19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

ارزیابی نسبت‌های مختلف خاک به آب در تخمین سریع هدایت الکتریکی عصاره اشباع

حمیدرضا رفیعی سربیژن[۱*] ، اعظم جعفری[۱] ، احمد حیدری[۲]، محمدهادی فرپور[۱]

۱- دانشگاه شهید باهنر کرمان، گروه علوم و مهندسی خاک؛ * Rafiee.84@gmail.com
۲- دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی خاک

چکیده

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) به عنوان روش استاندارد سنجش شوری خاک، اگرچه دقیق است اما زمان‌بر و پرزحمت است و نیاز به مهارت دارد. از این رو، یافتن روش‌های سریع‌تر و در عین حال قابل اطمینان برای پیش‌بینی EC_e از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش، بررسی امکان پیش‌بینی EC_e با استفاده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سوسپانسیون‌هایی با نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۵ (خاک به آب) و ارائه مدل‌های رگرسیونی مرتبط است. برای این منظور، ۶۹ نمونه خاک از مناطق مختلف جنوب کرمان برداشت و هدایت الکتریکی آن‌ها به روش استاندارد (EC_e) و همچنین در سه نسبت خاک به آب اندازه‌گیری گردید. روابط بین EC_e با $EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2}$ و $EC_{1:5}$ به کمک آنالیز رگرسیون خطی ساده مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین مقادیر EC_e و مقادیر EC اندازه‌گیری‌شده در هر سه نسبت، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد ($P<0.0001$). در میان آن‌ها، $EC_{1:1}$ قوی‌ترین رابطه را با EC_e نشان داد ($R^2 = 0.995$).معادله رگرسیون به دست آمده برای پیش‌بینی EC_e بر اساس $EC_{1:1}$ به صورت $EC_e = (2.453 \times EC_{1:1}) - 0.07$ محاسبه گردید. بنابراین، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۱ می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین سریع، دقیق و مقرون به‌صرفه برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع مورد استفاده قرار گیرد و می‌تواند برای برآورد سریع شوری خاک در مطالعات منطقه‌ای و با دقت قابل قبول به کار رود.

واژگان کلیدی: شوری، رگرسیون خطی، نسبت خاک به آب، عصاره اشباع، هدایت الکتریکی

مقدمه

شوری خاک به عنوان یکی از عوامل بنیادین محدودکننده تولید مواد غذایی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، چرا که اغلب گیاهان زراعی به افزایش غلظت نمک در محلول خاک حساس هستند (Kargas et al., 2018). تجمّع املاح محلول در ناحیه ریشه، موجب کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، ایجاد تنش برای گیاه و در نهایت کاهش عملکرد محصول می‌گردد. هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع خاک (EC_e) به عنوان استانداردترین و قابل اعتمادترین شاخص برای تشخیص و ارزیابی شوری خاک شناخته می‌شود (USDA, 1954). این شاخص به طور مستقیم با غلظت یون‌های محلول در خاک مرتبط بوده و مبنای طبقه‌بندی خاک‌های شور و تعیین گیاهان قابل کشت در آن‌ها است.

اگرچه روش اندازه‌گیری EC_e از دقت بالایی برخوردار است، اما تهیه عصاره گل اشباع، فرآیندی زمان‌بر، پرزحمت و نیازمند مهارت فنی است. این چالش به ویژه در مطالعات پهنه‌بندی شوری که نیاز به اندازه‌گیری تعداد زیادی نمونه در سطح وسیعی دارند، نمایان می‌شود (Kargas et al., 2020). از این رو، توسعه و استفاده از روش‌های جایگزین که سریع‌تر، ساده‌تر و در عین حال قابل اطمینان باشند، همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. در این میان، روش‌های مبتنی بر تهیه سوسپانسیون خاک و آب با نسبت‌های ثابت، از جمله نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۵ (خاک به آب)، به دلیل سادگی و سرعت عمل بالا، رواج زیادی یافته‌اند (Spiteri and Sacco, 2024). در این روش‌ها، پس از همزدن سوسپانسیون‌ها در زمان مشخصی، هدایت الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. با این حال، از آنجایی که رطوبت در این نسبت‌ها با رطوبت حالت اشباع متفاوت است، مقادیر EC ندازه‌گیری شده مستقیماً با EC_e قابل مقایسه نیست و لازم است روابط کمی و معادلات تبدیل دقیقی بین آن‌ها برقرار گردد. مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان به بررسی رابطه بین EC_e و EC اندازه‌گیری شده در نسبت‌های مختلف خاک به آب پرداخته‌اند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ضرایب تبدیل $EC_{1:1}$، $EC_{1:2}$ و $EC_{1:5}$ به EC_e بسیار متنوع هستند و این روابط می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های متنوع خاک تغییر کنند. به همین دلیل، ضرایب تبدیل به دست آمده در یک منطقه ممکن است به طور مستقیم برای مناطق دیگر با شرایط خاک متفاوت قابل تعمیم نباشد. بنابراین، استخراج این روابط برای خاک‌های هر منطقه دارای اهمیت ویژه‌ای است .(Sonmez et al., 2008; Kargas et al., 2020; Khorsandi & Yazdi, 2007)

