

رابطه قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دیگر شاخص‌های شوری در برخی خاک‌های متأثر از نمک استان گلستان

حمیده گلیج^۱، * مجتبی بارانی مطلق^۲ و سیدعلیرضا موحدی نائینی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۹

چکیده

سابقه و هدف: تخمین زده می‌شود که ۳۵۰ هزار هکتار از خاک‌های استان گلستان دارای درجات مختلف شوری باشند. با وجود کاربرد فزاینده سنجنده‌های شوری جهت برآورد غلظت نمک در سطح مزرعه، هنوز هم تجزیه آزمایشگاهی عصاره‌های آبی خاک معمول‌ترین روش ارزیابی میزان شوری و خطرات بالقوه ناشی از آن می‌باشد. شوری بسته به روش و هدف اندازه‌گیری به طرق مختلفی بیان می‌شود. قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول (TSS)، کل جامدات محلول (TDS) همگی نمودهایی از شوری بوده و پارامترهای شوری نامیده می‌شوند. اندازه‌گیری مستقیم برخی از این پارامترها می‌تواند وقت گیر، پرهزینه و توأم با خطا باشد. بنابراین پژوهش‌گران تلاش می‌کنند تا آن‌ها را از پارامترهایی که سهل‌تر قابل اندازه‌گیری هستند، برآورد نمایند. هدف از این پژوهش، پیشنهاد روابط ساده برای برآورد قابل قبول شاخص‌های متداول شوری خاک‌های متأثر از نمک استان گلستان با استفاده از قابلیت هدایت الکتریکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی ایران (استان گلستان) واقع است. ۴۳ نمونه خاک از خاک‌های متأثر از شوری منطقه مزبور جمع‌آوری شد. نمونه‌ها هواخشک و پس از خرد شدن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و در عصاره اشباع آن‌ها، قابلیت هدایت الکتریکی، غلظت کلسیم و منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، کربنات و بی‌کربنات اندازه‌گیری گردید. قدرت یونی با استفاده از فرمول $I = 1/2 \sum C_i Z_i^2$ محاسبه گردید که در این فرمول C_i و Z_i به ترتیب غلظت و ظرفیت یون‌ها هستند. سپس رابطه بین قدرت یونی و قابلیت هدایت الکتریکی تعیین شد. همچنین قدرت یونی با استفاده از رابطه پیشنهاد شده توسط گریفین و جوریناک یعنی $I = 0.013 EC$ برآورد گردید. معادله‌های ساده دیگری نیز برای برآورد شاخص‌های شوری برای خاک‌های متأثر از نمک استان گلستان پیشنهاد شدند.

یافته‌ها: نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که پارامترهای شوری (غلظت کل نمک‌های محلول، قدرت یونی و غلظت آنیون کلراید) با قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع در ارتباط نزدیک هستند. روابط زیر برای برآورد پارامترهای TSS (mmolc/l)، قدرت یونی (mol/l) و غلظت یون کلراید (mmolc/l) با استفاده از EC_e (dS/m) پیشنهاد می‌شود:

$$\text{LogTSS} = 1/1489 + 0/9214 \log EC_e \quad (R^2 = 0/96, \text{SEE} = 0/083)$$

$$I = 0/0124 EC_e + 0/0488 \quad (R^2 = 0/96, \text{SEE} = 0/042)$$

$$\text{LogCl}^- = 1/1555 \log EC_e + 0/5042 \quad (R^2 = 0/89, \text{SEE} = 0/19)$$

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که پارامترهای شوری با قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع در ارتباط نزدیک هستند. این روابط ممکن است بسته به نوع خاک متفاوت باشند. این مطالعه یک رابطه خطی بین قابلیت هدایت الکتریکی و قدرت یونی را نشان داد که می‌تواند برای پیش‌بینی قدرت یونی مورد استفاده قرار گیرد. این مطالعه همچنین نشان داد که یک همبستگی خوبی بین قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت یون کلراید وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های متأثر از نمک، غلظت کل نمک‌های محلول، قابلیت هدایت الکتریکی، قدرت یونی

مقدمه

شوری حضور فراوان یون‌های معدنی در خاک است که با افزایش فشار اسمزی محلول خاک، اختلال در جذب مواد غذایی، ایجاد سمیت یونی و عدم توازن غذایی بر روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. اگرچه خاک‌های شور به‌طور طبیعی در قسمت‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارند، اما مقدار زیادی هم در اثر بهره‌برداری نادرست انسان از اراضی به‌صورت ثانویه ایجاد می‌گردند (۲۱). خاک‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران توسعه‌یافته و سطحی بالغ بر ۲۳-۱۶ میلیون هکتار از اراضی کشور را شامل می‌شوند (۲۲). در استان گلستان بالغ بر ۳۵۰۰۰۰ هکتار یعنی ۳۸ درصد از کل اراضی استان دارای درجات مختلف شوری است که حدود نیمی از آن در حال حاضر برای کشاورزی (عمدتاً غلات) مورد استفاده می‌باشد (۲۱).

شوری بسته به روش و هدف اندازه‌گیری به طرق مختلفی بیان می‌شود. قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کل نمک‌های محلول (TSS)، کل جامدات محلول (TDS) همگی نمونه‌هایی از شوری بوده و شاخص‌های شوری نامیده می‌شوند (۸). برخی پژوهش‌گران غلظت یون کلراید را نیز به‌عنوان یک شاخص شوری به‌کار گرفته‌اند (۱۱، ۲۶). قابلیت هدایت الکتریکی (EC) شاخصی مناسب در ارزیابی شوری خاک می‌باشد (۸). آب خاک یا محلول خاک، محلول الکترولیت حاوی کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف بوده

