-39.
Doi:10.33899/magrj.2011.30168
12. Girdhar, I. K and Yadav, J.S.P. 1982. Effect of different Mg/Ca ratios and electrolyte concentrations in irrigation water on the nutrient content of wheat crop. *Plant and Soil*, 65(1), pp.63-71.
13. Hussain, Z., Khattak, R.A., Irshad, M., Mahmood, Q. and An, P. 2016. Effect of saline irrigation water on the leachability of salts, growth and chemical composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) in saline-sodic soil supplemented with phosphorus and potassium. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(3), pp.604-620.
doi:10.4067/S0718-95162016005000031.
14. Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. *Environmental Geology*, 53, pp.365-374.
doi:10.1007/s00254-007-0652-7
15. Karimov, A., Qadir, M., Noble, A., Vyshpolsky, F., and Anzelm, K. 2009. Development of Magnesium-Dominant Soils Under Irrigated Agriculture in Southern Kazakhstan. *Pedospher*, 19(3), pp. 331-343. **doi:10.1016/S1002-0160(09)60124-7**
16. Lor Mohammad Hasani, M., Talebnejad, R., and Noshadi, M. 2024. Effect of Deficit Irrigation and Irrigation Water Salinity on soil Chemical Properties in Grain Maize Cultivation under Tape Drip Irrigation System. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 55(3), pp. 415-429. **doi:10.22059/IJSWR.2023.363923.669562** (in persian).
17. Miedema, H., Bothwell, J.H., Brownlee, C. and Davies, J.M. 2001. Calcium uptake by plant cells—channels and pumps acting in concert. *Trends in plant science*, 6(11), pp.514-519. **doi:10.1016/s1360-1385(01)02124-0**
18. Momenpour, A., and Imani, A., 2018. Evaluation of salinity tolerance in fourteen selected pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Advances in Horticultural Science*. 32, pp. 249-264. 10.13128/ahs-22261. **doi:10.13128/ahs-22261**
19. Qadir, M., Vyshpolsky, F., Mukhamedjanov, K., Bekbaev, U., Ibatullin, Saghi., Yuldashev, T., Noble, A., Karimov, A., Mirzabaev, A., and Aw-Hassan, A. 2014. Enhancing the Productivity of High-Magnesium Soil and Water Resources in Central Asia. In: Mueller, L., Saporov, A., Lischeid, G. (eds) *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*. Environmental Science and Engineering. *Springer*, Cham.

- doi:10.1007/978-3-319-01017-5_28
20. Qadir, M., Schubert, S., James, B., Oster, O., Garrison Sposito, C., Paramjit, D., Minhas, S., Cheraghi, S.A.M., Ghulam Murtaza, S., Alisher Mirzabaev, G., and Muhammad Saqib, H. 2018. High magnesium waters and soils: Emerging environmental and food. *Science of the Total Environment*, 642, pp.1108-1117. **Doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.090**
21. Rhoades, J.D. 1989. Intercepting, isolating and reusing drainage waters for irrigation to conserve water and protect water quality. *Agricultural Water Management*, 16, pp. 37-52. **doi:10.1016/0378-3774(89)90039-5**
22. Robinson, J.B. and Zhang, J. 2018. New working standards for leaf analysis of pistachio 'Sirora' in Australia. *Acta Hort.* 1219, pp. 85-92. **DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1219.15. doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1219.15**
23. Saadat, S., Dehghany, F., Rezaei, H., Esmaeelinejad, L., and Maleki, P. 2020. Effects of salinity and Ca:Mg ratio of irrigation water on pistachio seedlings phosphorus planted under greenhouse conditions. *Desert*, 25-1, pp. 25-32. **doi:10.22059/JDESERT.2020.78161**
24. Shammi, M., Karmakar, B., Rahman, M.M., Islam, M.S., Rahman, R. and Uddin, M.K. 2016. Assessment of salinity hazard of irrigation water quality in monsoon season of Batiaghata Upazila, Khulna District, Bangladesh and adaptation strategies. *Pollution*, 2/2, pp.183-197. **doi:10.7508/PJ.2016.02.007**
25. Tang, R.J. and Luan, S. 2017. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, pp.97-105. **doi:10.1016/j.pbi.2017.06.009**
26. Vyshpolsky, F., Mukhamedjanov, K., Bekbaev, U., Ibatullin, S., Yuldashev, T., Noble, A.D., Mirzabaev A., Aw-Hassan, A., and Qadir, M. 2010. Optimizing the rate and timing of phosphogypsum application to magnesium-affected soils for crop yield and water enhancement. *Agricultural Water Management*, 97, pp. 1277–1286. **doi:10.1016/j.agwat.2010.02.020**
27. Vyshpolsky, F., Qadir, M., Karimov, A., Mukhamedjanov, K., Bekbaev, U., Paroda, R., Aw-Hassan, A., and Karajeh, F. 2008. Enhancing the productivity of high-magnesium soil and water resources in Central Asia through the application of phosphogypsum. *Land Degradation and Development*, 19, pp. 45-56.
28. Wadu, M. M., Scott Kroeker, V.K.M., and Akinromi, O.O. 2013. Exchangeable Calcium/Magnesium Ratio Affects Phosphorus Behavior in Calcareous Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 77, pp. 2004-2012. **doi:10.2136/sssaj2012.0102**
29. Zhang, J., Wang, H., Feng, D., Cao, C., Zheng, C., Dang, H., Li, K., Gao, Y. and Sun, C. 2024. Evaluating the impacts of long-term saline water irrigation on soil salinity and cotton yield under plastic film mulching: A 15-year field study. *Agricultural Water Management*, 293, pp.108703. **doi:10.1016/j.agwat.2024.108703**