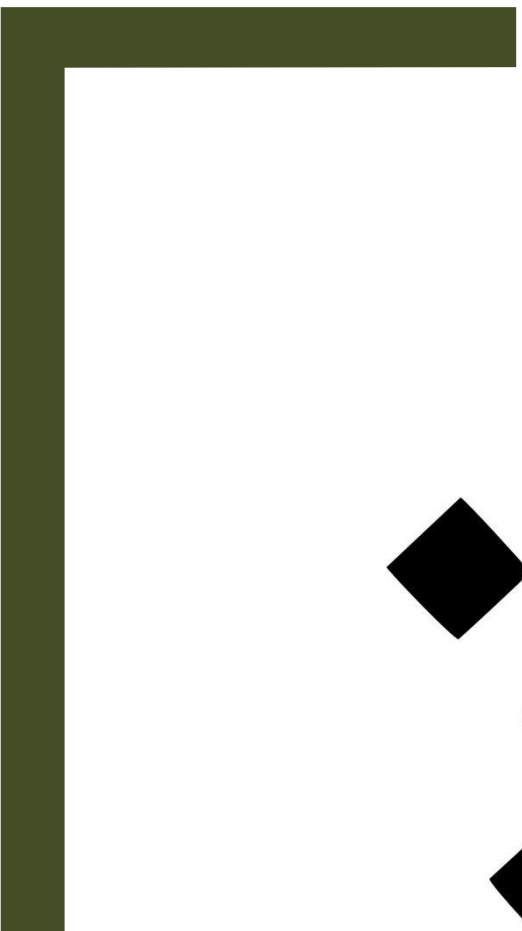


1111





دانشگاه شاهرود

خاک بستر

محمد حسین عقبایی
۹۲۲۱۷۱۱۵۰

مقدمه

یکی از مهمترین عواملی که در طرح روسازی ها به خصوص روسازی های انعطاف پذیر تاثیر دارد



خصوصیات و مشخصات خاک بستر

چرا اهمیت؟

در حقیقت این خاک بستر روسازی است که نهایتاً باید کلیه بارهای وارد بر روسازی را تحمل کند.

برای تشخیص رفتار و عملکرد روسازی در کوتاه مدت و بلند مدت

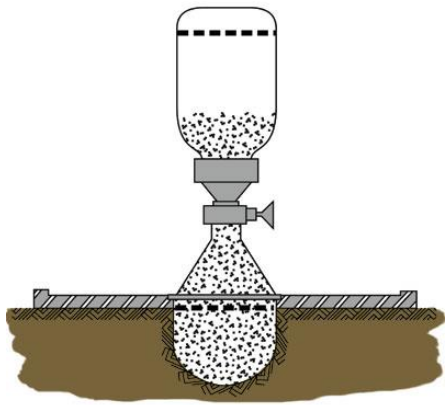
بررسی قابلیت تراکم پذیری

بررسی مقاومت

مقاومت و قابلیت تراکم خاک بستگی به سایر مشخصات اصلی خاک از قبیل: جنس، میزان رطوبت، دانه بندی، خاصیت خمیری، وزن مخصوص و ... دارد

* این مشخصات باید ابتدا مورد مطالعه قرار گیرند تا تاثیر آنها بر روی مشخصات خاک مشخص شود

قبل از اقدام به طرح روسازی باید از خاک بستر راه نمونه برداری شود و نمونه خاک بدست آمده تحت بررسی و مطالعات آزمایشگاهی قرار گیرد:



*البته این مطالعات نیاز به بررسی های در محل نیز دارد.

پس از بدست آمدن اطلاعات ← اقدام به طرح روسازی

بررسی های ژئوتکنیکی و نمونه برداری خاک

بررسی و مطالعات ژئوتکنیکی دارای اهمیت زیاد است.

در صورت غیر اصولی و غیر صحیح انجام دادن بررسی ها



نمی توان اطلاعات مورد نظر را در مورد بستر روسازی بدست آورد



طرح روسازی ارائه شده

کم طراحی شده

بیش طراحی شده

مقاصد بررسی های ژئوتکنیکی

۱- تعیین جنس و مشخصات خاک های موجود در مسیر راه و یا مجاورت آن

۲- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای بکار بردن درر خاکریز ها

۳- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای بکار بردن در لایه های روسازی

۴- تعیین نوع مواد تثبیت کننده مناسب برای خاک های سست

۵- تعیین محل و عمق آب های زیر زمینی موجود در مسیر راه و یا در مناطق مجاور آن

عملیات بررسی و نمونه برداری خاک برای راه سازی

مطالعه و بررسی خاک موجود

گرفتن نمونه هایی که معرف واقعی
خاک بستر روسازی

آزمایش

عملیات بررسی و نمونه برداری خاک برای
راهسازی



باید طبق دستورالعمل و استاندارد متداول و
مشخصی باشد.



تا نمونه ها معرف واقعی خاک منطقه باشند و
نتایج حاصل از آزمایشات قابل استفاده باشد.



نمونه برداری توسط حفر چاه های گمانه انجام می شود.
چاه های گمانه به کمک وسایل دستی و وسایل موتوری صورت می گیرد.



عمق و فاصله بین چاه های گمانه بستگی به یکنواختی جنس خاک و چگونگی وضعیت لایه های آن دارد.

