5 الفصل الخامس: تصينف التربة

يمكن لنا أن نصنف ترب مختلفة بخواص مشابهة إلى مجموعات رئيسية ومجموعات ثانوية وفقاً لسلوكها الهندسي. إن نظام التصنيف يعطي للمهندس لغة مفهومة ومختصرة للتعبير عن الخواص العامة للترب، والتي تختلف بشكل لا نهائي من دون الدخول في الوصف التفصيلي. معظم أنظمة تصنيف الترب والتي تم تطويرها لأغراض هندسية مبنية على معاملات وخواص بسيطة مثل التدرج الحبي واللدونة. على الرغم من العديد من أنظمة التصنف التي يتم استخدامها حالياً، إلا أنه لا يوجد نظام يعطي خواص تعريفية كاملة لأي نوع تربة ولكل التطبيقات المحتملة وذلك بسبب التنوع الكبير لخواص التربة.

في هذا الفصل سنقوم بشرح أنظمة تصنيف التربة التي تعتمد إما :

- معيار التحليل الحبي للتربة فقط وهذا ما سنسميه التصنيف النسيجي،
- أو التي تعتمد معيار التحليل الحبي ولدونة التربة التي تؤثر على السلوك الهندسي للتربة، وهنا سنعرض نوعين فقط من التصنيف هما : نظام الآشتو (AASHTO) المستخدم كثيراً في مؤسسات الطرق، أما المهندسين الجيوتكنيكيين ولأغراض الإنشاء يفضل استخدام نظام التصنيف العالمي الموحد Unified Soil Classification System (USCS).

1.5 التصنيف النسيجي

إن نسيج التربة بشكل عام، يشير إلى مظهر السطح. يتأثر نسيج التربة بحجم الحبيبات الموجودة فيها. الجدول (2.3) يقسم التربة إلى مجموعات من البحص، الرمل، السلت، والغضار بناءً على حجم الحبيبة. في معظم الحالات، نجد أن الترب الطبيعية عبارة عن مزيج من حبيبات لمجموعات ذات حجوم مختلفة. في التصنيف النسيجي تسمى التربة بناءً على المكون الرئيسي فيها، مثل: رمل غضاري، أو سلت غضاري وهكذا.

تم تطوير عدد من أنظمة التصنيف النسيجي في الماضي في مختلف المنظمات لكي تخدم احتياجات المهندس الدارس، والعديد من تلك الأنظمة لا تزال تستخدم إلى الآن. الشكل (1.5) يظهر نظام التصنيف النسيجي المطور من قبل الهيئة الأمريكية للزراعة (USDA). إن هذا النظام يعتمد في التصنيف على حدود حجم الحبيبات كما هو مشروح في جدول نظام التصنيف USDA رقم (2.3)، حيث:

- حجم الرمل: ويمتد من قطر حبيبات 2.0 مم وحتى قطر حبيبات 0.05 مم.
- حجم السلت: ويمتد من قطر حبيبات 0.05 مم وحتى قطر حبيبات 0.002 مم.
- حجم الغضار: ويمتد لجميع الحبيبات ذات القطر الأصغر من 0.002 مم.

طريقة استخدام هذا الجدول يمكن شرحها بأفضل شكل عن طريق حل مثال عليها.

إذا كان توزع حجم الحبيبات لتربة A يحتوي : ما نسبته 30% من الرمل، 40% من السلت، 30% من الغضار، وتصنيفها النسيجي يمكن أن يحدد باتباع الأسهم الموضحة في الشكل (1.5)، وتقع هذه التربة في منطقة غنية بالغضار.

لاحظ أن المخطط مبني فقط على الجزيئات التي تمر من المنخل رقم 10، لذلك فإنه في حال كان توزع التدرج الحبي لتربة يحتوي نسبة حبيبات بقطر أكبر من 2 مم لا بد من عمل تصحيح.

مثال على ذلك، في حال كانت التربة B لها تدرج حبي كما يلي: تحتوي نسبة 20% من البحص، 10% من الرمل، 30% من السلت، 40% من الغضار، فإن المكونات النسيجية المعدلة تصبح:

$$\text{نسبة حجم الرمل المعدل} = \frac{\text{نسبة الرمل}}{100 - \text{نسبة البحص}} \times 100$$

$$\text{نسبة حجم السيلت المعدل} = \frac{\text{نسبة السيلت}}{100 - \text{نسبة البحص}} \times 100$$

$$\text{نسبة حجم الغضار المعدل} = \frac{\text{نسبة الغضار}}{100 - \text{نسبة البحص}} \times 100$$

