



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*¹ , and Javad Ghabbeyklou¹

1-Scientific Member, 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

November 22, 2025

Keywords

 soil salinity,
 pomegranate,
 Saveh,
 sodium adsorption ratio,
 calcium carbonate equivalent

*Corresponding author's email

khodshenasm@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Iran, as 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, contributing significantly to the national output and export of the fruit.

However, the arid to semi-arid climate of the area and the 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 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 mmol 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

Publisher: Soil Science Society of Iran



شناخت وضعیت شوری خاک باغ ها 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 مهم ترین چالش های تولید پایدار انار (<i>Punica granatum L.</i>) در شهرستان ساوه به شمار می رود. قرارگیری این منطقه در اقلیم خشک و نیمه خشک، شرایط را برای تجمع نمک ها و سدیمی شدن خاک فراهم کرده است که می تواند اثرات منفی قابل توجهی 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 های باغ ها انار منطقه انجام شد. در این مطالعه از ۲۳ باغ انار نمونه برداری خاک انجام شد. ویژگی هایی مانند هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، بافت، سدیم، کلسیم و منیزیم، کلر محلول، سولفات و نسبت جذب سدیم اندازه گیری و داده ها با استفاده از آمار توصیفی، تحلیل شد. ضریب همبستگی ویژگی ها تعیین و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک های مورد مطالعه با استفاده از روش درون یابی مکانی پهنه بندی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک ها ۴/۰۸ دسی زیمنس بر متر بود. میانگین اسیدیته خاک ها ۷/۸ و میانگین کربنات کلسیم معادل ۲۲/۰۲ درصد بود. همبستگی بالایی بین سدیم و بی کربنات محلول با هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع مشاهده شد. میانگین کلر، سولفات و بی کربنات به ترتیب ۲۰/۴۱، ۱۸/۲۵ و ۲/۱۶ میلی اکی والان بر لیتر بود. ۶۵/۲ درصد از خاک های مورد مطالعه از نظر شوری و سدیمی بودن فاقد محدودیت بود. بر اساس نقشه پهنه بندی ۷۰۰۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه در گروه خاک های شور قرار گرفت که بیانگر وجود محدودیت برای تولید پایدار محصول است. بر اساس یافته های این تحقیق، می توان نتیجه گرفت که اگرچه بخشی از خاک های باغ ها انار شهرستان ساوه با مشکل شوری مواجه هستند، اما خطر سدیمی شدن پایین است. بنابراین، استفاده از راهکارهای مدیریتی نظیر بهبود روش های آبیاری، اصلاح خاک و مدیریت بهینه تغذیه گیاهی می تواند در کاهش اثرات منفی شوری و پایداری تولید انار نقش مؤثری ایفا نماید.

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

DOI:10.22092/IJSR.2025.370194.783



مقدمه

ایران به عنوان سومین تولیدکننده انار در جهان پس از هند و چین، با دارابودن حدود ۸۰۰ ژنوتیپ انار، غنی ترین ذخیره ژنتیکی این محصول را در اختیار دارد (UNECE, 2022). تغییرات الگوهای اقلیمی تأثیرات چشمگیری بر مناطق کشاورزی، به ویژه مناطق خشک، نیمه خشک و ساحلی داشته و موجب افزایش شوری خاک شده است (Corwin, 2021). باتوجه به قرارگیری بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی کشور در مناطق خشک و نیمه خشک حاشیه کویر مرکزی، موضوع شوری خاک به چالشی جدی برای تولید پایدار انار تبدیل شده است.

بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture Jihad of Iran, 2022) ساوه به عنوان یکی از قطب های اصلی تولید انار کشور با سطح زیرکشت ۱۰۴۶۰ هکتار و متوسط عملکرد ۱۰ تن در هکتار می باشد. 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 باغ ها انار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. افزایش شوری موجب کاهش قند، افزایش اسیدیته و کاهش مواد مؤثره دارویی در میوه انار می شود (Zaouay et al., 2012). باتوجه به پیش بینی های تغییر اقلیم و کاهش بارندگی در مناطق مرکزی، توجه به مسئله شوری خاک در باغ ها انار نه تنها یک ضرورت فنی، بلکه اقدامی استراتژیک برای حفظ امنیت غذایی و توسعه پایدار کشاورزی در این مناطق محسوب می شود که در گزارش ششم (AR6) گروه کاری اول (WG1) و همچنین در گزارش گروه کاری دوم (WG2) هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی آمده است (IPCC, 2021). انار در گروه گیاهان نیمه متحمل به شوری طبقه بندی می شود. آستانه تحمل شوری برای انار حدود ۳/۴ دسی زیمنس بر متر است و هر واحد افزایش شوری بیش از این حد می تواند تا ۱۰ درصد از عملکرد محصول بکاهد (Maas and Hoffman, 1977).

هالند و همکاران (Holland et al., 2009) مکانیسم های فیزیولوژیک تحمل به شوری در انار را بررسی کردند. یافته های ایشان نشان داد که درختان انار از طریق مکانیسم هایی مانند دفع نمک از طریق برگ ها، تنظیم اسمزی با تجمع ترکیباتی مانند پرولین و گلیسین بتائین، و تغییرات آناتومیک مانند ضخیم شدن کوتیکول برگ به شرایط شوری پاسخ می دهند. این مطالعه همچنین ارقام مقاوم به شوری مانند واندرفول و مولا را معرفی نمود. کریمی و

میردهقان (Karimi and Mirdehghan, 2013) رابطه بین شوری خاک و کیفیت میوه انار را در استان کرمان بررسی کردند. یافته های ایشان نشان داد که شوری بالای ۵ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۵ درصدی محتوای قند، افزایش ۴۰ درصدی اسیدیته و کاهش ۳۵ درصدی آنتوسیانین میوه می شود. 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، به ویژه در سطوح هدایت الکتریکی بالاتر از ۶ دسی زیمنس بر متر، موجب کاهش رشد رویشی، عملکرد میوه و کیفیت محصول می شود. این کاهش با افزایش شوری شدت می یابد و به دلیل تجمع یون های سدیم و کلر در بافت گیاه و اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری است (Mirdehghan and Rahemi, 2015). (Mastrogiannidou et al., 2016).

مینهایس و همکاران (Minhas et al., 2020) عنوان نمودند که مقابله با شوری خاک و آب به عنوان چالشی جهانی در تولیدات کشاورزی، نیازمند استراتژی های 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 مدل های محاسباتی با راهکارهای عملی مدیریتی می تواند راهگشای کشاورزی پایدار در مناطق شور باشد.

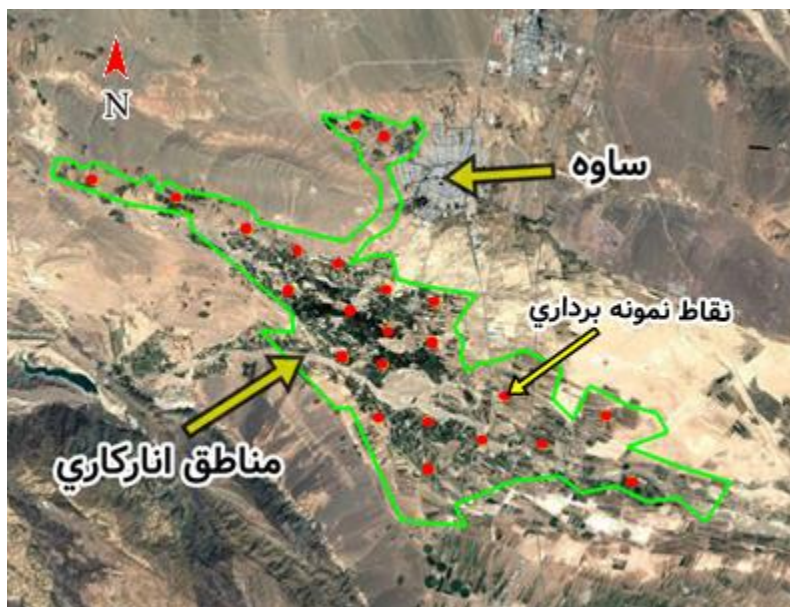
میردهقان و راحمی (Mirdehghan and Rahemi, 2015) در پژوهشی اثرات شوری بر جذب عناصر غذایی در انار را بررسی کردند. یافته ها نشان داد که شوری ۴ دسی زیمنس بر متر موجب افزایش سه برابری سدیم برگ و کاهش ۵۰ درصدی جذب پتاسیم می شود. این مطالعه همچنین تأثیر مثبت محلول پاشی کلسیم کلرید در کاهش آسیب های ناشی از شوری را نشان داد همچنین کاهش معنی دار غلظت نیتروژن و پتاسیم، کلسیم و منیزیم و افزایش کلرید برگ در شرایط خاک شور توسط ماسترویانی دو و همکاران (Mastrogiannidou et al., 2016) و مؤمن پور و همکاران (Momenpour et al., 2022) گزارش شد.

