

فصل سوم

طبقه بندی خاک

سیستم طبقه‌بندی خاک عبارت است از مرتب کردن خاک‌های مختلف با خواص مشابه به گروه‌ها و زیرگروه‌هایی برحسب کاربردشان. سیستم‌های طبقه‌بندی یک زبان مشترک برای بیان مشخصات خاک به طور خلاصه به وجود می‌آورند. اغلب سیستم‌های طبقه‌بندی خاک که برای مقاصد مهندسی تدوین یافته‌اند، بر پایه خواص ساده‌ای از خاک نظیر دانه‌بندی و خواص خمیری قرار دارند. اگرچه سیستم‌های طبقه‌بندی مختلفی وجود دارد، لیکن به علت تنوع در خواص خاک، هیچکدام از آنها به طور کامل جوابگوی توصیف هر خاک برای تمام کاربردهای ممکنه نیستند.

۳-۲ طبقه‌بندی خاکها برحسب استفاده

اگرچه طبقه‌بندی بافتی خاک نسبتاً ساده است، لیکن کاملاً متکی بر دانه‌بندی خاک می‌باشد. مقدار کانی رسی که در خاکهای ریزدانه ظاهر می‌شود، تأثیر بسیار عمده‌ای بر خواص فیزیکی خاک دارد. بنابراین برای تفسیر خواص یک خاک باید به خواص خمیری آن توجه داشت. از آنجایی که طبقه‌بندیهای بافتی خاک توجهی به خواص خمیری خاک ندارند، بنابراین برای اغلب کاربردهای مهندسی کافی نیستند. در حال حاضر استفاده از دو سیستم طبقه‌بندی پیچیده‌تر بین مهندسان خاک معمول است. هر دو سیستم دانه‌بندی و حدود اتربرگ را در طبقه‌بندی منظور می‌کنند. این دو سیستم عبارتند از سیستم طبقه‌بندی آشتو^۵ و سیستم طبقه‌بندی متحد^۶. سیستم طبقه‌بندی آشتو اغلب توسط مهندسان راه و سیستم طبقه‌بندی متحد، اغلب توسط مهندسان ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستم طبقه‌بندی آشتو

این سیستم در سال ۱۹۲۹ میلادی پایه‌ریزی شد. متن اولیه بارها مورد تجدیدنظر قرار گرفت و چیزی که در حال حاضر تحت عنوان ASTM-D-3282 و AASHTO-M145 استاندارد شده، بر مبنای آخرین تجدیدنظر آن در سال ۱۹۴۵ قرار دارد.

در جدول ۱ - ۳ طبقه‌بندی آشتو که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داده شده است. طبق این سیستم، خاک به گروه‌های اصلی A-1 تا A-7 تقسیم می‌شود. خاک‌های گروه‌های A-1، A-2 و A-3 مصالح دانه‌ای هستند که درصد عبوری آنها از الک نمره ۲۰۰، کمتر از ۳۵ درصد است. خاک‌هایی که درصد عبوریشان از الک نمره ۲۰۰ بیشتر از ۳۵ درصد است، در گروه‌های A-4، A-5، A-6 و A-7 قرار می‌گیرند. این گروه‌ها اغلب مصالح لای و رس می‌باشند. سیستم طبقه‌بندی بر مبنای معیارهای زیر قرار دارد:

الف - اندازه دانه‌ها

- شن: دانه‌هایی که از الک ۷۵ میلیمتر (۳ اینچ) رد شده و بر روی الک ۲ میلیمتر (نمره ۱۰) باقی می‌مانند.
- ماسه: دانه‌هایی که از الک ۲ میلیمتر (نمره ۱۰) رد شده و بر روی الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (نمره ۲۰۰) باقی می‌مانند.
- لای و رس: ذراتی که از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (نمره ۲۰۰) عبور می‌کنند.

ب - خاصیت خمیری

صفت لای دار به خاکهایی اطلاق می‌شود که نشانه خمیری ریزدانه‌های آنها مساوی و یا کوچکتر از ۱۰ است. صفت رس دار به خاکهایی اطلاق می‌شود که نشانه خمیری ریزدانه‌های آن مساوی ۱۱ و یا بزرگتر است.

