

## آزمایش تراکم ( Compaction )

### مقدمه:

در بسیاری از سازه های خاکی، مثل سدها ، دیوارهای حائل ، بزرگراه ها ، فرودگاهها و... متراکم کردن خاک یک امر ضروری جهت بهبود مقاومت خاک می باشد . متراکم نمودن خاک که عبارت است از قرار دادن خاک در یک موقعیت چگال تر، به چند دلیل مطلوب است: کاهش نشست ها در آینده ، افزایش مقاومت برشی ، کاهش نفوذ پذیری ، بهبود خواص مکانیکی خاک و کاهش قابلیت تورم خاک .

برای متراکم ساختن خاک در محل معمولا از غلتک های چرخ صاف ، غلتک های پاچه بزی ، غلتک های چرخ لاستیکی و غلتکهای لرزنده استفاده می شود. غلتکهای لرزنده اغلب برای متراکم ساختن خاک های دانه ای بکار میرود.

تراکم به طور کلی یعنی چگالش خاک با خارج ساختن هوا که خود مستلزم صرف انرژی مکانیکی است. درجه تراکم خاک بر حسب وزن مخصوص خشک آن اندازه گیری می شود . آبی که در زمان متراکم ساختن خاک به آن افزوده می شود ، به عنوان ماده نرم کننده روی ذرات خاک عمل می کند. ذرات خاک با لغزش روی یکدیگر شکل متراکمتری به خود می گیرند. وزن مخصوص خشک خاک ابتدا با افزایش میزان رطوبت افزایش می یابد . فراتر از یک رطوبت مشخص ، با افزایش میزان رطوبت ، وزن مخصوص خشک کم می شود، چون آب در فضاهایی جای می گیرد که ذرات جامد اشغال کرده اند . میزان رطوبتی که در آن حداکثر وزن مخصوص خشک حاصل می شود ، معمولا میزان رطوبت بهینه می نامند. برای بدست آوردن حداکثر وزن مخصوص خشک متراکم و میزان رطوبت بهینه از آزمون آزمایشگاهی به نام آزمایش تراکم Proctor استفاده می شود.



## آزمایش Proctor استاندارد

### وسایل مورد نیاز:

۱. قالب تراکم استاندارد با حجم 944 سانتی مترمکعب و قطر 101.6 میلیمتر و ارتفاع 116.43 میلیمتر.
۲. حلقه متحرک دور قالب با عمق 62.5 میلیمتر.
۳. چکش به جرم 2.5 کیلوگرم و ارتفاع سقوط 304.8 میلیمتر .
۴. الک نمره 4.
۵. ظروف تعیین رطوبت.
۶. گرمخانه (اون).
۷. ترازو با دقت 0.01 گرم.
۸. سینی بزرگ برای مخلوط کردن آب و خاک .
۹. استوانه مدرج .
۱۰. وسیله ای برای بیرون آوردن نمونه از قالب .
۱۱. چکش لاستیکی و هاون .
۱۲. لبه نوک تیز یا خط کش فلزی .

### نمونه خاک :

ابتدا همه ی کلوخه های خاک را در یک هاون توسط چکشی که سر آن لاستیکی است خرد کرده و خاک را از الک نمره ی 4 عبور می دهیم. یک نمونه 2.5 کیلوگرمی از خاک عبور کرده از الک انتخاب می کنیم. باید در نظر داشت که اگر قسمت درشت دانه خاک بیشتر از مقدار معینی باشد، آزمایش پراکتور روی آن بی اثر است. به این صورت که اگر ذرات با اندازه ی بالاتر از 20 میلیمتر کمتر از 20 درصد وزنی نمونه باشد، آزمایش را می توان انجام داد به شرط آنکه ذرات با اندازه ی بالای 20 میلیمتر را جدا کرده ، به جای آن به طور همگن، ذرات با اندازه ی بین 5 تا 20 میلیمتر جایگزین شود.

