



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 جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه

SWRI-S-126

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه

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

نمابر: 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- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
		اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه	دفتر آزمایشگاه‌ها

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۳
- ۳- وسایل..... ۳
- ۴- روش کار..... ۴
- ۵- محاسبات و گزارش نتایج..... ۵
- ۶- منابع مورد استفاده..... ۸
- پیوست ۱- تغییرات گرانروی و جرم مخصوص آب خالص در دماهای مختلف (IAPWS 2008)..... ۹

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها

۱- مقدمه

خاک متشکل از ذرات جامد (معدنی و آلی) در اندازه‌های مختلف است که توسط مواد آلی، اکسیدهای معدنی و ذرات رس باردار به یکدیگر متصل شده‌اند. فضاهای بین ذرات خاک به صورت شبکه پیچیده‌ای از منافذ در اندازه‌های متنوع به هم متصل شده‌اند. منافذ کل خاک شامل منافذ بین ذرات خاک و فضای بین خاکدانه‌های خاک است. خاک از طریق این منافذ آب و هوا را با محیط مبادله می‌کند [۱].

جرم مخصوص ظاهری عبارتست از جرم خاک خشک به حجم کل خاک (مجموع حجم ذرات جامد و منافذ بین ذرات خاک) در شرایط طبیعی است [۲] و به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\rho_b = \frac{M_d}{V_t} \quad (1)$$

که در آن،

ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب.

M_d : جرم خاک خشک بر حسب گرم.

V_t : حجم کل خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب.

واحدهای مرسوم جرم مخصوص ظاهری مگاگرم بر متر مکعب یا معادل آن گرم بر سانتی‌متر مکعب است. جرم مخصوص ظاهری خاک یکی از مشخصات فیزیکی و پرکاربرد خاک است و در موارد زیادی مانند محاسبه تخلخل خاک، تبدیل روابط جرمی و حجمی خاک به یکدیگر و محاسبه جرم حجم معینی از خاک کاربرد دارد [۳]. جرم مخصوص ظاهری مستقیماً نشان‌دهنده میزان فشردگی خاک است و در مواردی با استفاده از آن می‌توان به وضعیت ساختمان خاک پی برد. همچنین این ویژگی در برآورد نگهداشت آب در خاک موردنیاز بوده و دانستن آن به عنوان یک عامل ورودی در مدل‌هایی که به بررسی آب، املاح و رسوبات می‌پردازند ضروری است [۴]. هدایت گرمایی، گنجایش گرمایی ویژه و مقاومت در برابر نفوذ از ویژگی‌های وابسته به مقدار جرم مخصوص ظاهری هستند. جرم مخصوص ظاهری یک ویژگی ثابت خاک نیست و بسته به نوع کاربری اراضی، نحوه کشت و فعالیت‌های خاک‌ورزی

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۲ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها

در آن تغییر می‌کند. مقدار جرم مخصوص ظاهری بستگی به بافت، ساختمان، محتوی ماده آلی و فشردگی خاک دارد. معمولاً جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شنی حدود $1/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب (به علت فضای منافذ کل کمتر)، خاک‌های رسی و لومی حدود $1/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و خاک‌های پیت حدود $0/25$ گرم بر سانتی‌متر مکعب است [۵]. نظریه‌های زیادی برای تعداد نمونه‌های موردنیاز برای تعیین جرم مخصوص ظاهری وجود دارد. برخی محققان برای تعیین جرم مخصوص ظاهری چهار نمونه [۶] و برخی ۵ تا ۲۰ نمونه استوانه با قطر $7/5$ سانتی‌متر را لازم می‌دانند [۷].

برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، باید جرم ذرات و حجم کل خاک به دقت اندازه‌گیری شود. در مبحث جرم مخصوص ظاهری نحوه به دست آوردن حجم کل نمونه مهم است؛ زیرا جرم نمونه به سادگی با توزین خاک خشک شده در آون به دست می‌آید.

