

## راهنمای جامع تیپ بندی خاک (۱ تا ۴): تاثیر طبقه بندی انواع خاک بر هزینه و ایمنی سازه

در این مقاله ما طبقه بندی انواع خاک را بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار دادیم. خواهیم دید که انواع تیپ خاک طبق آیین نامه به ۴ دسته تیپ ۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم می شوند که تیپ ۱ سخت ترین و تیپ ۴ نرم ترین نوع خاک می باشد. همچنین با نحوه تشخیص این تیپ ها از روی گزارش مکانیک خاک و شواهد میدانی آشنا شده و تاثیر حیاتی آن ها را بر هزینه های ساخت، انتخاب نوع فونداسیون و امنیت لرزه ای سازه تحلیل خواهیم کرد.



## تیپ بندی انواع خاک

## تیپ ۱: سنگ بستر و زمین های بسیار سخت

این تیپ که ایده آل ترین حالت برای پایداری سازه محسوب می شود، شامل سنگ های سالم آذرین، رسوبی و دگرگونی یا خاک های بسیار متراکم و سیمانته شده است که سرعت موج برشی در آن ها بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه است. از دیدگاه فنی، این زمین ها دارای ظرفیت باربری (تنش مجاز) بسیار بالا هستند و عملاً نشست در آن ها بسیار کم است؛ ضمن اینکه به دلیل سختی زیاد، امواج زلزله را با کمترین تغییر عبور داده و کمترین نیروی جانبی را به ساختمان وارد می کنند که منجر به طراحی سبک و اقتصادی اسکلت سازه می شود. اما چالش اصلی در فاز اجرایی و عملیات خاکی است؛ گودبرداری در تیپ ۱ بسیار دشوار، زمان بر و پرهزینه است و اغلب نیازمند استفاده مداوم از چکش هیدرولیکی (پیکور) یا حتی مواد منفجره خفیف است، هرچند که دیواره های گود معمولاً بدون نیاز به سازه نگهدارنده خاصی پایدار می مانند.

## تیپ ۲: خاک های متراکم و بسیار سفت

رایج ترین و محبوب ترین نوع خاک در ساخت و ساز شهری، تیپ ۲ است که شامل شن و ماسه های بسیار متراکم یا رس های بسیار سخت با ضخامت زیاد می باشد (سرعت موج برشی بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه است). این تیپ خاک از یک سو مقاومت کافی برای تحمل بارهای سنگین ساختمان را با فونداسیون های معمول (شبکه ای یا سطحی با ضخامت بهینه) دارد و نیروی زلزله در آن تشدید قابل توجهی پیدا نمی کند، و از سوی دیگر عملیات خاک برداری در آن با ماشین آلات معمولی امکان پذیر است. در گودبرداری های تیپ ۲، دیواره ها تا ارتفاع مشخصی پایداری موقت خوبی دارند، اما برای گودهای عمیق اجرای سیستم های پایداری متداول مثل خرپا، نیلینگ یا مهار متقابل (استرات) کاملاً اجرایی و اقتصادی است.

## تیپ ۳: خاک های متوسط تا دانه ای

این تیپ شامل خاک های ماسه ای با تراکم متوسط، رس های با سفتی متوسط یا سنگ های هوازده است که عدد نفوذ استاندارد (N) در آن ها بین ۱۵ تا ۵۰ قرار دارد (سرعت موج برشی ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه است). در خاک تیپ ۳، شرایط کمی حساس تر می شود؛ ضریب بازتاب ساختمان افزایش می یابد که نتیجه آن سنگین تر شدن اسکلت سازه نسبت به تیپ ۲ است و همچنین به دلیل تنش مجاز پایین تر

خاک، معمولاً نیاز به فونداسیون‌های گسترده برای کنترل نشست‌های نامتقارن وجود دارد. از نظر اجرایی، اگرچه حفاری و گودبرداری در این خاک بسیار سریع و آسان انجام می‌شود، اما خطر ریزش دیواره‌ها بالاست و اجرای دقیق و سریع سیستم سازه نگهبان و زهکشی آب‌های سطحی برای جلوگیری از شستگی خاک، حیاتی است.

#### تیپ ۴: خاک‌های نرم و مسئله‌دار

طبق طبقه بندی انواع خاک، تیپ ۴ شامل خاک‌های چسبنده نرم، رس‌های با رطوبت بالا، لجن‌ها و خاک‌های دستی غیرمتراکم است که سرعت موج برشی در آن‌ها کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه است. تیپ ۴ زیرا این خاک‌ها پتانسیل بالایی برای تشدید امواج زلزله دارند و اگر سازه برای این شرایط خاص طراحی نشود، خطر تخریب بسیار بالاست. چالش‌های اجرایی در این تیپ خاک همچون ظرفیت باربری پایین معمولاً استفاده از پی‌های عمیق (شمع‌کوبی) یا روش‌های بهسازی خاک (مانند میکروپایل، جت‌گروتینگ یا ستون شنی) را اجتناب‌ناپذیر می‌کند که هزینه پروژه را به شدت افزایش می‌دهد، و در گودبرداری نیز خطر بالازدگی کف گود و ریزش ناگهانی دیواره‌ها همواره تهدیدکننده است، به‌ویژه اگر سطح آب زیرزمینی بالا باشد که احتمال روانگرایی در خاک ماسه‌ای نیز به مشکلات اضافه می‌شود.



