

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 کربنات کلسیم معادل – روش کلسیمتری

SWRI-S-112

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
		اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

اندازه گیری کربنات کلسیم معادل – روش کلسیمتری

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

نمبر: ۰۲۶۳۶۲۱۰۱۲۱

پست الکترونیکی: info@swri.ir

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		دفش آزمایشگاه‌ها	

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۳
- ۳- وسایل..... ۴
- ۴- مواد و/یا واکنشگرها..... ۵
- ۵- روش کار..... ۵
- ۶- اندازه‌گیری کلسیم کربنات معادل در نمونه خاک..... ۶

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بفش آزمایشگاه‌ها	

۱- مقدمه

به دلیل تبخیر و تعرق بسیار بالا و پایین بودن شدت بارش و در نتیجه محدودیت شستشو، کانی‌های کربناتی جزو ترکیبات اصلی بسیاری از خاک‌ها در مناطق خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب قرار می‌گیرند [۱]. میزان کلسیم کربنات در خاک‌های متأثر از کانی‌های کربناتی از مقادیر ناچیز تا ۸۰ درصد متغیر است [۲]. کلسیت در خاک‌ها به شکل‌های مختلف دیده می‌شود. از ذرات به شکل نودول^۱ با قطر یک سانتی‌متر یا بیشتر تا شبه لوزی‌هایی^۲ که به خوبی آرایش یافته‌اند. کربنات‌ها معمولاً در خاک‌های خنثی تا قلیایی مشاهده می‌شوند اما احتمال تشکیل کربنات‌ها در اندازه‌ی نودول در برخی خاک‌ها با pH اسیدی بیشتر است [۳]. خاک‌های مختلف از نظر توزیع اندازه‌ی ذرات در بخش جامد کربنات‌ها تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند. کلسیت معمولاً در خاک‌هایی که فرآیندهای پدوژنیک در آن‌ها فعال است، در اندازه‌ی سیلت ریز یا رس درشت وجود دارد. این کانی غالباً به شکل خاکدانه‌های کروی متشکل از بلورهای ریز مشاهده می‌شود [۴]. کانی‌های کربناتی در خاک می‌توانند منشأ اولیه (به ارث رسیده از مواد مادری آهکی) یا ثانویه (پدوژنیک) داشته باشند. کلسیت فرم غالب کانی‌های کربناتی در محیط‌هایی است که فرآیندهای پدوژنیک در آن فعال است [۵، ۶].

مقدار و توزیع کربنات‌ها دو عامل بسیار مهم بوده که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای مثال، وجود کربنات‌ها می‌تواند تأثیر بسزایی بر pH، فرایندهای جذب، رهاسازی، رسوب، انحلال و سیمانی شدن در خاک داشته باشد. محدوده pH در خاک‌های دارای کربنات، بین ۷/۱ تا ۸/۵ متغیر است. کربنات‌ها در خاک به دلیل واکنش‌پذیری و خاصیت قلیایی، به عنوان بافر pH عمل می‌کنند [۲، ۷]. این کانی‌ها در منافذ و سطح ذرات خاک رسوب کرده و تشکیل لایه‌هایی را می‌دهند (برای مثال افق کلسیک) که از حرکت آب در نیم‌رخ خاک جلوگیری می‌کند. در حالت‌های خاص ممکن است این لایه‌ها سخت و سیمانی شده (مانند افق پتروکلسیک) و باعث شود که آب به صورت جانبی در خاک حرکت کند. سطوح فعال کربنات‌ها ممکن است با جذب

^۱ Nodules

^۲ Rhomboids

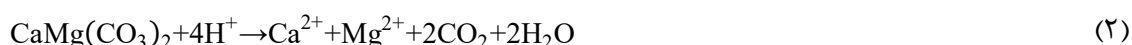
روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

