



Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research
(Soil and Water Sci.)

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


Assessment of Soils Salinity Status in Pomegranate Orchards of Saveh

Mohammad Ali Khodshenas^{a*} , and Javad Ghabbeyklou^a

^a Soil and Water Department, Markazi Agricultural and Resources Research and Training Center, AREEO, Arak, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type

Research Article

Received

July 28, 2025

Revised

September 28, 2025

Accepted

October 15, 2025

Published online

December 20, 2025

Keywords

Calcium carbonate equivalent,
Pomegranate,
Saveh,
Soil salinity,
Sodium adsorption ratio.

*Corresponding author's email

khodshenasm@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Iran, the third-largest pomegranate producer in the world, possesses one of the richest genetic reservoirs of this crop, with approximately 800 identified genotypes. Saveh is among the most important pomegranate-producing regions in Iran and contributes significantly to the national production and export of the fruit. However, the arid to semi-arid climate of the area and declining precipitation have led to salt accumulation in the soil, resulting in salinization and a tendency toward sodicity. Besides reducing growth and yield, salinity negatively affects fruit quality. Assessing the current status of soil salinity and the risk of sodicity is therefore essential for the sustainable management of pomegranate orchards in the region.

Materials and Methods: This study was conducted in the pomegranate orchards of Saveh. After georeferencing the orchards and preparing a base map, soil samples were taken from the 0–60 cm depth. A total of 23 samples were collected and transferred to the laboratory, where the following chemical properties were determined: pH and electrical conductivity (EC) of the saturation paste, calcium-carbonate equivalent (CCE), soluble Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and SO_4^{2-} , and the sodium adsorption ratio (SAR). Descriptive statistics were used for data analysis. For spatial modeling of salinity, log-transformed data were interpolated by ordinary kriging. A spherical variogram (nugget = 1.5, sill = 18, range $\approx$ 8 km) was selected as the best-fit model, and its performance was validated by cross-validation.

Results: Results showed that 65.2% of the samples were non-saline, whereas 34.8% fell into the saline class. Mean ECe was 4.08 dS m^{-1} , mean pH 7.8, and mean CCE was 22.02%. Strong positive correlations were observed between soluble Na^+ and HCO_3^- and the ECe. Average concentrations of Cl^- , SO_4^{2-} , and HCO_3^- in the saturation extract were 20.41, 18.25, and 2.16 meq L^{-1} , respectively. According to the salinity zoning map, 7,000 ha of the studied area are classified as salt-affected, implying a substantial limitation to sustainable pomegranate production.

Conclusion: Although a considerable portion of the orchard soils in Saveh currently suffers from salinity, the risk of sodicity remains low. Continuous monitoring of Na^+ and HCO_3^- concentrations is nevertheless recommended to prevent future structural degradation and fertility decline.

Cite this article: Khodshenas, M.A., Ghabbeyklou, J., 2025. Assessment of soils salinity status in pomegranate orchards of Saveh. *Journal of Soil Research*, 39 (3), pp. 247-262.



DOI: [10.22092/IJSR.2025.370194.783](https://doi.org/10.22092/IJSR.2025.370194.783)

Publisher: Soil Science Society of Iran



شناخت وضعیت شوری خاک باغ‌های انار ساوه

محمدعلی خودشناس^{۱*}  و جواد قدبیک‌لو^۱

^۱ بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	شوری خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولید پایدار انار (<i>Punica granatum L.</i>) در شهرستان ساوه به شمار می‌رود. قرارگیری این منطقه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، شرایط را برای تجمع نمک‌ها و سدیمی شدن خاک فراهم کرده است که می‌تواند اثرات منفی قابل‌توجهی بر رشد درختان، کاهش عملکرد و افت کیفیت میوه انار بر جای گذارد. با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت شوری و خطر سدیمی خاک باغ‌های انار منطقه انجام شد. در این مطالعه از ۲۳ باغ انار نمونه‌برداری خاک انجام شد. ویژگی‌هایی مانند هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، بافت، سدیم، کلسیم و منیزیم، کلر محلول، سولفات و نسبت جذب سدیم اندازه‌گیری شده و داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی، تحلیل شد. ضریب همبستگی ویژگی‌ها تعیین و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک‌های مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی مکانی پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که میانگین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک‌ها ۴/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. میانگین اسیدیته خاک‌ها ۷/۸ و میانگین کربنات کلسیم معادل ۲۲/۰۲ درصد بود. همبستگی بالایی بین سدیم و بی‌کربنات محلول با هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع مشاهده شد. میانگین کلر، سولفات و بی‌کربنات به ترتیب ۲۰/۴۱، ۱۸/۲۵ و ۲/۱۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. ۶۵/۲ درصد از خاک‌های مورد مطالعه از نظر شوری و سدیمی بودن فاقد محدودیت بود. بر اساس نقشه پهنه‌بندی ۷۰۰۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه در گروه خاک‌های شور قرار گرفت که بیانگر وجود محدودیت برای تولید پایدار محصول است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه بخشی از خاک‌های باغ‌ها انار شهرستان ساوه با مشکل شوری مواجه هستند، اما خطر سدیمی شدن پایین است؛ بنابراین، استفاده از راهکارهای مدیریتی نظیر بهبود روش‌های آبیاری، اصلاح خاک و مدیریت بهینه تغذیه گیاهی می‌تواند در کاهش اثرات منفی شوری و پایداری تولید انار نقش مؤثری ایفا نماید.
واژه‌های کلیدی: انار، ساوه، شوری خاک، کربنات کلسیم معادل، نسبت جذب سدیم.	
* ایمیل نویسنده مسئول khodshenasm@gmail.com	

استناد: خودشناس، م.ع.، قدبیک‌لو، ج.، ۱۴۰۴. شناخت وضعیت شوری خاک باغ‌های انار ساوه. مقاله پژوهشی، نشریه پژوهش‌های خاک، (۳)، ۳۹، ۲۴۷-۲۶۲.

DOI: 10.22092/IJSR.2025.370194.783



مقدمه

ایران به عنوان سومین تولید کننده انار در جهان پس از هند و چین، با دارا بودن حدود ۸۰۰ ژنوتیپ انار، غنی‌ترین ذخیره ژنتیکی این محصول را در اختیار دارد (UNECE, 2022). تغییرات الگوهای اقلیمی تأثیرات چشمگیری بر مناطق کشاورزی، به‌ویژه مناطق خشک، نیمه‌خشک و ساحلی داشته و موجب افزایش شوری خاک شده است (Corwin, 2021). با توجه به قرارگیری بخش قابل‌توجهی از اراضی کشاورزی کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک حاشیه کویر مرکزی، موضوع شوری خاک به چالشی جدی برای تولید پایدار انار تبدیل شده است.

بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، ساوه به عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید انار کشور با سطح زیرکشت ۱۰۴۶۰ هکتار و متوسط عملکرد ۱۰ تن در هکتار می‌باشد (Ministry of Agriculture Jihad of Iran, 2022). مناطق انار کاری ساوه با مشکل شوری خاک روبرو است که بر کمیت و کیفیت محصول تولید شده تأثیر منفی قابل توجهی دارد. باتوجه به ارزش غذایی و دارویی بالای انار و نقش مهم آن در اقتصاد کشاورزی مناطق مرکزی ایران، مدیریت شوری خاک در باغ‌ها انار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. افزایش شوری موجب کاهش قند، افزایش اسیدیته و کاهش مواد مؤثره دارویی در میوه انار می‌شود (Zaouay et al., 2012). باتوجه به پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم و کاهش بارندگی در مناطق مرکزی، توجه به مسئله شوری خاک در باغ‌های انار نه تنها یک ضرورت فنی، بلکه اقدامی استراتژیک برای حفظ امنیت غذایی و توسعه پایدار کشاورزی در این مناطق محسوب می‌شود که در گزارش ششم (AR6) گروه کاری اول (WG1) و همچنین در گزارش گروه کاری دوم (WG2) هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی آمده است (IPCC, 2021). انار در گروه گیاهان نیمه متحمل به شوری طبقه‌بندی می‌شود. آستانه تحمل شوری برای انار حدود ۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر است و هر واحد افزایش شوری بیش از این حد می‌تواند تا ۱۰ درصد از عملکرد محصول بکاهد (Maas and Hoffman, 1977).

Holland و همکاران (۲۰۰۹) مکانیسم‌های فیزیولوژیک تحمل به شوری در انار را بررسی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که درختان انار از طریق مکانیسم‌هایی مانند دفع نمک از طریق برگ‌ها، تنظیم اسمزی با تجمع ترکیباتی مانند پرولین و گلیسین بتائین و تغییرات آناتومیک مانند ضخیم‌شدن کوتیکول برگ به شرایط شوری پاسخ می‌دهند. این مطالعه همچنین ارقام مقاوم به شوری مانند واندرفول و مولا را معرفی نمود. Karimi و Mirdehghan (۲۰۱۳) رابطه بین شوری خاک و کیفیت میوه انار را در استان کرمان بررسی کردند.

یافته‌های ایشان نشان داد که شوری بالای ۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۵ درصدی محتوای قند، افزایش ۴۰ درصدی اسیدیته و کاهش ۳۵ درصدی آنتوسیانین میوه می‌شود. این پژوهش همچنین تأثیر مثبت کاربرد سولفات پتاسیم در کاهش اثرات منفی شوری را نشان داد. مطالعات متعددی نشان دادند که آبیاری درختان انار با آب شور، به‌ویژه در سطوح هدایت الکتریکی بالاتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر، موجب کاهش رشد رویشی، عملکرد میوه و کیفیت محصول می‌شود. این کاهش با افزایش شوری شدت می‌یابد و به دلیل تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت گیاه و اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری است (Mirdehghan and Rahemi, 2015).

(Mastrogiannidou et al., 2016).

Minhas و همکاران (۲۰۲۰) عنوان نمودند که مقابله با شوری خاک و آب به عنوان چالشی جهانی در تولیدات کشاورزی، نیازمند استراتژی‌های هوشمندانه در مدیریت منابع آب و خاک است. آنان راهکارهای علمی برای تعدیل اثرات شوری بر تبخیر-تعرق گیاهی و عملکرد محصولات را بررسی نمودند. ترکیب مدل‌های محاسباتی با راهکارهای عملی مدیریتی می‌تواند راهگشای کشاورزی پایدار در مناطق شور باشد.

Mirdehghan و Rahem (۲۰۱۵) در پژوهشی اثرات شوری بر جذب عناصر غذایی در انار را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش سه برابری سدیم برگ و کاهش ۵۰ درصدی جذب پتاسیم می‌شود. این مطالعه همچنین تأثیر مثبت محلول‌پاشی کلسیم کلرید در کاهش آسیب‌های ناشی از شوری را نشان داد. همچنین کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن و پتاسیم، کلسیم و منیزیم و افزایش کلرید برگ در شرایط خاک شور توسط Mastrogiannidou و همکاران (۲۰۱۶) و Momenpour و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شد.

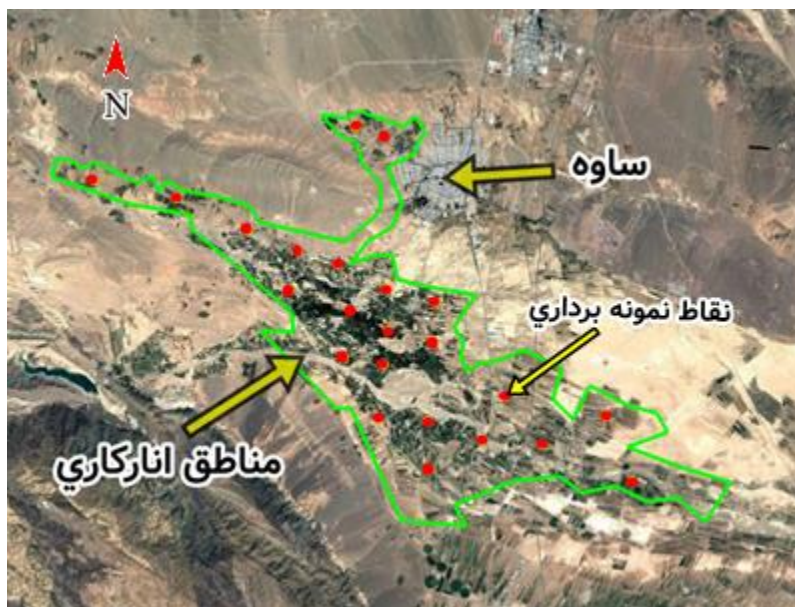
Taghizadeh-Mehrjardi و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات شوری خاک در عصاره گل اشباع (ECe) را در محدوده‌ای به وسعت ۷۲۰۰۰ هکتار در مرکز ایران بررسی و پهنه‌بندی نمودند. ضریب تبیین ۷۸ درصد، کارآمدی روش‌های درون‌یابی جهت پهنه‌بندی شوری خاک را تأیید نمود، همچنین آن‌ها عنوان نمودند که استفاده مشابه از این روش‌ها می‌تواند در سایر مناطق ایران برای ارزیابی و مدیریت خاک‌های شور و قلیایی به کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

شهر ساوه با مختصات جغرافیایی ۳۵°۱۰' شمالی و ۵۰°۲۱' شرقی، در استان مرکزی واقع شده است. این منطقه با ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار

(انحراف معیار، واریانس، دامنه تغییرات)، ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف اجرای آزمون‌های نرمال بودن داده‌ها، چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصدی و حداقل و حداکثر محاسبه شد. برای پهنه‌بندی هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک‌های مورد مطالعه، ابتدا واریوگرام تجربی داده‌های شوری محاسبه و سپس با مدل‌های نظری مناسب نظیر کروی، نمایی یا گاوسی برازش شد تا پارامترهای اساسی همچون ناهمبستگی (nugget)، آستانه (sill) و برد (range) تعیین گردد. این پارامترها مبنای اجرای کریجینگ معمولی قرار گرفتند تا بتوان مقادیر شوری را در یک شبکه منظم پیش‌بینی و نقشه‌های پیوسته شوری خاک تولید کرد. برای ارزیابی دقت مدل، اعتبارسنجی متقاطع به روش حذف تک‌به‌تک (leave-one-out) انجام و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه شد. سپس نقشه تولیدی بر اساس طبقه‌بندی متداول شوری به پهنه‌های مدیریتی تبدیل گردید (Webster and Oliver, 2007; Goovaerts, 1997).

