



Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research
(Soil and Water Sci.)

<https://srjournal.areeo.ir/>


Physiological and Nutritional Responses of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa on Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) in Mazandran Calcareous Soils of Mazandaran province

Ali Asadi kangarshahi ^{a*} , and Negin Akhlaghi Amiri ^a 

^a Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mazandaran, Iran.

Article Info

Article Type

Research Article

Received

September 20, 2025

Revised

December 12, 2025

Accepted

December 13, 2025

Published online

December 20, 2025

Keywords

Calcium carbonate,
citrus,
leaf yellowing (chlorosis),
nutrients,
rootstock.

*Corresponding author's email

kangarshahi@gmail.com

Extended Abstract

Background and Objectives: Some of the physical and chemical characteristics of the soils of Mazandaran Province, especially clay content from north to south and lime (calcium carbonate) content from west to east, exhibit the greatest variation (clay: 3–40% and lime: 0–45%). Based on research and field results, Swingle citrumelo (*Grapefruit* and *Trifoliate orange*) is recommended for low-lime soils; C-35 (*Ruby Blood orange* and *P. trifoliata*), Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. and *Poncirus trifoliata* L. Raf.), and Troyer citrange (*C. sinensis* and *P. trifoliata* L.) are suitable for low- to medium-lime soils with light texture. Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. *Gou Tou*) has relative tolerance to lime but shows chlorosis symptoms in high and very high-lime soils. Smooth Flat Seville (*Citrus* spp., hybrid of uncertain origin) is tolerant to soil lime but shows early deterioration in some soils. Therefore, for medium-, high-, and very high-lime soils of eastern Mazandaran, Sour Orange (*C. aurantium* L.) rootstock is the only desirable and available option for orchards, making it necessary to understand its response to the region's soils for field guidance and management. Establishing and re-establishing citrus orchards in the region's soils requires this knowledge. For this purpose, this study was conducted for the first time in the country to evaluate the nutritional and physiological responses of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa on Sour Orange rootstock in calcareous soils of eastern Mazandaran.

Methodology: According to the soil map and soil reports, seven soil samples were selected with different textures (sandy loam to clay) and calcium carbonate (2–45%). Thirty kilograms of soil from the selected soil samples were poured into plastic pots. Then, *Citrus unshiu* cv. Miyagawa seedlings on Sour Orange rootstock were planted in each soil. The experiment was conducted for two years in pots in a randomized complete block design with seven soils in four replications, totaling 28 pots. Plant responses included dry weight, chlorosis rate, fluorescence index (Fv/Fm), chlorophyll, and nutrient concentrations in leaves and roots. Finally, all the obtained data were analyzed using SPSS software, and the means of the studied parameters were compared using Duncan's multiple range test.

Results: The results of this study showed that the physical and chemical properties of the soil have a great influence on the nutritional and physiological responses of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa on Sour Orange rootstock. The results showed that the highest and lowest average dry weight of aerial parts and roots were obtained from soils with clay texture and total lime of 30% and sandy loam soils with lime of 40%, respectively. There was a significant difference in the chlorosis rate of the leaves of seedlings on this rootstock in different soils. The average concentrations of Fe, Mn, and Zn in the roots were 12.48, 6.14, and 3.19 times, respectively, higher than the average concentrations in the leaves. In general, among the essential elements, Mg and S had the highest and lowest translocation factors (TFs) from the root to the leaves, respectively, while active and total Fe showed the highest and lowest TFs, respectively. The P, S, Fe, Mn, Zn, and Cu translocation factors were less than one, indicating that these elements are less mobile and accumulate in the roots. The leaf chlorosis index of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa on Sour Orange rootstock in soils with low and high lime did not differ significantly. Additionally, increasing active lime did not have a significant effect on the concentration of active Fe or the chlorosis rate of seedlings on this rootstock.

Conclusion: According to the results of this study, Sour Orange rootstock is tolerant to soil lime, and lime is not a limiting factor for it. Therefore, it is recommended for calcareous soils of the eastern Mazandaran region, especially in soils with heavy texture and high lime content. However, its use in light-textured soils and in soils susceptible to manganese deficiency (where there is a possibility of manganese deficiency symptoms) is not recommended, because the results of this study showed that in these soils, its vegetative growth is severely reduced, and soil texture (especially light textures such as sandy loam) is one of the limiting factors for this rootstock.

Cite this article: Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., 2025. Physiological and Nutritional Responses of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa on Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) in Mazandran Calcareous Soils of Mazandaran province. *Journal of Soil Research*, 39 (3), pp 321-344.



DOI: [10.22092/IJSR.2025.370719.788](https://doi.org/10.22092/IJSR.2025.370719.788)

Publisher: Soil Science Society of Iran



پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو میاگوا (*Citrus unshiu* cv. Miyagawa) با پایه نارنج (*Citrus aurantium* L.) به خاک‌های آهکی در استان مازندران

علی اسدی کنگرشاهی^{۱*} و نگین اخلاقی امیری^۱

^۱ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مازندران، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پاسخ پایه نارنج (<i>C. aurantium</i> L.) به برخی خاک‌های آهکی شرق مازندران انجام شد. بدین منظور، آزمایشی به مدت دو سال در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت خاک با بافت متفاوت (از لوم شنی تا رسی) و دامنه کربنات کلسیم از ۲ تا ۴۵ درصد انجام شد. پاسخ‌های گیاهی شامل وزن خشک، شاخص درجه زردی، کلروفیل، شاخص فلورسنس کلروفیل، غلظت عناصر غذایی برگ و ریشه، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در خاک‌های با بافت رسی و لوم شنی مشاهده شد. نهال‌ها در خاک‌های مختلف، علائم زردبریگی نداشتند. میانگین غلظت آهن، منگنز و روی در ریشه‌ها به ترتیب ۱۲/۴۸، ۶/۱۴ و ۳/۱۹ برابر میانگین غلظت آن‌ها در برگ بود. به طور کلی، از بین عناصر پرمصرف، منیزیم و گوگرد به ترتیب بیشترین و کمترین راندمان انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند. از بین عناصر کم‌مصرف نیز آهن فعال و آهن کل به ترتیب بیشترین و کمترین راندمان انتقال را نشان دادند. شاخص زرد برگی نهال‌های انشو با پایه نارنج در خاک‌های با آهک کم و زیاد، تفاوت معنی‌داری نداشت. براساس نتایج این پژوهش، نارنج متحمل به آهک خاک است و آهک برای آن یک عامل محدود کننده نیست. در مقابل، بافت خاک (به ویژه بافت‌های سبک مانند لوم شنی) یکی از عوامل محدود کننده برای این پایه است.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹ واژه‌های کلیدی پایه، زرد برگی (کلروز)، عناصر غذایی، کربنات کلسیم، مرکبات * ایمیل نویسنده مسئول kangarshahi@gmail.com استناد: اسدی کنگرشاهی، ع، اخلاقی امیری، ن، ۱۴۰۴. پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه نارنج به خاک‌های آهکی. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش‌های خاک، (۳) ۳۹، ص ۳۲۱-۳۴۴.

DOI:10.22092/IJSR.2025.370719.788



مقدمه

کربنات کلسیم در بیش از ۳۰ درصد اراضی جهان وجود دارد (Loeppert et al., 1994). مقدار کربنات کلسیم خاک، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک است که در کاهش قابلیت استفاده آهن و شدت کلروز درختان میوه مؤثر است. اغلب خاک‌های ایران نیز آهکی هستند (Tehrani et al., 2011). در استان مازندران مقدار کربنات کلسیم خاک باغ‌های این منطقه از میانه به طرف شرق به تدریج افزایش می‌یابد، به طوری که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها در شرق ساری و نکا به بیش از ۴۰ درصد می‌رسد (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017). نارنج^۱ یکی از پایه‌هایی است که تحمل و سازگاری خوبی به خاک‌های آهکی دارد و به طور گسترده در حوضه مدیترانه استفاده می‌شود (Incesu et al., 2016). از طرفی، پایه غالب باغ‌های مرکبات مازندران نارنج است (Khoie, 1991). بیشتر ارقام مرکباتی که روی نارنج پیوند می‌شوند میوه‌های باکیفیت مناسب دارند اما این پایه حساس به بیماری ویروسی تریستیزا است (Cambra et al., 2000; Rahimian et al., 2000). در مقابل پایه‌های سه برگچه‌ای و هیبریدهای آن‌ها مانند پونسیروس، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی ۳۵، سونگل سیتروملو و ... نسبت به این بیماری متحمل هستند، اما این پایه‌ها معمولاً به آهک زیاد در خاک حساس هستند و احتمال کلروز در خاک‌های آهکی دارند (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2018; Continella et al., 2023). گزارش ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های مرکبات (پایه) به منظور تعیین تحمل نسبی به کلروز آهن ناشی از آهک نشان داده است که نارنج و کلتوپاترا ماندارین بیشترین تحمل به آهک خاک دارند، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج و سی ۳۵ تحمل متوسطی دارند و در مقابل سونگل سیتروملو، ولکامریانا و پونسیروس حساس به آهک خاک هستند (Incesu et al., 2016; Bowman and Joubert, 2020). ارزیابی چندین پایه برای نارنگی کلمانتین در کشور مصر نشان داده است که کاریزوسیترنج مناسب‌ترین پایه برای آن در خاک‌های اسیدی است در مقابل گوتو پایه مناسبی برای کلمانتین نیست (Hussain et al., 2013, 2023).

