



Estimation of saturated soil paste electrical conductivity, soluble cations and anions from different ratios of soil to water (1:1, 1:2.5, and 1:5) in non-gypsiferous soils with various textures

Ayoub Avizhgan¹ | Karim Shahbazi² | Mostafa Marzi³ |

Arzhang Fathi-Gerdelidani⁴

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: a.avizhgan@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: kshahbazi@areeo.ac.ir

3. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. E-mail: mostafamarzi69@gmail.com

4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: arzhangfathi@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Oct. 2, 2024

Revised: Nov. 17, 2024

Accepted: Dec. 1, 2024

Published online: March. 2025

Keywords:

**Electrical Conductivity,
Saturated Soil Paste Extract,
Soil Salinity,
Soil to Water Ratios.**

ABSTRACT

This research aims to determine and validate the relationship between the electrical conductivity (EC_e), cations and anions concentration in the extract of saturated soil paste and the relevant parameters in the extract of soil-to-water ratios namely 1:1, 1:2.5, and 1:5 in non-gypsiferous soils with different textures. Accordingly, 64 soil samples from different regions of Iran were selected and EC_e and cations and anions concentration in both saturated past extract and soil-to-water ratios extract were determined. Moreover, the soils were categorized into three texture classes: fine-, medium-, and coarse-textured. To develop and validate the overall relationships between (EC_e) and EC of different ratios, 43 soils were used for relationship development, and 21 soils were used for relationship validation. The results demonstrated that in the fine-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 4 \times EC_{1:2.5} = 8 \times EC_{1:5}$; in the medium-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5.5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$ and in the coarse-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 3 \times EC_{1:2.5} = 6 \sim 8 \times EC_{1:5}$. Therefore, despite the limited number of soils, it can be recommended to use $EC_{1:1}$ for estimating EC_e since the regression relationship between these two methods remains constant and equal to two times of EC_e across three texture classes. Regardless of the soil texture, the following relationship was obtained for all studied soils; $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$. Also, the results of the validation of different relationships showed that the soil-to-water ratio of 1:1 due to lower errors, closer equation slope to 1:1 line and higher determination coefficient ($R^2 = 0.99$) gives a more accurate EC_e estimation compare to the other two ratios. Regarding the concentration of cations and anions, it can be recommended to use the 1:1 extract instead of saturated past extract, especially for non-saline soils, and provides a larger volume of extract.

Cite this article: Avizhgan, A., Shahbazi, K., Marzi, M & Fathi-Gerdelidani, A., (2025). Estimation of saturated soil paste electrical conductivity, soluble cations and anions from different ratios of soil to water (1:1, 1:2.5, and 1:5) in non-gypsiferous soils with various textures, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (1), 247-263. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.383125.669804>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.383125.669804>

EXTENDED ABSTRACT

Target:

This research aims to determine and validate the relationship between the electrical conductivity (EC_e), cations and anions concentration in the extract of saturated soil paste and the relevant parameters in the extract of soil-to-water ratios namely 1:1, 1:2.5, and 1:5 in non-gypsiferous soils with fine, medium and coarse soil texture.

Research method:

In this study, a total of 300 soil samples were collected from various regions of Iran and analyzed regarding the general physiochemical properties including texture, electrical conductivity (EC), cation and anion concentrations in the saturated extract, and various soil-to-water ratios were measured. Based on the initial analysis, 64 non-gypsiferous samples with diverse physico-chemical properties were selected for further studies. The selected soils were classified into three texture categories: fine, medium, and coarse textured soils. To establish and validate the relationships between the EC_e and EC at different ratios, we employed 64 samples for preliminary relationship development. Moreover, in another scenario, 43 samples were used for model development, and 21 samples were used for model validation. The relationships were assessed using statistical criteria including the coefficient of determination (R^2), 1:1 line comparison, Root mean square error (RMSE), Mean absolute error (MAE), and Relative error percentage (%RE).

Findings:

In general, the slope of the regression equations increased with increasing the degree of dilution. The results demonstrated that in the fine-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 4 \times EC_{1:2.5} = 8 \times EC_{1:5}$. In the medium-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5.5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$. In the coarse-textured soils, $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 3 \times EC_{1:2.5} = 6 \sim 8 \times EC_{1:5}$. Therefore, despite the limited number of soil samples, it is recommended to use the $EC_{1:1}$ for estimating EC_e , since the regression relationship between these two methods remains constant and equal to two times of $EC_{1:1}$ across all three soil texture classes. The results of developing relationships using 64 and 43 samples demonstrated that $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$. Also, the results of the validation of different relationships showed that the soil-to-water ratio of 1:1 due to the lower RMSE, lower MAE and lower RE, closer equation slope to 1:1 line, and higher determination coefficient ($R^2 = 0.99$) provides a more accurate estimate of EC_e compared to the other ratios. Therefore, EC_e can be estimated with acceptable accuracy by multiplying $EC_{1:1}$ by two. In the case of cations and anions, similar relationships were observed between EC_e and EC of different soil-to-water ratios. The slope of the regression equations increased with the degree of dilution. The validation results for different relationships in all ions (cations and anions) showed that the soil-to-water ratio of 1:1 due to lower errors, closer equation slope to 1:1 line and higher R^2 that provides a more accurate estimate compared to other ratios. Regarding the concentration estimation of cations and anions, it is recommended to use the 1:1 soil-to-water ratio with a larger volume of extract (more than 10 ml) than saturated past extract, especially for non-saline soils

Conclusion:

Electrical conductivity (EC) is one of the important parameters for evaluating soil salinity for various purposes, including agriculture. Therefore, continuous monitoring of soil salinity using simple and affordable methods is necessary. This parameter is typically determined and reported in saturated paste extract as a standard method. However, due to various problems in preparing saturated paste, including time and cost, it can be difficult and cumbersome. Different researchers have tried to estimate soil EC using different ratios of soil to water. One of the factors affecting the estimation of EC_e using different ratios of soil to water is the presence of soluble salts, especially gypsum which buffers the calcium and sulfate ions in the solution. The results showed that EC_e of non-gypsiferous soils with different textures can be estimated by doubling the $EC_{1:1}$ with acceptable accuracy, saving time and cost. The greater the dilution, the greater the deviation of the ionic ratios of the sample solution compared to the soil solution in field conditions. Moreover, the uncertainty in the estimations increased with increasing the soil-to-water ratio.

Author Contributions

Ayoub Avizhgan: Design, Analysis, and Interpretation of data Writing- Original draft preparation, Visualization. Karim Shahbazi: Conceptualization, Methodology, Design, Revision of the manuscript and Editing. Mostafa Marzi: Design, Revision of the manuscript and Editing. Arzhang Fathi-Gerdelidani: Revision of the manuscript and Editing.

Data Availability Statement

Data can be sent from the corresponding author by email upon request.

Acknowledgements

We are grateful to the Soil and Water Research Institute of Karaj for financial support.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

تخمین قابلیت هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در عصاره اشباع از روی نسبت‌های مختلف خاک به آب (۱:۱، ۱:۲/۵، ۱:۵) در خاک‌های غیرگچی با بافت‌های متفاوت

ایوب آویژگان^۱ | کریم شهبازی^۲ | مصطفی مارزی^۳ | ارژنگ فتحی گردیدانی^۴

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: a.avizhgan@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه:

kshahbazi@areeo.ac.ir

۳. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران، رایانامه:

mostafamarzi69@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، رایانامه: arzhangfathi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این تحقیق با هدف تعیین و ارزیابی روابط بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های آن با EC و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های نسبت‌های خاک به آب ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵ در خاک‌های غیرگچی با بافت مختلف انجام شد. تعداد ۶۴ نمونه خاک از مناطق مختلف ایران با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف انتخاب و در آن‌ها EC و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های خاک به آب مختلف و بافت خاک اندازه‌گیری شد. خاک‌های منتخب از نظر بافت در سه دسته ریز، متوسط و درشت قرار داده شدند. جهت توسعه و ارزیابی روابط کلی بین EC_e و EC نسبت‌های مختلف، ۴۳ نمونه خاک برای توسعه روابط رگرسیونی و ۲۱ نمونه خاک برای ارزیابی روابط استفاده شد. نتایج نشان داد در خاک‌های ریز بافت $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 4 \times EC_{1:2.5} = 8 \times EC_{1:5}$ ، در خاک‌های متوسط بافت $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5.5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$ و در خاک‌های درشت بافت $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 3 \times EC_{1:2.5} = 6 - 8 \times EC_{1:5}$ بود. بنابراین از آنجایی که شیب رابطه رگرسیونی بین EC_e و $EC_{1:1}$ در هر سه نوع بافت خاک ثابت و برابر دو است، بنابراین علیرغم تعداد نسبتاً کم نمونه‌ها، برای برآورد EC_e قابل توصیه است. نتایج نشان داد $EC_e = 2 \times EC_{1:1} = 5 \times EC_{1:2.5} = 10 \times EC_{1:5}$ بود. نتایج ارزیابی روابط مختلف نشان داد که نسبت خاک به آب ۱:۱ به دلیل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و درصد خطای کم‌تر، شیب معادله نزدیک‌تر به خط ۱:۱ و ضریب تعیین بزرگ‌تر ($R^2 = 0.99$) در مقایسه با دو نسبت دیگر برآورد دقیق‌تری از EC_e بدست می‌دهد. در مورد برآورد غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره گل اشباع نیز نسبت ۱:۱ با حجم عصاره بیش‌تر نسبت به عصاره گل اشباع به ویژه برای خاک‌های غیرشور قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی:

شوری خاک،

قابلیت هدایت الکتریکی،

عصاره گل اشباع،

نسبت خاک به آب.