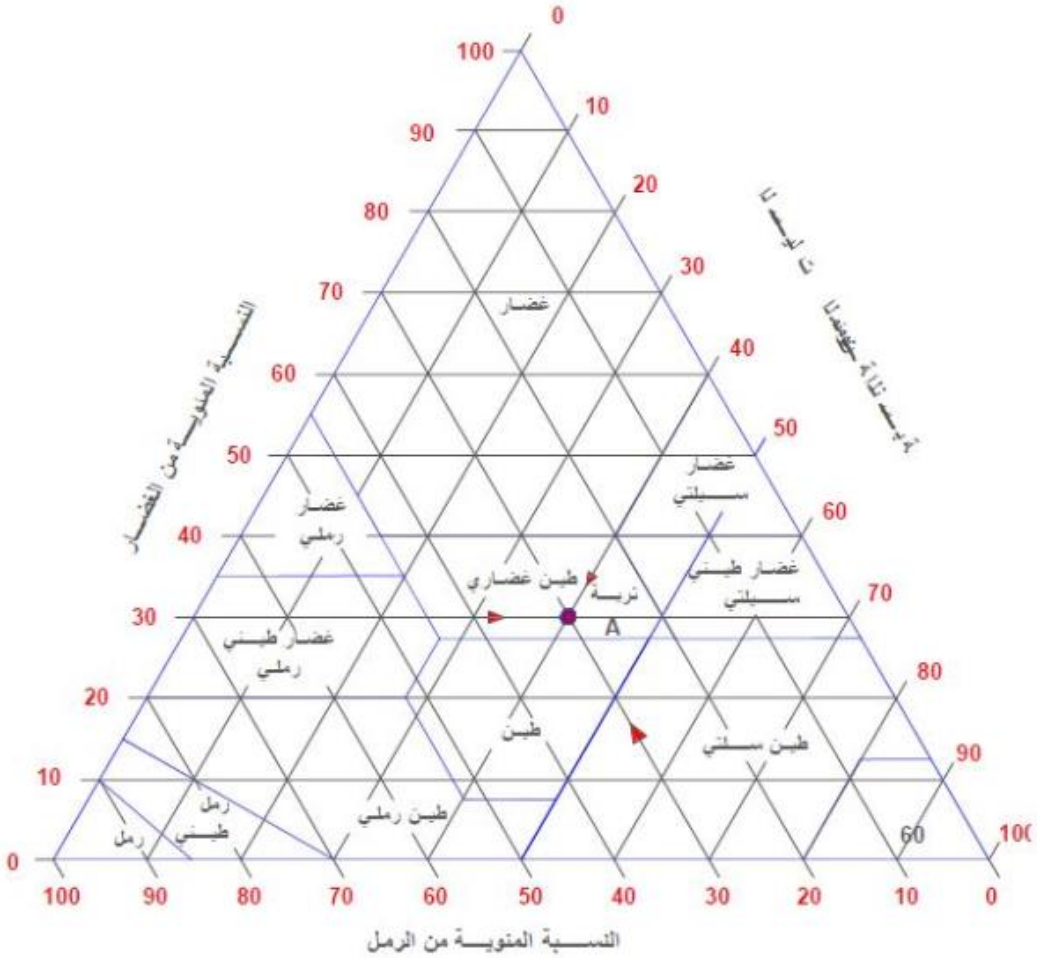
وبناءً على النسب المعدلة فإن تصنيف التربة بحسب USDA هو تربة غضارية.

ملاحظة هامة :

من قواعد المتبعة في هذا التصنيف وبحال كانت مكونات التربة تحتوي نسبة للحبيبات التي قطرها أكبر من 2 مم والتي تتمثل بالبحص، يرى هذا النوع من التصنيف أنه لا مانع من إضافة كلمة البحص قبل النسبة المعدلة المسيطرة على تركيب التربة المدروسة.

وبناءاً على ذلك يمكننا أن **نسمي التربة B بأنها تربة بحصية غضارية.**

العديد من أنظمة التصنيف النسيجي مازالت تستخدم ولكنها لم تعد تستخدم لأغراض الهندسة المدنية.



الشكل (1.5): نظام التصنيف النسيجي المطور من قبل الهيئة الأمريكية للزراعة (USDA)

مثال 1.5:

صنف الترب التالية وفقاً لنظام التصنيف USDA:

نسب مكونات التربة من الحبيبات %	التربة			
	A	B	C	D
البحص	10	21	0	12
الرمل	20	12	18	22
السيلت	41	35	24	26
الغضار	29	32	58	40

الحل :

بما أن التربة تحتوي نسبة محددة لحبيبات قطرها أكبر من 2 مم كالبحص، لا بد من القيام أولاً بحساب النسب المعدلة للرمل والسلت والغضار في هذه التربة كما هو مبين في العلاقات التالية :

النسبة المئوية المعدلة للرمل:

$$\frac{\text{النسبة المئوية للرمل}}{100 - \text{النسبة المئوية للبحص}} \times 100$$

النسبة المئوية المعدلة للسيلت:

$$\frac{\text{النسبة المئوية للسيلت}}{100 - \text{النسبة المئوية للبحص}} \times 100$$

النسبة المئوية المعدلة للغضار:

$$\frac{\text{النسبة المئوية للغضار}}{100 - \text{النسبة المئوية للبحص}} \times 100$$

بالتالي ينتج معنا نسب معدلة لنسب الحبيبات في التربة المدروسة كما هو مبين بالجدول التالي:

نسب مكونات التربة من الحبيبات %	التربة			
	A	B	C	D
البحص	10	21	0	12
الرمل	22.2	15.2	18	25
السيلت	45.6	44.3	24	29.5
الغضار	32.2	40.5	58	45.5

ثانياً ومن القيم المعدلة المحسوبة سابقاً وبالإشارة للشكل (1.5) ولتحديد المنطقة التي تقع فيها التربة نجد أن تسميات الترب هي كما هو مبين بالجدول التالي :

تصنيف التربة			
A	B	C	D
بحص سلتي غضاري (loam)	بحص سيلتي غضاري	غضار	بحص غضاري

ملاحظة : تمّ إضافة كلمة بحص وفقاً لما تمّ ذكرة في قواعد هذا التصنيف.

