اصول و روش های ساخت ساختمان

(جلد یک)

مولف:

مهندس محمد طیبی

www.Mohammadtayyebi.com

سرشناسه	:	طیبی، محمد، ۱۳۶۲ -
عنوان و نام پدیدآور	:	اصول و روش های ساخت ساختمان/ مولف محمد طیبی؛ ویراستار و صفحه‌آرا فرانک حاجی‌عبدالله.
مشخصات نشر	:	تهران: نشرزرین اندیشمند ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری	:	۵ج: مصور(بخش رنگی)، جدول، نمودار
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۱۶۱-۳
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	ساختمان سازی-- ایران
موضوع	:	Building--Iran
موضوع	:	ساختمان سازی—ایران—صنعت و تجارت
موضوع	:	Construction industry--Iran
رده بندی کنگره	:	TH145
رده بندی دیویی	:	۶۹۰/۰۲۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۷۶۰۱۶۱۵

دفتر مرکزی: خیابان انقلاب، مابین خیابان دانشگاه و ابوریحان،
پلاک ۱۱۸۲، ساختمان فروردین، طبقه ۵، واحد ۱۹
شماره تماس: ۰۹۹۰۵۴۴۵۰۰۶ - ۶۶۱۷۶۰۸۷
وب سایت: Andishmandpub.com
پست الکترونیکی: Andishmand.pub@gmail.com

نشر زرین اندیشمند

اصول و روشهای ساخت ساختمان(جلد اول)

مولف: محمد طیبی
ویراستار و صفحه آرا: فرانک حاجی عبدالله
نوبت چاپ: اول ۱۴۰۰
طراح جلد: ریحانه عامری پویا
قیمت: ۶۰۰۰۰۰ ریال
ناشر: نشر زرین اندیشمند
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۱۶۱-۳
شمارگان: ۵۰۰

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

تقدیم به پدرم

کوهی استوار و حامی من در طول تمام زندگی

تقدیم به مادرم

سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

تقدیم به برادرانم

همسفران مهربان زندگیم.

مقدمه

دیربازیست که سرپناه نقش حیاتی و تعیین کننده ای در زندگی و محل اسکان بشر داشته است که با توجه به پیشرفت فوق العاده انسان در همه علوم، صنعت ساختمان نیز از این قاعده مستثنی نبوده و برای داشتن سازه های مقاوم و ایمن به جهت محافظت از جان ومال ساکنین باید با علم روز همراه بود تا از بروز حادثه در ساختمان ها جلوگیری شود که توجه ویژه به اصول و روش های ساخت ساختمان ها از تخریب تا نازک کاری از موارد اساسی و بسیار مهم در صنعت ساخت و ساز می باشند که در این کتاب(جلد اول) تلاش نموده ام که تا حد امکان به ذکر آنها بپردازم که عبارتند از: ژئوتکنیک و روش های آزمایش خاک و بهسازی آن، تخریب ساختمان ها و انواع روش های آن، گودبرداری، روش های پایدارسازی گود، شمع کوبی و انواع شمع، بستر سازی، کرسی چینی، فونداسیون و انواع آن. امید است با نگارش این کتاب گامی بس کوچک در اعتلای صنعت ساختمان برداشته باشم.

با احترام

محمد طیبی

فهرست مطالب

فصل ۱ ..... ۷

آزمایش خاک،تخریب، گودبرداری، سازه نگهبان و پایدار سازی گود ۷

طبقه بندی انواع خاک ۸

انواع سیستم طبقه بندی خاک ۱۰

رفتار انواع خاک در هنگام گودبرداری ۱۹

آزمایش خاک چیست و چگونه انجام می شود ۲۴

مراحل انجام آزمایش خاک ۲۷

بهسازی خاک به روش تزریق و انواع روش های تزریق در خاک ۳۱

تخریب ساختمان ۳۵

انواع روش های تخریب ساختمان ۳۸

دستورالعملهای ایمنی تخریب ساختمان ۶۱

گودبرداری ۶۷

سازه های نگهبان ۷۰

انواع روش های پایدار سازی گود ۷۲

فصل ۲ ..... ۱۳۵

شمع کوبی،بستر سازی، پیاده کردن نقشه، پی سازی ۱۳۵

شمع کوبی در ساختمان ۱۳۶

انواع شمع‌ها ۱۳۷

مراحل اجرای شمع ۱۴۹

قلوه چینی یا بلوکاژ..... ۱۵۳
پیاده کردن نقشه و کنترل طرح..... ۱۵۶
اصول کلی پیاده کردن پلان های ساختمانی..... ۱۵۸
کرسی چینی..... ۱۶۷
آشنایی با انواع فونداسیون و نحوه اجرای آنها..... ۱۷۰

فصل ۱

آزمایش خاک،تخریب، گودبرداری، سازه نگهبان و پایدار سازی گود

طبقه بندی انواع خاک

در ساختمان سازی و یا ساخت هر سازه ای در مهندسی عمران، یکی از تعیین کننده ترین عوامل موثر بر طراحی، هزینه، اجرا و ... جنس خاک می باشد. طبقه بندی خاک به مهندسین عمران و ژئوتکنیک در تشخیص نوع خاک و نحوه برخورد با آن کمک می کند. خاک ها بر طبق نحوه عملکردشان برای مجموعه ای از شرایط فیزیکی دسته بندی می شوند که لزوما عملکرد مشابهی در سایر شرایط فیزیکی ندارند. یکی از مهم ترین ویژگی های خاک ها بازه اندازه دانه های آن است. اندازه دانه های خاک می تواند از قطر ۲۰ سانتی متر در تخته سنگ ها تا کمتر از ۰,۱ میکرومتر در دانه های رسی تغییر کند.