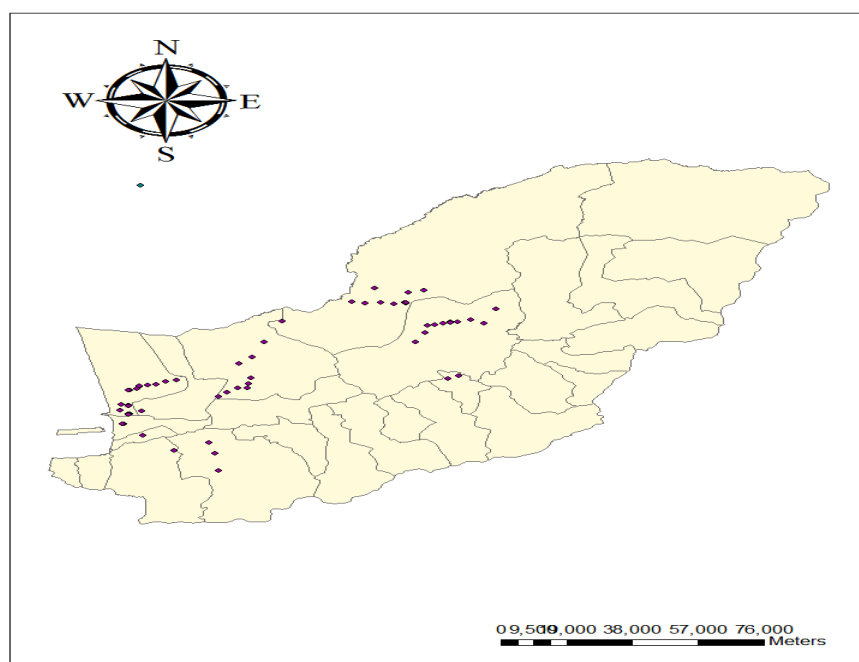
و هادی جریان الکتریکی می‌باشد. بدین جهت اندازه‌گیری هدایت مخصوص یا قابلیت هدایت الکتریکی (EC) محلول خاک شاخصی از مقدار نمک‌های محلول خاک است (۷). با توجه به این‌که ابزار و وسایل امروزی، امکان اندازه‌گیری سریع، دقیق و قابل‌اطمینان قابلیت هدایت الکتریکی را در مزرعه و آزمایشگاه میسر نموده‌اند (۱۴)، مطالعات بسیاری برای مرتبط ساختن قابلیت هدایت الکتریکی محلول با سایر پارامترهای شوری و مشخصه‌های شیمیایی محلول انجام شده است (۲۵). از جمله ویسکانتی و همکاران (۲۰۰۴) رابطه خطی برای تخمین غلظت کل املاح با استفاده از هدایت الکتریکی محلول آب با شوری کم تا متوسط ارائه نمودند (۲۳). باستیدا و همکاران (۲۰۰۴) رابطه‌ای بین هدایت الکتریکی و ترکیب یونی ارائه نمودند (۳). زارع‌ایانه و همکاران (۲۰۰۵) مقدار کلر محلول در آب زیرزمینی را با توجه به هدایت الکتریکی املاح تخمین زدند (۲۶). مک‌کلسکی و همکاران (۲۰۱۲) در یک مطالعه گسترده مجموعه روابطی برای تخمین هدایت الکتریکی با توجه به غلظت هر یک از یون‌های موجود در نمونه‌های طبیعی آب ارائه نمودند (۱۴). گرچه وجود رابطه بین EC و پارامترهای TSS (۴، ۷، ۱۳، ۲۰) و قدرت یونی (۸، ۱۰، ۱۳، ۱۸) پیش‌تر به دفعات گزارش شده است ولی ضرایب معادلات ارائه شده ثابت نبوده و ممکن است بسته به دامنه EC، ماهیت گونه‌های یونی و میزان نسبی آن‌ها متغیر باشد (۸). فرحبخش و توفیقی (۱۹۹۷) نیز بیان می‌دارند که

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰۰ نمونه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، از نواحی مختلف استان گلستان جمع‌آوری گردید. سپس با توجه به تنوع خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و نیز درجات مختلف شوری (کم‌تر از ۲ تا حدود ۶۰ دسی‌زیمنس بر متر)، تعداد ۴۵ نمونه خاک از بین آن‌ها گزینش شد (شکل ۱). نمونه‌های هوا خشک شده به آرامی کوبیده شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند.

یک معادله جهانی واحد بین EC و شاخص‌های شوری که در همه شرایط و مناطق با دقت یکسان صادق باشد نمی‌توان ارائه داد و به عبارت دیگر برای مناطق مختلف جهان باید معادله‌های خاص به دست آورد (۷).

از آنجایی که اندازه‌گیری دقیق EC محلول‌ها در مقایسه با غلظت کل املاح محلول یا قدرت یونی محلول‌ها به مراتب ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است، این روابط کاربرد وسیعی یافته است. از این‌رو، هدف از این پژوهش، پیشنهاد روابط ساده برای برآورد قابل قبول شاخص‌های متداول شوری در خاک‌های متأثر از نمک استان گلستان می‌باشد.



شکل ۱- نقاط نمونه برداری شده.

Figure 1. Studied points.

بی‌کربنات و کربنات به روش تیتراسیون (۲۰)، بلافاصله پس از عصاره‌گیری، انجام گرفت. برای جلوگیری از رسوب کربنات کلسیم یک قطره محلول هگزامتافسفات سدیم یک‌دهم درصد به ازای هر ۲۵ میلی‌لیتر عصاره و نیز چند قطره تولوئن برای

از خاک‌های مورد نظر گل اشباع تهیه گردید. سپس عصاره آن‌ها با استفاده از قیف بوختر جدا گردید. pH و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ها به وسیله دستگاه‌های pH متر مدل WTW PH۷۲۰ و هدایت سنج مدل WTW cond۷۲۰ و غلظت آنیون‌های

روش هیدرومتری (۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (۵)، کربن آلی به روش والکلی- بلاک (۱۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی کردن با اسید کلریدریک (۱۶) و گچ با روش استون (۲۰) اندازه گیری شدند (جدول ۱). رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

جلوگیری از رشد میکروبی اضافه گردید (۱۹) و عصاره ها در ظروف پلاستیکی در یخچال نگهداری شدند. سپس غلظت کلسیم و منیزیم به وسیله روش تیتراسیون با EDTA، سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری، کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره و سولفات با روش استون اندازه گیری شد (۲۰). همچنین، درصد رطوبت اشباع (۱۹)، بافت خاک به

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد استفاده.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of soils used.