با عمق ۱ الی ۱.۵ متر



چاه گمانه در طول محور راه

با فاصله ۱۵ تا ۵۰ متر



جنس خاک در امتداد عمود بر محور راه غیر یکنواخت باشد

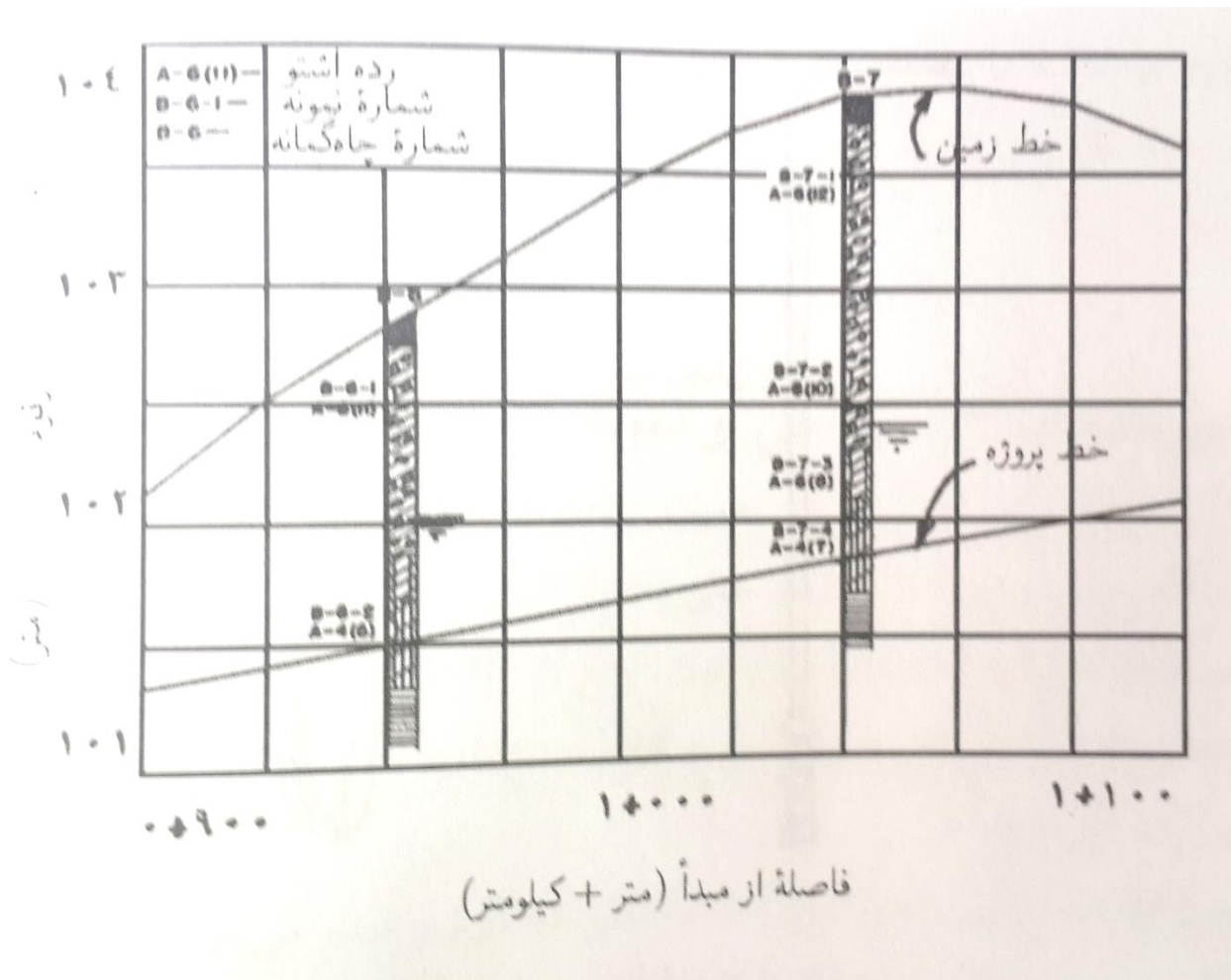
و یا

ضخامت لایه های آن شدیداً تغییر کند



حفر گمانه در امتداد عمود بر محور راه

بر روی نمونه های خاک بدست آمده از چاه های گمانه آزمایشات رده بندی خاک، تراکم، رطوبت و مقاومت انجام شده و نتایج حاصل از این آزمایشات را به صورت نیمرخ طولی خاک در امتداد محور راه رسم می شود.



اجزای خاک

تمام اجزای تشکیل دهنده ی خاک دارای اندازه ی یکسانی نیستند و برحسب اندازه دانه ها این اجزا به نام های: **قلوه سنگ**، **شن**، **ماسه**، **لای** و **رس** نامگذاری می شوند.

جدول ۱-۲ نامگذاریهای متداول اجزای خاک

۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۷۵	۰٫۴۲	۲	۴٫۷۶	۷۵	اندازه الک (میلی متر)
-	-	-	#۲۷۰	#۲۰۰	#۴۰	#۱۰	#۴	-	رده بندی
مواد کلوییدی	رس	لای		ماسه		شن		قلوه سنگ	AASHTO
لای و رس				ماسه			شن	قلوه سنگ	Unified
مواد کلوییدی	رس	لای		ماسه		شن			ASTM
رس		لای	ماسه			شن			FAA

اجزای بزرگتر از ۰.۰۷۵ میلی متر: **درشت دانه** (شامل قلوه سنگ، شن و ماسه)

اجزای کوچک تر از ۰.۰۷۵ میلی متر: **ریزدانه** (شامل لای و رس)

* اختلاف عمده ی لای و رس ناشی از خواص خمیری آن دو می باشد.

* لای ← در اثر هوازدگی مکانیکی ← خواص اولیه خود را حفظ کرده

* رس ← در اثر هوازدگی مکانیکی و شیمیایی ← دارای اندازه کلوئیدی

ساختار

سوزنی یا صفحه ای ← قابلیت جذب و نگهداری مقدار نسبتاً زیادی آب

چرا خاک هایی که دارای مقدار قابل توجهی رس یا لای هستند برای راهسازی مناسب نیستند؟

این گونه خاک ها در اثر تماس با آب مرطوب شده و مقدار قابل توجهی از مقاومت خود را از دست می دهند. ضمناً خاک های لای دار قابلیت تراکم خوبی ندارند و کوبیدن این نوع خاک ها مشکلات زیادی را به همراه دارد.

آزمایش های تمایز لای از رس

۱- خرد کردن

مقاومت لای خشک شده کم است و هرگاه نمونه ای از این خاک در داخل دست قرار گیرد به راحتی در میان فشار انگشتان درست خرد می شود.

از طرف دیگر مقاومت رس در حال خشک زیاد بوده و به سهولت با فشار انگشتان دست خرد نمی شود و فشار بیشتری برای خرد کردن آن لازم است.

آزمایش های تمایز لای از رس

۲- درخشش سطح

مقدار کمی از خاک با آب مخلوط شده و داخل مشت دست قرار می گیرد و به شدت تکان داده می شود. اگر نمونه ی خاک لای باشد چون آب زیادی به ود جذب نمی کند، ظاهری درخشان پیدا کرده و چمانچه پس از این عمل نمونهی خاک فشار داده شود ظاهر شیشه ای آن از بین خواهد رفت.

در حالی که اگر نمونه خاک رس باشد چون دارای قابلیت جذب آب زیاد است بر اثر تکان دادن سطح شیشه ای پیدا نمی کند.

