

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 حقیقی خاک- روش پیکنومتر

SWRI-S-127

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک-روش پیکنومتر		بخش آزمایشگاه‌ها	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه فیزیکی خاک

اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک-روش پیکنومتر

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- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری جرم مخصوص مطلق خاک-روش پیکنومتر		بخش آزمایشگاه‌ها	

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۲
- ۳- وسایل..... ۳
- ۴- مواد و/یا واکنشگرها..... ۳
- ۵- روش کار..... ۴
- ۶- محاسبات و گزارش نتایج..... ۴
- ۷- منابع مورد استفاده..... ۵
- پیوست ۱- تغییرات گرانی و جرم مخصوص آب خالص در دماهای مختلف (IAPWS 2008)..... ۶

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	شماره ویرایش		
صفحه ۱ از ۱۱		اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک-روش پیکنومتر	

۱- مقدمه

جرم مخصوص حقیقی یک خاک عبارت است از نسبت جرم به حجم ذرات خاک خشک. منظور از حجم ذرات، مجموع حجم تمام ذرات تشکیل دهنده خاک بوده و شامل حجم منافذ بین آن‌ها نمی‌شود [۱]. واحدهای مرسوم جرم مخصوص حقیقی مگاگرم بر متر مکعب یا معادل آن گرم بر سانتی‌متر مکعب است [۲]. جرم مخصوص حقیقی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\rho_p = \frac{M_d}{V_d} \quad (1)$$

که در آن،

ρ_p : جرم مخصوص حقیقی خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب.

M_d : جرم خاک خشک بر حسب گرم.

V_d : حجم ذرات خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب.

جرم مخصوص حقیقی یکی از مشخصات فیزیکی خاک است و در موارد متعدد از جمله محاسبه حجم منافذ و تخلخل خاک، تعیین بافت خاک به روش ته‌نشینی (مانند هیدرومتر)، محاسبات ظرفیت گرمایی، مطالعات مربوط به حمل ذرات خاک توسط آب و باد (فرسایش)، تعیین و بررسی کمی و کیفی رسوبگذاری در مخازن و دریاچه‌های پشت سدها و نیز تصفیه آب‌های شرب و صنعتی استفاده می‌شود. در تشخیص نوع کانی‌ها نیز از جرم مخصوص حقیقی آن‌ها استفاده می‌شود. جرم مخصوص حقیقی ذرات خاک به کانی‌شناسی و ترکیب آن‌ها بستگی دارد. جرم مخصوص مواد معدنی معمولاً بین ۲/۶ تا ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است. جرم مخصوص کانی‌هایی چون کوارتز، فلدسپارها و سیلیکات‌های کلوئیدی در این محدوده قرار دارند؛ اما حضور مقادیر بسیار بالای کانی‌هایی مثل مگنتیت، تورمالین و هورنبلند می‌تواند جرم مخصوص حقیقی خاک را به بیش از ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برساند [۳]. مواد آلی خاک از بقایای گیاهی و حیوانی تشکیل می‌شود. مواد آلی همچنین شامل موجودات زنده نیز است. این بخش دارای جرم مخصوص حقیقی حدود ۱/۲ - ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. چون مواد آلی در

روش عملیاتی استاندارد تمیزه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 127	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	شماره ویرایش			
صفحه ۲ از ۱۱		اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک-روش پیکنومتر		بخش آزمایشگاه‌ها

لایه‌های بالایی خاک بیشتر است؛ به همین دلیل معمولاً جرم مخصوص حقیقی خاک‌های لایه سطحی کمتر از خاک‌های لایه‌های زیرین است.

تعیین جرم مخصوص حقیقی ذرات خاک نیازمند اندازه‌گیری دقیق جرم و حجم ذرات خاک است. جرم نمونه با توزین خاک آون خشک به دست می‌آید. حجم نمونه از طریق جابجایی مایع یا گاز (پیکنومتری) تعیین می‌شود. در واقع هوای منافذ بین ذرات خاک با یک مایع یا گاز جانشین شده و حجم مایع جانشین شده اندازه‌گیری می‌شود. حجم مواد جامد خاک از تفاضل حجم کل خاک و منافذ خاک به دست می‌آید.

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی وجود دارد که بسته به اندازه نمونه، تجهیزات موردنیاز و دقت روش، انتخاب می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از: ۱- محاسبه از روی تخلخل و جرم مخصوص ظاهری، ۲- جابجایی مایع، ۳- جابجایی گاز، ۴- برآورد با استفاده از ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده [۲]. در زیر به توضیح اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک به روش جابجایی مایع با پیکنومتر پرداخته می‌شود.

۲- اصول

به طور کلی دو روش برای اندازه‌گیری مقدار جابجایی مایع استفاده می‌شود. هر دو روش بر پایه اندازه‌گیری جرم یا حجم آب یا هر مایع جابجا شده دیگر است. در روش اول نوع خاصی از پیکنومتر استفاده می‌شود و به روش پیکنومتر معروف است. ظروف مورد آزمایش در روش پیکنومتر بسته به اندازه نمونه و دقت موردنظر دارد. برای نمونه‌های کم و نیازمند به دقت بالا از ظروف خاص درپوش‌دار (پیکنومتر) و برای نمونه‌های بزرگ بدون نیاز به دقت بالا از بالن حجمی استفاده می‌شود. روش دوم از قانون ارشمیدس استفاده می‌کند [۴]؛ و جرم آب جابجا شده را اندازه‌گیری می‌کند.