ویژگی خاک (Soil property)	واحد (Unit)	حداقل (Min)	حداکثر (Max)	میانگین (Average)	انحراف معیار (S. D.)	ضریب تغییرات (C.V)
رس (Clay)	%	10.00	36.00	20.72	1.92	9.24
درصد رطوبت اشباع (SP)	%	26.14	64.90	46.86	0.65	1.39
قابلیت هدایت الکتریکی (EC _e)	dS m ⁻¹	1.17	58.30	18.37	14.45	78.66
pH _e	-	7.27	8.04	7.60	0.01	0.05
سدیم (Na ⁺)	(meq l ⁻¹)	0.33	579.79	132.29	141.76	107.16
کلسیم (Ca ²⁺)	(meq l ⁻¹)	8.0	164.00	65.82	20.45	31.07
منیزیم (Mg ²⁺)	(meq l ⁻¹)	6.0	180.00	67.13	29.58	44.06
پتاسیم (K ⁺)	(meq l ⁻¹)	0.23	11.85	3.05	2.11	69.11
کلراید (Cl ⁻)	(meq l ⁻¹)	3.50	508.00	104.44	138.20	127.44
سولفات (SO ₄ ²⁻)	(meq l ⁻¹)	7.10	230.41	83.43	34.66	41.54
بیکربنات (HCO ₃ ⁻)	(meq l ⁻¹)	0.40	6.30	2.55	0.27	10.59
کل نمک های محلول (TSS)	(mmol _e l ⁻¹)	16.78	709.83	201.82	139.40	69.10
کربنات کلسیم معادل (CCE)	%	6.83	25.78	16.94	1.59	9.39
گچ (Gypsum)	%	0.05	1.72	0.53	0.29	54.26
کربن آلی (OC)	%	0.32	1.00	0.60	0.07	11.47
قدرت یونی (Ionic strenght)	(mol l ⁻¹)	0.03	0.81	0.27	0.21	77.77
نسبت جذب سدیم (SAR)	(mmol l ⁻¹) ^{0.5}	0.12	71.01	20.12	17.53	87.14

نتایج و بحث

ویژگی های خاک ها: دامنه، میانگین و ضریب تغییرات برخی ویژگی های خاک های مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج جدول ۱ و نیز بزرگی ضریب تغییرات بیش تر ویژگی ها، خاک های مورد بررسی دارای تنوع زیادی می باشند. بافت خاک ها غالباً لوم سیلتی و در معدودی از موارد لوم رس سیلتی و لوم

نیز مشاهده می‌شود. در هیچ‌کدام از خاک‌های مورد بررسی، یون کربنات مشاهده نگردید. در خصوص پتاسیم همان‌طور که در جدول فوق نشان می‌دهد میانگین غلظت این کاتیون در عصاره اشباع نسبت به میانگین غلظت‌های سدیم و کلسیم و منیزیم ناچیز است و بنابراین در این خاک‌ها سه کاتیون ذکر شده را می‌توان غالب دانست.

از ۴۵ نمونه جمع‌آوری شده، ۸ نمونه خاک غیرمتأثر از نمک یا نرمال (EC عصاره اشباع کوچک‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر و SAR کوچک‌تر از ۱۳)، ۱۵ نمونه خاک شور (EC عصاره اشباع بزرگ‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر و SAR کوچک‌تر از ۱۳) و ۲۲ نمونه خاک شور و سدیمی (EC عصاره اشباع بزرگ‌تر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر و SAR بزرگ‌تر از ۱۳) بودند.

برای بررسی صحت تجزیه‌های شیمیایی انجام گرفته روی نمونه‌های محلول خاک، شاخص خشی‌بودن بار الکتریکی یا موازنه بار محاسبه شد (۸، ۲۵).

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

در صورت کوچک بودن قدرمطلق مقدار عددی این شاخص می‌توان چنین استنباط کرد که غلظت سایر یون‌های اندازه‌گیری شده در محلول ناچیز می‌باشد. ولت (۱۹۸۹) نمونه‌های محلولی که EN آن‌ها بزرگ‌تر از ۲۰ درصد باشد را دارای اشکال در محاسبه و اندازه‌گیری می‌داند (۲۴). ویسکانتی و همکاران (۲۰۰۴) نمونه‌های محلولی که EN آن‌ها بیش از ۱۰ درصد بود را از مطالعه خود حذف نمودند. موازنه بار ۲ نمونه محلول عصاره اشباع خاک بزرگ‌تر از ۱۰ درصد محاسبه شد و در نتیجه این نمونه‌ها حذف شدند. در سایر خاک‌ها نتایج ارائه شده

مربوط به غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول نمونه خاک‌های مورد مطالعه قابل قبول می‌باشد.

رابطه TSS و EC_e در خاک‌های مورد مطالعه: TSS برابر با غلظت کل نمک‌های محلول در عصاره خاک می‌باشد که از جمع جبری غلظت کاتیون‌ها یا آنیون‌ها (بر حسب mmolc/l) به دست می‌آید. شکل ۲ رابطه لگاریتم غلظت کل نمک‌های محلول (TSS) و لگاریتم قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) در ۴۳ نمونه خاک مورد بررسی را نشان می‌دهد.

شکل ۲ نشان‌دهنده یک رابطه خطی بین TSS و EC_e می‌باشد. با این وجود، فرحبخش و توفیقی (۷) بیان داشتند که یک رابطه غیرخطی بهتر از یک مدل خطی بر داده‌ها برازش می‌یابد. زیرا رابطه بین TSS و EC در اصل خطی نمی‌باشد. آنان علت غیرخطی بودن این رابطه را به افزایش درصد تشکیل زوج یون و یا کمپلکس‌های محلول و کاهش تحرک یون‌ها در نتیجه افزایش غلظت املاح محلول نسبت دادند. ولی در مطالعه آنان قابلیت هدایت الکتریکی حدود ۳۶۰ dS/m بود در حالی که در این مطالعه خاک‌ها کم‌تر از ۶۰ dS/m قابلیت هدایت الکتریکی داشتند.