آزمایش های تمایز لای از رس

۳- ته نشینی

سرعت ته نشین شده اجزاء خاک در آب، آزمایش بسیار سودمند دیگری است که در کارگاه برای تشخیص ماسه ریز از لای و لای از رس به کار می رود. در این آزمایش مقدار کمی از نمونه خاک در داخل یک لیوان پر از آب ریخته شده و به خوبی به هم زده می شود. از روی زمان لازم برای ته نشین شدن اجزاء خاک و صاف شدن آب می توان بین ماسه ریز و لای یا لای و رس تفاوت گذاشت.

جدول ۲-۲ زمان تقریبی ته نشین شدن اجزای مختلف خاک

نوع خاک	زمان تقریبی ته نشین شدن
ماسه	۱ تا ۱۰ دقیقه
لای	۱۵ تا ۶۰ دقیقه
رس	چندین ساعت یا روز

مشخصات فنی اجزاء خاک

مشخصات فنی اجزاء درشت دانه خاک بستگی به دانه بندی و تراکم خاک دارد؛ در صورتی که مشخصات اجزاء ریزدانه خاک تابعی از نیروهای سطحی و الکتریکی بین دانه هاست.

قابلیت ارتجاعی

خواص خمیری

چسبندگی

مقاومت برشی

تراکم پذیری

تغییر حجم در اثر تغییر رطوبت

نفوذ پذیری

تورم در اثر یخبندان

مشخصات فنی

مشخصات فنی اجزاء خاک

این مشخصات به طور کلی تابعی هستند از:

-نوع کانی های تشکیل دهنده خاک

-وجود مواد آلی در خاک

-نحوه حمل

-محل و سن لایه های رسوبی تشکیل دهنده خاک

-فشار وارد بر خاک

-دانه بندی

-تراکم

-شکل ساختمانی دانه های خاک

مشخصات فنی اجزاء خاک

شکل ساختمانی خاک های ریزدانه که فقط توسط میکروسکوپ های الکترونی قابل تشخیص است دارای اهمیت زیادی است و اثر زیادی بر روی مشخصات فنی این گونه خاک ها دارد. چون مطالعه شکل ساختمانی خاک ها مشکل و وقت گیر است از این نظر بررسی با استفاده از روش غیر مستقیم انجام می شود.

در روش غیر مستقیم نشانه هایی از نسبت های وزنی و حجمی مواد تشکیل دهنده خاک (ذرات جامد، آب و هوا) به دست می آید و با استفاده از این نشانه ها نه تنها می توان اطلاعاتی تقریبی از شکل ساختمانی خاک ها را بدست آورد، بلکه به کمک آنها می توان سایر مشخصات فنی خاک را نیز به طور تقریبی تخمین زد.

نشانه های خاک

$$\text{درصد رطوبت} = W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

$$\text{نسبت تخلخل} = e = \frac{V_v}{V_s}$$

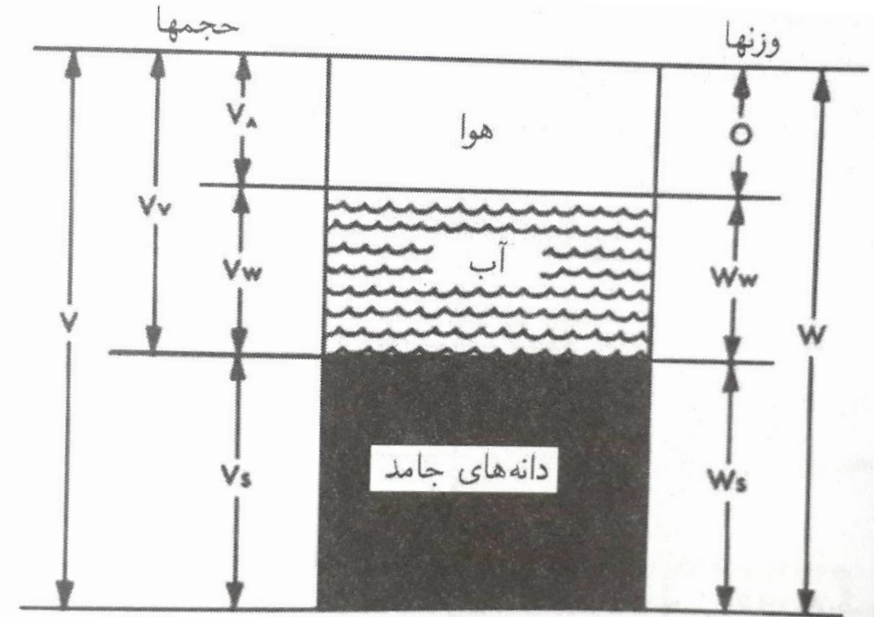
$$\text{درصد اشباع} = S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

$$\text{وزن مخصوص} = \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\text{وزن مخصوص خشک} = \gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$$

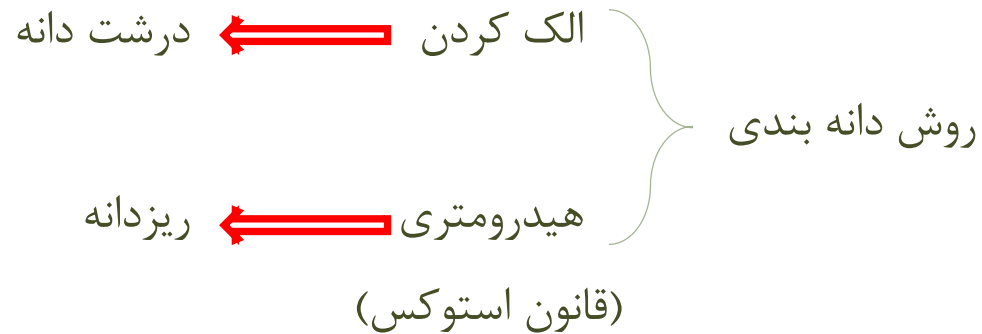
$$\text{وزن مخصوص تر} = \gamma_{wet} = \frac{W}{V}$$

$$\text{چگالی} = G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$



شکل ۲-۳ تقسیم فرضی خاک به مواد اصلی تشکیل دهنده آن.

دانه بندی و خواص خمیری خاک ها



* دانه بندی به منظور تعیین درشتی و ریزی و درصد اجزاء تشکیل دهنده خاک صورت می گیرد.