در بحث طبقه بندی انواع خاک ، آنچه که بر روی خواص خاک تاثیر گذار است، درصد خاک رس می باشد که رفتار خاک را به طورکلی متفاوت و غیر قابل پیش بینی می کند.

(انواع خاک بر حسب اندازه)

انواع تیپ بندی خاک

اهمیت تیپ بندی خاک در ساختمان سازی به این علت است که وزن ساختمان و اثر نیروهای طبیعی نظیر زلزله بر سازه به خاکی که ساختمان بر روی آن قرار دارد، منتقل شده و مقاومت خاک بستر در میزان تحمل این نیروها بسیار حائز اهمیت است. از طرفی شناخت درست از مقاومت خاک بستر بر روی هزینه های ساخت سازه نیز اثر گذار است.

براساس آئین نامه های طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (آئین نامه ۲۸۰۰)، تیپ خاک بر مبنای میانگین سرعت امواج زلزله (برشی) به چهار تیپ زیر تقسیم بندی می گردد:

- خاک تیپ ۱
- خاک تیپ ۲
- خاک تیپ ۳
- خاک تیپ ۴

خاک تیپ ۱

سنگ و شبه سنگ، شامل سنگ های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک های سیمانته بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف تر تا سطح زمین جزو خاک تیپ ۱ می باشند. سرعت موج برشی عبوری در خاک تیپ ۱ بیشتر از ۷۵۰ متر بر ثانیه است.

خاک تیپ ۲

خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد، جزو خاک تیپ ۲ می باشد. سرعت موج برشی در خاک تیپ ۲ بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه است.

خاک تیپ ۳

خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر جز خاک تیپ ۳ می باشند. سرعت موج برشی در خاک تیپ ۳ بین ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه است.

خاک تیپ ۴

خاک متوسط تا نرم، لایه های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم و لایه های خاک کاملا چسبنده نرم تا محکم جز خاک تیپ ۴ می باشند. سرعت موج برشی در خاک تیپ ۴ کمتر از ۱۷۵ متر بر ثانیه است.

انواع سیستم طبقه بندی خاک

سیستم های طبقه بندی انواع خاک، یک زبان مشترک برای بیان مشخصات خاک به طور خلاصه به وجود می آورند. اغلب سیستم های طبقه بندی خاک که برای مقاصد مهندسی تدوین یافته اند، بر پایه خواص ساده ای از خاک نظیر دانه بندی و خواص خمیری قرار دارند. انواع طبقه بندی رایج بر حسب اندازه دانه های خاک، در ادامه بیان می گردد.

- سیستم طبقه بندی خاک به روش آشتو
- سیستم طبقه بندی خاک به روش متحد (USGS)
- سیستم طبقه بندی BS
- طبقه بندی خاک به روش سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)

سیستم طبقه بندی خاک به روش آشتو

سیستم طبقه بندی AASHTO یا آشتو تحت عنوان سیستم طبقه بندی PRA نیز شناخته می شود. این روش در ابتدا و اولین بار در سال ۱۹۲۰ توسط اداره راه های عمومی ایالات متحده جهت طبقه بندی خاک برای استفاده در بسترسازی بزرگراه ها توسعه داده شد.

خاک‌ها در هر سیستمی به دو دسته‌ی عمده‌ی درشت دانه و ریزدانه تقسیم بندی می‌شوند که اندازه‌ی الک ۲۰۰ تعیین کننده‌ی نوع درشت دانه و ریزدانه بودن آن است.

نامگذاری در این روش را می‌توان بر اساس نمودار انجام داد و همانطور که در شکل زیر آمده است از دانه‌های بزرگ به کوچک دسته‌بندی می‌شود. برای نامگذاری به دو پارامتر مهم LL و PI یا همان حد روانی و نشانه‌ی خمیری خاک نیازمند هستیم که از آزمایش به دست می‌آیند.

طبق این سیستم، خاک به گروه های اصلی A -1 تا A -7 تقسیم می شود. خاک های گروه A-1، A-2 و A-3 مصالح دانه ای هستند که درصد عبوری آن ها از الک، نمره ۲۰۰ کمتر از ۳۵ درصد است. خاک هایی که درصد عبوریشان از الک نمره ۲۰۰ بیشتر از ۳۵ درصد است در گروه های A-6، A-5، A4-A7 قرار می

گیرند. این گروه ها اغلب مصالح لای و رس می باشند. سیستم طبقه بندی بر مبنای معیارهای زیر قرار دارد.

طبقه بندی عمومی	مصالح دانه ای (درصد عبوری از الک ۲۰۰ مساوی ۳۵ درصد و یا کمتر)						
طبقه بندی گروهی	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری)							
No.10 (الک نمره ۱۰)	50 max						
No.40 (الک نمره ۴۰)	30 max	50 max	51 min				
No.200 (الک نمره ۲۰۰)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
مشخصات قسمت عبوری از الک ۴۰							
حد مایع				40 max	41 min	40 max	41 min
نشانه خمیری	6 max		NP	40 max	40 max	11 min	11 min
نوع مصالح تشکیل دهنده	ماسه و شن با قلوه سنگ		ماسهٔ ریز	ماسه و شن رس دار و یا لای دار			
مناسب بودن به عنوان مصالح بستر	عالی تا خوب						

طبقه بندی عمومی	مصالح دانه ای (درصد عبوری از الک ۲۰۰ مساوی ۳۵ درصد و یا کمتر)			
طبقه بندی گروهی	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری)				
No.10 (الک نمره ۱۰)				
No.40 (الک نمره ۴۰)				
No.200 (الک نمره ۲۰۰)	36 min	36 min	36 min	36 min
مشخصات قسمت عبوری از الک ۴۰				
حد مایع	40 max	42 min	40 max	41 min
نشانه خمیری	10 max	10 max	11 min	11 min
نوع مصالح تشکیل دهنده	خاک های لای دار		خاک های رس دار	
مناسب بودن به عنوان مصالح بستر	متوسط تا بد			

* For A-7-5, $PI \le LL - 30$, * For A-7-6, $PI > LL - 30$

سیستم طبقه بندی خاک به روش متحد (USGS)

طبقه بندی خاک (روش متحد) در ابتدا توسط کاسگرند (۱۹۴۸) توسعه داده شد و به عنوان سیستم طبقه بندی فرودگاه ها شناخته شد. سرانجام طبقه بندی USGS با چند اصلاحیه از سوی اداره احیای اراضی ایالات متحده و گروه مهندسین ایالات متحده به تصویب رسید. طبقه بندی یونیفاید بر اساس اندازه ذرات خاک و خصوصیات پلاستیکی خاک تعریف شده است.

