به نام خدا



سایت گروه آموزشی آلم

ابتدایی، راهنمایی، دبیرستان، کنکور و دانشگاه

www.g-alm.ir	
www.g-alm.ir/ac	دانشگاه
www.g-alm.ir/forum	انجمن
www.g-alm.ir/azmoon	آزمون های آلم
www.g-alm.ir/shop	فروشگاه
www.film.g-alm.ir	فیلم های آموزشی

www.AMS.ir
عبدالمتین ستایش



فصل ۳:

طبقه بندی خاک

جزوه درس مکانیک خاک (کارشناسی مهندسی عمران)



Website: www.AMS.ir
Email1: a_matin_s@yahoo.com
Email2: Setayesh@outlook.com
Edition: 02, 01/1391
Copyright: Abdul Matin Setayesh
Filename: Soilmech_Ch3

نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق سایت شخصی و یا پست الکترونیک با مولف در میان بگذارید.

آخرین ویرایش: فروردین ۹۱ (ویرایش دوم)

۳-۱ مقدمه

سیستم طبقه بندی خاک[1] عبارت است از مرتب کردن خاک های مختلف با خواص مشابه به گروه ها و زیرگروه هایی بر حسب کاربردشان. سیستم های طبقه بندی 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. اگرچه سیستم های طبقه بندی مختلفی وجود دارد، لیکن به علت تنوع در خواص خاک، هیچکدام از آن ها به طور کامل جوابگوی توصیف هر خاک برای تمام کاربردهای ممکنه نیستند. طبقه بندی خاک بر دو نوع است:

۱. طبقه بندی بافت خاک:

در این طبقه بندی ملاک حدود اندازه ذرات خاک می باشد و ابتدا نام گروه اصلی و بعد نام گروه فرعی به صورت صفت ذکر می گردد. مثل رس لای دار، رس ماسه دار و غیره. طبقه بندی USDA از این نوع است.

۲. طبقه بندی خاک ها بر حسب استفاده:

اگر چه طبقه بندی بافت خاک نسبتاً ساده است، لیکن کاملاً متکی بر دانه بندی خاک می باشد. مقدار کانی رسی که در خاک های ریزدانه ظاهر می شود، تاثیر بسیار عمده ای بر خواص فیزیکی خاک دارد. بنابراین برای تفسیر خواص یک خاک باید به خواص خمیری آن توجه داشت. از آنجایی که طبقه بندی های بافتی خاک توجهی به خواص خیری خاک ندارند، بنابراین برای اغلب کاربردهای مهندسی کافی نیستند. در حال حاضر استفاده از دو سیستم طبقه بندی پیچیده بین مهندسان خاک معمول است که هر دو سیستم دانه بندی و حدود اتربرگ را در طبقه بندی منظور می کنند. این دو سیستم عبارتند از سیستم طبقه بندی آشتو و سیستم طبقه بندی متحد. سیستم طبقه بندی آشتو اغلب توسط مهندسان راه و سیستم طبقه بندی متحد، اغلب توسط مهندسان ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۲ طبقه بندی سازمان کشاورزی آمریکا (USDA)

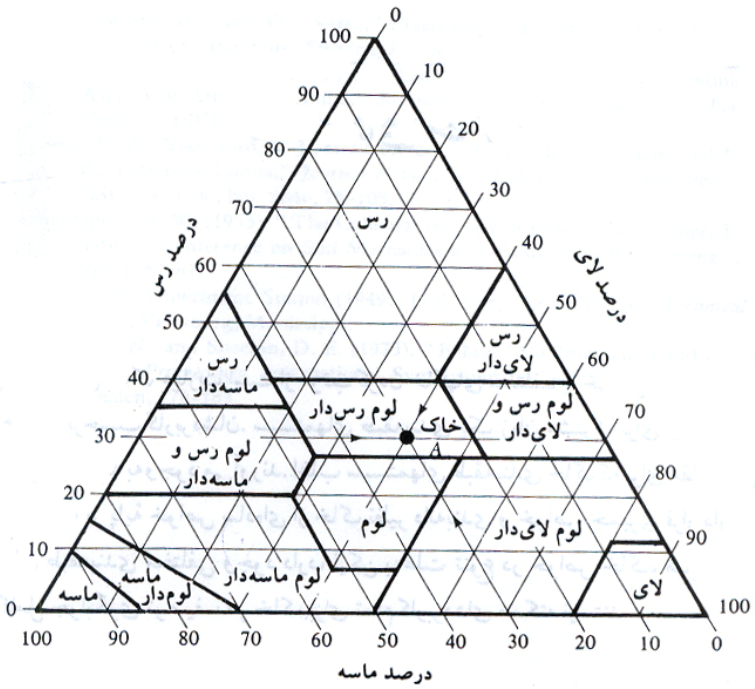
از نقطه نظر عمومی، بافت خاک به ظاهر سطحی آن نسبت داده می شود. بافت خاک تحت تاثیر اندازه ذرات موجود موجود در آن قرار دارد. در اغلب حالات، خاک های طبیعی ترکیبی از گروه ها با اندازه های مختلف می باشند. در طبقه بندی های بافت خاک، ابتدا نام گروه اصلی و بعد نام گروه فرعی به صورت صفت ذکر می شود. مثل رس ماسه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

در شکل ۳-۱ طبقه بندی بافت خاک که توسط اداره کشاورزی ایالت متحده تدوین یافته، نشان داده شده است. این سیستم طبقه بندی بر پایه حدود اندازه ذرات طبق سیستم **USDA** قرار دارد:

- ماسه: قطر دانه ها بین ۲ تا ۰/۰۵ میلیمتر
- لای: قطر ذرات بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۰۲ میلیمتر
- رس: قطر ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر

[1] Soil Classification

www.g-alm.ir



شکل ۳–۱ طبقه بندی بافت خاک طبق طبقه بندی اداره کشاورزی ایالات متحده (USDA)

استفاده از نمودار فوق را می توان با ارائه یک مثال نشان داد. اگر منحنی دانه بندی خاک A مقدار ماسه را ۳۰ درصد، لای را ۴۰ درصد و ذرات با اندازه رسی را ۳۰ درصد نشان دهد، طبقه بندی بافت را می توان با رسم خطوط نشان داده شده در شکل ۳-۱ به دست آورد. این خاک در ناحیه لوم رس دار قرار می گیرد.