جدول ۲-۳ سیستمهای مختلف شماره گذاری الکها

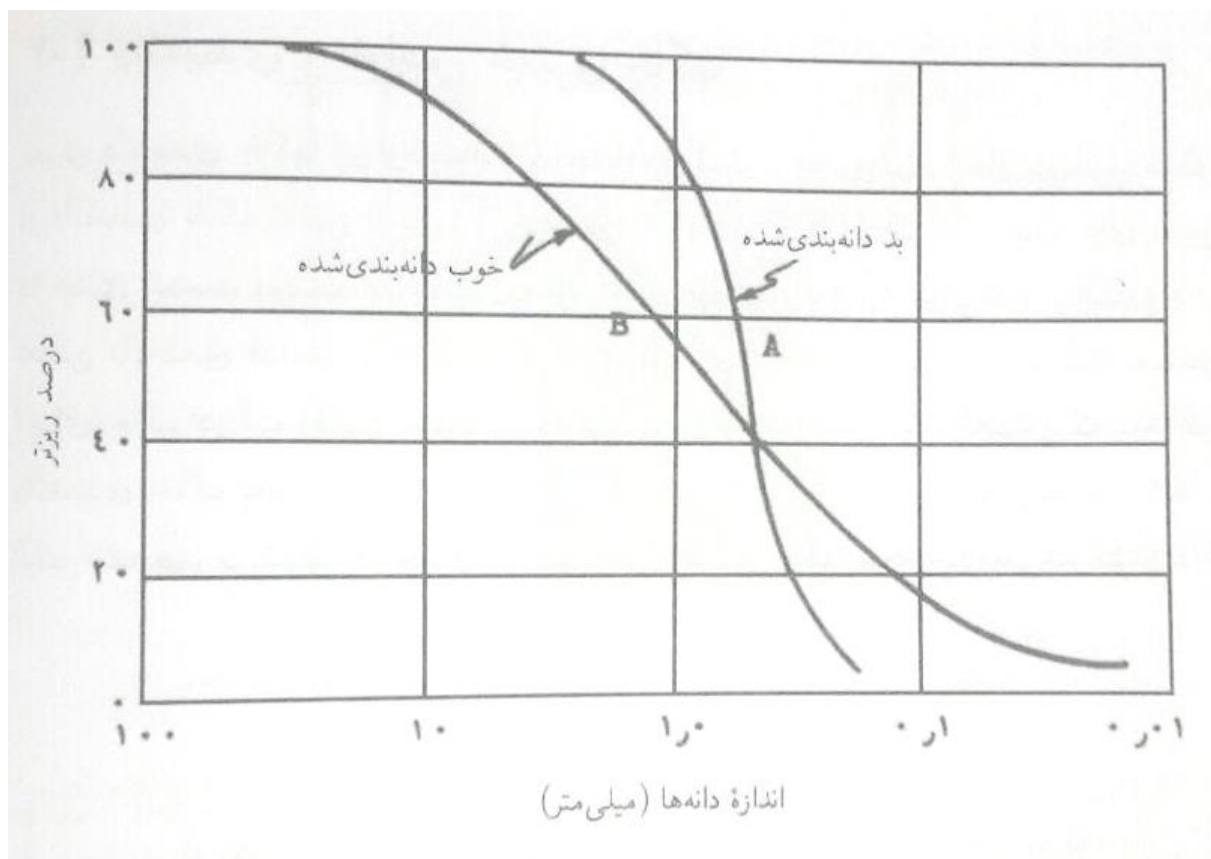
سیستم فرانسوی		سیستم آلمانی (DIN)		سیستم انگلیسی		سیستم امریکایی	
میلی متر	شماره الک	میلی متر	شماره الک	میلی متر	شماره الک	میلی متر	شماره الک
						۴٫۷۶	۴
						۲٫۳۸	۸
۲٫۰۰	۳۴*			۲٫۰۵۷	۸*	۲٫۰۰	۱۰*
						۱٫۶۸	۱۲
						۱٫۱۹	۱۶
۱٫۰۰	۳۱			۱٫۰۰۳	۱۶	۰٫۸۴۱	۲۰
۰٫۵۰۰	۲۸	۰٫۵۰۰	۵۰۰	۰٫۵۰۰	۳۰	۰٫۵۹۵	۳۰
۰٫۴۰۰	۲۷**	۰٫۴۰۰	۴۰۰**	۰٫۴۲۲	۳۶**		
						۰٫۴۲۰	۴۰**
				۰٫۲۹۵	۵۲	۰٫۲۹۷	۵۰
۰٫۲۵۰	۲۵	۰٫۲۵۰	۲۵۰	۰٫۲۵۱	۶۰	۰٫۲۵۰	۶۰
۰٫۱۶۰	۲۳	۰٫۱۶۰	۱۶۰	۰٫۱۷۸	۸۵	۰٫۱۷۷	۸۰
۰٫۱۲۵	۲۲	۰٫۱۲۵	۱۲۵	۰٫۱۵۲	۱۰۰	۰٫۱۴۹	۱۰۰
۰٫۰۸۰	۲۰	۰٫۰۸۰	۸۰	۰٫۰۷۶	۲۰۰	۰٫۰۷۴	۲۰۰
۰٫۰۵۰	۱۸	۰٫۰۵۰	۵۰	۰٫۰۵۳	۳۰۰	۰٫۰۵۳	۲۷۰

* حد بین ماسه و شن

** مواد رد شده از این الک برای آزمایش حدود اتربرگ به کار می رود.

* در ایران سیستم الک های آمریکایی متداول است و در آن شماره یا الک معروف، تعداد سوراخ های مربع در هر اینچ مربع است.