تقی زاده مهرجردی و همکاران (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014) تغییرات شوری خاک در عصاره گل اشباع (E_{Ce}) را در محدوده ای به وسعت ۷۲۰۰۰ هکتار در مرکز ایران بررسی و پهنه بندی نمودند. ضریب تبیین ۷۸ درصد، کارآمدی روش های درون یابی جهت پهنه بندی شوری خاک را تأیید نمود، همچنین آنها عنوان نمودند که استفاده مشابه از این روش ها می تواند در سایر مناطق ایران برای ارزیابی و مدیریت خاک های 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 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 (شکل ۱) نمونه برداری مرکب خاک از عمق صفر تا ۶۰ سانتیمتر انجام و مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری ثبت شد. نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متر 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 کنداکتومتر (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 $SAR = [Na^+] / \sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$

$[Mg^{2+}]/2$ اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشگاهی با نرم‌افزارهای Excel و Spss با روش آمار توصیفی تجزیه و تحلیل شد. شاخص‌های مرکزی (میانگین، میانه)، شاخص‌های پراکندگی (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 پهنه بندی هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک های 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).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری خاک مناطق انارکاری ساوه

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

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی شامل میانگین، دامنه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، چارک های مربوط به ویژگی های ۲۳ نمونه خاک باغ ها انارکاری شهرستان ساوه در (جدول ۱) نمایش داده شده است. براساس نتایج به دست آمده هر

یک از ویژگی های خاک های مورد مطالعه به ترتیب شامل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، اسیدیته خاک، کربنات کلسیم معادل، بافت خاک، سدیم محلول، کلسیم و منیزیم محلول، کلر محلول، سولفات محلول، بی کربنات محلول، نسبت جذب سدیم مورد بحث قرار می گیرد.

جدول ۱ - شاخص های آمار توصیفی خاک های انار کاری شهرستان ساوه

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

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

جدول ۲- ضرایب همبستگی شاخص های شوری خاک های انارکاری ساوه

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

شاخص ها	Index	اسیدیتته گل اشباع	هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع	نسبت جذب سدیمی	غلظت سدیم محلول	غلظت کلسیم و منیزیم محلول	غلظت بی کربنات
		pH	Electrical conductivity of saturated paste extract	Sodium Adsorption Ratio (SAR)	Soluble sodium concentration	Soluble calcium + magnesium concentration	Bicarbonate concentration
اسیدیتته گل اشباع	1						
هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع	0.32 ^{ns}		1				
نسبت جذب سدیم	0.41*		0.99**	1			
غلظت سدیم محلول	0.45*		0.81**	0.88**	1		
غلظت کلسیم و منیزیم محلول	-0.28 ^{ns}		0.26 ^{ns}	-0.35*	-0.42*	1	
غلظت بی کربنات	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

