

تعیین حداکثر چگالی خشک خاک و مقدار رطوبت مطلوب

رابطه‌ی بین حداکثر چگالی خشک خاک و درصد رطوبت بهینه را می‌توان از منحنی تراکم خاک که از آزمایش پروکتور استاندارد به دست می‌آید، محاسبه کرد. این رابطه به تعیین مقدار آب بهینه به ازای حداکثر چگالی خشک خاک در حین متراکم سازی کمک می‌کند.

چرا به حداکثر چگالی خشک و مقدار رطوبت بهینه‌ی خاک نیاز داریم؟

خاک محلی که قرار است ساختمان در آنجا احداث شود، باید به‌اندازه‌ی کافی پایدار باشد که بارهای ناشی از سازه‌ها را از طریق پی‌ها بدون ایجاد نشست‌های نامطلوب در طول دوره‌ی ساخت و بهره‌برداری، حمل کند.

این عملکرد خاک در طی فرآیند بررسی میدانی آزمایش می‌شود. بر اساس گزارش بررسی میدانی عملیات بهبود و تراکم خاک انجام می‌شود. مقدار تراکم موردنیاز برای خاک در هر محل متفاوت است.

برای تعیین مقدار تراکم موردنیاز خاک و رطوبت بهینه‌ی آن، آزمایش‌های تراکم بر روی خاک‌هایی که از محل برداشته می‌شوند، در آزمایشگاه، انجام می‌شود.

تعیین حداکثر چگالی خشک و مقدار رطوبت بهینه‌ی خاک

آزمایش تراکم پروکتور استاندارد

یکی از اولین فرآیندهای آزمایش تراکم استاندارد است که برای تعیین حداکثر چگالی خشک خاک‌ها استفاده می‌شود و توسط پروکتور در سال ۱۹۳۳ ایجاد شده است.

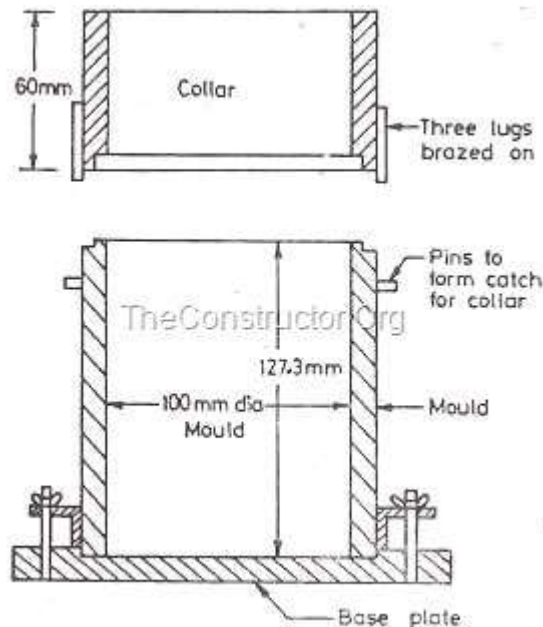
ابزار این آزمایش شامل یک قالب استاندارد با قطر داخلی ۴ اینچ است. ارتفاع مؤثر این قالب استاندارد ۴٫۶ اینچ است. حداکثر ظرفیت این قالب ۱/۳۰ فوت مکعب است. ابزار این آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. ابزار آزمایش پروکتور استاندارد (قالب و چکش)

قالب شامل یک ورق پایه‌ی قابل جدا شدن است. بالای قالب از یک قسمت با ارتفاع ۲ اینچ تشکیل شده است که قابل برداشتن است. خاک در سه لایه به قالب اضافه می‌شود که در هر مرحله ۲۵ ضربه به آن زده می‌شود. این تراکم با یک چکش ۵٫۵ پوندی که از ارتفاع ۱۲ اینچی سقوط می‌کند انجام می‌شود.

مقررات استاندارد هندی – IS:2720 (بخش هفتم) ضوابط آزمایش پروکتور استاندارد را شامل می‌شود. مقطع عرضی ابزار مورد استفاده در آیین‌نامه‌های هندی در شکل ۲ نشان داده شده است. قطر قالب ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع آن ۱۲۷٫۳ میلی‌متر است. ظرفیت این قالب ۱۰۰۰ میلی‌لیتر است.



