

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور  
بخش آزمایشگاه ها

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

## اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور

SWRI-S-117

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



|                                 |            |                                                      |                                                                                                         |
|---------------------------------|------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک |            | موسسه تحقیقات خاک و آب                               | <br>بخش آزمایشگاه‌ها |
| SWRI-S- 117                     | شماره ثبت  |                                                      |                                                                                                         |
| Rev-01-1403/10                  | ویرایش اول |                                                      |                                                                                                         |
|                                 |            | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور |                                                                                                         |

## روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

# اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

صندوق پستی: ۳۱۱-۳۱۷۸۵

کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰

نمابر: ۰۲۶۳۶۲۱۰۱۲۱

پست الکترونیکی: [info@swri.ir](mailto:info@swri.ir)

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

|                                  |            |                                                      |                                                                                     |
|----------------------------------|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک |            | موسسه تحقیقات خاک و آب                               |  |
| SWRI-S- 117                      | شماره ثبت  |                                                      |                                                                                     |
| Rev-01-1403/10                   | ویرایش اول |                                                      |                                                                                     |
|                                  |            | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) - روش باور | دفتر آزمایشگاهها                                                                    |

## فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۲
- ۳- وسایل..... ۲
- ۴- مواد و/یا واکنشگرها..... ۳
- ۵- روش کار..... ۳
- ۶- محاسبات و گزارش نتایج..... ۴
- ۷- منابع مورد استفاده..... ۵

|                                  |                                                      |                        |                                                                                                        |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک |                                                      | موسسه تحقیقات خاک و آب | <br>بخش آزمایشگاه‌ها |
| SWRI-S- 117                      | شماره ثبت                                            |                        |                                                                                                        |
| Rev-01-1403/10                   | ویرایش اول                                           |                        |                                                                                                        |
| صفحه ۱ از ۱۱                     | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور |                        |                                                                                                        |

## ۱- مقدمه

خاک‌ها به دلیل جانشینی اتمی در شبکه کانی‌های آنها و همچنین به دلیل واکنش‌های هیدرولیز روی لبه‌های شکسته شبکه و سطح اکسیدها، هیدروکسیدها، اکسیدهای آبدار و مواد آلی، دارای بار الکتریکی هستند. این بارها، یون‌های با بار مخالف را جذب می‌کنند و تشکیل کمپلکس تبادلی می‌دهند [۱]. احتمالاً مهمترین و متمایزترین ویژگی خاک‌ها این است که آن‌ها می‌توانند یون‌ها را نگه داشته و به کندی آن‌ها را به محلول خاک و برای گیاهان آزاد کنند. کانی‌های رس، مواد آلی و کانی‌های بی‌شکل منشأ تبادل کاتیونی در خاک هستند [۲]. ظرفیت تبادل یونی یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های خاک است که نقش بارزی در حاصلخیزی خاک از جهت نگهداری مواد غذایی در خاک و تنظیم غلظت این مواد در محلول خاک و جلوگیری از نوسان pH خاک ایفا می‌کند. تبادل یونی در کشاورزی در زمینه رده‌بندی خاک، اصلاح خاک‌های شور و قلیا، کاربرد کودها، تغذیه گیاهان و اصلاح شیمیایی خاک، از نظر زیست محیطی در زمینه تثبیت و آبشویی آلاینده‌ها و در مهندسی در زمینه الکترواسمز<sup>۱</sup>، آبگیری<sup>۲</sup> و پیش‌بینی فرسودگی کاربرد دارد. ظرفیت تبادلی کاتیونی اندازه‌ای از تعداد کاتیون‌هایی است که می‌تواند به حالت قابل تبادل روی مکان‌های بار منفی خاک جذب شوند [۳] و نتایج معمولاً به صورت سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک (cmol/kg) بیان می‌شود. به طور کلی برای اهداف عملی ظرفیت تبادل کاتیونی مجموع کاتیون‌های جذب سطحی شده (غالباً  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  و  $Al^{3+}$ ) قابل تبادل با دیگر کاتیون‌های موجود در مقدار معینی خاک است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) از ۱ سانتی‌مول بار در کیلوگرم برای خاک‌های درشت-بافت تا ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم برای خاک‌های ریز-بافت که دارای مقادیر زیادی سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ و مواد آلی هستند، متغیر است [۴].

