

## بخش هفتم

# آزمایش هیدرومتری (Hydrometer Analysis)

هدف از این آزمایش، تکمیل بخش ریزدانه (عبوری از لک شماره ۲) منحنی دانه بندی می باشد.

### ۱. مقدمه

توزیع دانه بندی دانه های درشت خاک (بزرگ تر از ۰.۷۵mm / برابر با اندازه ی لک ۲۰۰) با استفاده از روش دانه بندی با لک تعیین می شود، ولی برای تعیین اندازه ی ذرات ریز خاک باید از روش هیدرومتری استفاده شود.

### ۲. تئوری آزمایش

روش هیدرومتری یکی از متداول ترین روش هایی است که برای تخمین اندازه ی ذرات خاک که از لک شماره ی ۲۰۰ (۰.۷۵mm) گنشته لند تا حدود (۰.۰۰۱mm) به کار می رود. داده های به دست آمده بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم می شوند. ممکن است نتایج به دست آمده از این آزمایش، در امتداد نتایج به دست آمده از آنالیز لک در یک کاغذ رسم شوند. رفتار خاک مخصوصاً خاک های چسبناک، بیش تر به نوع و درصد کلی های رس، تاریخچه ی زمین شناسی و درصد آب موجود در آن بستگی دارد تا به نحوه ی توزیع دانه بندی خاک. در آنالیز هیدرومتری از رابطه ی بین سرعت متوسط ذرات کروی در مایع، قطر ذرات، وزن مخصوص ذرات، وزن مخصوص مایع و لزجت مایع که در قلمون استوکس به کار می روند، استفاده می شود.

محدوده ی قطر ذرات خاک (D) برای این معادله برابر است با:  $0.002 \text{ mm} \leq D \leq 0.075 \text{ mm}$ .

در این آزمایش ذرات خیلی بزرگ باعث اغتشاش زیاد در مایع و ذرات خیلی کوچک موجب حرکات براونسی می‌شوند.

از آنجایی که وزن مخصوص آب و لزجت آن همراه با تغییرات دما متغیر است، بلدیهی است که این تغییرات می‌بایست در محاسبات منظور شوند. برای به دست آوردن سرعت سقوط ذرات، از هیدرومتر استفاده می‌شود. هیدرومتر وسیله‌ای است که در اصل برای به دست آوردن وزن مخصوص محلول به کار می‌رود، ولی می‌توان با تغییر مقیاس از آن برای پیدا کردن سایر مقادیر نیز استفاده کرد.

با مخلوط کردن مقدار معینی خاک در آب و مقدار کمی ماده‌ی پراکنده‌ساز برای به دست آوردن ۱۰۰۰ cc محلول، به محلولی با وزن مخصوص بیش‌تر از  $1 \text{ g/cm}^3$  دست خواهیم یافت.

محلول پراکنده‌ساز معمولاً برای خنثی کردن بارهای مثبت و منفی که اغلب روی ذرات ریز خاک ایجاد می‌گردد، به کار برده می‌شود. این بارها ممکن است باعث چسبیدن ذرات ریز به یکدیگر و ایجاد ذرات درشت‌تر گردند که با توجه به قلمون استوکس این ذرات نسبت به ذرات کوچک‌تر با سرعت بیش‌تری در مایع سقوط می‌کنند. هگزمتافسفات سدیم که متافسفات سدیم ( $\text{NaPO}_3$ ) نیز نامیده می‌شود و سیلیکات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) دو ماده‌ای هستند که غالباً به عنوان پراکنده‌ساز استفاده می‌شوند. مقدار دقیق و نوع محلول پراکنده‌ساز مورد نیاز، به نوع خاک بستگی دارد و با امتحان کردن خاک تعیین می‌شود.