استناد: آویژگان؛ ایوب، شهبازی؛ کریم، مارزی، مصطفی؛ فتحی گردیدانی؛ ارژنگ (۱۴۰۴). تخمین قابلیت هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در عصاره اشباع

از روی نسبت‌های مختلف خاک به آب (۱:۱، ۱:۲/۵، ۱:۵) در خاک‌های غیرگچی با بافت‌های متفاوت، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۱)، ۲۴۷-۲۶۳



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.383125.669804> ۲۶۳

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.383125.669804>

مقدمه

شوری خاک یک مسئله مهم تخریب اراضی در سراسر جهان و تهدیدی بزرگ برای توسعه پایداری کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Isdory et al., 2021). شوری خاک یک مسئله گسترده است که در حدود یک میلیارد هکتار از اراضی سراسر جهان گسترش یافته (Hopmans et al., 2021; Singh, 2022; Tian et al., 2020) و به طور مداوم در حال گسترش است به گونه‌ای که سالانه در بیش از دو میلیون هکتار اراضی در حال رشد است و به بیش از ۱۰۰ کشور گسترش یافته است (Hammam & Mohamed, 2020; Singh, 2018). در ایران نیز ۵۵/۶ میلیون هکتار (۳۴ درصد) از سطح خشکی‌ها را اراضی با درجات مختلف شوری در بر می‌گیرند که عمدتاً در فلات مرکزی و دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان قرار دارند (مومنی، ۱۳۸۹) و این سطح به طور مداوم در حال افزایش است و باعث ایجاد مسائل مختلف اکولوژیکی از جمله شور شدن ناحیه ریشه، فرسایش خاک و کاهش بهره‌وری مزرعه می‌شود (Mirzaee et al., 2020). شوری خاک یکی از عوامل محدودکننده اساسی در تولید مواد غذایی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است، زیرا بیش‌تر محصولات به افزایش غلظت نمک در محلول خاک حساس هستند (Libutti et al., 2018). بنابراین ارزیابی شوری خاک به عنوان یک مولفه مهم مدیریت کشاورزی در نظر گرفته شده است (Biswas & Biswas, 2014; Corwin & Yemoto, 2017; Lesch et al., 1995). ارزیابی شوری خاک با استفاده از یک روش قابل اعتماد و در عین حال نسبتاً آسان ضروری است (Matthees et al., 2017; Sonmez et al., 2008). قابلیت هدایت الکتریکی^۱ (EC) معیاری از شوری خاک است (Richards, 1954). اگر قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) خاکی بیش از چهار دسی‌زیمنس بر متر باشد، این خاک به عنوان خاک شور در نظر گرفته می‌شود (Kargas et al., 2018a; Sonmez et al., 2008). EC را می‌توان به صورت ظاهری^۲ (EC_a)، در عصاره گل اشباع (EC_e)، در نسبت‌های خاک به آب مختلف مانند ۱:۱، ۱:۲، ۱:۵ و ۱:۵ یا مستقیماً در آب استخراج شده از خاک مزرعه اندازه‌گیری کرد (Corwin & Yemoto, 2017; Kargas et al., 2018a; Richards, 1954; Sonmez et al., 2008). از سال ۱۹۵۴ تا به امروز، EC_e به عنوان بهترین شاخص ارزیابی پاسخ محصول به شوری در مقایسه با EC حاصل از سایر روش‌های سوسپانسیون خاک به آب در نظر گرفته شده است (Corwin & Yemoto, 2017; Kargas et al., 2018a; Matthees et al., 2017; Rhoades et al., 1989; Richards, 1954). بنابراین ارزیابی شوری خاک براساس EC_e به عنوان روش استاندارد پذیرفته شده است (Corwin & Yemoto, 2017; Kargas et al., 2018a; Matthees et al., 2017; Rhoades et al., 1989; Richards, 1954). دشوار و خسته‌کننده است، زیرا به زمان و مهارت بیش‌تری در ارتباط با تهیه گل اشباع نسبت به روش‌های دیگر (نسبت خاک به آب) نیاز دارد (He et al., 2013; Kargas et al., 2018a). از طرف دیگر اگرچه EC نسبت‌های مختلف خاک به آب آسان است و به زمان، تلاش و هزینه کم‌تری نیاز دارند (Hossain et al., 2020)، اما کاربرد مزرعه‌ای محدود دارند، زیرا EC محلول خاک را منعکس نمی‌کنند (Seo et al., 2021). شوری خاک باید در شرایط رطوبتی تعیین شود که شرایط مطلوب رشد گیاه باشد. از آنجا که آب قابل استفاده غالب گیاهان زراعی بین رطوبت ظرفیت مزرعه^۳ (FC) و نقطه پژمرگی دائم^۴ (PWP) قرار دارد، عصاره گل اشباع از نظر شباهت نزدیک‌ترین عصاره بین FC و PWP است که عملاً در آزمایشگاه قابل استخراج است. لذا EC_e مبنای سنجش شوری خاک و یک روش استاندارد است که بر پایه آن داده‌های تحمل به شوری گیاهان و طبقه‌بندی خاک‌های متأثر از املاح محلول ارائه شده است. با این حال، این روش مخصوصاً در مورد تعیین EC_e برای تعداد زیادی از نمونه‌های خاک، کاری سخت و زمان‌بر است. علاوه بر این، بدست آوردن نقطه اشباع خاک‌ها نیاز به مهارت و تخصص دارد (Kargas et al., 2020). به جای اندازه‌گیری EC_e خاک، برخی از تحقیقات اندازه‌گیری EC خاک در نسبت‌های خاک به آب ۱:۱، ۱:۲، ۱:۵ و ۱:۵ که به راحتی قابل دستیابی هستند، را پیشنهاد کردند (Isdory et al., 2021)، زیرا برای اندازه‌گیری EC، آماده‌سازی آسان‌تر است و در زمان و هزینه نیز صرفه‌جویی می‌شود (Corwin & Yemoto, 2017; Hossain et al., 2020; Visconti et al., 2010). به همین دلایل، بسیاری از محققان به جای تعیین EC_e، روش‌های آسان‌تری را برای تعیین EC در خاک‌های مختلف با استفاده از نسبت‌های مختلف خاک به آب پیشنهاد دادند. نسبت‌های پر استفاده خاک به آب، نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۵ هستند. نسبت ۱:۵ (EC_{1:5}) برای ارزیابی شوری خاک در استرالیا، چین و آسیای مرکزی (Rayment & Lyons, 2011; Wang et al., 2011) استفاده می‌شود.

1 Electrical conductivity

2 Apparent electrical conductivity

3 Field capacity

4 Permanent wilting point

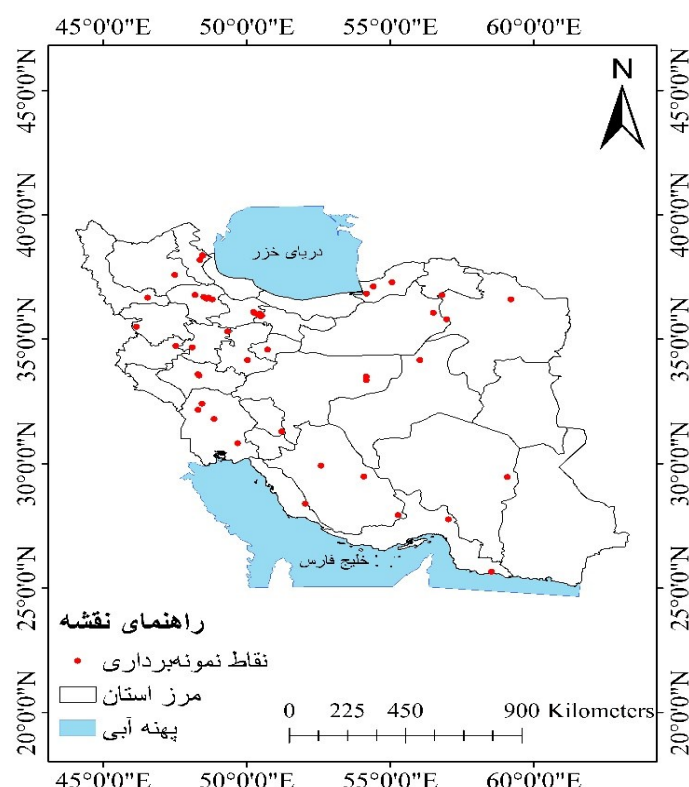
(2011) استفاده می‌شود، در حالی که نسبت $EC_{1:1}$ معمولاً در ایالات متحده آمریکا و کانادا استفاده می‌شود (He et al., 2012; Hogg & Henry, 1984). با این حال ضرایب روابط رگرسیون خطی متفاوت بوده و با توجه به منطقه مورد مطالعه متغیر هستند. این ضرایب تحت تاثیر بافت خاک (Franzen, 2003; Slavich & Petterson, 1993; Sonmez et al., 2008)، وجود گچ و کلسیت در خاک (Khorsandi & Yazdi, 2007; Visconti et al., 2010)، هیدرولیز، تبادل کاتیونی (Gharaibeh et al., 2021) و غیره هستند. محدودیت این روابط آن است که نمی‌توانند فراتر از بانک اطلاعاتی خود برون‌یابی شوند و برای مکان‌های دیگر (Shaw, 1994) به دلیل تنوع خاص یون‌ها و رس‌ها (Sultan, 2006) استفاده شوند. به همین دلیل، بسیاری از معادلات تجربی برای نشان دادن روابط رگرسیون خطی بین EC_e و EC نسبت‌های مختلف خاک به آب ایجاد شده است. در ایران نیز این روابط با در نظر گرفتن اثر بافت و گچ (Khorsandi, 2007, 2011) یا بدون در نظر گرفتن آن‌ها (اعتمادی و همکاران، ۱۳۹۷) به صورت منطقه‌ای ایجاد شده است. با توجه به این که حدود ۹۰ درصد کشور دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و گچ نیز به عنوان جزء اصلی نواحی خشک و نیمه‌خشک برخی از خصوصیات خاک از جمله شوری خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد به گونه‌ای که حلالیت گچ خالص در یک محلول آبی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس برابر $2/64$ گرم بر لیتر است که شوری برابر $2/2$ دسی‌زیمنس بر متر ایجاد می‌کند (مارزی و همکاران، ۱۴۰۱). از سوی دیگر، EC_e خاک‌های گچی به دلیل افزایش حلالیت گچ هنگام آماده‌سازی گل اشباع ممکن است ۱-۳ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌تر از خاک‌های فاقد گچ باشد (Khorsandi & Yazdi, 2007). از این رو، لازم است چنین روابط را بر اساس نسبت‌های مختلف خاک به آب برای پایش سریع شوری خاک کشور در خاک‌های فاقد گچ به روشی ساده و مقرون به صرفه توسعه داد. بنابراین اهداف این مطالعه (۱) بررسی تاثیر نوع بافت خاک بر روابط بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($1:1$ ، $1:2/5$ و $1:5$)، (۲) توسعه و ارزیابی روابط بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و نسبت‌های مختلف خاک به آب و (۳) توسعه و ارزیابی روابط بین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره گل اشباع و نسبت‌های مختلف خاک به آب در خاک‌های فاقد گچ بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق در ابتدا حدود ۳۰۰ نمونه خاک از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر و کاربری‌های متفاوت از مناطق مختلف کشور به گونه‌ای انتخاب شد که دارای توزیع شوری، کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف باشند. نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شدند. سپس جهت انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس مقدار گچ آن‌ها به روش استون (Loeppert & Suarez, 1996) اندازه‌گیری شد و نمونه‌هایی که حاوی گچ بودند، از ادامه آزمایش حذف شدند و در نهایت ۶۴ نمونه خاک بدون گچ برای ادامه کار انتخاب شدند (شکل ۱). در نمونه‌های منتخب برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Or, 2002)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر در حضور دی‌کرومات پتاسیم (Walkley & Black, 1934) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Loeppert & Suarez, 1996) تعیین شد. سپس خاک‌ها از نظر بافت در سه گروه ریز (لوم رسی، لوم رسی سیلتی، رسی شنی، رسی سیلتی و رسی)، متوسط (لوم، لوم سیلتی، سیلتی و لوم رسی شنی) و درشت (شنی، شن لومی و لوم شنی) دسته‌بندی شدند.