پ - اگر قلوه سنگ (دانه‌ها با اندازه بزرگتر از ۷۵ میلیمتر) در خاک یافت شود، در هنگام طبقه‌بندی از نمونه حذف می‌شوند. لیکن درصد آنها ثبت می‌شود.

طبقه بندی مصالح بستر راهها طبق طبقه بندی آشتو

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1			A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index		6 max.	NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel, and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

Silt-clay materials
(more than 35% of total sample passing No. 200)

General classification				
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5^a A-7-6^b
Sieve analysis (percentage passing)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40				
Liquid limit	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

^aFor A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^bFor A-7-6, $PI > LL - 30$

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

در شکل ۳ - ۲، نموداری که برحسب حد مایع (روانی) و نشانه خمیری، خاکها را در گروههای A-2، A-4، A-5، A-6 و A-7 جای می‌دهد، نشان داده شده است.

برای داشتن تخمینی از کیفیت یک خاک به عنوان مصالح بستر^۷ (زیرسازی)، عددی به عنوان نشانه گروه^۸ در کنار هر گروه و زیرگروه وجود دارد. این عدد در داخل پرانتز بعد از اسم گروه نوشته می‌شود. نشانه گروه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

که در رابطه فوق:

F = درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (نمره ۲۰۰)

LL = حد مایع (روانی)

PI = نشانه خمیری

اولین جمله در رابطه ۳ - ۱، یعنی $[0.2 + 0.005 (LL - 40) (F - 35)]$ ، نشانه گروه جزئی^۹ می باشد که از حد مایع (حد روانی) به دست می آید. دومین جمله، $0.01(F - 15)(PI - 10)$ ، نشانه گروه جزئی می باشد که از نشانه خمیری به دست می آید. در زیر قوانینی در ارتباط با تعیین نشانه گروه ارائه می شود:

الف: اگر رابطه ۳ - ۱ یک مقدار منفی برای GI به دست دهد، مقدار آن صفر منظور می شود.