معادله خط رگرسیون به همراه ضریب تشخیص (R²) و خطای معیار برآورد (SEE) به صورت زیر می‌باشد. TSS بر حسب (mmolc/l) و EC بر حسب (dS/m) می‌باشد.

$$\text{LogTSS} = 1/1489 + 0/9214 \log EC_e \quad (1)$$

$$(R^2 = 0/96, SEE = 0/083, EC_e < 60 \text{ dS/m})$$

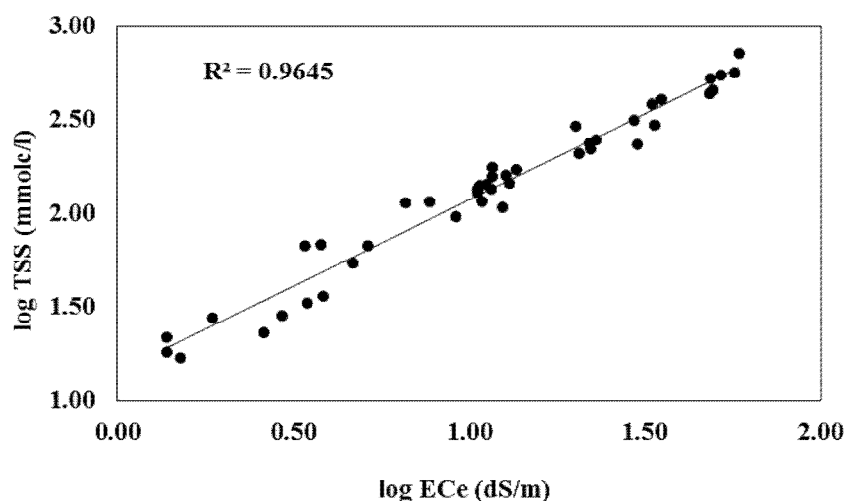
فرم غیرلگاریتمی رابطه بالا به صورت زیر است:

$$TSS = 14/089 EC_e^{0/9214} \quad (2)$$

$$(R^2 = 0/96, SEE = 48/33)$$

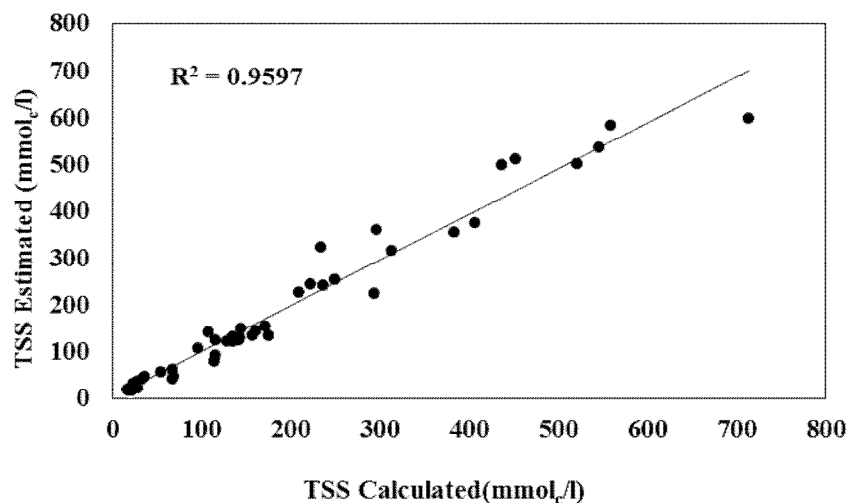
این شکل می‌توان نتیجه گرفت که از معادله ارائه شده می‌توان برای برآورد مقدار کل املاح محلول عصاره اشباع خاک‌های متأثر از نمک استان گلستان در دامنه $60 < EC \text{ (dS/m)} < 1$ استفاده نمود، ولی استفاده از این رابطه در خارج از دامنه ارائه شده توصیه نمی‌گردد.

شکل ۳ رابطه بین TSS به‌دست آمده در آزمایشگاه و برآورد شده از معادله پیشنهادی را در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. ضریب تشخیص به‌دست آمده نشان‌دهنده انطباق خوب بین داده‌های مشاهداتی و برآوردی است. از



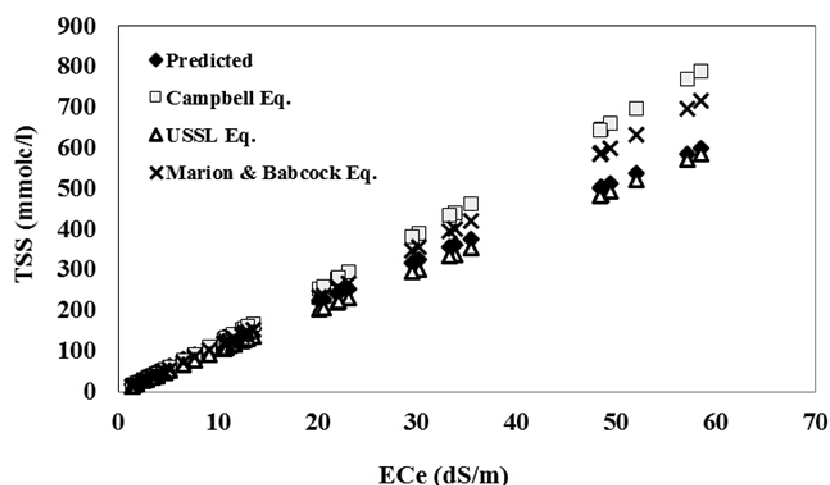
شکل ۲- رابطه بین غلظت کل نمک‌های محلول (TSS) و EC_e .

Figure 2. Relationship between Total Soluble Salts and Electrical Conductivity.



شکل ۳- رابطه بین TSS به‌دست آمده در آزمایشگاه و برآورد شده از معادله پیشنهادی.

Figure 3. Relationship between Experimental TSS and Estimated by model.



شکل ۴- مقایسه معادله‌های مختلف در برآورد TSS از EC.

Figure 4. Comparison of different equations for estimating TSS from Electrical Conductivity.