دارد. از نظر زمین‌شناسی، رسوبات آبرفتی حاصل از رودخانه‌های منطقه و تشکیلات مارنی و آهکی خاک‌های این ناحیه را شکل داده‌اند. ساوه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۱۰ میلی‌متر و تبخیر بالقوه بیش از ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال است. دمای متوسط سالانه ۱۷/۵ درجه سانتیگراد و میانگین دمای ماه‌های گرم سال به ۳۵ درجه سانتیگراد می‌رسد. این شرایط اقلیمی منجر به تبخیر شدید و تجمع املاح در خاک‌های منطقه شده است. در این مطالعه از ۲۳ باغ دایر انارکاری شهرستان ساوه نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق صفر تا ۶۰ سانتیمتر انجام و مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری ثبت شد (شکل ۱). نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری استاندارد آزمایشگاه خاکشناسی تجزیه شدند. در این مطالعه ویژگی‌های شیمیایی شامل اسیدیته گل اشباع با پ هاش متر (Sparks et al., 2020)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با کنداکتمتر (Rhoades, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون معکوس اسید (Loeppert and Suarez, 1996)، کلر محلول به روش تیتراسیون نترات نقره (Richards, 1954)، سدیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (Rhoades et al., 1999)، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با نمک اتیلن دی آمین تترا استات سدیم (Thomas, 1996)، سولفات محلول به روش کدورت سنجی و نسبت جذب سدیم (Richards, 1954) با استفاده از رابطه $SAR = [Na^+] / \sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2}$ اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزارهای Excel و Spss با روش آمار توصیفی تجزیه و تحلیل شد. شاخص‌های مرکزی (میانگین، میانه)، شاخص‌های پراکندگی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری خاک مناطق انارکاری ساوه

Figure 1. Geographical location of soil sampling sites in Saveh pomegranate orchards

نتایج و بحث

نتایج آماره‌های توصیفی شامل میانگین، دامنه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، چارک‌های مربوط به ویژگی‌های ۲۳ نمونه خاک باغ‌های انارکاری شهرستان ساوه در جدول (۱) نمایش داده شده است. براساس نتایج به‌دست

آمده، هر یک از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه به‌ترتیب شامل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، اسیدیته خاک، کربنات کلسیم معادل، بافت خاک، سدیم محلول، کلسیم و منیزیم محلول، کلر محلول، سولفات محلول، بی‌کربنات محلول، نسبت جذب سدیم مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول ۱ - شاخص‌های آمار توصیفی خاک‌های انار کاری شهرستان ساوه

Table 1. Descriptive statistics of soil properties in the pomegranate orchards of Saveh

سولفات محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	بی‌کربنات محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	کلر محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	نسبت جذب سدیم	کلسیم و منیزیم محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	سدیم محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	شاخص‌های آماری
Soluble sulfate (meq/L)	Soluble bicarbonate (meq/L)	Soluble chloride (meq/L)	Sodium Adsorption Ratio (SAR)	Soluble calcium + Magnesium (meq/L)	Soluble sodium (meq/L)	Calcium carbonate Equivalent (%)	pH	Electrical conductivity of saturated paste extract (dS/m)	Statistical index
18.25	2.16	20.41	5.92	20.82	20	22.02	7.8	4.08	Mean میانگین
31.74	3.76	35.5	5.17	36.21	34.79	21.4	0.51	7.1	Range دامنه
17.15	0.85	8	3.88	8.16	7.84	10.1	7.6	1.6	Minimum حداقل
38.89	4.61	43.5	9.05	44.37	42.62	31.5	8.1	8.7	Maximum حداکثر
11.54	1.37	12.9	1.89	13.16	12.65	7.82	0.14	2.6	Standard deviation انحراف معیار
133.07	1.87	166.49	3.58	173.22	159.9	61.13	0.02	6.7	Variance واریانس
0.75	0.75	0.75	0.55	0.75	0.75	-0.28	0.01	0.75	Skewness چولگی
-1.05	-1.05	-1.05	-1.33	-1.05	-1.05	-1.64	-0.71	-1.05	Kurtosis کشیدگی
9.16	1.09	10.25	4.39	10.45	10.04	15.25	7.71	2.05	First quartile (Q1) چارک اول
12.07	1.43	13.5	5.04	13.77	13.23	24.4	7.8	2.7	Median (Q2) چارک دوم
28.16	3.34	31.5	7.7	32.13	30.87	28.8	7.9	6.3	Third quartile (Q3) چارک سوم

جدول ۲- ضرایب همبستگی شاخص‌های شوری خاک‌های انارکاری ساوه

Table 2. Correlation coefficients of soil salinity indicators in pomegranate orchards of saveh

شاخص‌ها	Index	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع Electrical conductivity of saturated Paste extract	نسبت جذب سدیمی Sodium Adsorption Ratio (SAR)	غلظت سدیم محلول Soluble sodium concentratio n	غلظت کلسیم و منیزیم محلول Soluble calcium + magnesium concentration	غلظت بی- کربنات Bicarbonat e concentrati on
اسیدیته گل اشباع	pH	1					
هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع	Electrical conductivity of saturated paste extract	0.32 ^{ns}	1				
نسبت جذب سدیم	Sodium Adsorption Ratio (SAR)	0.41*	0.99**	1			
غلظت سدیم محلول	Soluble sodium concentration	0.45*	0.81**	0.88**	1		
غلظت کلسیم و منیزیم محلول	Soluble calcium + Magnesium concentration	-0.28 ^{ns}	0.26 ^{ns}	-0.35*	-0.42*	1	
غلظت بی کربنات	Bicarbonate concentration	0.39*	0.61**	0.52**	0.67**	-0.31 ^{ns}	1

*, **, and ns indicate significance at the 5%, 1%, and non-significant levels, respectively

***, ns معنی، داری به ترتیب در سطح پنج، یک و بی معنی

هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع

عملکرد و رشد آغاز شده و با افزایش میزان شوری تشدید می‌شود (Maas, 1993). انار جزء گیاهان با تحمل متوسط به شوری تقسیم بندی می‌شود. تحمل گیاهان به شوری در بین ارقام مختلف کاملاً متغیر است و تحت تأثیر شرایط محیطی رشد گیاه نظیر خاک و محیط می‌باشد. در مناطق سرد و مرطوب تحمل گیاهان به شوری در مقایسه با اقلیم گرم و خشک بیشتر است (Ayers and Westcot, 1985). در خاک‌های شور به علت اینکه میزان انرژی مصرفی گیاه برای جذب آب و همچنین انرژی لازم جهت تنظیم فعالیت‌های بیوشیمیایی خیلی زیادتر از خاک‌های شور می‌باشد لذا شوری خاک اثرات نامطلوبی در رشد گیاه ایجاد می‌کند (Rhoades and Loveday, 1990).