در طبقه بندی خاک (روش متحد) که اغلب توسط مهندسان ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می گیرد، مبنای جدایی ریزدانه و درشت دانه ها درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ است، بدین صورت که اگر کمتر از ۵۰ درصد دانه ها از الک نمره ۲۰۰ عبور کنند، آنگاه خاک ریزدانه بوده و در غیر این صورت درشت دانه است.

خاک های درشت دانه در طبقه بندی خاک (روش متحد)، خاک هایی هستند که بیش از ۵۰ درصد مواد تشکیل دهنده آن ها درشت تر از ۰،۰۷۵ میلی متر است. خاک های درشت دانه به دسته های جزیی تری، نظیر شن (G) و ماسه (S) طبقه بندی می شوند. شن ها و ماسه ها نیز به چهار گروه دیگر به ترتیب برحسب محتوی سیلت و رس آن ها، تقسیم می شوند.

همچنین خاک های ریزدانه به خاک هایی اطلاق می شود که بیش از ۵۰ درصد آن کوچک تر از ۰،۰۷۵ میلی متر است. خاک های ریزدانه به سه زیرگروه تقسیم می شوند که عبارت اند از:

- سیلت (M)
- رس (C)

- نمک های آلی و رس (O)

علاوه بر این خاک های ریزدانه بر اساس طبیعت پلاستیکی که دارند، با نمادهای L , M و H برای نشان دادن پلاستیسیته پایین، پلاستیسیته متوسط و پلاستیسیته بالا مشخص می گردند.

وجه اشتراک سیستم طبقه بندی USGS و آشتو در این است که هر دو با الک شماره ۲۰۰ خاک ریزدانه و درشت دانه را از هم متمایز می نمایند اما مقدار عبوری از الک ها در هر روش متفاوت بوده و این عدد در روش USGS، ۵۰ درصد و در روش آشتو ۳۵ درصد است.

(انواع نمونه خاک)

(انواع نمونه خاک)

سیستم طبقه بندی BS

سیستم طبقه بندی BS که بر اساس آیین نامه انگلستان تنظیم شده است، شباهت های زیادی به روش طبقه بندی USGS دارد و تفاوت اصلی آن ها در این است که در سیستم طبقه بندی BS ممکن است از چند حرف فرعی برای تشریح خاک ها استفاده شود. از دیگر تفاوت ها این است که اگر خاک مقدار زیادی قلوه سنگ و تخته سنگ بزرگ داشته باشد، در ابتدا آن ها را جدا کرده و باقی مانده خاک دانه بندی می گردد. برای نامگذاری خاک ها در سیستم طبقه بندی BS لازم است دو حرف اصلی و فرعی را با توجه به خصوصیات خاک کنار هم قرار دهیم. جدول حروف اصلی به شرح زیر است:

حروف اصلی در روش طبقه بندی BS	
نماد	نام
G	شن
S	ماسه
F	ریزدانه
M	لای
C	رس
P	خاک نباتی

حروف فرعی که پس از حروف اصلی قرار می گیرند به شرح زیر است:

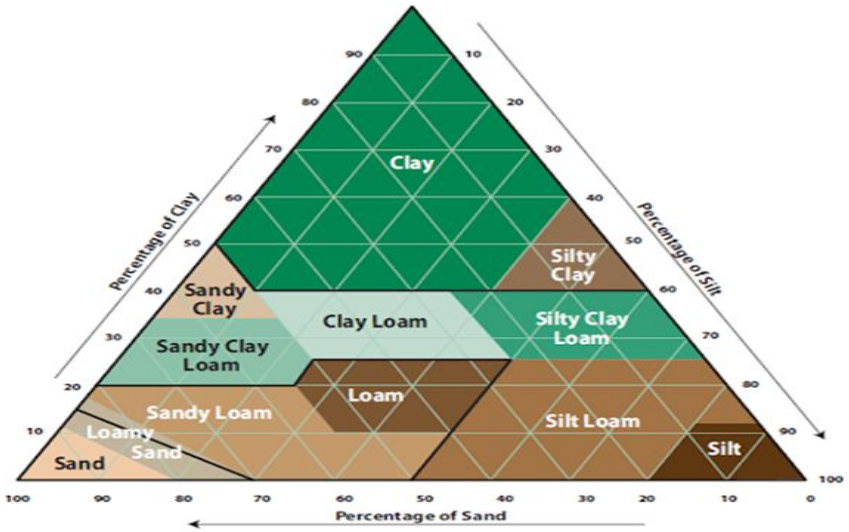
حروف فرعی در روش طبقه بندی BS	
W	خاک با دانه بندی خوب
P	خاک با دانه بندی بد
Pu	خاک با دانه بندی بد و یکنواخت
Pg	خاک با دانه بندی بد و گسسته
L	خاک با الاستیسیته کم
I	خاک با بلاستیسیته متوسط
H	خاک با پلاستیسیته زیاد
V	خاک با بلاستیسیته خیلی زیاد
E	خاک با پلاستیسیته شدیدا زیاد
U	خاک با پلاستیسیته بالا
O	خاک آلی

طبقه بندی خاک به روش سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)

از نقطه نظر عمومی، بافت خاک به ظاهر سطحی آن نسبت داده می شود. بافت خاک تحت تاثیر اندازه ذرات موجود موجود در آن قرار دارد. در اغلب حالات، خاک های طبیعی ترکیبی از گروه ها با اندازه های مختلف می باشند. در طبقه بندی های بافت خاک، ابتدا نام گروه اصلی و بعد نام گروه فرعی به صورت صفت ذکر می شود. مثل رس ماسه دار، رس لای دار و غیره.

