

## تخمین نسبت سدیم قابل تبادل بر اساس نسبت جذبی سدیم در خاک‌های شور در خراسان رضوی، ایران

زهرا شیرمحمدی علی اکبرخانی<sup>۱\*</sup>، سمیه حیدری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۰

### چکیده

نسبت سدیم قابل تبادل (ESR) و نسبت جذبی سدیم (SAR) دو فاکتور مهم در خاک‌های سدیمی می‌باشد. تخمین دقیق نسبت سدیم قابل تبادل (ESR) که اغلب با استفاده از تست‌های آزمایشگاهی پرهزینه و وقت‌گیر انجام می‌شود، از اهمیت زیادی در اصلاح خاک‌های سدیمی برخوردار می‌باشد. در مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف، بین نسبت سدیم قابل تبادل (ESR) و نسبت جذبی سدیم (SAR) رابطه قابل قبولی گزارش شده است. هدف از این مطالعه ارزیابی رابطه رگرسیون خطی بین کاتیون‌های محلول و قابل تبادل و نسبت جذبی سدیم در دشت سرخس استان خراسان رضوی می‌باشد. در این مطالعه ۱۲۴ نمونه خاک به‌طور تصادفی از لایه‌های سطحی و عمیق خاک‌های نواحی آزمایش برداشته شد. نمونه‌های خاک از عمق‌های ۰-۳۰ سانتی‌متری تا ۳۰-۶۰ سانتی‌متری عمق خاک به‌وسیله آگر برداشته شد. سپس مدل رگرسیون خطی برای تخمین نسبت سدیم قابل تبادل در خاک‌های شور خاک بکار رفت. نسبت سدیم قابل تبادل اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک با نسبت سدیم قابل تبادل تخمینی توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر ESR و SAR نسبت به عمق تغییرپذیری زیادی داشته و ESR از SAR تغییرپذیری بیشتری نشان داد. نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که به ترتیب در عمق‌های ۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک مدل رگرسیونی  $ESR=0.0182SAR-0.027$  با  $(R^2=0.92, P<0.001)$  و  $ESR=0.0157SAR-0.020$  با  $(R^2=0.83, P<0.001)$  مورد قبول می‌باشند. بنابراین به‌جای آزمایش‌های وقت‌گیر و پرهزینه می‌توان از این دو مدل رگرسیونی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** شوری خاک، نسبت سدیم قابل تبادل، نسبت جذبی سدیم، کاتیون‌های قابل تبادل

شیرمحمدی علی اکبرخانی ز.، حیدری س. ۱۴۰۱. تخمین نسبت سدیم قابل تبادل بر اساس نسبت جذبی سدیم در خاک‌های شور در خراسان رضوی، ایران. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۲. صفحه: ۴۰-۵۳.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران.

۲- استادیار گروه شیمی، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران

\* پست الکترونیک: [mshirmohamady@yahoo.com](mailto:mshirmohamady@yahoo.com)

## مقدمه

ما سلوایت و جین (Musslewhite & Jin, 2006) گزارش کردند که تخمین‌های غیرمستقیم ESP با استفاده از شاخص شوری خاک مانند SAR می‌تواند مناسب‌تر و اقتصادی‌تر باشد. تحقیقات زیادی در گذشته روابط بین ESP و SAR را گزارش نمودند (Richards, 1954; Kopittke *et al.*, 2006; Zare *et al.*, 2014; Elbasher *et al.*, 2016). یکی از روش‌های بررسی روابط و همبستگی بین خصوصیات مختلف خاک و بیان کمی آن‌ها استفاده از مدل‌های آماری است. این مدل‌ها که اصطلاحاً توابع انتقالی خاک نامیده می‌شوند، شامل مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند (Minasny *et al.*, 2004). این مدل‌ها خصوصیات مهم خاک را که اندازه‌گیری آن‌ها پرهزینه و زمان‌بر است، به صورت تابعی از ویژگی‌هایی که به سادگی و با هزینه کمتری قابل اندازه‌گیری هستند، بیان می‌نمایند. بنابراین برای تخمین ESP خاک می‌توان از SAR استفاده کرد. آزمایشگاه شورای ایالات متحده (USES) رابطه خطی بین SAR و ESR را به صورت  $ESR = 0.01475 SAR - 0.0126$  برای ایالات متحده تعیین کرد (Levy & Hillel, 1968). باین حال، بسیاری از این روش‌ها به دلایل تعدیلات محلی، افزایش عدم قطعیت بیشتر، نیاز به کنترل منطقه‌ای داشته و نتایج دیگر تحقیقات نشان دادند که مدل رایج بین ESR خاک و SAR به طور قابل توجهی با کانی‌های رسی غالب و قدرت یونی محلول در خاک تغییر می‌کند (Seilsepour *et al.*, 2009; Shainberg *et al.*, 1980; Nadler & Magaritz, 1981; Marsi & Evangelou, 1991; Evangelou & Marsi, 2003). به بیان دیگر، این مطالعات برای مناطق و نواحی خاصی صورت گرفته است و به تعداد اندکی از انواع خاک‌ها محدود می‌باشد و ضروری است در هر منطقه با توجه به نوع و خصوصیات خاک آن، چنین پژوهش‌هایی تکرار شود؛ بنابراین، مدل رگرسیون بین ESR و SAR را باید مستقیماً در خاک مناطق مختلف در نظر گرفت. هدف مطالعه حاضر، ارزیابی یک مدل رگرسیون خطی بین کاتیون‌های محلول و قابل تبادل در برخی خاک‌ها دشت سرخس واقع در شمال شرقی ایران است.

شوری یکی از مشکلات اصلی است که منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی و استفاده از کیفیت نامناسب آب آبیاری و آب شور ممکن است موجب افزایش شوری خاک شود (Machado & Serralheiro, 2017). وقتی انباشت نمک در ناحیه ریشه افزایش می‌یابد، توانایی گیاهان برای جذب آب را کاهش می‌دهد. افزایش نمک در خاک معضلی بزرگ بوده و منجر به کاهش محصول می‌شود (Richards, 1954; Munns & Tertnaat, 1986).

برای ارزیابی درجه سدیمی بودن خاک و میزان نسبی سدیم در مقایسه با کلسیم و منیزیم معمولاً از دو پارامتر مهم استفاده می‌شود که عبارت‌اند از نسبت جذب سدیم خاک (SAR) و درصد سدیم تبدیلی (ESP) که رابطه آن‌ها در معادله ۱ و ۲ آورده شده است (Seilsepour *et al.*, 2009)

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5} \quad (1)$$

که در آن  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  کاتیون‌های محلول در خاک برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر

$$ESP = (Na_{ex}^+ / CEC) \times 100 \quad (2)$$

که در آن ESP درصد سدیم قابل تبادل برحسب درصد،  $Na_{ex}^+$  سدیم قابل تبادل اندازه‌گیری شده در خاک برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک و CEC ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم می‌باشد.

از معادله زیر برای توصیف نسبت سدیم قابل تبادل با استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و  $Na_{ex}^+$  سدیم قابل تبادل اندازه‌گیری شده در خاک استفاده شده است:

$$ESR = (Na_{ex}^+ / CEC - Na_{ex}^+) \quad (3)$$

در این معادله ESR نسبت سدیم قابل تبادل،  $Na_{ex}^+$  سدیم قابل تبادل اندازه‌گیری شده در خاک برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک و CEC ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم می‌باشند. باین حال، با استفاده از معادله زیر می‌توان نسبت سدیم قابل تبادل با استفاده از درصد سدیم قابل تبادل ESP محاسبه کرد.