هدف اصلی از این پژوهش، بررسی روابط کمّی بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۵ خاک به آب و مقایسه دقت و قابلیت اطمینان این نسبت‌ها در پیش‌بینی EC_e و معرفی مناسب‌ترین روش است. انتظار می‌رود نتایج این تحقیق، ابزار مفیدی در اختیار محققین و کارشناسان بخش کشاورزی قرار دهد تا بتوانند با صرف زمان و هزینه کمتر، برآورد سریع و قابل اطمینانی از شوری خاک (EC_e) داشته باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه و نمونه‌برداری

در این پژوهش، تعداد ۶۹ نمونه خاک از اقلیم‌های متفاوت (خشک تا نیمه‌خشک) در مناطق راین، ساردوئیه و جیرفت در جنوب کرمان جمع‌آوری شد. نمونه‌ها از عمق‌های مختلف خاک برداشت شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آنها در هوای آزاد خشک شده و توسط هاون چینی خرد شدند. سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند تا آماده اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی گردند. درصد رس، سیلت و شن نمونه‌ها به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (Carter and Gregorich, 2007). درصد کربن آلی نمونه‌ها به روش اکسیداسیون تر در حضور اسیدسولفوریک و بیکرومات پتاسیم تعیین شد (Walkley & Black, 1934). همچنین درصد کربنات کلسیم نمونه‌ها به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد (Loeppert and Suarez, 1996).

تهیه عصاره گل اشباع و اندازه‌گیری EC_e

عصاره گل اشباع مطابق با روش استاندارد تهیه گردید (Rhoades, 1982). به این منظور، به تدریج آب مقطر به خاک اضافه شد تا به حالت اشباع برسد. پس از گذشت ۲۴ ساعت و برقراری تعادل، عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه پمپ خلأ از خاک جدا و از کاغذ واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد. هدایت الکتریکی عصاره به دست آمده (EC_e) با استفاده از دستگاه

هدایت‌سنج (مدل Jenway) اندازه‌گیری شد. همچنین رطوبت وزنی نمونه‌ها در حالت اشباع (SP) بر روی بخشی از گل اشباع بعد از خشک کردن نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

تهیه سوسپانسیون‌های خاک و آب و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

برای تهیه سوسپانسیون‌های خاک و آب، نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۵ (وزنی/حجمی) آماده شدند. در هر مورد، نمونه خاک با آب مقطر مخلوط و به مدت ۱ ساعت به طور متناوب تکان داده شد. سپس از کاغذ صافی عبور داده شد و هدایت الکتریکی عصاره اندازه‌گیری شد (Rhoades, 1982).

روش‌های آماری:

برای تحلیل داده‌ها و بررسی روابط بین متغیرها از نرم‌افزار GraphPad Prism نسخه 10.6.1 استفاده شد. رابطه بین EC_e (متغیر وابسته) با $EC_{1:1}$، $EC_{1:2}$ و $EC_{1:5}$ (متغیرهای مستقل) به کمک رگرسیون خطی ساده مورد تحلیل قرار گرفت. دقت و صحت مدل‌های به دست آمده با استفاده از ضریب تعیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SEE) ارزیابی شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بر اساس نتایج جدول ۱، نمونه‌های خاک مورد مطالعه از تنوع قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی برخوردار بودند. میزان کربنات کلسیم معادل(CCE) از ۱/۵ تا ۶۳ درصد متغیر بود که نشان‌دهنده حضور خاک‌های غیرآهکی تا شدیداً آهکی در مجموعه نمونه‌ها است. مقدار کربن آلی (O.C) بین ۰/۰۴ تا ۱/۸۷ درصد در نوسان بود که عمدتاً در رده خاک‌های با محتوای آلی کم تا متوسط قرار می‌گیرند. درصد اشباع (SP) نیز دامنه‌ای از ۲۰/۴ تا ۶۰ درصد را نشان می‌دهد که بیانگر تنوع در بافت خاک و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها است.