عناصر غذایی ضروری اثر عکس بر روی قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه بگذارد. بسیاری علت کلروز ایجاد شده در گیاه را کمبود آهن ناشی از اثرهای متقابل آهن و بی‌کربنات موجود در خاک‌های آهنی می‌دانند [۸, ۹]. جذب و آزاد سازی فلزهای سنگین (مانند سرب و کادمیم) از سطح کربنات‌ها، حرکت و زیست فراهمی این یون‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۷]. وجود مقدار قابل توجه کانی‌های کربناتی قلیایی در اندازه‌ی سیلت بافت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزون‌بر آن ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های دارای کربنات‌های قلیایی خاکی ریز در مقایسه با سایر خاک‌ها بهبود می‌یابد [۶]. به دلیل این ویژگی‌ها، کربنات‌ها نقش مهمی در فرآیندهای پدوژنیک، شیمیایی و ریزوسفری خاک ایفا می‌کنند. وجود کانی‌های کربناتی در خاک و میزان آن‌ها در طبقه‌بندی خاک‌ها نیز کاربرد دارد. مقدار کلسیم کربنات معادل به‌عنوان یک شاخص برای طبقه‌بندی افق سطحی مالیک، افق زیر سطحی کلسیک و زیر رده رندول استفاده می‌شود. همچنین در صورت وجود کلسیم کربنات آزاد در خاک، برای تشخیص سری‌های خاک تعیین مقدار و عمق آن در نیم‌رخ خاک لازم و ضروری است. برای تشخیص و تفسیر فرآیندهای تشکیل خاک نیز از تجمع و شیوه انتقال کربنات‌ها در نیم‌رخ خاک استفاده می‌شود [۱۰].

تعیین کلسیم کربنات در خاک هنگامی صورت می‌گیرد که pH خاک بیشتر از ۷ بوده یا پس از اضافه کردن HCl یک مولار به خاک جوشش مشاهده شود. کربنات‌ها معمولاً در خاک‌های خنثی تا قلیا حضور دارند، اما در برخی موارد حضور کربنات‌ها به صورت ندول در محیط‌های اسیدی نیز گزارش شده است. روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری کلسیم کربنات خاک‌ها ارائه گردیده است. انحلال کربنات‌ها در اسید مبنای بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری کربنات‌ها در خاک است. تعیین میزان کربنات‌ها در خاک توسط انحلال آن‌ها در اسید (معادله‌های ۱ و ۲) و اندازه‌گیری میزان H^+ مصرف شده، CO_2 آزاد شده یا میزان Ca یا Mg تولید شده انجام می‌شود [۶, ۱۱]:



و



روش احتراق خشک که شامل دو مرحله احتراق می‌باشد یکی از روش‌هایی است که برای تعیین میزان کربنات در خاک‌ها استفاده می‌شود. در این روش نخست ماده آلی (کربن آلی) در دمای ۵۷۵ درجه سلسیوس تحت جریان

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

اکسایش اکسید و حذف می‌شود. سپس کربنات‌های معدنی در دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس اکسید شده و CO_2 آزاد شده از این فرآیند برای اندازه‌گیری مقدار کربنات در نمونه جمع‌آوری می‌شود [۱۲]. در مواردی که نمونه خاک دارای درصد پایین ماده آلی باشد نیاز به حذف آن نبوده و اندازه‌گیری میزان CO_2 تولید شده مستقیماً میزان کربنات‌های موجود در خاک را نشان می‌دهند.

غالباً روش‌هایی که در آن‌ها میزان کربن دی‌اکسید آزاد شده اندازه‌گیری می‌شود نسبت به دیگر روش‌ها ترجیح داده می‌شوند. اگرچه می‌بایست درباره تداخل اکسایش مواد آلی و بیش برآورد (احتمال خطای مثبت) در تخمین میزان دی‌اکسید کربن آزاد شده احتیاط لازم بعمل آید. دی‌اکسید کربن تولید شده، به روش‌های وزن سنجی [۱۱]، [۱۳]، عیارسنجی [۱۴]، فشارسنجی [۱۵، ۱۶]، حجم سنجی [۱۷]، اسپکتروفتومتری و یا با استفاده از کروماتوگرافی گازی^۱ اندازه‌گیری می‌شود. در روش حجم سنجی هنگامی که دما و فشار ثابت است، کربنات در یک سیستم بسته در تماس با اسید قرار می‌گیرد، افزایش در حجم گاز به‌صورت مستقیم مربوط به آزاد شدن گاز کربن دی‌اکسید می‌باشد. ابزاری که برای اندازه‌گیری این تغییرات حجم مورد استفاده قرار می‌گیرد کلسیمتر نامیده می‌شود. [۱۱].