## شرح آزمایش:

قالب خالی را همراه با ته آن و بدون حلقه ی دور قالب وزن می کنیم . نمونه خاک را با 5٪ رطوبت اولیه (125cc) در سینی بزرگ کاملاً مخلوط می کنیم. سپس به مقدار  $\frac{1}{3}$  ارتفاع قالب ، در آن خاک ریخته ، به ملایمت خاک را فشار می دهیم تا سطح آن صاف شود و بعد با 25 ضربه یکنواخت و پخش شده در تمام سطح توسط ضربات چکش ، خاک را متراکم می کنیم . بین هر سقوط چکش ، هم قالب و هم چکش باید به خاطر پخش یکنواخت ضربات در تمام سطح نمونه به آرامی چرخانده شوند. آزمایش را برای لایه های دوم و سوم نیز تکرار می کنیم . (سه لایه ، هر لایه 25 ضربه) وقتی عمل متراکم کردن سومین لایه به اتمام رسید، دور و سطح قالب را از زوایای مختلف خاک پاک می کنیم . حلقه دور قالب را برمیداریم. در برداشتن حلقه دور قالب ، آن را می چرخانیم تا اتصالی که بین حلقه و خاک ایجاد شده ، جدا شود. این عمل باعث می شود به هنگام برداشتن حلقه از دور ستون قالب ، از جا بجایی یا حرکت مقداری از خاک متراکم شده جلوگیری شود. عمل صاف کردن روی نمونه درون قالب می بایست توسط خراشیدن روی نمونه به وسیله خط کش فلزی صورت گیرد. هنگامی که نمونه از نظر سطح بالایی آماده شد، تمام خاک های شل را از اطراف پاک می کنیم و سیلندر و نمونه را وزن می کنیم . خاک را از سیلندر خارج کرده و یک نمونه از آن انتخاب کرده و برای تعیین درصد رطوبت در اون قرار می دهیم . خاکی که از سیلندر خارج شده را با دست خرد می کنیم و 2٪ (50cc) ، آب به آن اضافه می کنیم. آب را به صورت کاملاً یکسان پخش کرده و با خاک کاملاً مخلوط می کنیم . دانستن مقدار آب اضافه شده کمک می کند تا مقدار رطوبت را کنترل کنیم . این آزمایش را 5 مرتبه انجام داده و در هر مرحله 2٪ رطوبت اضافه می کنیم . نتایج آزمایش در جدول ارائه شده است.

## توضیحات:

برای انجام آزمایش Proctor اصلاح شده مانند آزمایش Proctor استاندارد ، از همان قالب با حجم 944 سانتی متر مکعب استفاده می شود. خاک در 5 لایه و با چکشی به جرم 4.54 کیلو گرم متراکم می شود. ارتفاع فرود چکش 457 میلیمتر است. تعداد ضربات چکش به ازای هر لایه مانند آزمایش استاندارد در حد 25 ضربه حفظ می شود. در این آزمایش به دلیل افزایش تلاش تراکم ، افزایش حداکثر وزن مخصوص خشک خاک را خواهیم داشت که با کاهش میزان رطوبت بهینه همراه است. مقدار انرژی در این حالت نسبت به آزمایش استاندارد بیشتر است.

## محاسبات :

با داشتن وزن خاک متراکم و حجم قالب استاندارد، وزن مخصوص خاک متراکم بدست می آید ، با مشخص شدن میزان رطوبت ، وزن مخصوص خشک را می توان با رابطه (1) تعیین نمود.

حداکثر وزن مخصوص خشک نظری زمانی برای یک میزان رطوبت مشخص حاصل می شود که هیچ هوایی در فضاهای خالی وجود نداشته باشد. یعنی درجه اشباع 100٪. به این ترتیب حداکثر وزن مخصوص خشک در یک میزان رطوبت معین با حفره های هوای صفر از رابطه (2) بدست می آید.

