

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

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

تعیین بافت خاک – روش هیدرومتری

SWRI-S-121

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
تعیین بافت خاک - روش هیدرومتری		بفش آزمایشگاه‌ها	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

تعیین بافت خاک - روش هیدرومتری

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: ۳۱۷۸۵-۳۱۱

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 تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		دفش آزمایشگاهها	

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- اصول..... ۴
- ۳- وسایل..... ۷
- ۴- مواد و/یا واکنشگرها..... ۸
- ۵- روش کار..... ۸
- ۶- واسنجی هیدرومتر..... ۹
- ۷- محاسبات و گزارش نتایج..... ۱۱
- ۸- منابع مورد استفاده..... ۱۴
- پیوست ۱- تغییرات گرانروی و جرم مخصوص آب خالص در دماهای مختلف (IAPWS 2008)..... ۱۵

روش عملیاتی استاندارد تمیزه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۱ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بفش آزمایشگاه‌ها

۱- مقدمه

توزیع اندازه ذرات خاک (PSD)^۱ یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم و ذاتی خاک است و نشان می‌دهد که از هر ذره‌ی اولیه با اندازه‌ی مشخص چه مقدار در خاک وجود دارد [۱]. به‌طور کلی، دو نوع توزیع اندازه ذرات در خاک شامل توزیع اندازه ذرات اولیه (PPSD)^۲ و توزیع اندازه ذرات ثانویه (SPSD)^۳ وجود دارد [۲، ۳]. توزیع اندازه ذرات اولیه به صورت توزیع اندازه ذرات منفرد در نمونه خاک اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات شامل الک کردن، روش‌های هیدرومتر، پیپت، اشعه ایکس و تکنیک پراکنش اشعه لیزر است [۴]. هم‌اوری ذرات اولیه خاک توسط مواد آلی، اکسیدهای آهن و کربنات‌ها، منجر به ایجاد ذرات ثانویه می‌شود [۵]. پراکنده‌سازی خاکدانه‌ها به واحدهای مجزا به‌وسیله روش‌های شیمیایی، مکانیکی یا التراسونیک انجام می‌شود [۳].

اندازه ذرات خاک از بزرگ یعنی سنگ و صخره (۰/۲۵ متر) تا خیلی ریز یعنی رس (تا چندین نانومتر) متغیر است و بسته به ابعادی که دارند به اسامی مختلف نامیده می‌شوند. ذرات دارای قطر بیشتر از دو سانتی‌متر را قله سنگ (Stone) و قطر بین دو میلی‌متر و دو سانتی‌متر را سنگریزه (Gravel) می‌نامند. ذرات خاک کوچکتر از دو میلی‌متر که عموماً آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی آن انجام می‌شود، در سه گروه اصلی شن (Sand)، سیلت (Silt) و رس (Clay) تقسیم می‌شوند. این گروه‌ها می‌توانند به کلاس‌های اندازه‌ای مختلفی تقسیم شوند. سیستم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی اندازه ذرات تعریف شده است؛ که شامل: سیستم طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA)^۴، کمیته مطالعات خاکشناسی کانادا (CSSC)^۵، انجمن بین‌المللی علوم خاک (ISSS)^۶، انجمن مواد و

^۱ Particle size distribution

^۲ Primary particle size distribution

^۳ Secondary particle size distribution

^۴ United states department of agriculture

^۵ Canada soil survey committee

^۶ International soil science society

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۲ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها

آزمایش آمریکا (ASTM)^۱ [۴] است. در طبقه‌بندی USDA دامنه اندازه‌ای شن (۵۰ – ۲۰۰۰ میکرون)، سیلت (۲ – ۵۰ میکرون) و رس (<۲ میکرون) است [۶].