اسد دتہ خاک

میانگین اسیدپتیه خاک $7/8$ است که نشان می‌دهد به دلیل وجود کربنات کلسیم بالا خاک‌ها قلیایی هستند (McLean, 1982). دامنه تغییرات از $7/6$ تا $8/1$ بسیار محدود بوده و انحراف معیار پایین ($0/14$) نیز این یکنواختی را تأیید می‌کند. چوله نزدیک به صفر ($0/01$) نشان می‌دهد که توزیع اسیدپتیه خاک‌ها تقریباً متقارن است. کشیدگی منفی ($-0/71$) نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها کمی مسطح‌تر از توزیع نرمال است. 75 درصد از نمونه خاک‌ها

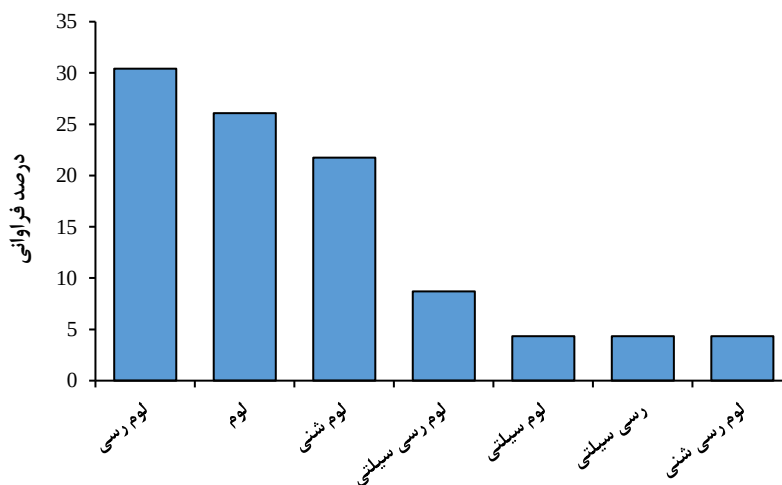
میانگین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک‌ها ۴/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر است. دامنه تغییرات از ۱/۶ تا ۸/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. ۲۵ درصد از نمونه‌ها هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع کمتر از ۲/۰۵، ۵۰ درصد از نمونه‌ها کمتر از ۲/۷ (میان)، ۷۵ درصد از نمونه‌ها کمتر از ۶/۳ دسی‌زیمنس بر متر دارند. انحراف معیار ۲/۶ نشان می‌دهد که پراکندگی نسبتاً زیادی در میزان شوری خاک وجود دارد. چوله به راست (۰/۷۵) نشان می‌دهد که تعداد بیشتری از نمونه‌ها دارای هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع کمتر از میانگین هستند و تعدادی نمونه با هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع بسیار بالا وجود دارند؛ به عبارت دیگر ۴۰ درصد از باغ‌های انارکاری مطالعه شده در مناطقی که شوری خاک بیش از ۴/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر دارند و در محدوده شور و بسیار شور طبقه‌بندی می‌شوند (Richards, 1954). کشیدگی منفی (-۱/۰۴۶) نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها نسبتاً مسطح‌تر از توزیع نرمال است. انحراف معیار بالا (۲/۵۸) نشان‌دهنده تنوع قابل توجه در هدایت الکتریکی خاک‌هاست.

میانگین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در این نمونه‌ها نسبتاً بالاست. برای درختان انار، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع بالاتر از ۴ دسم/زیمنس بر متر (آستانه تحمل به شوری انار) محدودیت

علت تثبیت آن در خاک آهکی و بهم خوردن تعادل یونی و کاهش جذب کلسیم و پتاسیم می‌شود (Fageria et Marschner, 2012). جهت مقابله با اثرات سوء آهک در خاک باغ‌های انار کاربرد کلات‌ها را می‌توان توصیه نمود. کلات‌ها ترکیبات پایدارتری هستند و ریز مغذی‌های فلزی را در اسیدپته بالا محلول نگه داشته و جذب آن‌ها را برای گیاه آسان می‌کنند علاوه بر کاربرد خاکی محلول‌پاشی ریز مغذی‌های کلات یا سولفات‌های آن‌ها (مانند سولفات روی، سولفات منگنز) روی شاخ و برگ، راهی سریع برای جلوگیری و رفع علائم ظاهری کمبود می‌باشد، زیرا جذب از طریق برگ سریع‌تر از جذب از طریق ریشه در خاک‌های نامساعد است (Havlin et al., 2014). در برخی موارد، افزودن مقدار کنترل شده اسید (مانند اسید نیتریک یا اسید فسفریک) به آب آبیاری می‌تواند به کاهش اسیدپته آب و همچنین کاهش اسیدپته موضعی خاک در طول زمان کمک کند و جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد (Havlin et al., 2014; Fageria et al., 2011).

بافت خاک

نمونه‌های خاک مورد بررسی دارای تنوع قابل توجهی از نظر بافتی هستند و در هفت کلاس بافتی مختلف طبقه‌بندی شده‌اند (شکل ۲). این کلاس‌های بافتی شامل لوم، لوم رسی، لوم شنی، لوم سیلتی رسی، رسی سیلتی، لوم سیلتی و لوم شنی رسی هستند. بیشترین فراوانی مربوط به خاک‌های لوم رسی و لوم است که نشان‌دهنده غالب بودن بافت‌های متوسط در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۲- درصد فراوانی کلاس‌های بافت خاک در نمونه‌های خاک باغ‌های انار ساوه

Figure 2. The frequency of soil texture classes in soil samples of Saveh pomegranate orchards

اسیدپته بین ۷/۶ و ۷/۹ دارند که نشان دهنده محدوده نسبتاً باریک اسیدپته در بیشتر نمونه‌ها است.

در اسیدپته‌های بالای ۷/۵ قابلیت جذب عناصر غذایی به‌استثنای مولیبدن کاهش می‌یابد برای مقابله با اسیدپته‌های بالا باید مقدار آهک خاک و پی کربنات آب آبیاری را با استفاده از مواد آلی به همراه گوگرد و اسیدی کردن آب آبیاری کاهش داد (Marschner, 2012). همچنین در خاک‌های مورد مطالعه، با استفاده از آزمون خاک بایستی غلظت عناصر غذایی تعیین و قابلیت استفاده عناصر با مصرف نوع و میزان صحیح مواد کودی مدیریت شود (Havlin et al., 2014; Brady and Weil, 2016).

کربنات کلسیم معادل

میانگین کربنات کلسیم معادل ۲۲/۰۲ درصد و دامنه تغییرات از ۱۰/۱ تا ۳۱/۵ درصد بوده که نسبتاً وسیع است. ۵۷ درصد خاک‌های مورد مطالعه بیش از ۲۰ درصد آهک دارند که از نظر میزان آهک جزو خاک‌های آهکی تقسیم‌بندی می‌شوند (Ryan et al., 2001). انحراف معیار بالا (۷/۸۲) نشان دهنده گستردگی میزان کربنات کلسیم معادل است. چوله به چپ (۰/۲۸-) نشان می‌دهد که تعداد بیشتری از نمونه‌ها دارای کربنات کلسیم معادل بیشتر از میانگین هستند. کشیدگی منفی (۱/۶۴-) نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها بسیار مسطح‌تر از توزیع نرمال است.

کربنات کلسیم معادل باعث افزایش اسیدپته خاک می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش حلالیت و جذب ریز مغذی‌هایی نظیر آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده و بروز زردی ناشی از کمبود این عناصر و همچنین کاهش جذب فسفر قابل استفاده به

در محدوده کم‌تر تا متوسط قرار دارند. ۲۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت سدیم محلول کمتر از $۱۰/۰۴$ ، ۵۰ درصد کمتر از $۱۳/۲۳$ و ۷۵ درصد کمتر از $۳۰/۸۷$ میلی‌اکی‌والان در لیتر بود (Corwin and Scudiero, 2019). در ۲۵ درصد نمونه‌های باقیمانده با غلظت سدیم بالا اقدامات مدیریتی شامل شستشوی خاک با آب با کیفیت مناسب، کاربرد گچ کشاورزی برای جایگزینی سدیم با کلسیم و مدیریت آبیاری برای جلوگیری از تجمع بیشتر نمک‌ها توصیه می‌شود (Minhas et al., 2020).

