



The effect of contact time, extractant type, and soil/extractant ratio on gypsum determination by Acetone method

Mostafa Marzi¹, Karim Shahbazi^{✉2}, Leila Esmaeilzadeh³, Mehdi Beheshti⁴

1. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran, mostafamarzi69@gmail.com

2. Corresponding Author, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran, Kshahbazi@areeo.ac.ir

3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran, mina.es75@yahoo.com

4. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran, m.beheshti@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Oct. 25, 2021</p> <p>Received: May. 10, 2022</p> <p>Accepted: May. 11, 2022</p> <p>Published online: June. 22, 2022</p> <p>Keywords: Electrical conductivity, Gypsiferous soils, Gypsum dissolution, Salt solutions</p>	<p>Gypsum is spread in soils of arid and semi-arid regions and controls the soil physiochemical properties when it exists as the main soil component. Due to the undesired effects of gypsum in agriculture and plant growth, the accurate determination of its concentration is very important for soil classification and land use management. In this study, the parameters affecting the gypsum determination by the acetone method, namely contact time, extractant to soil ratio, and different extractants were investigated. Results revealed that the gypsum dissolution reaction was fast and most of the gypsum was dissolved in less than 0.5 h. Gypsum extracting with high extractant to soil ratios (1:200) had led to underestimation in the gypsum concentration. So that, the measured gypsum at 0.5 h extraction in soils with 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 100% gypsum was underestimated by -1, 3.5, 9.6, 11.0, 22.4, 29.3, 39.6, 47.5, and 87.8% (according to the actual content) respectively. Decreasing the extractant to soil ratio to 1:400, overestimated (10 to 50%) the gypsum in the samples containing less than 50% gypsum. NaCl, KCl and MgCl₂ solutions increased the gypsum solubility eliminated the underestimation in gypsum determination especially in 1:200 ratio. However, the use of salt solutions as extractants in the natural soils had led to overestimate at the higher extractant to soil ratios (1:400). The critical electrical conductivity (EC) in the measuring of gypsum by the Acetone method was 1000 μS/cm. According to the results, use of deionized water as the extractant, 0.5 h contact time, and variable soil to water ratio according to the soil gypsum content and to reach the EC of lower than 1000 μS/cm were the optimum condition for determination of soil gypsum by the acetone method which is recommended.</p>

Cite this article: Marzi, M., Shahbazi, K., Esmaeilzadeh, L., & Beheshti, M. (2022). 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.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.332920.669111>

بررسی تأثیر زمان تماس، نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر در اندازه‌گیری مقدار گچ به روش استون

مصطفی مارزی^۱، کریم شهبازی^۲، لیلا اسماعیل‌زاده^۳، مهدی بهشتی^۴

۱. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، mostafamarzi69@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، Kshahbazi@areeo.ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، mina.es75@yahoo.com

۴. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، m.beheshti@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۴/۱

واژه‌های کلیدی:

انحلال گچ،

خاک‌های گچی،

محلول‌های نمکی،

هدایت الکتریکی

گچ در خاک‌های نواحی خشک و نیمه خشک به‌عنوان جزء اصلی خاک برخی از رفتارهای فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داده و به دلیل اثرات منفی بر اراضی کشاورزی و رشد گیاه، اندازه‌گیری دقیق غلظت آن برای مدیریت اراضی گچی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین طی پژوهشی آزمایشگاهی برخی عوامل موثر بر اندازه‌گیری گچ به روش استون شامل زمان تماس، نسبت خاک به آب و عصاره‌گیرهای مختلف مطالعه شدند. نتایج نشان داد که انحلال گچ در خاک‌های گچی مصنوعی واکنشی سریع بوده و قسمت عمده گچ موجود در نمونه در مدت زمانی کمتر از ۰/۵ ساعت حل شد. عصاره‌گیری گچ در نسبت‌های بالای خاک به آب (۲۰۰:۱) باعث کم‌برآورد در اندازه‌گیری گچ گردید. بطوریکه مقدار گچ اندازه‌گیری شده در زمان ۰/۵ ساعت در نمونه‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد گچ به ترتیب ۱-، ۳/۵، ۹/۶، ۱۱/۰، ۲۲/۴، ۲۹/۳، ۳۹/۶، ۴۷/۵ و ۵۷/۸ درصد نسبت به مقدار واقعی گچ در نمونه کمتر برآورد شد. کاهش نسبت خاک به آب به نسبت ۴۰۰:۱ باعث بیش‌برآورد بین ۱۰-۵۰ درصد گچ در نمونه‌های با گچ کمتر از ۵۰ درصد گردید. محلول‌های نمکی NaCl، KCl و $MgCl_2$ حلالیت گچ را افزایش داده و باعث جبران کم‌برآورد در اندازه‌گیری گچ بخصوص در نسبت ۲۰۰:۱ گردیدند. محلول‌های نمکی در نسبت پایین خاک به آب (۴۰۰:۱) در خاک‌های طبیعی باعث بیش‌برآورد مقدار گچ شدند. هدایت الکتریکی (EC) $1000 \mu S/cm$ در محلول نهایی بعنوان EC بحرانی در اندازه‌گیری گچ بدست آمد. براساس نتایج بدست آمده، استفاده از آب مقطر بعنوان عصاره‌گیر، زمان تماس ۰/۵ ساعت و نسبت خاک به آب متغیر براساس محتوای گچ برای حصول EC کمتر از $1000 \mu S/cm$ بعنوان شرایط بهینه برای اندازه‌گیری گچ به روش استون توصیه می‌گردد.

استناد: مارزی، مصطفی؛ شهبازی، کریم؛ اسماعیل‌زاده، لیلا؛ و بهشتی، مهدی (۱۴۰۱). بررسی تأثیر زمان تماس، نوع عصاره‌گیر و نسبت خاک به عصاره‌گیر در اندازه‌گیری

مقدار گچ به روش استون. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۴)، ۷۰۱-۷۱۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.332920.669111>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

سولفات کلسیم یا گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) دارای ۳۲/۶ درصد اکسید کلسیم (CaO)، ۴۶/۵ درصد تری اکسید گوگرد (SO_3) و ۲۰/۹ درصد آب ساختمانی (H_2O) می باشد (Kuttah & Sato, 2015). با افزایش دما از صفر تا حدود ۶۵ درجه سانتی گراد، گچ ۱/۵ عدد از مولکول های آب ساختمانی خود را از دست می دهد و احتمالاً تغییر مختصری نیز در ساختمان گچ اتفاق افتاده و منجر به تشکیل کانی باسانیت ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)^۱ می شود. با افزایش دما تا حدود ۹۵ درجه سانتی گراد، تمام مولکول های آب از دست رفته و ساختمان کانی به انهدیریت (CaSO_4)^۲ تغییر پیدا می کند (Klein, 1993; Omran, 2016). ساختمان گچ از لایه های موازی گروه های سولفات (SO_4^{2-}) که قویاً با یون های کلسیم (Ca^{2+}) پیوند یافته اند، تشکیل شده است. این لایه ها توسط ورقه هایی از مولکول های آب که بطور ضعیفی با ورقه های مجاور خود پیوند یافته اند، جدا می شوند (Klein, 1993). به لحاظ آب و هوایی، گچ در خاک های نواحی خشک و نیمه خشک گسترش دارد و اکثر خاک های گچی در رژیم های رطوبتی زیریک^۳، یوستیک^۴ و اریدیک^۵ یافت می شوند (Omran, 2016). در ایران خاک های گچی^۶ (دارای افق جیسیک^۷ در ۱۰۰ سانتی متر فوقانی خاک) گسترده ترین خاک های رده اریدی سول ها^۸ می باشند و حدود ۱۷/۳ میلیون هکتار (۱۸ درصد) از اراضی کشور را به خود اختصاص داده اند (Roozitalab et al., 2018). هاپلوگیپسید^۹ غالب ترین گروه خاک های گچی ایران بوده و حدود ۱۳ میلیون هکتار از خاک های کشور را به خود اختصاص داده است (Roozitalab et al., 2018). حلالیت گچ خالص در یک محلول آبی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برابر با ۳۰/۵ میلی اکی والان بر لیتر یا ۲/۶۴ گرم بر لیتر است که شوری برابر با ۲/۲ دسی زیمنس بر متر ایجاد می نماید. اگر Ca^{2+} و SO_4^{2-} از منبعی غیر از گچ در محلول وجود داشته باشند به دلیل اثر یون مشترک از حلالیت گچ می کاهند (Poonia & Bhumbla, 1973).

روش های مختلفی برای اندازه گیری گچ وجود دارد که در ادامه به برخی از آنها بطور خلاصه پرداخته می شود. برای اولین بار Bower (1948) and Huss روش استون را برای اندازه گیری گچ در خاک طراحی کردند. نتایج نشان داد که وجود یون های مختلف در محلول اثری در اندازه گیری گچ ندارد و فقط در مواردی که غلظت پتاسیم از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر بیشتر شود باعث بیش برآورد در اندازه گیری گچ می شود. Lagerwerff (1965) et al., یک روش نیمه کمی و یک روش کمی برای اندازه گیری گچ در خاک پیشنهاد نمودند. روش اول که نیمه کمی بود شامل تعیین درجه اشباع خاک نسبت به گچ بود. روش دوم که در حقیقت اصلاح روش Bower and Huss (1948) بود، گچ موجود در خاک بوسیله استون رسوب داده می شد. به منظور جلوگیری از وقوع خطای فوق مقدار سولفات موجود در محلول بجای گچ اندازه گیری می شد. Nelson et al., (1978) روشی جدید برای اندازه گیری گچ در خاک های گچی پیشنهاد دادند. این روش براساس از دست دادن آب کریستالی گچ در اثر گرما دادن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد استوار است. Mahmoodi (1983) با مقایسه روش رزین هیدروژنه و استون برای اندازه گیری گچ به این نتیجه رسید که روش رزین هیدروژنه توانایی بالاتری در اندازه گیری گچ دارد.