بافت خاک^۲ معمولاً اولین و پرکاربردترین ویژگی خاک است که در آزمایشگاه‌های خاکشناسی اندازه‌گیری می‌شود. بافت خاک که یکی از ویژگی‌های مهم و ثابت خاک است، عبارت است از فراوانی نسبی ذرات شن، رس و سیلت در بخش معدنی نمونه خاک [۷]. ۱. اساس کلاس بافت خاک بر ترکیب مختلفی از شن، سیلت و رس استوار است و بر اساس مثلث بافت خاک در سیستم USDA، خاک دارای ۱۲ کلاس بافتی است. از بافت خاک در همه سطوح سیستم جامع رده‌بندی خاک، برای شناسایی رده‌ها و هم‌چنین برای طبقه‌بندی خاک‌ها در سطح فامیل و برای شناسایی افق‌های آرجیلیک^۳، ناتریک^۴ و کندیک^۵ استفاده می‌شود [۸]. داده‌های مربوط به بافت خاک، جزو اطلاعات ورودی به اغلب مدل‌های اکولوژیکی هیدرولوژیکی، اقلیمی و زیست محیطی هستند [۹]. بافت خاک در میزان حاصلخیزی، میزان نفوذپذیری، زهکشی، سهولت کشت و کار، قابلیت شکاف خوردن و سله بستن و استعداد فرسایش نقش مهمی را ایفا می‌کند. پس از تعیین درصد ذرات شن، سیلت و رس، نتایج حاصل روی مثلث بافت خاک برده شده و نوع بافت تعیین می‌شود (شکل ۱). گروه‌بندی خاک‌ها بر مبنای بافت خاک نه تنها تخمین و برآورد اولیه ویژگی و رفتار خاک‌ها از روی نام بافت آن‌ها را فراهم می‌سازد، بلکه مقایسه انواع خاک‌ها را نیز آسان می‌کند.

^۱ American society for testing and materials

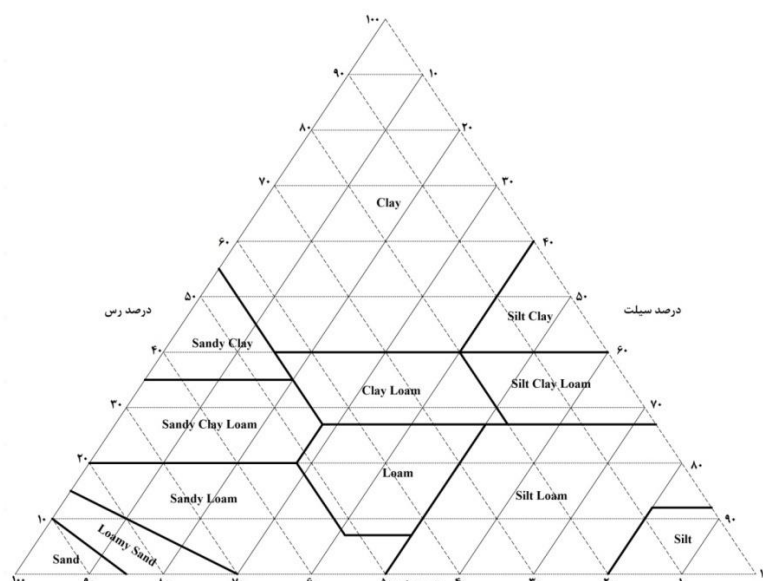
^۲ Soil texture

^۳ Argilic horizon

^۴ Natric horizon

^۵ Kandic horizon

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۳ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها



شکل ۱- مثلث کلاس بافت خاک بر اساس طبقه بندی ذرات اولیه در سیستم USDA

Clay: رس، Clay Loam: لوم رسی، Silty Clay Loam: لوم رسی سیلتی، Silty Clay: رس سیلتی، Sandy Clay: رس شنی، Sandy Clay Loam: لوم رسی شنی، Silty Loam: سیلت، Loam: لوم، Sandy Loam: لوم شنی، Loamy Sand: شن لومی، Sand: شن.

هر دوازده کلاس بافت خاک مندرج در شکل ۱ در خاک‌های ایران مشاهده و گزارش شده است. به نظر می‌رسد که کلاس‌های متوسط (گروه بافتی لوم) تا سبک (گروه بافتی شن) گسترش بیشتری در خاک‌های ایران داشته باشند، هرچند خاک‌های با بافت سنگین در سه استان شمالی و مقداری در دیگر استان‌ها مانند اردبیل، کرمانشاه و خوزستان نیز به چشم می‌خورند. به‌طور کلی تنوع و پراکنش خاک‌های سیلتی در کشور کم است [۱۰].