ضریب همبستگی هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با سدیم همبستگی مثبت و معنی‌دار ($۰/۸۱^{**}$) در جدول ۲ نشان می‌دهد که بخش زیادی از شوری خاک ناشی از تجمع سدیم است. به عبارت دیگر، افزایش شوری خاک همراه با غلبه سدیم محلول بر کلسیم و منیزیم، موجب تخریب ساختار خاک و بروز اثرات منفی سدیمی‌شدن می‌شود؛ که این می‌تواند به علت منشأ زمین‌شناسی مشترک بر اثر وجود کانی‌های حاوی سدیم، کلسیم و منیزیم مانند مونت‌موریلونیت باشد (FAO, 2016; Rengasamy, 2010).

کلسیم و منیزیم محلول

تحلیل داده‌های مجموع کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در ۲۳ نمونه خاک‌های انار شهرستان ساوه نشان داد که غلظت این کاتیون‌ها از $۸/۱۶$ تا $۴۴/۳۷$ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر است. میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده $۲۰/۸۲$ با انحراف معیار $۱۳/۱۶$ میلی‌اکی‌والان در لیتر بود که بیانگر پراکندگی نسبتاً بالای داده‌ها است. چولگی نشان می‌دهد توزیع داده‌ها به سمت مقادیر پایین‌تر از میانگین متمایل است. اگرچه برخی نمونه‌ها دارای غلظت بسیار بالایی هستند، اما بیشتر داده‌ها در محدوده کم تا متوسط قرار دارند (Sposito, 2008). ضریب کشیدگی ($-۱,۰۵$) نیز حاکی از توزیع نسبتاً مسطح داده‌ها است. Oster و Shainberg (۱۹۷۹) عنوان نمودند که کشیدگی منفی با ناهمگنی ساختار زمین‌شناسی در ارتباط می‌باشد. ۲۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت مجموع کلسیم و منیزیم محلول کمتر از $۱۰/۴۵$ ، ۵۰ درصد کمتر از $۱۳/۷۷$ و ۷۵ درصد کمتر از $۳۲/۱۳$ میلی‌اکی‌والان در لیتر بود که با یافته‌های Minhas و همکاران (۲۰۲۰) برای انار مطابقت دارد.

ضرایب همبستگی جدول (۲) نشان داد که غلظت مجموع کلسیم و منیزیم با غلظت سدیم محلول همبستگی منفی و معنی‌داری ($-۰/۴۲^{**}$) نشان داد، به این معنی که با افزایش مقادیر کلسیم و منیزیم، میزان سدیم محلول که عاملی مخرب در تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و بروز مشکلات شوری-سدیمی است،

از نظر ترکیب بافتی، خاک‌های مورد مطالعه تنوع وسیعی نشان می‌دهند. درصد شن از حداقل ۱۰ درصد در برخی نمونه‌ها تا حداکثر ۷۲ درصد متغیر است. درصد سیلت نیز از ۱۴ درصد تا ۵۷ درصد و درصد رس از ۱۳ درصد تا ۴۲ درصد متغیر می‌باشد. خاک‌های لوم شنی که بیشترین درصد شن را دارند، معمولاً در نمونه‌هایی مشاهده می‌شوند که درصد شن آن‌ها بالای ۵۰ درصد است. این خاک‌ها به دلیل زهکشی مناسب و نفوذپذیری بالا، معمولاً مشکلات شوری کمتری نشان می‌دهند. در مقابل، خاک‌های با درصد رس بالا مانند رسی سیلتی که تا ۴۲ درصد رس دارند، به دلیل زهکشی ضعیف‌تر و نگهداری بیشتر نمک‌ها، مستعدتر به تجمع شوری هستند.

خاک‌های با درصد رس بالاتر معمولاً مقادیر هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم قابل تبادل بالاتری نشان می‌دهند. این پدیده به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر، زهکشی ضعیف‌تر و قابلیت نگهداری بیشتر نمک‌ها در خاک‌های ریز یافت است. از نظر توزیع مکانی، نمونه‌های با شوری بالا معمولاً در مناطقی با زهکشی ضعیف یا در نزدیکی منابع آب شور قرار دارند. همچنین، عمق سفره آب زیرزمینی و کیفیت آب آبیاری نیز بر سطح شوری خاک‌ها تأثیر گذار است (Brady and Rengasamy, 2006; Weil, 2016).

خاک‌های شنی-لومی علی‌رغم زهکشی مناسب، در برخی موارد شوری بالایی نشان داده‌اند که احتمالاً به دلیل عوامل خارجی مانند کیفیت آب آبیاری، تبخیر و تعرق بالا، رسوب نمک‌های سطحی ناشی از شرایط اقلیمی خشک، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی یا دامی دارای شوری و همچنین منشأ زمین‌شناسی خاک است. خاک‌های رسی و سیلتی نیز به دلیل زهکشی ضعیف مستعد تجمع شوری هستند.

سدیم محلول

تحلیل داده‌های کاتیون سدیم محلول در ۲۳ نمونه خاک باغ‌ها انار ساوه نشان می‌دهد که غلظت سدیم از $۷/۸۴$ تا $۴۲/۶۳$ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر است. میانگین غلظت سدیم اندازه‌گیری شده ۲۰ با انحراف معیار $۱۲/۶۵$ میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد که نشان‌دهنده پراکندگی قابل توجه داده‌ها است. نتایج مشابه توسط Corwin و Scudiero (۲۰۱۹) گزارش شده است. بررسی چولگی داده‌ها ($۰/۷۵$) حاکی از آن است که توزیع سدیم به سمت مقادیر پایین‌تر از میانگین متمایل است. این بدان معنی است که اگرچه برخی نمونه‌ها دارای غلظت بسیار بالای سدیم هستند، اما بیشتر نمونه‌ها

سولفات محلول

شاخص‌های آماری مربوط به غلظت یون سولفات محلول در نمونه‌های خاک موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار سولفات در این نمونه‌ها دارای کمینه‌ای برابر با ۱۷/۱۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و بیشینه‌ای معادل ۳۸/۸۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. میانگین غلظت سولفات برابر با ۱۸/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به‌دست آمد. مقدار انحراف معیار که میزان پراکندگی داده‌ها را نسبت به میانگین نشان می‌دهد، برابر با ۱۱/۵۴ است و بیانگر پراکندگی نسبتاً زیاد داده‌هاست. همچنین مقدار چولگی مثبت ۰/۷۵ نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها راست‌چوله بوده و داده‌های بزرگ‌تری نسبت به میانگین در انتهای راست نمودار توزیع قرار گرفته‌اند. در کنار این شاخص، کشیدگی نیز برابر با منفی ۱/۰۵ محاسبه شد که نشان‌دهنده پهن‌تر بودن توزیع نسبت به منحنی نرمال است و بیانگر این است که مقادیر اطراف میانگین بیشتر و نوسانات نسبتاً یکنواخت‌تری در کل داده‌ها وجود دارد. غلظت سولفات محلول در این نمونه‌های خاک دارای پراکندگی نسبتاً بالا و توزیعی نامتقارن به سمت راست است. این ویژگی می‌تواند به علت منشأ شوری، نوع مدیریت آبیاری، کیفیت آب مصرفی و نوع کانی‌های موجود در خاک باشد.

