

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 کربن آلی خاک – روش اکسیداسیون با پتاسیم دی- کرومات

SWRI-S-110

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		بخش آزمایشگاه‌ها	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی-کرومات

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، 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 تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۲
- ۳- وسایل..... ۲
- ۴- مواد و/یا واکنشگرها..... ۳
- ۵- روش کار..... ۴
- ۶- محاسبات و گزارش نتایج..... ۵
- ۷- منابع مورد استفاده..... ۸

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱ از ۱۴		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	

۱- مقدمه

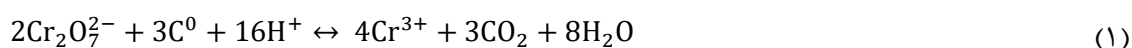
کربن آلی یکی از مهم‌ترین اجزای خاک است زیرا بر روی اکثر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارد. افزایش محتوای ماده آلی خاک باعث بهبود خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، زیستی و هیدرولیکی خاک شده و در نتیجه بهبود رشد گیاه می‌شود. محتوای بالای ماده آلی خاک باعث افزایش نگهداری آب در خاک، کاهش فرسایش، افزایش نگهداری عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش تنوع زیستی می‌شود. افزون بر این، ماده آلی باعث بهبود خاکدانه‌سازی و بهتر شدن ساختمان خاک می‌شود و در نتیجه امکان حرکت هوا و آب و همچنین رشد بهتر ریشه را در خاک فراهم می‌کند. کربن آلی خاک به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک کمک می‌کند. مکان‌های تبادل کاتیونی امکان حفظ عناصر غذایی و همچنین اتصال بسیاری از مواد شیمیایی-آلی با منشأ انسانی را فراهم می‌کند. از این رو، آب‌شویی این مواد شیمیایی خطرناک در طول پروفیل خاک را به حداقل رسانده و فراهمی زیستی آن‌ها را کاهش می‌دهد که باعث کاهش سمیت می‌شود. ارزیابی دقیق کربن آلی خاک هم از نظر پایش حاصلخیزی خاک و هم از نظر ارزیابی CO₂ اتمسفری و تغییرات اقلیمی دارای اهمیت زیادی است. کربن آلی خاک‌ها به صورت مستقیم پس از حذف کربن معدنی و یا در بیشتر موارد با استفاده از اکسایش سریع با پتاسیم دی‌کرومات اندازه‌گیری می‌شود. در حال حاضر دو دسته روش برای برآورد و اندازه‌گیری محتوای کربن آلی خاک وجود دارد: (۱) روش عیارسنجی، شامل هیدرولیز اسیدی مواد آلی در حضور اکسنده و سپس اندازه‌گیری مقدار ماده اکسید نشده با استفاده از عیارسنجی و (۲) روش‌های مختلف احتراق، شامل احتراق تر و خشک که طی آن‌ها ماده آلی اکسید شده و مقدار CO₂ تولید شده اندازه‌گیری می‌شود. در روش عیارسنجی تنها بخشی از ماده آلی اکسید می‌شود و از این رو، یک ضریب تجربی برای تبدیل به کل ماده آلی لازم است. در انتخاب روش اندازه‌گیری، قابلیت اطمینان، تکرارپذیری، بازه زمانی، هزینه تجهیزات و مواد شیمیایی و خطرات احتمالی آن برای سلامت انسان و محیط زیست از پارامترهای اساسی هستند. روش والکلی-بلک، به دلیل آسانی و ارزان بودن، به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری ماده آلی در خاک‌ها، رسوبات آلی و ضایعات استفاده می‌شود. محدودیت اصلی این روش این است که تنها بخش فعال کربن آلی اکسید می‌شود. مقدار کربن آلی بازیابی شده نیز به نوع خاک و ماهیت ماده آلی موجود در آن بستگی دارد. بازیابی این روش حدود ۷۷ درصد می‌باشد [۱].

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۲ از ۱۴	اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	بخش آزمایشگاه‌ها	

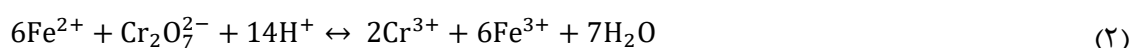
۲- اصول

در این روش کربن آلی خاک توسط محلول پتاسیم دی‌کرومات در حضور سولفوریک اسید اکسید می‌شود. گرمای واکنش باعث افزایش دما می‌شود که برای اکسایش کربن آلی کافی است.