عامل‌های مختلفی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مؤثر هستند. این عامل‌ها عبارتند از: بافت خاک، نوع رس، مقدار و نوع مواد آلی، pH، کمپلکس بین رس و مواد آلی و غلظت محلول خاک.

<sup>۱</sup> Electro osmotic

<sup>۲</sup> Dewatering

|                                  |                                                      |                        |                                                                                     |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک |                                                      | موسسه تحقیقات خاک و آب |  |
| SWRI-S- 117                      | شماره ثبت                                            |                        |                                                                                     |
| Rev-01-1403/10                   | ویرایش اول                                           |                        |                                                                                     |
| صفحه ۲ از ۱۱                     | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور |                        | بخش آزمایشگاه‌ها                                                                    |

باور و همکاران در سال ۱۹۵۲ برای اندازه‌گیری CEC روشی سه مرحله‌ای شامل؛ مرحله اشباع مکان‌های تبدالی، شستشوی محلول اشباع‌کننده اضافی، جایگزینی کاتیون اشباع‌کننده و اندازه‌گیری آن پیشنهاد نمودند. این روش به‌عنوان یک روش مرسوم اندازه‌گیری در منابع معتبر معرفی شد و در ایران نیز به‌شکل وسیع به‌عنوان روش رایج اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی در آزمایشگاه‌های خاک و آب استفاده می‌شود.

## ۲- اصول

در این روش سه مرحله‌ای ابتدا مکان‌های تبدالی خاک با محلول سدیم استات یک نرمال که pH آن روی ۸/۲ تنظیم شده است، اشباع می‌شود. در مرحله دوم، محلول سدیم استات باقی مانده در منافذ خاک به‌وسیله اتانول ۹۵ درصد، به‌عنوان محلول شستشو، خارج می‌شود. در مرحله سوم سدیم جذب شده بر مکان‌های تبدالی به‌وسیله محلول آمونیم استات یک نرمال با pH ۷ استخراج و اندازه‌گیری می‌شود.

## ۳- وسایل

- (۱) سانتریفیوژ؛
- (۲) لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری؛
- (۳) شیکر رفت و برگشت؛
- (۴) بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری؛
- (۵) ساچمه شیشه‌ای؛
- (۶) فلیم فتومتر.

|                                  |            |                                                      |                                                                                    |
|----------------------------------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک |            | موسسه تحقیقات خاک و آب                               |  |
| SWRI-S- 117                      | شماره ثبت  |                                                      |                                                                                    |
| Rev-01-1403/10                   | ویرایش اول |                                                      |                                                                                    |
| صفحه ۳ از ۱۱                     |            | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور |                                                                                    |

#### ۴- مواد و/یا واکنشگرها

۱) سدیم استات ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) یک نرمال: ۱۳۶ گرم  $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  را در آب مقطر حل کرده و تا حجم

یک لیتر رقیق کنید. pH این محلول بایستی ۸/۲ باشد. اگر نیاز بود، چند قطره محلول استیک اسید یا NaOH

برای تنظیم pH روی ۸/۲ اضافه کنید.

۲) آمونیم استات ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ )، یک نرمال: ۱۱۴ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال (۹۵ درصد،  $\text{CH}_3\text{COOH}$ )

را با آب مقطر به حجم تقریبی یک لیتر برسانید. سپس ۱۳۸ میلی لیتر آمونیم هیدروکسید ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) به آن

اضافه کرده و با افزودن آب مقطر، حجم تقریبی آن را به ۱۹۸۰ میلی لیتر برسانید. در محلول حاصل pH را چک

کنید و در صورت نیاز با استفاده از محلول آمونیاک (آمونیم هیدروکسید) یا استیک اسید pH را روی ۷ تنظیم

کنید و با آب مقطر به حجم ۲ لیتر برسانید. به جای اینکار می توان ۷۷/۰۸ گرم از آمونیم استات ( $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$ )

را در آب حل و تا حجم یک لیتر رقیق کرد. سپس pH آن را با استفاده از محلول آمونیاک (آمونیم هیدروکسید)

یا استیک اسید روی ۷ تنظیم نمایید.