از نظر بافت خاک، درصد شن بین ۹ تا ۸۲، سیلت بین ۱۱/۶ تا ۴۸ و رس بین ۳/۳ تا ۴۹ درصد متغیر بود. این تغییرپذیری بالا در ترکیب بافت خاک (از بافت شنی تا رسی) موجب می‌شود مدل‌های توسعه یافته در این مطالعه برای طیف وسیعی از خاک‌ها قابل تعمیم باشند.

جدول ۱- خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

	%CCE	%O.C	SP %	% Sand	% Clay	% Silt
Number of values	69	69	69	69	69	69
Minimum	1.50	0.04	20.4	9.00	3.36	11.6
Maximum	63.2	1.87	60.2	82.3	49.3	48.1
Mean	18.1	0.41	39.3	51.8	20.0	28.1
Std. Deviation	11.6	0.36	10.7	15.9	10.2	9.89

بررسی آماری هدایت الکتریکی

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) بین ۰/۲۳ تا ۳۳ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر متغیر است که بیانگر وجود نمونه‌های غیرشور تا شدیداً شور در مجموعه داده‌ها می‌باشد. مقادیر میانگین هدایت الکتریکی در نسبت‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۵ به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۵۰ و ۰/۲۸ است که با رقیق‌شدن سوسپانسیون خاک به آب روند کاهشی نشان می‌دهند.

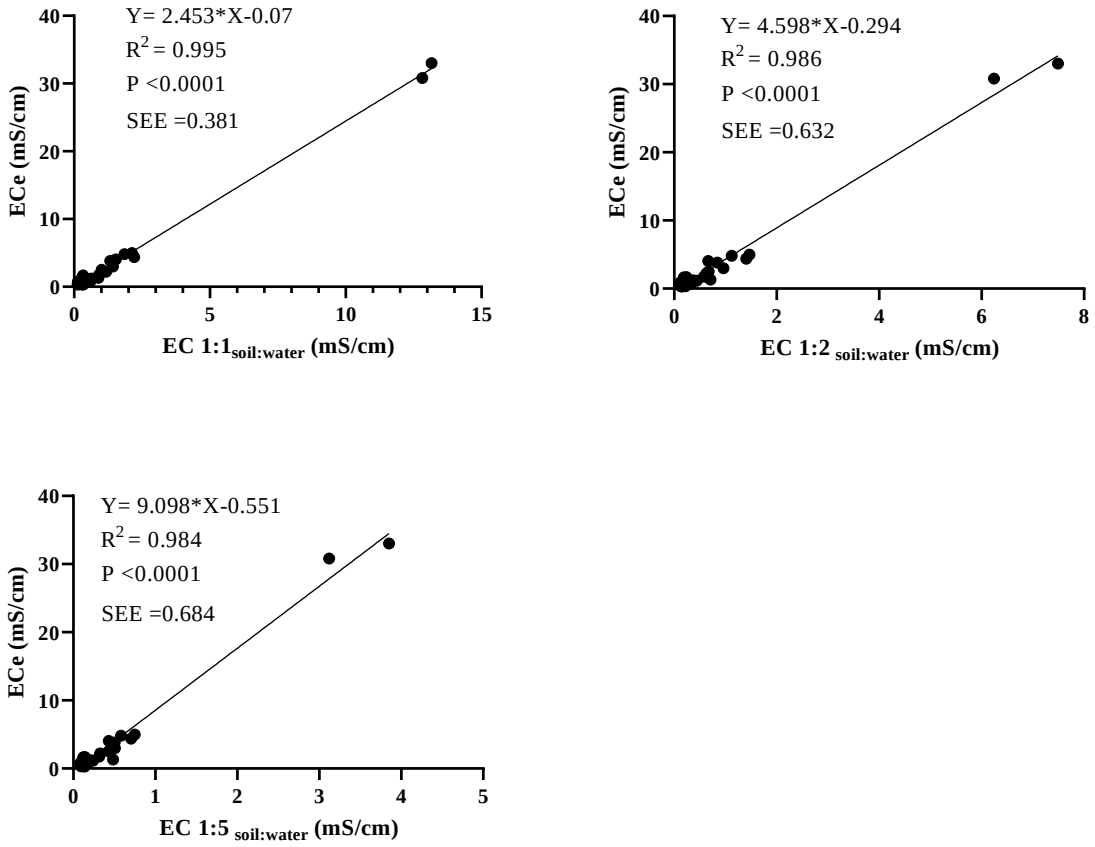
جدول ۲- خلاصه آماری هدایت الکتریکی خاک‌های مورد مطالعه.