۲- اصول

در روش کلسیمتر حجمی، کربنات‌های خاک بر اساس آنچه در معادله‌های ۱ و ۲ گفته شد، با اسید واکنش داده و حجم کربن دی‌اکسید آزاد شده اندازه‌گیری و میزان کربنات خاک تعیین می‌شود [۱۱]. در شرایطی که دما و فشار ثابت باشد، افزایش حجم ایجاد شده در سیستم مستقیماً نشان‌دهنده میزان کربن دی‌اکسید آزاد شده از تجزیه و انحلال کربنات‌های موجود در خاک است. دستگاهی که در این روش استفاده می‌شود کلسیمتر حجمی نام دارد. شکل‌های مختلفی از این دستگاه وجود دارد (برای مثال چیتیک، شیلبر، برنارد و غیره) که برای تعیین کلسیم کربنات معادل بر مبنای روش حجم سنجی استفاده می‌شود. کلسیمتر استفاده شده در این روش عملیاتی استاندارد در شکل ۱ نشان داده شده است.

^۱Gas chromatography

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

حجم گاز کربن دی اکسید آزاد شده به دما و فشار بستگی دارد. میزان حلالیت کربن دی اکسید در اسید و آب افزون بر دما و فشار جزئی گاز کربن دی اکسید به تعادل میان فاز گاز و فاز مایع نیز بستگی دارد. از این رو هر دستگاه کلسیمتر باید در شرایط محیطی که در آن قرار می گیرد و طی هر بار انجام آزمایش واسنجی شود [۲]. از آنجایی که در خاک های دارای مواد آلی احتمال اکسایش این ترکیبات توسط اسید و تولید گاز کربن دی اکسید وجود دارد، باید اقدامات لازم برای جلوگیری از وقوع خطای مثبت انجام شود. در مواردی که نمونه خاک دارای درصد پایین ماده آلی یا فاقد آن باشد، CO_2 اندازه گیری شده، مستقیماً میزان کربنات های موجود در خاک را نشان می دهد. برای جلوگیری از انحلال CO_2 در محلول پرکننده دستگاه کلسیمتر، می توان از نمک یا اسید فسفریک استفاده کرد [۱۳].

۳- وسایل

- ۱) دستگاه کلسیمتر حجمی (شکل ۱): اجزای اصلی این دستگاه عبارتند از: ظرف واکنش ۲۵۰ میلی لیتری (A)، لوله ۱۰ میلی لیتری (ظرف اسید) (B)، شیر سه جهته (C)، بورت مدرج با حجم ۲۰۰-۱۰۰ (± 0.1) میلی لیتر (D)، مخزن متحرک (E). اتصالات این قطعات شلنگ های آزمایشگاهی از جنس تایگون^۱ است.
- ۲) ترازو با دقت ± 0.01 میلی گرم.
- ۳) ترازوی حساس با دقت ± 0.1 میلی گرم
- ۴) دیسپنسر ۱۰/۰۰ میلی لیتر با دقت ± 0.1 میلی لیتر.
- ۵) مگنت و همزن برقی.
- ۶) بالن یک لیتری.