گچ ممکن است به صورت یکنواخت یا به صورت جدا از ماتریس خاک و یا بصورت نقاط پرتراکم در بعضی افق های خاک وجود داشته باشد (Porta, 1998). به علت حلالیت نسبتاً بالا، گچ اثرات ناخوشایند گوناگونی بر اراضی کشاورزی و رشد گیاه دارد. غلظت بیش از ۱۰ درصد گچ مزاحمت های قابل توجهی در خصوصیات خاکی مثل ساختمان، مقاومت و ظرفیت نگهداری آب دارد. هنگامی که درصد گچ به بیش از ۲۵ درصد افزایش می یابد، دیگر از رشد مناسب گیاه جلوگیری می نماید (Omran 2016). گچ بعنوان یک کانی کلسیم دار از جذب کاتیون های روی، منگنز، آهن، مس و فسفر در گیاه جلوگیری کرده و منجر به کمبود این عناصر غذایی می شود. در حضور گچ ظرفیت تبادل خاکی کاهش یافته و بنابراین کاهش حاصلخیزی خاک را در پی خواهد داشت. رسوب مجدد گچ ممکن است محدودیت هایی برای ریشه و آب ایجاد کرده و می تواند شوری را در بالای سخت لایه گچ افزایش دهد (Roozitalab et al., 2018). با توجه به اهمیت گچ در شیمی خاک و تغذیه گیاه لازم است از روش های قابل اتکا که نتایجی با دقت و صحت مناسب ارائه می نمایند استفاده و غلظت گچ در خاک ها اندازه گیری گردد. به دلیل اینکه روش باور (روش استون) رایج ترین روش مورد استفاده برای اندازه گیری گچ (از میان روش های موجود برای اندازه گیری گچ که در فوق ذکر گردیدند) در آزمایشگاه های خاک و آب ایران می باشد، این روش برای مطالعه بیشتر و ارزیابی منابع خطای آن انتخاب گردید. بررسی نتایج حاکی از آن است که این روش مقدار گچ را به خصوص در خاک های با غلظت بالا کمتر از مقدار واقعی برآورد می نماید و به دلیل عدم تعریف معیاری برای کنترل نتایج امکان پی بردن به این خطا در آزمایشگاه وجود ندارد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی عوامل موثر بر اندازه گیری گچ به روش استون و تعیین منابع خطا و بهینه سازی این روش طراحی و اجرا گردید. به همین منظور پارامترهایی نظیر زمان تماس (اطمینان از انحلال کامل گچ موجود در نمونه)، محلول های نمکی مختلف (دارای

¹Bassanite

²Anhydrite

³Xeric

⁴Ustic

⁵Aridic

⁶Gypsid

⁷Gypsic horizon

⁸Aridisols

⁹Haplogypsid



یون غیر مشترک) به منظور افزایش قدرت انحلال عصاره‌گیر، و نسبت‌های مختلف آب به خاک مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه

برای بهینه‌سازی روش استون ابتدا دو خاک با ویژگی‌های متفاوت (شور و غیرشور) ذکر شده در جدول ۱ انتخاب گردید. عدم وجود گچ و تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مثل هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم و بافت بعنوان معیارهای اصلی انتخاب خاک‌ها در نظر گرفته شد. به منظور تولید نمونه‌هایی با درصد مشخص گچ، به خاکهای انتخابی مقادیر مختلف نمک $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (با عیار آزمایشگاهی) اضافه و مخلوط‌هایی با درصدهای مختلف گچ شامل ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تهیه شد (خاک‌های گچی مصنوعی). به منظور یکنواختی و اختلاط کامل گچ با خاک، مخلوط حاصله به خوبی کوبیده و از الک ۱۰ مش عبور داده شد.

جدول ۱ - خصوصیات عمومی خاکهای مورد استفاده برای بررسی سینتیک گچ (تهیه خاک با درصدهای مختلف گچ)

شماره	محل نمونه‌برداری	بافت	pH	EC (dS/m)	SP (%)	CCE (%)	OC (%)	گچ (%)	CEC (cmol/kg)
۱	خوزستان-علی عگده	رسی	۷/۳۱	۶۰/۸	۵۳	۴۶/۰	۰/۵۷	ناچیز	۱۰/۸
۲	البرز-کرج	لوم	۷/۷۵	۰/۹۱	۴۴	۱۰/۹	۰/۸۹	ناچیز	۲۲/۰

SP: بیانگر درصد اشباع، OC: کربن آلی، EC: هدایت الکتریکی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی و CCE: کربنات کلسیم معادل خاک

همچنین تعداد ۲۹ نمونه خاک گچی طبیعی از مناطق مختلف ایران (استان‌های فارس، بوشهر، یزد، گیلان، قزوین، البرز، مرکزی و زنجان) نمونه‌برداری، هواخشک شده و پس از کوبیده شدن از الک ۱۰ مش عبور داده شدند (جدول ۲). در کلیه نمونه‌ها EC و pH در عصاره اشباع (Rhoades, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتر (Page, 1965)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر در حضور دی‌کرومات پتاسیم (Walkley & Black, 1934)، بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک نیز به روش سه مرحله‌ای (1952) Bower et al., اندازه‌گیری گردید.

سینتیک انحلال گچ

برای بررسی اثر زمان بر حلالیت گچ (بازیابی مقدار گچ) در یک آزمایش سینتیکی در محیط آزمایشگاه، مقدار گچ خاک‌های مصنوعی اندازه‌گیری شدند. در این آزمایش از آب مقطر بعنوان عصاره‌گیر استفاده و سینتیک انحلال گچ در دو نسبت خاک به آب ۱:۲۰۰ و ۱:۴۰۰ بررسی گردید. آزمایش سینتیک انحلال گچ فقط در خاک غیرشور مورد مطالعه قرار گرفت. انتخاب نسبت ۱:۲۰۰ به منظور بررسی امکان‌پذیری اندازه‌گیری گچ در دامنه کم تا زیاد و انتخاب نسبت ۱:۴۰۰ جهت اطمینان از انحلال کامل گچ (۲/۵ گرم در لیتر که معادل حلالیت گچ است) در عصاره انتخاب شدند. در نسبت ۱:۲۰۰ مقدار ۰/۵ گرم از خاک‌های مورد نظر توزین و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و در نسبت ۱:۴۰۰ این آزمایش با ۰/۲۵ گرم خاک انجام شد. سوسپانسیون حاصله به مدت زمان‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ ساعت با استفاده از یک تکان‌دهنده دورانی تکان داده شد. بعد از زمان‌های فوق نمونه به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و از کاغذ صافی (F1005 grade, CHMLAB group) عبور داده شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره بدست آمده به لوله سانتریفیوژ منتقل و ۲۰ میلی‌لیتر محلول استون به آن اضافه گردید. نمونه به مدت ۵ دقیقه با استفاده از یک تکان‌دهنده رفت و برگشتی تکان داده شده و سپس ۱۰ دقیقه به حال خود رها شد تا رسوب تشکیل شود. سپس نمونه به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع روئی با دقت کامل تخلیه و به رسوب باقیمانده ۱۰ میلی‌لیتر استون اضافه و مجدداً به مدت ۵ دقیقه با استفاده از شیکر تکان داده و سپس ۱۰ دقیقه به حال خود رها گردید. مایع روئی به آرامی تخلیه و تیوب حاوی رسوب به یک آون با درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید (درب آون در حالت نیمه باز) تا تمامی استون داخل نمونه تبخیر شود. سپس ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه و بهم زده شد تا رسوب کاملاً حل گردد. هدایت الکتریکی محلول حاصله قرائت و با استفاده از نمودار کالیبراسیون مربوطه مقدار گچ حل شده در هر زمان محاسبه گردید (Bower & Huss, 1948).