لوم خاکی است متشکل از ماسه، سیلت و رس به نسبت های تقریباً ۴۰-۴۰-۲۰ (۴۰ درصد ماسه، ۴۰ درصد سیلت و ۲۰ درصد رس). لوم به طور طبیعی دارای مواد مغذی و هوموس بیشتری از خاک های ماسه ای بوده و نفوذپذیری و زهکشی بهتری نسبت به سیلت ها دارد. لوم ایده آل ترین خاک برای کاشت گیاهان، باغداری و کشاورزی است زیرا به خوبی مواد مغذی در خاک را حفظ می نماید در حالی که به آب اجازه حرکت آزاد و راحت در داخل خاک را می دهد.

نکته :

نمودار شکل ۳-۱ برپایه قسمت عبوری از الک نمره ۱۰ قرار داد. بنابراین اگر دانه بندی خاک طوری باشد که درصد مشخصی از ذرات خاک بزگتر از ۲ میلیمتر باشد، اصلاحاتی در طبقه بندی به روش **USDA** لازم خواهد بود. روش اصلاح به همراه مثال توضیح داده شده است.

مثال :

خاک های زیر را با استفاده از سیستم طبقه بندی **USDA** (اداره کشاورزی آمریکا) طبقه بندی نمایید.

درصد ذرات طبق USDA

خاک	شن	ماسه	لای	رس
A	18	51	22	9
B	10	20	41	29
C	21	12	35	32
D	0	18	34	58
E	12	22	26	40

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

حل مسئله:

گام ۱- محاسبه درصد ذرات اصلاح شده یا حذف قسمت شنی خاک.

خاک	درصد ماسه اصلاح شده $\left(\frac{\%\text{ ماسه}}{100-\%\text{شن}}\right)\times 100$	درصد لای اصلاح شده $\left(\frac{\%\text{ لای}}{100-\%\text{شن}}\right)\times 100$	درصد رس اصلاح شده $\left(\frac{\%\text{ رس}}{100-\%\text{شن}}\right)\times 100$
A	$\left(\frac{51}{82}\right)\times 100=62.2$	$\left(\frac{22}{82}\right)\times 100=26.83$	$\left(\frac{9}{82}\right)\times 100=10.96$
B	$\left(\frac{20}{90}\right)\times 100=22.2$	$\left(\frac{41}{90}\right)\times 100=45.6$	$\left(\frac{29}{90}\right)\times 100=32.2$
C	$\left(\frac{12}{100-21}\right)\times 100=15.2$	$\left(\frac{35}{100-21}\right)\times 100=44.3$	$\left(\frac{32}{100-21}\right)\times 100=40.5$
D	$\left(\frac{18}{100-0}\right)\times 100=18$	$\left(\frac{24}{100-0}\right)\times 100=24$	$\left(\frac{58}{100-0}\right)\times 100=58$
E	$\left(\frac{22}{100-12}\right)\times 100=25$	$\left(\frac{26}{100-12}\right)\times 100=29.5$	$\left(\frac{40}{100-12}\right)\times 100=45.5$

گام ۲- با محاسبه درصد های اصلاح شده، به کمک نمودار شکل ۳-۱، خاک ها به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

نام خاک	طبقه بندی
A	لوم ماسه دار و شن دار
B	لوم رس دار و شن دار
C	رس لای دار و شن دار
D	رس
E	رس شن دار

صفت شن دار به علت ظهور شن در ترکیب خاک اضافه شده است.

۳-۳ | سیستم طبقه بندی آشتو AASHTO:

این سیستم در سال ۱۹۲۹ میلادی پایه ریزی شد. متن اولیه بارها مورد تجدید نظر قرار گرفت و چیزی که در حال حاضر تحت عنوان **ASTM D3282** استاندارد شده بر مبنای آخرین تجدید نظر در سال ۱۹۴۵ قرار دارد.

در جدول ۳-۱ طبقه بندی آشتو که در حال حاظر مورد استفاده قرار می گیرد، نشان داده شده است. طبق این سیستم، خاک به گروه های اصلی **A-1** تا **A-7** تقسیم می شوند. 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-4**، **A-5**، **A-6** و **A-7** قرار می گیرند. این گروه ها اغلب مصالح لای و رس می باشند. سیستم طبقه بندی بر مبنای معیارهای زیر قرار دارد.

(الف) اندازه دانه ها

- شن: دانه هایی که از الک ۷۵ میلیمتر (۳اینچ) رد شده و بر روی الک ۲ میلیمتر (#10)باقی می مانند.
- ماسه: دانه هایی که از الک ۲ میلیمتر (#10) رد شده و ب روی الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (#200) باقی می مانند.
- لای و رس: ذراتی که از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (#200) عبور می کنند.

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

(ب) خاصیت خمیری

صفت لای دار به خاک هایی اطلاق می شود که نشانه خمیری ریزدانه های آن ها مساوی و یا کوچکتر از ۱۰ است. صفت رس دار به خاک هایی اطلاق می شود که نشانه خمیری آن ها مساوی ۱۱ و یا بزرگتر است.

(پ) اگر قلوه سنگ (دانه های بزرگتر از ۷۵ میلی متر) در خاک یافت شود، در هنگام طبقه بندی از نمونه حذف می شوند. لیکن درصد آن ها ثبت می شود.

برای طبقه بندی یک خاک طبق جدول ۳-۱، نتایج آزمایشگاهی از چپ به راست اعمال می شوند. با فرآیند حذف، اولین گروهی از چپ که نتایج آزمایشگاهی با آن جور است، طبقه صحیح خاک می باشد.

در شکل ۳-۲ نموداری که بر حسب درصد مایع (روانی) و نشانه خمیری، خاک ها را در گروه های **A-2**، **A-4**، **A-5**، **A-6**، **A-7** جای می دهد، نشان داده شده است.

برای داشتن تخمینی از کیفیت یک خاک به عنوان مصالح بستر (زیرسازی)، عددی به عنوان نشانه گروه در کنار هر گروه و زیر گروه وجود دارد. این عدد در داخل پرانتز بعد از اسم گروه نوشته می شود. نشانه گروه از رابطهٔ زیر محاسبه می شود:

$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10) \qquad (۱-۳)$$

که در رابطه فوق:

F = درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (#200)

LL = حد روانی

PI = نشانه خمیری

اولین جمله در رابطه ۳-۱، یعنی $(F-35)[0.2+0.005(LL-40)]$، نشانه گروه جزئی می باشد که از حد روانی به دست می آید دومین جمله $0.01(F-15)(PI-10)$، نشانه گروه جزئی می باشد که از نشانه خمیری بدست می آید. در زیر قوانینی در ارتباط با تعیین نشانه گروه ارائه می شود:

(الف) اگر رابطه ۳-۱ یک مقدار منفی برای GI بدست دهد، مقدار آن را صفر منظور می نماییم.