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

هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع

میانگین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک ها ۴/۰۸ دسی زیمنس بر متر است. دامنه تغییرات از ۱/۶ تا ۸/۷ دسی زیمنس بر متر است. ۲۵ درصد از نمونه ها هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع کمتر از ۲/۰۵، ۵۰ درصد از نمونه ها کمتر از ۲/۷ (میان)، ۷۵ درصد از نمونه ها کمتر از ۶/۳ دسی زیمنس بر متر دارند. انحراف معیار ۲/۶ نشان می دهد که پراکندگی نسبتاً زیادی در میزان شوری خاک وجود دارد. چوله به راست (۰/۷۵) نشان می دهد که تعداد بیشتری از نمونه ها 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 باغ های انارکاری مطالعه شده در مناطقی که شوری خاک بیش از ۴/۰۸ دسی زیمنس بر متر دارند و در محدوده شور و بسیار شور طبقه بندی می شوند (Richards, 1954). کشیدگی منفی (۱/۰۴۶-) نشان می دهد که توزیع داده ها نسبتاً مسطح تر از توزیع نرمال است. انحراف معیار بالا (۲/۵۸) نشان دهنده تنوع قابل توجه در هدایت الکتریکی خاک ها است.

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

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

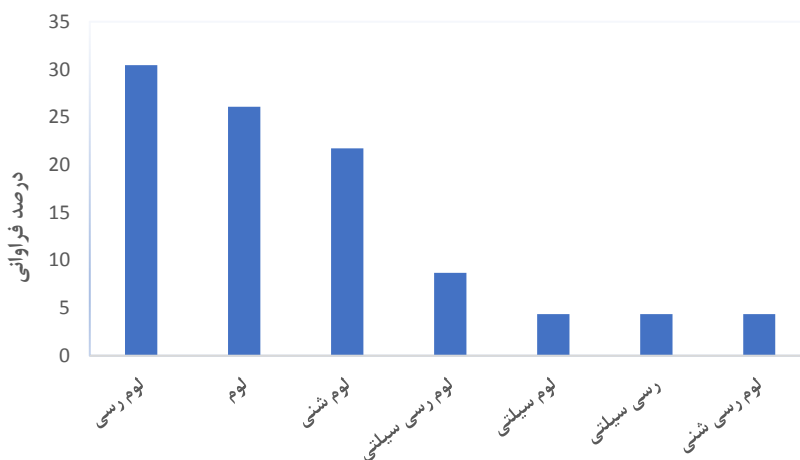
اسیدیتته خاک

میانگین اسیدیتته خاک ۷/۸ است، که نشان می دهد به دلیل وجود کربنات کلسیم بالا خاک ها قلیایی هستند (Mclean, 1982). دامنه تغییرات از ۷/۶ تا ۸/۱ بسیار محدود بوده و انحراف معیار پایین (۰/۱۴) نیز این یکنواختی را تأیید می کند. چوله نزدیک به صفر (۰/۰۱) نشان می دهد که توزیع اسیدیتته خاک ها تقریباً متقارن است. کشیدگی منفی (۰/۷۱-) نشان می دهد که توزیع داده ها کمی مسطح تر از توزیع نرمال است. ۷۵ درصد از نمونه خاک ها

علت تثبیت آن در خاک آهکی و به هم خوردن تعادل یونی و کاهش جذب کلسیم و پتاسیم می شود (Fageria et Marschner, 2012; Chen and Barak, ; Alloway, 2008 ; al., 2011 ; 1982) جهت مقابله با اثرات سوء آهک در خاک باغ ها انار کاربرد کلات ها را می توان توصیه نمود. کلات ها ترکیبات پایدارتری هستند و ریزمغذی های فلزی را در اسیدپته بالا محلول نگه داشته و جذب آن ها را برای گیاه آسان می کنند علاوه بر کاربرد خاکی محلول پاشی ریزمغذی های کلات یا سولفات های آن ها (مانند سولفات روی، سولفات منگنز) روی شاخ و برگ، راهی سریع برای جلوگیری و رفع علائم ظاهری کمبود می باشد، زیرا جذب از طریق برگ سریع تر از جذب از طریق ریشه در خاک های نامساعد است (Havlin et al., 2014; Lindsay and Schwab, 1982 ; 2014) در برخی موارد، افزودن مقدار کنترل شده اسید (مانند اسید نیتریک یا اسید فسفریک) به آب آبیاری می تواند 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