شکل ۲. آزمایش پروکتور استاندارد خاک

چکش مورد استفاده جرم ۲٫۶ کیلوگرمی دارد. این چکش از ارتفاع ۳۱۰ میلی‌متری سقوط می‌کند و قطر پیشانی آن هم ۵۰ میلی‌متر است. متراکم سازی خاک در سه لایه انجام می‌شود. ارتفاع قسمت بالایی استوانه ۶۰ میلی‌متر است که قابل برداشتن است. قالب بر روی یک صفحه‌ی زیرین قابل جدا شدن سوار می‌شود.

در موارد خاص، خاک برداشته شده برای آزمایش ممکن است روی الک ۴٫۷۵ میلی‌متر ریخته شود. اگر مقدار مانده روی این الک بیش از ۲۰٪ باشد، از قالبی با قطر داخلی بیشتر، حدود ۱۵۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. این قالب ارتفاع ۱۲۷٫۳ میلی‌متری دارد و ظرفیت آن ۲۲۵۰ میلی‌لیتر است.



فرآیند آزمایش پروکتور استاندارد

۱. نمونه‌ی خاک به وزن ۳ کیلوگرم را جمع‌آوری کنید. نمونه باید بعد از خشک شدن در هوای آزاد ۳ کیلوگرم وزن داشته باشد. معمولاً این خاک به صورت پودر شده خواهد بود که از الک ۴,۷۵ میلی‌متر عبور خواهد کرد. اگر خاک از نوع درشت‌دانه باشد، به اندازه‌ای آب به آن اضافه می‌کنیم که مقدار رطوبت آن به ۴٪ برسد.

اگر خاک از نوع ریزدانه باشد، آب به اندازه‌ای به آن اضافه می‌شود که محتوای آب به ۸٪ برسد. مقدار آب نمونه بعد از اضافه کردن باید کمتر از مقدار آب بهینه باشد.

بعد از اضافه شدن آب، خاک به صورت کامل مخلوط شده و با یک پارچه‌ی خیس پوشانیده می‌شود. این نمونه به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه کنار گذاشته می‌شود. جدول یک بازه بهینه مقدار آب برای انواع مختلف خاک را نشان می‌دهد.

نوع ۱: بازه‌ی مقدار آب بهینه برای انواع مختلف آب

ماسه	لای ماسه‌ای یا ماسه‌ی لای دار	لای	رس
۶ تا ۱۰ درصد	۸ تا ۱۲ درصد	۱۲ تا ۱۶ درصد	۱ تا ۲۰ درصد

۲. سپس وسیله‌ی آزمایش با تمیز شدن کامل قالب آماده می‌شود. قالب باید خشک شده و مقداری گریس کاری شود. جرم قالب با ورق زیر آن و بدون قسمت بالایی آن اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار را با نام W_m ثبت می‌کنیم.

۳. قالب قرار گرفته روی ورق را تا یک سوم با خاکی که از پیش آماده کرده‌ایم پر می‌کنیم. این لایه را با ۲۵ ضربه با چکش متراکم می‌کنیم. ارتفاع سقوط آزاد چکش ۳۱۰ میلی‌متر است.

توجه: اگر از قالب بزرگ‌تری استفاده شود، تعداد ضربه‌ها برای هر لایه ۵۶ ضربه خواهد بود. در این حالت ظرفیت قالب ۲۲۵۰ میلی‌لیتر خواهد بود.

تراکم باید به صورتی انجام شود که ضربه‌ها به صورت یکنواخت در سطح هر لایه توزیع شده باشند.

۴. سپس لایه‌ی دوم اضافه می‌شود. قبل از اضافه کردن لایه‌ی دوم باید سطح لایه‌ی قبلی خراشیده شود. در این مرحله خاک تا دوسوم قالب را پر می‌کند. این لایه را هم با ۲۵ ضربه متراکم می‌کنیم.

۵. در نهایت لایه‌ی سوم اضافه می‌شود. این لایه هم به صورت مشابه متراکم می‌شود. لایه‌ی آخر باید برآمده‌تر از سطح قالب باشد. این مقدار نباید بیش از ۶ میلی‌متر باشد.

۶. اتصال بین خاک در قالب و قسمت بالایی با چرخاندن قسمت بالایی قالب شکسته می‌شود. سپس قسمت بالایی قالب برداشته می‌شود و خاک اضافه برداشته می‌شود تا با قالب هم‌سطح شود.