^۱Tygon

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

۴- مواد و/یا واکنشگرها

- ۱) محلول هیدروکلریک اسید (HCl) ۴ نرمال: ۳۹۳/۳ میلی لیتر از هیدروکلریک اسید غلیظ (HCl) (این حجم بسته به خلوص اسید متفاوت می باشد) را به ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه کرده و پس از سرد شدن به حجم یک لیتر برسانید.
- ۲) محلول پر کننده بورت دستگاه کلسیمتر: محلول ۱۰ درصد (به صورت وزنی) سدیم کلرید (NaCl): ۱۰۰ گرم از نمک سدیم کلرید را در آب مقطر حل کرده و به حجم یک لیتر برسانید.
- ۳) پودر کلسیم کربنات خالص.

۵- روش کار

- ۱) نخست نمونه خاک هواخشک شده را به خوبی نرم کرده و از الک ۱۰ مش (ریزتر از ۲ میلی متر) عبور دهید. سپس برای اطمینان از یکنواختی نمونه، خاک عبور داده شده از الک را بوسیله هاون آسیاب کنید تا پودر کاملاً یکنواخت و نرم شده ای بدست آید.
- ۲) مقدار ۲۰۰/۰ و ۴۰۰/۰ (± ۰/۱ میلی گرم) گرم از کلسیم کربنات خالص را توزین و به ظرف واکنش (A) منتقل کنید.
- ۳) مگنت را درون ظرف قرار داده و ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه کنید.
- ۴) ۷ میلی لیتر از محلول HCl ۴ نرمال به ظرف اسید (B) اضافه کنید و با دقت به طوری که اسید درون ظرف واکنش ریخته نشود درب ظرف را بسته و به خوبی محکم کنید.
- ۵) شیر (C) را برای یکسان شدن فشار درون دستگاه با فشار اتمسفر باز کنید و سطح مایع درون ستون (D) را با جابه جا کردن بالن مخزن (E) بر روی صفر تنظیم کنید. شیر را بسته و ارتفاع مخزن را طوری تنظیم کنید که سطح مایع در آن حدود ۲ سانتی متر پایین تر از سطح مایع در بورت قرار گیرد.
- ۶) با خم کردن ظرف واکنش، محلول HCl را به تدریج به نمونه اضافه کنید. هنگامی که نمونه به مقدار لازم خیس شد، همزن برقی را (با دور کند) روشن کنید. در صورت در دسترس نبودن همزن برقی ظرف واکنش را با دست

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

به طور پیوسته تکان دهید. سطح مایع درون مخزن در طول زمان انجام آزمایش باید ۱-۲ سانتی متر پایین تر از سطح مایع در بورت قرار گیرد. از این رو همزمان با پایین رفتن سطح مایع در بورت، بالن مخزن را نیز با حفظ فاصله ۱-۲ سانتی متری (پایین تر از سطح مایع درون بورت) به سمت پایین حرکت دهید.

(۷) هنگامی که سطح مایع در ستون ثابت شد (حدود ۵ دقیقه) سطح مایع در مخزن را با سطح مایع درون بورت در یک سطح قرار داده و حجم گاز کربن دی اکسید آزاد شده را یادداشت کنید.

۶- اندازه گیری کلسیم کربنات معادل در نمونه خاک

(۱) مقدار ۵-۰/۵ گرم (± 1 میلی گرم) از نمونه خاک را بر اساس جدول توزین کرده و به ظرف واکنش منتقل کنید.

جدول ۲- تخمین وزن مناسب نمونه خاک بر اساس آزمون جوشش

شدت جوشش پس از اضافه کردن HCl یک نرمال	کلسیم کربنات معادل (درصد)	وزن مناسب نمونه خاک (گرم) [†]
بدون جوشش، بسیار کم، کم با مدت زمان کوتاه	$8 >$	۵
جوشش نسبتاً شدید، تشکیل حباب با میزان کف کم	۸-۱۶	۲/۵
جوشش شدید، تشکیل کف با ضخامت زیاد و سریع	$16 >$	۱

[†] در صورتی که نمونه حاوی ۴۰ درصد یا بیشتر کلسیم کربنات باشد وزن نمونه ۰/۵ گرم خواهد بود.

(۲) مراحل ۳ تا ۷ همانند نمونه کلسیم کربنات برای نمونه خاک نیز تکرار می شود.