اساس روش هیدرومتری اندازه‌گیری غلظت سوسپانسیون خاک و آب است که به تدریج بر اثر ته‌نشینی ذرات در طول زمان کاهش پیدا کرده و هیدرومتر بیشتر در مایع فرو می‌رود. در منابع و دستورالعمل‌های مختلف تجزیه خاک، زمان‌های قرائت با روش هیدرومتر به روش‌های مختلفی، از جمله: الف) روش دو قرائت ۴۰ ثانیه و ۲ ساعت [۱۱]، ب) روش دو قرائت ۴۰ ثانیه و ۷ ساعت [۱۲]، ج) روش دو قرائت ۴۰ ثانیه و ۸ ساعت [۴]، د) روش چهار قرائت ۳۰ و ۶۰ ثانیه برای تعیین بخش شن و ۱/۵ و ۲۴ ساعت برای تعیین بخش رس [۱۳]، ه) روش چهار قرائت اصلاح شده [۱۴]، و) روش قرائت کامل (روش دقیق و کامل) پیشنهاد شده است. روش‌های دو قرائته به دلیل سادگی در برخی از

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۴ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها

آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند این روش‌ها، مانند روش‌های دو قرائته بایکاس [۱۱]، دارای خطای زیادی در تعیین توزیع اندازه ذرات هستند، ولی اگر هدف از تعیین توزیع اندازه ذرات، صرفاً برآورد کلاس بافت خاک باشد، روش‌های دو قرائته می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. برای تعیین مقدار کمی و دقیق توزیع اندازه ذرات اولیه خاک (مواردی مانند مطالعات مربوط به رده‌بندی خاک‌ها، تعیین ویژگی‌ها و طبقه‌بندی مکانیکی خاک، تعیین درجه فعالیت رس‌ها، استفاده از داده‌های توزیع اندازه ذرات به عنوان داده‌های ورودی مدل‌های برآوردکننده و غیره)، توصیه می‌شود بجای روش دو قرائته از روش چهار قرائته یا قرائت کامل استفاده شود. در این بخش به توضیح روش دو قرائته کانادا [۱۲] پرداخته می‌شود.

۲- اصول

اساس روش هیدرومتری بر پایه قانون استوکس است. اگر مقداری خاک در استوانه پر از آب رها شود، ذرات خاک بسته به شکل و اندازه‌شان شروع به ته‌نشینی می‌کنند. استوکس، برای چنین پدیده‌ای، معادله‌ای یافته است که در تعیین بافت خاک استفاده می‌شود.

اگر یک ذره کروی جامد به شعاع r یا قطر d (سانتی‌متر)، جرم مخصوص حقیقی ρ_s (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و جرم m (گرم) که در حال سقوط درون مایع است، در نظر گرفته شود، نیروی ثقل که بر آن اعمال می‌شود عبارت است از:

$$F_1 = mg = v\rho g = \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\right)g = \left(\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \rho_s\right)g \quad (1)$$

که در آن،

g : شتاب ثقل بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه (cm/sec^2).

v : حجم ذره بر حسب سانتی‌متر مکعب.

نیروی رو به پایین ثقل با نیروی دیگری که برابر وزن آب جابجا شده است، در مصاف بوده و می‌خواهد مانع

انتقال ذره به سطوح پایین‌تر شود. این نیرو عبارت است از:

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۵ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها

$$F_2 = -\left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l\right)g = -\left(\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \rho_l\right)g \quad (2)$$

که در آن،

ρ_l : جرم مخصوص مایع یا آب بر حسب سانتی متر مکعب.

از سویی چون ذره در حرکت است، نیروی ناشی از گرانشی مایع نیز متناسب با سرعت ذره، مقاومتی در برابر سقوط آزاد آن ایجاد می کند که مقدار آن از رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$F_3 = -6\pi r \eta V = -6\pi \left(\frac{d}{2}\right) \eta V \quad (3)$$

که در آن،

V : سرعت ذره بر حسب سانتی متر بر ثانیه (cm/sec).

η : گرانشی مایع بر حسب گرم بر سانتی متر بر ثانیه (gr/cm.sec).

پس از رسیدن به سرعت حد (نهایی)، شتاب صفر شده و برآیند این نیروها نیز برابر صفر می شود.

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0 \rightarrow \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\right)g - \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l\right)g - 6\pi r \eta V = 0 \quad (4)$$

$$\rightarrow \left(\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho_l)\right)g - 6\pi r \eta V = 0$$

اگر از این رابطه، سرعت حاصل شود، نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$V = \frac{2r^2 g}{9\eta} (\rho_s - \rho_l) = \frac{d^2 g}{18\eta} (\rho_s - \rho_l) \quad (5)$$

البته باید دقت شود که یکی از محدودیت های قانون استوکس این است که ذرات باید کروی باشند. چون تمام

ذرات خاک الزاما کروی نیستند، از واژه قطر معادل استفاده می شود که در حقیقت نشان دهنده قطر ذرات کروی

است که دارای جرم و حجم مساوی با ذرات غیرکروی هستند.