2.5 التصنيف حسب السلوك الهندسي

على الرغم من أن التصنيف السابق بسيط نسبياً إلا أنه مبني على التركيب الحبي للتربة، ولكن وبحسب سلوك التربة في الواقع، فإن كمية الفلزات الغضارية الموجودة بالترب الناعمة تؤثر بشكل كبير على الخواص الفيزيائية، لذلك يجب على مهندسي التربة أن تأخذ بعين الاعتبار ظاهرة اللدونة والتي تنشأ بسبب وجود الفلزات الغضارية لوصف خواص التربة بشكل صحيح.

بما أن نظام التصنيف النسيجي لا يأخذ بعين الاعتبار ظاهرة اللدونة وهو لا يحدد العديد من الخواص الهامة للتربة، فهو غير ملائم لمعظم الأغراض الهندسية. حالياً يتم استخدام نظامين من التصنيف أكثر تفصيلاً يتم استخدامها بكثرة من قبل مهندسي التربة، وكلا النظامين يأخذ بعين الاعتبار توزع التدرج الحبي وحدود اتربرغ وهما:

1. **المنظمة الامريكية الرسمية للطرق السريعة والمواصلات**

The American Association of state highway and Transportation (AASHTO)

2. **نظام التصنيف العالمي الموحد** (USCS) Unified Soil Classification System.

حيث يتم استخدام نظام الآشتو كثيراً في مؤسسات الطرق. أما المهندسين الجيوتكنيكيين ولأغراض الإنشاء يفضل استخدام نظام التصنيف العالمي الموحد.

3.5 نظام تصنيف الآشتو

تم تطوير نظام تصنيف الآشتو AASHTO في عام 1929 كنظام تصنيف لمديريات الطرق العامة. وقد تم تنقيحه العديد من المرات، والنسخة المعمول بها حالياً مقدمة من قبل:

Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board in 1945 (ASTM designation D-3282; AASHTO method M145).

إن تصنيف الآشتو المستخدم حالياً معطى في الجدول (1.5). وبناءً على هذا النظام يمكن أن تصنف الترب إلى عدة مجموعات رئيسية وعددها سبع مجموعات مرقمة من المجموعة A–1 وحتى المجموعة A–7.

فإذا كانت التربة تحتوي مواد حبيبية بنسبة 35% أو أقل للحبيبات التي تمر من المنخل 200، يمكن أن تصنف التربة في هذه الحالة ضمن المجموعات A–2، A–1 وA–3. أما الترب التي تحتوي على نسبة 35% أو أكثر من الحبيبات تمر من المنخل رقم 200 يتم تصنيفها بحسب هذه الشروط ضمن المجموعات A–4، A–5، A–6 وA–7 ومعظم هذه الترب هي ترب سلتية وغضارية.

إن نظام التصنيف هذا مبني على المعايير التالية:

1. **حجم الحبيبات:**
   I. **البحص:** وهي الحبيبات التي تمر من المنخل الأمريكي قطر (3–in) 75 mm والمحجوزة على المنخل الأمريكي رقم 10 (2 mm).
   II. **الرمل:** وهي الحبيبات التي تمر من المنخل الأمريكي رقم 10 (2 mm) المحجوزة على المنخل رقم 200 (0.075 mm).
   III. **السلت والغضار:** وهي الحبيبات التي تمر من المنخل الأمريكي رقم 200.
2. **اللدونة:** هنا نميز ما بين : مصطلح **تربة سلتية** والذي يستخدم في حالة الترب الناعمة التي **لها قرينة لدونة 10 أو أقل.** أما مصطلح **تربة غضارية** يستخدم في حالة الترب الناعمة التي **لها قرينة لدونة 11 أو أكبر.**
3. **في حال وجود القطع والحجارة الصخرية** cobbles and boulders (والتي قياسها أكبر من 75 مم) يتم استبعادها من عينة التربة التي يتم تصنيفها. ولكن ومن المهم تسجيل نسبة هذه المواد ضمن كتلة التربة المدروسة.

وعليه ولتصنيف الترب وفقاً للجدول (1.5) لا بد من تطبيق البيانات باستخدام الجدول من اليسار لليمين. ومع استمرار الاستقصاء، المجموعة الأولى من اليسار التي توافقها بيانات التجربة تكون هي التصنيف الصحيح.