تحلیل چارک‌های غلظت سولفات نشان می‌دهد که میانه غلظت سولفات در نمونه‌های خاک ۱۲/۰۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. ۲۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت سولفات کمتر از ۹/۱۶ و ۲۵ درصد دیگر غلظتی بالاتر از ۲۸/۱۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر دارند که بر اساس استانداردهای فائو، غلظت‌های بالاتر از ۲۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نیاز به مدیریت ویژه‌ای مانند آبشویی و کاهش مصرف کودهای سولفاته هستند. سولفات یکی از آنیون‌های اصلی در خاک‌های شور است. اگرچه سولفات به‌خودی‌خود سمیت کمی برای گیاهان دارد (بر خلاف کلر یا بور)، اما در مقادیر بالا می‌تواند باعث افزایش شوری کل خاک شود. سولفات با کلسیم، منیزیم یا سدیم ترکیب شده و رسوبات کم محلول ایجاد می‌کند و سبب کاهش قدرت یونی محلول خاک می‌شود؛ اما در خاک‌های آهکی و کم زهکش، به‌ویژه همراه با سدیم، باعث کاهش تهویه و آبشویی کمتر املاح و همچنین باعث تلخی یا کاهش کیفیت آب آبیاری شده و اثرات غیرمستقیم روی درخت انار بگذارد (Maas and Hoffman, 1977).

بی‌کربنات محلول

آنیون بی‌کربنات به‌تنهایی سمیت مستقیم برای گیاه ندارد، اما افزایش آن در خاک یا آب آبیاری به‌ویژه در درختان میوه مانند انار اثرات غیرمستقیم منفی بر تغذیه و کیفیت خاک دارد. تحلیل

کاهش می‌یابد، واضح است که جایگزینی کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به‌جای سدیم در سطح کلونیدهای خاک، از پیامدهای منفی سدیمی‌شدن جلوگیری می‌کند؛ بنابراین، وجود مقادیر کافی کلسیم و منیزیم می‌تواند اثرات نامطلوب سدیم بر پایداری ساختار خاک و حاصلخیزی آن را کاهش دهد (Qadir and Oster, 2004).

کلر محلول

شاخص مخاطرات کلر محلول در خاک برای درختان انار اهمیت زیادی دارد، زیرا کلر محلول یکی از عناصر سمی در غلظت‌های بالا است و در خاک‌های شور یا مناطقی با آبیاری با آب‌شور می‌تواند باعث زردی برگ، سوختگی نوک برگ‌ها، ریزش برگ و کاهش عملکرد شود. درختان انار در مقایسه با درختان حساس‌تری مثل مرکبات، تحمل نسبتاً متوسطی به کلر دارند، اما همچنان باید میزان کلر محلول در خاک و آب بررسی و مدیریت شود (Maas and Grattan, 1999). تحلیل داده‌های آنیون کلر نشان داد که غلظت کلر از ۸ تا ۴۳/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر متغیر است. میانگین غلظت کلر اندازه‌گیری شده ۲۰/۴۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر با انحراف معیار ۱۲/۹۰ می‌باشد که نشان‌دهنده پراکندگی قابل‌توجهی در داده‌ها است. مقدار ۱۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر به عنوان حد بحرانی کلر محلول در خاک‌های کشاورزی براساس گزارش FAO (۲۰۱۷) می‌باشد که هدف آن پیشگیری از هرگونه اثر منفی بالقوه بر گیاهان حساس بوده و جنبه محافظه‌کارانه دارد. تحلیل چارک‌ها نشان داد که ۲۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت کلر محلول کم، ۳۵ درصد در دسته متوسط و ۴۰ درصد نمونه‌ها در دسته غلظت بالا تقسیم‌بندی می‌شود.

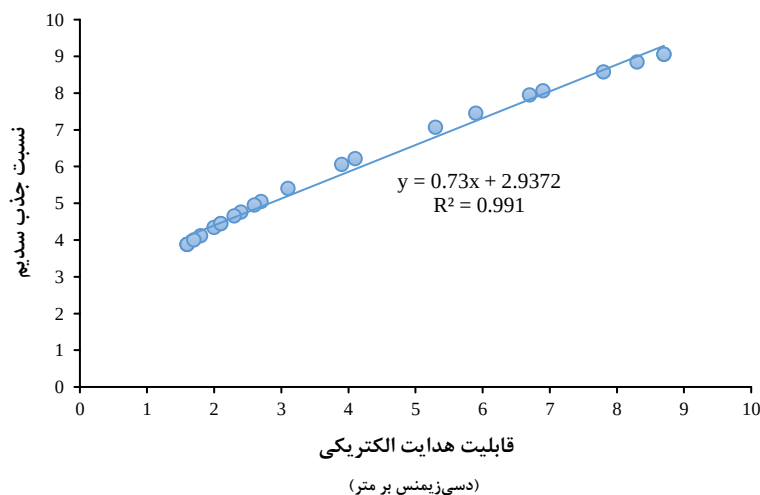
بررسی چولگی داده‌ها (۰/۷۵) نشان می‌دهد که توزیع کلر به سمت مقادیر پایین‌تر متمایل است. این بدان معنی است که اگرچه برخی نمونه‌ها دارای غلظت بسیار بالای کلر هستند، اما بیشتر نمونه‌ها در محدوده کم تا متوسط قرار دارند. دامنه تغییرات کلرید (۳۵/۵ واحد) بیانگر تنوع زیاد این آنیون در خاک باغ‌ها انارکاری است. حدود ۷۵ درصد از باغ‌های مورد مطالعه با تهدید اثرات سوء ناشی از غلظت بالای کلر محلول مواجه هستند. اقدامات اصلاحی نظیر شستشوی خاک با آب آبیاری با کیفیت مناسب، مدیریت آبیاری برای جلوگیری از تجمع بیشتر کلر، استفاده از گیاهان پوششی متحمل به شوری و کاربرد کودهای حاوی کلسیم برای تعدیل اثرات منفی کلر توصیه می‌شود (Minhas Grattan and Grieve, 1999; et al., 2020).

ترکیب یونی خاک‌های مورد مطالعه به طور میانگین از ۴۹ درصد سدیم، ۵۱ درصد کلسیم و منیزیم در بخش کاتیونی و ۵۲ درصد کلرید، ۴۴ درصد سولفات و ۴ درصد بی‌کربنات در بخش آنیونی تشکیل شده است. الگوی غالب یونی، سیستم کلرور - سدیم با غلبه سدیم در ۵۲ درصد نمونه‌ها و برتری کلرید در ۷۸ درصد نمونه‌هاست.

نسبت جذب سدیم

نتایج نشان داد که مقادیر نسبت جذب سدیم از ۳/۸۸ تا ۹/۰۵ متغیر است. میانگین این شاخص ۵/۹۲ با انحراف معیار ۱/۸۹ محاسبه شده که نشان‌دهنده پراکندگی نسبتاً بالایی در داده‌ها می‌باشد. چولگی ۰/۵۵ نشان‌دهنده این است که بیشتر داده‌ها مقداری کمتر از میانگین دارند. کشیدگی ۱/۳۳ - نشان‌دهنده توزیع نسبتاً مسطح داده‌ها است. خاک‌های مورد مطالعه از نظر ویژگی نسبت جذب سدیم در گروه بدون خطر قرار می‌گیرند (FAO, 2021). شکل ۳ تغییرات نسبت جذب سدیم را مقابل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شاخص‌های آماری بی‌کربنات محلول در نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که غلظت این آنیون در محدوده ۰/۸۵ تا ۴/۶۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر است. میانگین غلظت بی‌کربنات ۲/۱۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر محاسبه شد. انحراف معیار ۱/۳۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیانگر پراکندگی نسبتاً بالای داده‌ها حول میانگین است. چولگی مثبت (۰/۷۵) تأیید می‌کند که توزیع داده‌ها به سمت مقادیر بالاتر متمایل است. حدود ۷۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت بی‌کربنات کمتر از ۳/۳۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر هستند که نشان‌دهنده تمرکز بیشتر داده‌ها در محدوده غلظت‌های پایین‌تر می‌باشد. بر اساس استانداردهای فائو، غلظت‌های بالای ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌تواند برای گیاهان مشکل‌ساز باشد که در این مطالعه حدود ۳۰ درصد نمونه‌ها در این محدوده قرار می‌گیرند. این نتایج اهمیت پایش منظم و مدیریت اصولی بی‌کربنات در خاک‌های مورد مطالعه را برجسته می‌سازد. غلظت بی‌کربنات بیشتر از ۲/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر باعث رسوب کلسیم و منیزیم به شکل کربنات یا بی‌کربنات و در نتیجه کاهش جذب این عناصر توسط گیاه می‌شود. همچنین با کاهش کلسیم در محلول خاک، نسبت سدیم جذب شده افزایش یافته و نیز موجب افزایش قلیائیت خاک و کاهش خلالت عناصر کم‌مصرف شود (Ayers and Westcot, 1985).