می‌نماید. فرحبخش و توفیقی (۱۹۹۷) و فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) با به‌دست آوردن نتایج مشابه، این امر را به دامنه مجاز برای استفاده از این معادلات نسبت دادند (۷، ۸). به‌عنوان مثال دو معادله USSL و ماریون و بیکاک برای ECهای کم (در حدود ۱۰ تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) ارائه گردیده است و استفاده از آن‌ها در ECهای بیش‌تر با خطای برآورد بزرگ‌تری همراه خواهد بود. از این میان، معادله آزمایشگاه مطالعات شوری ریورساید (USSL) چه در سطح جهان و چه در سطح کشور مورد استفاده وسیع قرار گرفته است. هر چند این معادله بدون توجه به مقدار عددی EC و صرفاً به‌دلیل سادگی بیش از سایر روابط مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه مجاز استفاده از این معادله کم‌تر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر است. در حالی‌که این رابطه، TSS خاک‌های مورد بررسی را به‌طور متوسط ۱۷ درصد کم‌تر از رابطه پیشنهادی برای خاک‌های استان گلستان برآورد می‌کند. نتیجه مشابهی توسط فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) برای خاک‌های متأثر از نمک دشت تبریز گزارش شده است (۸). فرحبخش و توفیقی (۱۹۹۷) علت دیگر تفاوت معادله پیشنهادی

برای بررسی بهتر معادله پیشنهادی، این رابطه با روابط مشهور ارائه شده در جهان مقایسه گردید. در گذشته برای برآورد TSS از EC_e ، معادلاتی توسط کمپیل و همکاران (۱۹۴۸)، آزمایشگاه مطالعات شوری ریورساید وابسته به وزارت کشاورزی آمریکا (۱۹۵۴) و ماریون و بیکاک (۱۹۷۶) ارائه گردیده است (۴، ۲۰، ۱۳). این رابطه‌ها به‌صورت زیر می‌باشد:

$$(۳) \quad TSS = 10.37 EC_e^{1/0.65} \quad (\text{کمپیل و همکاران، ۱۹۴۸})$$

$$(۴) \quad TSS = 10 EC_e \quad (USSL) \quad (۱۹۵۴)$$

$$(۵) \quad TSS = 9.772 EC_e^{1/0.55} \quad (\text{ماریون و بیکاک، ۱۹۷۶})$$

در این رابطه‌ها TSS بر حسب (mmol/l) و EC بر حسب (dS/m) می‌باشد. شکل ۴ مقایسه این معادله‌ها با معادله پیشنهادی را نشان می‌دهد.

همان‌طوری که شکل ۴ نشان می‌دهد معادله پیشنهادی (رابطه ۲)، TSS را کم‌تر از معادله‌های کمپیل و ماریون و بیکاک و بیش‌تر از معادله آزمایشگاه مطالعات شوری ریورساید آمریکا (USSL) برآورد

مطالعات پونمپروما و همکاران (۱۹۶۶)، گریفین و جوریناک (۱۹۷۳)، ادمیدس و همکاران (۱۹۸۵)، آلو و همکاران (۱۹۹۱)، جلاه و اسمیت (۱۹۹۵)، عبدالغفور و مرتضی (۲۰۰۰)، نوربخش و همکاران (۱۹۹۷) و فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) نیز همگی نشان‌دهنده وجود یک ارتباط خطی قوی بین قابلیت هدایت الکتریکی و قدرت یونی است که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد (۱۸، ۱۰، ۶، ۲، ۱۲، ۱، ۱۷، ۸). به‌عنوان مثال، پونمپروما و همکاران (۱۹۶۶) به بررسی ارتباط بین قدرت یونی و هدایت الکتریکی در خاک‌های غرقابی پرداختند و رابطه $I=16EC$ را گزارش کردند (۱۸). هم‌چنین آلو و همکاران (۱۹۹۱) در برخی خاک‌های مناطق گرم و مرطوب در محدوده هدایت الکتریکی ۰ تا ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر معادله $I=0.012EC-0.0002$ را به‌دست آوردند (۲). نوربخش و همکاران (۱۹۹۶) رابطه $I=0.0162EC-0.39$ را برای یک خاک شور شرق اصفهان گزارش کردند (۱۷). فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) رابطه $I=19.1EC$ را بین قدرت یونی و EC_e برای خاک‌های متأثر از نمک دشت تبریز پیشنهاد کردند که در آن قدرت یونی بر حسب (mmol/l) و EC_e بر حسب (dS/m) می‌باشد (۸). متداول‌ترین رابطه مورد استفاده در این زمینه، رابطه ارائه شده توسط گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰). این رابطه به‌صورت زیر است:

$$I=0.0127EC_e-0.0003 \quad (۷)$$

که به‌صورت ساده زیر بیان می‌شود:

$$I \approx 0.013EC_e \quad (۸)$$

از این‌رو، از رابطه تجربی گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) مقادیر تخمینی قدرت یونی محاسبه گردید

(یا تفاوت شیب خطوط) با دیگر معادلات را ناشی از تأثیر شرایط منطقه‌ای (مانند نوع املاح محلول، نسبت کاتیون‌ها و آنیون‌ها محلول به یکدیگر و EC خاک‌ها) دانستند که در ضرایب این معادلات تأثیر می‌گذارد (۷). به‌طورکلی به‌دلیل تأثیر ترکیب یونی محلول خاک بر ضرایب معادلات برخی پژوهش‌گران توصیه کرده‌اند که برای هر منطقه خاص از معادله به‌دست آمده برای همان منطقه استفاده شود (۸).

رابطه قدرت یونی (I) و EC_e در خاک‌های مورد

مطالعه: قدرت یونی در واقع بیانی کمی از محیط یونی محلول می‌باشد (۸). قدرت یونی از معادله $I=\frac{1}{\gamma} \sum C_i Z_i^2$ به‌دست آمد. در این رابطه، I قدرت یونی بر حسب مول در لیتر، C_i غلظت بر حسب مول در لیتر و Z_i بار یون می‌باشد. قدرت یونی (I) عصاره اشباع خاک‌ها از ۰/۰۱۷۹ تا ۰/۷۶۰۹ مول در لیتر (با میانگین ۰/۲۳۷۲ مول در لیتر) متغیر بود. برای تعیین قدرت یونی از رابطه فوق لازم است غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب خاک اندازه‌گیری شود. این اندازه‌گیری معمولاً مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی است، بنابراین پژوهش‌گران مختلف مطالعاتی را برای برقراری ارتباط بین قدرت یونی (I) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) محلول‌های خاک و آب انجام داده‌اند. شکل ۵ رابطه خطی بین قدرت یونی به‌دست آمده از معادله $I=\frac{1}{\gamma} \sum C_i Z_i^2$ و EC_e را در ۴۳ نمونه خاک مورد بررسی نشان می‌دهد.

رابطه خطی به‌دست آمده به‌صورت زیر است:

$$I=0.0124EC_e+0.0488 \quad (۶)$$

$$(R^2=0.96, SEE=0.042, EC_e < 60 \text{ dS/m})$$

که در آن، قدرت یونی (I) بر حسب (mol/l) و EC بر حسب (dS/m) می‌باشد.