در طبقه بندی خاک به روش مثلث بافت خاک اگر مقادیر سه گروه اصلی تشکیل دهنده خاک که شامل شن (درشت و ریز)، سیلت و رس است، با تجزیه مکانیکی اندازه گیری شود، در این صورت با روش قراردادی و پیشنهادی وزارت کشاورزی

آمریکا (USDA)، براساس مثلث بافت خاک که در نمودار زیر نشان داده شده است، بافت خاک طبقه بندی می گردد.



(طبقه بندی بافت خاک طبق طبقه بندی اداره کشاورزی ایالات متحده (USDA))

برای این کار ابتدا درصدهای رس، سیلت و شن خاک مشخص گردیده و نقاط مربوط به هر کدام از آن ها بر روی اضلاع مربوطه در مثلث بافت خاک تعیین می گردد. سپس از هر نقطه، خطی به موازات یکی از اضلاع مثلث به طرف داخل مثلث رسم می گردد. این کار باید به شکلی انجام گیرد که از نقطه مربوط به سیلت، این خط به موازات ضلع رس، در مورد رس به موازات ضلع شن و در مورد شن به موازات ضلع سیلت باشد. این خطوط یکدیگر را در محلی که در داخل یکی محدوده های بافتی خاک قرار دارد، قطع می کنند. بدین ترتیب نوع بافت خاک بر اساس اسم محدوده مورد نظر تعیین می گردد. در داخل مثلث بافت خاک ۱۲ منطقه مشخص

شده است و لذا در تقسیم بندی سازمان حفاظت خاک آمریکا عملا ۱۲ نوع بافت خاک وجود دارد.

توجه شود که در مثلث بافت خاک، لوم خاکی متشکل از ماسه، سیلت و رس به نسبت های تقریبا ۴۰ درصد ماسه، ۴۰ درصد سیلت و ۲۰ درصد رس است.

رفتار انواع خاک در هنگام گودبرداری

خاکهای نباتی

خاک های نباتی خاکهایی هستند که دارای مقاومت برشی پایین و تراکم پذیری بالایی می باشند (بدین معنا که این خاک با کوچکترین بارگذاری نشست خواهد نمود). تغییرات رطوبت بالایی نیز در این خاک وجود داشته و برای ساخت و ساز مناسب نمی باشند. یکی از مشخصه های ظاهری این خاک نیز وجود بقایای گیاهی در آن است. در صورت وجود این خاک در محل گودبرداری باید حداکثر تدابیر ایمنی را هنگام خاکبرداری و مقاوم سازی آن انجام داد.

خاکهای ریزدانه سخت تا مقاوم

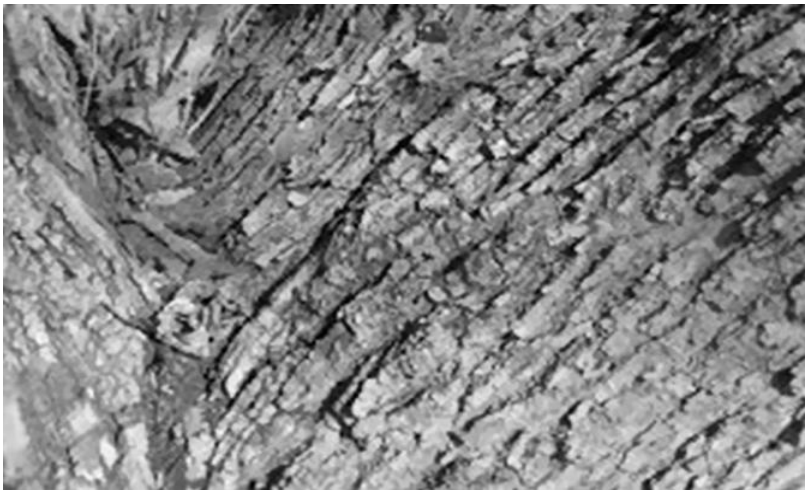
خاکهای ریزدانه یا چسبنده ممکن است شامل رسهای سخت تا مقاوم، سیلت های رسدار، رس های لای دار، رس های ماسه دار، لای های ماسه دار و ترکیبی از آنها باشد. این نوع خاک همانطور که از نام آن نیز مشخص است دارای بافتی ریز و مقاومت بالا و خاصیت خمیری نسبتاً کمی می باشد و جزء خاکهای سفت طبقه بندی می شوند و معمولاً روی این خاک هنگام گودبرداری جای ناخنک های بیل مکانیکی و یا لودر به وضوح دیده می شود و گودبرداری به سختی انجام می پذیرد.

خاکهای دانه ای متراکم تا خیلی متراکم با چسبندگی کم

این گونه خاکها شامل ماسه و شن و حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد ریزدانه هستند. نیروهای موئینگی در ماسه های ریز یک چسبندگی ظاهری در خاک ایجاد می نماید. درصورت قطع نیروهای موئینگی و در نتیجه کاهش چسبندگی ظاهری، جریان آب به سمت سطح گودبرداری باید به حداقل برسد که این عمل می تواند از طریق هدایت آبهای سطحی به خارج از سینه کار انجام شود. در صورت نفوذ آب به سطح این خاک هنگام گودبرداری احتمال ریزش های منطقه در آن وجود دارد.