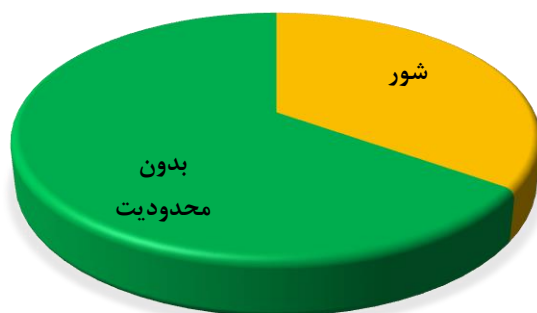
شکل ۳- تغییرات نسبت جذب سدیم در مقابل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک‌های انار کاری ساوه
Figure 3. Variation of sodium adsorption ratio (SAR) versus electrical conductivity of saturated paste extract in soils of saveh pomegranate orchards

رگرسیون حاکی از آن است که به ازای هر واحد افزایش هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، نسبت جذب سدیم به میزان ۰/۷۳ واحد

شکل ۳ رابطه خطی قوی بین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک و نسبت جذب سدیم را نشان می‌دهد. معادله

ساختار) در شوری‌های بالا تشدید می‌شود (Corwin and Yemoto, 2020). این تحلیل نشان می‌دهد که مدیریت نسبت جذب سدیم نیازمند برنامه‌ریزی تلفیقی با در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌باشد (Shrivastava and Minhas et al., 2020; Kumar, 2015).

افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده وابستگی مستقیم و خطی این دو پارامتر است. ضریب تعیین ۰/۹۹۱ نیز بیانگر دقت بسیار بالا در پیش‌بینی نسبت جذب سدیم بر اساس هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک است و نشان می‌دهد داده‌ها به‌طور چشم‌گیری حول خط رگرسیون متمرکز بوده و خطر سدیمی‌شدن خاک (تخریب

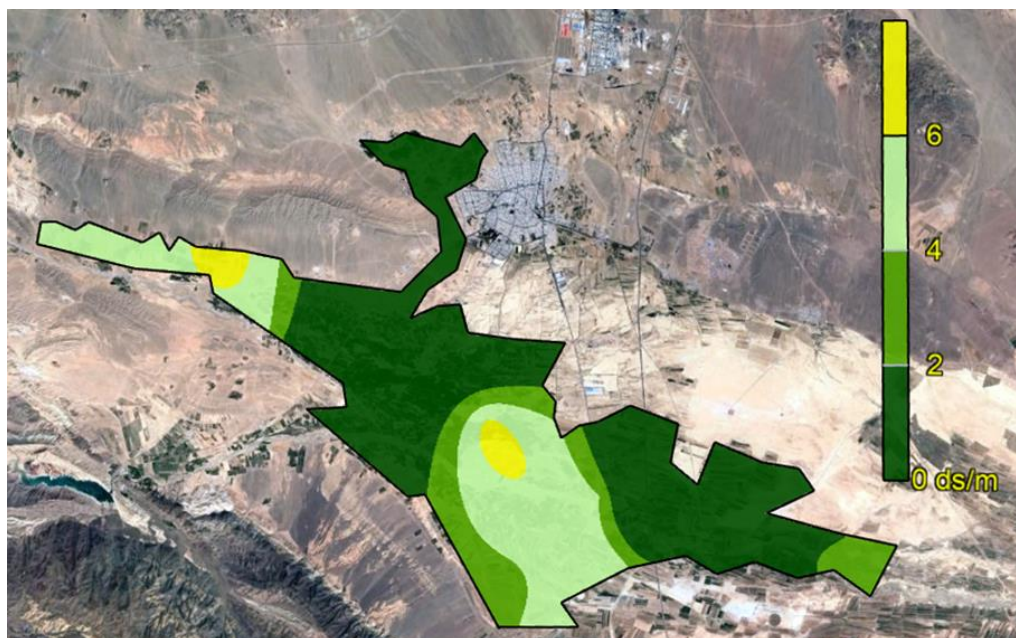


شکل ۴- طبقه‌بندی کیفی خاک‌های انار کاری ساوه از نظر شوری

Figure 4. Qualitative classification of soil salinity in saveh pomegranate orchards

بودند که نشان‌دهنده عدم مخاطره قلیابیت و حفظ پایداری ساختار خاک است. می‌توان در خاک‌های مطالعه شده مشکل اصلی شوری می‌باشد بنابراین، مدیریت این اراضی باید بر اصلاح شوری از طریق شستشو و زهکشی متمرکز شود (FAO, 1985).

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است ۶۵/۲ درصد از خاک‌های مورد مطالعه از نظر شوری و سدیمی بدون محدودیت و ۳۴/۸ درصد در رده خاک‌های شور طبقه‌بندی شدند. از نظر خطر سدیمی بودن، تمامی نمونه‌ها دارای درصد سدیم تبادلی کمتر از ۱۵



شکل ۵- پهنه بندی هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک‌های انار کاری ساوه

Figure 5. Spatial distribution of electrical conductivity of saturated paste extract in soils of Saveh pomegranate orchards

دارای شوری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر بوده و حدود ۷ هزار هکتار دارای شوری بیش از این حد بحرانی بوده که نیازمند اقدامات مدیریتی و اصلاحی است (Corwin and Lesch, 2005).

نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که شوری خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در تولید پایدار انار در شهرستان ساوه است. افزایش هدایت الکتریکی و سدیمی‌شدن خاک‌ها اثرات منفی قابل‌توجهی بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه انار دارد. بررسی ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک نشان داد که در حدود ۳۵ درصد از خاک‌ها در رده شور قرار گرفتند که می‌تواند محدودیت جدی در رشد و عملکرد انار ایجاد کند. پایش غلظت سدیم و بی‌کربنات می‌تواند به عنوان راهکار مدیریت باغ‌ها برای جلوگیری از خطر تخریب ساختمان و کاهش حاصلخیزی خاک در نظر گرفته شود. از سوی دیگر، نوع و روش آبیاری نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت شوری و شست‌وشوی نمک‌ها از ناحیه ریشه دارد. استفاده از روش‌های مناسب آبیاری می‌تواند به کاهش تجمع نمک در خاک و حفظ حاصلخیزی کمک کند.