تحمل درختان مرکبات به آهک خاک و کلروز، بیشتر به پایه آن‌ها بستگی دارد. پایه‌های ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سی ۳۵، سونگل سیتروملو به صنعت مرکبات استان مازندران وارد شده‌اند و در این مناطق گسترش و ترویج شده‌اند. درحالی‌که

مطالعات انجام شده در منطقه و همچنین برخی گزارش‌های علمی نشان داده‌اند که این پایه‌ها در خاک‌های با آهک زیاد، اغلب دچار کلروز ناشی از آهک، کاهش رشد، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال می‌شوند (Asadi Kangarshahi, 2018; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017, 2020 & Louzada et al., 2008, 2022). نتایج پژوهشی در مورد پایه سیتروملو نشان داد که بین مقدار آهک فعال خاک و غلظت آهن فعال برگ، رابطه خطی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک غلظت آهن فعال برگ کاهش می‌یابد و این پایه حساس به خاک‌های آهکی گزارش شده است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017). نتایج پژوهشی درختان نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج نشان داد که این پایه در خاک‌های آهکی با بافت متوسط یا سنگین و آهک بیشتر از ۱۴ درصد یا آهک فعال بیشتر از ۵ درصد علائم زرد برگی نشان دادند اما در خاک‌های آهکی با بافت سبک، این پایه مقدار آهک کل بسیار بیشتری را نیز به خوبی تحمل می‌کند؛ بنابراین استفاده از این پایه در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین و آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد توصیه نمی‌شود؛ اما در خاک‌های با بافت سبک، استفاده از این پایه در خاک‌های با آهک ۴۰ درصد نیز امکان‌پذیر است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2022).

نتایج پژوهشی درختان نارنگی انشو با پایه گوتو نشان داد که این پایه نسبتاً متحمل به آهک خاک است و به باغداران توصیه می‌شود در خاک‌های آهکی (خاک‌های با آهک کم، متوسط و زیاد) از این پایه به عنوان پایه جایگزین برای نارنج در احداث باغ استفاده کنند. اما در خاک‌های آهکی (با آهک خیلی زیاد) و همچنین در خاک‌های مستعد کمبود منگنز (که احتمال ظهور علائم کمبود منگنز وجود دارد) استفاده از این پایه توصیه نمی‌شود (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2025). همچنین نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد پایه اسموت فلت سویل نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه اسموت فلت سویل به خوبی در خاک‌های آهکی رشد کردند و علائم کلروز در خاک‌های با آهک مختلف نداشتند. شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند این پایه متحمل به آهک خاک است و به باغداران توصیه می‌شود در خاک‌های آهکی (به ویژه خاک‌های با آهک متوسط و زیاد) از این پایه به عنوان پایه جایگزین برای نارنج در احداث باغ استفاده

^۱ Sour Orange

Asadi Kangarshahi and) ۴۵ درصد (صفر تا بیشتر از ۲۰۱۸). براساس نتایج پژوهشی و میدانی، سیتروملو برای خاک‌های با آهک کم، سیترنج‌ها (سی ۳۵)، کاریزو سیترنج، ترویرسیترنج برای خاک‌های با آهک کم تا متوسط با بافت سبک) توصیه می‌شوند. گوتو تحمل نسبی به آهک دارد و در خاک‌های با آهک زیاد و خیلی زیاد علائم کلروز دارد، اسموت فلت سویل متحمل به آهک خاک است اما در برخی خاک‌ها زوال زود هنگام دارد (در دست بررسی است) و این دو پایه به دلایلی هنوز مورد استقبال باغداران قرار نگرفته است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2025). بنابراین برای خاک‌های با آهک متوسط، زیاد و خیلی زیاد منطقه شرق مازندران، پایه نارنج تنها گزینه مطلوب و در دسترس باغداران است، لذا شناخت پاسخ آن به خاک‌های منطقه برای راهنمایی و مدیریت میدانی احداث و بازسازی باغ‌های مرکبات در خاک‌های منطقه ضروری است. بدین منظور این پژوهش برای ارزیابی پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک‌های آهکی منطقه شرق مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

با توجه به نقشه خاک، گزارش‌های خاکشناسی و همچنین مطالعات انجام‌شده در باغ‌های شرق مازندران، هفت نمونه خاک به‌گونه‌ای انتخاب گردید که دارای بافت متفاوت و دامنه وسیعی از کربنات کلسیم (از ۲ تا ۴۵ درصد) بودند و همچنین منطقه وسیعی از نظر جغرافیایی (نواحی عمده کشت مرکبات) در برداشتند. خاک‌های آزمایشی از باغ‌های مناطق مختلف شرق مازندران (بابل، قائم‌شهر، ساری و نکا) جمع‌آوری شدند و پس از خشک‌کردن در هوا، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (Bashour and Sayegh, 2007)، کربنات کلسیم فعال به روش تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم (Bashour and Sayegh, 2007)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، pH خاک در گل اشباع (McLean, 1982)، ماده آلی به روش والکلی- بلک (Nelson and Sommers, 1982)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (Schneider, 1997)، فسفر به روش اولسن و سامرز (Olsen, 1982 and Sommers)، منگنز، آهن و روی به روش عصاره-گیری با DTPA (Lindsay and Norvel, 1978) اندازه‌گیری شد. دامنه آهک معادل خاک‌ها از ۲ تا ۴۵ درصد، آهک فعال از صفر تا ۱۶ درصد، رس از ۱۳ تا ۴۱ درصد، سیلت از ۱۸ تا ۳۷

کند (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2022). برخی منابع نیز گزارش کرده‌اند که پایه‌های گوتو و اسموت فلت سویل متحمل به خاک‌های آهکی هستند و پاسخ آن‌ها مشابه نارنج گزارش شده است (Castle et al., 1992; Singh et al., 2002; Forner-Giner et al., 2020).

براساس نتایج پژوهشی در شرق مازندران، پایه ترویرسیترنج برای خاک‌های با آهک کل کمتر از ۲۰ درصد یا آهک فعال کمتر از ۱۰ درصد توصیه می‌شود و در خاک‌های با آهک کل بیشتر از ۲۰ درصد یا آهک فعال بیشتر از ۱۰ درصد زردی و کاهش رشد نشان می‌دهد؛ بنابراین این پایه برای خاک‌های بخش‌های عمده‌ای از شرق مازندران (ساری، میانرود و نکا) با آهک کل یا کربنات کلسیم بیشتر از ۲۰ درصد توصیه نمی‌شود اما این پایه‌ها به دلیل مقاومت به بیماری تربیتزا مورد توجه قرار گرفته‌اند (Asadi Kangarshahi, 2018). نتایج پژوهشی با پایه سی ۳۵ نشان داد که با افزایش آهک فعال در خاک، غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو با پایه سی-۳۵ کاهش یافت؛ بنابراین این پایه برای خاک‌های با آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد یا آهک فعال تا حدود ۵ درصد توصیه می‌شود (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2020). گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای حل چالش کلروز آهن، انتخاب پایه‌های متحمل است (Castle et al., 2001; Pestana et al., 2010). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که از برخی پارامترهای فتوسنتز مانند غلظت کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل می‌توان برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف به تنش‌های محیطی استفاده شود، این پارامترهای فتوسنتزی هر گونه تنش و محدودیت در فرآیندهای فتوسنتزی را به‌خوبی نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش، تغییرات کمتری در پارامترهای فتوسنتزی در پاسخ به تنش دارند (Belkhdja et al., 1994; Mishra et al., 2011; Salisbury et al., 1992; Ibrahim, 2020). به‌طور کلی استفاده از پایه مناسب در هر منطقه می‌تواند در تعدیل تنش‌ها، متابولیسم و وضعیت تغذیه‌ای مرکبات مؤثر باشد (Hippler et al., 2016; Martínez-Cuenca et al., 2021). در باغبانی فرآیند جایگزینی پایه‌های معمول هر منطقه و انتخاب پایه‌های جدید باید با ارزیابی‌های بلندمدت پشتیبانی شود، زیرا ویژگی‌های منفی می‌توانند پس از سال‌ها ارزیابی در ترکیب با گونه‌های خاص پیوندک آشکار شوند (Caruso et al., 2024; Smith et al., 2024).

در استان مازندران با توجه به تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از شمال به جنوب و از غرب به شرق به‌ویژه تغییرات رس از ۳ درصد تا بیشتر ۴۰ درصد و همچنین آهک از

درصد، شن از ۳۴ تا ۵۸ درصد و کربن آلی از ۰/۶۵ تا ۱/۸۰ درصد متغیر بود (جدول ۱).

مقدار ۳۰ کیلوگرم خاک از نمونه‌های خاک مورد نظر، در سطل‌های پلاستیکی ریخته شد. کود نیتروژنی به میزان ۶۰ میلی گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک از منبع سولفات آمونیوم اضافه گردید. قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده و کمتر از ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده داشتند. ۲۰ میلی گرم فسفر و ۲۰۰ میلی گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره ۵ و ۲۵ میلی گرم فسفر و ۱۰۰ میلی گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره ۷ افزوده شد. سپس نهال‌های نارنگی انشو میاگاو با پایه نارنج تقریباً یکسان با ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر و قطر حدود یک سانتی‌متر در هر خاک کاشته شد. آزمایش به مدت دو سال و به شکل گلدانی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت خاک با دامنه متفاوت کربنات کلسیم معادل در چهار تکرار با ۲۸ گلدان انجام شد. بعد از کاشت نهال‌ها، در طول دوره رشد، تغذیه به‌صورت کودآبیاری با کودهای نیترات پتاسیم (۱/۴ میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (یک میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیوم فسفات (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیوم (۳ میلی‌مول در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (یک میکرومول در لیتر) هر دو هفته یک‌بار انجام شد و آبیاری با توزین تصادفی گلدان‌های آزمایشی (Fadl, 2008) به‌طور منظم (ضریب تخلیه رطوبت حدود ۳۵ درصد) انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد. نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک اکسید شد و سپس غلظت آهن، منگنز، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

آهن فعال

اندازه‌گیری آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین ۱/۵ درصد عصاره‌گیری و در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Basar, 2003; Neaman and Aguirre, 2007).

شاخص درجه زردی

برای تعیین درجه زردی برگ‌ها، در سال دوم رشد، بر اساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها،

به هر نهال در هر خاک، به‌طور میانگین درجه‌ای از یک تا پنج داده شد. به این‌صورت که: ۱. برگ‌های سبز و بدون هیچ‌گونه علائمی؛ ۲. بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز؛ ۳. بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز؛ ۴. بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز؛ ۵. بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبزرنگ پریده و همچنین مقداری ریزش برگ) داده شد (Byrne et al., 1995).