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

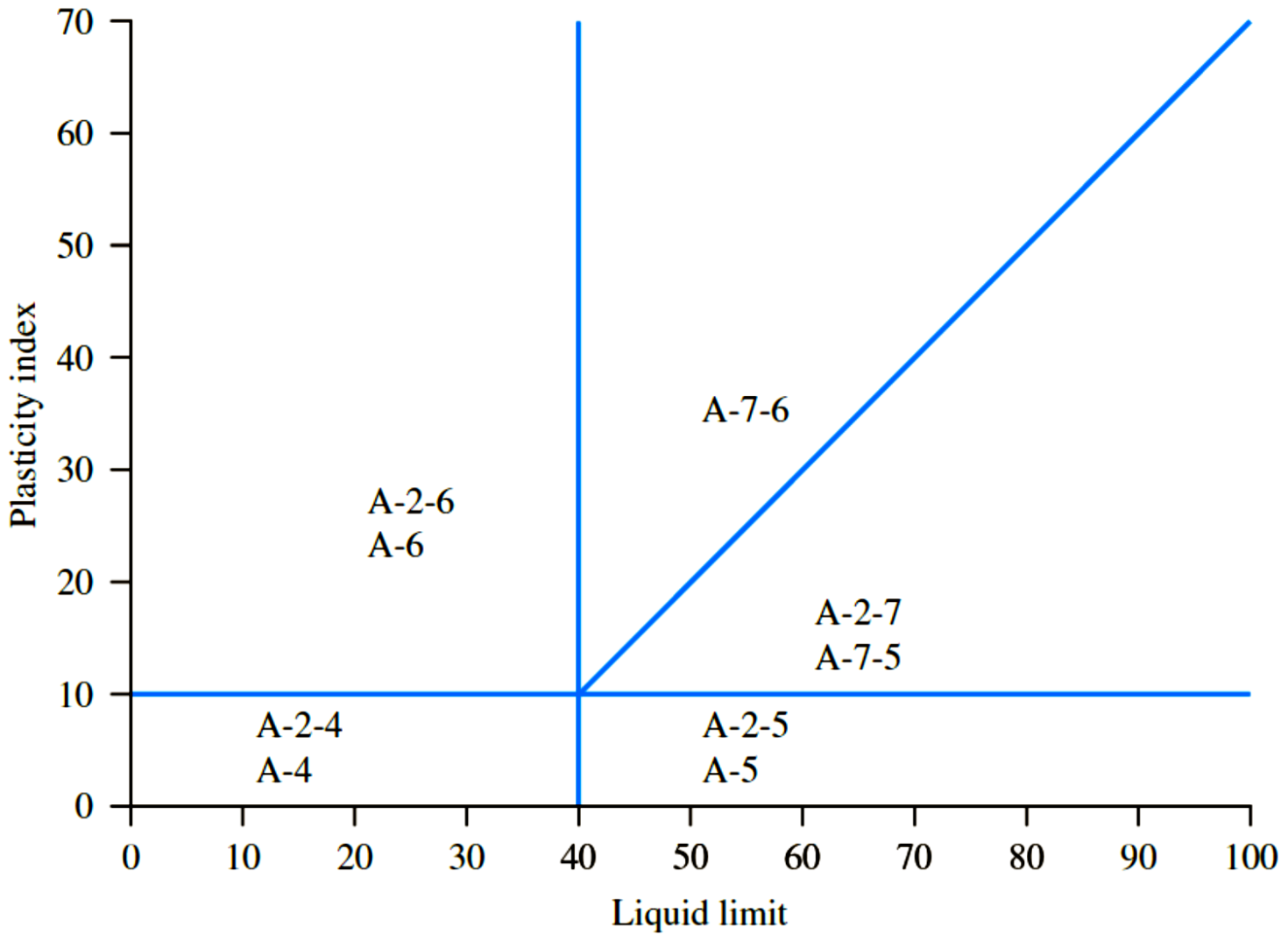
پ: هیچ حد بالایی برای نشانه گروه وجود ندارد.

ت: نشانه گروه خاکهای متعلق به گروههای A-1-a، A-1-b، A-2-4 و A-2-5 و A-2-7 و A-3 همواره مساوی صفر هستند.

ث: در هنگام محاسبه نشانه گروه برای خاکهای متعلق به گروههای A-2-6 و A-2-7، باید از نشانه گروه جزئی مربوط به نشانه خمیری PI استفاده نمود. به عبارت دیگر:

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

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



دامنه حدمایع (روانی) و نشانه خمیری برای خاکهای گروههای A-2، A-4، A-5، A-6 و A-7

سیستم طبقه‌بندی متحد

شکل اولیه این سیستم در سال ۱۹۴۲ توسط گازاگرانده برای ساخت فرودگاههای نظامی به وسیله گروه مهندسان ارتش^{۱۰} در اثنای جنگ جهانی دوم ارائه شد. در سال ۱۹۵۲ با همکاری اداره عمران^{۱۱} ایالت متحده، مورد تجدید نظر قرار گرفت. در حال حاضر این سیستم تحت استاندارد ASTM-D-2487 مورد استفاده وسیع مهندسین قرار دارد. در جدول ۳-۲، ۳-۳ و ۳-۴ سیستم طبقه‌بندی متحد ارائه شده است. این سیستم خاکها را به دو طبقه بزرگ تقسیم می‌نماید:

- ۱- خاکهای درشت‌دانه با طبیعت شنی و یا ماسه‌ای و درصد عبوری کوچکتر از ۵۰ درصد از الک نمرة ۲۰۰. علامت گروههای این طبقه با حروف G یا S شروع می‌شود. علامت G برای شن یا خاکهای شن‌دار و علامت S برای ماسه یا خاکهای ماسه‌دار به‌عنوان حرف اول به‌کار می‌روند.
- ۲- خاکهای ریزدانه با درصد عبوری بزرگتر از ۵۰ درصد از الک نمرة ۲۰۰. علامت گروههای این طبقه با حرف M برای لای غیرآلی و یا C برای رس غیرآلی و O برای لای‌ها و رس‌های آلی شروع می‌شود. علامت Pt برای تورب^{۱۲} و ماک^{۱۳} (خاک‌برگ) و یا سایر خاکها با درجه آلی بزرگ به‌کار می‌رود.