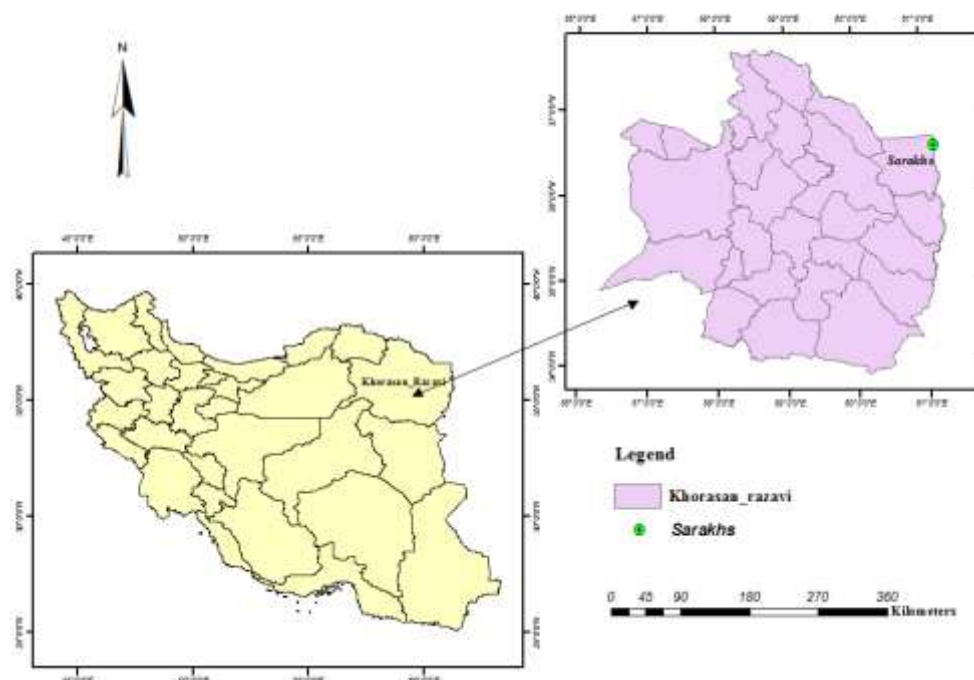
$$ESR = ESP / (100 - ESP) \quad (4)$$

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه و روش آزمایش

در این مطالعه، ۱۲۴ نمونه از خاک به صورت تصادفی از لایه‌های سطحی و زیر سطحی از ناحیه آزمایش واقع در سرخس با عرض جغرافیایی شمالی (36° 19'N) و طول جغرافیایی شرقی (61° 6'E) و ارتفاع ۲۳۵ متر

نمونه‌برداری شدند (شکل ۱). نمونه‌های خاک با استفاده از آگر خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری از عمق خاک در سال ۲۰۱۷ جمع‌آوری شدند. خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در خراسان رضوی

Figure 1. Layout of the Study area in Khorasan Razavi Province (ArcGIS 10.3)

## جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Some physical properties of the experimental site

Soil Depth (cm)	Particlesize distribution (%)			Soil texture	Field Capacity (%)	Wilting Point (%)	Bulk Density (g cm <sup>-3</sup> )
	Sand	Silt	Clay				
0-30	34	40	26	Loam	28-34(31)	12-16(14)	1.32-1.48(1.4)
30-60	20	48	32	Clay Loam	33-39(36)	16-20(18)	1.29-1.4(1.35)

(EC) از دستگاه هدایت سنج در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری و نسبت به دمای مبنای ۲۵ درجه سلسیوس تصحیح شد. کاتیون‌های تبادلی مانند کلسیم و منیزیم و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با روش ارائه شده توسط باور (Bower, 1959)، میزان سدیم تبادلی بر مبنای روش‌های ارائه شده توسط ریچاردز (Richards, 1954)، کاتیون‌های محلول بازی شامل کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون کمپلکسومتری، سدیم و پتاسیم محلول به

از این نمونه خاک، ۸۴ نمونه (۴۲ نمونه از هر لایه خاک) برای تعیین مدل رگرسیون و ۴۰ نمونه خاک (۲۰ نمونه از هر لایه خاک) به منظور تایید مدل مورد استفاده قرار گرفتند. تجزیه‌های آزمایشگاهی این نمونه‌های خاک بر مبنای روش متداول تحقیقات آب و خاک و به شرح ذیل صورت گرفت.

باخت خاک به روش هیدرومتری، اسیدیته خاک به روش الکترومتریک با pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی

کاربردی گردیده است (Farahmand *et al.*, 2009):

$$ESR = K_G SAR \quad (۶)$$

که در آن ESR نسبت سدیم قابل تبادل، SAR نسبت جذب سدیم خاک و  $K_G$  ضریب گزینشگری تغییر یافته گاپون می باشد. برای محاسبه قدرت یونی از رابطه اسکوگ و همکاران (Skoog *et al.*, 2004) استفاده گردید (رابطه ۷).

$$I = \frac{1}{2} \sum_i |Z_i|^2 C_i \quad (۷)$$

که در آن I قدرت یونی بر حسب میلی مول بر لیتر،  $C_i$  غلظت مولار یون  $i$  بر حسب میلی مول بر لیتر و  $Z_i$  بار یون  $i$  می باشد.

#### شاخص خنثی بودن بار الکتریکی

برای تعیین صحت تجزیه شیمیایی انجام گرفته بر روی محلول خاک در لایه های مختلف از شاخص خنثی بودن بار الکتریکی (EN%) استفاده گردید. این شاخص از رابطه زیر قابل محاسبه است (Appelo & Postma, 1999).

$$EN(\%) = \frac{\text{مجموع میلی مول بار بر لیتر آنیون ها} - \text{مجموع میلی مول بار بر لیتر کاتیون ها}}{\text{مجموع میلی مول بار بر لیتر آنیون ها} + \text{مجموع میلی مول بار بر لیتر کاتیون ها}} \times 100 \quad (۸)$$

#### آنالیز آماری

آنالیز تی تست نمونه های جفت شده (انحراف معیار اختلاف، فاصله اطمینان و خطای استاندارد میانگین و مقادیر شاخص  $p$ ) برای ارزیابی مقادیر نسبت سدیم تبدالی خاک تخمینی به وسیله مدل ESR-SAR و اندازه گیری شده به وسیله آزمایش های بکار گرفته شد. آنالیزهای آماری به وسیله نرم افزار Excel (2010) انجام گرفت.

#### مدل رگرسیونی

یک رابطه خطی رگرسیونی برای توضیح رابطه بین نسبت سدیم تبدالی خاک و نسبت جذبی سدیم به صورت معادله ۹ مورد استفاده قرار گرفت.

$$Y = \alpha + \beta X \quad (۹)$$

که در آن Y متغیر مستقل (در این مطالعه ESR خاک)، X متغیر وابسته (در این مطالعه SAR خاک) و  $\alpha$ ,  $\beta$