الشكل (2.5) يظهر مخطط لمجالات متنوعة من حد السيولة وقرينة اللدونة والتي تقع ضمن المجموعات A–2، A–4، A–5، A–6، A–7، ولتقييم جودة هذه التربة كمادة تأسيس للطرقات لابد من معرفة رقم مهم جداً ويسمى **بمعامل المجموعة (GI) للمجموعات الرئيسية والثانوية للتربة**. يتم كتابة هذا المعامل بين قوسين بعد تحديد تصنيف ومجموعة التربة.

ويعطى معامل المجموعة بالمعادلة التالية:

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10) \quad (1.5)$$

حيث:

F_{200} = نسبة المار من المنخل رقم 200.

LL = حد السيولة.

PI = قرينة اللدونة.

إن أول حد في المعادلة (1.5) هو :

$$(F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$$

ويعبر عن معامل المجموعة الجزئي المحدد من خلال حد السيولة.

أما الحد الثاني هو :

$$0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

فإنه يعبر عن معامل المجموعة الجزئي المحدد من خلال قرينة اللدونة.

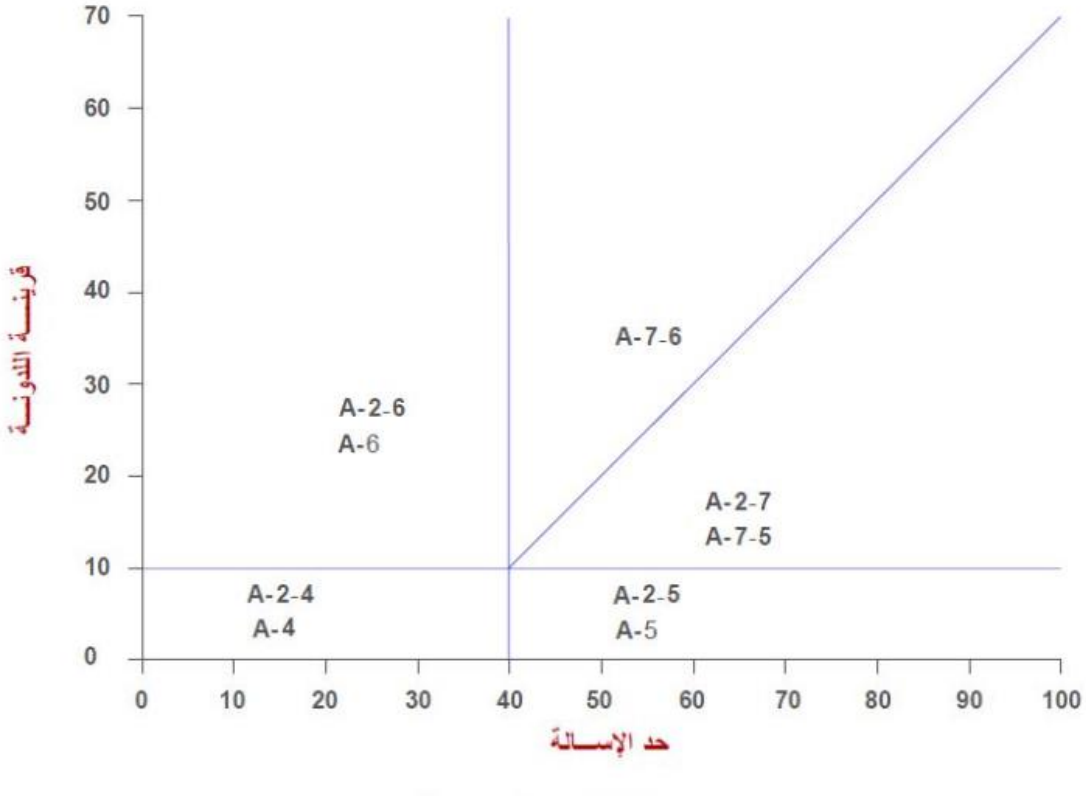
أما عن التعليمات التي توضح بعض قوانين تحديد معامل المجموعة فهي :

1. إذا أعطت المعادلة (1.5) قيمة سالبة، علينا أن نأخذ قيمة معامل المجموعة مساو للصفر.
2. يتم تقريب معامل المجموعة في المعادلة (1.5) لأقرب رقم صحيح (مثال: GI = 3.4 يقرب ليصبح 3 وGI = 3.5 تقرب ليصبح 4).
3. لا يوجد حد أعلى لمعامل المجموعة.
4. معامل المجموعة للترب التي تنتمي للمجموعات A–1–a، A–1–b، A2–4، A–2–A–3،5 يؤخذ مساو للصفر.

5. عندما يتم حساب معامل المجموعة للترب المنتمية للمجموعات A−2−6 وA−2−7 يؤخذ معامل المجموعة الجزئي الخاص بقرينة اللدونة PI كما يلي :

$$GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10) \qquad (2.5)$$

عموماً، جودة أداء تربة معينة كطبقة تأسيس يتناسب عكسياً مع معامل المجموعة.