بررسی ۴۳ خاک مورد مطالعه، رابطه رگرسیونی زیر برای برآورد غلظت یون کلراید از قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به دست آمد (شکل ۷):

$$\text{LogCl} = 1/155 \log \text{EC}_e + 0/5042 \quad (9)$$

$$(R^2 = 0/89, \text{SEE} = 0/19)$$

که در آن، غلظت یون کلراید بر حسب (mmol/l) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) بر حسب (dS/m) می باشد.

معادله به دست آمده در این پژوهش شباهت زیادی با دیگر روابط گزارش شده برای دیگر نقاط کشور دارد. معادله پیشنهادی فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) برای دشت تبریز به صورت زیر است:

$$\text{LogCl} = 1/150 \log \text{EC}_e + 0/795 \quad (10)$$

$$(R^2 = 0/993, \text{SEE} = 0/35)$$

رابطه مشابهی توسط فرحبخش و توفیقی (۱۹۹۶) برای اصفهان گزارش شده است:

$$\text{LogCl} = 1/186 \log \text{EC}_e + 0/645 \quad (11)$$

$$(R^2 = 0/991, \text{SEE} = 0/39)$$

ولی ضریب تشخیص به دست آمده از این پژوهش کمتر از ضرایب گزارش شده در منابع برای ارتباط بین این دو پارامتر می باشد. فرحبخش و توفیقی (۱۹۹۷) بیان می دارند که از آنجایی که بین EC_e و غلظت یون کلراید رابطه ذاتی وجود ندارد (زیرا EC_e یک محلول الکترولیت به نوع و غلظت مجموع کاتیون ها و آنیون های موجود در آن محلول بستگی داشته و الزاماً تابع غلظت فقط یکی از کاتیون ها یا آنیون ها نیست)، بنابراین همبستگی بالا در صورتی محقق می شود که آنیون کلراید در خاک ها غالب باشد

تا میزان تطبیق آن با قدرت یونی واقعی به دست آمده از رابطه $I = \frac{1}{2} \sum \text{CiZ}_i^2$ مقایسه شود که به صورت شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل وجود یک رابطه بسیار قوی بین مقادیر واقعی و تخمینی قدرت یونی را نشان می دهد.

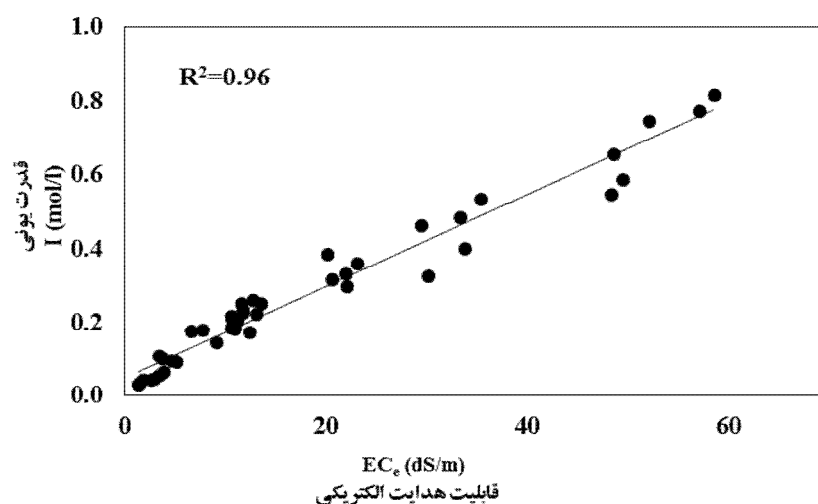
آلوا و همکاران (۱۹۹۱)، عبدالغفور و مرتضی (۲۰۰۰) و نوربخش و همکاران (۱۹۹۶) نیز ارتباط خطی قوی بین مقادیر واقعی و تخمینی قدرت یونی گزارش کردند (۲، ۱، ۱۷). هرچند فرهمند و همکاران (۲۰۱۲) بیان می دارند که از آنجایی که معادله گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) برای زوج های یونی تصحیح شده اند، بنابراین رابطه بین قدرت یونی به دست آمده از معادله $I = \frac{1}{2} \sum \text{CiZ}_i^2$ و EC_e رابطه ارائه شده توسط گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) را قابل مقایسه نمی دانند (۸).

چنین به نظر می رسد که معادله گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) مقدار قدرت یونی را کم تر از (به طور متوسط ۲۲ درصد) مقدار واقعی آن ($I = \frac{1}{2} \sum \text{CiZ}_i^2$) پیش بینی می کند (شکل ۶). از نزدیکی ضرایب معادله به دست آمده در این پژوهش با معادله گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) و نیز ضریب تبیین زیاد مقادیر واقعی و تخمینی آن می توان استنباط کرد که تخمین قدرت یونی از روی قابلیت هدایت الکتریکی در محدوده شوری زیاد نیز امکان پذیر است، از این رو، می توان بدون اندازه گیری تک تک یون های محلول خاک و تنها با اندازه گیری میزان قابلیت هدایت الکتریکی میزان قدرت یونی محلول خاک را تعیین کرد.

رابطه غلظت یون کلراید در عصاره اشباع با EC_e : شوری بسته به هدف اندازه گیری به طرق مختلفی بیان می شود. برخی پژوهشگران غلظت یون کلراید را نیز به عنوان یک شاخص شوری به کار گرفته اند (۱۱). در

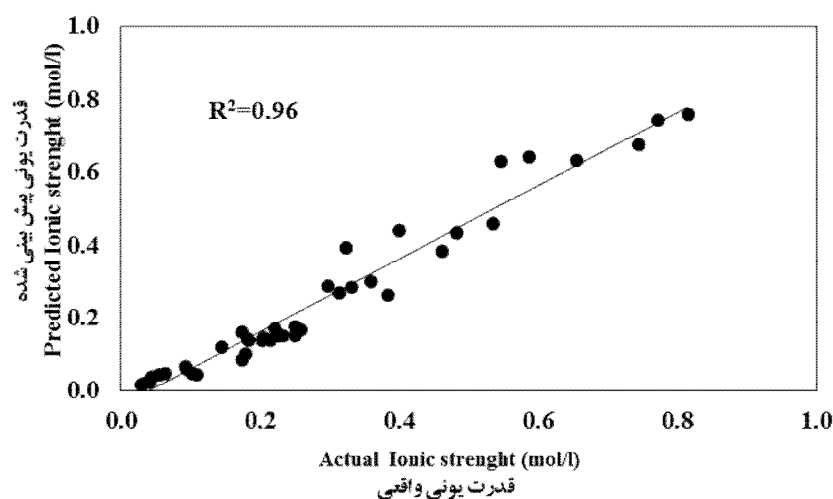
می‌دهد و در ۱۳ خاک از ۴۳ خاک مورد مطالعه کلراید آنیون غالب نیست، بدیهی است استفاده از این رابطه در چنین خاک‌هایی با خطای برآورد قابل ملاحظه‌ای همراه خواهد بود.