واکنش شیمیایی به صورت زیر است:



از این‌رو، آنچه در واقع اندازه‌گیری می‌شود، دی‌کرومات باقیمانده است که با فروسولفات یا آمونیوم فروسولفات با استفاده از ترکیب دی‌فنیل آمین یا ارتوفنانترولین-فرو به‌عنوان معرف رنگی به روش عیارسنجی برگشتی اندازه‌گیری می‌شود. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ در طی واکنش با خاک کاهش می‌یابد که این کاهش معادل کربن موجود در ماده آلی نمونه خاک است. باید تأکید کرد که این روش فرض می‌کند کربن در ماده آلی خاک دارای میانگین ظرفیت صفر است که طی فرآیند تبدیل به کربن دی‌اکسید، اکسید شده و به ظرفیت چهار می‌رسد، در حالی که کربنات‌های خاک خود به شکل اکسید هستند و در واکنش‌های اکسایش و احیا شرکت نمی‌کنند [۲-۴]. پس از کامل شدن واکنش، مقدار اضافی $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ با $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ یا $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ تیتراسیون و اندازه‌گیری می‌شود.



۳- وسایل

(۱) ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم.

(۲) بورت ۵۰ میلی‌لیتری با دقت ۰/۰۲ ± میلی‌لیتر برای محلول تیترانت.

(۳) پیپت ۱۰ میلی‌لیتری/پیپت اتوماتیک با دقت ۰/۰۱ ± میلی‌لیتر برای محلول پتاسیم دی‌کرومات.

(۴) پیپت اتوماتیک، تنظیم شده در ۲۰ میلی‌لیتر برای سولفوریک اسید غلیظ.

(۵) ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری دهانه گشاد.

(۶) همزن مغناطیسی و میله شیشه‌ای.

(۷) آون با قابلیت تنظیم دما بر روی ۱۰۵ درجه سلسیوس.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 110	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۳ از ۱۴		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		بخش آزمایشگاه‌ها

(۸) بالن حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری.

(۹) بشر ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتری.

(۱۰) هود آزمایشگاهی.

۴- مواد و/یا واکنشگرها

(۱) آب دو بار تقطیر/ آب مقطر، با قابلیت هدایت الکتریکی کمتر از $10^{-3} \times 1/5$ dS/m.

(۲) دی‌کرومات پتاسیم، ۰/۱۶۷ مولار (۱ نرمال): ۴۹/۰۴ گرم $K_2Cr_2O_7$ (خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت) را در آب مقطر حل کرده به حجم یک لیتر رسانده شود.

(۳) سولفوریک اسید غلیظ (خلوص آن کمتر از ۹۶ درصد نباشد): اگر خاک دارای Cl^- است، Ag_2SO_4 به نسبت ۱۵ گرم در لیتر به اسید اضافه شود.

(۴) ارتوفانترولین، ۰/۰۲۵ مولار: ۱۴/۸۵ گرم از ارتوفانترولین مونوهیدرات و ۶/۹۵ گرم آهن‌سولفات هفت آبه $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ در آب حل کرده و به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شود.

نکته: باریم دی‌فنیل‌آمین‌سولفونات (۰/۱۶ درصد) محلول آبی می‌تواند به‌عنوان جایگزین برای این بند در نظر گرفته شود.

فسفریک اسید ۸۵ درصد (اگر معرف دی‌فنیل‌آمین استفاده می‌شود): به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر به هر نمونه اضافه شود. فسفریک اسید اضافه شده، با تشکیل کمپلکس، از مزاحمت Fe^{3+} جلوگیری می‌کند و تغییر رنگ واضح‌تر تشخیص داده می‌شود. در جریان عیارسنجی، ترکیب سبز رنگ $Fe_2(SO_4)_3$ تشکیل می‌شود که در تشخیص تغییر رنگ نقطه پایانی عیارسنجی با شناساگر دی‌فنیل‌آمین‌سولفونات تداخل ایجاد می‌کند. فسفریک اسید منجر به تشکیل ترکیب $FePO_4$ می‌شود و از مزاحمت یون Fe^{3+} جلوگیری می‌نماید [۲، ۵].

(۵) محلول آهن سولفات هفت آبه $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ ۰/۵ مولار (۰/۵ نرمال): ۱۴۰ گرم $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ با درجه

آزمایشگاهی در آب مقطر حل کرده و به آن ۱۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه شود. اجازه داده شود تا

محلول سرد شود و سپس به حجم یک لیتر رسانده شود.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۴ از ۱۴	اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		
		بخش آزمایشگاه‌ها	

۶) محلول فروآمونیم سولفات (۵/۰ مولار): مقدار ۱۹۶ گرم از $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ در ۷۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شود، سپس ۲۰ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ به آن اضافه شود و اجازه داده شود تا محلول سرد شود، سپس با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شود.