مقدار ۱۲۵ cc از محلول ۰/۰۴ متافسفات سدیم در ۱۰۰۰ cc مخلوط آب و خاک معمولاً مناسب می‌باشد. متافسفات سدیم یک محلول اسیدی تولید می‌کند (کاغذ تورنسل آبی را قرمز می‌کند) و بنابراین می‌توان انتظار داشت که یک محلول پراکنده‌ساز مؤثر برای خاک‌های قلیایی باشد و در عوض، سیلیکات سدیم محلولی قلیایی تولید می‌کند (کاغذ تورنسل قرمز را آبی می‌کند). بنابراین برای خاک‌های اسیدی یا به عبارتی خاک‌هایی که PH آن‌ها کم‌تر از ۷ است، مفید می‌باشد. باید توجه داشت که بیش‌تر خاک‌های رسی، قلیایی هستند و وجود نمک‌ها و ناخالصی‌های دیگر ممکن است خلصیت اسیدی ایجاد کنند. بنابراین توصیه می‌شود که نمونه‌ی محلول خاک و آب قبل از آزمایش برای تعیین PH آزمایش شود تا محلول پراکنده‌ساز مناسب به کار گرفته شود.

در آزمایش هیدرومتری معمولاً از هیدرومتر نوع H ۱۵۲ استفاده می‌شود. این هیدرومتر برای قرائت اعداد در واحد گرم با  $G_s = 2/65$  در  $1000 \text{ cc}$  مخلوط آب و خاک کلیبره شده است و مقدار خاک موجود در محلول نباید از  $60 \text{ g}$  تجاوز کند. قرائت‌ها با وزن مخصوص محلول رابطه‌ی مستقیم دارند. کلیبره کردن هیدرومتر به این صورت، همان‌طور که بعداً خواهیم دید، باعث سهولت در محاسبات می‌گردد و به همین دلیل استفاده از این هیدرومتر متداول‌تر است، گرچه هیدرومترهای دیگر رانیز می‌توان برای خولدن وزن مخصوص مخلوط آب و خاک به کار برد. در این گونه هیدرومترها همواره باید دقت شود که جرم خاک استفاده شده در  $1000 \text{ cc}$  آب، بیش‌تر از  $60 \text{ g}$  نشود تا از لدرکنش دلهای خاک و عدم تشکیل یکنواخت جلوگیری شود. همچنین باید توجه داشت که در صورت استفاده‌ی بیش از این مقدار، نتایج ضعیفی از قلمون استوکس به دست می‌آید.

هیدرومتر مقدار وزن مخصوص مخلوط را در مرکز حباب خود نشان می‌دهد. ذرات خاک در محلول، که بزرگ‌تر از ذراتی هستند که در ناحیه‌ی  $L$  (فاصله‌ی بین مرکز حباب و سطح آب قرار دارند، به زیر مرکز حباب سقوط کرده، دائماً باعث کاهش وزن مخصوص محلول در مرکز حباب هیدرومتر می‌شوند، زیرا با گذشت زمان و کاهش غلظت مواد معلق در مرکز حباب هیدرومتر، همواره در نیمه‌ی پایینی حباب غلظت بیش از نیمه‌ی بالایی است (به خصوص در کف هیدرومتر) بنابراین با گذشت زمان نیروی ارشمیدس افزایش یافته، هیدرومتر به سمت بالا حرکت می‌کند.

هم‌چنین به خاطر داشته‌باشید که در آب، مقدار وزن مخصوص (یا چگالی) هنگامی که دما مقداری غیر از  $4^\circ\text{C}$  داشته‌باشد، کاهش می‌یابد که این عامل نیز باعث پایین رفتن بیش‌تر هیدرومتر در محلول می‌گردد.

اگر زمبلی را که طول می‌کشد تا ذرات فاصله‌ی  $L$  را طی کنند،  $t$  در نظر بگیریم، آن‌گاه سرعت سقوط ذرات برابر است با:

$$v = \frac{L}{t}$$

بنابراین لازم است مقدار  $L$  و زمان  $t$  را پیدا کنیم تا مقدار سرعت را برای استفاده در قلمون استوکس به دست

آوریم. آن گاه از یک استوله‌ی رسوب‌گذاری مدرج که سطح مقطع (A) آن رامی‌دلیم استفاده کرده، هیدرومتر را درون استوله‌ی حاوی آب فروبرده، تغییرات سطح آب رامی‌خولیم. در این صورت حجم حباب هیدرومتر ( $V_b$ ) رابطه دست می‌آوریم و مقدار  $L$  رانیز بر حسب سلمتی‌متر محاسبه می‌کنیم. در صورتی که مقادیر  $L_1$  و  $L_2$  بر حسب سلمتی‌متر و  $V_b$  بر حسب سلمتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده باشند:

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \left[ L_2 - \frac{V_b}{a} \right]$$

با رسم منحنی مربوط به قرئتهای هیدرومتر (که به مقادیر  $L_1$  مربوط می‌شود)، مقدار  $L$  را برای هر قرئت  $R$  خواهیم داشت. در حقیقت، از جایی که منحنی به صورت خطی درمی‌آید، حدود سه نقطه لازم است تا منحنی ( $R$ ) در مقابل ( $L$ ) رسم شود.