علائمی که به عنوان حروف 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 طبق 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

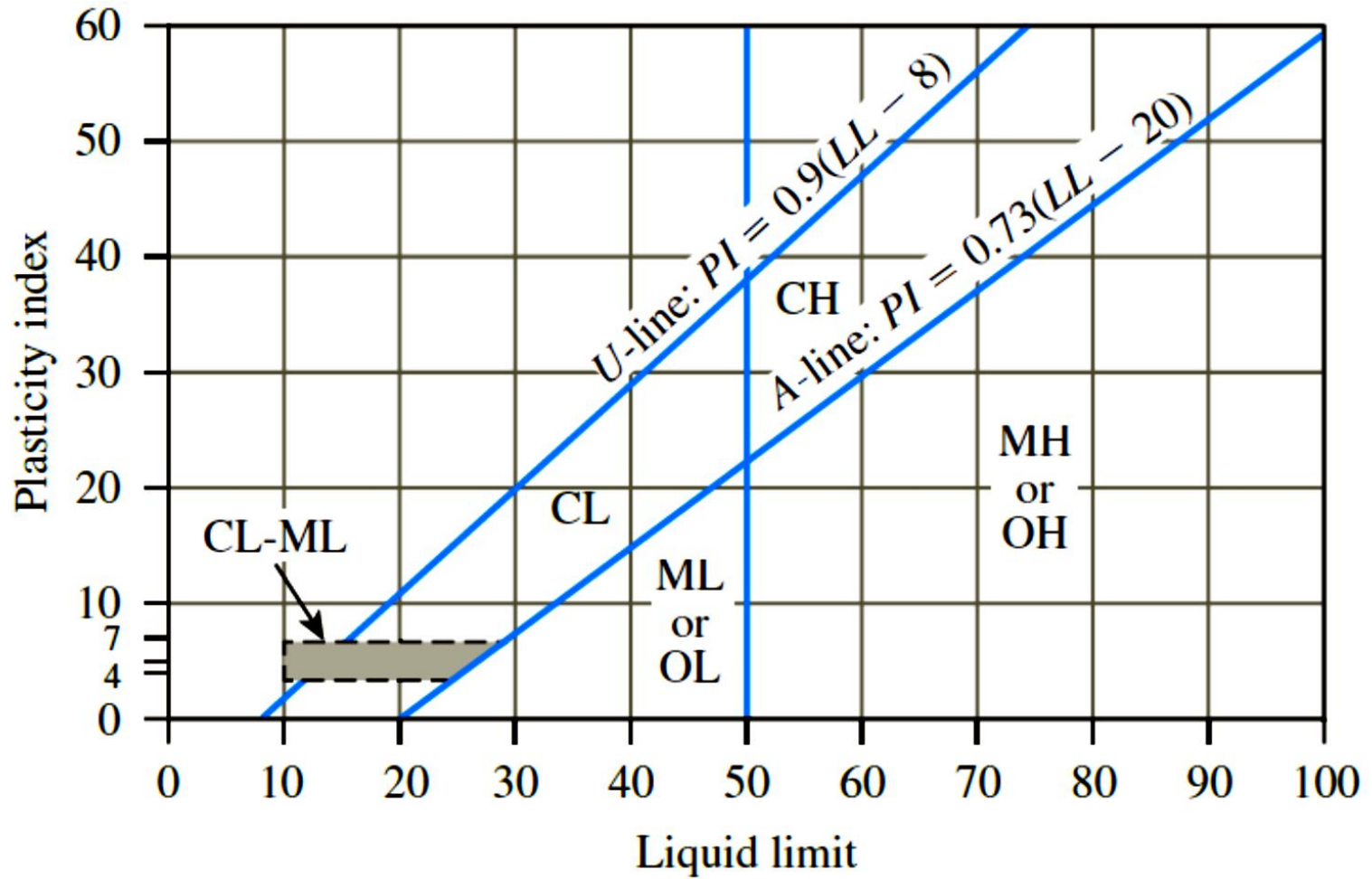
ث: حد مایع و نشانه مایع برای قسمت عبوری از الک نمره ۴۰.