پیکنومترها یک سری ظروف خاص درپوش‌دار هستند که به دقت بالا گنجایش مشخصی از مایع را دارند. انواع پیکنومترهای حجمی از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌لیتر برای نمونه‌های کوچک و تا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر برای نمونه‌های بزرگ

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	شماره ویرایش		
صفحه ۳ از ۱۱		اندازه‌گیری جرم مخصوص مطلق فاک-روش پیکنومتر	

استفاده می‌شود. برای تعیین جرم مخصوص حقیقی ذرات ریز، از پیکنومترهای Gay-Lussac استفاده می‌شود که دارای شماره سریال روی بطری بوده و درپوش شیشه‌ای با مجرای نازکی برای سرریز آب اضافی دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نمای کلی از یک پیکنومتر کوچک رایج با درپوش شیشه‌ای

۳- وسایل

- (۱) پیکنومتر.
- (۲) دماسنج.
- (۳) ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم.
- (۴) آون.
- (۵) محفظه خلا.

۴- مواد و/یا واکنشگرها

- (۱) آب مقطر جوشیده سرد شده (بدون هوا).

۵- روش کار

- (۱) یک پیکنومتر تمیز و هوا خشک را وزن کنید (m_p).

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	شماره ویرایش		
صفحه ۴ از ۱۱	اندازه‌گیری جرم مخصوص مطلق فاک-روش پیکنومتر		
		بخش آزمایشگاه‌ها	

۲) حدود ۱۰ گرم از خاک هوا خشک (رد شده از الک ۲ میلی‌متر) را داخل پیکنومتر بریزید؛ و اطراف پیکنومتر و گردن آن را تمیز کنید.

۳) پیکنومتر به همراه درپوش و خاک درون آن را وزن کنید (m_{ps}).

۴) یک نمونه دیگر برای تعیین مقدار رطوبت خاک (از طریق خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت) در آون قرار دهید.

۵) پیکنومتر را حدوداً تا نصف با آب مقطر بدون هوا پر کنید و خاک‌هایی را که به گردن پیکنومتر چسبیده باشند به درون آن شستشو دهید.

۶) پیکنومتر را درون محفظه خلا قرار داده و به آرامی با اعمال خلا، هوای محبوس شده را خارج کنید. دقت کنید که اعمال خلا به آرامی صورت گیرد تا خاک از پیکنومتر بیرون نریزد.

۷) آب مقطر بدون هوا به پیکنومتر اضافه کنید تا پر شود و سپس درپوش را با احتیاط قرار دهید تا آب اضافی از مجرای درپوش خارج شود.

۸) اطراف پیکنومتر را با یک پارچه خشک کاملاً تمیز و خشک کنید. دقت شود که آب در این مرحله از مجرای نازک درپوش بیرون نریزد.

۹) پیکنومتر و محتویات آن را وزن کنید (m_{psw}) و دمای آن را نیز مشخص کنید.

۱۰) در پایان محتویات پیکنومتر را خالی کرده و آن را بشویید. پیکنومتر را از آب مقطر بدون هوا در همان دما پر کرده و درپوش آن را بگذارید. اطراف پیکنومتر را با یک پارچه خشک کنید و پیکنومتر را به همراه درپوش و آب دوباره وزن کنید (m_{pw}).

۶- محاسبات و گزارش نتایج

جرم مخصوص حقیقی (ρ_p) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\rho_p = [\rho_l(m_{ps} - m_p)] / [(m_{ps} - m_p) - (m_{psw} - m_{pw})] \quad (۲)$$

که در آن،

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	شماره ویرایش		
صفحه ۵ از ۱۱	اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک-روش پیکنومتر		بخش آزمایشگاه‌ها

ρ_1 : جرم مخصوص آب در دمای مشاهده شده بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (برای تصحیح اثر دما بر جرم مخصوص آب به جدول پیوست ۱ مراجعه شود).

M_p : جرم پیکنومتر خالی بر حسب گرم.

m_{ps} : جرم پیکنومتر به همراه خاک آون خشک بر حسب گرم، رطوبت جرمی نمونه هواخشک اندازه‌گیری و تصحیح شود.

m_{psw} : جرم پیکنومتر پر از آب و خاک بر حسب گرم.

m_{pw} : جرم پیکنومتر پر از آب در دمای مشاهده شده بر حسب گرم.

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

نکات

۱) برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی به تنهایی، ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش، روش پیکنومتر است.

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. Flint, A.L. and L.E. Flint, 2.2 *Particle Density*. Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods, 2002. 5: p. 229-240.
3. Hao, X., et al., *Soil density and porosity*. Soil sampling and methods of analysis, 2008. 2: p. 179-196.
4. Webb, P.A. and C. Orr, *Analytical methods in fine particle technology*. 1997: Micromeritics Instrument Corporation.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 127	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۶ از ۱۱		اندازه‌گیری جرم مخصوص مطلق خاک-روش پیکنومتر		بخش آزمایشگاه‌ها

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- 127	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری جرم مفصوم دقیقی خاک-روش پیکنومتر		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 Particle Density Determination-Pycnometer Method

Record No: SWRI-S-127

Version: Rev-01-1403/10

2025