#### طبقه بندی انواع خاک طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم

زمین ساختمانی از نظر نوع سنگ و خاک طبق آیین نامه ۲۸۰۰ به شرح جدول زیر طبقه بندی میشود:

جدول ۲-۳ طبقه‌بندی نوع زمین

نوع زمین	توصیف لایه‌بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{C}_{u1}$ (kPa)	$\bar{N}_{1(60)}$	$\bar{v}_s$ (m/s)
I	سنگ و شبه سنگ، شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانی بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	-	-	>۷۵۰
II	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت یا ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	>۲۵۰	>۵۰	۳۷۵-۷۵۰
III	خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	۲۵۰-۷۰	۵۰-۱۵	۳۷۵-۱۷۵
IV	خاک متوسط تا نرم، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم.	<۷۰	<۱۵	<۱۷۵

در جدول فوق:

Vs-bar: متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه

N-bar<sub>1(60)</sub>: متوسط N<sub>1(60)</sub> در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری

N<sub>1(60)</sub>: تعداد ضربات نفوذ استاندارد (اصلاح شده برای فشار مؤثر سربار و انرژی)

Cu-bar: متوسط Cu در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری

Cu: مقاومت برشی زهکشی نشده در خاک‌های چسبنده

تعیین طبقه‌بندی نوع زمین، در این جدول، باید بر اساس مقدار سرعت موج برشی صورت گیرد، ولی در صورت دسترسی نداشتن به آن می‌توان در خاک‌های دانه‌ای با اندازه کوچکتر از شن متوسط از تعداد ضربات نفوذ استاندارد و در خاک‌های چسبنده از مقاومت برشی زهکشی نشده استفاده نمود.

#### نحوه تعیین طبقه بندی انواع خاک از روی گزارش مکانیک خاک

برای استخراج تیپ خاک از دفترچه ژئوتکنیک، باید مستقیماً به بخش توصیه‌نامه‌های فنی یا جدول پارامترهای لرزه‌ای مراجعه کنید، جایی که طبق استاندارد ۲۸۰۰، معیار اصلی قضاوت، میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر ابتدایی سطح زمین است. اگر آزمایش لرزه‌نگاری (دانه‌هول) انجام شده باشد، اعداد بالای ۷۵ متر بر ثانیه بیانگر تیپ ۱ (سنگ) و اعداد کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه نشانگر تیپ ۴ (خاک نرم) هستند؛ اما در پروژه‌های متعارف ساختمانی که این آزمایش انجام نمی‌شود، مهندسین از معیار جایگزین یعنی میانگین عدد نفوذ استاندارد استفاده می‌کنند که در لاگ گمانه‌ها ثبت شده است. این عدد نشان‌دهنده مقاومت خاک در برابر نفوذ است و به صورت یک قانون کلی، هرچه میانگین وزنی تعداد ضربات در لایه‌های مختلف بیشتر باشد (معمولاً بالای ۵۰ ضربه برای سنگ و خاک‌های بسیار متراکم و زیر ۱۵ ضربه برای خاک‌های سست)، خاک باکیفیت‌تر بوده و عدد تیپ خاک کوچکتر (به سمت ۱) خواهد بود.

#### نحوه تعیین چشمی تیپ خاک

هرچند تعیین دقیق تیپ خاک صرفاً بر اساس اعداد آزمایشگاهی (SPT و سرعت موج برشی) معتبر است و قضاوت چشمی هیچ مبنایی برای طراحی نیست، اما مهندسین باتجربه می‌توانند با مشاهده **مقاومت خاک در برابر حفاری و تست ساده انگشت** حدود آن را تخمین بزنند. به عنوان یک معیار سرانگشتی، اگر زمین سنگی و یکپارچه است و برای کندن آن حتماً به چکش هیدرولیکی (پیکور) نیاز است، با تیپ ۱ مواجهید؛ اگر خاک آنقدر سفت و متراکم است که بیل دستی به سختی در آن نفوذ می‌کند و راه رفتن روی آن رید عمیقی از پاشنه کفش باقی نمی‌گذارد، خاک احتمالاً تیپ ۲ است. در مقابل، خاکی که با بیل دستی و صرف نیروی معمول کننده می‌شود و انگشت شست با فشار متوسط چند سانتی‌متر در آن فرو می‌رود، معمولاً در دسته تیپ ۳ قرار می‌گیرد و نهایتاً اگر خاک حالت خمیری، باتلاقی یا سیاه (ارگانیک) دارد، بوی نا می‌دهد و انگشت شست به راحتی و بدون فشار در آن فرو می‌رود، نشانه قطعی خاک تیپ ۴ است.