سیستم طبقه‌بندی متحد - علامت گروه برای خاکهای ماسه‌ای

علامت گروه	معیار
SW	عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، C_u بزرگتر یا مساوی ۶ و C_c بین ۱ و ۳
SP	عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچکتر از ۵ درصد، و هیچکدام از دو شرط SW برآورده نمی‌شود
SM	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ زیر خط A قرار می‌گیرد (شکل ۳-۳) یا نشانه خمیری کمتر از ۴ است.
SC	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ بالای خط A است (شکل ۳-۳) و نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است.
SC-SM	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بزرگتر از ۱۲ است. حدود اتربرگ در ناحیه سایه‌خورده شکل ۳-۳ قرار می‌گیرد (ناحیه CL-ML)
SW-SM	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SM برآورده می‌شود
SW-SC	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SW و SC برآورده می‌شود
SP-SM	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SM برآورده می‌شود
SP-SC	درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ است و معیارهای SP و SC برآورده می‌شود

سیستم طبقه‌بندی متحد - علامت گروه برای خاکهای رسی و لای

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



نمودار خمیری

۳-۳ مقایسه بین سیستمهای طبقه‌بندی آشتو و متحد

هر دو سیستم طبقه‌بندی خاک، آشتو و متحد، بر مبنای بافت و خاصیت خمیری خاک قرار دارند. همچنین هر دو سیستم خاکها را با معیار قرار دادن الک نمره ۲۰۰، به دو طبقه درشت‌دانه و ریزدانه تقسیم می‌کنند. طبق سیستم آشتو، در صورتی خاک ریزدانه در نظر گرفته می‌شود که بیشتر از ۳۵ درصد آن از الک نمره ۲۰۰ عبور نماید. طبق سیستم متحد، در صورتی خاک ریزدانه در نظر گرفته می‌شود که بیشتر از ۵۰ درصد آن از الک نمره ۲۰۰ عبور نماید. یک خانه درشت‌دانه که ریزدانه‌های آن بزرگتر از ۳۵ درصد باشد، همانند مصالح ریزدانه رفتار خواهد کرد. علت امر آن است که در خاک به قدر کافی ریزدانه وجود دارد که فضای بین درشت‌دانه‌ها را پر کرده و آنها را از یکدیگر دور نگه دارد. از این نقطه نظر آیین‌نامه آشتو مناسبتر است. در سیستم آشتو الک نمره ۱۰ به عنوان مرز بین ماسه و شن است. در حالی که در سیستم متحد، این مرز الک نمره ۴ می‌باشد. از نقطه نظر محدوده‌های جداکننده اندازه ذرات، الک نمره ۱۰ مقبولیت بیشتری به عنوان حد بالای ماسه دارد. این حد در تکنولوژی بتن و مصالح اساس و زیراساس شاهراهها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سیستم متحد، خاکهای شن دار و ماسه دار به طور واضح از یکدیگر جدا شده اند، لیکن در سیستم آشتو خیر (مخصوصاً گروه A-2 که شامل طیف متنوعی از خاکهاست). علائمی نظیر CH ، SM ، GW و سایرین که در سیستم طبقه بندی متحد مورد استفاده قرار می گیرند، توصیف بهتری از خاکها ارائه می دهند تا حروفی مثل A که در سیستم آشتو مورد استفاده قرار می گیرند. طبقه بندی خاکهای آلی نظیر OH ، OL و Pt در سیستم طبقه بندی متحد منظور شده است. در حالی که در سیستم آشتو جایی برای خاکهای آلی وجود ندارد.