برای مدل‌سازی فضایی شوری خاک، از روش کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) پس از تبدیل لگاریتمی داده‌ها به‌منظور نرمال‌سازی توزیع استفاده شد (Goovaerts, 1997; Webster and Oliver, 2007). مدل واریوگرام بهینه، از نوع کروی (Spherical) با پارامترهای نقطه‌قطع (Nugget) معادل ۱/۵، سقف (Sill) برابر با ۱۸ و برد (Range) حدود ۸ کیلومتر تعیین گردید. نسبت پایین نقطه‌قطع به سقف (۸/۳ درصد) بیانگر همبستگی فضایی قابل توجه در داده‌ها است (Isaaks and Srivastava, 1989). دقت مدل با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع و شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۲/۱ ارزیابی شد (Li and Heap, 2014).

با این حال، همان‌طور که اشاره شد، شوری خاک در مقیاس محلی تغییرپذیری بالایی دارد و عمدتاً تابعی از کیفیت آب آبیاری و مدیریت مزرعه است؛ بنابراین، نقشه حاصل بیشتر روند کلی فضایی شوری را نشان می‌دهد و ممکن است در برخی نقاط مقادیر واقعی متفاوت باشد، به‌ویژه در مناطقی که پوشش باغ انار کامل نیست یا شرایط محلی متفاوت است. بر این اساس از مجموع حدود ۲۵ هزار هکتار اراضی انارکاری ساوه، نزدیک به ۱۸ هزار هکتار

References

1. Ministry of Agriculture Jihad of Iran. 2022. Agricultural Statistical Yearbook 1400 (2021/22). Tehran: Deputy for Planning and Economic Affairs.(in persian)
2. Alloway, B. J. 2008. Micronutrient deficiencies in global crop production. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7>.
3. Ayers, R. S., and Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29.
4. Brady, N. C., and R. R. Weil. 2016. The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson. (Chapter 9: Soil Acidity).
5. Chen, Y., and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, 35, 217-240. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60326-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60326-0).
6. Corwin, D. L. 2021. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>. 862.
7. Corwin, D.L., and K. Yemoto. 2020. "Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids." In *Methods of Soil Analysis* (pp. 1-18). SSSA Book Series.
8. Corwin, D. L., and E. Scudiero. 2019. Review of soil salinity assessment for agriculture across multiple scales using proximal and/or remote sensors. *Advances in Agronomy*, 158, 1-130. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.001>.
9. Corwin, D. L., and Lesch, S. M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 11-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>.
10. Fageria, N. K., V.C. Baligar., and C.A. 2011. Growth and mineral nutrition of field crops (3rd ed.). CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479711000263>.
11. Food and Agriculture Organization. 2021. Handbook for Saline Soil Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
12. Food and Agriculture Organization. 2017. Water quality for agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1).
13. Food and Agriculture Organization. 2016. Calcium and magnesium in irrigation water: Significance in soil and plant systems (FAO Water Reports 42). FAO.
14. Food and Agriculture Organization . 1985. Water quality for agriculture (Irrigation and Drainage Paper No. 29). Rome: FAO.
15. Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press.
16. Grattan, S.R., and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1-4), 127-157.
17. Havlin, J. L., J.D. Beaton., S.L. Tisdale., and W.L. Nelson. 2014. Soil fertility and fertilizers (8th ed.). Pearson.
18. Holland, D., K. Hatib., and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews*, 35, 127-191. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch2>.
19. IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
20. Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M. 1989. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press.
21. Karimi, H. R., and S.H. Mirdehghan. 2013. Correlation between the morphological characters of pomegranate (*Punica granatum*) traits and their implications for breeding. *Turkish Journal of Botany*. 355-362.
22. Oster, J. D., and I. Shainberg. 1979. Exchangeable cation hydrolysis and soil weathering as affected by exchangeable sodium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:70-75.
23. Li, J., and A. D. Heap. 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>.
24. Lindsay, W. L., and A.P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4-7), 821-840.

- <https://doi.org/10.1080/01904168209363012>.
25. Loeppert, R. H., and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods* (pp. 437-474). SSSA.
 26. Maas, E. V. 1993. Salt tolerance of plants. *Appl. Agric. Res.*, 1, 12-36.
 27. Maas, E. V., and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 115-134.
 28. Marschner, P. 2012. *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press. (Chapter 15: Soil ph).
 29. Maas, E.V. and S.R. Grattan. 1999. *Crop yields as affected by salinity*. In: R.W. Skaggs & J. Van Schilfgaarde (Eds.), *Agricultural Drainage. Agronomy Monograph No. 38*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
 30. Mastrogiannidou, E., C. Chatzissavvidis, C. Antonopoulou, V. Tsabardoukas, A. Giannakoula, and I. Therios. 2016. Response of pomegranate cv. Wonderful plants to salinity. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(3), 621-636. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000032>.
 31. Mclean, E. O. 1982. Soil ph and lime requirement. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties* (pp. 199-224). ASA-SSSA.
 32. Minhas, P. S., T.B. Ramos, A. Ben-Gal, and L.S. Pereira. 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, 227, 105832. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832>.
 33. Mirdehghan, S. H., and M. Rahemi. 2015. Effects of hot water treatment on reducing chilling injury of pomegranate (*Punica granatum*) fruit during storage. V International Postharvest Symposium, 887-892.
 34. Momenpour, A. , M. Dehestani Ardakani, M. Shirmardi, J. Gholamnezhad, F. Ahmadi, and Z. Jamaati. 2022. Salinity tolerance evaluation of twelve selected pomegranate (*Punica granatum*) genotypes to achieve tolerant cultivars and rootstocks. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 5(Issue 4), 363-378. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2022.5152.1270>.
 35. Qadir, M., and J. D. Oster. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, 323(1-3), 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.012>.
 36. Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>.
 37. Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620. <https://doi.org/10.1071/FP09249>.
 38. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods* (pp. 417-435). SSSA.
 39. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook 60. Washington, DC: United States Department of Agriculture
 40. Rhoades, J.D., and J. Loveday. 1990. Salinity in irrigated agriculture. ASA Monograph 'Irrig. Of Agric. Crops', Agron. Monogr. No. 30. Pp.1089-1141.
 41. Rhoades, J.D., F. Chanduvi, and S. Lesch. 1999. Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO irrigation & drainage paper 57. Rome: FAO. ISBN 92-5-104281-0.
 42. Ryan, J., G. Estefan, and A. Rashid. 2001. *Soil and plant analysis laboratory manual* (2nd ed.). ICARDA.
 43. Shrivastava, P., and R. Kumar. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>.
 44. Soil Science Society of America. 1996. *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods*. (D.L. Sparks, Ed.). Madison, WI: SSSA Book Series No. 5.
 45. Sparks, D. L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A.

- Tabatabai, and M.E. Sumner. 2020. Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods (SSSA Book Series No. 5). Soil Science Society of America.
46. Sposito, G. 2008. The chemistry of soils (2nd ed.). Oxford University Press.
47. Taghizadeh-Mehrjardi, R., B. Minasny, F. Sarmadian, B.P. Malone. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*. 213:15-28. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.020>.
48. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods* (pp. 475-490). SSSA.
49. UNECE. 2022. New UNECE standard will boost international trade in pomegranate. [online available] <https://unece.org/sustainable-development/press/new-unece-standard-will-boost-international-trade-pomegranate>.
50. Webster, R., and Oliver, M. A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470517277>.
51. Zaouay, F., P. Mena, and C. Garcia-Viguera, and M. Mars. 2012. Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum* L.) Cultivars. *Industrial Crops and Products*, 40, pp.81-89. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.045>.