(۷). هرچه درصد این آنیون نسبت به غلظت کل آنیون‌های محلول بیشتر باشد این همبستگی نیز بالاتر خواهد بود. در خاک‌های مورد مطالعه، آنیون کلراید بین ۱۸ تا ۷۸ درصد غلظت کل کاتیون‌ها را تشکیل



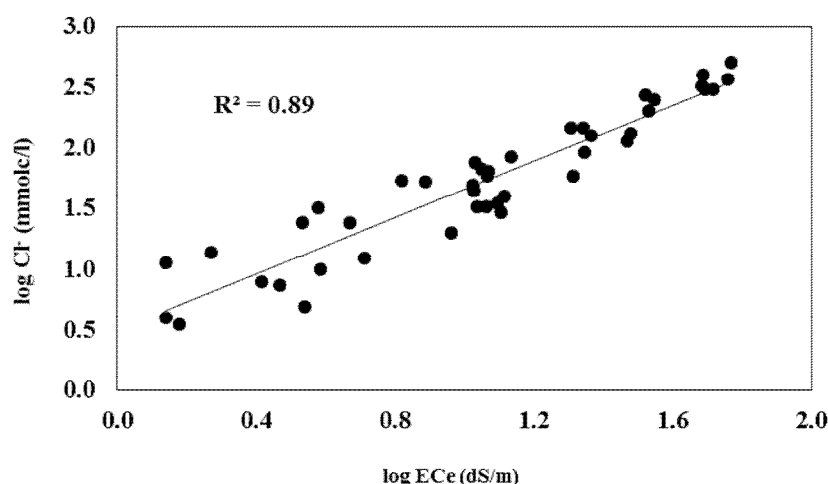
شکل ۵- رابطه بین قدرت یونی (I) و EC_e در خاک‌های مورد مطالعه.

Figure 5. Relationship between Ionic strength and Electrical Conductivity in studied soils.



شکل ۶- رابطه بین قدرت یونی واقعی و مقدار پیش‌بینی شده از معادله جوریناک.

Figure 6. Relationship between actual Ionic strength and predicted by Jurinak equation.



شکل ۷- رابطه بین غلظت یون کلراید و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e).

Figure 7. Relationship between Chloride ion concentration and Electrical Conductivity.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک‌های منطقه مورد مطالعه پارامترهای شوری مانند TSS، قدرت یونی و غلظت یون کلراید با قابلیت هدایت الکتریکی در ارتباط نزدیک هستند. معادله پیشنهادی در این پژوهش (رابطه ۲)، TSS را کم‌تر از معادله‌های کمپبل و ماریون و بیکاک و بیش‌تر از معادله آزمایشگاه مطالعات شوری ریورساید آمریکا (USSL) برآورد می‌نماید. از این میان، معادله آزمایشگاه مطالعات شوری ریورساید (USSL) صرفاً به دلیل سادگی بیش از سایر روابط مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود، این رابطه، TSS خاک‌های مورد بررسی را به‌طور متوسط ۱۷ درصد کم‌تر از رابطه پیشنهادی

برای خاک‌های استان گلستان برآورد می‌کند. همچنین نتایج بیانگر آن بود که استفاده از برخی از روابط ارائه شده در منابع از جمله معادله گریفین و جوریناک (۱۹۷۳) برای برآورد قدرت یونی از روی EC_e در منطقه مورد بررسی، ممکن است توأم با کم برآوردی باشد. علاوه بر این، در بررسی ۴۳ خاک مورد مطالعه، یک رابطه رگرسیونی برای برآورد غلظت یون کلراید از قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به‌دست آمد. به‌طورکلی، یک معادله جهانی واحد بین EC و پارامترهای شوری که در همه شرایط و مناطق با دقت یکسان صادق باشد نمی‌توان ارائه داد و به‌عبارت دیگر برای مناطق مختلف جهان باید معادلات خاص به‌دست آورد.

منابع

1. Abdul Ghafoor, S., and Murtaza, G. 2000. Estimation of ionic strength from electrical conductivity of Punjab ground waters. Pak. J. Agric. Sci. 37: 113-115.
2. 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.
3. Bastida, J.A., Vela De Oro, N., and Ortiz Silla, R. 2004. Electrolytic conductivity of semiarid soils (Southeastern Spain) in relation to ion composition. Arid Land Research and Management. 18: 265-281.
4. Campbell, R.B., Bower, C.A., and Richards, A.L. 1948. Change in electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. Soil Sci. Soc. Amer. J. 13: 66-69.

5. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. P 891-901, In: C.A. Black, D.D. Evans, L.J. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Edmeades, D.C., Wheeler, D.M., and Clinto, O.E. 1985. The chemical composition and ionic strength of soil solutions from New Zealand topsoil. *Austr. J. Soil Res.* 23: 151-165.
7. Farahbakhsh, M., and Towfighi, H. 1997. Relationship between electrical conductivity and total soluble salts content in salt affected soils of Iran. *Iran. J. Agric. Sci.* 28: 2. 87-96. (In Persian)
8. Farahmand, A., Oustan, Sh., Jafarzadeh, A.A., and Aliasgharzad, N. 2012. Salinity and Sodicity Parameters in Some Salt-Effected Soils of Tabriz Plain. *Water and Soil Science*. 22: 1. 1-15. (In Persian).
9. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: G.S. Campbell, D.A. Nielsen, R.D. Jackson, A. Klute and M.M. Mortland (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
10. Griffin, R.A., and Jurinak, J.J. 1973. Estimation of acidity coefficients from the electrical conductivity of natural aquatic systems and soil extracts. *Soil Science*. 116: 26-30.
11. Hajrasuliha, S., Cassel, D.K., and Rezainejad, Y. 1991. Estimation of chloride ion concentration in saline soils from measurement of electrical conductivity of saturated soil extracts. *Geoderma*. 49: 1. 117-127.
12. Jallah, J.K., and Smyth, T.J. 1995. Predicting soil solution chemical attributes from more easily measured soil and soil solution parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26: 19-20. 3315-3333.
13. Marion, G.M., and Babcock, K.L. 1976. Predicting specific conductance and salt concentration of dilute aqueous solution. *Soil Science*. 122: 181-187.
14. McCleskey, R.B., Nordstrom, D.K., Ryan, J.N., and Ball, J.W. 2012. A new method of calculating electrical conductivity with applications to natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 77: 369-382.
15. Nelson, B.W., and Sommers, L.E. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-577, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2, Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
16. Nelson, R.E. 1986. Carbonate and gypsum. P 181-197, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2, Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
17. Nourbakhsh, F., Afyuni, M., and Hajrasuliha, Sh. 1996. Relationship between ionic strength and electrical conductivity in soil solution. *Pajouhesh-va-Sazandegi*. 33: 68-70. (In Persian)
18. Ponamperuma, F.N., Tianco, E.M., and Loy, T.A. 1966. Ionic strengths of the solutions of flooded soils and other natural aqueous solutions from specific conductance. *Soil Science*. 102: 408-413.
19. Rhoades, J.D. 1986. Soluble salts. P 167-179, In: G.S. Campbell, D.A. Nielsen, R.D. Jackson, A. Klute and M.M. Mortland (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Soil Sci Soc of Am. Madison, WI.
20. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Agric. Handbook 60, USDA, Washington DC.
21. Shahbazi, M., Kalateh Arabi, M., and Hasani Far, A.M. 2010. Study of Iranian Landraces Wheat in Salt-affected Soils of Golestan Province. *Iran. J. Field Crop Sci.* 41: 3. 447-458. (In Persian)
22. Siadat, H., Bybordi, M., and Malakouti, M.J. 1997. Salt-affected soils of Iran: A country report. 1997. *Proceeding of International symposium on Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem*. Cairo. Egypt.
23. Visconti, R.F., de Paz Becares, J.M., Zapata Hernandez, R.D., and Sanchez Diaz, J. 2004. Development of an equation to relate electrical conductivity to soil and water salinity in a Mediterranean agricultural environment. *Austr. J. Soil ReS.* 42: 381-388.
24. Wolt, J.D. 1989. SOILSOLN: A program for teaching equilibria modeling of soil solution composition. *J. Agron. Edu.* 18: 40-42.

24. Zare Abyaneh, H., Jovzi, M., Afruzi, A., and Gharibzadeh, A. 2014. Determination of electrical conductivity of the saturation extract (EC_e) relationships with a few soil salinity parameters in comparison with the new method of calculating EC_e . Irrigation and Water Engineering. 4: 16. 81-93. (In Persian)
25. Zare Abyaneh, H., Nazemi, A.H., Neyshabouri, M.R., Mohammadi, K., and Majzoobi, G.H. 2005. Chloride estimation in ground water from electrical conductivity measurement. Tarim Bilimleri Dergisi. 11: 110-114.



Relationship between electrical conductivity of the saturation extract with other salinity indices in some salt affected soils of Golestan Province

H. Goleyj¹, *M. Baranimotlgh² and S.A.R. Movahedi Naeini²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07/02/2015; Accepted: 10/30/2016

Abstract

Background and Objectives: It is estimated that 350000 ha of soils of Golestan province are affected by different degrees of salinity. The use of salinity sensors for estimating the amount of salts in the field is increasingly common; however, laboratory analysis of aqueous extracts of soil is still the most common technique for assessing salinity and other potential hazards. Salinity is expressed in a number of ways, depending on the method and purpose of the measurements. Electrical conductivity (EC_e), total dissolved salts (TSS) and total dissolved solids (TDS) called salinity parameters. Direct measurements of some of these parameters are time-consuming and costly involving errors. Therefore, investigators attempt to estimate them from other parameters which could be measured more easily. The aim of this study was to suggest some reliable simple equations for estimating salinity indices in salt affected soils of Golestan province using electrical conductivity.

Materials and Methods: The study area is located in the Northeast Iran (Golestan Province). 43 composed soil samples were collected from the 0-30 cm of salt-affected soils. All samples were air-dried and ground to pass a 2-mm mesh sieve. Concentrations of calcium, magnesium, sodium, potassium, chloride, sulphate, bicarbonate and carbonate in the saturation extracts of soils were determined. The concentration of the above cations and anions were used to calculate ionic strength by using the relationship $I = 1/2 \sum C_i Z_i^2$ where C and Z are concentration and valance, respectively. Then, the relationship between I and EC_e was examined. Ionic strength was also estimated using the relationship between I and EC_e as proposed by Griffinn and Jurinak, i.e. $I = 0.013 EC_e$. Other simple equations to estimate the salinity parameters for the salt-affected soils of Golestan province were also found.

Results: Results showed that the salinity (TSS, ionic strength and concentration of chloride ion) parameters are in close relation with the EC_e . The following equations are proposed for estimating parameters of TSS ($mmolL^{-1}$), ionic strength ($molL^{-1}$) and concentration of chloride ion ($mmolL^{-1}$) from EC_e (dSm^{-1}):

$$\text{LogTSS} = 1.1489 + 0.9214 \log EC_e \quad (R^2 = 0.960, \text{SEE} = 0.083)$$

$$I = 0.0124 EC_e + 0.0488 \quad (R^2 = 0.96, \text{SEE} = 0.042)$$

$$\text{LogCl} = 1.1555 \log EC_e + 0.5042 \quad (R^2 = 0.89, \text{SEE} = 0.19)$$

Conclusion: According to the results, salinity (TSS, ionic strength and concentration of chloride ion) parameters are in close relation with the EC_e . These relationships may vary depending on the type of soil. This study reported a linear relationship between ionic strength and electrical conductivity which was employed to predict ionic strength using soil solution samples. The results also indicated that there is a good agreement and correlation between EC and Cl⁻ concentration in soil solution samples.

Keywords: Electrical conductivity, Ionic strength, Salt-affected soils, Total soluble salts

* Corresponding Authors; Email: mbarani2002@yahoo.com