چهار روش رایج برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری وجود دارد که عبارتند از: روش استوانه، کلوخه، گودال و روش غیرمستقیم (مانند تابش اشعه گاما و...). در روش استوانه، نمونه‌برداری در محل صورت می‌گیرد و در بیشتر خاک‌های کشاورزی و خاک‌های آلی قابل اجرا است. برای نمونه‌برداری به روش استوانه، خاک باید در شرایط رطوبتی خاص باشد (رطوبت نزدیک به ظرفیت مزرعه معادل، یا رطوبت در مکش بین ۱۰ تا ۳۳ کیلوپاسکال). ولی در روش کلوخه می‌توان نمونه‌ها را در شرایط خشک (شرایط طبیعی مزرعه) تهیه کرد. روش گودال نیز برای خاک‌های پر از قطعات بزرگ سنگ و یا دارای افق‌های نازک یا حساس به ریزش مناسب است [۸]. روش‌های غیر مستقیم هم شامل روش‌های غیر مخرب خاک و قابل اندازه‌گیری در محل هستند. لازم به یادآوری است در منابع علمی از توابع تبدیلی خاک نیز به عنوان روش غیرمستقیم برای برآورد جرم مخصوص ظاهری استفاده می‌شود. توابع تبدیلی^۱، روابط رگرسیونی هستند که با استفاده از برخی ویژگی‌های زودیافت می‌توانند ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری آن‌ها زمان‌بر و پرهزینه است، را برآورد نمایند.

^۱Pedotransfer functions

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۳ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		

۲- اصول

مبنای این روش استفاده از استوانه‌های فلزی با حجم مشخص است و حجم استوانه برابر حجم نمونه‌ی برداشته شده است. انتهای دیواره خارجی استوانه تیز شده است تا ورود استوانه به داخل خاک را آسان کند. نمونه‌برداری باید در خاک‌های چسبنده و منسجم یا در شرایط رطوبتی خاصی از خاک انجام شود (رطوبت نزدیک ظرفیت مزرعه معادل). در خاک‌های منسجم، نمونه‌ها پس از خروج استوانه از محل در درون آن باقی می‌مانند و ریزش نمی‌کنند [۱]. از سویی در خاک‌های با رطوبت مناسب، استوانه هنگام ضربه زدن به راحتی، بدون نیاز به اعمال فشار زیاد و یا بدون فروپاشی و تراکم خاک، داخل محل نمونه‌برداری فرو می‌رود. پس از این‌که نمونه‌برداری انجام شد، حتماً باید ابتدا و انتهای نمونه تمیز و برش داده شود. گرو سمن و رینش [۹] دو نوع استوانه بر حسب ارتفاع پیشنهاد کردند: استوانه‌های کوتاه (ارتفاعی بین ۵-۱۵ سانتی‌متر) و استوانه‌های بلند (بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر ارتفاع و قطری بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر). تاپ و همکاران [۱۰] نتیجه گرفتند که ارتفاع استوانه جرم مخصوص ظاهری باید بیش از قطر آن بوده و حداقل ۷/۵ و ترجیحاً ۱۰ سانتی‌متر باشد. ایشان هم‌چنین ضخامت دیواره استوانه را نیز ۰/۵ تا ۰/۶ میلی‌متر پیشنهاد کردند. به طور کلی اعتقاد بر این است که جرم مخصوص اندازه‌گیری شده با استوانه‌های کوچک‌تر بیشتر است [۸].

۳- وسایل

- ۱) نمونه‌بردار خاک.
- ۲) پتک، بیلچه و کاردک.
- ۳) استوانه‌های نمونه‌برداری با حجم مشخص به همراه درپوش.
- ۴) کولیس.
- ۵) آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد ترجیحاً مجهز به فن.
- ۶) ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم.
- ۷) دسیکاتور.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۴ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مفصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها

۴- روش کار

۱) برای نمونه‌برداری، خاکی با سطح صاف و دست‌نخورده انتخاب کنید. پیش از نمونه‌برداری، مواد آلی و کاه و کلش را از سطح خاک کنار بزنید.

۲) استوانه نمونه‌برداری را وزن کنید (m_1).

۳) به کمک یک کولیس قطر داخلی (d) و ارتفاع استوانه (h) را برای تعیین حجم استوانه (V_t) اندازه بگیرید.

۴) استوانه را روی خاک قرار داده و با نیروی ثابت داخل خاک فشار دهید تا استوانه بدون تراکم خاک، پر شود.

دقت کنید استوانه کاملاً قائم در خاک فرو رود. تغییر زاویه استوانه در حین فروروی در خاک منجر به افزایش

در جرم مخصوص خاک می‌شود. در صورتی که رطوبت خاک مناسب باشد، استوانه به راحتی یا با مقداری فشار

یکنواخت وارد خاک می‌شود. در غیر این صورت ممکن است برای ورود استوانه به خاک نیاز به چند ضربه

چکش باشد. در این صورت از نمونه‌بردار و چکش استفاده کنید. نمونه‌بردار را روی استوانه قرار داده و با چکش

چند ضربه به بالای دسته نمونه‌بردار بزنید. تحت هیچ شرایط نباید ضربه چکش یا هر عامل فشردگی دیگر به

سطح خاک وارد شود.