الشكل (2.5): مجال حد السيولة وحد اللدونة لمجموعات التربة
A-2, A-4, A-5, A-6, and A-7

الجدول (1.5): تصنيف الترب حسب نظام الأشتو

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						

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

[a] For A-7-5, $PI \leq LL - 30$

[b] For A-7-6, $PI > LL - 30$

مثال 2.5:

أظهرت تجربة التحليل الحبي لتربة النتائج التالية:

- نسبة المار من المنخل رقم 10 = 100 %
- نسبة المار من المنخل رقم 40 = 80 %
- نسبة المار من المنخل رقم 200 = 58 %

أما بالنسبة للترب المارة من المنخل رقم 40 فكان حد السيولة 30 % وقرينة اللدونة 10.

المطلوب تصنف التربة وفق نظام تصنيف الآشتو.

الحل:

باستخدام الجدول رقم (1.5) وبما أن نسبة المار من المنخل رقم 200 هي 58 % بالتالي فهي تقع ضمن تصنيف ترب غضارية – سلتية أي ضمن المجموعات A–4، A–5، A–6، A–7 وبالتالي بمتابعة التصنيف ومن المعادلة 1.5 نحسب معامل المجموعة من خلال :

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

$$GI = (58 - 35)[0.2 + 0.005(30 - 40)] + 0.01(58 - 15)(10 - 10)$$

$$GI = 3.43 \approx 3$$

بالتالي تصنيف التربة هو: **A–4(3)**.

مثال 3.5:

إذا كانت نسبة المار من المنخل رقم 200 هي 95% وحد السيولة 60% وقرينة اللدونة 40.

المطلوب تصنف التربة وفق نظام تصنيف الآشتو.

الحل:

حسب الجدول رقم (1.5)، تقع التربة تحت المجموعة A–7 (وبمتابعة بشكل مشابه للمثال 2.5) ومع ملاحظة أن:

$$40\ (PI)\ >\ 60(LL) - 30$$

وبالتالي تصنيف التربة أصبح: A–7–6، أما بالنسبة لمعامل المجموعة فهو:

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

$$GI = (95 - 35)[0.2 + 0.005(60 - 40)] + 0.01(95 - 15)(40 - 10)$$

$$GI = 42$$

وبالتالي تصنيف التربة النهائي هو **A−7−6(42)**.

مثال 4.5:

صنف التربة التالية وفق نظام تصنيف الآشتو:

- نسبة المار من المنخل رقم 10 = 90%
- نسبة المار من المنخل رقم 40 = 76%
- نسبة المار من المنخل رقم 200 =34%
- حد السيولة للأجزاء بعد المنخل رقم 40 = 37
- قرينة اللدونة للأجزاء بعد المنخل رقم 40 =12

الحل:

نلاحظ أن نسبة المار من المنخل رقم 200 أقل من 35% وبالتالي التربة تقع ضمن تصنيف ترب حبيبية ومن الجدول (1.5) نجد أن تصنيف التربة هو A−2−6 ومن المعادلة (2.5):

$$\boldsymbol{GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)}$$

حيث: $F_{200} = 34$,PI = 12

$$\boldsymbol{GI = 0.01(34 - 15)(12 - 10) = 0.38 \cong 0.0}$$

وبالتالي تصنيف التربة هو **A−2−6 (0)**.

4.5 نظام التصنيف العالمي الموحد

الشكل الأولي لهذا النظام تم تقديمه من قبل المهندس كزاغراندي (Casagrande) في العام 1942 وذلك للاستخدام في أعمال بناء مدرجات الطائرات بناء على طلب إدارة الهندسة العسكرية الأمريكية خلال الحرب العالمية الثانية Army Corps of Engineers، وبالتعاون مع طلب مكتب الدراسات الأمريكية: U.S. Bureau of Reclamation، تم مراجعة هذا النظام عام 1952.

حالياً يتم استخدام هذا النظام بشكل واسع من قبل المهندسين والمعروف عالمياً والمعمول به في أغلب مخابر الدراسات (ASTM Test Designation D-2487). ويظهر الجدول (2.5) نظام التصنيف العالمي الموحد.

الجدول (2.5): نظام التصنيف العالمي الموحد.

Criteria for assigning group symbols				Group symbol
Coarse-grained soils More than 50% of retained on No. 200 sieve	**Gravels** More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels Less than 5% fines[a]	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$[c] $C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3$[c]	GW GP
		Gravels with Fines More than 12% fines[a,d]	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) $PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	GM GC
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5% fines[b]	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3$[c] $C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3$[c]	SW SP
		Sands with Fines More than 12% fines[b,d]	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) $PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SM SC
Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	**Silts and clays** Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)[e] $PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)[e]	CL ML
		Organic	$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OL zone	OL
	Silts and clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line (Figure 5.3) PI plots below "A" line (Figure 5.3)	CH MH
		Organic	$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OH zone	OH
Highly Organic Soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			Pt

[a] Gravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

[b] Sands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] If $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol GC-GM or SC-SM.

[e] If $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol CL-ML.