۷. سپس جرم قالب با خاک متراکم شده و ورق زیرین آن اندازه‌گیری می‌شود (W_{ms})؛ بنابراین جرم خاک متراکم شده (W_s) به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$W_s = W_m - W_{ms}$$

۸. جرم خاک متراکم شده و حجم قالب، چگالی حجمی خاک را به ما می‌دهد. از چگالی حجمی خاک می‌توان چگالی خشک را برای مقدار آب استفاده‌شده (w) به دست آورد.

۹. فرآیند مشابه (۱ تا ۸) با افزایش مقدار آب در خاک به اندازه ۲ تا ۳ درصد تکرار می‌شود. هر آزمایش دسته‌های مختلفی از مقدار آب و چگالی خشک خاک به ما می‌دهد. از مقادیر به دست آمده منحنی تراکم بین چگالی خشک و مقدار آب رسم می‌شود.

محاسبات برای منحنی تراکم

۱. وزن خاک متراکم شده (W_s) به گرم:

$$W_s = W_m - W_{ms}$$

۲. چگالی حجمی (ρ) برحسب گرم بر میلی‌لیتر:

$$\rho = \frac{W_s}{V}$$

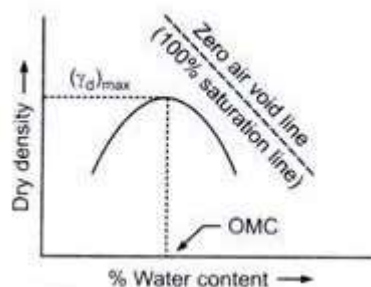
۳. چگالی خشک (ρ_d)، w = مقدار آب

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$$

منحنی تراکم خاک - حداکثر چگالی خشک و مقدار آب بهینه

منحنی تراکم، منحنی است که بین مقدار آب (در محور X) و چگالی خشک متناظر با آن (در محور Y) رسم می‌شود. در ابتدای منحنی مشاهده می‌شود که چگالی خشک با افزایش مقدار آب افزایش پیدا می‌کند تا این‌که به نقطه‌ی خاصی رسیده و پس از آن چگالی خشک کاهش پیدا می‌کند.

نقطه‌ی حداکثر منحنی تراکم خاک نقطه‌ای با مقدار بیشینه چگالی خشک نامیده می‌شود. مقدار آب متناظر با این نقطه را مقدار آب بهینه (O.W.C) یا مقدار رطوبت بهینه (O.M.C) می‌نامند.



شکل ۳. منحنی تراکم خاک

نمودار نشان داده‌شده در شکل ۳ منحنی تراکم است. ابتدا برای مقادیر آب کمتر از O.M.C، خاک سخت‌تر است و فضاهای خالی و تخلخل زیادی خواهد داشت. این، دلیل به دست آمدن چگالی خشک کمتر در این مقادیر رطوبت است.

هنگامی که ذرات خاک با افزایش مقدار آب روان می‌شوند، ذرات خاک متراکم‌تر شده و چگالی افزایش پیدا خواهد کرد. حال افزایش بیشتر مقدار آب از O.M.C تغییر در چگالی خشک ایجاد نخواهد کرد یا چگالی خشک را کاهش خواهد داد.

نمودار دارای خطی است که نشان‌دهنده‌ی خط چگالی بدون هوا یا اشباع ۱۰۰٪ است. این خط بر اساس چگالی خشک حداکثر در آزمایش‌های تجربی به دست می‌آید و زمانی رخ می‌دهد که اشباع به ۱۰۰٪ برسد. از آنجا که شرایط بدون هوا در خاک در واقعیت وجود ندارد و فرضیه‌ای منطقی به شمار نمی‌آید، خاک هیچ‌گاه ۱۰۰٪ اشباع نمی‌شود.

چگالی خشک حداکثر تجربی را می‌توان با معادله‌ی زیر به دست آورد:

$$(\rho_d)_{the\ max} = \frac{G(\rho_w)}{1 + wG}$$

G = وزن مخصوص جامد، ρ_w = چگالی جرمی آب = مقدار آب خط بدون هوای تجربی را می‌توان، در صورت معلوم بودن w و G ، با رسم کردن منحنی حداکثر چگالی خشک تجربی در منحنی تراکم به دست آورد.

مترجم: علی اکبر خلیلی

منبع:

<https://theconstructor.org/geotechnical/soil-maximum-dry-density-optimum-moisture-content//۱۸۴۲۶>