با در نظر گرفتن این که سرعت در واقع نسبت جابجایی در واحد زمان است، می توان رابطه ۵ را به صورت رابطه ۶

نوشت:

$$t = \frac{18 \times h \times \eta}{[d^2 \times g \times (\rho_s - \rho_l)]} \quad (6)$$

که در آن،

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۶ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری	
			بخش آزمایشگاه‌ها

t: زمان مورد نیاز برای سقوط ذرات با قطر مورد نظر بر حسب ثانیه.

h: عمقی که ذره مورد نظر در زمان t با قطر d در آن قرار دارد، بر حسب سانتی‌متر.

مقادیر عامل‌های رابطه ۶ شامل ρ_1 و η برای آب تابعی از دما، غلظت و نوع ماده حل شده در آب هستند. مقادیر این دو عامل در دماهای مختلف در جدول پیوست ۱ آمده است. رابطه ۷ نیز برای برآورد تغییرات گرانروی بر حسب سانتی‌پویز (cPoise)^۱ در دماهای مختلف استفاده می‌شود [۱۵].

$$\eta_0 = e^{(-3.7188 + \frac{578.919}{T+135.604})} \quad (۷)$$

که در آن،

T: دما بر حسب درجه سلسیوس.

η_0 : گرانروی آب در دمای T بر حسب سانتی‌پویز.

تغییرات جرم مخصوص و گرانروی آب ناشی از افزودن سدیم هگزامتافسفات نیز به ترتیب در روابط ۸ و ۹ آمده است [۱۶]:

$$\rho_1 = \rho_0(1 + 0.630C_s) \quad (۸)$$

که در آن،

ρ_1 : جرم مخصوص محلول در دمای T بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب.

ρ_0 : جرم مخصوص آب خالص در دمای T بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب.

C_s : غلظت سدیم هگزامتافسفات بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب در سوسپانسیون نهایی (۱ لیتری). در دمای

۲۰ درجه سلسیوس و در استوانه شاهد، هیدرومتر باید مقدار C_s را ۵ گرم بر لیتر نشان دهد که برابر ۰/۰۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب خواهد بود.

$$\eta = \eta_0(1 + 4.25C_s) \quad (۹)$$

^۱ 1cPoise=0.01Poise =0.01g/cm.sec

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۲۰ از ۲۰	تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بفش آزمایشگاهها

که در آن،

η: گرانیروی محلول در دمای T بر حسب سانتی پویز.

۳- وسایل

(۱) هیدرومتر بایکاس (ASTM 152H) بر حسب گرم در لیتر. شکل و مشخصات یک هیدرومتر ASTM 152H در شکل ۲ نشان داده شده است.

(۲) همزن الکتریکی خاک با موتور ۱۰۰۰۰rpm (در صورت در دسترس نبودن همزن الکتریکی از شیکر رفت و برگشتی استفاده شود).

(۳) استوانه‌های مدرج ۱۰۰۰ میلی لیتری (با قطر ۶۰ میلی متر و طول 360 ± 2 میلی متر).

(۴) دماسنج با دقت ۰/۵ درجه.

(۵) زمان سنج با دقت ۱ ثانیه.

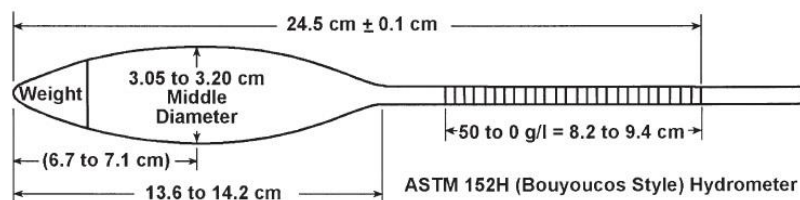
(۶) ترازو با حداقل دقت ۰/۰۱ گرم.

(۷) همزن دستی یا درپوش لاستیکی.

(۸) بشر ۶۰۰ میلی لیتری و شیشه ساعت.

(۹) آون.

(۱۰) سری الک (در صورتی که نیاز به جداسازی و اندازه گیری اجزای شن باشد).