يصنف هذا النظام التربة إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

1. **الترب خشنة التدرج الحبي:** والتي هي تربة بحصية أو تربة رملية في طبيعتها بنسبة مار أقل من 50% خلال المنخل رقم 200. رمز هذه المجموعة يبدأ بالرمز G أو S.G والدالة على ترب بحصية أو ترب رملية بحصية، والرمز S يدل على رمل أو ترب رملية.
2. **الترب ناعمة التدرج الحبي:** وهي الترب التي تحتوي نسبة مار 50% أو أكثر من المنخل رقم 200، رمز هذه المجموعة يبدأ بالرمز M والذي يدل على الترب السلتية اللاعضوية، الرمز C للدلالة على الترب اللاعضوية الغضارية، أو الرمز O للدلالة على السلت أو الغضار العضوي أما الرمز Pt للدلالة على الخبث والترب عالية العضوية.

رموز أخرى مستخدمة بالتصنيف وهي:

- W: جيدة التدرج الحبي.
- P: سيئة التدرج الحبي.
- L: ذات لدونة منخفضة (حد اللدونة أقل من 50)
- H: ذات لدونة مرتفعة (حد اللدونة أكبر من 50)

إن الترب البحصية التي تحتوي نسبة نواعم من 5% إلى 12% تتطلب رموز مزدوجة:

GW–GM, GW–GC, GP–GM, GP–GC

كذلك الحال في الترب الرملية التي تحتوي نسبة نواعم من 5% إلى 12% تتطلب رموز مزدوجة:

.SW–SM, SW–SC, SP–SM, SP–SC

في حال كانت قيمة قرينة اللدونة للتربة محصورة بالمجال ($4 \leq PI \leq 7$) ووقعت في خارج المنطقة المهشرة المبينة على الشكل (3.5) يجب استخدام الرموز المزدوجة GC–GM أو SC–SM.

أما في حال كانت قيمة قرينة اللدونة للتربة محصورة بالمجال ($4 \leq PI \leq 7$) ووقعت داخل المنطقة المهشرة المبينة على الشكل (3.5) يجب استخدم رموز مزدوجة CL – ML.

لأغراض تتعلق بالتصنيف في هذا النظام لا بد من معرفة المعلومات التالية:

1. **نسبة البحص:** وهي نسبة المار من المنخل بقطر فتحات 76.2 مم وتحجز على المنخل رقم 4 (ذو قطر فتحات 4.75 مم).
2. **نسبة الرمل:** وهي نسبة المار من المنخل رقم 4 (ذو قطر فتحات 4.75 مم) وتحجز على المنخل رقم 200 (ذو قطر فتحات 0.075 مم).
3. **نسبة الغضار والسلت:** وهي نسبة المار من المنخل رقم 200 ذو قطر الفتحات 0.075 مم.
4. معامل التجانس هو Cu ومعامل التدرج Cc.
5. حد السيولة وقرينة اللدونة هي لأجزاء الترب المارة من المنخل رقم 40.

حيث رموز المجموعات للترب الحبيبية الخشنة هي:

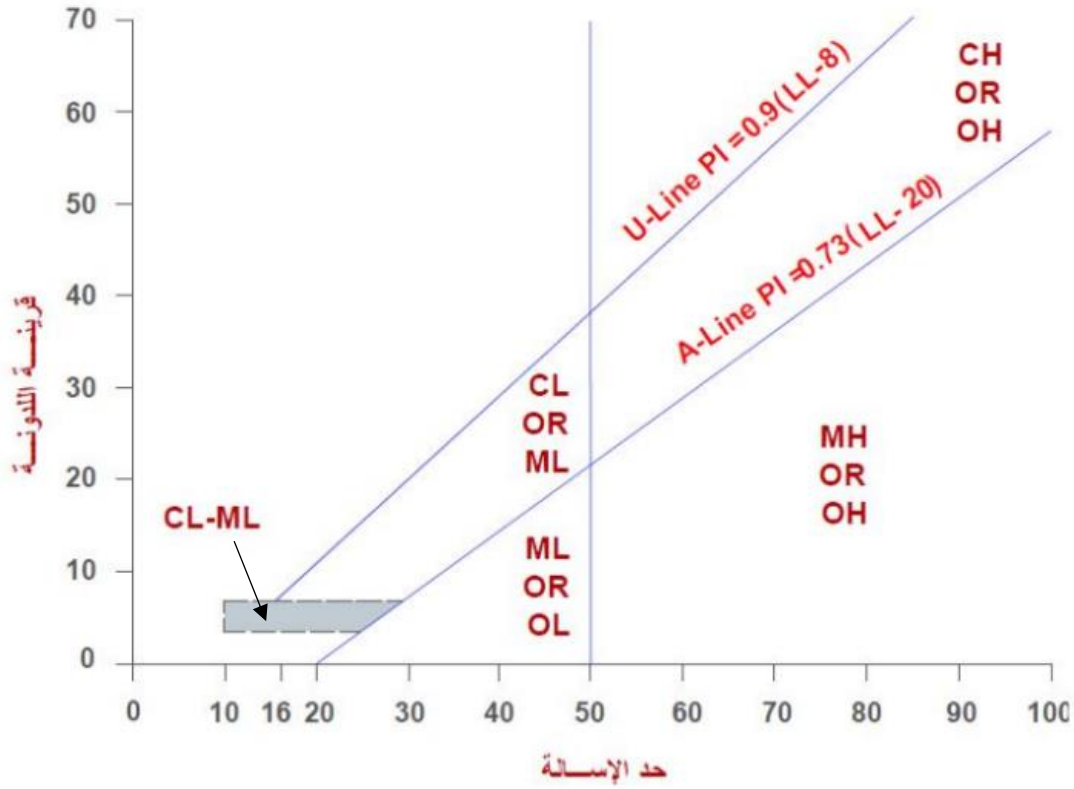
GW, GP, GM, GC, GC–GM, GW–GM, GW–GC, GP–GM, GP–GC