۳) اتانول ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ۹۵ درصد یا ترجیحاً ایزوپروپیل الکل ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ).

#### ۵- روش کار

۱) مقدار ۵ گرم از خاک آون خشک عبور یافته از الک ۲ میلی متری را با دقت وزن نموده و درون لوله سانتریفیوژ

بریزید (از آنجایی که محاسبه CEC بر اساس وزن خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس است، در صورت

استفاده از خاک هوا خشک، باید وزن آن بعداً تصحیح شود). تعدادی ساچمه شیشه ای به نمونه اضافه کنید و به آن

۳۳ میلی لیتر محلول سدیم استات یک نرمال اضافه کنید، سپس درب لوله را بسته و به مدت ۵ دقیقه روی شیکر

رفت و برگشتی تکان دهید. سپس درب لوله را باز نموده و مخلوط را با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ

کنید. عمل سانتریفیوژ کردن را آنقدر ادامه دهید (معمولاً ۵ دقیقه) تا محلول رویی کاملاً شفاف شود. سپس محلول

رویی را تا آنجا که امکان دارد خالی نموده و دور بریزید (باید دقت نمود که ذرات خاک به همراه محلول خارج نشود).

همین کار یعنی اضافه کردن ۳۳ میلی لیتر محلول سدیم استات، تکان دادن، سانتریفیوژ کردن و دور ریختن محلول

|                                 |                                                      |                        |                                                                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزه خاک |                                                      | موسسه تحقیقات خاک و آب |  |
| SWRI-S- 117                     | شماره ثبت                                            |                        |                                                                                    |
| Rev-01-1403/10                  | ویرایش اول                                           |                        |                                                                                    |
| صفحه ۴ از ۱۱                    | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) – روش باور | بخش آزمایشگاه‌ها       |                                                                                    |

رویی را دو بار دیگر تکرار کنید. بدین ترتیب عمل جایگزینی یون‌های سدیم با کاتیون‌های موجود بر روی کلوئیدهای خاک تکمیل می‌شود.

۲) به نمونه خاک داخل لوله ۳۳ میلی‌لیتر الکل اضافه کرده و پس از بستن درب و جدا کردن ذرات خاک از ته لوله، لوله را روی شیکر گذاشته و به مدت ۵ دقیقه تکان دهید. سپس درب لوله را باز نموده و آن را (به مدت مثلاً ۵ دقیقه) با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ کنید. محلول صاف رویی را با دقت خالی نموده و دور بریزید. این کار را دو مرتبه دیگر نیز تکرار کنید. قابلیت هدایت الکتریکی محلول صاف رویی در مرحله سوم باید کمتر از ۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد، در غیر این صورت عمل شستشوی خاک با الکل را ادامه دهید تا قابلیت هدایت الکتریکی کمتر از مقدار فوق شود. بدین ترتیب سدیم استات اضافی از محیط خاک خارج می‌شود.

۳) در مرحله سوم مقدار ۳۳/۳ میلی‌لیتر آمونیم استات به نمونه خاک داخل لوله اضافه کنید. پس از بستن درب و جدا کردن ذرات از ته لوله، آن را روی شیکر گذاشته و به مدت ۵ دقیقه تکان دهید. سپس درب لوله را باز نموده و آن را (به مدت مثلاً ۵ دقیقه) با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ کنید. محلول رویی لوله را در بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری کنید. عمل اضافه نمودن ۳۳/۳ میلی‌لیتر آمونیم استات، تکان دادن و سانتریفیوژ را دو مرتبه دیگر نیز تکرار کنید. محلول رویی را به بالن حجمی اضافه کرده و سپس حجم نهایی بالن را با استات آمونیوم یک نرمال به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسانید. بدین ترتیب آمونیم جایگزین سدیم می‌شود، سپس کاتیون‌های سدیم جمع‌آوری شده در بالن را به روش فلیم فتومتر اندازه‌گیری کنید.