تهیه عصاره گل اشباع

مقداری آب مقطر به حدود ۴۰۰-۵۰۰ گرم خاک در حین هم زدن با اسپاتول اضافه شد تا معیارهای گل اشباع مشاهده گردید (معیارهای گل اشباع: سطح گل براق باشد یا نور را منعکس کند، گل اشباع به آسانی از روی کاردک سقوط کند، شیار ایجاد شده در کف ظرف با ضربه زدن به ظرف گل اشباع یا تکان آن به آسانی بسته شود، با کج کردن ظرف گل اشباع تا زاویه ۴۵ درجه، گل حالت زبانه‌ای شکل پیدا کند اما به آسانی جریان پیدا نکند). بعد از ۱۶ ساعت مجدداً این معیارها در گل بررسی گردید، در صورت رویت معیارهای اشباع بودن، با استفاده از قیف بوختر و پمپ خلاء عصاره گل استخراج گردید. در عصاره استخراج شده، EC ، pH ، غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید و بی‌کربنات اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر و غلظت سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. همچنین قبل از عصاره‌گیری، مقداری از گل اشباع برای تعیین درصد رطوبت برداشته و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۳).



شکل ۱. پراکنش جغرافیایی نمونه خاک‌های مورد بررسی در کشور (n=۶۴)

تهیه عصاره نسبت‌های مختلف خاک به آب (۱:۱، ۱:۲/۵، ۱:۵)

برای تهیه سوسپانسیون‌های ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵ به ترتیب مقدار ۱۰۰، ۲۰ و ۱۰ گرم خاک هوا خشک به دقت توزین، به آن‌ها به ترتیب ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به مدت یک ساعت با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه شیکر شدند. بلافاصله سوسپانسیون‌ها از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند. سپس همانند عصاره اشباع پارامترهای EC، pH و تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آن اندازه‌گیری شد (شهبازی و همکاران، ۱۴۰۳).

توسعه و ارزیابی روابط بین EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره گل اشباع و عصاره نسبت‌های مختلف خاک به آب (۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵) در ابتدا روابط بین EC_e و EC نسبت‌های مختلف براساس بافت خاک (ریز، متوسط و درشت) و همچنین برای کل نمونه‌ها توسعه داده شدند. سپس جهت انتخاب نمونه‌ها برای توسعه و ارزیابی روابط، ابتدا ۶۴ نمونه خاک بر اساس EC_e از کوچک به بزرگ مرتب شدند. سپس به صورت دو در میان ۴۳ نمونه برای توسعه روابط بین EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره گل اشباع و عصاره نسبت‌های مختلف خاک به آب و ۲۱ نمونه (یک سوم نمونه‌ها) برای ارزیابی روابط توسعه داده شده انتخاب شدند و در نهایت ارزیابی روابط با استفاده از معیارهای آماری از جمله ضریب تعیین (R^2)، خط ۱:۱، جذر میانگین مربعات خط^۱ (RMSE)، میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) و درصد خطای نسبی^۳ (%RE) انجام شد (روابط ۱-۳).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |P_i - O_i| \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\%RE = \frac{P_i - O_i}{O_i} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

1 Root mean square error

2 Mean absolute error

3 Relative error

که در آنها، N تعداد مشاهدات، P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده هستند.

نتایج و بحث

مشخصات نمونه خاک‌ها

خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های استفاده شده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع از ۰/۳۴ تا ۲۷۱/۴۰، نسبت ۱:۱ از ۰/۱۶ تا ۱۱۶/۳۴، نسبت ۱:۲/۵ از ۰/۱۳ تا ۴۹/۶۶ و نسبت ۱:۵ از ۰/۰۹ تا ۲۷/۵۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. براساس این نتایج، خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه وسیعی از شوری بوده و برای مقایسه EC_e و EC نسبت‌های خاک به آب مختلف مناسب هستند. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع ۲/۳ برابر نسبت ۱:۱، ۴/۷ برابر نسبت ۱:۲/۵ و ۸/۵ برابر نسبت ۱:۵ است. قابلیت هدایت الکتریکی با افزایش نسبت خاک به آب به دلیل افزایش درجه رقت، کاهش یافت. خلاصه آماری غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در عصاره گل اشباع و نسبت‌های خاک به آب مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. از میان کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده، آنیون کلر بیش‌ترین غلظت را داشت و پس از آن کاتیون سدیم قرار دارد که نشان‌دهنده‌ی غلبه نمک سدیم کلرید ($NaCl$) در خاک‌های مورد مطالعه است. کاتیون پتاسیم کم‌ترین غلظت را در میان تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده داشت. در خاک‌های غیرشور معمولاً غلظت پتاسیم بیش‌تر از سدیم اما کمتر از غلظت کلسیم و منیزیم است اما در خاک‌های شور و شور سدیمی معمولاً غلظت پتاسیم از سدیم، کلسیم و منیزیم کم‌تر است.

جدول ۱. خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های ۶۴ نمونه خاک مورد استفاده در این تحقیق

ویژگی	واحد	دامنه تغییر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
شن	%	۹۵-۴	۳۲/۴	۲۰/۱	۶۲
سیلت	%	۶۷-۱	۳۹/۷	۱۲/۹	۳۲/۵
رس	%	۵۳-۴	۲۷/۷	۱۲/۴	۴۴/۸
درصد اشباع (SP)	%	۱۹/۶۹-۵/۲	۳۹/۵	۹/۳	۲۳/۴
کربنات کلسیم معادل	%	۰/۸۴-۰/۸	۲۱/۸	۱۷/۵	۸۰/۲
کربن آلی	%	۲-۰/۸	۰/۸	۰/۶	۶۸/۱
pH		۵/۹-۶۹/۲۵	۷/۸۰	۰/۴۷	۶/۰۵
EC_e	$dS\ m^{-1}$	۰/۳۷۱-۳۴/۴	۱۰/۲۸	۳۵/۸۲	۳۴۸/۴۴
$EC_{1:1}$	$dS\ m^{-1}$	۰/۱۱۶-۱۶/۳۴	۴/۵۳	۱۵/۶۴	۳۴۵/۲۱
$EC_{1:2.5}$	$dS\ m^{-1}$	۰/۱۳-۴۹/۶۶	۲/۱۹	۶/۷۴	۳۰۷/۶۶
$EC_{1:5}$	$dS\ m^{-1}$	۰/۲۷-۰۹/۵۵	۱/۲۱	۳/۷۳	۳۰۹/۳۵

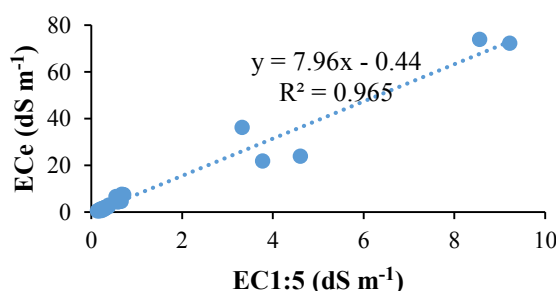
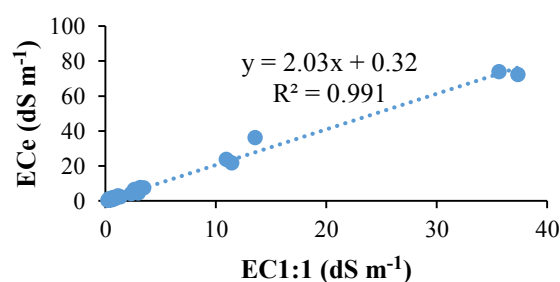
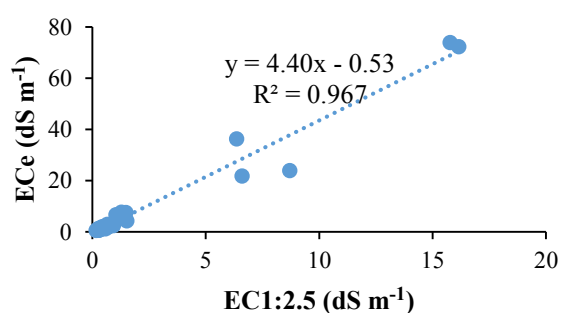
روابط بین EC_e و EC نسبت‌های خاک به آب ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵ در بافت‌های مختلف