شکل ۲- شماتیکی از هیدرومتر نوع ASTM 152H

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۸ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها

۴- مواد و/یا واکنشگرها

۱) محلول کالگون^۱ ۵ درصد: ۵۰ گرم سدیم هگزامتافسفات ($(\text{NaPO}_3)_6$) را در آب مقطر حل کرده و به حجم یک لیتر برسانید. در برخی منابع برای تهیه محلول کالگون، ۴۰ گرم سدیم هگزامتافسفات و ۱۰ گرم سدیم کربنات (Na_2CO_3) را در آب مقطر حل و به حجم یک لیتر می‌رسانند. برای حل کردن سریع‌تر کالگون می‌توانید از حرارت دادن نیز استفاده کنید.

۵- روش کار

- ۱) ۴۰ گرم خاک هوا خشک ($<2\text{mm}$) را وزن کرده و به ارلن و یا بطری پلاستیکی درب دار یک لیتری منتقل کنید.
- ۲) ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میلی‌لیتر کالگون یا سدیم هگزامتافسفات ۵ درصد اضافه کنید.
- ۳) ظرف حاوی سوسپانسیون خاک را یک شب با استفاده از شیکر رفت و برگشتی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه تکان دهید. در صورت در دسترس نبودن شیکر، سوسپانسیون را یک شب در یک ظرف دربسته به حال خود رها کنید و سپس با استفاده از همزن الکتریکی به مدت ۵ دقیقه هم بزنید.
- ۴) سوسپانسیون خاک را به استوانه یک لیتری منتقل و ظرف حاوی سوسپانسیون را به داخل استوانه به‌طور کامل شستشو دهید.
- ۵) سوسپانسیون درون استوانه یک لیتری را با آب مقطر به حجم برسانید.
- ۶) استوانه را مدتی به حال خود رها کنید تا به دمای محیط برسد.
- ۷) درجه حرارت سوسپانسیون را پیش از هم زدن یادداشت کنید.
- ۸) با استفاده از همزن دستی سوسپانسیون را به خوبی هم بزنید. در ابتدا با چند حرکت قوی از پایین به سمت بالا رسوبات را جابجا کرده، هم زدن را ادامه داده و در انتها با دو یا سه حرکت آهسته این عمل را به پایان

^۱ Calgon solution

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۹ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری	

برسانید. پس از اتمام هم زدن، بلافاصله زمان را یادداشت کنید. در صورت وجود کف در سطح سوسپانسیون، یک قطره آمید الکل روی آن اسپری کنید تا حذف شود.

۹) هیدرومتر را به آرامی درون سوسپانسیون وارد کنید. قرائت را در ۴۰ ثانیه انجام دهید (R_{40s}).

۱۰) هیدرومتر را با دقت از سوسپانسیون خارج کرده، شسته، تمیز و خشک کنید.

۱۱) برای قرائت بعدی دوباره هیدرومتر را به آرامی درون سوسپانسیون وارد کنید. قرائت را پس از ۷ ساعت انجام

دهید (R_{7h}). نکته مهم اینکه در هنگام قرار دادن هیدرومتر در داخل سوسپانسیون باید دقت نمود که

سوسپانسیون بهم نخورد. برای هر قرائت لازم است که هیدرومتر به آرامی و با دست تا عدد قرائت قبلی در

درون استوانه قرار گرفته و سپس به نرمی رها شود.

۱۲) همزمان با نمونه‌ها، یک نمونه شاهد تهیه و قرائت نمایید. به این صورت که ۱۰۰ میلی لیتر محلول هگزامتافسفات

سدیم را با آب مقطر در استوانه به حجم یک لیتر برسانید. محلول را هم زده و در دمای اتاق قرار دهید تا به

دمای ثابت برسد.

۱۳) هیدرومتر را به آرامی در زمان‌های قرائت سوسپانسیون، داخل محلول شاهد وارد کنید و قرائت محلول شاهد

(R_L) را انجام دهید. توجه شود که لبه‌های بالایی انحنای آب دور شاخه هیدرومتر بایستی به عنوان شاخص

قرائت مدنظر قرار گیرد. دمای شاهد را در زمان‌های قرائت یادداشت کنید.

۱۴) رطوبت جرمی نمونه‌های خاک را اندازه‌گیری نمایید. برای این منظور نمونه‌ای از خاک مورد نظر (حدود ۱۰

گرم) برای تعیین جرم خشک شده در آون قرار دهید (m_w). نمونه را در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت

۲۴ ساعت خشک کرده و سپس پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین کنید (m_d).