غلظت کلروفیل برگ

در سال دوم آزمایش، نمونه‌های برگ از هر تیمار تهیه شد. مقدار ۰/۲ گرم از نمونه برگ‌های هر تیمار به‌دقت وزن، در هاون چینی ساییده و استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد. سپس محلول حاوی کلروفیل نمونه‌ها استخراج و میزان جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای این منظور، ابتدا قرائت اسپکتروفتومتر برای استون روی صفر تنظیم شد و میزان جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد، سپس غلظت کلروفیل محاسبه شد (Abadia and Abadia, 1993). غلظت کلروفیل‌های a و b و مجموع کلروفیل‌های a و b (کلروفیل کل) از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{Chl.a} = 12.70 \times (A_{663} - 0.209 \times A_{645}) \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl.b} = 22.90 \times (A_{645} - 0.46 \times A_{663}) \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl.T} = 20.20 \times (A_{663} + 0.81 \times A_{645}) \times V / (1000 \times W)$$

در روابط فوق، A طول موج قرائت (نانومتر)، V حجم نهایی محلول عصاره (میلی‌لیتر) و W وزن نمونه (گرم) است.

شاخص فلورسنس

در سال دوم آزمایش، پارامترهای فلورسنس کلروفیل در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته نهال‌ها (F_0 : فلورسنس پایه، F_m : فلورسنس حداکثر در اولین پالس اشباع نوری بعد از سازگاری با تاریکی و F_v : تغییرات فلورسنس ($F_m - F_0$)) با استفاده از فلورومتر پرتابل (Efficiency Analyser, PEA, Hansatech, Plant Instrument Ltd., England) بعد از ۳۰ دقیقه انطباق تاریکی اندازه‌گیری شد. برای سازگاری با تاریکی، ابتدا قسمتی از برگ نهال‌ها (با کلیپ‌های مخصوص) برای مدت زمان ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. بعد از اتمام سازگاری با تاریکی، با قرار دادن سنسور فلورومتر به کلیپ‌ها، ارتباط اندام سازگاری شده با تاریکی و منبع نور تنظیم‌شده فلورومتر برقرار نموده و پارامترهای فلورسنس کلروفیل قرائت گردید. سپس شاخص تغییرات کلروفیل

$$TF = C_{NEL} / C_{NE.R}$$

TF = ضریب انتقال

$C_{NE.L}$ = غلظت عنصر در برگ

$C_{NE.R}$ = غلظت عنصر در ریشه

فلورسنس (Arbona,) محاسبه گردید ($F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$)

(2009; Maxwell and Johnson, 2000).

ضریب انتقال

ضریب انتقال^۲ عناصر غذایی که توانایی گیاهان برای

انتقال عناصر از ریشه به برگ‌ها را نشان می‌دهد از طریق رابطه

زیر محاسبه شد (Asadi Kangarshahi et al., 2019).

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of experiment soils.

شماره خاک و منطقه Soil No. and location							ویژگی properties
7	6	5	4	3	2	1	
شرق ساری East of Sari	غرب ساری West of Sari	شمال نکا North of Neka	غرب نکا West of Neka	جنوب ساری South of Sari	غرب قائم‌شهر West of Ghaemshar	جنوب بابل South of Babol	
23	37	13	41	19	29	23	رس (درصد) clay (%)
37	29	29	18	35	26	30	سیلت (درصد) silt (%)
40	34	58	41	46	45	47	شن (درصد) sand (%)
لوم loam	لوم رسی Sandy loam	لوم شنی sandy loam	رسی clay	لوم loam	لوم رسی clay loam	لوم loam	کلاس بافتی خاک Soil texture class
45	25	40	30	14	9	2	آهک کل (درصد) Total lime (%)
16	10	7	14	5	3	0	آهک فعال (درصد) Active lime (%)
1.10	1.52	0.65	1.60	1.80	0.95	1.17	کربن آلی (درصد) O.C. (%)
7.76	7.81	7.77	7.60	7.86	7.45	6.81	واکنش گل اشباع pH
9.87	18.30	11.20	17.11	15.09	22.21	26.34	فسفر P (mg/kg)
265	325	221	460	360	380	404	(میلی گرم در کیلوگرم) K (mg/kg) پتاسیم
6.80	8.22	4.40	8.90	8.80	6.40	7.20	(میلی گرم در کیلوگرم) Fe (mg/kg) آهن
3.40	7.71	3.20	5.40	3.96	4.20	3.10	(میلی گرم در کیلوگرم) Mn (mg/kg) منگنز
1.50	1.60	0.91	0.60	0.70	2.50	2.40	(میلی گرم در کیلوگرم) Zn (mg/kg) روی

در پایان، کلیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند و توصیه‌های لازم ارائه شد.

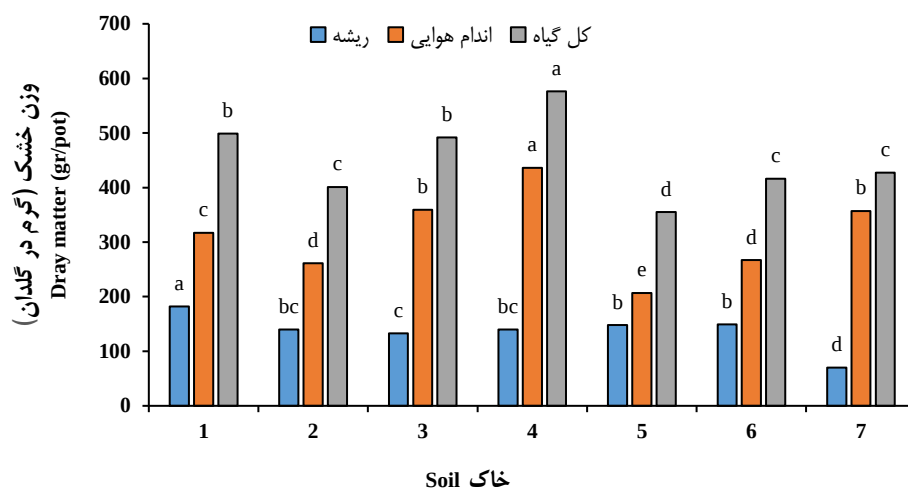
به‌طور کلی، پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص درجه زردی برگ، رابطه آهک فعال در خاک با آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن کل و فعال، منگنز، روی و مس در برگ و ریشه، غلظت کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل بود.

²- Translocation Factor

نتایج و بحث

وزن خشک

تأثیر خاک‌های مختلف بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین وزن کل و وزن خشک اندام هوایی در خاک شماره ۴، با بافت رسی با آهک کل ۳۰ درصد حاصل شد. در مقابل کمترین وزن خشک اندام هوایی در خاک شماره ۵ با بافت لوم شنی و با محتوای آهک کل ۴۰ درصد حاصل شد. اما در مورد ریشه، بیشترین وزن خشک از خاک یک با بافت لوم با آهک کل ۲ درصد حاصل شد، در مقابل کمترین وزن خشک ریشه از خاک هفت با بافت لوم و آهک کل ۴۵ درصد بود (شکل ۲). کربنات کلسیم به دلیل داشتن انرژی جذب



شکل ۱- میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاو با پایه نارنج.

Fig 1. Mean dry weight of shoots and roots of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

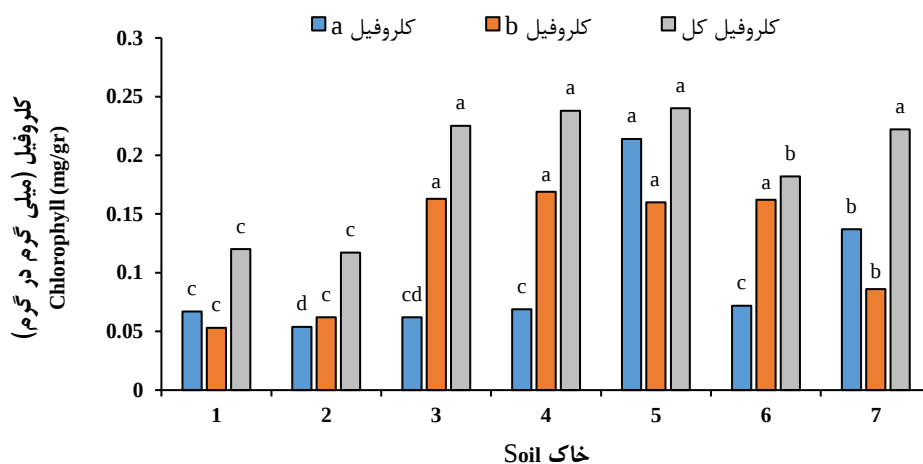
(Akhlaghi Amiri, 2021)؛ اما نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت آهن فعال برگ‌ها در خاک‌های یک و دو تفاوت معنی‌داری با خاک‌های سه، پنج، شش و هفت نداشتند. با این وجود، غلظت منگنز برگ آن‌ها کمتر از دیگر خاک‌ها بود؛ بنابراین کلروفیل برگ‌ها به دیگر عناصر از جمله منگنز نیز بستگی دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های گذشته مطابقت داشت که گزارش کردند کمبود عناصر غذایی بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی برگ درختان مرکبات تأثیر دارد و هر یک از این عناصر در بیوسنتز و فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌ها مؤثر هستند که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند (Larbi et al., 2006; Mengel, 1995). بنابراین، کمبود منگنز می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ شود (Martínez-Cuenca et al., 2013; 2017). مهم‌ترین علت کمبود منگنز در خاک‌های با آهک کم و بدون آهک، کاهش