روش نشر اتمی شعله، کلر محلول به روش تیتراسیون رسوب سنجی با نیترات نقره، غلظت کربنات و بی کربنات محلول به روش تیتراسیون رسوب ساده اسید باز اندازه گیری شد. مقدار آهک به روش تیتراسیون برگشتی با استفاده از اسید کلریدریک و سود نرمال و گچ به روش رسوب سنجی با استون اندازه گیری شد (Page *et al.*, 1982). مجموع غلظت یون ها، کاتیون ها و آنیون ها، غلظت کل نمک های محلول و قدرت یونی بر اساس غلظت یون های اندازه گیری شده محاسبه گردید. اندازه گیری غلظت کاتیون ها و آنیون ها در عصاره اشباع خاک انجام شدند. چای و همکاران در مطالعات خود رابطه بین ESP و SAR را در دو حالت SARE و SAR<sub>1:5</sub> یعنی با استفاده از آزمایش های اندازه گیری شده در عصاره اشباع و نسبت ۱ به ۵، خاک به آب انجام دادند نتایج نشان داد که برای محاسبه ESP، استفاده از اندازه گیری در عصاره اشباع خاک دقیق تر می باشد (Chi *et al.*, 2011). در نهایت با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده SAR و ESP نمونه های خاک محاسبه گردید. همچنین میزان دفع آنیونی خاکها با اندازه گیری میزان یون کلراید پس از شستشو با محلول نیترات منیزیم ۰/۱ نرمال و نیز اندازه گیری میزان یون کلراید در عصاره اشباع به روش باور و هاچر (Bower & Hatcher, 1962) با استفاده از فرمول ۵ زیر مورد محاسبه قرار گرفت (Hamzenezjad Taghlidab *et al.*, 2012).

$$Na_{ex} = Na_t - \left( \frac{Cl_w}{Cl_e \times Na_s} \right) \quad (۵)$$

که در آن  $Na_{ex}$  مقدار سدیم تبدالی پس از تصحیح دفع آنیونی،  $Na_t$  سدیم محلول به علاوه سدیم تبدالی،  $Na_s$  مقدار سدیم محلول خاک بر اساس غلظت در عصاره اشباع،  $Cl_w$  مقدار کلرید در توده محلول و فاز تبدالی و  $Cl_e$  مقدار کلرید محلول خاک (عصاره اشباع) می باشد. تمامی واحدها بر حسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک می باشد.

به منظور توصیف نحوه توزیع کاتیون ها بین فاز های تبدالی و محلول و پیش بینی ترکیب کاتیونی فاز تبدالی از ترکیب فاز محلول معادلات متعددی پیشنهاد شده است که معادله تجربی گاپون بهترین معادله بوده است که توسط آزمایشگاه شوری ایالات متحده به صورت زیر

خصوصیات شیمیایی ۸۴ نمونه (۴۲ نمونه از هر لایه خاک) برای تعیین مدل رگرسیون و ۴۰ نمونه خاک (۲۰ نمونه از هر لایه خاک) به منظور تأیید مدل در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

ضرایب رگرسیون هستند (Richards, 1954; Seilsepour *et al.*, 2009).

### نتایج و بحث

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی ۴۲ نمونه خاک از هر لایه در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Chemical properties of the experimental site and the mean values, Standard Deviation (S.D.) and Coefficient of Variation (C.V.) of soil chemical properties of the forthy two soil samples from each layer

Depth	Parameter	Minimum	Maximum	Mean	S.D.	C.V (%)
0-30	pH	7.6	8.0	7.8	0.1	1.2
	EC (dS m <sup>-1</sup> )	3.7	9.7	6.7	1.4	21.1
	Na <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	26.1	65.0	42.5	9.6	22.5
	Ca <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	7.0	20.2	14.2	3.5	24.5
	Mg <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	7.5	23.9	16.8	3.8	22.5
	K <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0.1	0.3	0.2	0.0	23.4
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	2.2	2.9	2.4	0.1	5.3
	Cl <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	24.9	57.6	38.2	8.1	21.2
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	11.1	55.6	32.3	9.1	28.1
	SAR (meq l <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	8.5	14.7	10.8	1.6	15.2
	CEC (meq 100g <sup>-1</sup> )	10.6	28.3	16.8	4.3	25.4
	(meq 100g <sup>-1</sup> ) Na <sub>ex</sub> <sup>+</sup>	2.0	2.9	2.3	0.3	10.8
	ESR	0.1	0.2	0.2	0.0	20.1
	I (mmol l <sup>-1</sup> )	53.3	153.3	104.8	22.8	21.7
30-60	pH	7.6	8.0	7.8	0.1	1.1
	EC (dS m <sup>-1</sup> )	3.0	7.8	5.4	1.2	22.1
	Na <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	17.5	52.7	33.6	7.4	22.0
	Ca <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	6.6	17.8	11.2	2.7	24.1
	Mg <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	6.4	21.9	13.8	3.7	26.9
	K <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0.1	0.2	0.1	0.0	25.8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	2.2	2.8	2.5	0.2	6.6
	Cl <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	18.1	46.7	30.7	6.8	22.2
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	12.2	40.0	25.0	7.0	28.1
	SAR (meq l <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	6.3	13.6	9.5	1.3	13.5
	CEC (meq 100g <sup>-1</sup> )	13.2	31.6	20.6	4.6	22.4
	(meq 100g <sup>-1</sup> ) Na <sub>ex</sub> <sup>+</sup>	2.0	3.2	2.4	0.3	12.2
	ESR	0.1	0.2	0.1	0.0	18.3
	I (mmol l <sup>-1</sup> )	46.8	121.4	83.4	19.0	22.8

EC is soil electrical conductivities of saturated pasted extract; SAR is Sodium Adsorption Ratio of saturated pasted extract; CEC is cation exchange capacity of saturated pasted extract; Na<sub>ex</sub><sup>+</sup> is measured exchangeable Na<sup>+</sup>; ESR is Exchangeable Sodium Ratio.

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی ۲۰ نمونه خاک از هر لایه خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Chemical properties of the experimental site and the mean values, Standard Deviation (S.D.) and Coefficient of Variation (C.V.) of soil chemical properties of the twenty soil samples from each layer

Depth	Parameter	Minimum	Maximum	Mean	S.D.	C.V (%)
0-30	pH	7.6	7.9	7.7	0.1	1.1
	EC (dS m <sup>-1</sup> )	3.7	9.5	5.8	1.4	23.8
	Na <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	24.8	58.0	38.3	8.9	23.1
	Ca <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	6.5	15.9	10.5	2.7	25.6
	Mg <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	7.3	18.6	13.5	3.2	24.1
	K <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0.1	0.3	0.2	0.0	28.2
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	2.3	2.9	2.6	0.1	5.7
	Cl <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	20.5	56.5	33.8	8.6	25.4
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	18.0	31.6	25.7	4.5	17.5
	SAR (meq l <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	8.5	14.8	11.1	2.1	19.1
	CEC (meq 100g <sup>-1</sup> )	12.6	23.8	17.2	2.8	16.2
	(meq 100g <sup>-1</sup> ) Na <sub>ex</sub> <sup>+</sup>	2.0	2.4	2.1	0.1	6.2
	ESR	0.1	0.2	0.1	0.0	19.4
I (mmol l <sup>-1</sup> )	58.3	124.2	87.1	16.7	19.2	
30-60	pH	7.6	7.9	7.8	0.1	1.0
	EC (dS m <sup>-1</sup> )	3.1	7.7	4.7	1.1	23.7
	Na <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	17.3	54.1	32.6	8.5	26.0
	Ca <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	5.6	15.0	8.8	2.1	23.7
	Mg <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	6.6	16.5	11.0	2.9	26.2
	K <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0.1	0.2	0.1	0.0	27.7
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	2.5	2.9	2.7	0.1	4.5
	Cl <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	15.9	53.7	28.5	8.7	30.6
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	14.7	30.9	20.5	4.4	21.3
	SAR (meq l <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	6.0	13.7	10.3	2.1	20.0
	CEC (meq 100g <sup>-1</sup> )	13.9	29.3	18.6	3.4	18.3
	(meq 100g <sup>-1</sup> ) Na <sub>ex</sub> <sup>+</sup>	1.9	2.6	2.1	0.2	8.4
	ESR	0.1	0.2	0.1	0.0	19.1
I (mmol l <sup>-1</sup> )	51.4	114.5	72.2	16.4	22.7	

EC is soil electrical conductivities of saturated pasted extract; SAR is Sodium Adsorption Ratio of saturated pasted extract; CEC is cation exchange capacity of saturated pasted extract; Na<sub>ex</sub><sup>+</sup> is measured exchangeable Na<sup>+</sup>; ESR is Exchangeable Sodium Ratio.