جدول ۲- خصوصیات عمومی خاک‌های گچی نمونه برداری شده از مناطق مختلف کشور

شماره	محل نمونه برداری (استان - شهرستان)	بافت خاک	گچ (%)	CCE (%)	OC (%)	pH	EC (dS/m)	SP (%)
۱	فارس- خنج	گچی*	۲۵/۸	۴۱/۰	۰/۷۴	۸/۱	۴/۳	۵۳
۲	بوشهر-دشتستان	لوم شنی	۱۹/۱	۴۷/۵	۰/۴۰	۸/۰	۷/۹	۳۳
۳	بوشهر-دشتستان	لوم سیلتی	۱۸/۸	۴۵/۰	۰/۴۶	۷/۷	۱۳/۷	۴۴
۴	بوشهر-دشتستان	لوم سیلتی	۲۴/۵	۴۰/۰	۰/۴۶	۷/۷	۴۹/۴	۴۱
۵	یزد-مهریز	شن لومی	۱۸/۹	۱۷/۰	۰/۹۰	۷/۵	۵/۷	۲۷
۶	زنجان-زنجان	گچی	۵۸/۱	۶/۸	۰/۳۰	۷/۶	۲/۸	۶۰
۷	زنجان-زنجان	گچی	۷۱/۰	۶/۶	۰/۱۰	۷/۷	۳/۰	۶۶
۸	زنجان-زنجان	گچی	۶۰/۹	۳/۷	۰/۱۰	۷/۸	۳/۴	۶۷
۹	زنجان-زنجان	گچی	۴۵/۰	۸/۰	۰/۱۰	۷/۵	۲/۷	۴۶
۱۰	زنجان-زنجان	گچی	۴۷/۰	۹/۰	۰/۱۰	۷/۶	۲/۸	۴۶
۱۱	زنجان-زنجان	گچی	۵۹/۶	۴/۴۰	۰/۱۰	۷/۵	۴/۳	۵۶
۱۲	قزوین-قزوین	لوم سیلتی	۰/۱۷	۳۳/۰	۰/۸۵	۷/۵	۰/۷	۴۳
۱۳	قزوین-قزوین	لوم سیلتی	۰/۳۹	۳۸/۰	۰/۹	۷/۷	۲/۵	۴۴
۱۴	البرز-کرج	لوم	۰/۵۸	۱۵/۰	۰/۶۳	۷/۰	۱/۲	۴۰
۱۵	البرز-کرج	سیلتی لوم	۰/۲۴	۲۱/۰	۰/۸۱	۷/۳	۰/۹	۴۵
۱۶	البرز-کرج	لوم شنی	۴/۵	۲۰/۱	۰/۷	۷/۱	۲/۰	۳۳
۱۷	مرکزی-محلات	شن لومی	۱۰/۷	۲۵/۱	۰/۵۱	۸/۰	۲/۸	۳۵
۱۸	مرکزی-محلات	شن لومی	۳/۰	۱۶/۸	۰/۷۲	۸/۰	۲/۹	۳۷
۱۹	مرکزی-محلات	لوم شنی	۶/۵	۱۲/۰	۰/۳۵	۸/۰	۳/۱	۳۵
۲۰	مرکزی-محلات	لوم شنی	۱۴/۶	۲۱/۰	۰/۸۰	۸/۰	۲/۷	۳۳
۲۱	مرکزی-محلات	لوم شنی	۲۴/۱	۱۴/۵	۰/۶۶	۸/۱	۸/۸	۳۳
۲۲	مرکزی-محلات	لوم شنی	۱۴/۶	۱۶/۰	۰/۴۵	۸/۱	۸/۰	۳۲
۲۳	گیلان-منجیل	گچی	۶۴/۱	۱/۲۵	۰/۲۰	۸/۰	۲/۸	۴۰
۲۴	گیلان-منجیل	گچی	۶۵/۸	۱/۷۲	۰/۲۴	۸/۰	۲/۶	۳۹
۲۵	گیلان-منجیل	گچی	۶۲/۳	۲/۰	۰/۱۸	۸/۱	۶/۲	۳۸
۲۶	گیلان-منجیل	گچی	۶۴/۶	۲/۹	۰/۱۸	۸/۱	۳/۰	۴۱
۲۷	گیلان-منجیل	گچی	۵۶/۷	۴/۴	۰/۲۶	۸/۱	۲/۶	۴۳
۲۸	گیلان-منجیل	گچی	۴۶/۰	>۰/۵	۰/۰۹	۸/۱	۲/۵	۳۷
۲۹	گیلان-منجیل	گچی	۲۹/۸	۲/۵	۰/۰۰	۸/۱	۲/۵	۳۸

در جدول فوق SP بیانگر درصد اشباع، OC: کربن آلی، EC: هدایت الکتریکی و CCE بیانگر کربنات کلسیم معادل خاک می باشد.

* بافت اشاره به خاک‌های گچی دارد که بعلت وجود گچ زیاد از پراکنده سازی ذرات خاک توسط محلول گالگون جلوگیری می نماید. برای اندازه گیری درصد ذرات رس، سیلت و شن در این خاک‌ها لازم است گچ از خاک شسته شود که در آزمایشگاه معمول نیست و بافت خاک بصورت گچی گزارش می شود.

اثر نوع عصاره گیر بر اندازه گیری گچ

به منظور مطالعه اثر نوع عصاره گیر بر مقدار گچ اندازه گیری شده، مقدار گچ موجود در خاک‌های گچی مصنوعی توسط عصاره گیرهای مختلف استخراج و در نهایت با رسوب گچ در استون، مقدار گچ بازیابی شده توسط عصاره گیرهای مختلف اندازه گیری گردید. عصاره گیرهای انتخابی عبارت بودند از آب مقطر و محلول‌های NaCl, KCl و MgCl₂ (با عیار آزمایشگاهی) که هر کدام در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۱ مولار تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین به منظور بررسی اثر نسبت عصاره گیر به خاک عصاره گیری با محلول‌های فوق در دو نسبت خاک به عصاره گیر ۱:۲۰۰ و ۱:۴۰۰ انجام گردید. اندازه گیری گچ در نمونه‌ها نیز همانند بخش سینتیک انحلال گچ انجام گردید. در نهایت مناسبترین عصاره گیرها به لحاظ بازیابی مقدار گچ انتخاب و توانایی آن‌ها در استخراج و اندازه گیری گچ در خاک‌های طبیعی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

سنجش درجه اشباع عصاره نهایی نسبت به گچ با استفاده از عصاره‌گیر آب مقطر

برای اطمینان از اینکه محلول نهایی مورد استفاده برای تعیین گچ نسبت به گچ به حالت اشباع نرسیده است از پارامتر EC استفاده شد. در صورتی که محلول نهایی (محلولی که برای قرائت EC و محاسبه گچ مورد استفاده قرار می‌گیرد) نسبت به گچ اشباع باشد، اندازه‌گیری گچ در این محلول منجر به کم‌برآورد در اندازه‌گیری گچ می‌شود و لازم است که عصاره‌گیری گچ در نسبت‌های کمتر خاک به آب انجام گیرد. برای تعیین معیاری جهت اطلاع از درجه اشباع عصاره نسبت به گچ از EC استفاده شد. به این منظور خاک‌های گچی (شور و غیر شور) مصنوعی با مقدار گچ ۲۰ درصد انتخاب شدند. مقادیر ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ گرم از خاک‌ها توزین و به آن ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. فرایند عصاره‌گیری و تهیه محلول‌ها همانند آنچه در قسمت "سینتیک انحلال گچ" توضیح داده شد ادامه یافت. در نهایت نمودار مقادیر EC نسبت به وزن اولیه خاک و همچنین مقدار گچ ترسیم و نقطه تغییر شیب خط بعنوان نسبت خاک به آب مناسب برای اندازه‌گیری گچ در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری گچ در خاک‌های طبیعی

برای مقایسه کارایی عصاره‌گیرها در اندازه‌گیری گچ در خاک‌های طبیعی، ۲۹ نمونه خاک طبیعی که دارای دامنه تغییرات وسیعی به لحاظ گچ و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بودند انتخاب (جدول ۲) و مقدار گچ آنها با دو عصاره‌گیر انتخابی اندازه‌گیری گردید. برای ارزیابی تکرارپذیری نتایج بدست آمده از عصاره‌گیرها، تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و مقادیر انحراف معیار و انحراف معیار نسبی برای هر عصاره‌گیر و نمونه خاک محاسبه گردید. تمامی برازش‌های رگرسیونی و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism 8 انجام شد.