کلروفیل برگ

بیشترین میانگین غلظت کلروفیل در خاک‌های سه (بافت لوم و آهک ۱۴ درصد)، چهار (بافت رسی و آهک ۳۰ درصد)، پنج (بافت لوم شنی و آهک ۴۰ درصد) و هفت (بافت لوم و آهک ۴۵ درصد) حاصل شد و کمترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک یک (بافت لوم و آهک ۳ درصد) و دو (بافت لوم و آهک ۹ درصد) به دست آمد. بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل a به ترتیب از خاک‌های پنج و دو مشاهده شد و خاک‌های سه، چهار، پنج و شش بیشترین کلروفیل b و خاک یک کمترین کلروفیل b را داشت (شکل ۲). به‌طور کلی، گزارش‌های پژوهشی نشان داده است که با افزایش کربنات کلسیم فعال خاک، میانگین غلظت آهن فعال برگ‌ها کاهش یافت و با کاهش میانگین غلظت آهن فعال برگ، میانگین غلظت کلروفیل برگ‌ها کاهش نشان داد (Asadi Kangarshahi and

نتایج ضریب همبستگی برخی ویژگی‌های خاکی با کلروفیل برگ نشان داد که آهک کل، آهک فعال و pH بیشترین همبستگی مثبت را با کلروفیل داشتند. در مقابل، فسفر و روی قابل استفاده خاک بیشترین همبستگی منفی را نشان دادند (جدول ۲). ضریب همبستگی کلروفیل با غلظت عناصر غذایی برگ نیز نشان داد که غلظت منگنز در برگ بیشترین همبستگی مثبت با کلروفیل برگ دارد، آهن فعال، فسفر، منیزیم و پتاسیم به ترتیب پس از منگنز قرار گرفتند. گوگرد، روی، نیتروژن، آهن کل، کلسیم و مس نیز به ترتیب بیشترین همبستگی منفی با کلروفیل برگ نشان دادند (جدول ۳).

قابلیت استفاده کلسیم در خاک و ریشه است کاهش فراهمی کلسیم، جذب برخی عناصر کم مصرف به ویژه منگنز را کاهش می‌دهد (Asadi Kangarshahi, 2019; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2021). به طور کلی کمبود منگنز می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها شود و همچنین موجب چندین خسارت بیوشیمیایی و ریزساختاری می‌شود که مانند دیگر تنش‌های زنده و غیر زنده، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. تولید این گونه‌های اکسیژن فعال پیامد تغییر در زنجیره انتقال الکترون، خسارت فراساختاری به کلروپلاست‌ها و کاهش بیوسنتز کاروتنوئیدها است (Martínez-Cuenca et al., 2017; Mengel, 2001).



شکل ۲- میانگین غلظت کلروفیل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Fig 2. Mean leaf chlorophyll concentration of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

جدول ۲- ضریب همبستگی کلروفیل برگ با برخی ویژگی‌های خاکی در نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Table 2. Correlation coefficients between leaf chlorophyll and selected soil properties in 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

کربن آلی Organic carbon	آهک فعال Active lime	آهک lime	شن sand	سیلت silt	رس clay	کلروفیل برگ (میلی گرم در گرم) Leaf chlorophyll (mg/kg)
		درصد %				
0.20	0.69	0.78	0.12	0.04	-0.12	
روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	pH	
		میلی گرم در کیلوگرم mg/kg				
-0.95	0.04	0.07	-0.36	-0.86	0.74	

جدول ۳- ضریب همبستگی کلروفیل با غلظت عناصر غذایی در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاو با پایه نارنج.

Table 3. Correlation coefficients between chlorophyll and nutrient concentrations in the leaves of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

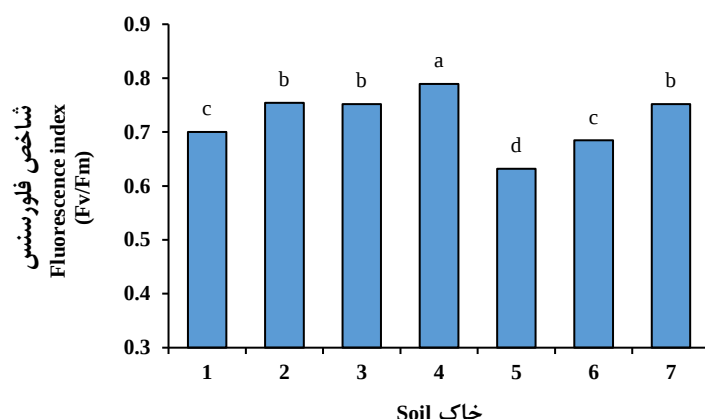
غلظت عناصر پر مصرف در برگ (درصد)						کلروفیل برگ (میلی گرم در گرم) Leaf chlorophyll (mg/kg)
Leaf macronutrient concentrations (%)						
گوگرد S	کلسیم Ca	منیزیم Mg	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	
-0.70	-0.14	0.13	0.08	0.22	-0.34	
غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی گرم در کیلوگرم)						
Leaf micronutrient concentrations (mg/kg)						
مس Cu	روی Zn	منگنز Mn	آهن فعال Active Fe	آهن Fe		
-0.04	-0.54	0.43	0.34	-0.24		

شاخص فلورسنس (Fv/Fm)

نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل نارنگی انشو با پایه نارنج نشان داد که نهال‌ها در خاک چهار، بیشترین وزن خشک و بیشترین شاخص فلورسنس کلروفیل داشتند. در مقابل در خاک پنج، دارای کمترین وزن خشک و کمترین شاخص فلورسنس بودند (شکل ۳). شاخص فلورسنس کلروفیل، یک شاخص حساسیت برای راندمان عملکرد دستگاه فتوسنتزی است و نشر فلورسنس کلروفیل با فتوسنتز رابطه معکوس دارد و تحت شرایط تنش، تولید گرما در بافت‌های گیاهی (برای اتلاف زیادی انرژی) افزایش می‌یابد. اگر چه در برخی موارد، در مراحل اولیه تنش نشر فلورسنس ممکن است به‌طور موقت کاهش (افزایش موقتی شاخص فلورسنس) یابد؛ اما همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد، این تعادل که الگوی واقعی پایش فلورسنس کلروفیل را در تنش‌های مختلف تعیین می‌کند (Salisbury and Ross, 1992)؛ بنابراین بر اساس نتایج این تحقیق، شاخص فلورسنس کلروفیل در این پایه و پیوندک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد که با نتایج گزارش‌های Asadi Kangarshahi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد که گزارش کردند بین مقدار سیلت، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مختلف و مقدار شاخص فلورسنس کلروفیل درختان مرکبات ارتباط معنی‌داری وجود دارد و با

افزایش سیلت و کربن آلی خاک شاخص فلورسنس افزایش می‌یابد، اما با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ابتدا شاخص فلورسنس افزایش و سپس کاهش می‌یابد. شاخص فلورسنس کلروفیل مطلوب درختان نارنگی انشو در خاک‌های مختلف به‌طور متوسط حدود ۰/۷۲ است و اعداد کمتر از آن را نشان‌دهنده وجود تنش در این درختان است، همچنین گزارش‌های دیگر پژوهشگران عدد مناسب شاخص فلورسنس کلروفیل، برای بیشتر گونه‌های گیاهی حدود ۰/۸۳ گزارش کرده‌اند و اعداد کمتر از آن را نشان‌دهنده وجود تنش در آن گیاهان است (Belkhdja et al., 1994)؛ بنابراین، براساس گزارش شاخص فلورسنس مطلوب برگ نارنگی انشو، نهال‌های نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک‌های یک، پنج و شش، شاخص فلورسنس کمتر از حد مطلوب داشتند که نشان می‌دهد نهال‌ها در این خاک‌ها از تنش بیشتری برخوردار بودند.

نتایج ضریب همبستگی برخی ویژگی‌های خاکی و غلظت عناصر غذایی برگ با شاخص فلورسنس نشان داد که از ویژگی‌های خاکی، پتاسیم و آهن قابل استفاده خاک، کربن آلی، رس و آهک فعال خاک بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص فلورسنس داشتند. در مقابل، شن، سیلت و آهک کل به ترتیب بیشترین همبستگی منفی نشان دادند. فسفر و کلسیم در برگ نیز به ترتیب بیشترین همبستگی مثبت و منفی را با شاخص فلورسنس برگ داشتند (جدول‌های ۴ و ۵).



شکل ۳- میانگین شاخص فلورسنس برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Fig 3. A Mean leaf fluorescence index of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

جدول ۴- ضریب همبستگی شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm) برگ با برخی ویژگی‌های خاکی در نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج

Table 4. Correlation coefficients between the leaf chlorophyll fluorescence index (Fv/Fm) and selected soil properties in 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

کربن آلی Organic carbon	آهک فعال Active lime	آهک lime	شن sand	سیلت silt	رس clay	شاخص فلورسنس Fluorescence index (Fv/Fm)
درصد %						
0.55	0.31	-0.14	-0.49	-0.22	0.50	
روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	pH	
میلی گرم در کیلوگرم mg/kg						
-0.09	0.046	0.66	0.67	0.09	0.03	

جدول ۵- ضریب همبستگی شاخص فلورسنس (Fv/Fm) با غلظت عناصر غذایی در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Table 5. Correlation coefficients between the chlorophyll fluorescence index (Fv/Fm) and nutrient concentrations in the leaves of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

غلظت عناصر پر مصرف در برگ (درصد)						شاخص فلورسنس Fluorescence index (Fv/Fm)
Leaf macronutrient concentrations (%)						
گوگرد	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	
S	Ca	Mg	K	P	N	
0.05	-0.35	0.14	0.12	0.57	0.15	
غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی گرم در کیلوگرم)						
Leaf micronutrient concentrations (mg/kg)						
مس	روی	منگنز	آهن فعال	آهن		
Cu	Zn	Mn	Active Fe	Fe		
-0.26	-0.24	-0.19	0.38	0.30		