نمونه‌های خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک از ۱/۶۴ تا ۲/۶۵- متغیر بوده و به‌طور متوسط ۰/۳۵ درصد بود. در نمونه‌های خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک هم این شاخص از ۳/۴۵ تا ۱/۵۷- متغیر بوده و مقدار متوسط آن ۰/۴۳ درصد به دست آمد که نتایج در محدوده قابل قبول می‌باشد.

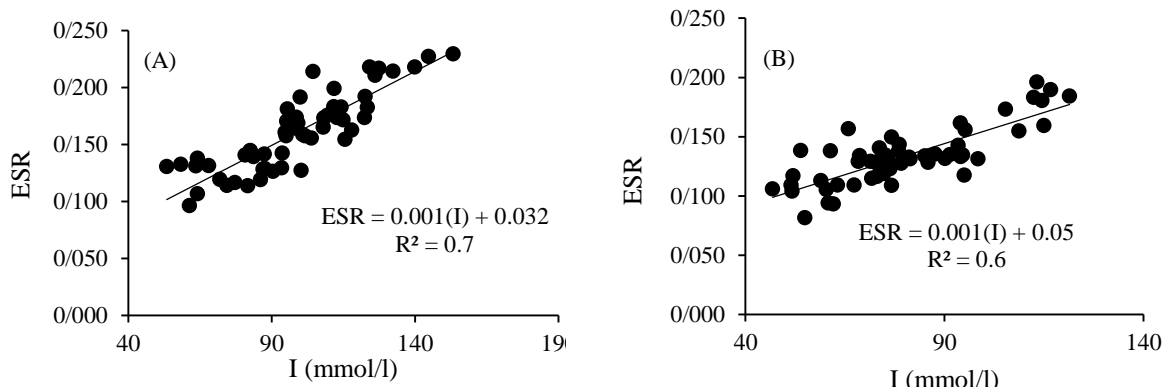
#### رابطه بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی

قدرت یونی (I) عصاره اشباع در نمونه‌های خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک با استفاده از رابطه اسکوگ و همکاران (Skoog *et al.*, 2004) برآورد گردید. در نمونه‌های خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری قدرت یونی از ۵۳/۳۴ تا ۱۵۳/۳ میلی‌مول بر لیتر (با میانگین ۹۸/۵ میلی‌مول بر لیتر) متغیر بود. اما در

#### شاخص خنثی بودن بار الکتریکی

ابتدا برای تعیین صحت تجزیه شیمیایی انجام‌گرفته بر روی محلول خاک در لایه‌های مختلف از شاخص خنثی بودن بار الکتریکی (EN%) استفاده گردید این شاخص بیانگر میزان صحت تجزیه شیمیایی انجام‌گرفته بر روی نمونه‌های محلول خاک است به‌عبارت‌دیگر در صورت کوچک بودن قدر مطلق مقدار عددی این شاخص می‌توان چنین استنباط کرد که غلظت سایر یون‌های اندازه‌گیری نشده در محلول ناچیز می‌باشد. چنانچه مقدار قدر مطلق مقدار عددی این شاخص کمتر از ۵ درصد باشد نتایج مربوط به غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول قابل‌قبول بوده و چنانچه کمتر از ۲ درصد باشد، نتایج خوب است (Appelo & Postma, 1999; Farahmand *et al.*, 2012). مقدار این شاخص در

قابل تبادل خاک و قدرت یونی در شکل‌های ۲ (A و B) آورده شده است. با افزایش قدرت یونی نسبت سدیم قابل تبادل در خاک در هر دو عمق افزایش می‌یابد اما این رابطه در لایه سطحی خاک رابطه قوی‌تری می‌باشد. با افزایش قدرت یونی در هر دو لایه از خاک نسبت سدیم قابل تبادل افزایش می‌یابد.



شکل ۲ - رابطه بین نسبت سدیم تبدالی خاک (ESR) با قدرت یونی برای عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک (A) و عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک (B)

Figure 2. Relationships between soil exchangeable sodium Ratio (ESR) and Ionic strength for 0-30 cm soil (A) and 30-60 cm soil (B)

متعددی در مناطق مختلف نیز وجود رابطه قوی خطی بین هدایت الکتریکی و قدرت یونی را تأیید نمودند (Ponamperuma *et al.*, 1966, Alva *et al.*, 1991, Shafizadeh *et al.*, 2006) که نتایج آن‌ها با یافته‌های این تحقیق مشابه می‌باشد. رابطه بین هدایت الکتریکی و قدرت یونی در هر نوع خاکی بسته به میزان هدایت الکتریکی و نسبت املاح موجود در خاک متفاوت است، هر چند این تغییرات چشمگیر نیست (Shafizadeh *et al.*, 2006). شفیع‌زاده و همکاران (Shafizadeh *et al.*, 2006) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که رابطه بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی تا زمانی که هدایت الکتریکی حدود ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر برسد خطی بوده و در مقادیر بیشتر هدایت الکتریکی نظم رابطه برهم‌خورده و از حالت خطی خارج می‌گردد. جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2007) در تحقیقات خود رابطه بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی را به صورت یک رابطه نمایی با ضریب تعیین ۰/۹۲ به دست آوردند.

#### رابطه بین ESR و SAR

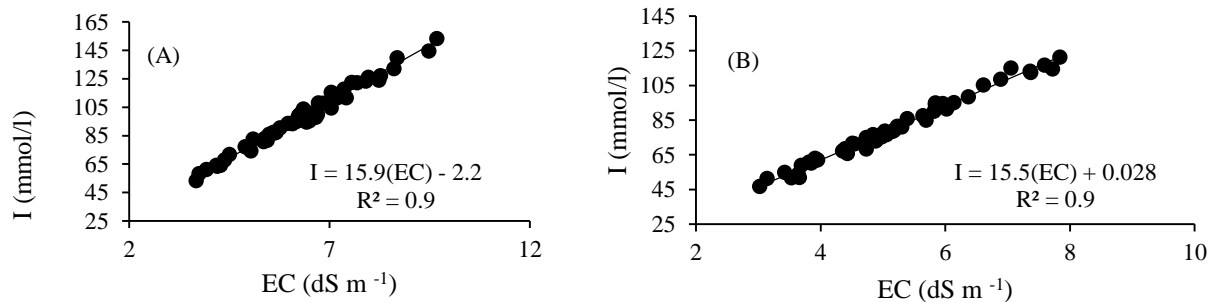
نتایج اندازه‌گیری ضریب تغییرات ESR و SAR در دو عمق خاک (جدول ۲) نشان داد که در هر دو لایه میزان

نمونه‌های خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری قدرت یونی از ۴۶/۸ تا ۱۲۱/۴ میلی‌مول بر لیتر (با میانگین ۷۹/۵ میلی‌مول بر لیتر) متغیر بود. فرهمند و همکاران (Farahmand *et al.*, 2012) در خاک‌های متأثر از نمک در دشت تبریز میزان میانگین این شاخص را ۸۴۱ میلی‌مول بر لیتر به دست آوردند. رابطه بین نسبت سدیم