نمونه های خاک مورد بررسی دارای تنوع قابل توجهی از نظر بافتی هستند و در هفت کلاس بافتی مختلف طبقه بندی شده اند (شکل ۲). این کلاس های بافتی شامل لوم، لوم رسی، لوم شنی، لوم سیلتی رسی، رسی سیلتی، لوم سیلتی و لوم شنی رسی هستند. بیشترین فراوانی مربوط به خاک های لوم رسی و لوم است که نشان دهنده غالب بودن بافت های متوسط در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۲- درصد فراوانی کلاس های بافت خاک در نمونه های خاک باغ ها 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 نمونه ها است.

در اسیدپته های بالای ۷/۵ قابلیت جذب عناصر غذایی به استثنای مولیبدن کاهش می یابد برای مقابله با اسیدپته های 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 (مارشتر، ۲۰۱۲). همچنین در خاک های 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 خاک های مورد مطالعه بیش از ۲۰ درصد آهک دارند که از نظر میزان آهک جزو خاک های آهکی تقسیم بندی می شوند (Ryan et al., 2001). انحراف معیار بالا (۷/۸۲) نشان دهنده گستردگی میزان کربنات کلسیم معادل است. چوله به چپ (۰/۲۸-) نشان می دهد که تعداد بیشتری از نمونه ها دارای کربنات کلسیم معادل بیشتر از میانگین هستند. کشیدگی منفی (۱/۶۴-) نشان می دهد که توزیع داده ها بسیار مسطح تر از توزیع نرمال است.

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

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 ریزبافت 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 تأثیرگذار 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 باغ ها 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 کوروین و اسکودیرو (Corwin and Scudiero, 2019) 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 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 ($0/81^{**}$) در جدول ۲ نشان می‌دهد که بخش زیادی از شوری خاک ناشی از تجمع سدیم است و با نتایج غدیر و همکاران، ۲۰۱۴ مطابقت دارد. 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 (Rengasamy, 2010 ; FAO, 2016).

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 (۰,۵-) نیز حاکی از توزیع نسبتاً مسطح داده‌ها است. اوستر و شینبرگ (Oster and Shainberg, 1979) 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 مینهاس و همکاران (Minhas et al., 2020) برای انار مطابقت دارد.

ضرایب همبستگی (جدول ۲) نشان داد که غلظت مجموع کلسیم و منیزیم با غلظت سدیم محلول همبستگی منفی و معنی‌داری ($-0/42^{**}$) نشان داد، به این معنی که با افزایش مقادیر کلسیم

منفی کلر توصیه می شود (Minhas Grattan and Grieve, 1999; et al., 2020).

سولفات محلول

شاخص های آماری مربوط به غلظت یون سولفات محلول در نمونه های خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار سولفات در این نمونه ها دارای کمینه ای برابر با ۱۷/۱۵ میلی اکی والان بر لیتر و بیشینه ای معادل ۳۸/۸۹ میلی اکی والان بر لیتر است. میانگین غلظت سولفات برابر با ۱۸/۲۵ میلی اکی والان بر لیتر به دست آمد. مقدار انحراف معیار که میزان پراکندگی داده ها را نسبت به میانگین نشان می دهد، برابر با ۱۱/۵۴ است و بیانگر پراکندگی نسبتاً زیاد داده ها است. همچنین مقدار چولگی مثبت ۰/۷۵ نشان می دهد که توزیع داده ها راست چوله بوده و داده های بزرگ تری نسبت به میانگین در انتهای راست نمودار توزیع قرار گرفته اند. در کنار این شاخص، کشیدگی نیز برابر با منفی ۱/۰۵ محاسبه شد که نشان دهنده پهن تر بودن توزیع نسبت به منحنی نرمال است و بیانگر این است که مقادیر اطراف میانگین بیشتر و نوسانات نسبتاً یکنواخت تری در کل داده ها وجود دارد. غلظت سولفات محلول در این نمونه های خاک دارای پراکندگی نسبتاً بالا و توزیعی نامتقارن به سمت راست است. این ویژگی می تواند به علت منشأ شوری، نوع مدیریت آبیاری، کیفیت آب مصرفی و نوع کانی های موجود در خاک باشد.