۵) پس از فرو رفتن استوانه در خاک و پر شدن آن، به کمک بیلچه، خاک اطراف استوانه را خالی کنید تا به راحتی

از خاک خارج شود.

۶) پس از خروج نمونه دست‌نخورده، علائم خردشدگی و فشردگی خاک را بررسی کنید و در صورتی که نمونه

سالم است، بالا و پایین نمونه را با کاردک برش دهید تا سطح نمونه خاک با سطح استوانه تراز شود. در این

حالت حجم خاک برابر حجم استوانه است. باید دقت شود که صاف کردن سطح خاک به معنای صیقلی کردن

و از بین بردن منافذ خاک نیست.

۷) در صورت وجود ریشه قابل توجه یا قطعات درشت سنگ، باید نمونه‌برداری دوباره انجام شود. پس از نمونه‌برداری

حتماً درپوش دو طرف استوانه را بگذارید تا هم رطوبت خاک حفظ شود و هم خاک تا پیش از توزین سالم

بماند.

۸) جرم استوانه حاوی خاک را اندازه بگیرید (m_2).

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۵ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		

۹) نمونه را داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۲۴ ساعت خشک کنید. نمونه‌های با حجم ۳۵۰ سانتی‌متر مکعب نیاز به ۲ الی ۳ روز خشک شدن دارند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها را در دسیکاتور قرار دهید تا سرد شوند. سپس جرم آن‌ها را تعیین کنید (m_3).

۱۰) پس از تعیین جرم نمونه خشک شده با ترازو، در صورت حضور ذرات درشت، خاک استوانه را روی الک ۲ میلی‌متر خالی کنید و با آب شستشو دهید. سپس ذرات باقی‌مانده روی الک را به آون منتقل کنید و پس از خشک کردن در آون، آن را وزن نمایید (m_4).

۱۱) ذرات باقی‌مانده روی الک را داخل استوانه مدرج حاوی آب با حجم اولیه (V_1) بریزید و پس از بالا آمدن سطح آب در استوانه مدرج، حجم ثانویه را یادداشت کنید (V_2).

۵- محاسبات و گزارش نتایج

حجم استوانه نمونه‌برداری معادل حجم نمونه بر حسب سانتی‌متر مکعب، با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$V_t = \frac{1}{4} \pi d^2 h \quad (۲)$$

جرم مخصوص ظاهری خشک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$\rho_b = \frac{m_3 - m_1}{V_t} \quad (۳)$$

مقدار رطوبت حجمی خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب آب در سانتی‌متر مکعب خاک را هم می‌توان از رابطه ۴

محاسبه کرد:

$$\theta_v = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times \frac{\rho_b}{\rho_l} \quad (۴)$$

که در آن،

ρ_l : جرم مخصوص آب (تقریباً برابر با ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

جرم مخصوص ظاهری مرطوب خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب همانند رابطه ۵ تعیین می‌شود:

$$\rho_{bw} = \rho_b + \theta_v \quad \text{یا} \quad \rho_{bw} = \frac{m_2 - m_1}{V_t} \quad (۵)$$

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۶ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها

از جرم مخصوص ظاهری مرطوب در مکانیک خاک و در مقایسه نمونه‌هایی که هنگام خشک شدن تغییرات حجمی نشان می‌دهند، استفاده می‌شود.

حجم ذرات درشت خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$V_{CS} = V_2 - V_1 \quad (۶)$$

جرم مخصوص ظاهری پس از تصحیح ذرات درشت بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب از رابطه ۷ محاسبه

می‌شود:

$$\rho_b = \frac{m_3 - m_1 - m_4}{V_t - V_{CS}} \quad (۷)$$

- جرم مخصوص ظاهری را بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و با دو رقم اعشار گزارش نمایید.

نکات

۱) روش استوانه نیاز به ابزارهای ساده دارد و ارزان قیمت بوده؛ ولی بکارگیری آن در اعماق مختلف، گران، زمان‌بر و سخت است. در این روش مهارت کافی نیروی کار بسیار مهم است. گاهی دو نفر برای برداشتن نمونه از عمق لازم است.