رسوبات یخچالی (مورن)

مورن ها شامل مخلوط های ناهمگن، تحکیم نیافته تا نسبتا تحکیم یافته و گاهی بدون لایه بندی و در برخی مناطق دارای لایه بندی نسبی رس، سیلت، ماسه، شن، قلوه سنگ و تخته سنگ هستند. این گونه خاکها بدلیل آنکه معمولاً متراکم، خوب دانه بندی شده با مقدار محدودی ریزدانه همراه هستند، ظاهری مقاوم دارند ولی گاهی مواقع در لابلای این خاک لایه های بسیار سست و ضعیف نیز دیده می شود.



خاکهای خشک و بدون چسبندگی (خاکهای ریزشی)

این خاک بدلیل نداشتن ریزدانه و خاصیت موئینگی کاملا خشک بوده و هر لحظه احتمال ریزش آن وجود دارد. پایداری و مقاومت لغزشی آن بسیار پایین بوده و انجام عملیات گودبرداری در این گونه خاکها بسیار دشوار می باشد. یکی از مشخصات ظاهری این خاک پر شدن محل خاک برداشته شده توسط ماشین آلات بوسیله خاکهای اطراف آن می باشد. پیشنهاد میگردد قبل از برداشت این خاک اقدامات لازم جهت پایدارسازی گود و ساختمان های مجاور صورت پذیرد.

خاکهای رسی و بسیار ریزدانه

بطور کلی خاکهای رسی هنگامی که خشک هستند مقاومت قابل قبولی را از خود نشان میدهند اما هنگامی که آب پشت دیواره های این نوع خاک نفوذ کند، در اثر کاهش مقاومت برشی از هم فرو پاشیده و مقاومت آن از بین میرود. بنابراین احتمال فروپاشی در شرایط مرطوب این گونه خاکها هنگام گودبرداری باید مدنظر قرار گیرد و اقدامات پیشگیرانه مناسبی صورت گیرد تا از فروپاشی گل و لای خشک شده جلوگیری شود. ناگفته نماند خاکهای بسیار ریزدانه نیز بدلیل خاصیت موئینگی بالا در صورت نفوذ رطوبت رفتار ناپایداری از خود نشان داده و دچار از هم گسیختگی می شوند. خاکبرداری این نوع خاک در حالت خشک چندان کار دشواری نخواهد بود ولی باید جوانب احتیاط را رعایت نمود.

آزمایش خاک چیست و چگونه انجام می شود

خاک بیشتر خشکی زمین را می‌پوشاند و ترکیبی از مواد معدنی مانند سنگ، شن، ماسه و لجن به همراه هوا، آب و مواد آلی است. در ابتدا بر اثر فرسایش سنگ به ذرات ریز در می‌آید و به خاک تبدیل می‌شود. در مناطق مختلف با توجه به شرایط اقلیمی آنجا نوع و ترکیبش متفاوت است. انواع مختلفی از آن وجود دارد که هر یک از آن ها کاربرد و مشخصه خاص خودشان را دارند.

آزمایش خاک و اهمیت آن

آزمایش خاک به گام هایی گفته می شود که برای بررسی مقاومت و رفتار آن انجام می‌شود. از نظر مهندسی بررسی می‌شود تا مطمئن شوند که مقاومت لازم برای نگه داری سازه را دارد یا خیر.

در نهایت هر ساختمانی وزنش را به خاک منتقل می‌کند از این رو این آزمایش برای مهندسین و کارفرمایان اهمیت زیادی دارد. زلزله های اخیر و نیز افزایش جمعیت باعث شده است که مهندسین بیش از گذشته به آزمایش خاک توجه کنند. به کمک آزمایش خاک اطلاعاتی از جمله توان و سختی خاک زیر ساختمان، اندرکنش خاک، پروفیل زمین، شناخت ناپایداری ها و عواقب ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله به دست می‌آید.

کاربرد آزمایش خاک

- تعیین میزان رطوبت
- تست تراکم استاندارد
- حد روانی
- حد خمیری
- تشخیص منحنی دانه بندی
- مشخص کردن چگالی
- آزمایش تحکیم
- آزمایش مقاومت و نشست
- تعیین نسبت باربری

هر یک از این خصیصه ها رفتار خاک را در صورت وارد شدن نیروی وزن بر روی آن تشریح می‌کند.

برای چه ساختمان‌هایی آزمایش خاک لازم است؟

در سال های اخیر آزمایش خاک برای ساختمان ها ضروری و اجباری شده است. نشت یا ترک ساختمان جزو عواملی است که در صورت انجام ندادن آزمایش خاک با آن مواجه می شویم. توجه داشته باشید که با صرف هزینه کمی می‌توانید در هزینه های کلی ساختمانتان صرفه جویی کنید. برای مثال اگر خاک شما تیپ ۲ باشد نیازی نیست که اسکلت ساختمان را سنگین در نظر بگیرید و با سازه‌ی فلزی یا بتنی سبک می‌توانید هزینه ساخت را کاهش دهید و از استحکام آن به خوبی استفاده کنید. در مواردی که ساختمان بیش از ۶ طبقه باشد یا اینکه زیربنای ۲۰۰۰ متر مربعی داشته باشد آزمایش مکانیک خاک الزامی است.

هزینه های آزمایش خاک

هزینه های آزمایش خاک به محل حفاری، حفاری دستی، حفاری ماشینی و نوع آزمایشات آزمایشگاهی، نوع و تعداد آزمایشات صحرایی بستگی دارد. حفاری دستی به زمان بیشتری نیاز دارد هرچند امروزه تنها پروژه هایی می‌توانند از حفاری دستی استفاده کنند که امکان استقرار ماشین حفاری را نداشته باشند. در صورتی که امکان استقرار ماشین وجود داشته باشد اما حفاری به صورت دستی انجام شده باشد شرکت مشمول جریمه و گزارش حفاری نیز باطل می‌شود. از این رو بهتر است حتما از ماشین حفاری برای آزمایش خاک استفاده شود. در کل می‌توان به صورت تقریبی گفت که اجرای حفاری و دریافت نتیجه تقریبا ۱ تا ۲ ماه زمان نیاز دارد و بعد از دریافت نتیجه می توان ساخت سازه را شروع کرد.