أما رموز المجموعات للترب الناعمة هو:

CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL–ML, Pt.

وحديثاً، أنتجت لجنة المواصفات ASTM المواصفة D–2487 المفصلة لتحديد اسم المجموعة التي تنتمي إليها التربة. وهذه الأسماء ملخصة في الشكل 4.5 و6.5 وباستخدام هذه الأشكال، لا بد من أن نتذكر ومن أجل حالة تربة معطاة أن :

- الحبيبات الناعمة = نسبة المار من المنخل رقم 200.
- الحبيبات الخشنة = نسبة المحجوز على المنخل رقم 200.
- حبيبات البحص = نسبة المحجوز على المنخل رقم 4.
- حبيبات الرمل = (نسبة المحجوز على المنخل رقم 200)–(نسبة المحجوز على المنخل رقم 4).



الشكل (3.5): تصنيف التربة بحسب حدود أتربرغ (تصنيف كزاغراندي)

5.5 ملخص ومقارنة بين نظام تصنيف AASHTO ونظام تصنيف USCS

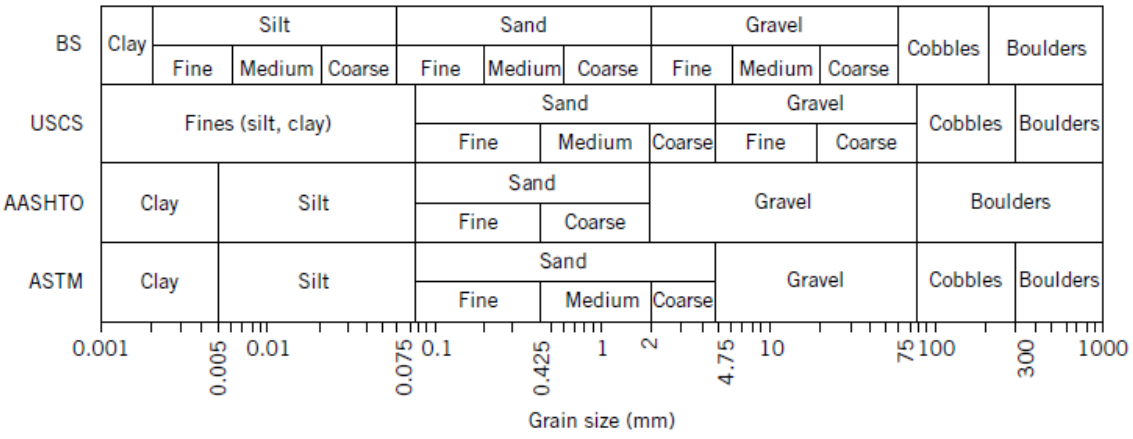
كلا نظامي التصنيف المعتمدين AASHTO وUSCS مبني على ظاهرة النسيج وظاهرة اللدونة للتربة وهذين النظامين يقسما التربة إلى مجموعتين رئيسيتين هما: التربة خشنة التدرج الحبي أو التربة ناعمة التدرج الحبي والمفصولة بالمنخل رقم 200.

بناءً على نظام تصنيف AASHTO، تعتبر التربة ناعمة التدرج الحبي عندما يمر ما نسبته 35% من المنخل رقم 200. وبناءً على نظام USCS تعتبر التربة ناعمة التدرج الحبي عندما يمر ما نسبته أكثر من 50% من المنخل رقم 200.

الترب الخشنة والتي تملك نسبة 35% من النواعم سوف تتصرف كمواد ناعمة التدرج الحبي وهذا بسبب وجود نواعم كافية لملئ الفراغات بين الحبيبات الخشنة والمثبتة لها.

في نظام AASHTO، يستخدم المنخل رقم 10 لفصل البحص عن الرمل، وفي نظام التصنيف الموحد يستخدم المنخل رقم 4. ومن وجهة نظر الحدود الفاصلة بين الحبيبات، المنخل رقم 10 هو الأكثر استخداماً من أجل الرمل. ويستخدم هذا الحد في البيتون وتكنولوجيا طبقات التأسيس للطرقات.