۲) مشاهده شده است که همبستگی منفی بین اندازه استوانه و مقدار جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده وجود دارد. زیرا هرچه استوانه کوچکتر باشد شدت خرد شدگی و فشردگی خاک بیشتر می‌شود [۱۱]. با این وجود، استوانه‌های کوتاه رایج‌تر از استوانه‌های بلند هستند، زیرا نمونه‌برداری با استوانه‌های بزرگ در اعماق پایین خاک، بسیار دشوار است. برخی محققان مشاهده کرده‌اند که استفاده از استوانه‌های فلزی با حجم ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب برای استفاده در اعماق مختلف نتایج قابل اعتمادتری می‌دهد [۱۱].

۳) قطر استوانه تأثیر قابل توجهی بر دقت اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری در اعماق مختلف دارد. بزرگترین خطای این روش، فشردگی خاک است. برای جلوگیری از فشردگی خاک، قطر نمونه باید از ۷/۵ سانتی‌متر بیشتر و ارتفاع آن از قطر بیشتر نباشد. به‌ویژه زمانی که نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری‌هایی مثل توزیع اندازه

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۷ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بفش آزمایشگاه‌ها

منافذ یا هدایت هیدرولیکی استفاده می‌شوند [۱۲]. اگر فقط جرم مخصوص ظاهری مدنظر باشد، معمولاً قطر

استوانه را ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند.

۴) از محدودیت‌های این روش آن است که در خاک‌های سست و غیرمنسجم، شنی و سنگریزه‌ای نمی‌توان نمونه برداشت؛ چون خاک از استوانه بیرون می‌ریزد [۱۳].

۵) باید نمونه‌برداری در رطوبت مناسب صورت گیرد تا استوانه با فشار دست به داخل خاک فرو رود. در صورت خشک بودن زیاد خاک، برای ورود استوانه به خاک باید از ضربات متعدد چکش استفاده کرد که این کار باعث از هم پاشیدن ساختمان خاک می‌شود. معمولاً در چنین مواقعی یک پلات کوچک در محل نمونه‌برداری انتخاب و آب به خاک اضافه می‌شود. آب شروع به نفوذ در خاک کرده و پس از مدتی اشباع می‌شود. در این حالت سطح خاک را با نایلون کاملاً می‌پوشانند تا آب خاک تبخیر نشود. پس از گذشت زمان، رطوبت کمتر شده و می‌توان از پلات، نمونه دست‌نخورده تهیه کرد. به طور کلی بهترین زمان نمونه‌برداری زمانی است که اصطلاحاً زمین گاورو شده باشد. در این رطوبت اگر مقداری از خاک با دست برداشت شده و در درون مشت فشرده شود، به هم می‌چسبد و یک توده منسجم را تشکیل می‌دهد ولی با یک ضربه کوچک دوباره از هم می‌پاشد.

۶) راجرز و کارتر [۱۴]، دریافتند اگر به جای فشار ثابت از ضربه برای فرو کردن استوانه نمونه‌برداری در خاک استفاده شود مقدار هدایت هیدرولیکی کمتری به دست می‌آید.

۷) در مواردی که عمق لایه از ارتفاع استوانه کمتر است (به‌ویژه در استوانه‌های با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) استفاده از این روش صحیح نیست. در این حالت روش گودال پیشنهاد می‌شود.

۸) در خاک‌های چسبنده یا فشرده، برای کاهش چسبندگی بین استوانه و خاک، در زمان نمونه‌برداری می‌توان از مقداری روغن یا روان کننده برای دیواره بیرونی استوانه استفاده کرد.

۹) این روش برای خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی ذرات بزرگتر از ۵ میلی‌متر هستند، کاربرد ندارد.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۸ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها

۶- منابع مورد استفاده

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.