رابطه بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در شکل‌های ۳ (A و B) آورده شده است همان‌طور که مشاهده می‌گردد بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی خاک رابطه بسیار قوی ( $R^2 > 0.98$ ) در هر دو لایه خاک وجود دارد. با افزایش هدایت الکتریکی میزان قدرت یونی خاک نیز در هر دو لایه خاک افزایش می‌یابد. محدوده هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری در بین ۳/۷ تا ۹/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. که در این لایه رابطه  $I = 15.9EC - 2.2$  با ضریب تعیین برابر ۰/۹۸ به دست آمد. در لایه ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک محدوده هدایت الکتریکی بین ۳ تا ۷/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. که در این لایه رابطه  $I = 15.5EC + 0.028$  با ضریب تعیین برابر ۰/۹۹ به دست آمد. نتایج نشان داد که تغییرپذیری هدایت الکتریکی نیز در لایه زیرین خاک کمتر می‌باشد. آلوا و همکاران (Alva *et al.*, 1991) در برخی مناطق مرطوب و گرم در محدوده هدایت الکتریکی ۰ تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر رابطه  $I = 0.012EC - 0.0002$  را به دست آوردند. پونامپروما و همکاران (Ponamperuma *et al.*, 1966) در خاک‌های غرقابی رابطه  $I = 16EC$  را به دست آوردند. نتایج مطالعات

نتایج مشابهی دست یافتند. در این پژوهش ضریب گزینشگری تغییر یافته گاپون در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک برابر ۰/۱۸۲ و در لایه ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک برابر ۰/۱۵۷ به دست آمد. محققان آزمایشگاه شوری ایالات متحده با استفاده از معادله تبدالی گاپون مقدار عددی ثابت ۰/۱۴۷۵ را برای ضریب گزینشگری گاپون پیشنهاد کردند (Richards, 1954). اما نتایج تحقیقات بعدی نشان داد که این ضریب مقدار ثابتی نبوده و بسته به ویژگی های خاک مقدار متعددی را می تواند به خود اختصاص دهد (Farahmand *et al.*, 2009; Evangelou & Marsi, 2003).

تغییر پذیری ESR بیشتر از SAR می باشد. بالا بودن ضریب تغییرات زیاد (CV) نشانگر تنوع زیاد در مقادیر در صد سدیم قابل تبادل (ESR) و نسبت جذبی سدیم (SAR) است. که می تواند به دلیل تنوع طبیعی این دو پارامتر (Alymore & Sills, 1982)، و تغییرات آب و هوایی باشد (Ibrahim, 1991). علاوه بر این، تغییرات ESR و SAR با عمق کاهش می یابد، زیرا لایه های زیرین در مقایسه با لایه های سطحی کمتر تحت تأثیر تغییر رطوبت قرار می گیرند. محمد و همکاران (Mohamed *et al.*, 2008) نیز در تحقیقات خود بر روی خاک های سودان در سه افق مختلف (A, AC و C) به



شکل ۳ - رابطه بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برای عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک (A) و عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک (B)

Figure 3. Relationships between Ionic strength and Electrical conductivity of soil saturated extract for 0-30 cm soil (A) and 30-60 cm soil (B)

۰ سانتی متری و ۳۰-۶۰ سانتی متری به ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۱ و ۰/۸۳ به دست آمد. نتایج نشان دهنده رابطه قوی بین ESR و SAR به خصوص در لایه سطحی خاک می باشد.

ضریب تغییرات (CV)، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و معادله رگرسیونی ESR-SAR در جدول ۳ نشان داده شده است. مدل رگرسیونی با معنی داری بسیار بالا بین ظرفیت تبادل کاتیونی و نسبت جذبی سدیم برای لایه های ۰-۳۰

جدول ۳ - مقادیر P-Value، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ضریب تغییرات مدل ESR-SAR

Table 3. The p-value of independent variable, Coefficient of Determination ( $R^2$ ) and Coefficient of Variation (C.V.) of the soil ESR-SAR model

Layer	Model	Independent variable	p-value	$R^2$	C.V (%)
0-30cm	ESR=0.0182SAR-0.027	SAR	1.34E-23	0.918	18.5
30-60cm	ESR=0.0157SAR-0.020	SAR	4.28E-15	0.833	17.2

۹۵ درصد ندارند. همچنین مدل رگرسیونی بسیار معنی داری بین ESR و SAR به دست آمد.

نتایج آنالیز تی تست نمونه های جفت شده مدل ESR-SAR در جدول ۴ آورده شده است. نتایج این آزمون نشان داد که مقادیر تخمینی نسبت سدیم تبدالی خاک با مقادیر اندازه گیری شده اختلاف معنی داری در سطح



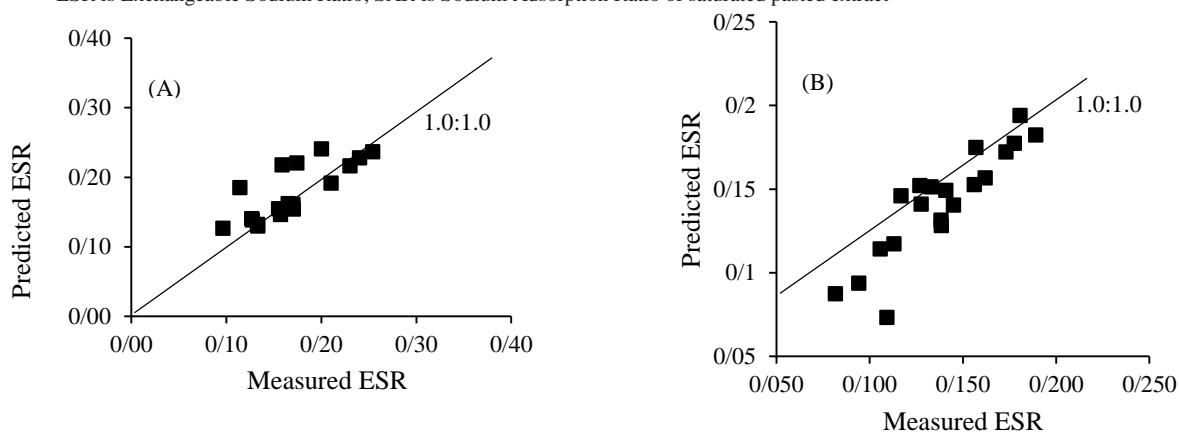
جدول ۴- آنالیز تی تست نمونه‌های جفت شده مدل ESR-SAR

Table 4. Paired samples t-test analyses on comparing soil ESR determination methods on soil samples.

Layer	Determination methods	Average Difference	Standard deviation of difference	Standard Error of Mean (SEM)	p-value	95% confidence intervals for the difference in means
		(%)				
0-30 cm	ESR-SAR model and laboratory test	-0.007	0.0288	0.0064	0.259 <sup>ns</sup>	-0.0209 to 0.0060
30-60cm	ESR-SAR model and laboratory test	-0.004	0.0144	0.00321	0.280 <sup>ns</sup>	-0.0103 to 0.0032

\* significant at 99%, \*\* significant at 95%, ns is non significant.