۶- واسنجی هیدرومتر

برای محاسبه عمق مؤثر نفوذ هیدرومتر (عمقی که غلظت سوسپانسیون در آن قرائت می‌شود) مراحل زیر را

انجام دهید:

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۱۰ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بخش آزمایشگاه‌ها

دامنه مشخصات هیدرومتر استاندارد در شکل ۲ نشان داده شده است. هیدرومترهایی که مشخصات آن‌ها خارج از بازه یادآوری شده هستند، برای تجزیه فیزیکی خاک مناسب نیستند. برای واسنجی لازم است فاصله قرائت هیدرومتر تا بالای حباب هیدرومتر (محل اتصال ساقه به حباب) (L_1)، طول حباب هیدرومتر (L_2)، حجم حباب (V_B) با روش حجم‌سنجی (ثبت تغییرات حجم یک مایع در اثر فرو بردن حباب هیدرومتر در آن) و سطح مقطع استوانه سوسپانسیون (A) تعیین شود. عمق مؤثر نفوذ هیدرومتر از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$h = L_1 + 1/2(L_2 - V_B/A) \quad (10)$$

توجه شود که V_B/A نسبت حجم حباب هیدرومتر به سطح مقطع استوانه است و در واقع برابر است با افزایش یا بالا آمدن سطح سوسپانسیون در استوانه در اثر وارد شدن هیدرومتر در داخل استوانه.

مثال: مشخصات یک هیدرومتر در قرائت صفر ($R = 0$)، برابر مقادیر زیر است:

$$L_1 = 10.5\text{cm}, L_2 = 14\text{cm}, A = 27.8\text{cm}^2 \text{ و } V_B = 67\text{cm}^3$$

آن‌گاه عمق مؤثر هیدرومتر در قرائت صفر برابر h_0 از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$h_0 = 10.5 + 0.5(14 - 67/27.8) = 16.3 \text{ cm} \quad (11)$$

اگر در قرائت ۵۰ ($R = 50$) با همان هیدرومتر، $L_1 = 2.3\text{cm}$ شود:

$$h_{(50)} = 2.3 + 0.5(14 - 67/27.8) = 8.1 \text{ cm} \quad (12)$$

پس، اندازه طول درجه‌بندی صفر تا ۵۰ در ساقه هیدرومتر برابر با $8/2$ ($16/3 - 8/1$) سانتی‌متر و اندازه هر درجه

هیدرومتر برابر با $0/164$ ($8/2/50$) است. به عبارت دیگر به ازای هر درجه قرائت، مقدار $0/164$ از عمق مؤثر نفوذ

هیدرومتر در قرائت صفر ($16/3$) کم می‌شود (هیدرومتر بالاتر می‌ایستد). پس h از رابطه ۱۳ قابل محاسبه است:

$$h = 16.3 - 0.164 R \quad (13)$$

که در آن،

h : مقدار عمق مؤثر نفوذ هیدرومتر در زمان t بر حسب سانتی‌متر.

R : قرائت هیدرومتر در زمان t بر حسب گرم در لیتر.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	 بخش آزمایشگاه‌ها
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱۱ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری	

واسنجی عمق مؤثر هیدرومتر و قرائت برای هیدرومتر طبق رابطه ۱۳ به دست می‌آید. این رابطه برای هیدرومترهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد و نیاز به واسنجی دارد.

مثال: زمان نمونه‌برداری اول (بزرگترین ذره سیلت بر اساس سیستم USDA) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس.

$$T = 25^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{جدول پیوست ۱}} \left\{ \begin{array}{l} \eta = 0.89 \text{ cPoise} \rightarrow 0.89 \times 10^{-2} \text{ Poise} \\ \rho_l = 0.997 \text{ gr/cm}^3 \end{array} \right.$$

$$\rho_s = 2.65 \text{ gr/cm}^3$$

$$R = 38 \text{ gr/cm}^3 \rightarrow h = 16.3 - 0.164 R \rightarrow h = 10$$

$$d_1 = 0.05 \text{ mm} = 0.005 \text{ cm}$$

$$t = \frac{18 \times h \times \eta}{[d^2 \times g \times (\rho_s - \rho_l)]} = \frac{18 \times 10 \times 0.89 \times 10^{-2}}{(0.005)^2 \times 981 \times (2.65 - 0.997)} = 39.55 \text{ s} \quad (14)$$

زمان نمونه‌برداری دوم (بزرگترین ذره رس) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس.