(ب) نشانه گروه محاسبه شده از رابطه ۳-۱ به نزدیکترین عدد کامل گرد می شود (به طور مثال $GI = 3.4$ به ۳ و $GI = 3.5$ به ۴ گرد می شود).

(پ) هیچ حد بالایی برای نشانه گروه وجود ندارد.

(ت) نشانه گروه خاک های متعلق به گروه های **A-1-a**، **A-1-b** و **A-2-4** و **A-2-5** و A-3 همواره مساوی صفر هستند.

(ث) در هنگام محاسبه نشانه گروه برای خاک های متعلق به گروه های **A-2-6** و **A-2-7** باید از نشانه گروه جزئی مربوط به نشانه خمیری **PI** استفاده نمود. به عبارت دیگر:

$$GI = 0.01(F-15)(PI-10) \qquad (۲-۳)$$

در حالت عمومی، کیفیت عملکرد یک خاک به عنوان مصالح بستر، تناسب معکوس با نشانه گروه دارد.

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

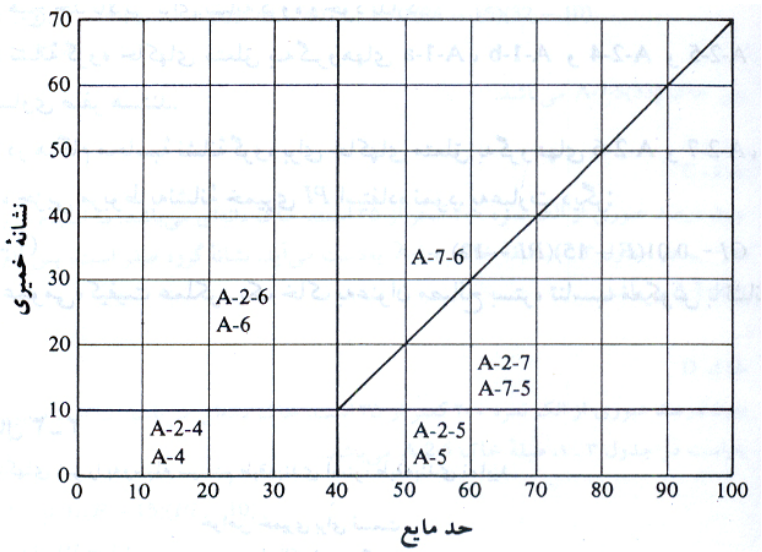
www.g-alm.ir

جدول ۳–۱ طبقه بندی مصالح بستر راه ها طبق طبقه بندی آشتو

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)							
(الک نمره ۱۰) No.10	50 max						
(الک نمره ۴۰) No.40	30 max	50 max	51 min				
(الک نمره ۲۰۰) No.200	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)				
(الک نمره ۱۰) No.10				
(الک نمره ۴۰) No.40				
(الک نمره ۲۰۰) No.200	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, $PI > LL - 30$



شکل ۳–۲ دامنه حد مایع و نشانه خمیری برای خاک های گروه های A-2، A-4، A-5، A-6، A-7

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

مثال :

خاک های زیر را به وسیله سیستم طبقه بندی آشتو، طبقه بندی نمایید.

خواص خمیری برای قسمت عبوری از الک نمره ۴۰

خاک	الک No. 10	الک No. 40	الک No. 200	حد مایع	نشانه خمیری
A	83	48	20	20	5
B	100	92	86	70	32
C	48	28	6	-	Non Plastic
D	90	76	34	37	12

خاک A:

طبق جدول ۳-۱، چون ۲۰ درصد از خاک از الک نمره ۲۰۰ عبور می کند، خاک در رده خاک های دانه ای، یعنی **A-1**، **A-3** و یا **A-2** قرار می گیرد. با انجام بررسی از چپ به راست، ملاحظه می گردد که خاک در رده **A-1-b** قرار می گیرد. نشانه گروه برای خاک **A-1-b** مساوی صفر است. بنابرای طبقه بندی خاک به صورت **A-1-b(0)** خواهد بود.

خاک B:

درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ مساوی ۸۶ درصد است، پس طبق جدول ۳-۱، مصالح خاک رس و لای می باشد (یعنی **A-4**، **A-5**، **A-6** و یا **A-7**) با انجام بررسی از چپ به راست، ملاحظه می شود که طبقه خاک **A-7** است. برای این حالت $PI - 32 \le LL - 30$ است، پس طبقه کامل خاک **A-7-5** می باشد. از رابطه ۳-۱ داریم:

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005)(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$F = 86; LL = 70; PI = 32$$

$$GI = (80 - 35)[0.2 + 0.005)(70 - 40)] + 0.01(86 - 15)(32 - 10) = 33.47 \approx 33$$

پس خاک **A-7-5(35)** می باشد.

خاک C:

چون درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ کمتر از ۳۵ است، خاک دانه ای می باشد. با انجام بررسی از چپ به راست در جدول ۳-۱، طبق خاک **A-1-a** به دست می آید. نشانه گروه صفر است. پس نام کامل خاک **A-1-a(0)** می باشد.

خاک D:

چون درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ کمتر از ۳۵ است، خاک دانه ای می باشد. با انجام بررسی از چپ به راست در جدول ۳-۱ طبقهٔ خاک **A-2-6** می باشد.

$$GI = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$F = 34; PI = 12$$

$$GI = 0.01(34 - 15)(12 - 10) = 0.38 \approx 0$$

پس نام کامل خاک **A-2-6(0)** است.

۳-۴ | سیستم طبقه بندی متحد (Unified Soil Classification System) USCS:

شکل اولیه این سیستم در سال ۱۹۴۲ توسط کاساگرانده برای ساخت فرودگاه های نظامی به وسیله گروه مهندسان ارتش در اثنای جنگ جهانی دوم ارائه شد. این طبقه بندی در سال ۱۹۵۲ با همکاری اداره عمران ایالت متحده، مورد تجدید نظر قرار گرفت. درحال حاضر این سیستم تحت استاندارد $ASTM - D - 2487$ مورد استفاده وسیع مهندسین قرار دارد. در جدول ۳-۲، ۳-۳ و ۳-۴ سیستم طبقه بندی متحد ارائه شده است. این سیستم خاک ها را به دو طبقه بزرگ تقسیم می نماید:

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

۱. خاک های درشت دانه با طبیعت شنی و یا ماسه ای و درصد عبوری کوچکتر از ۵۰ درصد از الک نمره ۲۰۰. علامت گروه های این طبقه با حرف G یا S شروع می شود. علامت G برای شن یا خاک های شن دار و علامت S برای ماسه یا خاک های ماسه دار به عنوان حرف اول به کار می روند.