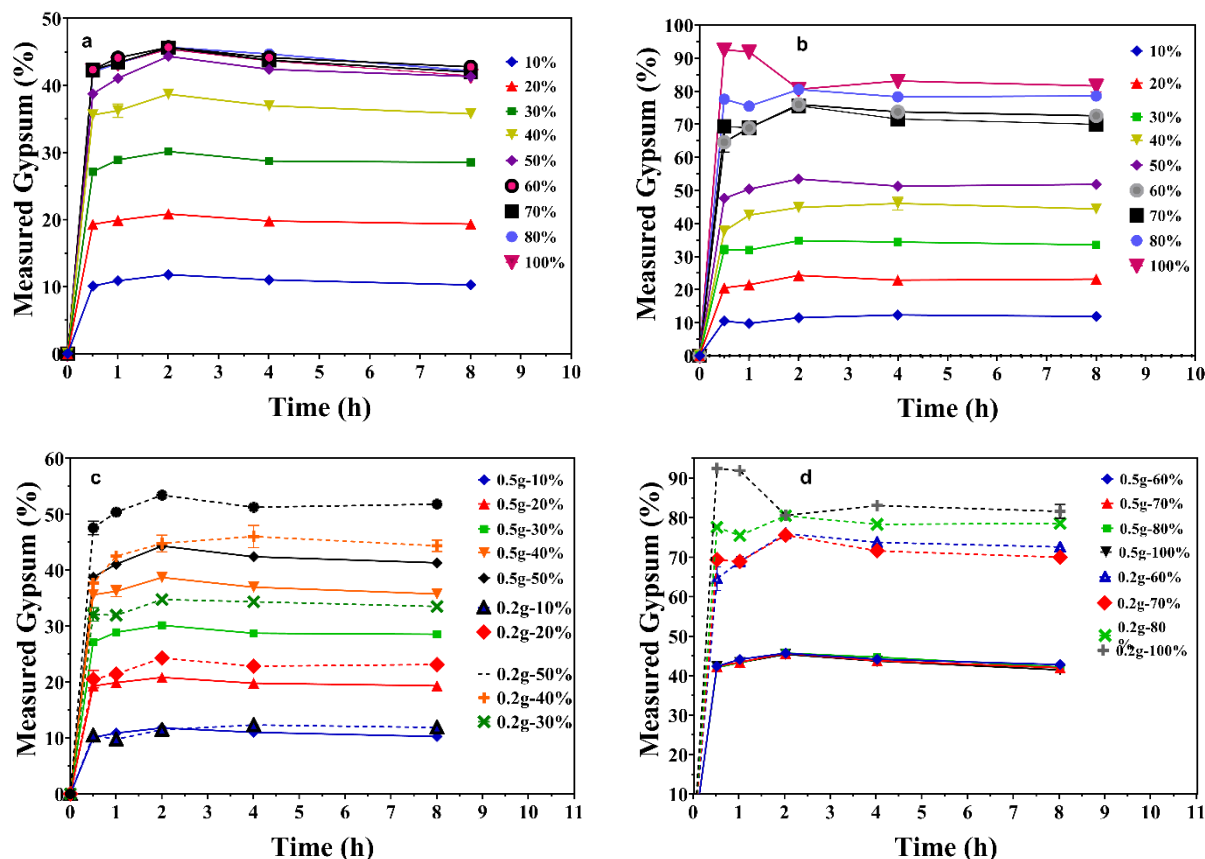
نتایج و بحث

سینتیک انحلال گچ

اثر زمان تماس بر انحلال گچ در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان بطور کلی انحلال گچ واکنشی سریع بوده و قسمت عمده گچ (بیش از ۹۵ درصد) موجود در نمونه در مدت زمانی کمتر از ۰/۵ ساعت حل گردید. افزایش بیشتر زمان تماس افزایش مختصری (۱-۵ درصد) در میزان گچ عصاره‌گیری شده داشت. شکل ۱a سینتیک انحلال گچ در نسبت خاک به آب ۲۰۰:۱ را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است انحلال گچ در نیم ساعت اولیه به تعادل رسیده و بعد از آن تغییرات محسوسی در انحلال گچ مشاهده نمی‌شود. نکته قابل تامل در این شکل کم‌برآورد مقدار گچ در نمونه‌های با درصد گچ بالاتر از ۴۰ درصد می‌باشد. این کم‌برآورد مربوط به محدودیت انحلال گچ و اشباع شدن محلول عصاره‌گیر نسبت به گچ می‌باشد. در نسبت خاک به آب ۴۰۰:۱ نتایج نشان از بیش‌برآورد مقدار گچ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های با غلظت ۵۰ درصد و کمتر داشت و افزایش زمان تماس باعث افزایش این بیش‌برآورد گردید (شکل ۱b). هر چند که مقدار افزایش انحلال گچ بعد از زمان ۰/۵ ساعت قابل توجه نبود و واکنش نسبتاً به تعادل رسید. رفتار نمونه‌های با درصد گچ بالاتر از ۶۰ درصد متفاوت از بقیه نمونه‌ها بود بطوری که نمونه با ۶۰ درصد گچ بیش از ۱۰ درصد بیش‌برآورد نشان داد ولی اندازه‌گیری مقدار گچ در نمونه خالص گچ (۱۰۰ درصد گچ) کم برآورد داشت. این کم‌برآورد با افزایش زمان تماس تشدید گردید بطوری که در زمان ۸ ساعت بیش از ۱۸ درصد کم‌برآورد در این نمونه مشاهده گردید در حالی که این کم‌برآورد در زمان‌های اولیه (۰/۵ ساعت) فقط ۷/۵ درصد بود. نمونه دارای ۷۰ درصد گچ تقریباً رفتاری مشابه نمونه‌های با درصد گچ کمتر از ۵۰ درصد گچ داشت (بیش‌برآورد با افزایش زمان) در حالیکه نمونه دارای ۸۰ درصد گچ نسبتاً کم‌برآورد نشان داد. بطور کلی مقدار گچ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد گچ در زمان ۰/۵ ساعت ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۲۰/۵، ۳۲/۱، ۳۷/۷، ۴۷/۶، ۶۴/۶، ۶۹/۴، ۷۷/۶ و ۹۲/۵ درصد بدست آمد در حالیکه در پایان زمان ۸ ساعت مقدار گچ اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر با ۱۱/۹، ۲۳/۱، ۳۳/۵، ۴۴/۴، ۵۱/۸، ۷۲/۶، ۷۰/۰، ۷۸/۶ و ۸۱/۶ درصد بود. سینتیک انحلال گچ در نسبت ۲۰۰:۱ کاملاً متفاوت از حالت ۴۰۰:۱ بود (شکل ۱a). مقدار گچ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های با مقدار گچ ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و زمان تماس کمتر از ۴ ساعت برآورد خوبی از مقدار گچ موجود در نمونه ارائه داد (بدون بیش‌برآورد یا کم‌برآورد) بطوریکه مقدار گچ اندازه‌گیری شده با مقادیر واقعی کمتر از ۱۰ درصد اختلاف داشت. مقدار گچ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های با درصد گچ بیشتر از ۴۰ درصد کم‌برآورد نشان داد و این کم‌برآورد نیز با افزایش مقدار گچ تشدید گردید. بطور کلی مقدار گچ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد گچ در زمان ۰/۵ ساعت به ترتیب برابر با ۱۰/۱، ۱۹/۳، ۲۷/۱، ۳۵/۶، ۳۸/۷، ۴۲/۴، ۴۲/۳، ۴۲/۰ و ۴۲/۲ درصد بود و با افزایش زمان تماس نیز تغییرات قابل توجهی نشان نداد. مقدار کم برآورد در این نمونه‌ها به ترتیب ۱-، ۳/۵، ۹/۶، ۱۱/۰، ۲۲/۴، ۲۹/۳، ۳۹/۶، ۴۷/۵ و ۵۷/۸ درصد بود. همانطور که از نتایج قابل استنتاج است با افزایش درصد گچ نمونه مقدار بعلت اشباع محلول عصاره‌گیر نسبت به گچ، کم برآورد تشدید می‌شود.

شکل ۱c (نمونه‌های با درصد گچ کمتر از ۵۰ درصد) و ۱d (نمونه‌های با درصد گچ بیشتر از ۵۰ درصد) مقایسه سینتیک انحلال گچ در نمونه خاک‌های گچی مصنوعی در نسبت‌های خاک به آب ۲۰۰:۱ و ۴۰۰:۱ را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است در کل دامنه غلظتی مورد مطالعه عصاره‌گیری با نسبت ۴۰۰:۱ (خطوط نقطه‌چین) مقدار گچ را نسبت به ۲۰۰:۱ (خطوط ممتد) بیشتر برآورد می‌نماید. درصد گچ اندازه‌گیری شده در زمان ۸ ساعت و در نسبت ۲۰۰:۱ در نمونه‌های با درصد گچ ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب برابر با ۱۰/۳، ۱۹/۳، ۲۸/۵،

حال اینکه این مقادیر در نسبت ۱:۴۰۰ به ترتیب برابر با ۱۱/۸، ۲۳/۱، ۳۳/۵، ۴۴/۴، ۵۱/۸، ۷۲/۵، ۶۹/۹ و ۷۸/۵ درصد بود. همانطور که از اعداد گزارش شده همینطور شکل مربوطه (۱d) مشخص می‌باشد اختلاف بین دو نسبت در نمونه‌های با مقدار گچ بیشتر از ۶۰ درصد قابل توجه می‌باشد. هرچند که در غلظت‌های کمتر از ۵۰ درصد نمودارها تا حدودی بر هم منطبق هستند (شکل ۱c).



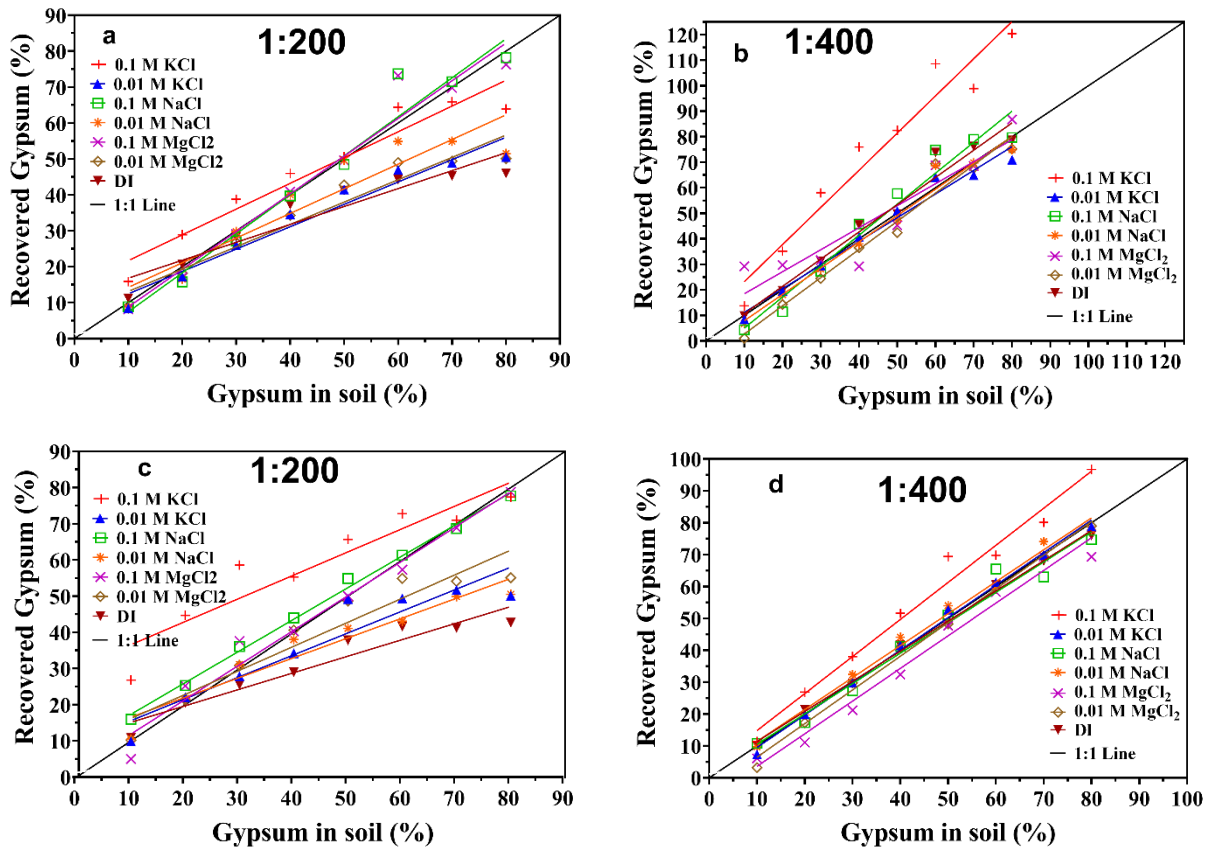
شکل ۱ - اثر زمان بر انحلال گچ در نمونه‌های با درصد گچ متفاوت (a) نسبت خاک به آب (۱:۲۰۰، b) نسبت خاک به آب (۱:۴۰۰، c) مقایسه اثر زمان بر انحلال گچ در نمونه‌های با درصد کمتر از ۵۰ درصد (مقایسه نسبت‌های خاک به آب ۱:۲۰۰ و ۱:۴۰۰). در راهنمای شکل‌های a و b اعداد نشان داده شده به صورت درصد بیانگر خاک‌های با درصدهای متفاوت گچ می‌باشند. c و d) مقایسه اثر زمان بر انحلال گچ در نمونه‌های با درصد گچ بیشتر از ۵۰ درصد (مقایسه نسبت‌های خاک به آب ۱:۲۰۰ و ۱:۴۰۰). در راهنمای شکل‌های c و d از چپ به راست عدد اون بیانگر وزن خاک و عدد دوم بیانگر درصد گچ در خاک مورد آزمایش می‌باشند. همچنین خطوط خط چین بیانگر نسبت ۱:۴۰۰ و خطوط ممتد بیانگر نسبت ۱:۲۰۰ می‌باشند.