امروزه برخی از آزمایشگاهها در قبال هزینه کمتر اقدام به ارائه گزارشات و آزمایشات نامعتبر کرده‌اند، این آزمایشات منجر به مشکلاتی برای پروژه خواهد شد چون تیپ به درستی مشخص نمی شود. در صورتی که اسکلت ساختمان قوی تر از حد مورد نیاز طراحی شود باعث هزینه اضافی می‌شود و مقرون به صرفه نیست و در حالتی که اسکلت کار ضعیف تر از حد مورد نیاز کار شود باعث نتایج فاجعه باری می‌شود و امکان نشت، ترک و تخریب ساختمان وجود دارد. از این رو صرف اندکی هزینه در ابتدای کار منجر به صرفه جویی در هزینه نهایی کار می‌شود. حتما باید فرد متخصصی از شرکت هنگام حفاری و انجام آزمایش های محلی حاضر باشد تا فرآیند انجام کار را مدیریت و کنترل کند.

مراحل انجام آزمایش خاک

در مرحله اول باید شروع حفاری را به سازمان نظام مهندسی اعلام کرد که این کار را شرکت آزمایشگاهی انجام می‌دهد. شرکت آزمایشگاهی بعد از مشاهده نقشه و مشخصات محل، قیمت را مشخص می‌کند. سپس باید حفاری های لازم انجام شود، حفاری می‌تواند دستی یا ماشینی باشد. دستگاه های حفاری، حفاری های لازم را انجام می‌دهند، سپس آزمایشات اس تی پی و نمونه گیری انجام می‌شود و برای هر یک از نمونه ها یک کد در نظر گرفته می‌شود. در گام بعدی باید برگ سبز آزمایش خاک را استعلام کرد. گزارشات تهیه شده توسط آزمایشگاه به نظام مهندسی ارسال می‌شود. سازمان مهندسی آزمایشات را بررسی می‌کند که این پروسه تقریبا ۱۰ روز زمان بر است بعد از ۱۰ روز گزارش تایید به شهرداری ارسال می‌شود. بعد از اینکه گزارش در سامانه شهرداری قرار گرفت ساخت اسکلت ساختمان شروع می‌شود.

آزمایش خاک چه اهمیتی برای ساخت و ساز ساختمان‌ها دارد؟

آزمایش خاک از مراحل الزامی برای ساخت و ساز انواع ساختمان است. دلیل این الزام شناسایی تیپ خاک است. در پی تعیین تیپ خاک، اقدامات لازم برای مقاوم سازی ساختمان، معلوم می‌شود. وزن ساختمان و تاثیر نیروهای طبیعی مثل باد بر سازه مورد نظر و انتقال مجموع این نیروها بر بافت خاکی که ساختمان روی آن قرار دارد، ضرورتی اجتناب ناپذیر است. آزمایش خاک به بررسی ساختار مکانیکی و لایه‌های ژئوتکنیکی خاک می‌پردازد. نمونه برداری به دو روش دستی و ماشینی انجام می‌شود. قبلا نمونه برداری به صورت دستی انجام می‌شد که امروزه غیر قابل قبول است و تنها از روش ماشینی برای این کار استفاده می‌شود. آزمایش‌های مربوط به خاک ساختمان، آن را از نظر مقاومت برشی، میزان تحمل بار، اسیدیته، میزان نفوذ، دانه‌بندی خاک، حدودی خمیری، گرانروی ویژه و دانسیته خاک مورد بررسی قرار می‌دهند.

آزمایش خاک انجام شده توسط آزمایشگاه، شامل آزمایش‌های اس پی یا آزمایش نفوذ استاندارد، هم ارز (معادل) ماسه، هیدرومتری، حد روانی، دانه‌بندی به روش سرند کردن، برش مستقیم، سه محوری، ضریب نفوذپذیری از طریق آزمایش بار آبی افتان، ضریب نفوذپذیری از طریق آزمایش بار آبی ثابت، تک محوری خاک چسبنده، تحکیم و تراکم هستند که در ذیل به توضیح هر یک می پردازیم.

آزمایش اس پی یا آزمایش نفوذ استاندارد: در این تست پارامترهای مقاومتی خاک از طریق بررسی میزان تراکم لایه‌ها و بررسی احتمال تغییر پذیری در بافت آن‌ها ارزیابی می‌شوند.

آزمایش اس ای هم ارز (معادل) ماسه: که هدف آن تعیین مقادیر ذرات ریز یا موادی شامل رس یا مواد مشابه آن در خاک و مصالح دانه بندی می‌باشد.

آزمایش هیدرومتری: با هدف تعیین قطر ذرات تشکیل دهنده خاک از روش معلق کردن این ذرات در آب با محاسبات ویژه، انجام می‌شود.

آزمایش حد روانی: هدف از این تست محاسبه مقادیری از آب است که سبب می‌شود خاک از حالت خمیری به حالت روان و سیال تبدیل شود. تعیین این مرز در محاسبات ساخت و ساز که استحکام بنا در آن هدف اصلی است، ضروری و حیاتی است.

آزمایش دانه‌بندی به روش سرند کردن: به منظور تعیین توزیع اندازه دانه‌های تشکیل دهنده خاک انجام می‌شود. استفاده از سرند مکانیکی در این روش با بکارگیری الک جایگزین شده است.

آزمایش برش مستقیم: تعیین کننده مقدار مقاومت بافت خاک در برابر انواع تنش‌های وارد شده بر این بافت است.