(۳) تمامی مراحل فوق را برای نمونه شاهد (نمونه بدون خاک)، یک نمونه ماده مرجع گواهی شده (CRM)^۱ یا نمونه کنترل کیفی نیز انجام دهید [۱۸].

۷- محاسبات و گزارش نتایج

- درصد کلسیم کربنات معادل^۲ (CCE) موجود در نمونه همانند معادله زیر محاسبه می شود:

^۱ Certified Reference Materials

^۲ Calcium Carbonate Equivalent

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

$$(۱) \quad \text{کربنات کلسیم معادل (درصد)} = \left(\frac{m_2 (V_1 - V_3)}{m_1 (V_2 - V_3)} \right) \times 100$$

که در آن

m_1 = وزن نمونه خاک برحسب گرم،

m_2 = میانگین وزن دو نمونه کلسیم کربنات خالص برحسب گرم،

V_1 = حجم دی اکسید کربن آزاد شده (اختلاف ارتفاع بورت در اثر جابجایی محلول) از واکنش نمونه برحسب میلی لیتر،

V_2 = میانگین حجم دی اکسید کربن آزاد شده (اختلاف ارتفاع بورت در اثر جابجایی محلول) از واکنش دو نمونه کلسیم کربنات خالص برحسب میلی لیتر،

V_3 = حجم دی اکسید کربن آزاد شده از نمونه شاهد (اختلاف ارتفاع بورت در اثر جابجایی محلول) برحسب میلی لیتر است.

- نتایج مقدار کلسیم کربنات معادل خاک را برحسب درصد و با دقت یک رقم اعشار گزارش نمائید.

نکات

(۱) اندازه گیری کلسیم کربنات در نمونه خاک، شاهد، ماده مرجع گواهی شده و پودر کلسیم کربنات در محیطی انجام شود که دما و فشار آن ثابت باشد.

(۲) منبع اصلی خطا در این روش نشت گاز CO_2 از مخلوط واکنش است. یکسان بودن تمامی مراحل کار برای همه ی نمونه ها مانند حجم اسید، شدت هم خوردن مخلوط نمونه و اسید، و مدت زمان انجام آزمایش لازم و ضروری است.

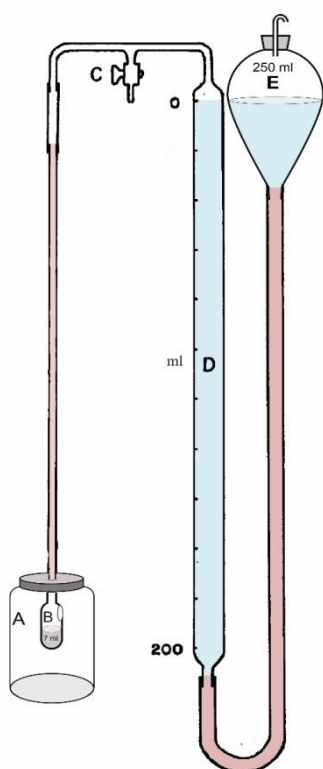
(۳) اضافه کردن آب به نمونه باعث رقیق شدن اسید و در نتیجه کاهش میزان اکسایش مواد آلی می شود. از این رو، در خاک های با درصد ماده آلی بالا باید مقدار بیشتری آب به نمونه اضافه شود.

(۴) در خاک های با درصد کلسیم کربنات بالا برای جلوگیری از کف کردن بیش از اندازه نمونه در زمان واکنش می توان به مخلوط مورد نظر پیش از اضافه کردن اسید چند قطره الکل اضافه کرد.

(۵) برای به حداقل رساندن اکسایش ترکیبات آلی در نمونه و تولید کربن دی اکسید می توان از ترکیبات $FeCl_2$ با $SnCl_2$ (۵ درصد به صورت وزنی) استفاده کرد.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

۶) اکثر کانی‌های کربناتی در اسید رقیق به سرعت حل می‌شوند اما کانی‌های دولومیت برای انحلال در اسید سرد به زمان بیشتری نیاز دارند. از این رو برای حصول اطمینان از انحلال کامل این کانی‌ها باید زمان واکنش را برای خاک‌های دارای دولومیت افزایش داد.