#### اثرات شناخت درست طبقه بندی انواع خاک

در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، خاک زیر فونداسیون می‌تواند امواج زلزله را تضعیف یا به شدت تقویت کند. این پدیده در مهندسی زلزله **اثر ساختگاه (Site Effect)** نامیده می‌شود و در استاندارد ۲۸۰۰، مبنای اصلی دسته‌بندی خاک‌ها است. شناخت دقیق تیپ خاک (از نوع ۱ تا ۴) دو تاثیر حیاتی و مستقیم بر پروژه دارد:

#### الف) تضمین ایمنی و رفتار واقعی سازه

وقتی این امواج زلزله به لایه‌های سطحی خاک می‌رسند، بسته به جنس خاک رفتار متفاوتی نشان می‌دهند. در خاک‌های سفت و سنگی (تیپ ۱)، امواج با کمترین تغییر عبور می‌کنند؛ اما در خاک‌های نرم و سست (تیپ ۳ و ۴)، سرعت امواج کم شده و در مقابل، دامنه آن‌ها افزایش می‌یابد. این یعنی خاک نرم شدت زلزله وارد بر ساختمان را چند برابر می‌کند. اگر طراح سازه از این تشدید غافل باشد، ساختمان در زلزله واقعی دچار خرابی‌های غیرقابل جبران خواهد شد.

(ب) بهینه‌سازی اقتصادی (جلوگیری از هدررفت سرمایه)

تیپ خاک مستقیماً عدد ضریب بازتاب ساختمان (B) را در فرمول محاسبه نیروی زلزله ( $C = ABI/R_u$ ) تغییر می‌دهد.

- **طراحی دست‌بالا (هزینه اضافی):** اگر تیپ بندی خاک پروژه تیپ ۲ (سفت) باشد اما شما به اشتباه یا از روی احتیاط، آن را تیپ ۳ (متوسط) فرض کنید، نیروی زلزله محاسباتی افزایش می‌یابد. نتیجه این اشتباه، بالا رفتن تناژ آهن مصرفی، ابعاد بزرگتر ستون‌ها و هدر رفتن بودجه کارفرماست.
- **طراحی ناامن (خطر جانی):** برعکس، اگر خاک تیپ ۳ باشد و تیپ ۲ فرض شود، سازه ضعیف‌تر از حد نیاز طراحی شده و در برابر زلزله آسیب‌پذیر خواهد بود.

عکس انواع خاک



سوالات متداول

### آیا تشخیص چشمی تیپ خاک برای طراحی سازه کافی است؟

به هیچ عنوان. تشخیص چشمی تنها برای تخمین اولیه و تصمیم‌گیری‌های کارگاهی (مثل انتخاب ماشین‌آلات خاکبرداری) مفید است. برای طراحی سازه و اخذ جواز، قانوناً و عقلاً باید آزمایش مکانیک خاک انجام شود تا پارامترهای دقیق مثل سرعت موج برشی مشخص شوند. استفاده از حدسیات می‌تواند منجر به نشست ساختمان یا هدر رفت سرمایه و طراحی بیش از حد سنگین شود.

### اگر آزمایش خاک انجام ندهیم، شهرداری کدام تیپ خاک را مبنا قرار می‌دهد؟

طبق ضوابط میحث ششم و استاندارد ۲۸۰۰، اگر آزمایش خاک انجام نشود، مهندس محاسب موظف است بدترین حالت ممکن (معمولاً تیپ ۳ یا در برخی مناطق تیپ ۴) را در نظر بگیرد تا جانب اطمینان رعایت شود. این کار باعث می‌شود هزینه اسکلت ساختمان بسیار بیشتر از هزینه انجام آزمایش خاک شود؛ بنابراین انجام آزمایش خاک همیشه اقتصادی‌تر است.

### تفاوت هزینه اسکلت ساختمان در خاک تیپ ۲ و تیپ ۳ چقدر است؟

تفاوت قابل توجه است. طبق استاندارد ۲۸۰۰، ضریب بازتاب برای خاک تیپ ۳ بیشتر از تیپ ۲ است. این یعنی نیروی زلزله محاسباتی در خاک تیپ ۳ بیشتر شده و مهندس محاسب مجبور است ستون‌ها و تیرها را قوی‌تر طراحی کند. به طور تقریبی، وزن آهن‌آلات مصرفی در خاک تیپ ۳ می‌تواند بین ۵ تا ۱۵ درصد بیشتر از همان ساختمان در خاک تیپ ۲ باشد.