نکته: Fe^{2+} در هر دو محلول با قرار گرفتن در معرض هوا اکسید می‌شود، از این رو، نرمالیت دقیق این محلول‌ها باید به صورت روزانه از طریق عیارسنجی ۱۰ میلی لیتر دی‌کرومات پتاسیم ۰/۱۶۷ مولار (۱) نرمال تعیین شود. این محلول می‌بایست در هر ۳۰ روز به‌صورت تازه آماده شود. به کمک رابطه زیر می‌توان نرمالیت دقیق فروسولفات را محاسبه نمود:

$$\text{mL K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times N_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = \text{mL FeSO}_4 \times N_{\text{FeSO}_4} \quad (۱)$$

$\text{mL K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: حجم پتاسیم دی‌کرومات مصرفی (۱۰ میلی لیتر)

$N_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}$: نرمالیت دی‌کرومات پتاسیم (۱ نرمال)

mL FeSO_4 : حجم فروسولفات مصرفی برای شاهد (میلی لیتر)

N_{FeSO_4} : نرمالیت فروسولفات.

۵- روش کار

۱) مقداری از خاک هوا خشک را کوبیده و به‌طور کامل از الک ۵/۰ میلی متری عبور دهید، از هاون آهنی یا استیل برای این کار استفاده نشود.

۲) وزنی از نمونه خاک را داخل ارلن مایر ۵۰۰ میلی لیتری توزین کنید، به‌طوری که حاوی ۱۰ تا ۲۵ میلی گرم کربن آلی باشد، اما از ۱۰ گرم خاک بیشتر نشود. معمولاً در خاک‌های ایران ۱ گرم نمونه کافی است ولی برای اطلاعات بیشتر می‌توان از جدول ۱ استفاده کرد.

۳) مقدار ۱۰ میلی لیتر پتاسیم دی‌کرومات ۰/۱۶۷ مولار (۱ نرمال) اضافه کرده و ارلن به آرامی چرخانده شود تا خاک با محلول پراکنده شود.

۴) سپس سریعاً ۲۰ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه شود و فوراً ارلن به آرامی چرخانده شود تا خاک و واکنشگرها مخلوط شوند، سپس به مدت یک دقیقه با شدت بیشتر چرخانده شود.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۵ از ۱۴		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	

بنفش آزمایشگاه‌ها

- (۵) نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه بماند.
- (۶) سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ارلن اضافه شود (تجربه نشان داده است که اگر در فرآیند عیارسنجی تشخیص نقطه پایان سخت باشد، برای تسهیل تشخیص نقطه پایانی بهتر است محلول توسط کاغذ صافی مقاوم به اسید (برای مثال واتمن ۵۴۰) صاف شود).
- (۷) ۳ تا ۴ قطره معرف ارتوفنانترولین اضافه شود و با محلول فروآمونیم سولفات ۰/۵ مولار عیارسنجی شود.
- (۸) در هنگام عیارسنجی با این محلول، تغییر رنگ از سبز کمرنگ به سبز تیره بوده و در هنگام رسیدن به نقطه پایان عیارسنجی به خرمایی مایل به قرمز^۱ تغییر رنگ می‌دهد.
- (۹) در صورت استفاده از معرف دی‌فنیل‌آمین سولفونات رنگ در ابتدا به بنفش-آبی و در نقطه پایان عیارسنجی به رنگ سبز درخشان تغییر می‌کند.
- (۱۰) با هر سری نمونه برای استاندارد کردن پتاسیم‌دی‌کرومات، یک شاهد (بدون خاک) گذاشته شود. اگر در نمونه‌ای بیش از ۷۵ درصد پتاسیم‌دی‌کرومات کاهش یافت، اندازه‌گیری را با توزین مقدار کمتری خاک تکرار کنید.