از وقتی که هیدرومتر  $152H$  به صورت استاندارد واحد گذاری شده است، مقادیر  $L$  با دقت کافی برای تمام کارهای مکلیک خاک قابل محاسبه است و قرئتهای هیدرومتر تنها از نظر کشش سطحی باید تصحیح گردد؛ زیرا مقدار سرعت سقوط مبهم می‌باشد و این بلون در نظر گرفتن دما، وزن مخصوص محلول یا سایر مقادیر، به مقدار قرئت  $L$  که در آن ذرات سقوط می‌کنند بستگی دارد. اگر قطر ذرات و درصد خاک موجود در مخلوط آب و خاک را، که در این مورد درصد ریزدانه است بدلییم، اطلاعات لازم برای رسم منحنی توزیع دانه‌بندی ذرات خاک موجود خواهد بود.

درصد ریزدانه به طور مستقیم به قرئت هیدرومتر  $152H$  بستگی دارد به شرط آن که وزن مخصوص خاک  $2/65 \text{ g/cm}^3$  و وزن مخصوص آب  $1 \text{ g/cm}^3$  باشد.

محلول پراکنده ساز می‌تولد بر روی آب مقداری تأثیر داشته باشد و هم چنین دمای آزمایش می‌تولد در حدود  $20^\circ \text{C}$  و  $G_s$  ذرات خاک  $2/65$  نباشد. بنابراین تصحیحاتی برای رسیدن به مقدار واقعی قرئتها لازم است. دمای تولد با استفاده از حمام آب (اگر موجود باشد) در یک مقدار واحد نگه داشته شود، البته این عمل فقط برای راحتی کار است و ضروری نمی‌باشد. تأثیرات ناخلمصی‌های آب و محلول پراکنده ساز روی قرئتهای هیدرومتر رامی‌توان بابه کار

گیری یک استوله‌ی رسوب‌گذاری محتوی همان میزان آب و محلول پراکنده‌ساز برای درج تصحیحات صفر در نظر گرفت.

این ظرف آب باید در همان دمایی که مخلوط آب و خاک قرار دارد، باشد. مقادیر قرائت‌های کم‌تر از قرائت ظرف استاندارد حاوی آب، به صورت مقادیر منفی مشخص می‌گردد و قرائت‌های بین ۰ تا ۶۰ با علامت مثبت مشخص می‌شود. تمام قرائت‌ها از بالای قوس نشی از کشش سطحی، چه در مخلوط و چه در ظرف استاندارد لجام می‌شود. اگر دما در ظرف استاندارد و ظرف مخلوط زیاد باشد، هیدرومتری بیش‌تر درون آب فرو می‌رود. اگر هر دو ظرف دارای دمای یکسانی باشند تأثیر دمای یکسان خواهد بود.

### ۳. وسایل آزمایش

۱. استوله‌ی رسوب‌گذاری مدرج با ظرفیت ۱۰۰۰ cc و قطر داخلی ۸۵mm (حد قبول ۶۳/۵mm).
۲. هیدرومتر (مدل ۱۵۲H ترجیح داده می‌شود).
۳. محلول پراکنده‌ساز (هگزامتفسفات سدیم  $(\text{Na}_2\text{PO}_4)$  که اسم تجاری آن کلگون است و یا سیلیکات سدیم  $(\text{Na}_2\text{SiO}_3)$ ).
۴. حمام ظرف هیدرومتر.
۵. دماسنج مدرج شله تا ۱/۰ درجه که شله‌ل درجات بین ۲+ تا ۴۰+ باشد.
۶. کرنومتر برای اندازه‌گیری زمان.
۷. ترازو با دقت ۰/۱ g که ظرفیت آن ۲۰۰ g باشد.
۸. همزن مکانیکی (Mixer).