## ۶- محاسبات و گزارش نتایج

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$CEC \left( \frac{\text{meq}}{100\text{g}} \text{ یا } \frac{\text{cmol}_c}{\text{kg}} \right) = \frac{A \times V \times df}{W \times m \times 10} \quad (1)$$

که در آن؛

A: غلظت سدیم بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

V: حجم بالن بر حسب میلی‌لیتر (در اینجا ۱۰۰ میلی‌لیتر).

|                                  |                                                        |                        |                                                                                     |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک |                                                        | موسسه تحقیقات خاک و آب |  |
| SWRI-S- 117                      | شماره ثبت                                              |                        |                                                                                     |
| Rev-01-1403/10                   | ویرایش اول                                             |                        |                                                                                     |
| صفحه ۵ از ۱۱                     | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) - (روش باور) |                        | بفش آزمایشگاه‌ها                                                                    |

df: درجه رقت (در اینجا ۱ است).

m: جرم اتمی سدیم (۲۲/۹۹۰ گرم بر مول).

W: وزن خاک آون خشک بر حسب گرم.

- نتایج مربوط به مقدار ظرفیت تبدالی خاک را بر حسب سانتی مول بار در کیلوگرم خاک (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک) و با دو رقم اعشار گزارش نمائید.

#### نکات

- (۱) پس از هر مرحله سانتریفیوژ و اضافه کردن محلول جدید، باید ذرات خاک چسبیده به ته لوله با ضربه زدن کاملاً جدا شوند.

#### ۷- منابع مورد استفاده

۱. شهبازی، ک.، مارزی، م.، محمدی، م. ح.، اسدی، ح.، فتحی گردلیدانی، ا.، هاشمی نسب زواره، ک.، طلوعی، ر.، به شتی، م.، آویژگان، ا.، چراغی، م. ۱۴۰۳. روش‌های تجزیه خاک: نمونه برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱، ۱۰۷۴-۱.
2. Carter, M.R. and E.G. Gregorich, *Soil sampling and methods of analysis*. 2007: CRC press.
3. Bache, B.W., *The measurement of cation exchange capacity of soils*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1976. 27(3): p. 273-280.
4. Bohn, H.L., R.A. Myer, and G.A. O'Connor, *Soil chemistry*. 2002: John Wiley & Sons.

|                                 |                                                      |                        |                                                                                     |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک |                                                      | موسسه تحقیقات خاک و آب |  |
| SWRI-S- 117                     | شماره ثبت                                            |                        |                                                                                     |
| Rev-01-1403/10                  | ویرایش اول                                           |                        |                                                                                     |
| صفحه ۲ از ۱۱                    | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) - روش باور |                        | دفتر آزمایشگاه‌ها                                                                   |

|                                 |            |                                                        |                                                                                     |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک |            | موسسه تحقیقات خاک و آب                                 |  |
| SWRI-S- 117                     | شماره ثبت  |                                                        |                                                                                     |
| Rev-01-1403/10                  | ویرایش اول |                                                        |                                                                                     |
|                                 |            | اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) - (روش باور) | بخش آزمایشگاهها                                                                     |

تهیه و تدوین:

کریم شهبازی

رئیس بخش آزمایشگاهها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود)، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

مصطفی مارزی

عضو هیات علمی بخش آزمایشگاهها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود)، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از کلیه کارشناسان محترم بخش آزمایشگاهها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود) بویژه سرکار خانم مهندس فاطمه پرویزی، آقایان مهندس منصور کوهستانی، دکتر میثم چراغی و دکتر سجاد بیات که تجربیات سالیان متمادی کار در آزمایشگاه را سخاوتمندانه در اختیار مولفان قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد. این روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک با حمایت مالی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و محل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده است و بدین وسیله نویسندگان از آن مجموعه محترم تقدیر می‌نمایند.



**MINISTRY OF AGRICULTURE - JAHAD**  
**Agricultural Research, Education and Extension Organization**  
**Soil and Water Research Institute of Iran**  
**Laboratories Division**

## **Standard Operation Procedure for Soil Analysis**

# **Determination of Cation Exchange Capacity (CEC) of Soil - Bower Method**

**Record No:** SWRI-S-117

**Version:** Rev-01-1403/10

**2025**