۶- محاسبات و گزارش نتایج

محاسبه مقدار کربن آلی خاک با استفاده از فرمول زیر انجام می‌شود.

$$\text{کربن آلی (\%)} = \frac{(a-b) \times N \times 0.003 \times 100 \times f}{m} \quad (1)$$

که در آن:

a: حجم فروسولفات مصرفی برای شاهد بر حسب میلی‌لیتر

b: حجم فروسولفات مصرفی برای نمونه بر حسب میلی‌لیتر

N: نرمالیتی فروسولفات مصرفی

^۱ Maroon

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۶ از ۱۴	اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	بخش آزمایشگاه‌ها	

III: وزن نمونه مصرفی بر حسب گرم

۰/۰۰۳ : وزن اکی‌والان کربن اکسید شده است (یعنی $3 \text{ mg/meq} = 0.003 \text{ g/meq}$) $\left(\frac{\text{جرم اتمی}}{\text{ظرفیت}} \right) = \frac{12}{4}$ که در واکنش

به این صورت است:

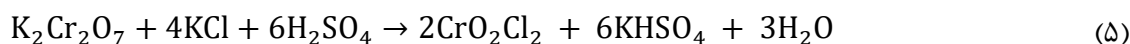
f: ضریب تصحیح است که برابر $1/3$ در نظر گرفته می‌شود و یا باید مقدار مناسب آن برای آزمایش به‌دست آید.

نکته: استفاده از ضریب تصحیح $1/3$ ضروری است، زیرا به‌طور میانگین تنها ۷۷ درصد ماده آلی خاک با این روش قابل بازیابی است. با این حال، این نکته باید در نظر گرفته شود که این ضریب بسیار متغیر است، چون بسته به نوع خاک و ماهیت ماده آلی تغییر می‌کند و در صورت امکان بسته به شرایط آزمایشگاه و نوع خاک محاسبه شود.

- نتایج کربن آلی خاک را برحسب درصد و با دو رقم اعشار گزارش نمایید.

نکات

(۱) کلر: وجود کلر در خاک‌های شور و با املاح زیاد طبق واکنش زیر ایجاد مزاحمت می‌نماید، بدین معنی که مقداری از دی‌کرومات، صرف اکسید شدن کلر می‌شود و بدین ترتیب در نتیجه نهایی تأثیر می‌گذارد و باعث بیش برآورد در مقدار کربن آلی می‌شود.



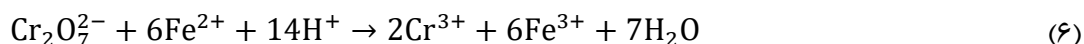
برای رفع مزاحمت کلر، ۱۵ گرم در لیتر، Ag_2SO_4 به سولفوریک اسید اضافه می‌شود که با تشکیل رسوب AgCl از مزاحمت کلر جلوگیری می‌کند.

(۲) آهن فرو (Fe^{2+}): وجود آهن دو ظرفیتی در تعیین میزان کربن آلی در خاک مزاحمت ایجاد می‌نماید. البته در اکثر خاک‌ها، مشکل وجود آهن دو ظرفیتی وجود ندارد، فقط در خاک‌های با شرایط احیایی^۱ یا خاک‌هایی که از نظر زهکشی مشکل دارند ممکن است آهن دو ظرفیتی یافت شود. مقداری از پتاسیم دی‌کرومات صرف اکسید

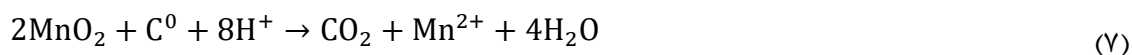
^۱ Gley

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۷ از ۱۴		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات	

شدن آهن فرو می‌شود که این در صورتی اتفاق می‌افتد که خاک به صورت مرطوب تجزیه شود و با هوا خشک کردن نمونه آهن فرو به آهن فریک اکسید می‌شود و مشکلی ایجاد نخواهد شد.



۳) $\text{Mn}^{3+}, \text{Mn}^{4+}$: حضور اکسید منگنز در خاک باعث اکسید شدن ماده آلی می‌شود و در نتیجه کربن آلی خاک کمتر برآورد می‌شود. اگر مقدار زیادی MnO_2 در خاک وجود داشته باشد، مرحله پیش تیمار با FeSO_4 برای حذف مزاحمت آن ضروری است. هر چند این تداخل خطای جزئی در محاسبات ایجاد می‌کند، زیرا حتی در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیاد منگنز هستند، مقدار کمی از منگنز دی‌اکسید برای اکسایش کربن آلی خاک با $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ رقابت می‌کند [۶]. نظر به ذخایر کم کانسار پیرولوسیت^۱ و آهکی بودن اکثر خاک‌های ایران [۷]، این تداخل قابل چشم‌پوشی به نظر می‌رسد.



۴) Fe^{3+} : برای حذف اثر مزاحمت آهن فریک که ممکن است در نمونه وجود داشته باشد H_3PO_4 اضافه می‌شود، اگر چه در بیشتر موارد این مرحله ضروری نیست و در صورت استفاده از معرف دی‌فنیل آمین سولفونات باید H_3PO_4 اضافه شود [۸].