### ۴. روش انجام آزمایش

(این آزمایش باید به صورت گروهی لجام شود.)

## تذکر

مراحل زیر راهنگامی که حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد ذرات از لک ۲۰۰ عبور کرده، انجام می‌دهیم.

۱. دقیقاً ۵۰g خاک خشک و نرم را با ۱۲۵cc محلول ۰/۴ NaPO<sub>۳</sub> مخلوط می‌کنیم. بیک محلول ۰/۴ متفلسفات سلیم می‌تولد با ۴۰g ماده‌ی خشک و مقدار کفی آب برای به دست آوردن ۱۰۰۰cc محلول، حاصل شود. محلول باید به تازگی مخلوط شده و بیش از یک ماه از درست کردن آن نگذشته باشد.

۲. اجازه می‌دهیم تا مخلوط به مدت ۱ ساعت بقی بماند. (استندارد ASTM مدت ۱۶ ساعت را برای خاکها رسی پیشنهاد می‌کند، ولی این کار معمولاً لازم نیست).

محلول را به ظرف مخلوط کن انتقال داده، مدت ۳ دقیقه مخلوط می‌کنیم و اگر مخلوط حدود ۱۰ تا ۱۶ ساعت خیس شده است، حدود ۱ دقیقه آن را مخلوط می‌کنیم. در غیر این صورت ۳ تا ۵ دقیقه مخلوط کردن لازم است.

۳. تمام محتویات ظرف مخلوط کن را به استوله‌ی رسوب‌گذاری منتقل می‌کنیم و باید کاملاً مرفب بشیم که هیچ مقداری از مخلوط در مخلوط کن بقی نماند. به آن آب مقطر اضافه می‌کنیم تا زمانی که حجم کل به ۱۰۰۰cc برسد.

۴. با استفاده از درپوش لاستیکی یا کف دست، استوله را واژگون ساخته، دوباره به حال اول بازگردانید و این عمل را به مدت ۱ دقیقه انجام دهید تا اختلاط به‌طور کامل انجام شود. پس از پیدان ۱ دقیقه، استوله را در محل مناسبی قرار داده، قرئت هیدرومتر را در بازه‌های زملی زیر (که از آغاز زمان تفشینی خاک محاسبه می‌گردد) یا به تعدادی که مورد نیاز می‌باشد و بستگی به نمونه و مشخصات مواد مورد آزمایش دارد، انجام می‌دهیم:

۲، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۲۵۰، ۱۴۴۰ (دقیقه)

اگر از حمام آب استفاده می‌شود، استوله‌ی رسوب‌باید در فاصله‌ی بین قرئت‌های ۲ و ۵ دقیقه در حمام آب قرار داده شود.

تعداد تکان دادن استوله در مدت ۱ دقیقه می‌بایست در حدود ۶۰ دفعه باشد که هر واژگونی و سپس به حالت اول بازگرداندن آن ۲ دفعه محسوب می‌شود. اگر مقداری خاک در کف ظرف بقی مانده باشد، باید در هنگام



تکان‌های اولیه به وسیله‌ی تکان‌های قوی‌تر از استوله جدا شود.

۵. هنگامی که می‌خواهیم قرئت هیدرومتر را انجام دهیم، ۲۰ لی ۲۵ ثلیه قبل از قرئت، هیدرومتر را درون

استوله‌ی رسوب‌گذاری قرار می‌دهیم و پس از قرئت نیز هیدرومتر را خارج ساخته، آن را درون استوله‌ی آب مقطر

می‌گذاریم. باید توجه داشت که هیدرومتر را بلافاصله پس از قرئت از محلول خارج کنیم. قرئت‌ها را بر اساس عدد

بالای قوس تشکیل شده در سطح مایع انجام می‌دهیم (در صورتی که قرئت نقطه‌ی انتهایی قوس امکان نداشته باشد).

۶. پس از هر قرئت دمای محلول را با وارد کردن دماسنج در مخلوط آب و نمک اندازه‌گیری می‌نماییم.



[WWW.PARS-GEO-AZMA.COM](http://WWW.PARS-GEO-AZMA.COM)