شکل ۱- کلسیمتر حجمی برای اندازه‌گیری کلسیم کربنات معادل

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری		بخش آزمایشگاه‌ها	

۷- منابع مورد استفاده

۱. شهبازی، ک.، مارزی، م.، محمدی، م. ح.، اسدی، ح.، فتحی گردلیدانی، ا.، هاشمی نسب زواره، ک.، طلوعی، ر.، بهشتی، م.، آویژگان، ا.، چراغی، م. ۱۴۰۳. روش‌های تجزیه خاک: نمونه برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱، ۱-۱۰۷۴.

2. Loeppert, R.H. and D.L. Suarez, *Carbonate and gypsum*. 1996.
3. Richards, L.A., *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. 1969: United States Department Of Agriculture; Washington.
4. Bui, E., R. Loeppert, and L. Wilding, *Carbonate phases in calcareous soils of the western United States*. Soil Science Society of America Journal, 1990. **54**(1): p. 39-45.
5. Doner, H.E. and W.C. Lynn, *Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals*. Minerals in soil environments, 1989(mineralsinsoile): p. 279-330.
6. Nelson, D.W. and L.E. Sommers, *Methods of soil analysis*. Part, 1982. **2**: p. 539-579.
7. Moody, L.E. and R. Lal, *Leaching and illuviation*. Encyclopedia of soil science. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2006: p. 1022-1025.
8. Inskeep, W.P. and P.R. Bloom, *Soil Chemical Factors Associated with Soybean Chlorosis in Calciaquolls of Western Minnesota 1*. Agronomy Journal, 1987. **79**(5): p. 779-786.
9. Lindsay, W.L. and D. Thorne, *Bicarbonate ion and oxygen level as related to chlorosis*. Soil Science, 1954. **77**(4): p. 271-280.
10. USDA, *Keys to soil taxonomy*. Soil Survey Staff. 2014.
11. Allison, L. and C. Moodie, *Carbonates*, P 1379-1396. Methods of soil analysis. American society of agronomy, Madison, WI, 1965.
12. Rabenhorst, M., *Determination of organic and carbonate carbon in calcareous soils using dry combustion*. Soil Science Society of America Journal, 1988. **52**(4): p. 965-968.
13. Allison, L., *Wet-Combustion Apparatus and Procedure for Organic and Inorganic Carbon in Soil 1*. Soil Science Society of America Journal, 1960. **24**(1): p. 36-40.
14. Bundy, L. and J. Bremner, *A Simple Titrimetric Method for Determination of Inorganic Carbon in Soils 1*. Soil Science Society of America Journal, 1972. **36**(2): p. 273-275.
15. Martin, A.E. and R. Reeve, *A rapid manometeic method for determining soil carbonate*. Soil Science, 1955. **79**(3): p. 187-198.
16. Presley, B., *A simple method for determining calcium carbonate in sediment samples*. Journal of Sedimentary Research, 1975. **45**(3).
17. Dreimanis, A., *Quantitative gasometric determination of calcite and dolomite by using Chittick apparatus*. Journal of Sedimentary Research, 1962. **32**(3): p. 520-529.
18. Shahbazi, K., *Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent -Volumetric Calcimeter method*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. **1**: p. 13.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 112	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
		اندازه گیری کربنات کلسیم معادل- روش کلسیمتری	بخش آزمایشگاهها

تهیه و تدوین:

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.

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.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از کلیه کارشناسان محترم بخش آزمایشگاهها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود) بویژه سرکار خانم الهه ملک زاده و آقایان دکتر مهدی بهشتی، 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 Calcium Carbonate Equivalent- Calcimeter Method

Record No: SWRI-S-112

Version: Rev-01-1403/10

2025