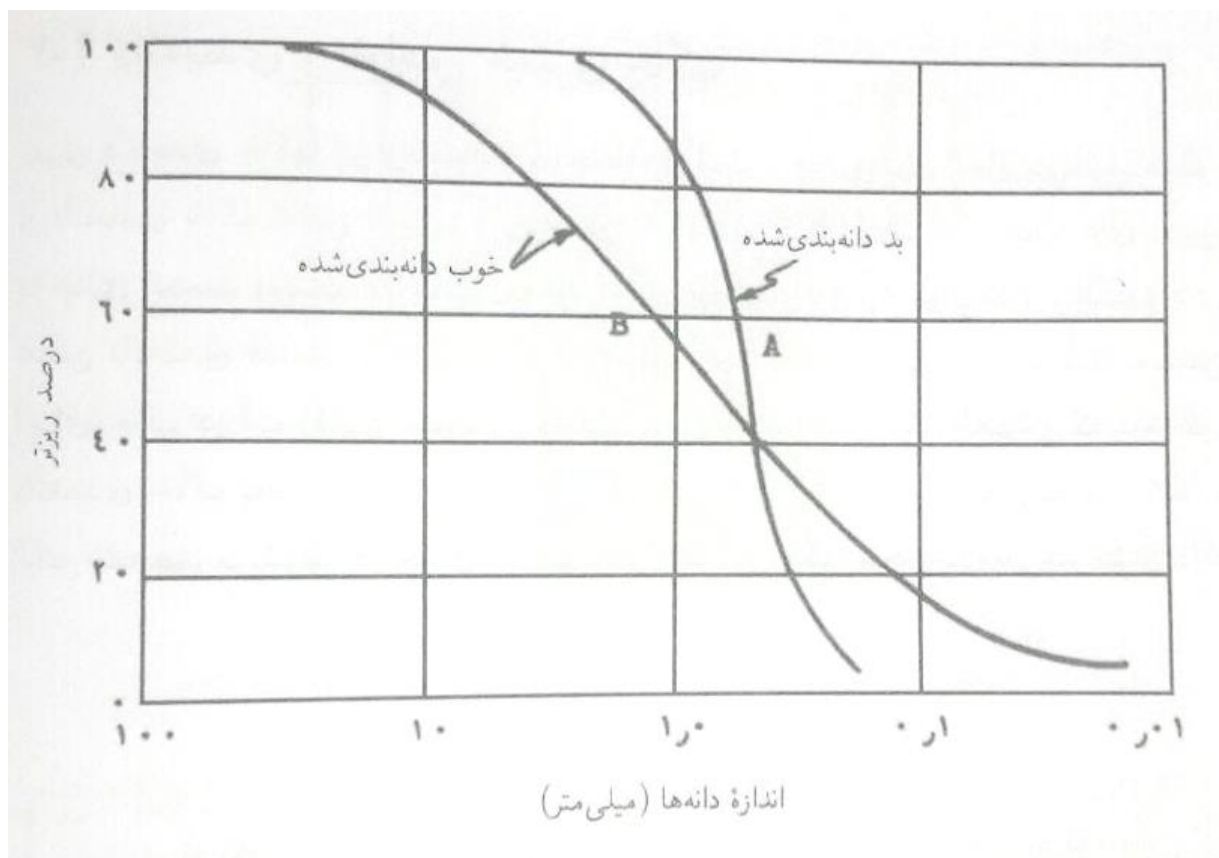
نتیجه آزمایش دانه بندی خاک معمولاً به صورت منحنی دانه بندی بر روی جداولی که بصورت نیمه لگاریتمی تنظیم شده رسم می شود. محورهای افقی نشان دهنده اندازه دانه ها و محور قائم معرف درصد وزنی آن قسمت از نمونه خاک که از اندازه معینی کوچکتر است.



شکل منحنی دانه بندی یک خاک نشان دهنده نوع دانه بندی (خوب یا بد) است.

* خاک های یکنواخت با خطوط تقریباً عمودی نظیر منحنی A نشان داده شده و به این نوع خاک ها، خاک های بد دانه بندی شده می گویند.

* خاک های خوب دانه بندی شده نظیر منحنی B با منحنی های به شکل "S" که عرض چندین سیکل از مقیاس لگاریتمی را در بر می گیرند مشخص می شوند.



خاک های خوب دانه بندی شده دارای اجزاء با اندازه های مختلف بوده و دانه های این نوع خاک بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و معمولاً مقاومت و ظرفیت باربری آنها بیشتر و نفوذپذیری آنها کمتر از خاک های نظیر بد دانه بندی شده است. برای مقایسه نوع دانه بندی خاک ها با یکدیگر از مقادیر عددی نشان داده شده زیر استفاده می کنیم:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} \qquad C_c = \frac{(D_{60})^2}{(D_{10})(D_{30})}$$

* C_u = ضریب یکنواختی

* C_c = ضریب خمیدگی

* D_{10} = اندازه موثر = اندازه ای که ۱۰ درصد وزنی خاک از آن اندازه کوچکتر باشد.

* D_{30} = اندازه ای که ۳۰ درصد وزنی خاک از آن کوچک تر باشد.

* D_{60} = اندازه ای که ۶۰ درصد وزنی خاک از آن کوچک تر باشد.

برای خاک های صد در صد یکنواخت مقدار ضریب یکنواختی برای ۱ بوده و هر اندازه مقدار این ضریب برای خاکی بزرگتر باشد خاک دارای دانه بندی بهتر است. خاک هایی که منحنی دانه بندی آنها از دو قسمت یکنواخت (دانه بندی منقطع) تشکیل می شود، ممکن است ضریب یکنواختی بزرگی داشته باشد. برای تشخیص خاک های خوب دانه بندی شده از خاک های با دانه بندی منقطع از ضریب خمیدگی استفاده می شود.

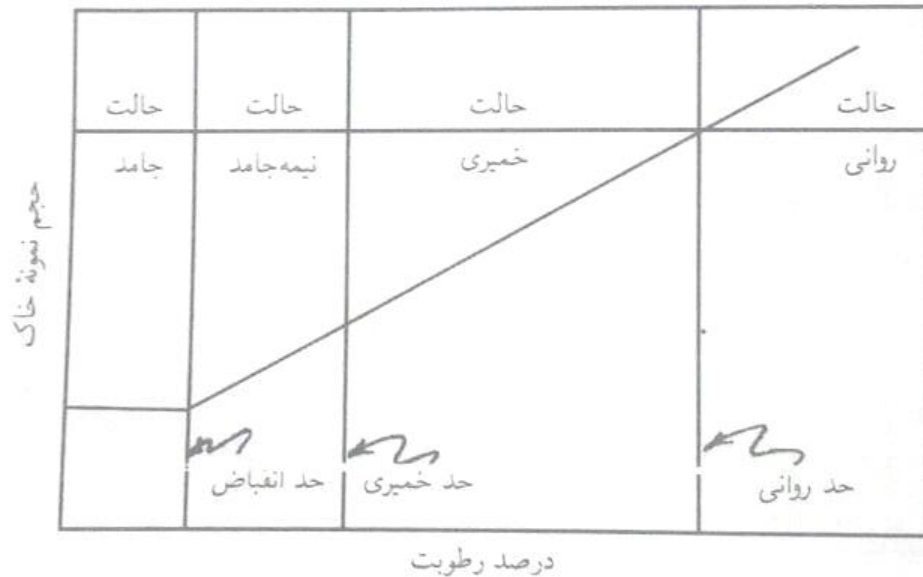
* برای خاک های منقطع، ضریب خمیدگی یا مقادیر خیلی بزرگ و یا خیلی کوچک است.