کم‌برآورد گچ در نسبت‌های کم خاک به آب (۱:۲۰۰) را می‌توان به اشباع شدن محلول تعادلی نسبت به گچ ربط داد. حلالیت گچ در محلول‌های آبی ۲/۵ گرم در لیتر بیان شده است (Lebedev & Kosorukov, 2017; Omran, 2016). با احتساب این حلالیت (که این به نوبه خود مربوط به شرایط ایده‌آل می‌باشد) وقتی که عصاره‌گیری با نسبت ۱:۲۰۰ انجام می‌شود قابل انتظار است (۱ گرم نمونه در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) که روش بتواند نهایتاً تا ۵۲/۸ درصد گچ را اندازه‌گیری نماید اما وقتی عصاره‌گیری با نسبت ۱:۴۰۰ انجام می‌شود انتظار می‌رود تمام گچ موجود در نمونه (۱۰۰ درصد) را عصاره‌گیری و اندازه‌گیری نماید. سینتیک انحلال گچ در شرایط مختلف توسط محققان زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است (Gobran & Miyamoto, 1985; Kuechler, Noack, & Zorn, 2004; Lebedev, 2015). نتایج Gobran and Miyamoto (1985) نشان داد که حلالیت گچ در محلول‌های نمکی سریع بوده و در مدت زمانی کمتر از ۰/۵ ساعت به تعادل می‌رسد. در حالی که نتایج Kuechler et al. (2004) نشان داد که سرعت انحلال گچ به مقدار اولیه گچ (نسبت گچ به آب) بستگی دارد بطوری که در نسبت ۱:۴۰۰ تعادل در ۰/۵ ساعت اولیه حاصل شد ولی در نسبت ۱:۱۳۳ انحلال گچ بعد از گذشت ۲ ساعت به تعادل رسید. Raines and Dewers (1997) با مطالعه انحلال گچ در آب مقطر و محلول‌های با قدرت یونی‌های متفاوت از منبع نمک‌های NaCl و MgCl₂ گزارش کردند سینتیک انحلال گچ تأثیر کمی از قدرت یونی می‌پذیرد. اندازه ذرات بلورهای گچ و نسبت خاک به آب از پارامترهای مهم در سینتیک انحلال گچ و حصول زمان تعادل هستند (Raines & Dewers, 1997). همچنین Lebedev and Kosorukov (2017) گزارش کردند که اندازه ذرات بلورهای گچ، زمان تبلور آنها (سن) و وزن تشکیل این بلورها بر شکل منحنی‌های

سینتیک انحلال نیز تأثیر می‌گذارد.

اثر نوع عصاره‌گیر بر مقدار گچ اندازه‌گیری شده

نتایج مربوط به استفاده از محلول‌های نمکی بعنوان عصاره‌گیر در استخراج و اندازه‌گیری گچ در شکل ۲ نشان داده شده است. برای رسم شکل‌ها، نمودار مقدار گچ موجود در خاک‌ها در مقابل مقدار گچ اندازه‌گیری شده (با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف) ترسیم گردیده و به نقاط حاصله یک معادله خطی برازش داده شد. معادله خط به همراه ضریب تبیین (R^2) مربوطه در جدول ۳ ارائه شده است. از خط ۱:۱ بعنوان معیاری برای تعیین بیش‌برآورد یا کم‌برآورد توسط عصاره‌گیرهای مختلف استفاده شد. در صورتی که عصاره‌گیری بتواند به‌طور کامل گچ را عصاره‌گیری و اندازه‌گیری نماید (عدم وجود مزاحمت‌ها) شیب خط مربوطه به سمت یک میل کرده و از مبدأ عبور می‌نماید (عرض از مبدا به صفر میل می‌کند)؛ عبارتی دیگر خط رگرسیونی مربوطه بر نمودار ۱:۱ منطبق می‌گردد. بنابراین هرگونه انحراف در شیب و عرض از مبدا بیانگر بیش‌برآورد یا کم‌برآورد در اندازه‌گیری گچ می‌باشد. در نسبت ۲۰۰:۱ عصاره‌گیر ۰/۰۱ مولار $MgCl_2$ بهترین عصاره‌گیری را انجام داده و بعد از آن محلول ۰/۱ مولار $NaCl$ قرار دارد. شیب کمتر نمودار در سایر عصاره‌گیرها بخصوص آب مقطر بیانگر تشدید کم‌برآورد با افزایش مقدار گچ در نمونه است. بعبارت دیگر با افزایش مقدار گچ در نمونه خاک، ناتوانی این عصاره‌گیرها در انحلال گچ تشدید می‌گردد (شکل ۲a). در خاک غیرشور نیز در نسبت ۲۰۰:۱ محلول ۰/۱ مولار $NaCl$ بهترین همخوانی را با مقادیر واقعی گچ داشت (شکل ۲c). در هردو خاک (شور و غیرشور) در نسبت ۴۰۰:۱ عصاره‌گیر ۰/۰۱ M $NaCl$ مولار بهترین برآورد را ارائه نموده و بعد از آن به ترتیب آب مقطر و ۰/۰۱ M KCl مولار قرار دارند (شکل ۲b و ۲d). ضمن اینکه عصاره‌گیرهای ۰/۱ M $NaCl$ آب مقطر نیز همخوانی قابل قبولی با مقادیر واقعی گچ در نمونه‌ها داشتند.



شکل ۲- اثر عصاره‌گیرهای مختلف بر میزان استخراج گچ از خاک‌های گچی مصنوعی شور (تعداد کل خاک‌ها ۱۰ عدد) در دو نسبت عصاره‌گیری ۲۰۰:۱ (a) و ۴۰۰:۱ (b) و اثر عصاره‌گیرهای مختلف بر میزان استخراج گچ از خاک‌های گچی مصنوعی غیرشور (تعداد کل خاک‌ها ۱۰ عدد) در دو نسبت عصاره‌گیری ۲۰۰:۱ (a) و ۴۰۰:۱ (b). در راهنمای شکل‌های فوق اعداد بیانگر غلظت عصاره‌گیر و حروف فرمول شیمیایی عصاره‌گیر را نشان می‌دهند. DI نیز نشان‌دهنده آب مقطر می‌باشد.

جدول ۳- معادله خط حاصل از برازش نمودار خطی بر داده‌های حاصل از مقدار گچ اندازه‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف

نسبت عصاره‌گیر به خاک		عصاره‌گیر		خاک غیرشور		خاک شور	
R ²	معادله خط	R ²	معادله خط	R ²	معادله خط	R ²	معادله خط
۰/۹۳	$y = ۰/۶۲۲x + ۶/۲۶۲$	۰/۸۹	$y = ۰/۶۰۶x + ۹/۵۵$	۰/۸۹	$y = ۰/۶۰۶x + ۹/۵۵$	۰/۹۳	$y = ۰/۶۲۲x + ۶/۲۶۲$
۰/۹۴	$y = ۰/۷۱۷x + ۱۴/۵۰۶$	۰/۸۷	$y = ۰/۶۴۱x + ۳۰/۱۷۹$	۰/۸۷	$y = ۰/۶۴۱x + ۳۰/۱۷۹$	۰/۹۴	$y = ۰/۷۱۷x + ۱۴/۵۰۶$
۰/۸۷	$y = ۰/۶۸۶x + ۷/۳۷۹$	۰/۹۳	$y = ۰/۵۴۸x + ۱۱/۰۹$	۰/۹۳	$y = ۰/۵۴۸x + ۱۱/۰۹$	۰/۸۷	$y = ۰/۶۸۶x + ۷/۳۷۹$
۰/۹۷	$y = ۱/۰۸۵x - ۳/۴۱۲$	۰/۹۹	$y = ۰/۹۷۵x + ۸/۶۰۳$	۰/۹۹	$y = ۰/۹۷۵x + ۸/۶۰۳$	۰/۹۷	$y = ۱/۰۸۵x - ۳/۴۱۲$
۰/۹۶	$y = ۱/۰۴۹x - ۱/۶۸۴$	۰/۹۱	$y = ۰/۶۶۴x + ۹/۵۷$	۰/۹۱	$y = ۰/۶۶۴x + ۹/۵۷$	۰/۹۶	$y = ۱/۰۴۹x - ۱/۶۸۴$
۰/۹۳	$y = ۰/۶۲۱x + ۶/۹۱۱$	۰/۹۷	$y = ۰/۹۷۵x + ۲/۳۲$	۰/۹۷	$y = ۰/۹۷۵x + ۲/۳۲$	۰/۹۳	$y = ۰/۶۲۱x + ۶/۹۱۱$
۰/۸۹	$y = ۰/۴۹۸۷x + ۱۱/۸۴۳$	۰/۹۲	$y = ۰/۴۵۷x + ۱۰/۵۷$	۰/۹۲	$y = ۰/۴۵۷x + ۱۰/۵۷$	۰/۸۹	$y = ۰/۴۹۸۷x + ۱۱/۸۴۳$
۰/۹۷	$y = ۰/۹۲۸x + ۱/۸۱۴$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۱x - ۰/۶۴۸$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۱x - ۰/۶۴۸$	۰/۹۷	$y = ۰/۹۲۸x + ۱/۸۱۴$
۰/۹۴	$y = ۱/۴۵۷x + ۸/۵۵۴$	۰/۹۸	$y = ۱/۱۶۲x + ۳/۱۸۶$	۰/۹۸	$y = ۱/۱۶۲x + ۳/۱۸۶$	۰/۹۴	$y = ۱/۴۵۷x + ۸/۵۵۴$
۰/۹۷	$y = ۱/۰۳۱x + ۲/۴۴۵$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۰x + ۱/۴$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۰x + ۱/۴$	۰/۹۷	$y = ۱/۰۳۱x + ۲/۴۴۵$
۰/۹۶	$y = ۱/۲۱۵x - ۷/۲۰۹$	۰/۹۷	$y = ۰/۹۶۰x + ۰/۸۰۴$	۰/۹۷	$y = ۰/۹۶۰x + ۰/۸۰۴$	۰/۹۶	$y = ۱/۲۱۵x - ۷/۲۰۹$
۰/۹۷	$y = ۱/۱۰۶x - ۸/۴۳۲$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۵۶x - ۴/۱$	۰/۹۹	$y = ۱/۰۵۶x - ۴/۱$	۰/۹۷	$y = ۱/۱۰۶x - ۸/۴۳۲$
۰/۸۵	$y = ۰/۸۶۴x + ۹/۹۵۶$	۰/۹۸	$y = ۱/۰۲۴x - ۶/۶۶$	۰/۹۸	$y = ۱/۰۲۴x - ۶/۶۶$	۰/۸۵	$y = ۰/۸۶۴x + ۹/۹۵۶$
۰/۹۷	$y = ۱/۰۶۸x - ۰/۰۱۱$	۰/۹۹	$y = ۰/۹۴۶x + ۱/۹۱$	۰/۹۹	$y = ۰/۹۴۶x + ۱/۹۱$	۰/۹۷	$y = ۱/۰۶۸x - ۰/۰۱۱$

بطور کلی در نسبت‌های بالای خاک به عصاره‌گیر (۴۰۰:۱)، عصاره‌گیرهای KCl و NaCl ۰/۱ مولار شیب بیشتری در برآورد گچ داشتند که بیانگر افزایش بیش‌برآورد با افزایش مقدار گچ در خاک می‌باشد. همانطور که در بالا نیز بیان شد کم‌برآورد گچ توسط عصاره‌گیرها در نسبت ۲۰۰:۱ به علت اشباع محلول عصاره‌گیر نسبت به گچ می‌باشد. استفاده از محلول‌های NaCl، KCl و MgCl₂ به علت افزایش قدرت یونی (اثر یون غیر مشترک) حلالیت گچ را افزایش داده و باعث گردید که تا حدودی از کم‌برآورد گچ جلوگیری شود (Ben Ahmed et al., 2014). افزایش ۱۰ برابری غلظت این عصاره‌گیرها از ۰/۱ به ۰/۱ باعث افزایش بیشتر حلالیت و به طبع آن افزایش مقدار گچ اندازه‌گیری شده توسط این عصاره‌گیرها شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که محلول‌های مختلف مورد استفاده جواب‌های متفاوتی با تغییر غلظت و مقدار گچ خاک بدست می‌دهند. وجود این تغییرات باعث می‌شود که نتوان با اطمینان یکی از آنها را برای عصاره‌گیری توصیه کرد. هرچند که عصاره‌گیری گچ با محلول‌های نمکی نسبت به آب مقطر این امکان را فراهم می‌نماید که در نسبت‌های کمتر خاک به آب بتوان مقدار گچ خاک را اندازه‌گیری نمود. این اثر هنگامی که غلظت گچ در نمونه‌های مورد مطالعه بالا باشد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اما این محلول‌های نمکی در غلظت‌های بالا باعث خطا در اندازه‌گیری و بیش‌برآورد در مقدار گچ می‌شوند. با اینحال با توجه به نتایج بدست آمده، محلول ۰/۱ مولار کلرید سدیم و آب مقطر که برآورد بهتری از مقدار گچ موجود در نمونه ارائه نمودند برای اندازه‌گیری گچ در نمونه‌های خاک طبیعی انتخاب و استفاده شدند. Tanji (1969) بار بررسی در محلول‌های الکترولیت با قدرت یونی کمتر از ۰/۱۵ مولار گزارش کردند که در حضور یون کلسیم و سولفات از منابعی مثل CaCl₂، Na₂SO₄ و MgSO₄ به دلیل اثر یون مشترک حلالیت گچ کاهش یافت. افزایش قدرت یونی باعث کاهش شدیدتر حلالیت گچ شد. Cameron (2002) گزارش کردند حلالیت گچ در محلول‌های حاوی NaCl با افزایش غلظت محلول، حلالیت گچ افزایش یافت. Trivedi et al., (2014) اثر نمک‌های نیترات (در قدرت یونی‌های مختلف حاصل از نمک NaCl) بر حلالیت گچ را بررسی و گزارش نمودند که با افزایش غلظت نیترات حلالیت گچ افزایش یافت و مقدار این افزایش با افزایش قدرت یونی تشدید گردید.

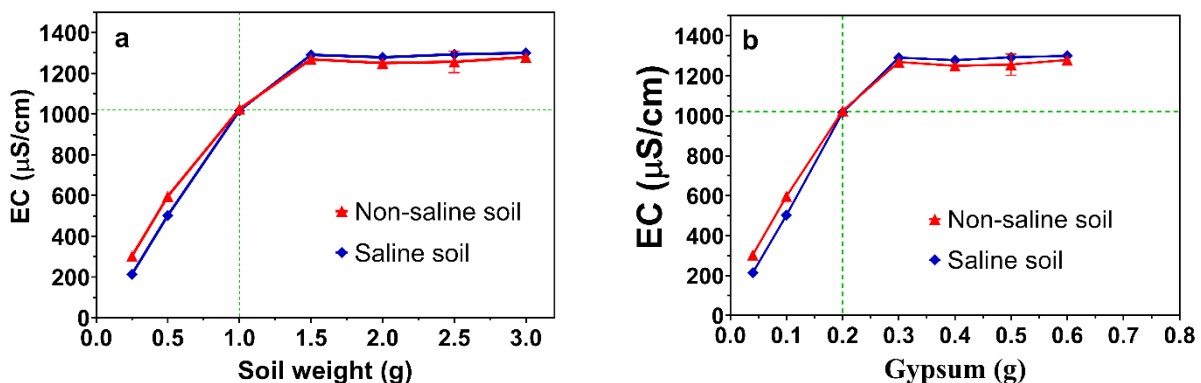
Gobran and Miyamoto (1985) گزارش کردند که حلالیت گچ در محلول‌های نمکی افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت نمک حلالیت گچ بیشتر افزایش یافت. در غلظت برابر NaCl و MgCl₂ گچ با سرعت بیشتری در محلول MgCl₂ حل شد. اما در غلظت برابر NaCl، MgSO₄ و Na₂SO₄ مقدار گچ حل شده در دو نمک MgSO₄ و Na₂SO₄ ۳۰ درصد کمتر از NaCl بود. Hong, Fan, Yu, and Cao (2018) گزارش کردند که نوع محلول عصاره‌گیر (آب خالص، آب دریا، محلول ۰/۳ درصد وزنی CO₂ و محلول ۰/۲ درصد وزنی استیک اسید) اثر کمی بر انحلال گچ داشت و گچ در تمامی این محلول‌ها حل گردید. Yaghmaeian Mahabadi and Givi (2008) گزارش کردند که روش استونی که از آب بعنوان عصاره‌گیر بهره می‌برد، به دلیل حلالیت پایین گچ در آب روش قابل اتکالی برای اندازه‌گیری گچ نمی‌باشد. در این تحقیق از عصاره‌گیر بعنوان مهمترین پارامتر در اندازه‌گیری گچ نام برده و گزارش شد که کربنات سدیم بیشترین کارایی را در استخراج گچ داشت.