تحلیل چارک های غلظت سولفات نشان می دهد که میانه غلظت سولفات در نمونه های خاک ۱۲/۰۷ میلی اکیوالان بر لیتر است. ۲۵ درصد نمونه ها دارای غلظت سولفات کمتر از ۹/۱۶ و ۲۵ درصد دیگر غلظتی بالاتر از ۲۸/۱۶ میلی اکیوالان بر لیتر دارند که بر اساس استانداردهای فائو، غلظت های بالاتر از ۲۰ میلی اکی والان بر لیتر نیاز به مدیریت ویژه ای مانند آیشویی و کاهش مصرف کودهای سولفات هستند. سولفات یکی از آنیون های اصلی در خاک های شور است. اگرچه سولفات به خودی خود سمیت کمی برای گیاهان دارد (بر خلاف کلر یا بور)، اما در مقادیر بالا می تواند باعث افزایش شوری کل خاک شود. سولفات با کلسیم، منیزیم یا سدیم ترکیب شده و رسوبات کم محلول ایجاد می کند و سبب کاهش قدرت یونی محلول خاک می شود. اما در خاک های آهکی و کم زهکش، به ویژه همراه با سدیم، باعث کاهش تهویه و آیشویی کمتر املاح و همچنین باعث تلخی یا کاهش کیفیت آب آبیاری شده و اثرات غیرمستقیم روی درخت انار بگذارد (Maas and Hoffman, 1977).

بی کربنات محلول

و منیزیم، میزان سدیم محلول که عاملی مخرب در تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و بروز مشکلات شوری-سدیمی است، کاهش می یابد، واضح است که جایگزینی کاتیون های کلسیم و منیزیم به جای سدیم در سطح کلونیدهای خاک، از پیامدهای منفی سدیمی شدن جلوگیری می کند. بنابراین، وجود مقادیر کافی کلسیم و منیزیم می تواند 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 غلظت های بالا است و در خاک های شور یا مناطقی با آبیاری با آب شور می تواند باعث زردی برگ، سوختگی نوک برگ ها، ریزش برگ و کاهش عملکرد شود. درختان انار در مقایسه با درختان حساس تری 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 داده های آنیون کلر نشان داد که غلظت کلر از ۸ تا ۴۳,۵ میلی اکی والان در لیتر متغیر است. میانگین غلظت کلر اندازه گیری شده ۲۰,۴۱ میلی اکی والان در لیتر با انحراف معیار ۱۲,۹۰ می باشد که نشان دهنده پراکندگی قابل توجهی در داده ها است. مقدار ۱۰ میلی اکی والان در لیتر به عنوان حد بحرانی کلر محلول در خاک های کشاورزی براساس گزارش فائو (FAO, 2017) می باشد که هدف آن پیشگیری از هرگونه اثر منفی بالقوه بر گیاهان حساس بوده و جنبه محافظه کارانه دارد. تحلیل چارک ها نشان داد که ۲۵ درصد نمونه ها دارای غلظت کلر محلول کم، ۳۵ درصد در دسته متوسط و ۴۰ درصد نمونه ها در دسته غلظت بالا تقسیم بندی می شود.

بررسی چولگی داده ها (۰,۷۵) نشان می دهد که توزیع کلر به سمت مقادیر پایین تر متمایل است. این بدان معنی است که اگرچه برخی نمونه ها دارای غلظت بسیار بالای کلر هستند، اما بیشتر نمونه ها در محدوده کم تا متوسط قرار دارند. دامنه تغییرات کلرید (۳۵,۵ واحد) بیانگر تنوع زیاد این آنیون در خاک باغ ها انارکاری است. حدود ۷۵ درصد از باغ ها 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