روابط بین EC_e و EC نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) در بافت‌های ریز، متوسط و درشت در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درجه رقت، شیب معادلات رگرسیونی نیز افزایش می‌یابد. در خاک‌های ریز بافت EC_e دو برابر $EC_{1:1}$ (Sonmez et al., 2008; Pittman et al., 2001; Kargas et al., 2018b; Franzen, 2003)، چهار برابر $EC_{1:2.5}$ و هشت برابر $EC_{1:5}$ (شکل ۲)، در خاک‌های با بافت متوسط EC_e حدود دو برابر $EC_{1:1}$ ، پنج و نیم برابر $EC_{1:2.5}$ و ۱۰ برابر $EC_{1:5}$ (شکل ۳)، در خاک‌های درشت بافت EC_e حدود دو برابر $EC_{1:1}$ ، سه برابر $EC_{1:2.5}$ (Aboukila & Abdelaty, 2017) و حدود شش تا هشت برابر $EC_{1:5}$ (Aboukila & Abdelaty, 2017) (شکل ۴) است. در هر سه نوع بافت خاک EC_e دو برابر $EC_{1:1}$ است اما در مورد دو نسبت دیگر شیب روابط رگرسیونی در بافت‌های مختلف، متفاوت است. محققان دیگر نیز عصاره نسبت ۱:۱ را در مقایسه با عصاره نسبت ۱:۵ برای برآورد EC_e مناسب‌تر گزارش کردند (Kargas et al., 2023). در تمام نسبت‌ها شیب روابط رگرسیونی در خاک‌های متوسط بافت بیش‌تر از خاک‌های ریز بافت و در خاک‌های ریز بافت بیش‌تر از خاک‌های درشت بافت است. در مقابل Khorsandi & Yazdi (2007) روابط $EC_e = 4.73EC_{1:2} + 0.02$ و $EC_e = 3.47EC_{1:2} + 0.75$ را به ترتیب در خاک‌های فاقد گچ درشت بافت و ریز بافت استان یزد گزارش کردند. در پژوهشی دیگر Khorsandi & Yazdi (2007) روابط $EC_e = 10.94EC_{1:5} - 0.84$ و

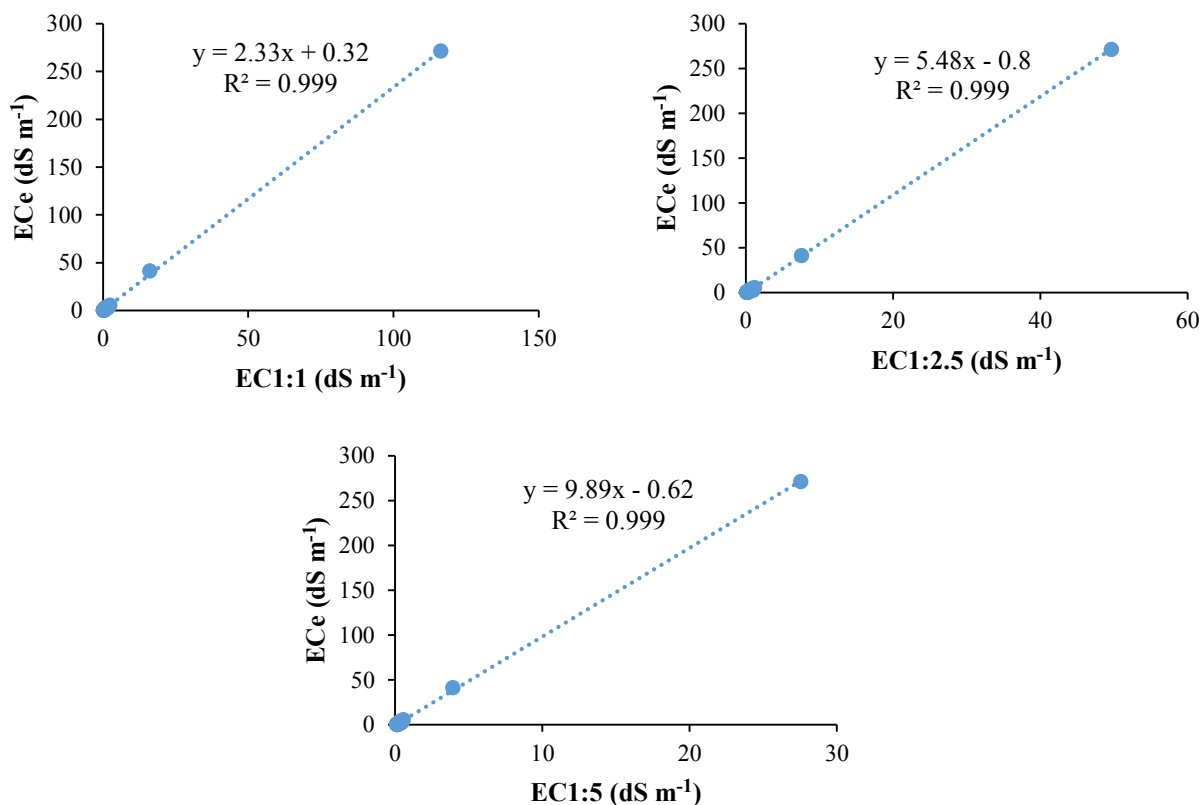
$EC_e = 7.82EC_{1:5} + 0.30$ را به ترتیب در خاک‌های فاقد گچ درشت بافت و ریز بافت استان یزد گزارش کردند.

جدول ۲. خلاصه آماری غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها (بر حسب میلی اکی والان بر لیتر) در ۶۴ نمونه خاک مطالعه شده

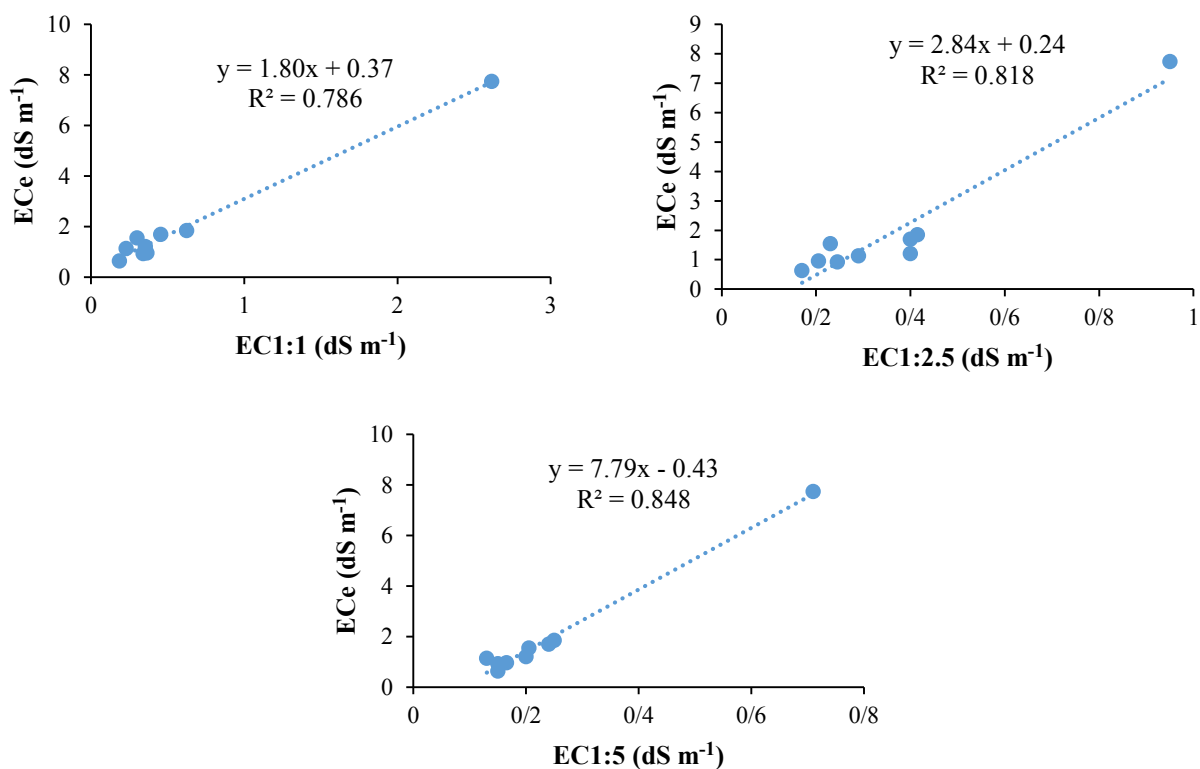
آماره	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلرید	بی‌کربنات
عصاره گل اشباع						
کمینه	۰/۲۵	۰	۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۴۰
بیشینه	۹۲۴/۷۰	۵	۱۵۳/۲۰	۱۳۵/۱۳	۳۷۱/۶۰	۱۴
میانگین	۴۸/۱۵	۰/۷۲	۱۴/۳۸	۷/۶۸	۱۴/۵۵	۵/۸۳
انحراف معیار	۱۶۱/۵۶	۰/۹۸	۱۹/۵۲	۱۷/۲۳	۴۸/۹۴	۳/۲۹
ضریب تغییرات (%)	۳۳۵/۵۱	۱۳۶/۷۷	۱۳۵/۷۵	۲۲۴/۴۷	۳۳۶/۳۲	۵۶/۵۳
نسبت ۱:۱						
کمینه	۰/۱۱	۰	۱/۲۵	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۱۷
بیشینه	۳۹۷/۳۳	۳	۵۶/۶۰	۴۶/۲۰	۸۳/۴۰	۵/۸۸
میانگین	۲۱/۱۳	۰/۴۱	۵/۲۲	۳/۰۴	۴/۰۲	۲/۴۷
انحراف معیار	۷۰/۲۹	۰/۵۳	۷/۳۱	۶/۲۹	۱۱/۳۹	۱/۲۴
ضریب تغییرات (%)	۳۳۲/۶۵	۱۳۰/۸۴	۱۴۰/۱۰	۲۰۶/۸۹	۲۸۳/۵۵	۵۰/۴۲
نسبت ۱:۲/۵						
کمینه	۰	۰	۰/۴۰	۰	۰/۰۶	۰/۱۰
بیشینه	۱۳۰/۲۸	۱/۴۵	۲۱/۲۰	۱۶/۸۰	۳۴/۲۰	۳/۵۹
میانگین	۷/۰۱	۰/۲۶	۲/۴۴	۱/۴۱	۱/۷۶	۱/۵۱
انحراف معیار	۲۱/۵۴	۰/۳۰	۲/۷۶	۲/۳۵	۴/۷۱	۰/۶۶
ضریب تغییرات (%)	۳۰۷/۲	۱۱۵	۱۱۳/۱۴	۱۶۶/۰۱	۲۶۶/۶۹	۴۴/۰۴
نسبت ۱:۵						
کمینه	۰	۰	۰/۲۰	۰	۰	۰/۰۸
بیشینه	۵۶/۸۰	۰/۹۵	۹	۸/۸۰	۲/۸۰	۲/۹۶
میانگین	۳/۲۰	۰/۱۸	۱/۶۷	۰/۵۶	۰/۵۷	۱/۲۲
انحراف معیار	۹/۴۹	۰/۲۰	۱/۲۸	۱/۱۶	۰/۶۶	۰/۵۳
ضریب تغییرات (%)	۲۹۶/۸	۱۱۱/۶۰	۷۷	۲۰۷/۴۱	۱۱۶/۷۹	۴۳/۶۷