۵) مداخله ترکیبات زغالی: وجود ترکیبات زغالی (زغال چوب^۲، زغال سنگ^۳، کک و دوده) باعث کاهش درصد بازیابی می‌شود. بدون استفاده از حرارت خارجی، بازیابی کربن آلی موجود در ترکیبات زغالی کم و با به کارگیری حرارت خارجی، درصد بازیابی این مواد متغیر است، زیرا اکسایش ترکیبات زغالی بسته به زمان و دمای حرارت دادن و نیز ویژگی‌های ترکیبات زغالی مانند تشکیل کمپلکس‌های ارگانومینرال و نوع گروه‌های عاملی موجود در آن‌ها متغیر است [۹، ۱۰]. از این‌رو، این روش ۲ تا ۱۱ درصد از کربن آلی موجود در ترکیبات زغالی را بازیابی می‌کند [۱۱].

^۱ Pyrolusite (MnO_2)

^۲ Charcoal

^۳ Coal

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 110	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۸ از ۱۴		اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		بفش آزمایشگاه‌ها

۶) از جدول ۱ می‌توان به‌عنوان یک راهنمای کلی برای تعیین وزن خاک مورد استفاده در تجزیه استفاده کرد.

جدول ۱- مقدار مناسب خاک برای اندازه‌گیری کربن آلی بر اساس رنگ.

وزن خاک (گرم)	کربن آلی تقریبی (درصد)	رنگ خاک
۰/۱	> ۲	سیاه، خاکستری تیره، قهوه‌ای تیره
۰/۲۵	≤ ۲	خاکستری- خاکستری تیره، قهوه- قهوه‌ای تیره
۰/۵	$< ۰/۶$	قهوه‌ای

۷) جدول ۱ فقط یک راهنما برای وزن خاک بر اساس رنگ آن است. درصد کربن آلی ممکن است در هر نوع رنگ خاک متفاوت باشد. به‌طور کلی، خاک‌های با رنگ سیاه تا قهوه‌ای تیره نسبت به خاک‌های با رنگ روشن میزان کربن و نیتروژن آلی بیشتری دارند.

۸) با توجه به واکنش شدید پتاسیم دی‌کرومات با مواد آلی خاک در حضور سولفوریک اسید، اضافه کردن اسید به واکنشگرها باید با رعایت نکات ایمنی در زیر هود انجام شود.

۷- منابع مورد استفاده

۱. شهبازی، ک.، مارزی، م.، محمدی، م. ح.، اسدی، ح.، فتحی‌گردیلدانی، 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. Allison, L., *Organic carbon. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 1965. **9**: p. 1367-1378.
3. Gelman, F., R. Binstock, and L. Halicz, *Application of the Walkley-Black titration for the organic carbon quantification in organic rich sedimentary rocks*. Fuel, 2012. **96**: p. 608-610.
4. Lal, R., *Encyclopedia of soil science*. 2006: CRC Press.
5. Tinsley, J., *The determination of organic carbon in soils by dichromate mixtures*. Transactions 4th Int. Cong. Soil Sci., 1950. **1**: p. 161-164.
6. Nelson, D.W. and L.E. Sommers, *Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis part 3—chemical methods*, 1996(methodsofsoilan3): p. 961-1010.
7. Shahbazi, K. and H. Besharati, *Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. Land Management Journal 1 (1): 1-15*. Persian with English abstract, 2013.
8. Tiessen, H. and J. Moir, *Total and organic carbon. Soil sampling and methods of analysis*, 1993: p. 187-199.
9. Skjemstad, J. and J. Taylor, *Does the Walkley-Black method determine soil charcoal?* Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1999. **30**(15-16): p. 2299-2310.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۹ از ۱۴	اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		بخش آزمایشگاه‌ها

10. Chatterjee, A., et al., *Evaluation of different soil carbon determination methods*. Critical Reviews in Plant Science, 2009. **28**(3): p. 164-178.
11. Walkley, A., *A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils—effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents*. Soil science, 1947. **63**(4): p. 251-264.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 110	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری کربن آلی خاک- روش اکسیداسیون با پتاسیم دی‌کرومات		بخش آزمایشگاه‌ها	

تهیه و تدوین:

مهدی بهشتی

دانش آموخته دکتری دانشگاه تهران، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

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 فاطمه پرویزی و آقایان 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 Soil Organic Carbon-Potassium
Dichromate Oxidation Method**

Record No: SWRI-S-110

Version: Rev-01-1403/10

2025