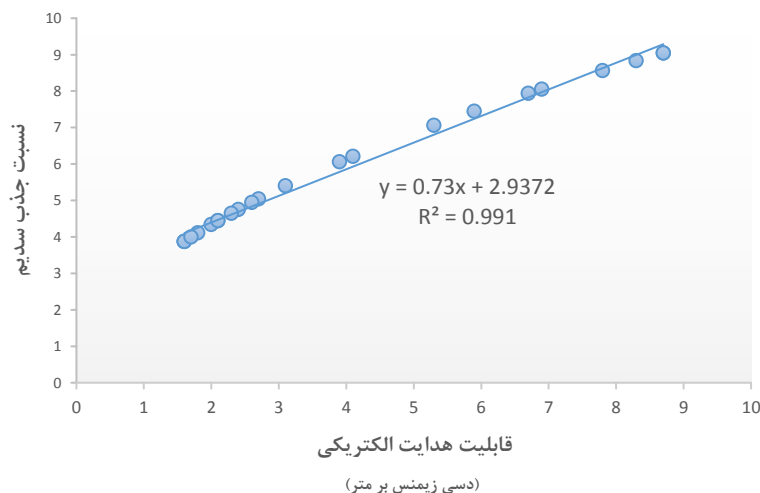
افزایش قلیائیت خاک و کاهش حلالیت عناصر کم مصرف شود (Ayers and Westcot, 1985).

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 بی کربنات 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 نشان دهنده پراکندگی نسبتاً بالایی در داده‌ها می باشد. چولگی ۰,۵۵، نشان دهنده این است که بیشتر داده‌ها مقداری کمتر از میانگین دارند. کشیدگی ۱/۳۳- نشان دهنده توزیع نسبتاً مسطح داده‌ها است. خاک های مورد مطالعه از نظر ویژگی نسبت جذب سدیم در گروه بدون خطر قرار می گیرند (FAO, 2021). شکل ۳ تغییرات نسبت جذب سدیم را مقابل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک های مورد مطالعه را نشان می دهد.

آنیون بی کربنات به تنهایی سمیت مستقیم برای گیاه ندارد، اما افزایش آن در خاک یا آب آبیاری به ویژه در درختان میوه مانند انار اثرات غیرمستقیم منفی بر تغذیه و کیفیت خاک دارد. تحلیل شاخص‌های آماری بی کربنات محلول در نمونه‌های خاک نشان می دهد که غلظت این آنیون در محدوده ۰/۸۵ تا ۴/۶۱ میلی اکوی والان بر لیتر متغیر است. میانگین غلظت بی کربنات ۲/۱۶ میلی اکوی والان بر لیتر محاسبه شد. انحراف معیار ۱/۳۷ میلی اکوی والان بر لیتر بیانگر پراکندگی نسبتاً بالایی داده‌ها حول میانگین است. چولگی مثبت (۰/۷۵) تأیید می کند که توزیع داده‌ها به سمت مقادیر بالاتر متمایل است. حدود ۷۵ درصد نمونه‌ها دارای غلظت بی کربنات کمتر از ۳/۳۴ میلی اکوی والان بر لیتر هستند که نشان دهنده تمرکز بیشتر داده‌ها در محدوده غلظت‌های پایین تر می باشد. بر اساس استانداردهای فائو، غلظت‌های بالای ۲/۵ میلی اکوی والان بر لیتر می تواند برای گیاهان مشکل ساز باشد که در این مطالعه حدود ۳۰ درصد نمونه‌ها در این محدوده قرار می گیرند. این نتایج اهمیت پایش منظم و مدیریت اصولی بی کربنات در خاک‌های مورد مطالعه را برجسته می سازد. غلظت بی کربنات بیشتر از ۲/۵ میلی اکوی والان در لیتر باعث رسوب کلسیم و منیزیم به شکل کربنات یا بی کربنات، و در نتیجه کاهش جذب این عناصر توسط گیاه می شود. همچنین با کاهش کلسیم در محلول خاک، نسبت سدیم جذب شده افزایش یافته و نیز موجب