$$d_2 = 0.002 \text{ mm} = 0.0002 \text{ cm}$$

$$t = \frac{18 \times h \times \eta}{[d^2 \times g \times (\rho_s - \rho_l)]} = \frac{18 \times 10 \times 0.89 \times 10^{-2}}{(0.0002)^2 \times 981 \times (2.65 - 0.997)} = 6 \text{ h } 52 \text{ min} \quad (15)$$

۷- محاسبات و گزارش نتایج

تعیین درصد رطوبت جرمی نمونه‌های خاک

$$\theta_m = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \times 100 \quad (16)$$

که در آن،

θ_m : رطوبت جرمی خاک بر حسب درصد.

m_w : جرم خاک هوا خشک موردن یاز برای اندازه‌گیری درصد رطوبت جرمی بر حسب گرم.

m_d : جرم خاک آون خشک در اندازه‌گیری درصد رطوبت جرمی بر حسب گرم.

تعیین مقدار خاک خشک مورد نیاز

$$m_s = \frac{m_x}{(1 + \theta_m)} \quad (17)$$

که در آن،

m_s : جرم کل خاک خشک اولیه به کار رفته در آزمایش بر حسب گرم.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱۲ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری	

m_x : جرم خاک هوا خشک اولیه به کار رفته برای آزمایش بر حسب گرم.

تعیین درصد شن ($P_{(s)}$)، سیلت ($P_{(si)}$) و رس ($P_{(c)}$)

$$P_{(s)} (\%) = 100 - (R_{40s}^* - R_L^*) \times \frac{100}{m_s} \quad (۱۸)$$

$$P_{(c)} (\%) = (R_{7h}^* - R_L^*) \times \frac{100}{m_s} \quad (۱۹)$$

$$P_{(si)} (\%) = 100 - (P_{(s)} + P_{(c)}) \quad (۲۰)$$

دقت شود در صورتی که دمای شاهد و سوسپانسیون یکسان باشد نیاز به تصحیح دمایی نیست؛ اما اگر دمای

شاهد و سوسپانسیون یکسان نباشد، باید در ابتدای کار، قرائت هیدرومتر را بر اساس رابطه (۲۱) تصحیح دمایی کرد:

$$R_i^* = R_i + \alpha (T_s - T_c) \quad (۲۱)$$

که در آن،

R_i : قرائت غلظت سوسپانسیون در زمان‌های ۴۰ ثانیه و ۷ ساعت بر حسب گرم در لیتر.

R_L^* و R_i^* : قرائت تصحیح شده (دمایی) غلظت شاهد و سوسپانسیون در زمان‌های ۴۰ ثانیه و ۷ ساعت بر حسب گرم

در لیتر.

T_s : دمای سوسپانسیون در زمان‌های ۴۰ ثانیه و ۷ ساعت بر حسب درجه سلسیوس.

T_c : دمای واسنجی هیدرومتر است که عموماً ۲۰ درجه سلسیوس است.

α : ضریب تصحیح حرارتی. نحوه تعیین این ضریب بدین صورت است که در یک استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری،

آب مقطر ریخته و در دماهای مختلف (از ۱۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس) قرائت هیدرومتر را انجام دهید. سپس از روی

منحنی یا جدول‌های دما در برابر قرائت آب مقطر، می‌توان ضریب تصحیح حرارتی در دماهای مختلف را برای هر نوع

هیدرومتر بدست آورد. شیب منحنی دما در برابر قرائت آب مقطر، برابر ضریب تصحیح به ازای هر درجه تغییر دما می‌باشد.

ضریب تصحیح حرارتی برای هر هیدرومتر باید با انجام آزمایش روی همان هیدرومتر بدست آید و نباید بدون تحقیق از

جدول‌های ارائه شده در برخی کتاب‌ها استفاده نمود.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱۳ از ۲۰	تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		
		بخش آزمایشگاه‌ها	

نکته: در این روش؛ اگر مبنای طبقه‌بندی اندازه ذرات بر اساس سیستم آمریکایی (مرز بین سیلت و شن قطر ۰/۰۵ میلی‌متر) باشد، قرائت اول در ۴۰ ثانیه انجام می‌شود. اگر مرز بین سیلت و شن قطر ۰/۰۲ میلی‌متر (مانند سیستم بین‌المللی طبقه‌بندی ذرات) باشد، قرائت اول در ۴ دقیقه انجام می‌شود.