- Rasiah, V. and B. Kay, *Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages*. Soil Science Society of America Journal, 1994. **58**(3): p. 935-942.
- Tamminen, P. and M. Starr, *Bulk density of forested mineral soils*. 1994.
- Curtin, D., et al., *Long-term management and clay dispersibility in two Haploborolls in Saskatchewan*. Soil Science Society of America Journal, 1994. **58**(3): p. 962-967.
- Movahedi Naeini, S.A. and M. Rezaei, *Soil physics: Fundamentals and application*. 1 ed. 2008, Gorgan: Grgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 476.
- Carter, M., *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publ., Boca Raton, FL. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publ., Boca Raton, FL., 1993: p. -.
- Terry, T., D. Cassel, and A. Wollum, *Effects of soil sample size and included root and wood on bulk density in forested soils*. Soil Science Society of America Journal, 1981. **45**(1): p. 135-138.
- Page-Dumroese, D.S., et al., *Comparison of methods for determining bulk densities of rocky forest soils*. Soil Science Society of America Journal, 1999. **63**(2): p. 379-383.
- Grossman, R. and T. Reinsch, *2.1 Bulk density and linear extensibility*. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods, 2002. **5**: p. 201-228.
- Topp, G., Y. Galganov, and B. Ball, *Soil water desorption curves*. p. 569-579. MR Carter (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publ., Ann Arbor, MI. Soil water desorption curves. p. 569-579. In MR Carter (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publ., Ann Arbor, MI., 1993: p. -.
- Casanova, M., et al., *Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile*. Chilean journal of agricultural research, 2016. **76**(1): p. 105-113.
- Blake, G. and K. Hartge, *Methods of Soil Analysis. Bulk Density, Part 1*. Agronomy, 1986. **9**: p. 363-375.
- Brahim, N., M. Bernoux, and T. Gallali, *Pedotransfer functions to estimate soil bulk density for Northern Africa: Tunisia case*. Journal of Arid Environments, 2012. **81**: p. 77-83.
- Rogers, J. and C. Carter, *Soil core sampling for hydraulic conductivity and bulk density*. Soil Science Society of America Journal, 1987. **51**(5): p. 1393-1394.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۹ از ۱۴	اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		

پیوست‌ها

پیوست ۱- تغییرات گرانی و جرم مخصوص آب خالص در دماهای مختلف (IAPWS 2008)^۱

دما (درجه سلسیوس)	گرانی (سانتی پواز)	جرم مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)
۲	۱/۶۷۳۵	۰/۹۹۹۹
۳	۱/۶۱۹۰	۱/۰۰۰۰
۴	۱/۵۶۷۳	۱/۰۰۰۰
۵	۱/۵۱۸۲	۱/۰۰۰۰
۶	۱/۴۷۱۵	۰/۹۹۹۹
۷	۱/۴۲۷۱	۰/۹۹۹۹
۸	۱/۳۸۴۷	۰/۹۹۹۹
۹	۱/۳۴۴۴	۰/۹۹۹۸
۱۰	۱/۳۰۵۹	۰/۹۹۹۷
۱۱	۱/۲۶۹۲	۰/۹۹۹۶
۱۲	۱/۲۳۴۰	۰/۹۹۹۵
۱۳	۱/۲۰۰۵	۰/۹۹۹۴
۱۴	۱/۱۶۷۳	۰/۹۹۹۲
۱۵	۱/۱۳۷۵	۰/۹۹۹۱
۱۶	۱/۱۰۸۱	۰/۹۹۸۹
۱۷	۱/۰۷۹۸	۰/۹۹۸۸
۱۸	۱/۰۵۲۶	۰/۹۹۸۶
۱۹	۱/۰۲۶۶	۰/۹۹۸۴
۲۰	۱/۰۰۱۶	۰/۹۹۸۲
۲۱	۰/۹۷۷۵	۰/۹۹۸۰
۲۲	۰/۹۵۴۴	۰/۹۹۷۸
۲۳	۰/۹۳۲۱	۰/۹۹۷۵
۲۴	۰/۹۱۰۷	۰/۹۹۷۳
۲۵	۰/۸۹۰۰	۰/۹۹۷۰
۲۶	۰/۸۷۰۱	۰/۹۹۶۸
۲۷	۰/۸۵۰۹	۰/۹۹۶۵
۲۸	۰/۸۳۲۴	۰/۹۹۶۲
۲۹	۰/۸۱۴۵	۰/۹۹۵۹
۳۰	۰/۷۹۷۲	۰/۹۹۵۶
۳۱	۰/۷۸۰۵	۰/۹۹۵۳
۳۲	۰/۷۶۴۴	۰/۹۹۵۰
۳۳	۰/۷۴۸۸	۰/۹۹۴۷
۳۴	۰/۷۳۳۷	۰/۹۹۴۴
۳۵	۰/۷۱۹۱	۰/۹۹۴۰
۳۶	۰/۷۰۵۰	۰/۹۹۳۷
۳۷	۰/۶۹۱۳	۰/۹۹۳۳
۳۸	۰/۶۷۸۰	۰/۹۹۳۰
۳۹	۰/۶۶۵۲	۰/۹۹۲۶
۴۰	۰/۶۵۲۷	۰/۹۹۲۲

^۱ Thermophysical properties of water and steam" (TPWS) of the International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS).

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 126	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک-روش استوانه		بخش آزمایشگاه‌ها	

تهیه و تدوین:

رویا طلوعی

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

محمد حسین محمدی

عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

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) 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

Soil Bulk Density Determination-Core Method

Record No: SWRI-S-126

Version: Rev-01-1403/10

2025