۲. خاک های ریزدانه با درصد عبوری بزرگتر از ۵۰ درصد از الک نمره ۲۰۰. علامت گروه های این طبقه با حرف M برای لای غیر آلی و یا C برای رس غیر آلی و O برای لای ها و رس های آلی شروع می شود. علامت Pt برای پیت و ماک (خاک برگ) و یا سایر خاک ها با درجه آلی بالا به کار می رود.

علائمی که به عنوان حرف دوم در طبقه بندی به کار می روند، عبارتند از:

W = خوب دانه بندی شده

P = بد دانه بندی شده

L = خاصیت خمیری کم (حد مایع کوچکتر از ۵۰)

H = خاصیت خمیری زیاد (حد مایع بزرگتر از ۵۰)

حروف فوق همیشه به عنوان حرف دوم قرار گرفته و صفت حرف اول می باشند.

برای طبقه بندی کامل این سیستم، قسمت و یا تمام اطلاعات زیر لازم است:

الف: درصد شن، یعنی قسمتی که از الک ۷۵ میلیمتر عبور کرده و روی الک ۴/۷۵ میلیمتر (نمره ۴) باقی می ماند.

ب: درصد ماسه، یعنی درصد عبوری از الک ۴/۷۵ میلیمتر (نمره ۴) و مانده روی الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (نمره ۲۰۰).

پ: درصد لای و رس، یعنی درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (نمره ۲۰۰).

ت: ضریب یکنواختی C_u و ضریب دانه بندی C_c

ث: حد مایع و نشانه مایع برای قسمت عبوری از الک نمره ۴۰.

- علامت گروه برای خاک های درشت دانه شنی عبارتند از:

GW، GP، GM، GC، GW−GM، GC−GM، GW−GC، GP−GM، GP−GC

- برای خاک های دانه ای ماسه ای علائم عبارتند از:

SW، SP، SM، SM، SC، SC−SM، SW−SM، SW−SC، SP−SM، SP−SC

- به طور مشابه علامت گروه برای خاک های ریزدانه عبارتند از:

CL، ML، OL، CH، MH، OH، CL−ML و Pt

روش گام به گام برای طبقه بندی به روش متحد به شرح زیر است:

گام ۱: درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ ، PP #200 را تعیین نمایید. اگر PP #200 < 50% باشد، خاک درشت دانه (شنی یا ماسه ای) بوده و به گام ۲ بروید. اگر PP #200 > 50% باشد، خاک ریزدانه بوده و به گام ۳ بروید.

گام ۲: درصد عبوری از الک نمره ۴ ، PP #4 را تعیین نمایید. با داشتن درصد عبوری از الک ۴ و الک ۲۰۰ ، نسبت زیر را که نشان دهنده میزان ماسه موجود در قسمت درشت دانه خاک است را محاسبه نمایید:

$$F_s = \frac{\text{درصد ماسه}}{\text{درصد درشت دانه}} \times 100 = \frac{\text{عبوری از \#4} - \text{عبوری از \#200}}{100 - \text{عبوری از \#200}} \times 100 = \frac{PP\#4 - PP\#200}{100 - PP200} \times 100$$

www.g-alm.ir

اگر $F_s < 50\%$ باشد خاک شنی است به عبارت دیگر حرف اول **G** است. برای تعیین علامت گروه به جدول ۳-۲ و شکل ۳-۲ مراجعه نمایید. سپس برای تعیین نام گروه به شکل ۳-۲ مراجعه کنید. اگر $F_S \geq 50\%$ باشد، خاک ماسه ای است. برای تعیین علامت گروه به جدول ۳-۳ و شکل ۳-۲ و برای تعیین نام گروه به شکل ۳-۳ مراجعه نمایید.

گام ۳: برای خاک های ریزدانه، برای تعیین علامت گروه به جدول ۳-۴ و شکل ۳-۲ مراجعه نمایید. اگر خاک غیر آلی باشد، برای تعیین نام گروه به شکل ۳-۴ و اگر آلی باشد به شکل ۳-۵ مراجعه نمایید. شکل ۳-۲ نمودار خمیری نام دارد و توسط کاساگرانده تهیه شده و سپس اصلاح گردیده است.

جدول ۳-۲ سیستم طبقه بندی متحد – علائم گروه برای خاک های شنی

معیار	علامت گروه
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، C_u بزرگتر یا مساوی ۴ و C_c بین ۱ و ۳	GW
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، و هیچکدام از دو شرط GW برآورده نمی شود	GP
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ زیر خط A قرار می گیرد یا نشانه خمیری کمتر از ۴ است	GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ بالای خط A و نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است	GC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ در ناحیه سایه خورده قرار می گیرد (ناحیه CL – ML)	GC – GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GW و GM برآورده می شود	GW – GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GW و GC برآورده می شود	GW – GC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GP و GM برآورده می شود	GP – GM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای GP و GC برآورده می شود	GP – GC

جدول ۳-۳ سیستم طبقه بندی متحد – علائم گروه برای خاک های ماسه ای

معیار	علامت گروه
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، C_u بزرگتر یا مساوی ۶ و C_c بین ۱ و ۳	SW
عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، و هیچکدام از دو شرط GW برآورده نمی شود	SP
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ زیر خط A قرار می گیرد یا نشانه خمیری کمتر از ۴ است	SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ بالای خط A و نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است	SC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ در ناحیه سایه خورده قرار می گیرد (ناحیه CL – ML)	SC – SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SM برآورده می شود	SW – SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SC برآورده می شود	SW – SC
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SM برآورده می شود	SP – SM
درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SC برآورده می شود	SP – SC