ESR is Exchangeable Sodium Ratio; SAR is Sodium Adsorption Ratio of saturated pasted extract

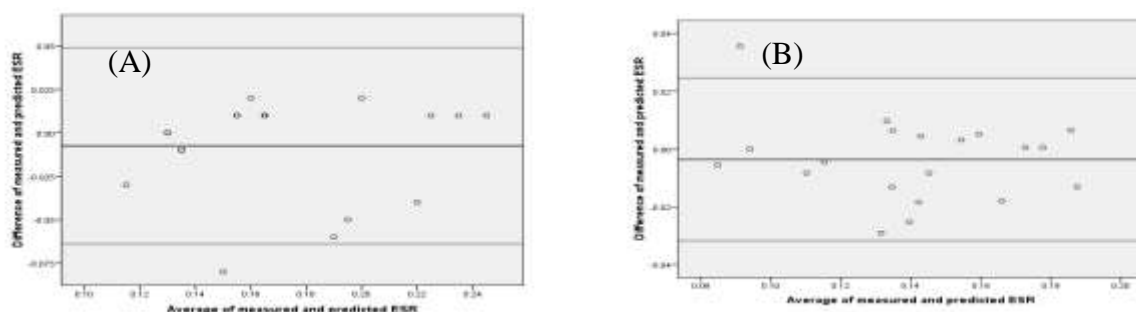


شکل ۴ - رابطه بین نسبت سدیم تبادلی خاک (ESR) با خط یک‌به‌یک (1:1) برای عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک (A) و عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک (B)

Figure 4. Relationships between Measured and predicted soil exchangeable sodium Ratio (ESR) with the line of equality (1.0: 1.0) for 0-30 cm soil (A) and 30-60 cm soil (B)

شکل ۵ (A) و (B) نمودار بلند-آلتمن (Bland & Altman, 1999) را برای ارزیابی سازگاری رابطه بین نسبت سدیم تبادلی اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده برای دو لایه از خاک نشان می‌دهد.

شکل ۴ (A) و (B) مقادیر تخمینی نسبت سدیم تبادلی (ESR) با استفاده از مدل های  $ESR=0.0182SAR-0.027$  و  $ESR=0.0157SAR-0.020$  با خط یک‌به‌یک (1:1) برای دو لایه خاک را نشان می‌دهند.



شکل ۵ - نمودار بلند-آلتمن مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی نسبت سدیم تبادلی (ESR) برای عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک (A) و عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک (B) می‌باشد. در شکل (A) خط بالایی نشان‌دهنده محدودیت ۹۵ درصد سازگاری (۰/۰۴۹، -۰/۰۶۳) و خط وسط نشان‌دهنده اختلاف میانگین (۰/۰۰۷، -) و در شکل (B)، خط بالایی نشان‌دهنده محدودیت ۹۵ درصد سازگاری (۰/۰۳۲، -۰/۰۲۵) و خط وسط نشان‌دهنده اختلاف میانگین (۰/۰۰۴، -) می‌باشد

Figure 5. Bland-Altman plot for the comparison of Measured and predicted soil exchangeable sodium Ratio (ESR) for 0-30 cm (A) and 30-60 cm (B); in (A), the outer lines indicate the 95% limit of agreement (-0.063, 0.049) and the centerline shows the average difference (-0.007) and in (B) the outer lines indicate the 95% limit of agreement (-0.032, 0.025) and the centerline shows the average difference (-0.004)

است، مطابقت داشته و همه معادلات به دست آمده نیز از معنی داری بالایی برخوردار بودند. حتی بعضی از محققین اذعان داشتند که در بعضی از خاک‌ها چنین رابطه تجربی نتایج مطمئن تری را برای تعیین نسبت سدیم تبادل‌ی خاک (ESR) یا درصد سدیم قابل تبادل (ESP) به همراه خواهد داشت (Mohamed *et al.*, 2008) زیرا اندازه‌گیری نسبت سدیم تبادل‌ی خاک (ESR) وقت‌گیر و پرهزینه بوده و به‌خصوص در خاک‌های شور با خطاهای زیادی همچون تصحیح بیش‌از حد سدیم محلول در تعیین سدیم تبادل‌ی، خطاهای همراه با تعیین سدیم تبادل‌ی، هنگامی که خاک حاوی نوعی از سدیم تبادل‌ی باشد که با یون‌های  $NH_4^+$  قابل جایگزینی نبوده و یا وقتی خاک حاوی نوعی از سدیم بوده که به راحتی در آب حل نشده اما در آمونیوم‌استات حل و یا تجزیه می‌شوند، همراه می‌باشد (Nadler & Magaritz 1981, Mohamed *et al.*, 2008).

مقادیر اندازه‌گیری شده سدیم تبادل‌ی خاک می‌باشد. برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، ۹۵٪ محدوده توافق برای مقایسه مقادیر واقعی سدیم تبادل‌ی خاک با مقادیر تخمینی از مدل ESR-SAR در محدوده ۰/۰۳۲- و ۰/۰۲۵ درصد تعیین گردید (شکل ۵(B)؛ بنابراین سدیم تبادل‌ی خاک تخمینی به‌وسیله مدل می‌تواند ۰/۰۳۲ در صد کمتر یا ۰/۰۲۵ در صد بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده سدیم تبادل‌ی خاک می‌باشد. نتایج آزمون تی تست نمونه‌های جفت شده در دو لایه خاک نشان داد که ESR پیش‌بینی مدل ESR-SAR با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده واقعی در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، میانگین اختلاف بین دو روش ۰/۰۰۷ درصد (در فاصله اطمینان ۹۵ درصد مساوی ۰/۰۲۰۹ و ۰/۰۰۶،  $P = 0.259$ ) بود. انحراف معیار اختلافات سدیم تبادل‌ی خاک ۰/۰۲۸۸ بود. برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، میانگین اختلاف بین دو روش ۰/۰۰۴ درصد (در فاصله اطمینان ۹۵ درصد مساوی ۰/۰۱۰۳ و ۰/۰۰۳۲،  $P = 0.280$ ) بود. انحراف معیار اختلافات سدیم تبادل‌ی خاک ۰/۰۱۴۴ درصد بود.

برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، مدل رگرسیونی  $ESR=0.0182SAR-0.027$  نزدیک به مدل

در این مطالعه برای هر دو لایه خاک همبستگی معنی‌داری بین نسبت سدیم تبادل‌ی خاک (ESR) و نسبت جذبی سدیم (SAR) به دست آمده است. به‌طور کلی برای هر دو لایه، نتایج نشان داد که بین ESR و SAR ارتباط زیادی وجود دارد و این با آنچه توسط کارکنان آزمایشگاه شوری ایالات متحده (Richards, 1954)، پالیوانی و گاندی (Paliwal & Gandhi, 1976)، هارون و همکاران (Harron *et al.*, 1983)، کوپتیک و همکاران (Kopittke *et al.*, 2006)، محمد و همکاران (Mohamed *et al.*, 2008)، سیلسپور و همکاران (Seilsepour *et al.*, 2009)، چای و همکاران (Chi *et al.*, 2011)، زارعی و همکاران (Zare *et al.*, 2014) و البشیر و همکاران (Elbasher *et al.*, 2016) که در مطالعات خود رگرسیون خطی بین نسبت سدیم تبادل‌ی خاک (ESR) یا درصد سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در مناطق مختلف به دست آمده برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، مدل رگرسیونی  $ESR=0.0182SAR-0.027$  و برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، مدل رگرسیونی  $ESR=0.0157SAR-0.020$  برای تخمین سدیم تبادل‌ی خاک در این منطقه تعیین گردید. روش بلند-آلتمن در دو لایه خاک برای رسم توافق بین مقادیر سدیم تبادل‌ی خاک اندازه‌گیری شده و تخمینی مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و تخمینی از مدل‌های مذکور در هر دو لایه خاک نشان داد که انطباق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی وجود دارد (شکل ۵(A و B)، محمد و همکاران (Mohamed *et al.*, 2008) نیز در بررسی خاک‌های سودان در سه افق مختلف (A، AC و C) رابطه بین ESR و SAR را به دست آورند نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر ESR و SAR با عمق کاهش می‌یابد.