	EC_e (mS/cm)	$EC_{1:1}$	$EC_{1:2}$	$EC_{1:5}$
Number of values	69	69	69	69
Minimum	0.23	0.13	0.11	0.08
Maximum	33.0	13.1	7.49	3.85
Mean	1.96	0.84	0.50	0.28
Std. Deviation	5.32	2.19	1.16	0.58

معادلات رگرسیونی

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون (شکل ۱) نشان داد که بین EC_e و مقادیر اندازه‌گیری شده در هر سه نسبت خاک به آب، رابطه خطی بسیار قوی و معنی‌داری ($P < 0.0001$) برقرار است. قوی‌ترین رابطه بین ECe و $EC_{1:1}$ با ضریب تعیین ۰/۹۹۵ مشاهده شد. برتری رابطه $EC_{1:1}$ با EC_e را می‌توان به نزدیکی بیشتر شرایط رطوبتی این روش به حالت اشباع نسبت داد (Kargas et al., 2023). ضریب تبدیل ۲/۴۵۳ برای نسبت ۱:۱ در این مطالعه، با دامنه گزارش شده در مطالعات پیشین مطابقت دارد (Khorsandi and Yazdi, 2007; Sonmez, 2008; Kargas, 2018).

مدل ارائه شده در این مطالعه می‌تواند به عنوان یک ابزار عملی و قابل اعتماد برای برآورد سریع شوری خاک مورد استفاده قرار گیرد. با اندازه‌گیری ساده و سریع $EC_{1:1}$ و استفاده از معادله رگرسیونی، می‌توان EC_e را با دقت بسیار بالا برآورد نمود. این روش به ویژه در مطالعات پهنه‌بندی شوری که نیاز به اندازه‌گیری تعداد زیادی نمونه است، می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان و هزینه ایجاد کند. با این حال، لازم به ذکر است که این مدل برای خاک‌های با دامنه شوری مشابه با نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش توسعه یافته است و اعتبار آن برای خاک‌های با شوری بسیار بالا نیاز به بررسی بیشتر دارد.



شکل ۱ – رابطه رگرسیونی بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و هدایت الکتریکی در نسبت‌های مختلف خاک به آب

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف یافتن روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) به عنوان معیار استاندارد شوری خاک، انجام شد. بر اساس آنالیزهای آماری انجام‌شده بر روی ۶۹ نمونه خاک با طیف وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مهم‌ترین یافته‌ها به شرح زیر است:

۱ - در بین نسبت‌های مختلف خاک به آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۱ با دارا بودن بالاترین ضریب تعیین (۰/۹۹۵) و کمترین خطای استاندارد برآورد (۰/۳۸۱)، به‌عنوان دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش برای پیش‌بینی EC_e شناسایی شد.

۲- مدل ریاضی ارائه‌شده به صورت $EC_e = (2.453 \times EC_{1:1}) - 0.07$ قادر است با دقتی بسیار بالا مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع را پیش‌بینی نماید. این مدل برای دامنه وسیعی از شوری (۰/۲۳ تا ۳۳ دسی‌زیمنس بر متر) و انواع بافت خاک (شنی تا رسی) توسعه یافته است.

۳- استفاده از نسبت ۱:۱ به همراه معادله تبدیل ارائه‌شده، امکان برآورد سریع و اقتصادی EC_e را برای مطالعات گسترده میدانی، پهنه‌بندی شوری و مطالعات خاک‌شناسی با صرفه‌جویی چشمگیر در زمان و هزینه فراهم می‌کند.