* برای خاک های خوب دانه بندی شده ضریب خمیدگی بین دو حد است.

حد بالای ضریب خمیدگی	حد پایین ضریب خمیدگی	ضریب یکنواختی	نمونه
۳	۱	بیش از ۴	شن خوب دانه بندی شده
۳	۱	بیش از ۶	ماسه خوب دانه بندی شده

خواص خمیری خاک ها

اگر خاک با مقدار کافی آب مخلوط شده و سپس به تدریج خشک شود، حالت های مختلفی به خود می گیرد. این حالت ها به ترتیب:



* حالت روانی

* حالت خمیری

* حالت نیمه جامد

* حالت جامد

شکل ۲-۶ تأثیر میزان رطوبت بر روی حجم و حالت خاک.

حد روانی

«درصد رطوبتی که خاک از حالت روانی به حالت خمیری می رسد.»

آزمایش:

- ۱- خاک با رطوبت های مختلف در جام وسیله آزمایش می ریزیم.
- ۲- ایجاد شیار با شیارکش
- ۳- با چرخاندن دسته مخصوص که جام را تا ارتفاع ۱ سانتی متری بلند کرده و رها می کند به نمونه ضربه می زند. (نرخ ضربه هر ثانیه ۲ بار)
- ۴- تعداد ضربات برای بسته شدن ۱.۲۵ سانتی متر از شیار

*درصد رطوبتی که شیار با ۲۵ ضربه به هم برسد را **حالت روانی** می گوییم.

حد خمیری

« درصد رطوبتی که خاک از حالت خمیری به حالت نیمه جامد برسد.»

آزمایش:

۱- نمونه خاک را بین دست و سطح صافی تبدیل به فتیله می کنیم.

۲- فتیله را به قطر ۳ میلی متر می رسانیم.

* اگر فتیله به صورت طول و عرضی ترک بخورد و بشکند، حد خمیری است.

* اگر فتیله را ۱ سانتی متر بالا آوریم و ترک بخورد، حد خمیری است.

حد انقباض

«درصد رطوبتی که خاک از حالت نیمه جامد به حالت جامد می رسد.»

« درصد رطوبتی است که نمونه اشباع شده خاک با کاهش رطوبتش دیگر حجمش کم نشود.»

آزمایش: آزمایش تعیین حد انقباض

* حدود روانی، خمیری و انقباض را حدود **اتربرگ** می نامند. و به آزمایش های تعیین این حدود **آزمایش اتربرگ** می گویند.

* این آزمایشات همواره بر روی **بخش ریز دانه خاک** که در **هوا خشک شده** و از **الک #40** رد شده، انجام می شود.

انواع خاک بر حسب میزان حد روانی

حد روانی	نوع خاک
$30 >$	خاک با حد روانی کم
$50 - 30$	خاک با حد روانی متوسط
$70 - 50$	خاک با حد روانی زیاد
$70 <$	خاک با حد روانی خیلی زیاد

انواع خاک بر اساس دانه خمیری

دانه خمیری	درجه خمیری	مقاومت خاک در حالت خشک	بررسی خاک در درصد رطوبت حد خمیری
۵-۰	غیر خمیری	خیلی کم (به راحتی در میان انگشتان دست خرد می شود).	نمونه خاک دارای قابلیت شکل پذیری است.
۱۵-۵	خمیری متوسط	کم تا متوسط (با فشار زیاد بین انگشتان دست خرد می شود).	نمونه خاک قابلیت شکل پذیری کمی دارد.
۳۵-۱۵	خمیری	متوسط تا زیاد (با فشار زیاد و وزن بدن زیر کف دست خرد می شود).	نمونه خاک قابلیت شکل پذیری دارد و کشیدن ناخن یا تیغه چاقو قابل صیقلی شدن است.
بیش از ۳۵	خیلی خمیری	خیلی زیاد (با دست قابل خرد شدن نیست).	نمونه خاک سختی و چسبندگی زیادی دارد و رطوبت خود را خیلی به آهستگی از دست می دهد.

خاک های آلی غیر رسی

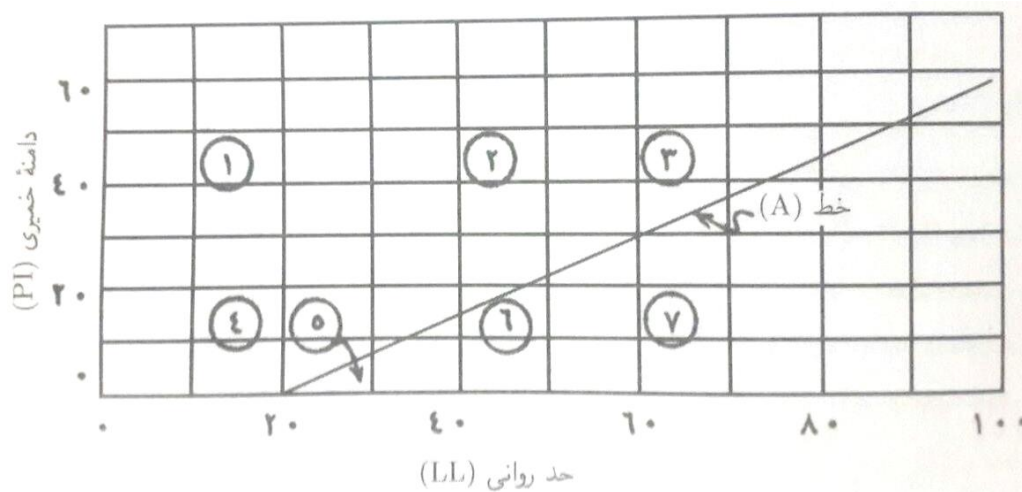
* نتایج تجربی نشان داده شده است که خاک های رسی غیر آلی در درصد رطوبتی برابر با حد خمیری، هر اندازه دامنه خمیری آنها زیاد تر باشد مقاومت برشی آن ها نیز بیشتر خواهد بود. همچنین برای این گونه خاک ها در درصد رطوبتی برابر با حد روانی آن ها، هر اندازه دامنه خمیری آن ها بیشتر باشد، تراکم پذیری آن ها نیز بیشتر خواهد بود.