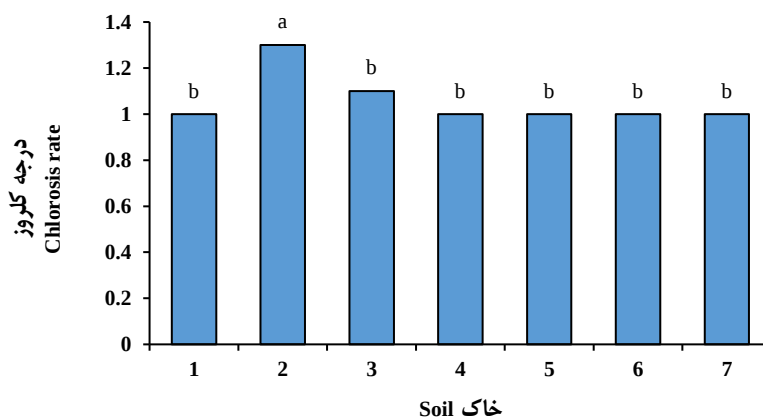
است (شکل ۴). علائم برگ‌های نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک‌های مختلف در (شکل ۵) نشان داده شده است. شاخص درجه زردی برگ‌های نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک‌های مختلف نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم کل و زردی ناشی از کمبود آهن در این نهال‌ها مشاهده نشد. نتایج برخی پژوهش‌های دیگر نشان داده است که همیشه یک ارتباط خوبی بین مقدار کربنات کلسیم کل و کاهش رشد و

شاخص درجه زردی برگ

نتایج میانگین درجه کلروز نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج در خاک‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری در درجه زرد برگ‌های خاک‌های با کمترین آهک (۲ درصد) و بیشترین آهک (۴۵ درصد) وجود نداشت. درجه زردی در خاک دو با آهک ۹ درصد بیشتر از سایر خاک‌ها بود که به نظر می‌رسد عاملی غیر از آهک در زردی دخالت داشته

Martinez-Guenca و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت، اما به نظر نگارندگان به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

زردی ناشی از کمبود آهن در درختان مشاهده نشده است. افزایش درجه کلروز در خاک دو، احتمالاً به علت کمبود منگنز است که با گزارش‌های Castle و Nunnallee (۲۰۰۹) و



شکل ۴- میانگین درجه کلروز برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Fig 4. Mean leaf chlorosis degree of 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.



شکل ۵- علائم زرد برگ‌های نارنگی انشو میاگاو با پایه نارنج در خاک‌های آهکی.

Fig 5. Leaf chlorosis symptoms of *Citrus unshiu* cv. Miyagawa seedlings on Sour Orange rootstock in calcareous soils.

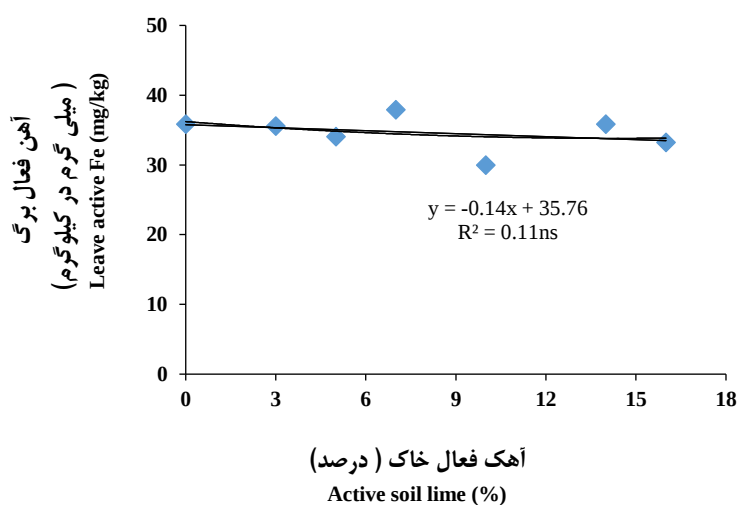
درختان مرکبات حدود ۴ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2019). دامنه آهن قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از ۴/۴۰ تا ۸/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بنابراین، مقدار آهن قابل استفاده در همه خاک‌ها بیشتر از حد کفایت بود. در گیاهان رشد یافته در خاک پنج که آهن قابل استفاده آن ۴/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود،

رابطه آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال برگ

نتایج این پژوهش نشان داد بین آهک فعال خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه نارنج، همبستگی معنی‌داری وجود نداشت و با افزایش آهک فعال خاک ها، غلظت آهن فعال برگ تغییرات چندانی نداشت (شکل ۶). حد کفایت آهن قابل استفاده در خاک (با عصاره‌گیر DTPA) برای

فعال در برگ همبستگی ضعیفی وجود دارد و بین سایر ویژگی خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ رابطه معنی‌داری حاصل نشد. در کل، نتایج این تحقیق نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک‌های آهکی با دامنه آهک از ۲ تا ۲۵ درصد علائم زرد برگی ناشی از آهک نشان نداشتند اما در خاک دو که آهک خاک حدود ۹ درصد بود، رنگ برگ‌ها علائم کلروز خیلی خفیفی داشت اما غلظت آهن فعال در آن‌ها تفاوت معنی‌داری با دیگر خاک‌ها نداشت. بنابراین، غلظت آهن فعال و علائم برگی در این پایه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار نگرفت. علائم برگی نهال-های نارنگی انشو با پایه نارنج در (شکل ۵) نشان داده شده است.

غلظت آهن فعال در برگ ۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما در خاک شش که آهن قابل‌استفاده آن ۸/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، غلظت آهن فعال در برگ ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو با پایه نارنج به عواملی دیگر غیر از مقدار آهن قابل‌استفاده خاک بستگی دارد. بافت خاک، آهک خاک، بی‌کربنات محلول خاک، ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی خاک نیز از عوامل اصلی کنترل‌کننده غلظت آهن در محلول خاک و غلظت آهن فعال در برگ هستند که نقش زیادی در فراهمی آهن برای درختان در خاک‌های آهکی دارند (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2025). نتایج این تحقیق نشان داد که تنها بین مقدار آهک فعال با غلظت آهن



شکل ۶- رابطه آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو با پایه نارنج.

Fig 6. Relationship between active soil lime and leaf available iron concentration in 'Anshu' mandarin grafted onto sour orange rootstock.

برخوردار بود. میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف نشان داد که گوگرد به علت تحرک پایین در درختان مرکبات، کمترین ضریب انتقال و منیزیم بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و عناصر کلسیم، نیتروژن، پتاسیم و فسفر به ترتیب پس از منیزیم قرار داشتند. به‌طور کلی، دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر پرمصرف از ۰/۴۹ تا ۲/۵۰ متغیر بود که نشان‌دهنده تفاوت در روند تجمع و تخلیه عناصر در ریشه است (شکل ۷).

غلظت عناصر پرمصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه نارنج در (جدول‌های ۶ و ۷) نشان داده شده است. میانگین غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ به ترتیب ۱/۴۷، ۱/۵۳، ۱/۴۷، ۲/۵۰ برابر غلظت آن‌ها در ریشه بود. میانگین غلظت فسفر و گوگرد در برگ به ترتیب حدود ۰/۹۸ و ۰/۴۹ غلظت آن‌ها در ریشه بود. منیزیم از بیشترین اختلاف غلظت بین ریشه و برگ

جدول ۶- میانگین غلظت عناصر پرمصرف (درصد وزن خشک) در برگ نهال‌های انشو (پایه نارنج) در هفت خاک مختلف.

Table 6. Mean macronutrient concentrations (percentage of dry weight) in the leaves of 'Anshu' mandarin seedlings (sour orange rootstock) across seven different soils.

غلظت عناصر پرمصرف در برگ (درصد بر اساس وزن خشک)* Leaf macronutrient concentrations (% of dry weight)*						خاک soil
گوگرد S	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	
0.22 b	0.562 b	4.61 b	0.90 c	0.122 b	2.64 b	1
0.27 a	0.507 b	4.67 b	1.21 b	0.127 b	2.85 a	2
0.12 d	0.650 a	3.52 c	0.81 d	0.142 a	2.56 bc	3
0.19 c	0.629 a	3.60 c	0.99 c	0.144 a	2.63 b	4
0.17 c	0.591 b	6.05 a	1.22 bc	0.120 b	2.70 ab	5
0.23 b	0.263 c	1.44 d	0.93 c	0.100 c	2.46 c	6
0.21 b	0.297 c	1.75 d	1.49 a	0.112 bc	2.67 b	7
0.202	0.50	3.66	1.06	0.123	2.64	میانگین average

* میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The averages for each column that have the same letters are not significantly different from each other at the 5% probability level.

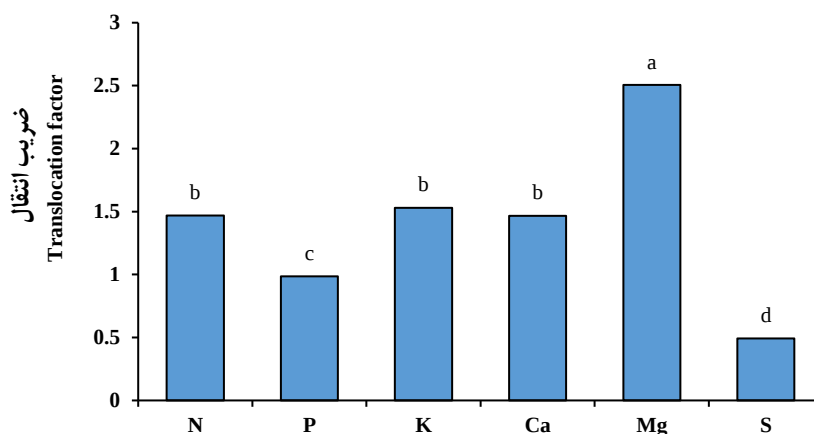
جدول ۷- میانگین غلظت عناصر پرمصرف (درصد وزن خشک) در ریشه نهال‌های انشو (پایه نارنج) در هفت خاک مختلف.

Table 6. Mean macronutrient concentrations (percentage of dry weight) in the roots of 'Anshu' mandarin seedlings (sour orange rootstock) across seven different soils.