شکل ۲. رابطه بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) در خاک‌های ریز بافت ($n=33$)



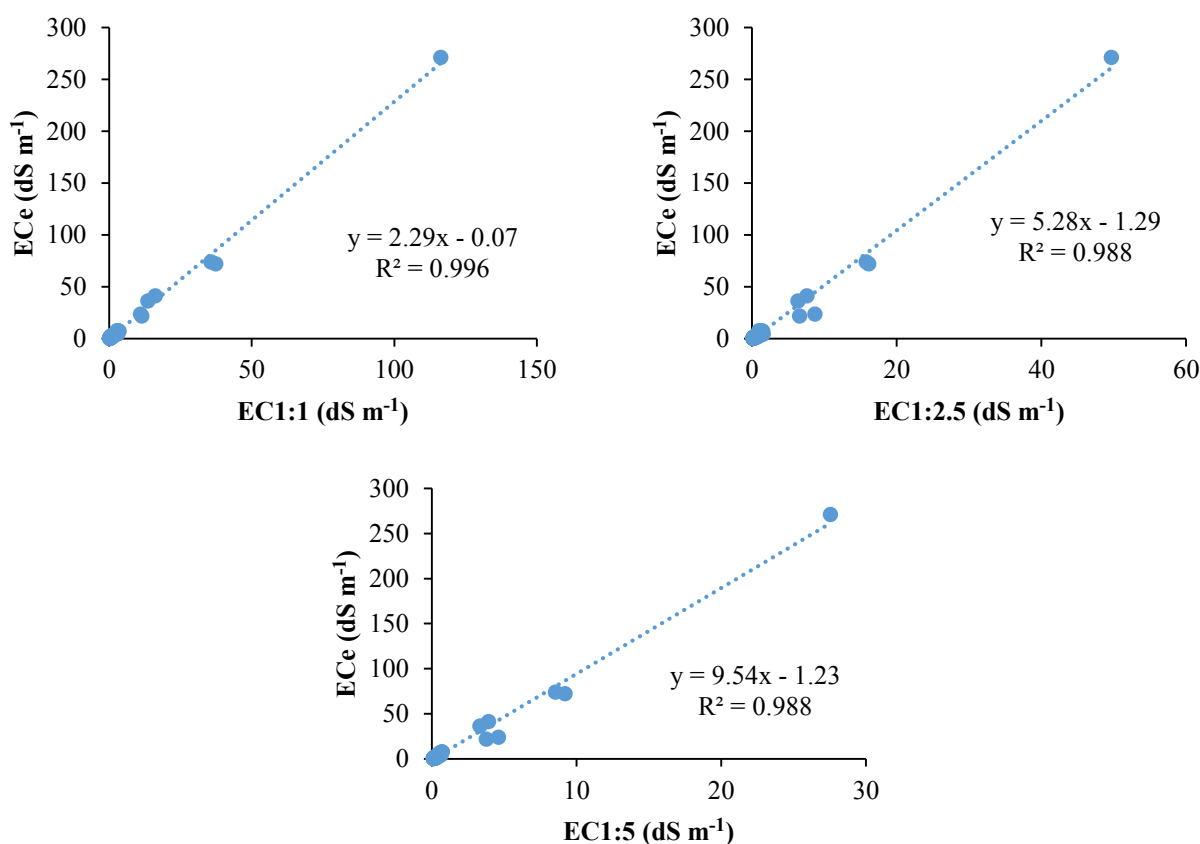
شکل ۳. رابطه بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) در خاک‌های متوسط بافت ($n=22$)



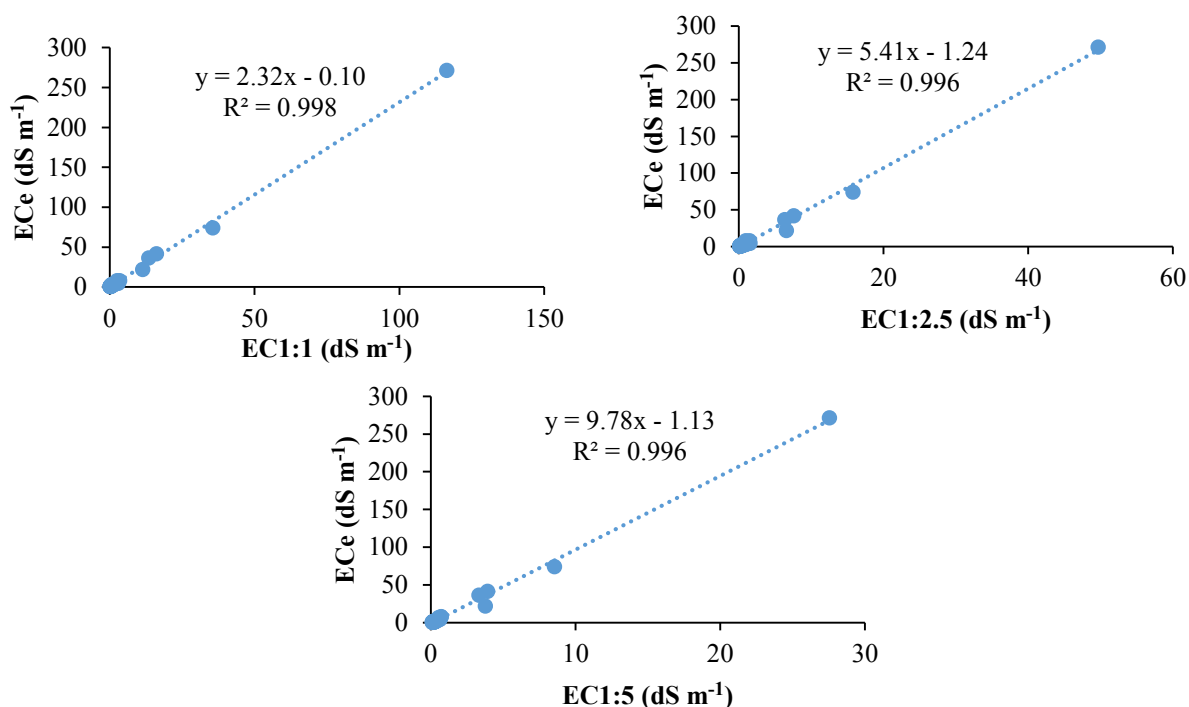
شکل ۴. رابطه بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) در خاک‌های درشت بافت ($n=9$)

روابط بین EC_e و EC نسبت‌های خاک به آب ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵

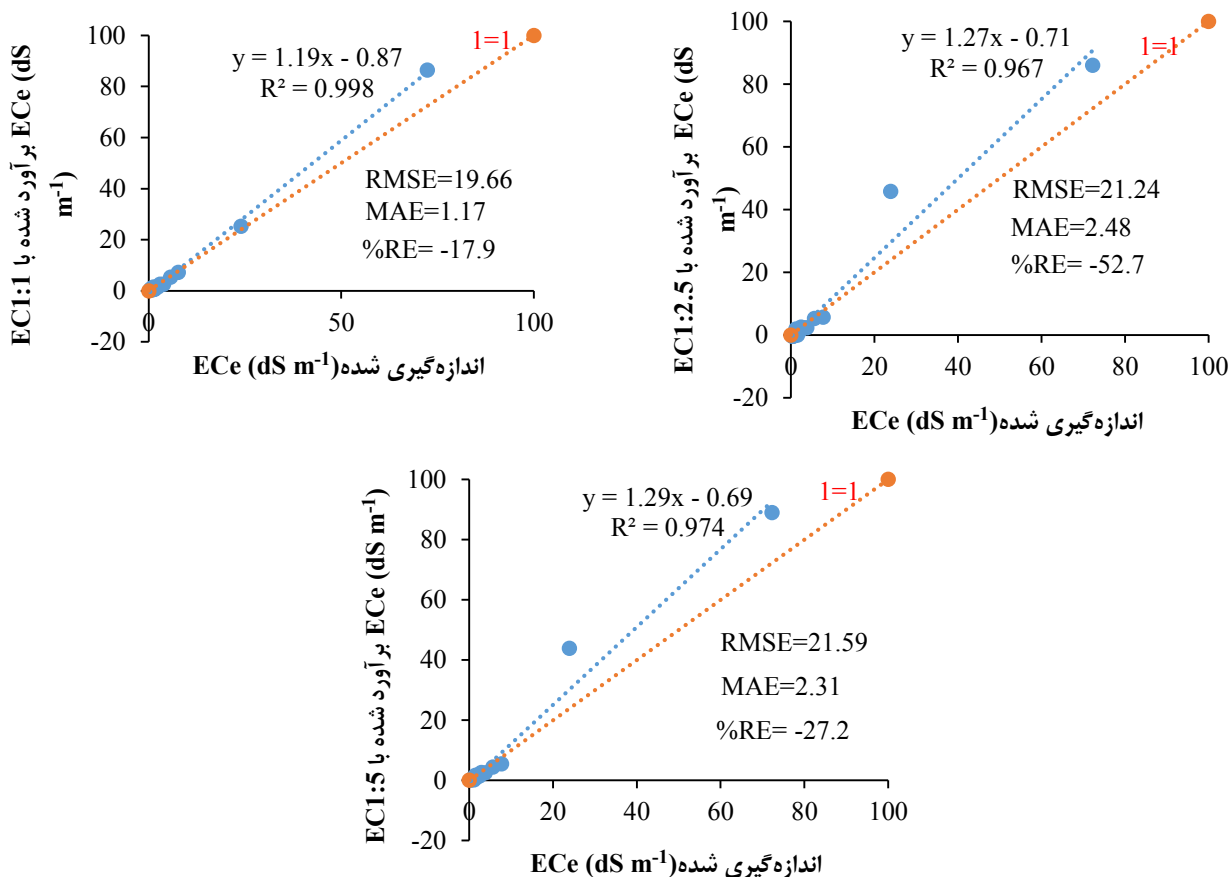
روابط بین EC_e و EC نسبت‌های مختلف ($EC_{1:5}$ ، $EC_{1:2.5}$ ، $EC_{1:1}$) با استفاده از کل داده‌ها ($n=64$) و دو سوم داده‌ها ($n=43$) به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو مورد EC_e به ترتیب دو (Hogg & Henry, 1984; Ozcan, 2005; Zhang et al., 2001; Pittman et al., 2001; et al., 2006)، پنج و ۱۰ برابر $EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$ است. به عبارت دیگر، در تمام نسبت‌ها شیب معادلات رگرسیونی تقریباً دو برابر درجه رقت در نسبت‌های مختلف است. با افزایش درجه رقت، شیب معادلات رگرسیونی نیز افزایش می‌یابد. برخی از محققان در داخل کشور (Khorsandi & Yazdi, 2007, 2011) رابطه بین EC_e و $EC_{1:5}$ را با ضریب متفاوت گزارش کردند. Khorsandi & Yazdi (2007) روابط $EC_e = 9.14EC_{1:5} - 15.72$ و $EC_e = 7.94EC_{1:5} + 0.28$ را به ترتیب در خاک‌های گچی و بدون گچ استان یزد توصیه کردند. آنها در پژوهشی دیگر (Khorsandi & Yazdi, 2011) روابط $EC_e = 5.60EC_{1:5} - 4.37$ و $EC_e = 5.37EC_{1:5} + 0.57$ را به ترتیب در خاک‌های گچی و فاقد گچ استان یزد گزارش کردند. در این میان ضرایب پژوهش نخست آنها به ضرایب این بدست آمده حاصل از این پژوهش نزدیک‌تر هستند که دلیل اصلی آن احتمالاً روش کار مشابه است. آنها نیز در این پژوهش نمونه‌ها را پس از یک ساعت شیکر با دور ۱۵۰ دور در دقیقه و سپس صاف کردن سوسپانسیون، EC آنها را قرائت کردند. علت متفاوت بودن ضرایب معادلات در پژوهش دوم آنها احتمالاً مربوط به روش شیکر کردن و نحوه قرائت $EC_{1:5}$ و عدم تکرار آزمایش است. آنها سوسپانسیون ۱:۵ را تنه‌ای به مدت ۱۵ ثانیه و سه مرتبه با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه شیکر کردند و بدون ته‌نشینی ذرات خاک و صاف کردن سوسپانسیون، EC را قرائت کردند که با عصاره گل اشباع کاملاً متفاوت است. محققان دیگر روابط خطی ($EC_e = 2.14EC_{1:1}$) و غیرخطی ($EC_e = 3.99EC_{1:1}^{0.798}$) بین EC_e و $EC_{1:1}$ و یک رابطه غیرخطی ($EC_e = 11.69EC_{1:5}^{0.772}$) بین EC_e و $EC_{1:5}$ را در خاک‌های دارای گچ دشت تبریز و بدون ذکر روش اندازه‌گیری EC نسبت‌ها گزارش کردند (فرهمند و همکاران، ۱۳۹۱). علیرغم اینکه تعداد نمونه‌های با شوری زیاد (یک نمونه دارای EC_e بیش‌تر از ۱۰۰ و دو نمونه دارای EC_e حدود ۷۰ دسی‌زیمنس بر متر بودند) کم بودند اما با حذف آن تغییر چندانی در ضرایب معادلات مشاهده نشد.



شکل ۵. روابط توسعه داده بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) با استفاده از کل داده‌ها ($n=64$)



شکل ۶. روابط توسعه داده شده بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) ($n=43$)



شکل ۷. ارزیابی روابط توسعه داده شده بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و نسبت‌های مختلف خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$) ($n=23$)

ارزیابی روابط رگرسیونی ارائه شده در شکل ۶ با استفاده از معیارهای آماری و خط ۱:۱ در شکل ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده

می‌شود هر سه نسبت دارای بیش‌برآوردی نسبت به خط ۱:۱ در مقادیر زیاد و کم‌برآوردی در مقادیر کم EC_e هستند که این بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی در دو نسبت ۱:۲/۵ و ۱:۵ در مقایسه با نسبت ۱:۱ بیش‌تر است. از طرف دیگر در نسبت ۱:۱ شیب معادله رگرسیونی، RMSE، MAE و درصد خطای نسبی در مقایسه با دو نسبت دیگر کم‌تر، اما ضریب تعیین (R^2) بیش‌تر است. نکته بسیار مهم در هر سه نسبت خاک به آب ($EC_{1:1}$ ، $EC_{1:2.5}$ و $EC_{1:5}$)، ضریب تعیین (R^2) بیش از ۹۰ درصد است که به تنهایی نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی باشد بلکه تکمیل کننده دیگر معیارهای آماری است.

روابط بین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های خاک به آب ۱:۱، ۱:۲/۵ و ۱:۵

روابط بین کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های خاک به آب مختلف (۱:۵، ۱:۲/۵ و ۱:۱) با استفاده از کل داده‌ها ($n=64$) و دو سوم داده‌ها ($n=43$) به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. در تمام روابط ارائه شده همانند روابط بین EC_e و EC نسبت‌های خاک به آب مختلف (شکل‌های ۵ و ۶) شیب روابط رگرسیونی با افزایش درجه رقت، افزایش می‌یابد. از میان کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف، کاتیون سدیم و آنیون کلرید به دلیل غلظت بیش‌تر نسبت به دیگر کاتیون‌ها و آنیون‌ها (جدول ۲)، دارای بیش‌ترین شیب و R^2 هستند. آنیون بی‌کربنات دارای کم‌ترین R^2 در میان تمام کاتیون‌ها و آنیون‌ها است.

ارزیابی روابط ارائه شده در جدول ۴ با استفاده از معیارهای آماری در جدول ۵ ارائه شده است. کاتیون پتاسیم و آنیون کلرید دارای کم‌برآوردی در هر سه نسبت هستند. آنیون بی‌کربنات و کاتیون سدیم به ترتیب در نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۵ دارای کم‌برآوردی بودند. دیگر یون‌ها (سدیم، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات) دارای بیش‌برآوردی در تمام نسبت‌های روابط رگرسیونی هستند. با توجه به معیارهای آماری RMSE، MAE و درصد خطای نسبی، در مجموع ترتیب خطای نسبت‌های مختلف به صورت $1:1 > 1:2.5 > 1:5$ می‌باشد به طوری که نسبت ۱:۱ دارای کم‌ترین خطا در میان کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف است. از میان یون‌های مختلف، کاتیون سدیم دارای بیش‌ترین خطا بود یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در زمینه اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها در نسبت‌های مختلف خاک به آب، حجم کم عصاره استفاده شده (حدود ۱۰ میلی‌لیتر) برای اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها به روش تیتراسیون است که با افزایش درجه رقت، خطای اندازه‌گیری شده نیز افزایش می‌یابد چرا که بیش‌تر نمونه خاک‌های مورد استفاده غیرشور ($EC_e < 4 \text{ dS/m}$) بودند. دیگر عامل تاثیرگذار در زمینه اندازه‌گیری کاتیون سدیم، رقیق‌سازی بسیار زیاد آن هنگام اندازه‌گیری با دستگاه فلیومتر است.