مختصات خمیری

مختصات خمیری خاک ها اهمیت زیادی دارد و در رده بندی خاک ها مورد استفاده قرار می گیرد.

$$PI=0.73(LL - 20)$$

در این رابطه PI و LL به ترتیب دامنه خمیری و حد روانی خاک است.



۱- رس با تراکم پذیری کم

۲- رس با تراکم پذیری متوسط

۳- رس با تراکم پذیری زیاد

۴- خاک غیر چسبنده

۵- لای با تراکم پذیری کم

۶- لای با تراکم پذیری متوسط و لای آلی

۷- لای با تراکم پذیری زیاد و رس آلی

رده بندی خاک ها

انواع روش رده بندی:

بر اساس دانه بندی و خواص خمیری خاک انجام می شود.

روش اشتو

بر اساس دانه بندی و خواص خمیری خاک انجام می شود.

روش یونیفاید

با استفاده از دانه بندی، حدود اتربرگ، ارزش ماسه، تراکم، درصد رطوبت و درصد اشباع

روش BCEOM

روش اشتهو برای رده بندی خاک ها

یکی از متداول ترین روش های رده بندی خاک است و صرفاً برای راهسازی به کار می رود. این روش براساس نتایج تجربی حاصل از تاثیر جنس خاک ها بر عملکرد روسازی استوار است. براساس ظرفیت باربری و سایر مشخصات، خاک ها به هشت گروه تقسیم می شوند:

رده خاک	جنس خاک
A-1	قلوه سنگ و شن و ماسه
A-2	شن و ماسه لای دار یا رس دار
A-3	ماسه ریز دانه
A-4	خاک لای دار با حد روانی کم
A-5	خاک لای دار با حد روانی زیاد
A-6	رس با حد روانی کم
A-7	رس با حد روانی زیاد
A-8	خاک های آلی

$$GI = 0.2 a + 0.005 a.c + 0.01 b.d \quad \text{نشانه گروه}$$

جدول ۷-۲ روش اشتو برای رده بندی خاکها

خاک ریزدانه (لای و رس) بیش از ۳۵ درصد از الک شماره ۲۰۰ رد می شود		خاک درشت دانه (شن و ماسه) کمتر از ۳۵ درصد از الک شماره ۲۰۰ رد می شود										گروه
A-۷		A-۶	A-۵	A-۴	A-۲				A-۳	A-۱		زیرگروه
A-۷-۶	A-۷-۵				A-۲-۷	A-۲-۶	A-۲-۵	A-۲-۴		A-۱-b	A-۱-a	
≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 51	≤ 50	≤ 30	درصد ریزتر از: الک شماره ۱۰ الک شماره ۴۰ الک شماره ۲۰۰
≥ 30	≤ 30											حد خمیری
≥ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40				حد روانی
≥ 11	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	غیرخمیری	≤ 6	≤ 6	دامنه خمیری
≤ 20	≤ 20	≤ 16	≤ 12	≤ 8	≤ 4	≤ 4	۰	۰	۰	۰	۰	نشانه گروه
خاک رس دار		خاک لای دار		شن و ماسه رس دار			شن و ماسه لای دار		ماسه ریز	نکه سنگ-شن-ماسه		جنس خاک
بد		متوسط					خوب				عالی	ارزش خاک به عنوان خاک بستر روسازی

روش یونیفاید برای رده بندی خاک

*توسط کاساگرانده ارائه شد. وی معتقد بود تنها دانه بندی خاک برای مشخص کردن رفتار آن ها کافی نیست.

*رده بندی خاک ها در این روش با توجه به کیفیت و مرغوبیت خاک به عنوان خاک بستر روسازی راه ها و فرودگاه ها انجام می شود.

*رده بندی رفتاری خاک ها باید با بررسی دانه بندی و خواص خمیری انجام شود.

H	L	P	W	O	C	M	S	G
خاک با حد روانی زیاد	خاک با حد روانی کم	خاک بد دانه بندی شده	خاک خوب دانه بندی شده	خاک آلی	رس	لای	ماسه	شن

جدول ۲-۸ روش یونیتایید برای رده بندی خاکها

دانه بندی و خواص خمیری		سمبل		
		رده	شکل	رنگ
$C_u \geq 4 \text{ و } C_c \leq 2$ $C_u < 4 \text{ و } C_c > 2$		درصد گذشته از الک شماره ۲۰۰: کمتر از ۵ درصد — SP و SW و GP و GW بیشتر از ۱۲ درصد — SM و SC و GM و GC بین ۵ و ۱۲ درصد — حالت مرزی، باید از ۲ نام استفاده شود		
حالت مرزی، مختصات خمیری در منطقه هاشورزده شده باید از ۲ نام استفاده شود	مختصات خمیری در زیر خط "A" مختصات خمیری در بالای خط "A"	GW GP GM GC SW SP SM SC	قرمز زرد قرمز زرد	شن تمیز شن خاکدار ماسه تمیز ماسه خاکدار
$C_u \geq 6 \text{ و } C_c \leq 2$ $C_u < 6 \text{ و } C_c > 2$		دانه از الک شماره ۲۰۰ بیشتر از ۵۰ درصد قسمت درشت دانه از الک شماره ۴ رد می شود		
حالت مرزی، مختصات خمیری در منطقه هاشورزده شده باید از ۲ نام استفاده شود	مختصات خمیری در زیر خط "A" مختصات خمیری در بالای خط "A"	ML CL OL MH CH OH	زرد سبز آبی	ماسه تمیز ماسه خاکدار لای و رس و خاک آلی با حد روانی کمتر از ۵۰ لای و رس و خاک آلی با حد روانی بیشتر از ۵۰
		به شکل مراجعه شود		
خاک درشت دانه، کمتر از ۵۰ درصد از الک شماره ۲۰۰ رد می شود		خاک ریزدانه، بیشتر از ۵۰ درصد از الک شماره ۲۰۰ رد می شود		