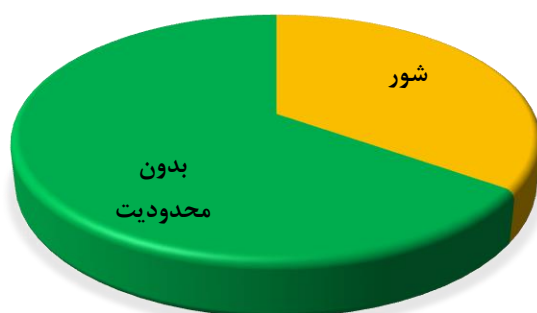


شکل ۳- تغییرات نسبت جذب سدیم در مقابل هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک های انار کاری ساوه

Figure 3 – Variation of sodium adsorption ratio (SAR) versus electrical conductivity of saturated paste extract in soils of safflower orchards

نشان می‌دهد داده‌ها به‌طور چشم‌گیری حول خط رگرسیون متمرکز بوده و خطر سدیمی‌شدن خاک (تخریب 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 (Minhas et al., 2020 Shrivastava and Kumar, 2015).

شکل ۳ رابطه خطی قوی بین هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک و نسبت جذب سدیم را نشان می‌دهد. معادله رگرسیون حاکی از آن است که به ازای هر واحد افزایش هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، نسبت جذب سدیم به میزان $0/73$ واحد افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده وابستگی مستقیم و خطی این دو پارامتر است. ضریب تعیین $0/991$ نیز بیانگر دقت بسیار بالا در پیش‌بینی نسبت جذب سدیم بر اساس هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع در خاک است و

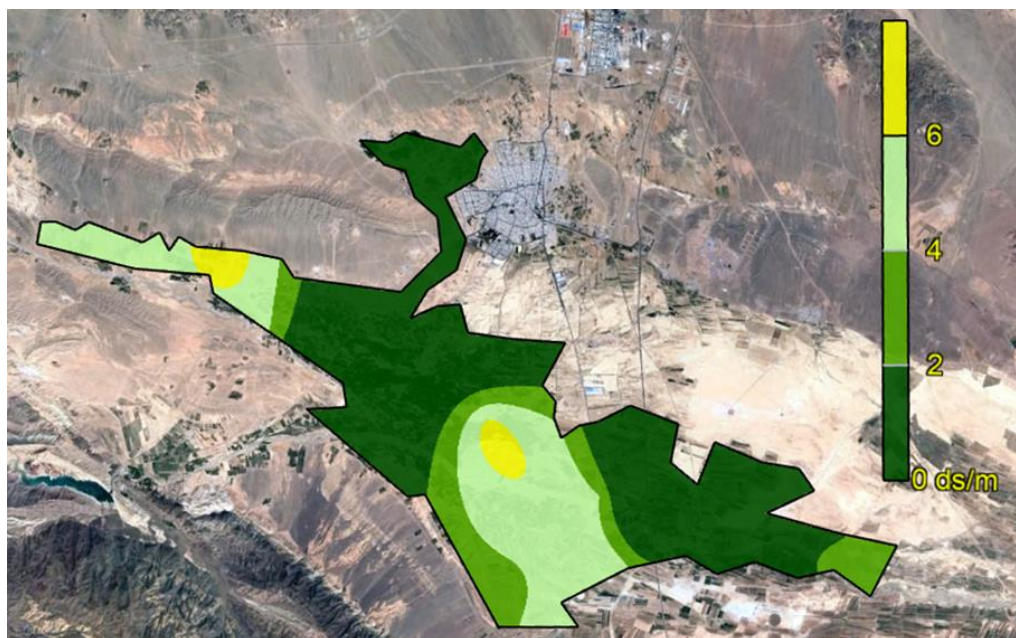


شکل ۴- طبقه بندی کیفی خاک های انار کاری ساوه از نظر شوری

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

بودند که نشان‌دهنده عدم مخاطره قلیائیت 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 $65/2$ درصد از خاک‌های مورد مطالعه از نظر شوری و سدیمی بدون محدودیت و $34/8$ درصد در رده خاک‌های شور طبقه بندی شدند. از نظر خطر سدیمی بودن، تمامی نمونه‌ها دارای درصد سدیم تبادلی کمتر از 15



شکل ۵- پهنه بندی هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک های 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>.
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>.