غلظت عناصر پرمصرف در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)* Root macronutrient concentrations (% of dry weight)*						خاک soil
گوگرد S	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	
0.358 e	0.163 d	2.37 c	0.778 bc	0.173 a	1.96 a	1
0.354 e	0.183 c	2.40 c	0.670 cd	0.138 b	1.74 c	2
0.391 d	0.153 d	2.71 b	0.705 c	0.113 c	1.60 d	3
0.423 c	0.183 c	1.91 d	0.639 d	0.136 b	1.85 b	4
0.448 b	0.223 b	1.93 d	1.11 a	0.141 b	1.92 a	5
0.428 c	0.243 a	2.60 b	0.813 b	0.140 b	1.59 d	6
0.473 a	0.223 b	3.55 a	0.952 ab	0.089 d	1.85 a	7
0.41	0.20	2.50	0.81	0.133	1.80	میانگین average

* میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The averages for each column that have the same letters are not significantly different from each other at the 5% probability level.



شکل ۷- میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنجی انشو میاگوا با پایه نارنج.

Fig 7. Mean translocation coefficient of macronutrients from roots to shoots in 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings grafted onto sour orange rootstock.

غلظت عناصر کم‌مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت آهن کل، آهن فعال، منگنز، روی و مس در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه نارنج در (جدول‌های ۸ و ۹) نشان داده شده است. نتایج میانگین غلظت آهن فعال در ریشه و برگ نشان داد که غلظت آهن فعال در برگ و ریشه در خاک‌های مختلف متفاوت بود به طوری که کمترین غلظت آهن فعال ریشه در خاک ۳ با آهک ۱۴ درصد حاصل شد که ۱۴ میلی گرم در کیلوگرم بود؛ اما بیشترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک پنج با بافت لوم شنی و آهک ۳۰ درصد حاصل شد که ۵۵ میلی گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن فعال در برگ و ریشه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. به طور کلی میانگین غلظت آهن فعال در ریشه معادل میانگین آن در برگ بود که حدود ۳۱/۸۶ میلی گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها ۱۷۲۰ و در برگ‌ها ۱۱۵ میلی گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت آهن کل در ریشه ۱۴/۹۰ برابر غلظت آن در برگ است. همچنین میانگین ضریب انتقال آهن کل و فعال نشان داد که آهن کل کمترین ضریب انتقال و آهن فعال بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را دارد (شکل ۸). این تفاوت در ضریب انتقال نشان می‌دهد که بیشتر آهن جذب شده از خاک‌ها در ریشه‌ها تجمع یافته است که با نتایج دیگر پژوهشگران در خاک‌های آهکی مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر آهن جذب شده در آپوپلاست سلول‌های ریشه ذخیره می‌شود (Martinez-Guenca et al., 2017; Morales et al., 1998). نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مقدار آهن قابل استفاده خاک با غلظت آهن در ریشه و برگ وجود نداشت همچنین بین غلظت آهن در ریشه با غلظت آهن در برگ رابطه معنی‌داری وجود نداشت که نشان داد که غلظت آهن کل نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص حد مطلوب غلظت در برگ برای این پایه باشد و نتایج این پژوهش با نتایج دیگر گزارش‌های پژوهشی مطابقت دارد (Asadi (Kangarshahi, 2018; Martinez-Guenca et al., 2017). بنابراین، اندازه‌گیری مقدار آهن قابل استفاده در خاک (به روش DTPA)، شاخص مناسبی برای پیش‌بینی قابلیت استفاده آهن و پیش‌بینی درجه زرد برگی در درختان مرکبات یا حداقل در این پایه و پیوندک نیست. براساس نتایج این پژوهش حدود ۱/۸۵ درصد آهن ریشه و ۲۷/۵۹ درصد آهن برگ به شکل آهن فعال است که نشان می‌دهد بیشتر از ۹۸ درصد آهن در ریشه و ۷۲ درصد آن در برگ‌ها از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی به شکل

غیرقابل استفاده هستند که اصطلاحاً تضاد آهن نامیده می‌شود (Arbona et al., 2009; Salisbury and Ross, 1992; Romheld, 2000). کمبود آهن در اوایل رشد در هنگام ظاهر شدن فلش‌های بهاره، موجب کاهش روند رشد برگ‌های جدید و در نتیجه کاهش اندازه برگ‌ها می‌شود و اغلب موجب بروز علائم زردی نخواهد شد؛ اما اگر کمبود آهن در هنگام توسعه برگ‌ها رخ دهد موجب کاهش غلظت کلروفیل و زردی می‌شود. بنابراین در خاک‌های آهکی، کاهش اندازه برگ‌ها و ریز بودن آن‌ها از علائم کمبود آهن است (Castle and Nunnallee, 2009; Martinez-Guenca et al., 2017).

نتایج میانگین غلظت منگنز نشان داد که ریشه‌ها در خاک دو و شش بیشترین غلظت منگنز را داشتند و به ترتیب غلظت منگنز آن‌ها ۹۰ و ۹۲ میلی گرم در کیلوگرم بود در مقابل غلظت منگنز برگ آن‌ها به ترتیب ۱۵ و ۷/۷ میلی گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها پایین بود، به طوری که میانگین آن در خاک‌های مختلف از ۷/۷ تا ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم متغیر بود که کمتر از غلظت بهینه منگنز در برگ نارنگی های انشو است (Asadi Kangarshahi, 2019). به طور کلی، میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو با پایه نارنج در خاک های مختلف ۷۰/۵۷ میلی گرم در کیلوگرم و در برگ ۱۱/۵۰ میلی گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت منگنز در ریشه ۶/۱۴ برابر میانگین غلظت منگنز برگ است. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت منگنز در برگ نارنگی انشو با پایه نارنج در همه خاک‌های آزمایشی کمتر از حد بهینه بود.

بیشترین میانگین غلظت روی در برگ از خاک‌های ۲ و ۶ حاصل شد. در ریشه، بیشترین غلظت روی از خاک ۵ با آهک ۴۰ درصد حاصل شد. میانگین غلظت روی در ریشه و برگ در خاک‌های مختلف به ترتیب حدود ۷۶/۶۱ و ۲۳/۷۱ میلی گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت روی در ریشه حدود ۳/۲۳ برابر میانگین غلظت روی در برگ است. نتایج میانگین غلظت مس در ریشه و برگ نشان می‌دهد که ریشه‌ها در خاک‌های ۵ و ۷ بیشترین غلظت مس (۳۰ میلی گرم در کیلوگرم) داشتند. کمترین غلظت مس در ریشه حدود ۲۱ میلی گرم در کیلوگرم بود که از خاک ۶ با آهک ۲۵ درصد حاصل شد؛ اما بیشترین و کمترین غلظت مس در برگ به ترتیب ۱۵/۶ و ۲/۷ میلی گرم در کیلوگرم بود که در خاک‌های با آهک ۲۵ و ۲ درصد حاصل شد. به طور کلی، میانگین غلظت مس در ریشه حدود ۳/۶۲ برابر میانگین غلظت مس در برگ بود. میانگین ضرایب انتقال عناصر کم‌مصرف

قرار دارند (مانند برخی خاک‌های مناطق جنگلی شرق مازندران در شیب تپه‌ها که تبدیل به باغ شده‌اند). خاک‌های رسی و سیلتی رسوبی و همچنین خاک‌های باتلاقی با آهک زیاد (مانند برخی خاک‌های مناطق میانه و شرق مازندران و همچنین خاک‌هایی که زمانی آب‌بندان بوده‌اند) و خاک‌های آهکی با مواد آلی زیاد و زهکشی ضعیف (بیشتر خاک‌های شرق مازندران) مشاهده می‌شود گزارش‌ها (Srivastava and Singh, 2003; Asadi, 2014; Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014). نتایج مطالعات شبکه‌ای خاک‌های مازندران نیز نشان داد که مقدار مگنیز قابل استفاده، در خاک بیشتر باغ‌های مرکبات بیش از حد کفایت است. ولی در مقابل، غلظت مگنیز در برگ اکثر این باغ‌ها کمتر از حد کفایت است و علائم کمبود آن در اکثر باغ‌ها به‌وضوح مشاهده می‌شود. همچنین Asadi Kangarshahi و Mahmoudi (۲۰۰۰) گزارش کردند که غلظت مگنیز در برگ حدود ۶۰ درصد باغ‌های مرکبات منطقه شرق مازندران در دامنه کمبود قرار داشت و آن را به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده تولید در منطقه ذکر کردند. نتایج پژوهش‌های Asadi Kangarshahi (۲۰۱۹) نشان داد که مصرف سولفات مگنیز به‌صورت چالکود قبل از توسعه برگ‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت مگنیز ریشه، برگ، میوه و همچنین عملکرد درختان مرکبات ندارد بنابراین مصرف خاکی آن در به شکل کودپایه در اسفندماه توصیه نمی‌شود؛ اما مصرف سولفات مگنیز به‌صورت محلول‌پاشی و کودآبیاری موجب افزایش معنی‌داری در غلظت مگنیز برگ، میوه و همچنین عملکرد میوه نسبت به شاهد شد؛ بنابراین در باغ‌های که علائم خفیف کمبود مگنیز دارند یا احتمال کمبود مگنیز دارند مصرف یک‌بار سولفات مگنیز به‌صورت کودآبیاری یا محلول‌پاشی پس از ریزش گلبرگ‌ها در مرحله اول رشد میوه توصیه می‌شود؛ اما باغ‌های که علائم شدید کلروز مگنیز دارند نیاز به دو بار کودآبیاری یا محلول‌پاشی سولفات مگنیز (مرحله اول پس از ریزش گلبرگ‌ها در مرحله اول رشد میوه و مرحله دوم در تابستان در مرحله دوم رشد میوه قبل از شروع رشد فلش های پاییزی) دارند (Asadi Kangarshahi, 2019; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2025).

در خاک‌های مختلف نشان داد که ضریب انتقال عناصر روی، مس، مگنیز و آهن کل به ترتیب پس از آهن فعال قرار داشتند و دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر کم‌مصرف از ۰/۰۸ تا ۱/۱۲ متغیر بود (شکل ۷).