آزمایش سه محوری: در این بخش از آزمایش خاک نمونه بین دو صفحه فلزی قرار داده می‌شود و از طریق یک پیستون در جهت عمودی به آن فشار وارد می‌شود. علاوه بر این فشار عمودی از طریق یک ماده سیال که عمدتا آب است از طرفین تحت فشار قرار گرفته و همه این نیروهای وارده اندازه گیری می‌شود.

آزمایش ضریب نفوذپذیری از طریق آزمایش بار آبی ثابت: برای برآورد نفوذپذیری ذرات درشت در بافت خاک مورد نظر آزمایش خاک بار آبی ثابت انجام می‌شود.

آزمایش ضریب نفوذپذیری از طریق آزمایش بار آبی افتان: اگر هدف از شناخت بافت خاک محاسبه نفوذپذیری برای ذرات با اندازه‌های متفاوت ریز و درشت باشد، از

آزمایش خاک بار آبی غلتان استفاده می‌شود که بر خلاف آزمایش بار ثابت از نظر اندازه ذرات محدودیت ندارد.

آزمایش تک محوری خاک چسبنده: اگر بخواهیم میزان مقاومت تنشی را در خاکی که بافت چسبنده دارد، اندازه گیری کنیم از این روش کمک گرفته می‌شود.

آزمایش تحکیم: برای برآورد مقدار نشست خاک‌های رسی، آزمایش خاک تحکیم انجام می‌شود.

آزمایش تراکم: برای بافت خاک وقتی انجام می‌شود که پروژه اجرایی به زیرساخت متراکمی نیاز داشته باشد. این آزمایش خاک از طریق حذف گازهای هوای موجود در بافت خاک از طریق ضربه، اندازه‌گیری چگالی خاک و رسم نمودار مربوطه اندازه گیری می‌شود.

علاوه بر این آزمایش‌ها در آزمایش خاک ساختمان، مقادیر PH نیز در مواردی محاسبه می‌شود و با محاسبه این شاخص مقدار اسیدیته خاک تعیین می‌گردد.

همان طور که در بالا بیان کردیم انواع تیپ خاک که حاصل نتیجه آزمایش خاک از سایت مورد نظر است شامل انواع تیپ ۱ تا ۴ است. مرغوب ترین نوع خاک، تیپ ۱ است و نامرغوبترین آن‌ها نیز تیپ ۴ می‌باشد. کیفیت تیپ‌های مختلف خاک در این آزمایش بر حسب میزان مقاومت برشی یا سرعت عبور امواج زلزله در خاک تا عمق ۳۰ متری آن تعیین می‌شود. خاک تیپ ۱ حداکثر مقاومت برشی را داراست و تیپ ۴ خاک در برابر مقاومت برشی حداقل مقاومت را دارد.

بهسازی خاک به روش تزریق و انواع روش های تزریق در خاک

بهسازی خاک به روش تزریق، برای نخستین بار توسط شخصی به نام برینی در سال ۱۸۰۲ میلادی انجام شد، ولی در ایران از سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۳ روش تزریق در خاک به صورت مستقل اجرا شد؛ در سال ۱۸۰۲ میلادی در فرانسه تزریق برای بهبود ظرفیت باربری مصالح تشکیل دهنده موجود در زیر یک سازه آبگیر، به کار برده شد. گسترش تزریق سیمان از سال ۱۸۰۰ میلادی در فرانسه و انگلستان ادامه یافت. کاربردهای این روش، بیشتر در مورد سازه های عمرانی نظیر کانال ها، لنگر گاه ها و پل ها بوده است.

اولین استفاده از تزریق سیمان در ساخت فضاهای زیر زمینی به سال ۱۸۶۴ مربوط می شود. در آن سال، پتر بارلو با استفاده از یک پوشش آهنی قالب ریزی شده، سپر یک تکه استوانه ای شکل تونل را (که از داخل ساخته می شد) به وجود آورد. در این حالت، فضای خالی کروی شکل قسمت انتهایی سپر با استفاده از ملات تزریق، پر گردید (یترولو ۱۹۹۴). در سال ۱۹۳۸، نیز اولین عملیات منظم تزریق توده های سنگی در ایالات متحده آمریکا، در سد نیو کراتون انجام پذیرفت (ویور ۱۹۹۱). گفته می شود که اجرای تزریق در سد هوور، بین سال های ۱۹۳۲ و ۱۹۳۵، نقطه شروع طراحی سیستماتیک برنامه های تزریق در ایالات متحده آمریکا بوده است.

هدف و کاربرد بهسازی خاک به روش تزریق

اگر چه تزریق در خاک، سنگ و سازه ممکن است اهداف گوناگونی داشته باشد ولی شاید بتوان گفت در یک دید کلی انواع روش های بهسازی خاک از طریق تزریق به خاطر افزایش پایداری، افزایش مقاومت، کاهش نفوذ پذیری و یا اتصال بین سازه و

ساختگاه صورت میگیرد. عملیات تزریق کاربرد گسترده ای در مهندسی عمران جدید دارد. این کاربرد ها عبارتند از:

الف) کاهش نفوذ پذیری تشکیلات واقع در زیر پی سازه های آبی جهت کنترل تراوش و کاهش آب مخزنی

ب) کنترل نیروی بلندشدگی (آپلیفت: uplift) سازه یا جلوگیری از خطر فرسایش خاک شالوده

پ) افزایش مقاومت مصالح زیر پی سازه های سنگین و یا کاهش تغییر شکل پذیری مصالح شالوده که گاهی به آن تزریق تحکیمی گفته می شود.