سنجش درجه اشباع محلول نسبت به گچ با استفاده از پارامتر EC

شکل ۳ اثر مقدار خاک (a) و مقدار گچ (b) موجود در نمونه را بر EC تعادلی محلول‌های در تعادل با این خاک‌ها را نشان می‌دهد. خاک‌های شور و غیر شور مورد استفاده در این آزمایش دارای ۲۰ درصد گچ بودند. همانطور که در شکل نشان داده شده است حلالیت گچ موجود در خاک تا وزن یک

گرم (در حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر) حالتی نسبتاً خطی دارد و بعد از آن از حالت خطی خارج می‌شود. در این حالت EC ایجاد شده ناشی از انحلال گچ از ۱۰۱۵ تا ۱۰۳۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu\text{S/cm}$) متغیر است. براساس آنچه که در شکل ۳b نشان داده شده است مقدار گچ حل شده در آب در این حالت ۰/۲ گرم است که با احتساب حجم کل عصاره مورد استفاده (۱۰۰ میلی‌لیتر) در صورتی که به مقیاس لیتر تبدیل شود حلالیتی برابر با ۲ گرم بر لیتر بدست می‌دهد. این مقدار با حلالیت نمک گچ خالص در آب مقطر (۲-۲/۵ گرم در لیتر) همخوانی دارد (Lebedev & Kosorukov, 2017). یک محلول اشباع در تعادل با گچ خالص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی برابر با ۲/۲ dS/cm دارد و غلظت گچ در آن ۳۰/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (۲/۵۹ گرم بر لیتر) می‌باشد. اگر در محلول مورد نظر یون‌های کلسیم و سولفات از منابع دیگری غیر از گچ وجود داشته باشند به علت اثر یون مشترک حلالیت گچ کمتر از مقدار گزارش شده خواهد بود. در صورتی که وجود سایر یون‌ها به علت اثر یون غیرمشترک باعث حلالیت بیشتر گچ خواهد شد (Porta, 1998). (Visconti et al, 2010). گزارش کردند که در خاک‌های گچی (بیشتر از ۰/۲ درصد گچ) برای تبدیل EC در محلول نسبت ۵:۱ به EC در عصاره اشباع به ضرایب بدست آمده در EC های بین ۱۰۰۰ تا ۲۴۰۰ $\mu\text{S/cm}$ قابل اتکا نخواهند بود. زیرا در این حالت عصاره تهیه شده نسبت به گچ در حالت اشباع قرار دارد. (Kuechler et al. (2004). در شرایط اشباع و غیراشباع را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که هدایت الکتریکی محلول‌هایی با ۲/۵ و ۸ گرم بر لیتر بعد از برقراری تعادل به هم نزدیک و به ترتیب برابر ۲/۱۱ و ۲/۱۲ dS/cm می‌باشد که نشان اشباع محلول دوم نسبت به گچ می‌باشد.

بنابراین آنچه از این آزمایش می‌توان استنباط نمود این است که در اندازه‌گیری گچ حداکثر EC مجاز برای ادامه آزمایش و اندازه‌گیری گچ ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد و در صورتی که EC محلول نهایی (بعد از اضافه کردن آب برای انحلال رسوب گچ جهت قرائت با دستگاه EC متر) بالاتر از این مقدار بود نشان دهنده این است که محلول مورد نظر نسبت به گچ در حالت نزدیک به اشباع یا حالت اشباع قرار دارد و هر گونه اندازه‌گیری در این حالت به کم‌برآورد در اندازه‌گیری گچ منجر خواهد شد.



شکل ۳- اثر مقدار خاک (a) و مقدار گچ (b) بر EC محلول تعادلی آن فاز. Saline soil و Non-saline soil به ترتیب بیانگر خاک‌های شور و غیرشور می‌باشند.

با توجه به نتایج این آزمایش جدول ۴ برای تعیین مقدار اولیه خاک مورد نیاز (در صورتی که عصاره‌گیری در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر انجام شود) برای اندازه‌گیری مقدار گچ در خاک توصیه می‌گردد. بدیهی است در صورتی که عصاره‌گیری در حجم‌های بیشتر انجام شود امکان استفاده از وزن‌های بیشتر نمونه نیز فراهم می‌شود. رعایت نسبت آب به خاک ارائه شده در جدول برای دستیابی به مقدار دقیق گچ در نمونه ضروری است. در این جدول مرزها با احتساب انحلال ۲ گرم در لیتر گچ (اطمینان از انحلال کامل گچ) و با فرض اینکه عصاره‌گیری در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر انجام شود، محاسبه شده‌اند.

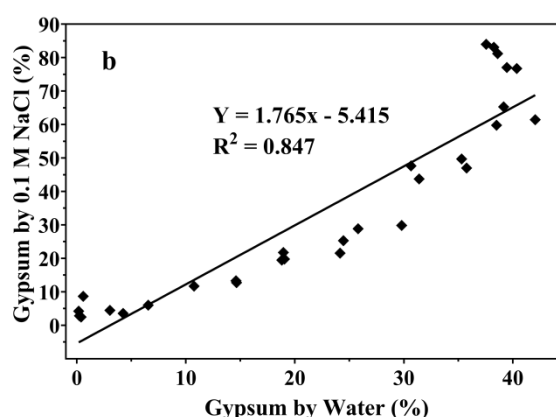
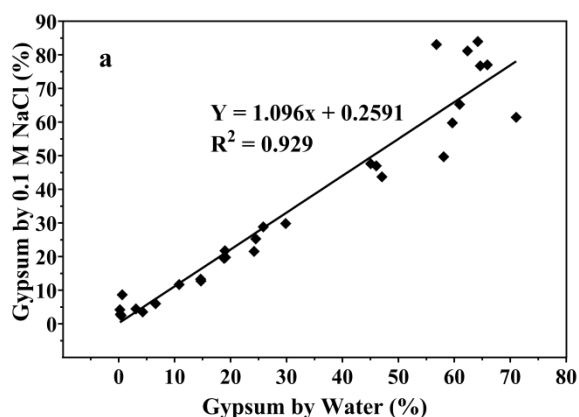
اندازه‌گیری گچ در خاک‌های طبیعی

شکل ۴ رگرسیون خطی بین مقدار گچ اندازه‌گیری شده در خاک‌های طبیعی با استفاده از عصاره‌گیرهای آب و NaCl ۰/۱ مولار را نشان می‌دهد. در شکل ۴a عصاره‌گیری با آب در نسبت‌های متفاوت بسته به مقدار گچ خاک (و همچنین EC محلول نهایی) انجام شده است (در خاک‌های با غلظت بالا عصاره‌گیری با نسبت ۴۰۰:۱ و در خاک‌های با غلظت پایین با نسبت ۲۰۰:۱ انجام گردید) در حالی که عصاره‌گیری با محلول کلرید سدیم با نسبت ثابت ۲۰۰:۱ انجام شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است نتایج بدست آمده از دو روش عصاره‌گیری همبستگی بالایی با هم داشتند بطوری که خطی رگرسیونی با ضریب تبیین ۰/۹۲۹ ایجاد نمود. شیب خط برابر ۱/۰۹۶ تایید کننده برآورد نسبتاً یکسان دو روش عصاره‌گیری است. در مقادیر بالای گچ خاک انحراف از معادله فوق مشاهده می‌شود بطوری که در غلظت‌های بالا مقدار گچ اندازه‌گیری شده با NaCl ۰/۱ مولار بیشتر از آب است. در شکل ۴b اندازه‌گیری مقدار گچ در نمونه با نسبت ثابت ۲۰۰:۱ برای هر دو عصاره‌گیری انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت

پایین عصاره گیر به خاک باعث کاهش مقدار گچ برآورد شده توسط آب مقطر شود. ضمن کاهش ضریب رگرسیون بین دو روش، شیب خط افزایش شدیدی داشته (۱/۷۶۵) که بیانگر برآورد مقدار بیشتر گچ توسط عصاره گیر NaCl ۰/۱ مولار است.

جدول ۴- مقدار خاک پیشنهادی برای اندازه گیری گچ به روش استون و EC مورد انتظار

درصد گچ در نمونه	مقدار خاک مورد نیاز	نسبت آب به خاک	EC مورد انتظار (μS/cm)
کمتر از ۱ درصد	۲۰ گرم	۵	ناچیز - ۹۷۳
۱-۲ درصد	۱۰ گرم	۱۰	۹۷۳-۵۲۹
۲-۴ درصد	۵-۲ گرم	۲۰-۵۰	۹۲۸-۳۵۱
۴-۱۰ درصد	۲-۱ گرم	۵۰-۱۰۰	۹۳۸-۳۰۷
۱۰-۲۱ درصد	۱-۰/۵ گرم	۱۰۰-۲۰۰	۹۸۲-۳۲۹
۲۱-۴۳ درصد	۰/۵-۰/۲۵ گرم	۲۰۰-۴۰۰	۱۰۰۴-۳۲۹
بیشتر از ۴۳ درصد	۰/۲ گرم	۵۰۰	۹۳۸-۴۴۱



شکل ۴- رگرسیون خطی بین درصد گچ اندازه گیری شده توسط عصاره گیری با آب مقطر و محلول سدیم کلرید ۰/۱ مولار (در حالت a عصاره گیری با نسبت خاک به آب ثابت ۲۰۰:۱ برای NaCl ۰/۱ مولار و نسبت های متغیر خاک به آب برای آب مقطر انجام گردیده است و در حالت b عصاره گیری با نسبت خاک به آب یکسان (۲۰۰:۱) برای هر دو عصاره گیر انجام شده است).