جدول ۳. ضرایب تعیین و روابط رگرسیونی توسعه داده شده بین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های خاک به آب مختلف با استفاده از کل داده‌ها ($n=64$)

R^2	معادله	پارامتر
نسبت ۱:۱		
۰/۹۸	$Na_e^+ = 2.27 Na_{1:1}^+ + 0.1$	سدیم
۰/۹۵	$K_e^+ = 1.81 K_{1:1}^+ - 0.02$	پتاسیم
۰/۹۶	$Ca_e^{2+} = 2.61 Ca_{1:1}^{2+} + 0.76$	کلسیم
۰/۹۵	$Mg_e^{2+} = 2.67 Mg_{1:1}^{2+} - 0.45$	منیزیم
۰/۹۹	$Cl_e^- = 4.27 Cl_{1:1}^- - 2.6$	کلرید
۰/۸۵	$HCO_{3e}^- = 2.45 HCO_{3:1:1}^- - 0.2$	بی‌کربنات
نسبت ۱:۲/۵		
۰/۹۳	$Na_e^+ = 7.24 Na_{1:2.5}^+ - 2.64$	سدیم
۰/۹۰	$K_e^+ = 3.08 K_{1:2.5}^+ - 0.09$	پتاسیم
۰/۹۴	$Ca_e^{2+} = 6.85 Ca_{1:2.5}^{2+} - 2.37$	کلسیم
۰/۹۳	$Mg_e^{2+} = 7.09 Mg_{1:2.5}^{2+} - 2.35$	منیزیم
۰/۹۷	$Cl_e^- = 10.26 Cl_{1:2.5}^- - 3.56$	کلرید
۰/۶۲	$HCO_{3e}^- = 3.94 HCO_{3:1:2.5}^- - 0.1$	بی‌کربنات
نسبت ۱:۵		
۰/۹۸	$Na_e^+ = 16.84 Na_{1:5}^+ - 5.67$	سدیم
۰/۸۹	$K_e^+ = 4.63 K_{1:5}^+ - 0.11$	پتاسیم
۰/۸۲	$Ca_e^{2+} = 13.78 Ca_{1:5}^{2+} - 8.58$	کلسیم
۰/۹۷	$Mg_e^{2+} = 14.59 Mg_{1:5}^{2+} - 0.49$	منیزیم
۰/۷۸	$Cl_e^- = 13.12 Cl_{1:5}^- - 0.68$	کلرید
۰/۵۴	$HCO_{3e}^- = 4.52 HCO_{3:1:5}^- + 0.3$	بی‌کربنات



جدول ۴. ضرایب تعیین و روابط رگرسیونی توسعه داده شده بین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های خاک به آب مختلف (n=۴۳)

پارامتر	معادله	R ²
نسبت ۱:۱		
سدیم	$Na_e^+ = 2.37 Na_{1:1}^+ + 1.27$	۰/۹۹
پتاسیم	$K_e^+ = 2.10 K_{1:1}^+ - 0.11$	۰/۹۶
کلسیم	$Ca_e^{2+} = 2.14 Ca_{1:1}^{2+} + 2.16$	۰/۸۹
منیزیم	$Mg_e^{2+} = 1.76 Mg_{1:1}^{2+} + 1.58$	۰/۹۰
کلرید	$Cl_e^- = 4.29 Cl_{1:1}^- - 2.81$	۰/۹۹
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^- = 2.58 HCO_{3:1:1}^- - 0.55$	۰/۸۵
نسبت ۱:۲/۵		
سدیم	$Na_e^+ = 6.72 Na_{1:2.5}^+ + 0.36$	۰/۹۸
پتاسیم	$K_e^+ = 2.88 K_{1:2.5}^+ - 0.06$	۰/۸۸
کلسیم	$Ca_e^{2+} = 5.72 Ca_{1:2.5}^{2+} - 0.33$	۰/۹۱
منیزیم	$Mg_e^{2+} = 4.48 Mg_{1:2.5}^{2+} + 0.51$	۰/۹۳
کلرید	$Cl_e^- = 10.35 Cl_{1:2.5}^- - 3.86$	۰/۹۸
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^- = 3.95 HCO_{3:1:2.5}^- - 0.10$	۰/۵۹
نسبت ۱:۵		
سدیم	$Na_e^+ = 18.49 Na_{1:5}^+ - 7.9$	۰/۹۸
پتاسیم	$K_e^+ = 4.36 K_{1:5}^+ - 0.09$	۰/۸۹
کلسیم	$Ca_e^{2+} = 7.88 Ca_{1:5}^{2+} - 0.3$	۰/۷۹
منیزیم	$Mg_e^{2+} = 11.74 Mg_{1:5}^{2+} + 0.93$	۰/۸۸
کلرید	$Cl_e^- = 13.65 Cl_{1:5}^- - 0.98$	۰/۹۹
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^- = 4.45 HCO_{3:1:5}^- + 0.42$	۰/۴۹

جدول ۵. ارزیابی روابط رگرسیونی توسعه داده شده بین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های عصاره اشباع و نسبت‌های مختلف خاک به آب (n=۲۱)

پارامتر	معادله	R ²	RMSE	MAE	%RE
نسبت ۱:۱					
سدیم	$Na_e^+(E) = 1.05 Na_e^+(M) + 6.74$	۰/۹۸	۳۵/۷۸	۹/۹۷	۱۴۶/۱
پتاسیم	$K_e^+(E) = 1.31 K_e^+(M) - 1637$	۰/۹۸	۰/۳۹	۰/۱۷	-۲۴/۷۱
کلسیم	$Ca_e^{2+}(E) = 0.66 Ca_e^{2+}(M) + 3.40$	۰/۸۷	۳/۷۴	۲/۵۲	۴۹/۹
منیزیم	$Mg_e^{2+}(E) = 0.58 Mg_e^{2+}(M) + 2.28$	۰/۸۷	۲/۲۶	۱/۵۹	۱۱۰/۴۳
کلرید	$Cl_e^-(E) = 1.2161 Cl_e^-(M) - 1.821$	۰/۹۲	۳/۶۳	۲/۴۸	-۹۳/۲۱
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^-(E) = 1.16 HCO_{3e}^-(M) - 0.80$	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۶۳	-۸/۲۲
نسبت ۱:۲/۵					
سدیم	$Na_e^+(E) = 0.76 Na_e^+(M) + 12.17$	۰/۹۱	۶۹/۰۷	۲۳/۳۸	۶۹/۸
پتاسیم	$K_e^+(E) = 0.89 K_e^+(M) + 0.0851$	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۱۲	-۳/۲۰
کلسیم	$Ca_e^{2+}(E) = 0.8099 Ca_e^{2+}(M) + 2.24$	۰/۶۴	۵/۵۱	۳/۷۶	۵۳/۸۰
منیزیم	$Mg_e^{2+}(E) = 0.8384 Mg_e^{2+}(M) + 1.2318$	۰/۸۸	۱/۷۴	۱/۲۸	۶۴/۷۴
کلرید	$Cl_e^-(E) = 1.45 Cl_e^-(M) - 3.35$	۰/۹۱	۸/۳۸	۳/۵۶	-۱۶۸/۰۷
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^-(E) = 0.63 HCO_{3e}^-(M) + 1.62$	۰/۶۴۹	۱/۱۸	۰/۶۸	۲/۴۶
نسبت ۱:۵					
سدیم	$Na_e^+(E) = 1.16 Na_e^+(M) - 0.23$	۰/۹۹	۴۳/۳۱	۱۸/۱۶	-۶۹۴/۹
پتاسیم	$K_e^+(E) = 0.90 K_e^+(M) + 0.10$	۰/۹۶	۰/۲۰	۰/۱۵	-۸/۴۹
کلسیم	$Ca_e^{2+}(E) = 0.60 Ca_e^{2+}(M) + 4.86$	۰/۶۸	۴/۹۰	۳/۴۵	۷۴/۰۱
منیزیم	$Mg_e^{2+}(E) = 1.07 Mg_e^{2+}(M) + 0.60$	۰/۸۴	۲/۴۰	۱/۵۸	۷۹/۶۹
کلرید	$Cl_e^-(E) = 0.99 Cl_e^-(M) + 0.01$	۰/۸۸	۳/۰۶	۱/۸۳	-۳۷/۶۲
بی‌کربنات	$HCO_{3e}^-(E) = 0.59 HCO_{3e}^-(M) + 2$	۰/۶۳	۱/۲۱	۰/۷۷	۱۲/۴۵

e: نشان‌دهنده عصاره اشباع، E: نشان‌دهنده غلظت برآورد شده و M: نشان‌دهنده غلظت اندازه‌گیری شده است

نتیجه گیری

قابلیت هدایت الکتریکی یکی از پارامترهای مهم ارزیابی وضعیت شوری خاک برای اهداف مختلف از جمله کشاورزی است. از این رو پایش مداوم شوری خاک با استفاده از روش های ساده و ارزان ضرورت دارد. این پارامتر در عصاره گل اشباع، به عنوان روشی استاندارد، تعیین و گزارش می شود. اما به دلیل مشکلات متعدد در تهیه گل اشباع از جمله صرف زمان و هزینه زیاد، دشوار و خسته کننده بودن آن، محققان مختلف سعی کردند آن را با استفاده از نسبت های مختلف خاک به آب برآورد کنند. یکی از عوامل تاثیرگذار بر برآورد EC_e با استفاده از نسبت های مختلف خاک به آب وجود نمک های محلول به ویژه گچ است که در این مطالعه اثر آن حذف شد. نتایج نشان داد می توان EC_e خاک های فاقد گچ و با بافت مختلف را با دو برابر کردن $EC_{1:1}$ در مقایسه با دیگر نسبت ها (۱:۵ و ۱:۲/۵) با دقت قابل قبولی با صرفه جویی در زمان و هزینه برآورد کرد، زیرا هرچه رقت بیش تر باشد، انحراف نسبت های یونی محلول نمونه نسبت به محلول خاک در شرایط مزرعه بیش تر است. همچنین در این شرایط غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، کلر و بی کربنات موجود در عصاره اشباع را به ترتیب با ۲/۲۷، ۱/۸۱، ۲/۶۱، ۲/۲۷ و ۲/۴۵ برابر کردن مقادیر بدست آمده از عصاره ۱:۱ برآورد نمود. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از روابط ارائه شده توام با بیش برآوردی و کم برآوردی است، لذا توصیه می شود صحت روابط ارائه شده برای خاک های شور با تعداد نمونه و دامنه EC بیش تر برای نسبت خاک به آب ۱:۱ بررسی شود. همچنین جهت برآورد غلظت کاتیون ها و آنیون ها حجم بیش تری (بیش از ۱۰ میلی لیتر) از عصاره نسبت خاک به آب ۱:۱ برای اندازه گیری کاتیون ها و آنیون ها جهت افزایش دقت اندازه گیری استفاده شود.