ت) ارتباط عناصر ساختمانی مجزا در یک سازه همگن به کمک تزریق نظیر سدهای بتنی وزنی و یا در سدهای قوسی

ث) کار گذاشتن یا نصب کابل های تقویتی در سازه های بتنی پیش فشرده یا پیش ساخته

ج) نصب میل مهارهای پیش فشرده

چ) بالا آوردن و قائم نمودن ساختمان ها و سازه های مایل

ح) پر نمودن حفره بین سنگ ها و پوشش تونل که به آن تزریق تماسی گویند

خ) نوسازی و تقویت ساختمان های تاریخی آسیب دیده

د) ساخت بتن در زیر آب با تزریق در شن هایی که قبلا جایگزین شده و به روش پیرپاکت معروف است.

روش بهسازی خاک به روش تزریق

تزریق با فشار، یکی از روش های بهسازی خاک می باشد که در آن دوغاب، با فشار بالا و سرعت زیاد از طریق نازل‌هایی به درون خاک تزریق شده و باعث تخریب ساختار خاک موجود می‌شود. طی این فرآیند، بخشی از ذرات خاک و دوغاب از درون گمانه حفاری بیرون آمده و بخش دیگر به صورت درجا با دوغاب مخلوط می‌شود. در نتیجه این فرآیند، توده‌ای از خاک اصلاح شده به وجود می‌آید که به آن، اصطلاحاً توده خاک سیمان اطلاق می‌شود.

ستون خاک سیمان ایجاد شده از طریق روش تزریق با فشار در داخل خاک، دارای مقاومت بالا، تغییر شکل پذیری اندک و نفوذپذیری بسیار پایین است و باعث تقویت خصوصیات خاک محل می‌شود. به عبارت دیگر عملیات تزریق با فشار موجب تقویت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک ساختگاه از جمله مقاومت فشاری، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی تا چندین برابر می باشد.

مزایای بهسازی خاک به روش تزریق

- افزایش ظرفیت باربری و توان خاک در حالت اشباع
- نفوذناپذیر نمودن ساختگاه ترک ها در برابر نفوذ آب و جلوگیری از وقوع پدیده آب شستگی
- تثبیت و تراکم لایه سست موجود در عمق ساختگاه مورد مطالعه
- ترمیم و پر نمودن تمامی خلل و فرج موجود در درون ساختگاه

انواع تزریق در خاک

- تزریق نفوذی (اسلاری) (Permeation Grouting)
- تزریق تحکیمی (جابجایی) (Consolidation Grouting)
- تزریق تراکمی (جایگزینی) (Compaction Grouting)
- تزریق شکست هیدرولیکی (Hydrofracture Grouting)
- تزریق تماسی یا تعادلی (Contact Grouting)
- تزریق جت در خاک (jet Grouting)
- میکروپایل (micropile)

تزریق تحکیمی در خاک

روش تزریق تحکیمی، یکی از انواع روش های بهسازی خاک است که در آن تزریق دوغاب باعث تحکیم یک لایه از بستر خاک می شود که منجر به بالا بردن کیفیت تراکم خاک می شود. این روش هم چنین برای پرکردن ناپیوستگی ها و خلاهای مابین توده های سنگ ها میباشد. هدف از این کارها یکپارچه سازی؛ پرکردن شکستگی ها و ناپیوستگی های توده های سنگی با دوغاب سیمان است.

ناپیوستگی موجود در سنگ ها بر روی خواص سنگها مانند نفوذ پذیری و مقاومت تاثیر گذار است. فرآیند اصلی تزریق برای پرکردن حفره هایی است که در صورت نفوذ هوا و مایعات در این حفره ها امکان از بین رفتن سنگها می باشد که هدف تزریق کاهش شیب هیدرولیکی است که مانع انتقال مایعات و گازها میشود. عملیات تزریق باعث بهبود بخشیدن خصوصیات پایه ای سنگها می شود.

موارد استفاده:

- احداث سد و مقاوم سازی سدها
- حفاری و تونل زنی سطح تثبیت کننده زمین
- کنترل نشست آب

تزریق تراکمی در خاک

یکی دیگر از انواع روش های تزریق در خاک تزریق تراکمی می باشد که در این روش، با تزریق دوغاب با ویسکوزیته (لزجت) بالا و فشار بیشتر و در مراحل متعدد، حباب‌هایی از دوغاب ایجاد می گردد که باعث جابه جایی خاک و در نتیجه متراکم شدن آن می‌شود. این روش برای محیط های کارستی (Karst پدیده‌ای در پوسته زمین است که آثار آن به صورت اشکال مختلف از قبیل حفره‌ها و غارها، در سطح و در زیر سطح وجود دارد)، خاک‌های بسیار سست و فروریزشی ماسه‌ای و ریزدانه کاربرد بسیاری دارد. این روش به ندرت باعث بروز تغییرمکان های جزئی در سطح زمین شده و در صورت وجود سازه حساس در این محل، این روش تزریقی خاک باید محتاطانه به کار گرفته شود. در ادامه به برخی از نکات این روش اشاره می کنیم:

- طرح اختلاط مخلوط دوغاب می بایست با دقت انتخاب گردد تا به حفرات موجود در خاک نفوذ نکند و یا با خاک مخلوط نگردد، در عوض، در خاکی که تزریق می‌شود، جایگزین شود.
- حجم فضاهای خالی کاهش و محیط متراکم می شود.

- ملات خیلی سخت به خاک های سست تزریق شده و حبابی از ملات تزریقی تشکیل می گردد و در خاک جایگزین گردیده و زمین اطراف را بدون نفوذ در حفرات خاک، متراکم می‌سازد.
- در محیط های شنی تراکم حداکثر ندارد، اما در محیط‌های ریزدانه سست از کارایی بهتری برخوردار است.
- اغلب در پی‌های کم عمق برای بالا بردن دال‌های نشست کرده به کار برده می شود.
- تقریباً در همه نوع خاک‌ها می تواند کاربرد داشته باشد.