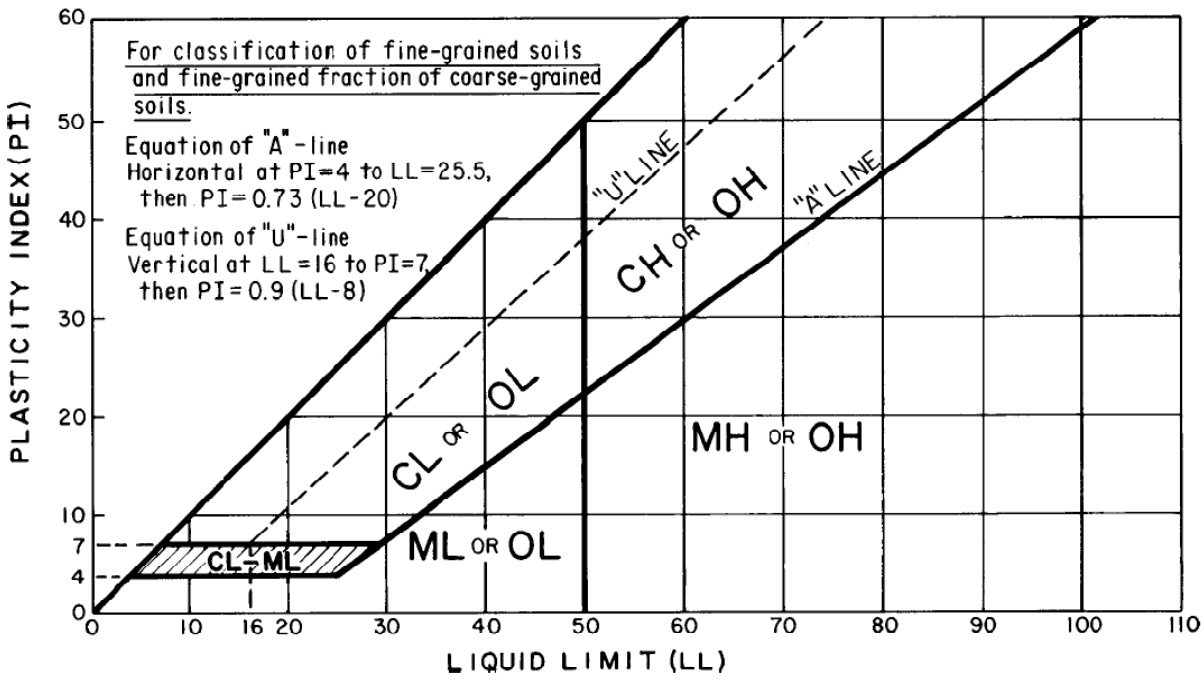
جدول ۳-۴ سیستم طبقه بندی متحد – علائم گروه برای خاک های رسی و لای

معیار	علامت گروه
غیر آلی، $LL < 50$ ، $PI > 7$ و منطبق یا بالای خط A (به ناحیه CL در شکل ۳-۳ توجه شود)	CL
غیر آلی، $LL < 50$ ، $PI > 4$ و زیر خط A (به ناحیه ML در شکل ۳-۳ توجه شود)	ML
آلی، $0.75 >$ (LL خشک نشده) / (LL خشک شده) و $LL < 50$ (به ناحیه OL در شکل ۳-۳ توجه شود)	OL
غیر آلی، $LL \geq 50$ و PI منطبق و یا بالای خط A (به ناحیه CH در شکل ۳-۳ توجه شود)	CH
غیر آلی، $LL \geq 50$ و PI زیر خط A (به ناحیه MH در شکل ۳-۳ توجه شود)	MH
آلی، $0.75 >$ (LL خشک نشده) / (LL خشک شده) و $LL \geq 50$ (به ناحیه OH در شکل ۳-۳ توجه شود)	OH
غیر آلی، در ناحیه هاشور خورده در شکل ۳-۳	CL – ML
تورب، ماک و یا سایر خاک های آلی	Pt

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir



شکل ۳–۲ نمودار خمیری

نکته :

منظور از خاک خوب دانه بندی شده (W) خاکی است که در شرایط زیر صدق کند:

$1 < C_c < 3$

$C_u > 6$ برای ماسه

$C_u > 4$ برای شن

بدیهی است که خاکی که در هر یک از شرایط فوق صدق نکند خاک بد دانه بندی شده (P) است.

صفت های فوق مختص خاک های درشت دانه (شنی و ماسه) می باشد.

نکته :

همانطور که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، خط A خطی است که جداکننده ناحیه رس و لای در نمودار خمیری می باشد این خط از $PI = 4$ تا $LL = 25.5$ افقی بوده و از آن پس معادله آن به صورت $PI = 0.73(LL - 20)$ می باشد.

خط U به طور تقریبی حد بالای نقاط نشانه خمیری در مقابل حد مایع هر نوع خاکی است که تا به حال شناخته شده است.

این خط از $LL = 16$ تا $PI = 7$ قائم بوده و از آن پس معادله آن به صورت $PI = 0.9(LL - 8)$ می باشد.

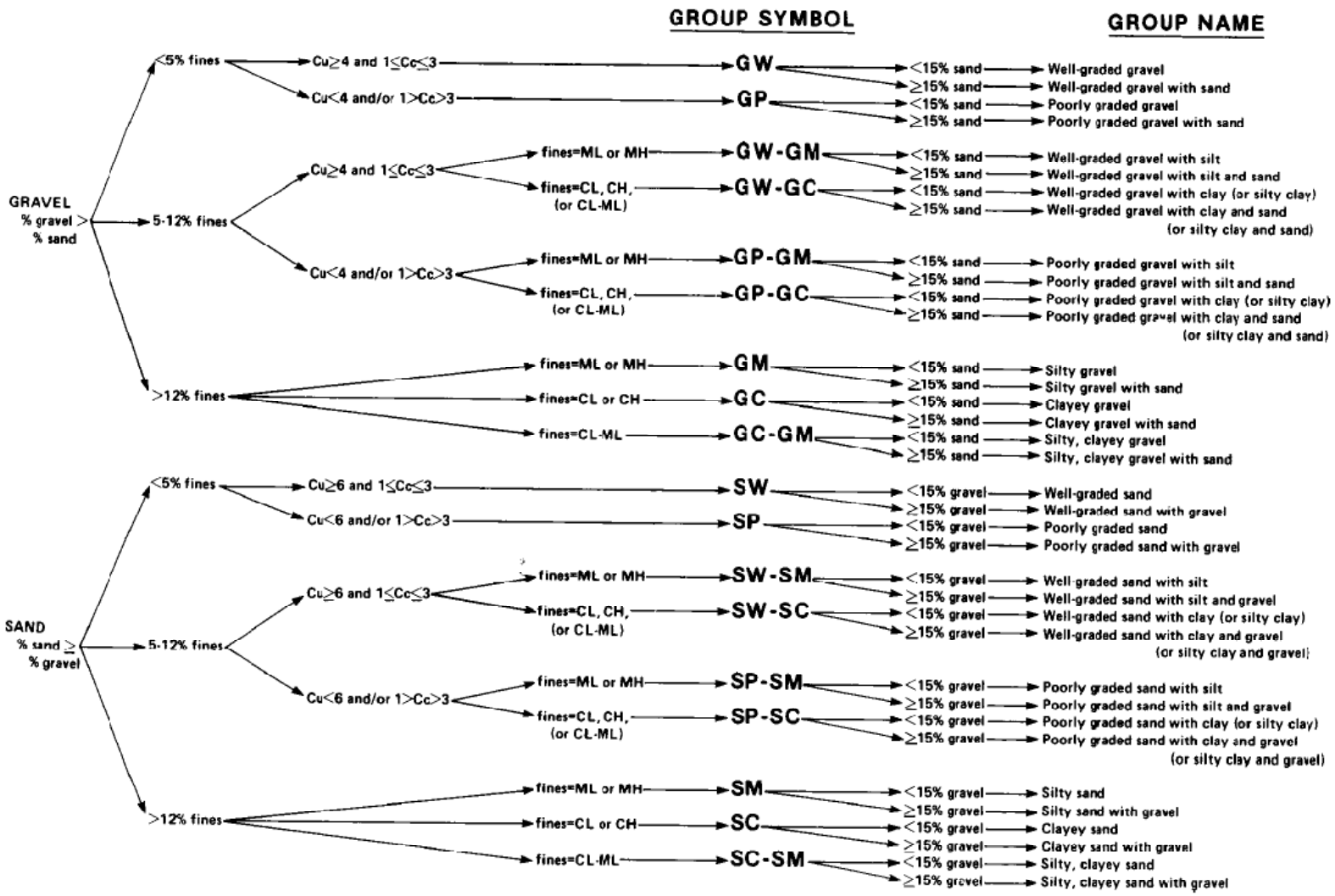
اصطلاحات به کار رفته در شکل های ۳-۳، ۳-۴ و ۳-۵ در زیر فهرست شده اند:

Well graded	دانه بندی خوب	sand	ماسه	gravel	شن
Clay	رس	silt	لای	poorly graded	دانه بندی بد
Lean clay	رس لاغر	inorganic	غیر آلی	organic	آلی
Clayey sand	ماسه رس دار	silty sand	ماسه لای دار	fat clay	رس چاق
		clayey gravel	شن رس دار	silty gravel	شن لای دار

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

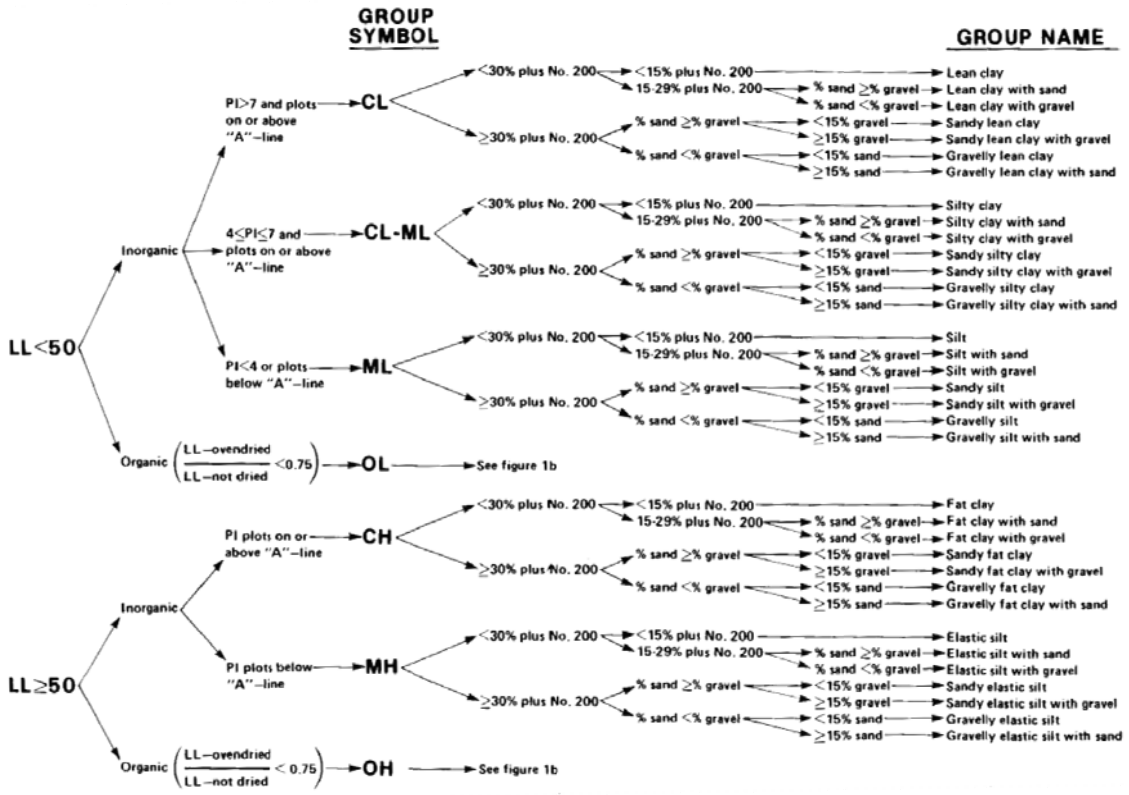


شکل ۳–۳ نمودار تعیین علامت و نام گروه برای خاک های شنی و ماسه ای

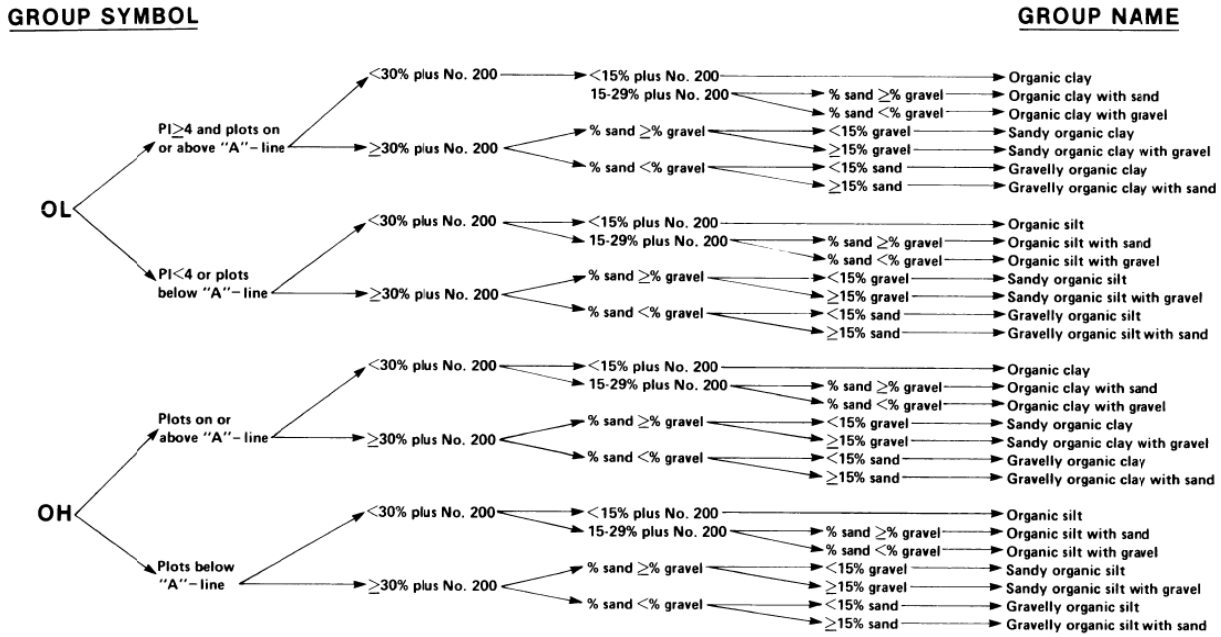
www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir



شکل ۳–۴ نمودار تعیین علامت و نام گروه برای خاک های رسی و لای غیر آلی



شکل ۳–۵ نمودار تعیین علامت و نام گروه برای خاک های رسی و لای آلی

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

مثال :

آزمایش دانه بندی بر روی یک نمونه خاک نشان می دهد که درصد عبوری از الک #200 برابر ۳۲ است. اگر درصد مانده روی الک نمره #4 برابر ۲۲ درصد باشد، نام خاک در طبقه بندی متحد را بدست آورید.

$\begin{cases} LL = 73\% \\ PL = 41\% \end{cases} \quad \begin{cases} C_u = 5 \\ C_c = 3.6 \end{cases}$

حل مسئله:

گام ۱) درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ کمتر از ۵۰ درصد است بنابراین خاک درشت دانه است.

$$PP\ \#200 < 50\% \rightarrow G \text{ or } S$$

گام ۲) باید مشخص نماییم خاک شن است یا ماسه بنابراین با توجه به درصد عبوری از الک نمره ۴ داریم:

$$\frac{PP\#4 - PP\#200}{100 - PP\#200} = \frac{78-32}{100-32} = 68\% > 50\% \rightarrow S$$

برای تعیین حرف دوم یا علامت گروه می توان هم از جداول ارائه شده و هم از معادله خط A استفاده نمود. در این مثال از آنجائی که $PP\#200 > 12\%$ است حرف دوم یا C است یا M در نتیجه با توجه به حدود اتربرگ داریم:

$$PI = LL - PL = 73 - 41 = 32\%$$

$$A : 0.73(LL - 20) = 0.73(73 - 20) = 38.7 \rightarrow PI < 38.7 \rightarrow M$$

بنابراین با توجه به اینکه قسمت ریزدانه خاک زیر خط A قرار دارد صفت خاک مورد نظر سیلتی خواهد بود. در نتیجه علامت گروه خاک مورد نظر عبارت است از: SM

توجه: خط U به صورت خودکار در تمام خاک ها ارضاء می شود بنابراین در حل مسائل کاربردی ندارد.

حال با توجه به اینکه درصد شن بزرگتر از ۱۵٪ می باشد نام گروه Clayey sand with gravel می باشد.

توجه: در مسئله فوق مقدار ضریب یکنواختی و ضریب انحنا کاربردی نداشته و ارائه آن ها در صورت مسئله انحرافی است.

مثال :

در یک آزمایش دانه بندی درصد عبوری از الک ۴ و الک ۲۰۰ به ترتیب ۷۵ درصد و ۲۰ درصد می باشد. اگر حد روانی خاک ۶۰ درصد و دامنه خمیری آن ۲۰ درصد باشد، علامت گروه خاک در طبقه بندی USCS چیست؟

حل مسئله:

$$PP\ \#200 = 20\ \% < 50\ \% \rightarrow G \text{ or } S$$

$$\frac{PP\ \#4 - PP\ \#200}{100 - PP\ \#200} = \frac{75-20}{100-20} = \frac{55}{80} = 69\% > 50\% \rightarrow S$$

$$PP\ \#200 = 20\% > 12\% \rightarrow C \text{ or } M$$

$$A : 0.73(LL - 20) = 0.73(60 - 20) = 29.2\% > 20\% \rightarrow M$$

بنابراین خاک مورد نظر SM است.

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

مثال :

پس از آزمایش دانه بندی بر روی یک نمونه خاک مشخص شد که ۶ درصد از الک ۲۰۰ و ۶۳ درصد آن الک ۴ عبور کرده است. حد روانی و حد خمیری بخش ریزدانه آن نیز به ترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد می باشد. اگر ضریب یکنواختی آن $C_u = 23.5$ و ضریب دانه بندی $C_c = 1.06$ باشد، در این صورت نام گروه خاک در سیستم طبقه بندی متحد چیست ؟

حل مسئله:

$PP\ \#200 = 6\% < 50\% \rightarrow S \text{ or } G$

$\frac{63-6}{100-6} \times 100 = 60\% > 50\% \rightarrow S$ خاک ماسه ای است

$PP\ \#200 = 60\% \rightarrow 5\% < PP\ \#200 < 12\% \rightarrow$ نام گذاری دوگانه

$PI = 55 - 35 = 20\%$

$A : 0.73(55-20) = 25.5$

$PI < 25.55 \rightarrow M$ خاک سیلتی است

$\begin{cases} 1 < C_c < 3 \\ C_u > 6 \end{cases} \rightarrow$ خاک خوب دانه بندی شده است $\rightarrow SW - SM$

مثال :

۷۰ درصد خاکی از الک ۴ و ۳ درصد آن از الک ۲۰۰ می گذرد. اگر $D_{60} = 3mm$ و $D_{30} = 1.2mm$ و $D_{10} = 0.2mm$ باشد. علامت و نام گروه خاک را در طبقه بندی یونیفاید تعیین نمایید.