بر اساس نتایج این پژوهش، بین قابلیت استفاده مگنیز در خاک با غلظت آن در ریشه و برگ و همچنین بین غلظت مگنیز در ریشه با غلظت آن در برگ رابطه معنی‌داری وجود ندارد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کمبود مگنیز در برگ درختان مرکبات شمال کشور، به علت کمبود مگنیز در خاک نیست، بلکه ناشی از انتقال مگنیز از ریشه به اندام هوایی است که با وجود غلظت زیاد مگنیز در خاک و ریشه، غلظت مگنیز برگ در همه خاک‌ها در دامنه کمبود قرار داشت که با گزارش‌های Asadi Kangarshahi (۲۰۱۹) و Asadi Kangarshahi و Akhlaghi Amiri (۲۰۲۰) مطابقت دارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های Asadi Kangarshahi و همکاران (۲۰۰۲)، Asadi Kangarshahi و Mahamoudi (۲۰۰۰)، Khoei (۱۹۸۱) و Anonymous (۱۹۸۱) مطابقت دارد که گزارش کردند اغلب مرکبات منطقه شرق مازندران کمبود پنهان و آشکار مگنیز دارند. نتایج پژوهش‌های Asadi Kangarshahi و Akhlaghi Amiri (۲۰۱۷) نشان داد که با وجود این که مقدار مگنیز قابل استفاده در همه خاک‌های آزمایشی بیشتر از حد مطلوب بود اما غلظت مگنیز در برگ اغلب درختان کمتر از حد بهینه بود، این شرایط در مطالعات میدانی در خاک‌های تحت کشت مرکبات در شرق مازندران نیز گزارش شده است (Therani et al., 2011; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017). همچنین نتایج این آزمایش با نتایج برخی گزارش‌های دیگر مطابقت دارد که اظهار داشتند میانگین غلظت مگنیز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه سونینگل سیتروملو در خاک‌های مختلف حدود ۳/۲ برابر غلظت آن در برگ است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017). برخی مطالعات نشان دادند که کمبود مگنیز اغلب در خاک‌های کم‌عمق با مواد آلی زیاد که بالای خاک‌های آهکی

جدول ۸- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در برگ نهال‌های انشو (پایه نارنج) در هفت خاک مختلف.
 Table 8. Mean micronutrient concentrations (mg kg⁻¹ dry weight) in the leaves of 'Anshu' mandarin seedlings (sour orange rootstock) across seven different soils.

غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی گرم بر کیلوگرم بر اساس وزن خشک)* Leaf micronutrient concentrations (% of dry weight)*					خاک soil
مس Cu	روی Zn	منگنز Mn	آهن فعال active Fe	آهن Fe	
2.7 d	23 b	8.6 c	35 b	156 a	1
5.9 bc	26 a	7.7 c	35 b	104 c	2
5.6 bc	22 b	10.4 bc	34 b	82 d	3
5.6 bc	22 b	13.6 ab	45 a	144 ab	4
5.4 bc	23 b	11.9 b	37 b	95 cd	5
15.6 a	27 a	15 a	30 c	96 cd	6
8.16 b	23 b	13.4 ab	33 cb	131 b	7

* میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

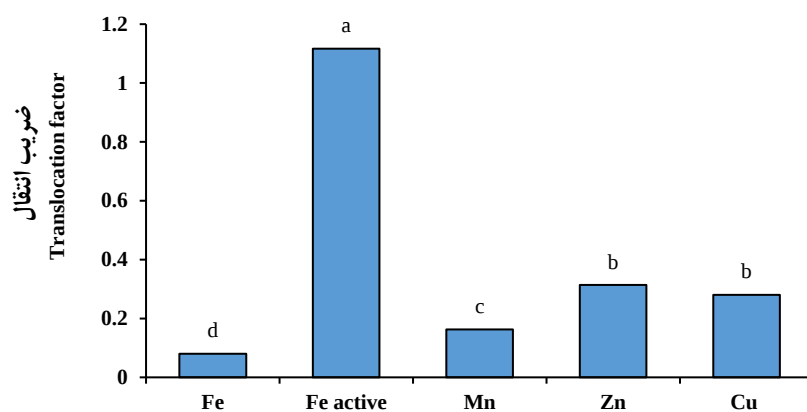
* The averages for each column that have the same letters are not significantly different from each other at the 5% probability level.

جدول ۹- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در ریشه نهال‌های انشو (پایه نارنج) در هفت خاک مختلف.
 Table 9. Mean concentrations of micronutrients (mg kg⁻¹ dry weight) in the roots of 'Anshu' seedlings (Citrus junos rootstock) grown in seven different soils.

غلظت عناصر کم مصرف در ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم بر اساس وزن خشک)* Root micronutrient concentrations (% of dry weight)*					خاک soil
مس Cu	روی Zn	منگنز Mn	آهن فعال active Fe	آهن Fe	
22.4 b	9.69 c	62 c	20 cd	1519 b	1
22.2 b	75.4 bc	93 a	40 b	1571 b	2
22.2 b	54 d	43 d	14 d	2185 a	3
28.2 ab	61 cd	61 c	31 c	2039 a	4
30.3 a	110 a	66 bc	55 a	1290 c	5
21.5 b	84 b	90 a	16 d	1556 b	6
30.2 a	82 b	79 b	47 ab	1586 b	7

* میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The averages for each column that have the same letters are not significantly different from each other at the 5% probability level.



شکل ۸- میانگین ضریب انتقال عناصر کم مصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاو با پایه نارنج.

Fig 8. Mean translocation factors (TF) of micronutrients from roots to shoot in 'Anshu Miyagawa' mandarin seedlings (Citrus junos rootstock).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تأثیر زیادی در پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه نارنج دارد. به‌طوری‌که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی در خاک‌های با آهک کل ۳۰ درصد حاصل شد. عناصر فسفر، گوگرد، آهن، منگنز، روی و مس ضریب انتقال (از ریشه به برگ) کمتر از یک داشتند که نشان می‌دهد این عناصر تحرک کمتری دارند و در ریشه انباشته می‌شوند. همچنین افزایش آهک فعال، تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن فعال و درجه زردی

برگ نهال‌های روی این پایه نداشت. مقدار آهک خاک نیز تأثیر معنی‌داری بر شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف نداشت. بنابراین، براساس نتایج این پژوهش، پایه نارنج متحمل به آهک خاک است و برای خاک‌های آهکی منطقه شرق مازندران به‌ویژه در خاک‌های با بافت سنگین و آهک زیاد توصیه می‌شود؛ اما استفاده از آن در خاک‌های با بافت سبک و همچنین خاک‌های مستعد کمبود منگنز (که احتمال ظهور علائم کمبود منگنز وجود دارد) توصیه نمی‌شود.

References

1. Abadia, J. and Abadia, A. 1993. Iron and plant pigments. In: Barton, L.L. and Hemming, B.C., eds. Iron chelation in plants and soil microorganisms. New York, Academic Press, 327-343.
2. Anonymous. 1974. Research reports of Mazandaran Fertility and Soil Science Department. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In persian)
3. Arbona, V., Lopez-Climent, M.F., Perez-Clement, R.M. and Gomez-Cadenas, A. 2009. Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*. 66: 135 – 142.
4. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast-polyphenoloxidase in *Beta-vulgaris*. *Plant Physiol*. 24: 1- 15.
5. Asadi Kangarshahi, A. 2019. Study of Manganese Status and Management According to Growth Stages and Its Effect on the Yield and Quality of Citrus in East of Mazandaran. *Soil Research*, 33 (3), pp. 321-334. DOI: 10.22092/IJSR.2019.116581.325. (In persian)
6. Asadi Kangarshahi, A. and Mahmoudi, M. 1990. The necessity of using zinc and manganese elements in citrus orchards in eastern Mazandaran. *Soil and Water Research (Horticulture Special)*, 12 (8), pp. 465-470. (In persian)
7. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2025. The importance of soil properties in orchards construction and nutrition of immature citrus trees. Handbook No. 67265. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In persian)
8. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2014. *Advanced and Applied Citrus Nutrition*, (I). Agricultural Extension and Education Publications. (In persian)
9. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2017. Growth trend, nutritional responses (microelements) and chlorosis degree of Swingle citromelo in calcareous soils of east of Mazandaran. *Soil Research*, 31 (2), pp. 177-195. DOI: 10.22092/IJSR.2017.113099. (In persian)
10. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2020. Evaluation of growth rate and vegetative and physiological characteristics of Satsuma mandarin on C-35 rootstock in some calcareous soils. *Soil Research*, 34 (2), pp. 215-234. DOI: 10.22092/IJSR.2020.122521. (In persian)
11. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2022. Evaluation of vegetative, physiological and chlorosis characteristics of Satsuma mandarin on Carrizo citrange in some calcareous soils. *Soil Research*, 36 (1), pp. 47-68. DOI: 10.22092/IJSR.2022.126890. (In persian)
12. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2022. Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) in Calcareous Soils. *Soil Research*, 38 (3), pp. 225-250. DOI: 10.22092/IJSR.2024.366158.749 (In persian)
13. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2022. Physiological and nutritional responses of Satsuma mandarin on Smooth flat seville in some calcareous soils. *Soil Research*, 36 (4), pp. 370-389. DOI: 10.22092/IJSR.2023.360671.686. (In persian)
14. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N. 2015. Investigation of the Chlorosis Degree index of different citrus rootstocks in calcareous soils of eastern Mazandaran. 14th Iranian Soil Science Congress. Vali-Asr University of Rafsanjan, Kerman, Iran. (In persian)
15. Asadi Kangarshahi, A. 2018. Growth trend, nutritional responses and tolerance of Teroyer citrange in calcareous soils. *Land Management*, 6 (2), pp. 195-212. DOI: 10.22092/LMJ.2019.118338. (In persian)
16. Asadi Kangarshahi, A. 2019. *Nutrition Management of Citrus Trees* (1th ed.). Agricultural Extension and Education Publications. (In persian)
17. Asadi Kangarshahi, A., Sawaqebi, G.R., Samar, M. and Farahbakhsh, M. 2013. The possibility of using chlorophyll fluorescence to evaluate the tolerance of some citrus rootstocks to waterlogging stress. *Agricultural Sciences*, 15 (4), pp. 65-78. (In persian)
18. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N. and Fallah, A.R. 2019. Guide to sampling and interpretation of soil and leaf analysis results for citrus trees. Technical publication number 561. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In persian)
19. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., Mahmoudi, M. and Malkouti, M.J. 2001. Recognition of nutritional disorders in Mazandaran citrus orchards (restrictions and recommendations), II: microelements. Technical publication number 269. Agricultural education publication. (In persian)
20. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., Samar, M. 2015. Possibility of using chlorosis degree and active Iron (Fe²⁺) to