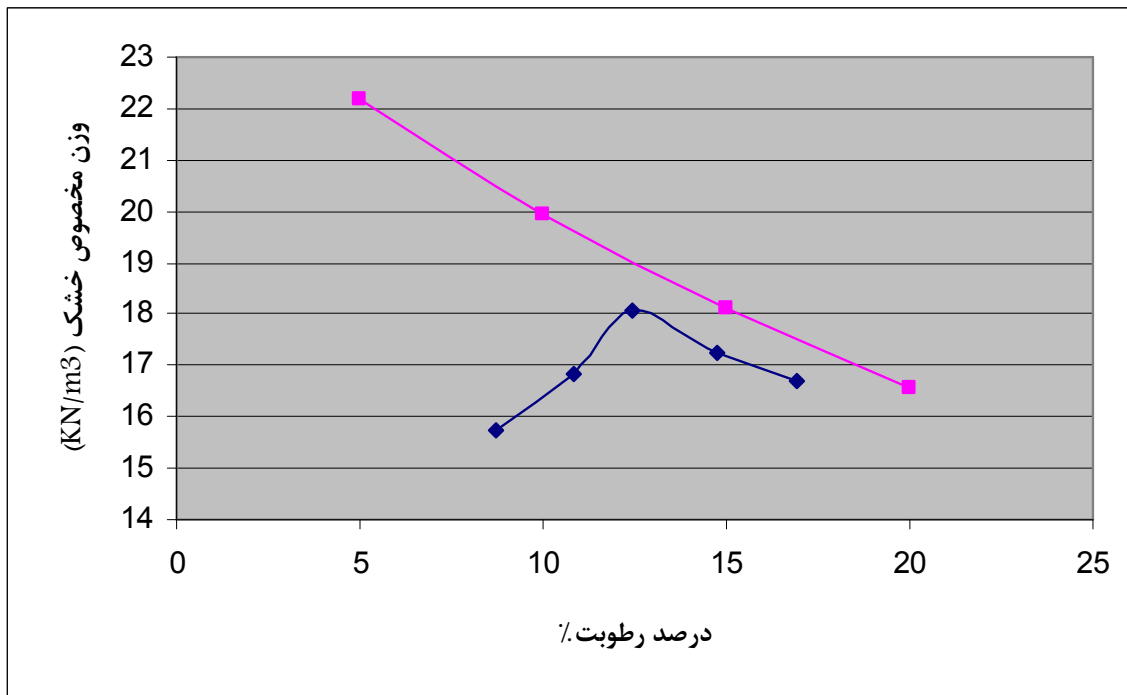
$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + \omega} \quad (1) \quad \gamma_{zav} = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + \omega * G_s} = \frac{\gamma_w}{\omega + \frac{1}{G_s}} \quad (2)$$

## تعیین درصد رطوبت:

|       |       |       |       |      |                        |
|-------|-------|-------|-------|------|------------------------|
| 5     | 4     | 3     | 2     | 1    | شماره نمونه            |
| 5     | 9     | 6     | 8     | 7    | شماره ظرف              |
| 98.38 | 49.68 | 49.5  | 82.4  | 63.9 | وزن ظرف و خاک مرطوب، g |
| 89    | 47.56 | 47.74 | 77.6  | 61.5 | وزن ظرف و خاک خشک، g   |
| 9.38  | 2.12  | 1.76  | 4.8   | 2.4  | وزن آب، g              |
| 33.6  | 33.2  | 33.6  | 33.3  | 34   | وزن ظرف، g             |
| 55.4  | 14.36 | 14.14 | 44.3  | 27.5 | وزن خاک خشک، g         |
| 16.93 | 14.76 | 12.45 | 10.84 | 8.73 | درصد رطوبت، % $\omega$ |

## وزن واحد حجم:

|       |       |       |       |       |                                      |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|
| 13    | 11    | 9     | 7     | 5     | درصد رطوبت فرض شده                   |
| 16.93 | 14.76 | 12.45 | 10.84 | 8.73  | درصد رطوبت، % $\omega$               |
| 5187  | 5214  | 5262  | 5103  | 4956  | وزن خاک و قالب، g                    |
| 3308  | 3308  | 3308  | 3308  | 3308  | وزن قالب، g                          |
| 1879  | 1906  | 1954  | 1795  | 1648  | وزن خاک مرطوب، g                     |
| 19.53 | 19.8  | 20.31 | 18.65 | 17.13 | وزن واحد حجم مرطوب، $\frac{KN}{m^3}$ |
| 16.7  | 17.25 | 18.06 | 16.83 | 15.75 | وزن واحد حجم خشک، $\frac{KN}{m^3}$   |



با مقادیر مختلف  $\omega$ ، مثل 5 ، 10 ، 15 و 20 % می توان  $\gamma_{zav}$  را با  $G_s = 2.55$  ، در چند نقطه محاسبه کرده و ترسیم نمود. تحت هیچ شرایطی نباید بخشی از منحنی تراکم در سمت راست منحنی حفره های هوای صفر قرار گیرد.

| درصد رطوبت ، $\omega$ % | 5 %   | 10 %  | 15 %  | 20 %  |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\gamma_{zav}$          | 22.18 | 19.93 | 18.09 | 16.57 |

**نتیجه :**

درصد رطوبت بهینه = 12.45 %

وزن مخصوص خشک ماکزیمم  $\gamma_d = 18.06 \frac{KN}{m^3}$