منابع

- اعتمادی، هادی؛ گلی، اسماعیل و شهابی، محمود (۱۳۹۷). بررسی رابطه قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و نسبت های مختلف خاک به آب. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل، ایران.
- شهبازی، کریم؛ مارزی، مصطفی؛ محمدی، محمدحسین؛ اسدی، حسین؛ فتحی گردلیدانی، ارژنگ؛ سادات هاشمی زواره، کبری؛ طلوعی، رویا؛ بهشتی، مهدی؛ آویژگان، ایوب و چراغی، میثم (۱۴۰۳). روش های تجزیه خاک: نمونه برداری، روش های شیمیایی و فیزیکی. چاپ اول. کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب.
- فرهمند، انور؛ اوستان، شاهین؛ جعفرزاده، علی اصغر و علی اصغر زاده، ناصر (۱۳۹۱). پارامترهای شوری و سدیمی بودن در برخی خاک های متأثر از نمک دشت تبریز. دانش آب و خاک، ۲۲(۱)، ۱۵-۱.
- مارزی، مصطفی؛ شهبازی، کریم؛ اسماعیل نژاد، لیلا و بهشتی، مهدی (۱۴۰۱). بررسی تاثیر زمان تماس، نوع عصاره گیر و نسبت خاک به عصاره گیری در اندازه گیری مقدار گچ به روش استون. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۴)، ۷۱۳-۷۰۱.
- مومنی، عزیز (۱۳۸۹). پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. پژوهش های خاک، ۲۴(۳)، ۲۱۵-۲۰۳.

REFERENCES

- Aboukila, E., & Abdelaty, E. (2017). Assessment of saturated soil paste salinity from 1: 2.5 and 1: 5 soil-water extracts for coarse textured soils. *Alexandria Science Exchange Journal*, 38(October-December), 722-732.
- Biswas, A., & Biswas, A. (2014). Comprehensive approaches in rehabilitating salt affected soils: a review on Indian perspective. *Open transactions on geosciences*, 1(1), 13-24.
- Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2017). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis*, 2(1).
- Etemadi, H., Goli, E., & Shahabi, M. (2018). Relationship between electrical conductivity of saturation past extract and different soil:water ratios. *The 13th National Conference on Watershed Management Science & Engineering of Iran and The 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Ardebil, Iran*, (in Persian).
- Farahmand, A., Oustan, S., Jafarzadeh, A., & 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).
- Franzen, D. (2003). Managing saline soils in North Dakota.
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part*, 4(598), 255-293.
- Gharaibeh, M. A., Albalasmeh, A. A., & El Hanandeh, A. (2021). Estimation of saturated paste electrical conductivity using three modelling approaches: Traditional dilution extracts; saturation percentage and artificial neural networks. *Catena*, 200, 105141.



- Hammam, A., & Mohamed, E. (2020). Mapping soil salinity in the East Nile Delta using several methodological approaches of salinity assessment. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 125-131.
- He, Y., DeSutter, T., Hopkins, D., Jia, X., & Wysocki, D. A. (2013). Predicting ECe of the saturated paste extract from value of EC1: 5. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(5), 585-594.
- He, Y., DeSutter, T., Prunty, L., Hopkins, D., Jia, X., & Wysocki, D. A. (2012). Evaluation of 1: 5 soil to water extract electrical conductivity methods. *Geoderma*, 185, 12-17.
- Hogg, T., & Henry, J. (1984). Comparison of 1: 1 and 1: 2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(4), 699-704.
- Hopmans, J. W., Qureshi, A., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S., Rengasamy, P., . . . Minhas, P. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in agronomy*, 169, 1-191.
- Hossain, M. S., Rahman, G. M., Solaiman, A., Alam, M. S., Rahman, M. M., & Mia, M. B. (2020). Estimating electrical conductivity for soil salinity monitoring using various soil-water ratios depending on soil texture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(5), 635-644.
- Isdory, D., Massawe, B., & Msanya, B. (2021). Predicting soil ECe based on values of EC1: 2.5 as an indicator of soil salinity at Magozi Irrigation Scheme, Iringa, Tanzania. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 20(1), 63-71.
- Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., & Kerkides, P. (2018a). 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). Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.
- Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., & Kerkides, P. (2018b). 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). Paper presented at the Proceedings.
- 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.
- 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.
- 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.
- Khorsandi, F., & Yazdi, F. A. (2011). Estimation of saturated paste extracts' electrical conductivity from 1: 5 soil/water suspension and gypsum. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(3), 315-321.
- Lesch, S. M., Strauss, D. J., & Rhoades, J. D. (1995). Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques: 1. Statistical prediction models: A comparison of multiple linear regression and cokriging. *Water Resources Research*, 31(2), 373-386.
- Libutti, A., Cammerino, A. R. B., & Monteleone, M. (2018). Risk assessment of soil salinization due to tomato cultivation in mediterranean climate conditions. *Water*, 10(11), 1503.
- Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 437-474.
- Marzi, M., Shahbazi, K., Esmaeilzadeh, L., & Beheshti, M. (2022a). The effect of contact time, extractant type, and soil/extractant ratio on gypsum determination by Acetone method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(4), 701-713. doi:10.22059/ijswr.2022.332920.669111
- Marzi, M., Shahbazi, K., Esmaeilzadeh, L., & Beheshti, M. (2022b). The effect of contact time, extractant type, and soil/extractant ratio on gypsum determination by Acetone method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(4), 701-713 (In Persian).
- Matthees, H. L., He, Y., Owen, R. K., Hopkins, D., Deutsch, B., Lee, J., . . . DeSutter, T. M. (2017). Predicting soil electrical conductivity of the saturation extract from a 1: 1 soil to water ratio. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(18), 2148-2154.
- Mirzaee, S., Ghorbani-Dashtaki, S., & Kerry, R. (2020). Comparison of a spatial, spatial and hybrid methods for predicting inter-rill and rill soil sensitivity to erosion at the field scale. *Catena*, 188, 104439.
- Momeni, A. (2011). Geographical Distribution and Salinity Levels of Soils Resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3), 203-215 doi:10.22092/IJSR.2011.126633 (in Persian)
- Ozcan, H., Ekinici, H., Yigini, Y., & Yuksel, O. (2006). *Comparison of four soil salinity extraction methods*. Paper presented at the Proceedings of 18th International Soil Meeting of" Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology.

- Pittman, J., Kress, M., & Zhang, H. (2001). *Comparison of two soil salinity extraction methods*. Paper presented at the Proceedings of the 8th international petroleum environment conference, Houston, Texas.
- Rayment, G., & Lyons, D. (2011). *Soil Chemical Analysis Methods-Australia*. In: CSIRO Publishing: Collingwood, Australia.
- Rhoades, J., Manteghi, N. A., Shouse, P., & Alves, W. (1989). Estimating soil salinity from saturated soil-paste electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 53(2), 428-433.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Vol. 78): LWW.
- Seo, B.-S., Jeong, Y.-J., Lee, K.-S., & Choi, W.-J. (2021). Effects of equilibrium time on electrical conductivity measurements using soil-water extracts and soil saturated paste. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 54(2), 257-263.
- Shahbazi, K., Marzi, M., Mohammadi, M. H., Asadi, H., Fathi-Gerdelidani, A., Hasheminasab Zavareh, K. S., . . . Cheraghi, M. (2024). *Methods of Soil Analysis: Sampling, Chemical and Physical Methods*. First edition. Karaj. Soil and Water Research Institute (in Persian).
- Shaw, R. (1994). Estimation of electrical conductivity of saturation extracts from the electrical conductivity of 1: 5 soil: water suspensions and various soil properties (No. Project report QO94025). *Department of Primary Industries, Queensland*.
- Singh, A. (2018). Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions. *Ecological Indicators*, 90, 184-192.
- Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67.
- Slavich, P., & Petterson, G. (1993). Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1: 5 soil, water suspensions and texture. *Soil Research*, 31(1), 73-81.
- 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.
- Sultan, K. (2006). Clay mineralogy of central Victorian (Creswick) soils: clay mineral contents as a possible tool of environmental indicator. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 15(4), 339-356.
- Tian, F., Hou, M., Qiu, Y., Zhang, T., & Yuan, Y. (2020). Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique. *Geoderma*, 357, 113961.
- Visconti, F., de Paz, J. M., & Rubio, J. L. (2010). What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? *Geoderma*, 154(3-4), 387-397.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, Y., Wang, Z.-x., LIAN, X.-j., XIAO, H., WANG, L.-y., & HE, H.-d. (2011). Measurement of soil electric conductivity and relationship between soluble salt content and electrical conductivity in Tianjin coastal area. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2(8).
- Zhang, H., Schroder, J., Pittman, J., Wang, J., & Payton, M. (2005). Soil salinity using saturated paste and 1: 1 soil to water extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1146-1151.