پیشنهاد می‌شود دقت مدل ارائه‌شده برای خاک‌های با شوری بسیار بالا (بیش از ۳۳ دسی‌زیمنس بر متر) مورد ارزیابی بیشتر قرار گیرد. در مجموع، روش پیشنهادی این مطالعه می‌تواند به‌عنوان جایگزینی کارآمد و عملی برای روش زمان‌بر و پرمشقت تهیه عصاره اشباع در برنامه‌های پایش و مدیریت شوری خاک مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.

Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., & Kerkides, P. (2018). An Investigation of the relationship between the electrical conductivity of the soil saturated paste extract ECe with the respective values of the mass soil/water ratios 1: 1 and 1: 5 (EC1: 1 and EC1: 5). In Proceedings (Vol. 2, No. 11, p. 661). MDPI.

Kargas, G., Londra, P. A., Koka, D., & Sgoubopoulou, A. (2023). Relationships between saturated paste and 1: 1 or 1: 5 soil/water extract sodium adsorption ratios. Irrigation and Drainage, 72(2), 503-514.

Kargas, G., Londra, P., & Sgoubopoulou, A. (2020). Comparison of soil EC values from methods based on 1: 1 and 1: 5 soil to water ratios and ECe from saturated paste extract based method. *Water*, *12*(4), 1010.

Khorsandi, F., & Yazdi, F. A. (2007). Gypsum and texture effects on the estimation of saturated paste electrical conductivity by two extraction methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *38*(7-8), 1105-1117.

Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods, 5, 437-474.

Nilo, G., Bernaldo, B., Boukbida, H. A., Espinosa, J. S., & Mooketsi-Selepe, L. (2021). Standard operating procedure for soil electrical conductivity, soil/water, 1: 5.

Rhoades J. D. 1982. Soluble salts. In: Page A. L. (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. ASA, Madison, WI, pp. 167–179.

Sonmez, S., Buyuktas, D., Okturen, F., & Citak, S. (2008). Assessment of different soil to water ratios (1: 1, 1: 2.5, 1: 5) in soil salinity studies. *Geoderma*, *144*(1-2), 361-369.

Spiteri, K., & Sacco, A. T. (2024). Estimating the electrical conductivity of a saturated soil paste extract (ECe) from 1: 1 (EC1: 1), 1: 2 (EC1: 2) and 1: 5 (EC1: 5) soil: water suspension ratios, in calcareous soils from the Mediterranean Islands of Malta. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *55*(9), 1302-1312.

USDA, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook No. 60. USSL, Riverside, CA, USA.

Evaluation of Different Soil-to-Water Ratios for the Rapid Estimation of Saturated Paste Electrical Conductivity

Hamid Reza Rafiei-Sarbijan[1], Azam Jafari[1], Ahmad Heidari[2], Mohammad Hady Farpoor[1]

1- Department of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman
2- Soil Science Department, University of Tehran, Karaj

Abstract

The measurement of the electrical conductivity of the saturated soil paste extract (EC_e) is the standard method for assessing soil salinity. Although accurate, this method is time-consuming, labor-intensive, and requires specific technical skill. Consequently, finding faster yet reliable methods for predicting EC_e is of great importance. This study aimed to investigate the possibility of predicting EC_e by measuring the electrical conductivity in 1:1, 1:2, and 1:5 (soil-to-water) suspensions and to develop corresponding regression models. For this purpose, 69 soil samples were collected from various locations in southern Kerman, and their electrical conductivity was measured using the standard method (EC_e) as well as via the three soil-to-water ratios. The relationships between EC_e and $EC_{1:1}$, $EC_{1:2}$, and $EC_{1:5}$ were analyzed using simple linear regression analysis. The results revealed a significant positive correlation ($P < 0.0001$) between EC_e values and the EC values measured in all three suspension ratios. Among them, $EC_{1:1}$ demonstrated the strongest relationship with EC_e ($R^2 = 0.995$). The derived regression equation for predicting EC_e based on $EC_{1:1}$ was $EC_e = (2.453 \times EC_{1:1}) - 0.07$. Therefore, measuring the electrical conductivity at a 1:1 ratio can be employed as a rapid, accurate, and cost-effective alternative method for predicting the electrical conductivity of the saturated paste extract. This approach can be utilized for the rapid estimation of soil salinity in regional studies with acceptable accuracy.

Keywords: Salinity, Linear Regression, Soil-to-Water Ratio, Saturated Paste Extract, Electrical Conductivity