حل مسئله:

$PP\ \#200 = 3 \rightarrow G \text{ or } S$

$\frac{70-3}{100-3} \times 100 = 69\% > 50\% \rightarrow S$ خاک ماسه ای است

$PP\ \#200 = 3\% < 5\% \rightarrow W \text{ or } P$

$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{1.2^2}{3 \times 0.2} = 2.4 \rightarrow 1 < C_c < 3$

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{3}{0.2} = 15 > 6$

$\rightarrow SW$

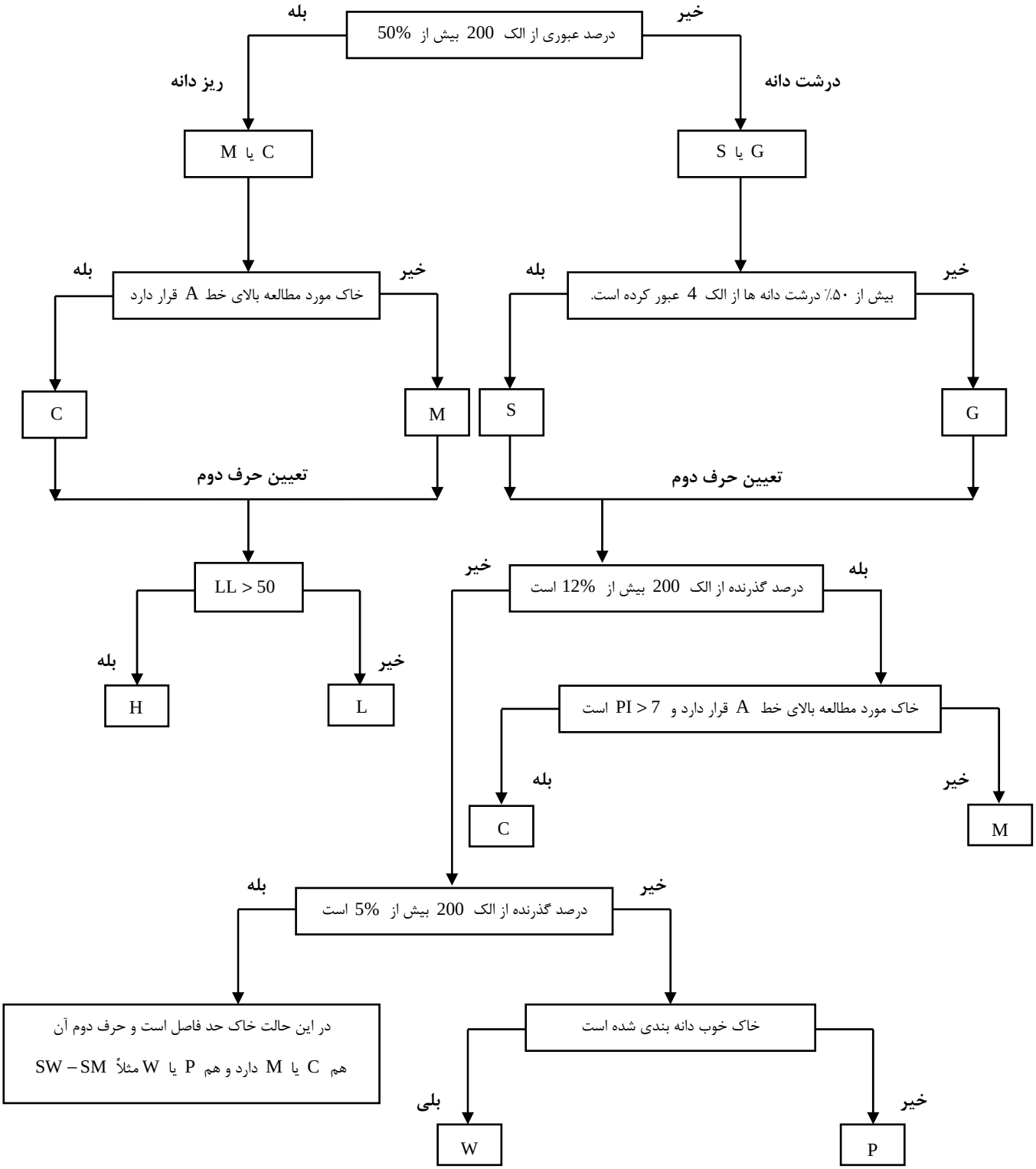
$Gravel = 100 - 70 - 3 = 27\% > 15\% \rightarrow \textit{well - graded sand with gravel}$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

برای طبقه بندی سریع به روش متحد می توان از الگوریتم زیر نیز استفاده نمود.



www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

تمرین: خاک های زیر را طبق سیستم متحد طبقه بندی نمایید. علامت و نام گروه را بنویسید.

شماره مسئله	درصد عبوری							حد مایع	نشانه خمیری
	No. 4	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100	No. 200		
۴۱-۳	94	63	21	10	7	5	3	-	NP
۴۲-۳	98	86	50	28	18	14	10	-	NP
۴۳-۳	100	100	98	93	88	83	77	63	25
۴۴-۳	100	100	100	99	95	90	86	55	28
۴۵-۳	100	100	100	94	82	66	45	36	22

خاک های زیر را طبق سیستم طبقه بندی متحد طبقه بندی نمایید. علامت و نام گروه را بنویسید.

شماره مسئله	شن (٪)	ماسه (٪)	لای و رس (٪)	حد مایع	نشانه خمیری	C_u	C_c
۴۶-۳	30	40	30	33	12	-	-
۴۷-۳	52	28	20	41	19	-	-
۴۸-۳	5	25	70	52	24	-	-
۴۹-۳	0	18	82	30	11	-	-
۵۰-۳	0	26	74	35	14	-	-
۵۱-۳	0	36	64	28	10	-	-
۵۲-۳	12	62	26	38	20	-	-
۵۳-۳	9	50	41	42	21	-	-
۵۴-۳	12	10	78	69	31	-	-
۵۵-۳	29	67	4	-	-	34	2.6
۵۶-۳	1	42	57	54	28	-	-
۵۷-۳	4	44	52	29	11	-	-
۵۸-۳	12	40	48	32	13	-	-
۵۹-۳	28	38	34	29	14	-	-
۶۰-۳	29	60	11	32	16	4.8	2.9
۶۱-۳	0	98	2	-	-	7.2	2.2
۶۲-۳	31	65	4	-	-	5.4	3.6
۶۳-۳	11	24	65	44	23	-	-
۶۴-۳	10	83	8	39	8	3.9	2.1
۶۵-۳	0	24	76	55	26	-	-
۶۶-۳	0	10	90	61	34	-	-

مراجع

۱. **اصول مهندسی ژئوتکنیک**، جلد اول: مکانیک خاک.، ترجمه شاپور طاحونی.، چاپ هفتم ۱۳۸۰، ویرایش دوم.

۲. **مجموعه سوالات طبقه بندی شده آزمون کارشناسی ارشد مکانیک خاک**.، تالیف: ساسان امیر افشاری.، چاپ سوم ۱۳۸۲.

3. http://en.wikipedia.org/wiki/Loam

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir



نکات و یادداشت ها