برای بررسی تکرارپذیری نتایج بدست توسط عصاره گیرهای مورد استفاده در اندازه گیری گچ پارامترهای SD و RSD محاسبه و در جدول ۵ ارائه گردید. نتایج نشان داد تکرارپذیری روش با استفاده از آب مقطر بعنوان عصاره گیر نسبت به NaCl ۰/۱ مولار بیشتر می باشد (انحراف معیار ۰/۲۱ در مقابل ۰/۵۶). همچنین مقادیر RSD برای دو روش عصاره گیری تقریباً یکسان بوده و نشان از تراکم داده ها در محدوده میانگین می باشد. مقادیر بالای RSD که در برخی از نمونه ها مشاهده گردید نشان دهنده پراکندگی تکرارها و انحراف از میانگین می باشد.

جدول ۵- انحراف معیار و انحراف نسبی حاصل از اندازه گیری گچ در نمونه خاک های طبیعی با عصاره گیرهای آب مقطر و ۰/۱ مولار NaCl

عصاره گیر	RSD	SD	میانگین
آب مقطر	۰/۰۰	۰/۰۰	کمترین
	۲۶/۰	۲/۳۳	بیشترین
	۲/۱۷	۰/۲۱	میانگین
۰/۱ مولار NaCl	۰/۰۰	۰/۰۰	کمترین
	۲۱/۹۱	۱۰/۸۹	بیشترین
	۲/۲۱	۰/۵۶	میانگین

بطور کلی با رعایت نسبت مناسب خاک به آب می توان از آب و کلرید سدیم برای اندازه گیری گچ در خاک استفاده نمود. اما باید توجه داشت که در صورت استفاده از آب مقطر بعنوان عصاره گیر EC محلول نهایی (مرحله آخر اندازه گیری گچ) کمتر از ۱۰۰۰ μS/cm باشد. EC های بالاتر از این مقدار نشان دهنده اشباع محلول نسبت به گچ می باشد و باید عصاره گیری در نسبت بالاتر خاک به آب انجام شود.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه عوامل موثر بر اندازه گیری گچ به روش استون بررسی و به منظور ارزیابی منابع خطا در این روش مطالعه شدند. نتایج نشان داد که انحلال گچ واکنشی سریع بوده و بیش از ۹۵ درصد گچ موجود در نمونه در مدت زمانی کمتر از ۰/۵ ساعت حل می گردد. نسبت خاک به عصاره گیر پارامتری مهم و حیاتی در تخمین مقدار دقیق گچ به روش تشخیص داده شد. بطوریکه عصاره گیری خاک برای اندازه گیری گچ در نسبت های زیاد (۲۰۰:۱) باعث گردید تا گچ نمونه ها کمتر از مقدار واقعی تخمین زده شود و افزایش زمان تماس به ۸ ساعت در بعضی موارد احتمالاً به دلیل واکنش های شیمیایی منجر به تشکیل رسوب، باعث کم برآورد در اندازه گیری گچ گردید. از طرفی کاهش نسبت خاک به آب به ۴۰۰:۱ باعث بیش برآورد گچ در مقادیر کمتر از ۵۰ درصد گردید.

استفاده از محلول های نمکی برای بهبود عصاره گیری گچ خاک چندان موثر واقع نشد. هرچند در نسبت خاک به آب ۲۰۰:۱ استفاده از محلول های NaCl، KCl و MgCl₂ (با غلظت ۰/۱ مولار) به علت افزایش قدرت یونی (اثر یون غیر مشترک) حلالیت گچ را افزایش داده و باعث جبران نسبی کم برآورد گردید، ولی افزایش ۱۰ برابری غلظت این عصاره گیرها از ۰/۱ به ۰/۱ باعث افزایش بیشتر حلالیت و طبع آن افزایش مقدار گچ اندازه گیری شده توسط این عصاره گیرها گردید. عصاره گیری گچ با این محلول های نمکی در نسبت ۴۰۰:۱ باعث ایجاد خطای مثبت (بیش برآورد) در برآورد گچ گردید. بطور کلی، محلول ۰/۱ مولار NaCl و آب مقطر نسبت به بقیه عصاره گیرها برآورد مناسب تری از گچ موجود در خاک ارائه نموده (با در نظر گرفتن نسبت مناسب خاک به آب) و به همین دلیل برای اندازه گیری گچ در خاک های گچی طبیعی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین دو روش همبستگی بالایی وجود دارد، بطوریکه رگرسیونی خطی با ضریب تبیین ۰/۹۲۹ ایجاد نمود. شیب خط برابر ۱/۰۹۶ تایید کننده برآورد نسبتاً یکسان دو روش عصاره گیری است. هرچند باید اضافه شود که نتایج بدست آمده در عصاره گیری با آب مقطر دارای تکرارپذیری بالاتری بودند و بنابراین توصیه می گردد. برای جلوگیری از وقع خطا در اندازه گیری و رعایت نسبت مناسب خاک به آب توسط تجزیه کننده، از EC عصاره بعنوان یک شاخص کنترل کننده استفاده شد. EC عصاره مورد آنالیز پارامتری مناسب برای تشخیص درجه اشباع محلول نسبت به گچ می باشد و براساس آن می توان از صحت نتیجه بدست آمده اطمینان حاصل کرد. نتایج نشان داد که در صورتی که EC محلول نهایی بیشتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر باشد محلول نسبت به گچ در حالت اشباع یا نزدیک به حالت اشباع قرار دارد و اندازه گیری گچ در آن نسبت خاک به آب منجر به کم برآورد در اندازه گیری گچ خواهد شد. رعایت نسبت مناسب خاک به آب باعث تولید داده های صحیح و دقیق در اندازه گیری گچ می شود.

سپاس گزاری

بدینوسیله از کلیه پرسنل بخش آزمایشگاه های موسسه تحقیقات خاک و آب که همکاری لازم جهت انجام این پروژه را داشته اند تقدیر و تشکر می گردد. همچنین ضمن قدردانی از موسسه تحقیقات خاک و آب هزینه انجام این تحقیق توسط این موسسه تامین شده است. این مقاله نیز از پروژه این موسسه با عنوان "اصلاح روش استون برای اندازه گیری دقیق گچ در طیف وسیعی از خاک های گچی کشور" و شماره مصوب ۲-۱۰-۱۰۰-۰۸۲-۹۷۱۳۸۰ استخراج شده است.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Ben Ahmed, S., Tlili, M. M., Amami, M., & Ben Amor, M. (2014). Gypsum precipitation kinetics and solubility in the NaCl-MgCl₂-CaSO₄-H₂O system. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(23), 9554-9560 .
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.
- Bower, C., & Huss, R. (1948). Rapid conductometric method for estimating gypsum in soils. *Soil Science*, 66(3), 199-204.
- Bower, C. A., Reitemeier, R., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73(4), 251-262 .
- Cameron, F. K. (2002). Solubility of Gypsum in Aqueous Solutions by Sodium Chloride. *The Journal of Physical Chemistry*, 5(8), 556-576 .
- Gobran, G. R., & Miyamoto, S. (1985). Dissolution rate of gypsum in aqueous salt solutions .
- Hong, D., Fan, M., Yu, L., & Cao, J. (2018). An experimental study simulating the dissolution of gypsum rock. *Energy Exploration & Exploitation*, 36(4), 942-954 .
- Klein, C. (1993). Hurlburt jr. CS "Manual of Mineralogy.": New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Kuechler, R., Noack, K., & Zorn, T. (2004). Investigation of gypsum dissolution under saturated and unsaturated water conditions. *Ecological Modelling*, 176(1-2), 1-14 .
- Kuttah, D., & Sato, K. (2015). Review on the effect of gypsum content on soil behavior. *Transportation geotechnics*, 4, 28-37 .
- Lagerwerff, J., Akin, G., & Moses, S. (1965). Detection and determination of gypsum in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 29(5), 535-540.

- Lebedev, A. (2015). Kinetics of gypsum dissolution in water. *Geochemistry International*, 53(9), 811-824 .
- Lebedev, A., & Kosorukov, V. (2017). Gypsum solubility in water at 25 C. *Geochemistry International*, 55(2), 205-210 .
- Mahmoodi, S. (1983). Gypsum Determination in Soil by Resin H+ Method and its comparison with the Acetone Method. *Journal of Iranian Agriculture Science*, 14, 1-4, 9-18 .
- Nelson, R., Klameth, L., & Nettleton, W. (1978). Determining soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 42(4), 659-661 .
- Omran, E.-S. E. (2016). A simple model for rapid gypsum determination in arid soils. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(4), 1-12 .
- Page, A. (1965). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Poonia, S., & Bhumbla, D. (1973). Effect of gypsum and calcium carbonate on plant yield and chemical composition and calcium availability in a non-saline sodic soil. *Plant and Soil*, 38(1), 71-80 .
- Porta, J. (1998). Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: a review. *Geoderma*, 87(1-2), 31-46 .
- Raines, M. A., & Dewers, T. A. (1997). Mixed transport/reaction control of gypsum dissolution kinetics in aqueous solutions and initiation of gypsum karst. *Chemical geology*, 140(1-2), 29-48 .
- Rhoades, J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*(methodsofsoilan3), 417-435 .
- Roostitalab, M. H., Siadat, H., & Farshad, A. (2018). *The soils of Iran*: Springer.
- Tanji, K. K. (1969). Solubility of gypsum in aqueous electrolytes as affected by ion association and ionic strengths up to 0.15 M and at 25. deg. *Environmental Science & Technology*, 3(7), 656-661 .
- Trivedi, T. J., Shukla, J., & Kumar, A. (2014). Effect of nitrate salts on solubility behavior of calcium sulfate dihydrate (gypsum) in the aqueous sodium chloride system and physicochemical solution properties at 308.15 K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 59(3), 832-838 .
- 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 .
- Yaghmaeian Mahabadi, N., & Givi, J. (2008). Comparison of different methods of gypsum determination in selected soils from Isfahan. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 11(42), 565-576 .