جدول ۹-۲ روابط تقریبی بین رده خاک و مشخصات فنی آن

رده خاک	ارزش به عنوان لایه رویه شنی	ارزش به عنوان لایه اساس	ارزش به عنوان لایه زیراساس	ارزش به عنوان خاک بستر	سهولت جابه‌جا کردن	مقاومت برشی نمونه متراکم و اشباع شده	نفوذپذیری نمونه متراکم شده	خطر تورم در اثر یخبندان	تراکم پذیری نمونه متراکم و اشباع شده	نوع غلتهای مناسب	حدود وزن مخصوص (gr/cm ³)	نسبت باربر کالیفرنیا (CBR/۹)	ضریب عکس العمل خاک (kg/cm ²)
GW	خوب، عالی	خوب	عالی	عالی	عالی	عالی	عالی	بی خطر	-	لرزانده	۲-۲۲۵	۶۰-۸۰	۸۵-۱۴
										چرخ لاستیکی			
GP	-	متوسط، خوب	خوب	خوب، عالی	خوب	خوب	عالی	بی خطر	-	چرخ فولادی	۱۹-۲۱	۳۵-۶۰	۸۵-۱۴
GM	خوب	متوسط	متوسط، خوب	خوب، عالی	خوب	خوب	بد، متوسط	کم خطر	-	چرخ لاستیکی	۲۱-۲۳	۴۰-۸۰	۸۵-۱۴
GC	عالی	بد	متوسط	خوب	خوب	متوسط، خوب	بد غیر قابل نفوذ	کم خطر	خیلی کم	پاچه بزی	۱۹-۲۲۵	۲۰-۴۰	۵۵-۸۵
SW	خوب	بد	متوسط، خوب	خوب	عالی	عالی	عالی	بی خطر	-	لرزانده	۱۷۵-۲۱	۲۰-۴۰	۵۵-۸۵
										چرخ لاستیکی			
SP	-	-	متوسط	متوسط، خوب	متوسط	خوب	بد، متوسط	قدری خطرناک	کم	چرخ لاستیکی	۱۹-۲۲۵	۲۰-۴۰	۵۵-۸۵
SM	متوسط، خوب	بد	متوسط	متوسط، خوب	متوسط	خوب	بد قابل نفوذ	قدری خطرناک	کم	پاچه بزی	۱۷-۲۱	۱۰-۲۰	۵۵-۸۵
SC	خوب، عالی	-	بد	بد، متوسط	خوب	متوسط، خوب	بد	خطرناک	متوسط	چرخ لاستیکی	۲-۲	۵-۱۵	۳-۵۵
ML	-	-	بد، متوسط	بد، متوسط	متوسط	متوسط	بد، متوسط	خطرناک	متوسط	پاچه بزی	۲-۲	۵-۱۵	۳-۵۵
CL	متوسط	-	بد، متوسط	بد، متوسط	متوسط، خوب	متوسط	غیر قابل نفوذ	خطرناک	متوسط				
										چرخ لاستیکی			
OL	-	-	بد	بد	متوسط	بد	بد	خطرناک	زیاد	پاچه بزی	۱۶-۱۳	۴-۸	۳-۵۵
MH	-	-	بد	بد	بد	بد، متوسط	بد، متوسط	کم خطر	زیاد	چرخ لاستیکی	۱۷۵-۱۴۵	۳-۵	۱۵-۳
CH	-	-	بد، متوسط	بد، متوسط	بد	بد	غیر قابل نفوذ	کم خطر	زیاد				
OH	-	-	خیلی بد، بد	خیلی بد، بد	بد	بد	غیر قابل نفوذ	کم خطر	زیاد				

روش BCEOM برای رده بندی خاک ها

* این روش بر اساس رفتار دراز مدت خاک بعنوان بستر روسازی استوار است =.

* رده بندی با توجه به نتایج آزمایش های دانه بندی، حدود اتربرگ، هم ارز ماسه، تراکم، درصد رطوبت طبیعی و درصد اشباع خاک انجام می شود.

* در این روش خاک ها به ۴ گروه که به ترتیب صعودی از نظر مرغوبیت به S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 نشان داده می شوند.

جدول ۱۰-۲ روش BCEOM برای رده بندی خاکها

رده خاک	مشخصات خاک در ناساعدترین شرایط (W=درصد رطوبت)، (S=درصد اشباع)	هم ارز ماهه	نشانه خمیری	درصد مصالح رده شده از الک ۰.۰۷۵ میلی متری	درصد مصالح رده شده از الک ۰.۰۷۵ میلی متری	اندازه درشت ترین دانه	نوع خاک
S _T	$W < W_0 - 1$						خاکهای ریزدانه
S ₁	$W_0 - 1 < W < W_0 + 1$	-	< ۱۰				
S ₂	$W > W_0 + 1$						
S _T	$W < W_0 - 2$						
S ₁	$W_0 - 2 < W < W_0 + 2$	-	۱۰-۲۰				
S ₂	$W > W_0 + 2$			-	> ۳۰	< ۰.۰۷۵	
S _T	$W < W_0 - 3$						
S ₁	$W_0 - 3 < W < W_0 + 3$	-	۲۰-۵۰				
S ₂	$W > W_0 + 3$						
S ₁	$W < W_0 + 4$	-	> ۵۰				
S ₂	$S < ۰.۰۷۵$						خاکهای متشکل از مخلوط ماسه و سنگریزه و خاکهای نرم
S ₁	$۰.۰۷۵ < S < ۱$	< ۳۰	-				
S ₂	$S > ۱$						
S _T	$W < W_0 - 1$			> ۳۰			
S ₁	$W_0 < W < W_0 + 1$	> ۳۰	-		۰-۱۲		
S ₂	$W > W_0 + 1$						
S _T	-	> ۲۰	-				
S ₁	$W < W_0 - 1$						
S ₂	$W_0 - 1 < W < W_0 + 1$	< ۲۰	-	< ۳۰		< ۰.۰۷۵	
S ₁	$W > W_0 + 1$						
S _T	$W < W_0 - 1$						
S ₁	$W_0 - 1 < W < W_0 + 1$	-	< ۱۰				
S ₂	$W > W_0 + 1$						
S _T	$W < W_0 - 2$						
S ₁	$W_0 - 2 < W < W_0 + 2$	-	> ۱۰				
S ₂	$W > W_0 + 2$						
S ₂	$S < ۰.۰۷۵$						خاکهای ریز و درشت دانه حاری
S ₁	$۰.۰۷۵ < S < ۱$						مصالح سنگی مقدار کمی ریزدانه
S ₂	$S < ۱$						هرگاه چگالی و باربری خاک کوبیده شده بالا باشد خاک آزرده و در غیر اینصورت از رده S _T محسوب می شود.

با تشکر