برای نمونه خاک‌های ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، ۹۵٪ محدوده توافق برای مقایسه مقادیر واقعی سدیم تبادل‌ی خاک با مقادیر تخمینی از مدل ESR-SAR در محدوده ۰/۰۶۳- و ۰/۰۴۹ درصد تعیین گردید (شکل ۵(A)؛ بنابراین سدیم تبادل‌ی خاک تخمینی به‌وسیله مدل می‌تواند ۰/۰۶۳ در صد کمتر یا ۰/۰۴۹ در صد بیشتر از

خاک، شوری خاک و مقدار رس موجود در خاک قرار دارد (Shainberg *et al.*, 1980; Harron *et al.*, 1983; Chi *et al.*, 2011; Endo *et al.*, 2002). رس‌هایی که در آن‌ها سطوح تبدالی محدود به سطوح خارجی است به دلیل بار الکتریکی اندک خود، تمایل به جذب ترجیحی یون سدیم دارند که مقدار این جذب با کاهش ESP افزایش نشان می‌دهد. همچنین افزایش در مقاومت یونی به دلیل کاهش ضخامت DDL، کاهش بار الکتریکی، موجب افزایش جذب ترجیحی یون سدیم در این رس‌ها می‌شود. از طرف دیگر، در رس‌های انبساط پذیر در شرایط مقاومت یونی کم و ESP زیاد، ذرات رس پراکنده شده و سطوح تبدالی خارجی غالب می‌شوند. اگرچه با شروع تشکیل شبه کریستال‌ها به وسیله ذرات رسی (ناشی از افزایش مقاومت یونی یا کاهش در ESP)، سطوح تبدالی داخلی ایجاد شده و تمایل برای جذب یون کلسیم افزایش می‌یابد. بنابراین رابطه ESR-SAR با تغییر در مقاومت یونی و مینرالوژی رس دستخوش دگرگونی می‌گردد (Kopittke *et al.*, 2006; Sarani *et al.*, 2016).

رگرسیون  $ESR=0.0173SAR-0.0180$  به دست آمده از مطالعات هارون و همکاران در افق B خاک بود؛ اما این مدل با دیگر مدل‌های به دست آمده اختلاف داشت (Richards, 1954; Seilsepour *et al.*, 2009; Paliwal & Gandhi, 1976). برای نمونه خاک‌های ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، مدل رگرسیونی  $ESR=0.0157SAR-0.020$  با دیگر مدل‌های به دست آمده در مناطق مختلف اختلاف داشت (Richards, 1954; Seilsepour *et al.*, 2009; Harron *et al.*, 1983; Paliwal & Gandhi, 1976).

نتایج مطالعات قبلی مدل‌های ESR-SAR در مناطق مختلف در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مدل رگرسیونی در خاک‌های مناطق مختلف و در لایه‌های متفاوت خاک تغییر می‌کند. این نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی ESR-SAR ثابت نیست، این مسئله بیان‌گر آن است که تبادل  $Ca^{2+}$ ،  $Na^{+}$  و به عبارتی روابط جفت پارامترهای ESR-SAR ثابت نیست این پارامترها تحت تأثیر فاکتورهای زیادی همچون مقاومت یونی محلول خاک، مقدار مواد آلی

جدول ۵- روابط ESR-SAR در خاک‌های مختلف

Table 5. ESR-SAR relationships of various soils

soil	ESR-SAR model	R <sup>2</sup>	Reference
Surface(0-30 cm)	$ESR=0.0182SAR-0.027$	0.918	This study
Subsurface(30-60 cm)	$ESR=0.0157SAR-0.020$	0.833	This study
A horizon	$ESR=0.0058SAR+0.0076$	0.902	Harron et al., 1983
B horizon	$ESR=0.0173SAR-0.0180$	0.902	Harron et al., 1983
59 soils from Western U.S.A	$ESR=0.01475SAR-0.0126$	0.852	U.S. Dep. Agric. 1954
LS	$ESR=0.0074SAR+0.1593$	0.839	Paliwal and Gandhi 1976
SCL	$ESR=0.0109SAR+0.1324$	0.834	Paliwal and Gandhi 1976
CL	$ESR=0.0109SAR+0.1320$	0.918	Paliwal and Gandhi 1976

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از مدل رگرسیون خطی برای تخمین نسبت سدیم تبدالی در خاک‌های شور استفاده شد. یک معادله جدید برای پیش‌بینی مقدار ESR خاک تهیه شد. مقادیر ESR اندازه‌گیری شده در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک با نتایج حاصل از مدل ESR-SAR خاک مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر ESR اندازه‌گیری شده و تخمینی به وسیله مدل در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد؛ بنابراین به جای آزمایش‌های پرهزینه و وقت‌گیر می‌توان

بنابراین رابطه بین نسبت سدیم تبدالی خاک و نسبت جذبی سدیم باید به‌طور مستقیم برای خاک‌های مناطق مختلف تعیین گردد (Seilsepour *et al.*, 2009; Chi *et al.*, 2011). محمد و همکاران (Mohamed *et al.*, 2008) در تحقیقات خود بیان داشتند که به دلیل رابطه قوی بین ESR و SAR، ورود پارامترهای دیگری همانند ورود درصد اشباع (SP)، درصد رس (Clay%) و رسانایی الکتریکی (EC) در مدل رگرسیونی، معادله را بهبود نمی‌بخشد. در این مطالعه نیز تأثیر همه عوامل مؤثر بر مدل ESR-SAR مورد مطالعه قرار نگرفته است.

از مدل ESR-SAR برای تخمین نسبت سدیم تبادلی در خاک‌های این منطقه استفاده نمود.

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام می‌باشد. بدین وسیله از حمایت مالی این مجتمع تقدیر و تشکر می‌گردد.

سپاسگزاری

## References

- Alva A.K., Sumner M.E., and Miller W.P. 1991. Relationship between ionic strength and electrical conductivity for solutions. *Soil Science*, 152: 239-242.
- Appelo C.A.J., and Postma D. 1999. Chemical analysis of groundwater, geochemistry, groundwater & pollution. Balkema, Rotterdam.
- Aylmore L. A. G., and Sills I. D. 1982. Characterization of structure and stability using MOR-exchangeable sodium percentage relationships. *Australian Journal of Soil Research*, 20:213–224.
- Bland J.M., and Altman D.G. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical methods in laboratory medicine*, 8: 135-160. DOI: 10.1177/096228029900800204.
- Bower C.A. 1959. Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. *Soil Sci*, 88:32-35.
- Bower C.A. and Hatcher J.T. 1962. Characterization of salt-affected soils with respect to sodium. *Soil Science*, 93:275-280.
- Chi C. M., Zhao C. W., Sun X. J., and Wang Z. C. 2011. Estimating exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soil in the Songnen Plain of Northeast China. *Pedosphere*, 21(2): 271–276. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60127-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60127-6).
- Elbashier M. M., Ebrahim M.H., Musa A. A. Ali A.A., and Mohamm M.A. 2016. Efficiency of Two models for prediction of exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio on saline and non saline soil. *Universal Journal of Agricultural Research*, 4 (1): 32-36. doi: 10.13189/ujar.2016.040106.
- Endo T., Yamamoto S., Honna T., and Eneji A. E. 2002. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by clay minerals and composition. *Soil Science*, 167(2): 117–125. DOI:10.1097/00010694-200202000-00004.
- Evangelou V.P., and Marsi M. 2003. Influence of ionic strength on sodium-calcium exchange of two temperate climate soils. *Plant and Soil*, 250: 307-313. DOI:10.1023/A:1022871204018.
- Farahmand A., Oustan S.H., Jafarzadeh A.A., and Aliasgharzad N. 2009. An estimation of gapon selectivity coefficient for Na/Ca+Mg exchange in some salt-affected soils of Tabriz plain. *Iranian journal of soil and water research*, 40: 17–26. (In Persian)
- Farahmand A., Oustan S.H., Jafarzadeh A.A., and Aliasgharzad N. 2012. Salinity and sodicity parameters in som salt-affected soils of Tabriz plain. *Water Soil Science (Agricultural Science)*, 22: 1–15. (In Persian)
- Hamzenejad Taghlidabad R., Khodaverdiloo H., Rezapour S., and Manafi SH. 2012. Evaluating of efficiency of three halophyte plants for reduction of soil exchangeable sodium (ESP) and cadmium (Cd) and lead (Pb) contamination TT. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 16: 131–143. (In Persian)
- Harron W.R.A., Webster G.R., and Cairns R.R. 1983. Relationship between exchangeable sodium and sodium adsorption ratio in a solonchic soil association. *Canadian Journal of Soil Science*, 63: 461-467. <https://doi.org/10.4141/cjss83-047>.
- Ibrahim I. S. 1991. Variability in and correlation between exchangeable sodium percentage and sodium adsorption ratio in the Aridisols of the Sudan. *Journal of Agricultural Research Tanta University*, 17:157–166.
- Jafari M., Zare Chahouki M.A., Tavili A., and Shafizadeh nasrabadi M., 2007. A study of the relationship between ionic strength and electrical conductivity in salt affected soils Iran. *Journal of Agricultural Science*, 38: 587–591.
- Kopittke P.M., So P.H.B., and Menzies N.W. 2006. Effect of ionic strength and clay mineralogy on Na-Ca exchange and the SAR-ESP relationship. *European Journal of Soil Science*, 57:626-633. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00753.x>.
- Levy R., and Hillel D. 1968. Thermodynamic equilibrium constants of sodium-calcium exchange in some Israel soils. *Soil Science*, 106: 393-398. DOI: 10.1097/00010694-196811000-00010.