- assess the tolerance of some citrus rootstocks to calcareous soils. *Soil Research*, 29 (2), pp. 269-284. DOI: 10.22092/IJSR.2015.103433. (In persian)
21. Basar, H. 2003. Analytical methods for evaluating chlorosis in peach trees. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 327-341.
22. Bashour, I. and Sayegh, A.A. 2007. *Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
23. Belkhodja, R., Morales, F., Abadia, A., Gomes, J. and Abadia, J. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiol*. 104: 667-673.
24. Bowman, K.D. and Joubert, J. 2020. Citrus Rootstocks. In: Talon, M., Caruso, M. and Gmitter, F.G. (Eds), *The Genus Citrus*. Woodhead Publishing. pp. 105-127..
25. Bremner, J.M. 1996. Total Nitrogen. P.1085-1122. In: D. L. Sparks et al. (eds.) *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
26. Byrne, D.H., Rouse, R.E. and Sudahono, J. 1995. Tolerance to citrus rootstocks to lime-induced iron chlorosis. *Subtrop. Plant Science*. 47: 7 – 11.
27. Cambra, M., Gorris, M.T., Marroquin, C., Roman, M.P., Olmos, A., Martinz, M.C., Mendoza, A.H. and Lopez, A. 2000. Incidence and epidemiology if citrus tristeza virus in the Valencian community of Spain. *Virus Research*. 71: 85 – 95.
28. Caruso1, M., Giuffrida, A. and Malfa, S.L. 2024. Rootstocks for the Mediterranean citrus industry: current choices and new releases. *Italus Hortus*. 31:1-17.
29. Castle, W.S., Pelos, R.R., Youtsey, C.O., Gmitter, F.G., Lee, R.F., Pwell, C.A. and Hu, X. 1992. Rootstocks similar to Sour orange for Florida citrus trees. *Proc. Fla. State Hort. Soc*. 105: 56-60.
30. Castle, W.S. and Nunnallee, J. 2009. Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. *HortScience*. 44: 638-645.
31. Castle, W.S., Baldwin, J.C. and Muraro, R.P. 2010. Rootstocks and the performance and economic returns of 'Hamlin' sweet orange trees. *HortScience*. 45: 875-881.
32. Continella, A., Modica, G., Tribulato, A., La Malfa, S. and Gentile, A. 2023. 11-year survey of yield and fruit quality of blood orange as affected by rootstock. *Acta Horticulturae*. 1366: 131-138.
33. Fadl, A., El-Otmani, M., Benismail, M.C., Abouatallah, A. and Jaouhari, E. 2008. Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. *Proceeding of The 11th International Society of Citriculture*. pp. 573 – 578.
34. Forner-Giner, M.A., Continella, A. and Grosser, J.W. 2020. Citrus Rootstock Breeding and Selection. In: A. Gentile, S. La Malfa, Z. Deng (eds) *The Citrus Genome. Compendium of Plant Genomes*, Springer, Cham, pp. 49-74.
35. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P. 383 – 411. In: A. Klute, (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part1. SSSA, Madison, WI.
36. Hippler, R., Cipriano, D.O., Boaretto, R.M., Quaggio, J.A., Gaziola, S.A., Azevedo, R.A., Mattos-Jr, D. 2016. Citrus rootstocks regulate the nutritional status and antioxidant system of trees under copper stress. *Environmental and Experimental Botany*. 130: 42-52.
37. Hussain, S., Curk, F., Dhuique-Mayer, C., Urban, L., Ollitrault, P., Luro, F., Morillon, R. 2012. Autotetraploid trifoliate orange (*Poncirus trifoliata*) rootstocks do not impact clementine quality but reduce fruit yields and highly modify rootstock/scion physiology. *Sci. Hort*. 134, 100–107.
38. Hussain, S., Sohail, H., Noor, I., Ahmad, S., Ejaz, S., Ali, M.A. and Khalid, M. F. 2023. Physiological and biochemical determinants of drought tolerance in tetraploid vs diploid sour orange citrus rootstock. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 8: 1-14.
39. Ibrahim, A.S. 2020. Growth and Yield of orange (Washington Navel) grafted on different citrus rootstocks. *Agricultural Science and Technology*. 12: 247-254.
40. Incesu, M., Yesiloglu, T., Tuzcu, O., Cimen, B. and Yilmaz, B. 2016. Response of citrus rootstocks to iron deficiency under high PH conditions. *Citrus Research and Technology*. 37: 66-75.
41. Izadpanah, B. 1976. Semi-comparative and general studies of soil science and land classification of Mazandaran province. Publication No. 492. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Tehran, Iran. (In persian)
42. Jones, J.B., Wolf, B. and Mills, H.A. 1991. *Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Macro-Micro Pub. Inc., Athens, GA.
43. Khoei, S.. 1991. *Principles of Citrus Nutrition*. Ministry of Culture and Islamic

- Guidance. Tehran, Iran. pp. 281. (In persian)
44. Khoei, S. 1981. Study of the nutritional status of citrus trees in eastern Mazandaran. Publication No. 648, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In persian)
45. Kitson, R.E. and Mellon, M.G. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadate phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 16: 379-383.
46. Larbi, A., Abadia, A., Abadia, J. and Morales, M. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environment. Photosynth. Res. 89: 113-126.
47. Lindsay, W.L. and Norvel, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
48. Loeppert, R.H., Wei, L.C. and Ocumpaugh, W.R. 1994. Soil factors influencing the mobilization of iron in calcareous soils. In: Manthey, J.A., Crowley, D.A., Luster, D.G. (Eds.), *Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere*. Lewis Publishers. Boca Raton. PP. 343 – 360.
49. Louzada, E.S., Rio, Setamou, H.S., M., Watson, J.W. and Swietlik, D.M. 2008. Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. Euhytica. 164: 13 – 18.
50. Martínez-Cuenca, M. R., Primo-Capella, A. and Forner-Giner, M.Á. 2021. Screening of 'King' mandarin hybrids as tolerant citrus rootstocks to flooding stress. Horticulturae. 7: 388-396.
51. Martinez-Cuenca, M.R., Forner-Giner, M.A., Iglesias, D.J., Primo-Millo, E. and Legaz, F. 2013. StrategyI responses to Fe-deficiency of two citrus rootstocks differing in their tolerance to ironchlorosis. Scientia Horticulturae 153:56–63.
52. Martinez-Guenca, M.R., Primo-Capella, A., Quinones, A., Bermejo, A. and Froner-Giner, M.A. 2017. Rootstock influence on iron uptake responses in citrus leaves and their regulation under the Fe paradox effect. Peer J. 5:e3553 <https://doi.org/10.7717/peerj.3553>
53. Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51: 659-668.
54. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P. 199- 224. In: A.L. Page et al. (ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. SSSA. Madison, WI.
55. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soils, In: J. Abadia (Ed.), *Iron Nutrition in Soils and Plant*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 389-397.
56. Mengel, K. and Kirkby, E. 2001. *Principles of plant nutrition*. 5th edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
57. Mishra, A., Mishra, K.B., Hoermiller, H., Heyer, A.G. and Nedbal, L. 2011. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in Arabidopsis thaliana accession. Plant Signaling and Behavior. 6: 301-310.
58. Morales, F., Grasa, R., Abadia, A. and Abadia, J. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees, Journal of Plant Nutrition. 24: 815-825.
59. Neaman, A. and Aguirre, L. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. Journal of Plant Nutrition. 30: 1098 – 1108.
60. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total cabon, organic carbon, and organic matter.P. 539 – 579. In: A.L. Page et al. (eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part II. 2th ed. ASA, SSSA, Madison, WI.
61. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page et al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Monograph no 9. (pp. 403-430). Amrican Agronomy, Madison, WI.
62. Pestana, M., David, M., de Varennes, A., Abadia, J. and Faria, E.A. 2001. Responses of Newhall orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency and root ferric chelate reductase activity. Jounal of Plant Nutrition. 24: 1609-1620.
63. Rahimian, H., Alavi, S.V., Shaygan, J. and Hadizadeh, A. 1990. Transmission of citrus tristeza virus (CTV) by green aphid in northern Iran. Journal of Plant Diseases, 355 (1), pp. 31-40. (In persian)
64. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation in leaves as a secondary eventin Fe deficiency chlorosis. Journal of Plant Nutrition. 23:1629–1643.
65. Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
66. Schneider, A. 1997. Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samoles. European Journal of Soil Science. 48: 263 – 271.

67. Singh. A., Naqvi, S. and Singh, S. 2002. Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.
68. Smith, M., Gultzow, D.L., Reid, M., Huie, J.E. and Newman, T.K. 2024. Extreme hybrids from the Australian citrus rootstock breeding program. *Italus Hortus*. 31: 43-55.
69. Srivastava, A.K. and Singh, S. 2003. Citrus nutrition. International Book Distributing Co. (IBDC). India.
70. Tehrani, M.M., Pasandideh, M. and Davoodi, M.H. 2011. Determining the distribution and recommendation of trace elements in irrigated lands of the provinces of Gilan, Mazandaran, Hamadan, Kermanshah, West Azerbaijan and Isfahan. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil and Water Research Institute. Final report of the research project. Publication No. 1618. Iran. (In persian)
71. Wright, R.J. and Stuczynski, T.I. 1996. Atomic absorption and flame emission spectroscopy. In: *Methods of Soil Analysis*. Sparks, D.L. (Ed.), Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No.5, SSSA, Madison, WI. P. 65-91.