نکات

۱) برای تهیه آسان محلول سدیم هگزا متافسفات از ماده خشک، نخست مقدار جرم ماده خشک لازم را بردارید و سپس در حمام آبی و در گرمای ملایم اندک اندک آب مقطر داغ به آن اضافه کنید و بهم بزنید. در پایان در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به حجم برسانید. محلول سدیم هگزا متافسفات دور از نور آفتاب و ترجیحاً در ظرف تیره نگهداری شود. این محلول قابلیت پایداری طی یک ماه دارد. محلول‌های نمک سدیم هگزا متافسفات اگر اسیدی شوند به آرامی به فرم ارتوفسفات تبدیل یا هیدرولیز می‌شوند که نتیجه آن کاهش اثر پراکندگی محلول است. محلول‌ها بایستی به طور مداوم (حداقل یک بار در ماه) تهیه و یا pH آن توسط سدیم کربنات در ۸ الی ۹ تنظیم شود.

۲) لازم است تمام اطلاعات ابعاد هیدرومتر، شماره شناسایی آن و تاریخ واسنجی ثبت شود و وضعیت هر هیدرومتر، به‌ویژه آن‌هایی که مدام استفاده می‌شوند، هر ماه یکبار کنترل شوند.

۳) در هنگام قرار دادن هیدرومتر در داخل سوسپانسیون باید دقت نمود که سوسپانسیون بهم نخورد. برای هر قرائت لازم است هیدرومتر به آرامی و با دست تا عدد قرائت قبلی در درون استوانه قرار گرفته و به نرمی رها شود.

۴) پس از بیرون آوردن هیدرومتر در هر قرائت آن را با آب مقطر شسته و خشک نمایید.

۵) سوسپانسیون باید دور از تابش آفتاب و هر گونه منبع سرمایش و یا گرمایش و نیز وزش باد و در روی سکوی فاقد تجهیزاتی مانند سانتریفوژ، شیکر و یا همزن و مانند آن و به صورت در پوشیده قرار گیرد.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 121	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۱۴ از ۲۰		تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		بفش آزمایشگاه‌ها

۸- 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، ۱-۱۰۷۴.
2. Shirazi, M.A., L. Boersma, and C.B. Johnson, *Particle-size distributions: Comparing texture systems, adding rock, and predicting soil properties*. Soil Science Society of America Journal, 2001. **65**(2): p. 300-310.
3. Skaggs, T., et al., *Estimating particle-size distribution from limited soil texture data*. Soil Science Society of America Journal, 2001. **65**(4): p. 1038-1044.
4. Gee, G.W. and D. Or, *2.4 Particle-size analysis*. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods, 2002. **5**: p. 255-293.
5. Barthès, B.G., et al., *Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils*. Geoderma, 2008. **143**(1-2): p. 14-25.
6. Lal, R. and M.K. Shukla, *Principles of soil physics*. 2004: CRC Press.
7. **Baybordi, M., Soil physics. 1 ed. 2015, Tehran: University of Tehran. 674.**
8. Staff, S., *Keys to Soil Taxonomy, 12th Edn* Washington. DC: Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.[Google Scholar], 2014.
9. Ließ, M., B. Glaser, and B. Huwe, *Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: comparison of regression tree and Random Forest models*. Geoderma, 2012. **170**: p. 70-79.
10. **Mohammadhasan, B., et al., Soils of Iran: New developments in identification, management and exploitation, ed. 1. 2005, Tehran: Sana. 500.**
11. Bouyoucos, G.J., *Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1*. Agronomy journal, 1962. **54**(5): p. 464-465.
12. Carter, M.R. and E.G. Gregorich, *Soil sampling and methods of analysis*. 2007: CRC press.
13. Day, P.R., *Particle fractionation and particle-size analysis*. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling, 1965. **9**: p. 545-567.
14. Gee, G. and J. Bauder, *Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters*. Soil Science Society of America Journal, 1979. **43**(5): p. 1004-1007.
15. Huber, M.L., et al., *New international formulation for the viscosity of H₂O*. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 2009. **38**(2): p. 101-125.
16. Gee, G.W. and J.W. Bauder, *Particle-size analysis*. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 1986. **5**: p. 383-411.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱۵ از ۲۰	تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		
		بفش 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- 121	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
تعیین بافت خاک- روش هیدرومتری		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 Texture Determination-Hydrometry Method

Record No: SWRI-S-121

Version: Rev-01-1403/10

2025