- Machado R., and Serralheiro RP. 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2): 30. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>.
- Marsi M., and Evangelou V.P. 1991. Chemical and physical behavior of two Kentucky soils:I. Sodium- calcium exchange. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 267: 1147-1176. <https://doi.org/10.1080/10934529109375691>.
- Mohamed D.M., Ibrahim S.I., and Elamin, E.A. 2008. Variability and correlation between exchangeable sodium percentage and sodium adsorption ratio in vertisols of Sudan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(19-20): 2827-2838. <https://doi.org/10.1080/00103620802432758>.
- Munns R., and Tertnaat A. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160. <http://dx.doi.org/10.1071/PP9860143>.
- Musslewhite B., and Jin S. 2006. Salinity and sodicity interactions of weathered mine soils in North Western New Mexico and North Eastern Arizona. Topical and Final Report Task 47 Jointly Sponsored Research Project, pp: 7-8. <https://www.osti.gov/servlets/purl/885051>.
- Nadler A., and Magaritz M. 1981. Expected deviations from the ESP-SAR empirical Relationships in calcium and sodium-carbonate-containing arid soils: field evidence. *Soil Science*, 131: 220-225. DOI:10.1097/00010694-198104000-00005.
- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Method of soil Analysis. Part II: Chemical and Mineralogical Properties 2. Aufl. 1184 S., American Society of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin. <https://doi.org/10.1002/jpln.19851480319>.
- Paliwal K.V., and Gandhi A.D. 1976. Effect of salinity, SAR, Ca : Mg ratio in irrigation water and soil texture on the predictability of ESP. *Soil Science*, 122: 85-90. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US7619693>.
- Ponamperuma F. N., Tianco E. M., and Loy T.A. 1966. Ionic strengths of solutions of flooded soils and other natural aqueous solutions from specific conductance. *Soil Science*, 102: 408-413.
- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Determination of Theproperties of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Washington, D.C.166p. <https://doi.org/10.1093/aibsbulletin/4.3.14-a>.
- Sarani F., Gholamalizadeh A., and Shabani A. 2016. Comparing regression and artificial intelligence models for estimating soil exchangeable sodium percentage from sodium absorption ratio (case study: Miankangi region soils, Sistan). *Water and soil Science*, 26(2-2): 125-137. (In Persian)
- Seilsepour M., Rashidi M., and Khabbaz B.G. 2009. Prediction of soil exchangeable sodium percentage based on soil sodium adsorption ratio. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 5(1): 1-4. <http://www.idosi.org/aejaes/jaes5%281%29/1.pdf>.
- Shafizadeh M., Zare M. A., and Jafari M. 2006. Investigation of the relationship between ionic strength and electrical conductivity in saline soil solution. 9<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress. <https://civilica.com/doc/11251>. (In Persian)
- Shainberg I., Oster J.D., and Wood J.D. 1980. Sodium-calcium exchange in montmorillonite Andillite suspensions. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 960-964. doi:10.2136/sssaj1980.03615995004400050017x.
- Skoog D.A., West D.M., Crouch S.R., and Holler F.J. 2004. Fundamentals of analytical chemistry, international student edition. Thomson-Brooks/Cole.
- Zare M., Ordookhani K., Emadi A., and Azarpanah A. 2014. Relationship between soil exchangeable sodium percentage and soil sodium adsorption ratio in Marvdasht Plain, Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(12): 2934-2939. [http://www.ijabbr.com/article\\_11601.html](http://www.ijabbr.com/article_11601.html).

## Prediction of Soil Exchangeable Sodium Ratio Based on Soil Sodium Adsorption Ratio in Saline Soils of Khorasan Razavi, Iran

Zahra Shirmohammadi-aliakbarkhani<sup>1\*</sup>, Somayeh Heydari<sup>2</sup>

(Received: October 2020 Accepted: July 2021)

### Abstract

Sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium ratio (ESR) are two indicators of sodic soils. Accurate prediction on exchangeable sodium ratio (ESR), which is often using costly and time-consuming laboratory tests is important in reclamation of sodium (Na)-affected soils. A significant correlation between ESR and Sodium Adsorption Ratio (SAR) has been documented in many studies in different regions. The main purpose of this study is to develop a linear regression model between soluble and exchangeable cations in the Sarakhs Plain, Northeast Iran. In this study, 124 soil samples were randomly taken from the surface and subsurface the experimental site. The soil samples collected using a soil auger at 0-30 cm and 30-60 cm depth. Then the linear regression model was used for predicting soil (ESR) in saline soils. The soil ESR values measured in soil samples compared to the soil ESR values predicted using the soil ESR-SAR model. The results revealed that ESR and SAR are highly variable irrespective of depth despite a slight decrease with depth. The statistical results indicate that the linear regression model  $ESR=0.0182SAR-0.027$  ( $R^2= 0.92$ ,  $P <0.001$ ) and  $ESR=0.0157SAR-0.020$  ( $R^2=0.83$ ,  $P<0.001$ ) recommended to predict soil ESR from soil SAR in surface soil (0-30 cm) and subsurface soil (30-60 cm), respectively. In conclusion, the soil ESR-SAR model can be used instead of time-consuming and costly experiments in this study area.

**Keywords:** Soil salinity, Sodium adsorption ratio, Exchangeable sodium Ratio, Sarakhs Plain

Shirmohammadi-aliakbarkhani Z., and Heydari S. 2022. Prediction of soil exchangeable sodium ratio based on soil sodium adsorption ratio in saline soils of Khorasan Razavi, Iran. *Applied Soil Research*, 10(2): 40-53.

1-Assistant Professor, Department of Water engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

2-Assistant Professor, Department of Chemistry, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

\*Corresponding Author Email: [mshirmohamady@yahoo.com](mailto:mshirmohamady@yahoo.com)