ويمكننا أن نقدم جدول للمقارنة ما بين طرق التصنيف المشرحة سابقاً وطرق أخرى مثل ASTM و طرق التصنيف وفق الكود البريطاني BS. كما هو مبين بالجدول التالي :



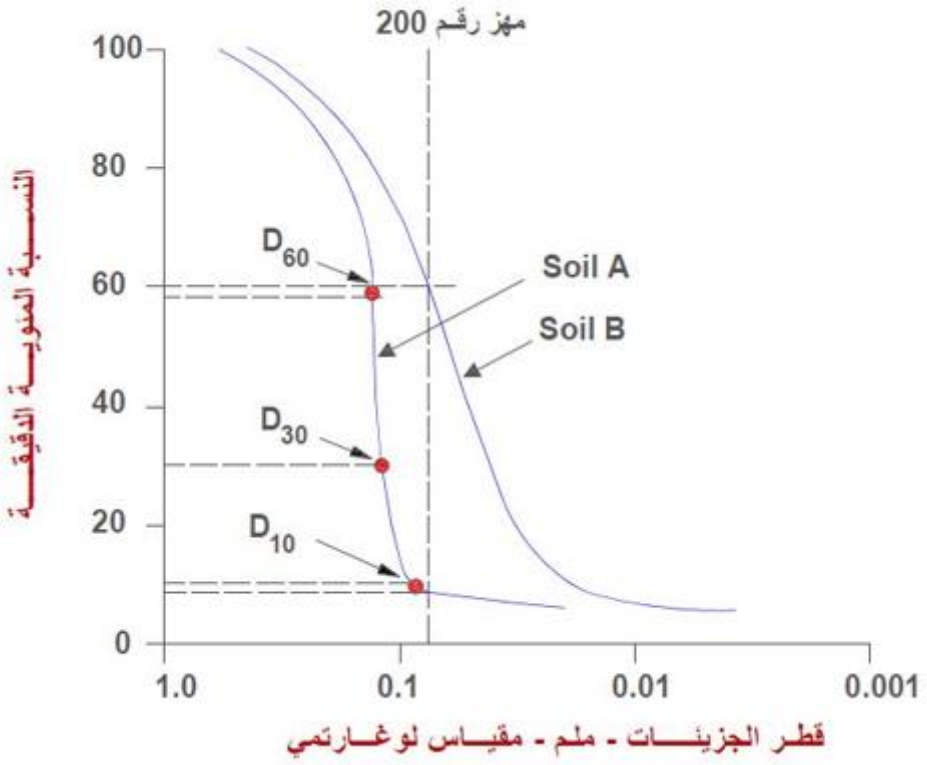
جدول يبين حدود الفصل وتسمية التربة وفقاً لعدة طرق من التصنيف.

مثال 5.5:

من أجل منحني التدرج الحبي للتربتين الموضحين بالشكل (4.5)، وأيضاً حد السيولة وقرينة اللدونة للأجزاء المارة من المنخل رقم 40 والمبينة بالجدول التالي:

	تربة A	تربة B
حد السيولة (LL)	30	26
حد اللدونة (PL)	22	20

المطلوب تحديد رمز واسم المجموعة لكل تربة وفق تصنيف USCS.



الشكل (4.5): الترب المختبرة

الحل: للتربة A

حسب منحني التدرج الحبي للتربة A والمبين في الشكل (4.5) وبرفع خط شاقولي عند المنخل 0.075 مم ليقطع المنحني المرسوم، نجد أن نسبة المار هي 8 % ووفق جدول التصنيف USCS

نجد أنها تربة حبيبية خشنة، وبالمثل نجد أن نسبة المحجوز على المنخل رقم 4 هي 0 % بالتالي التربة رملية، ومن الشكل (4.5) نجد أن:

$$D_{10} = 0.085 \text{ mm}, D_{30} = 0.12 \text{ mm}, D_{60} = 0.135 \text{ mm}$$

وبالتالي:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.135}{0.085} = 1.59 < 6$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0.12)^2}{(0.135)(0.085)} = 1.25 > 1$$

وبما أن حد السيولة LL=30 وقرينة اللدونة PI = 30 − 22 = 8 > 7 بالتالي فإنها تقع فوق الخط A–Line في الشكل (3.5) لذلك رمز المجموعة هو **SP–SC**.

ولتحديد اسم المجموعة، فنجد أن نسبة البحص = 0 وهي أقل من 15% بالتالي اسم المجموعة:

تربة حبيبية خشنة رملية مع قليل من الغضار

poorly graded sand with clay

التربة B:

حسب منحني التدرج الحبي للتربة B من الشكل (4.5) وبرفع خط شاقولي عند المنخل 0.075 مم ليقطع المنحني نجد أن نسبة المار هي 61 % ووفق جدول التصنيف USCS نجد أنها تربة حبيبية ناعمة وبما أن حد السيولة LL = 26 وقرينة اللدونة PI = 26 − 20 = 6 وبالتالي فإنها تقع ضمن المنطقة المهشرة في الشكل (3.5) لذلك رمز المجموعة هو **CL–ML**.

ولتحديد اسم المجموعة وبفرض أن التربة غير عضوية من الشكل 5.5 وحسب نسبة المحجوز على المنخل 200 والتي تساوي 30 < 39 = 61 − 100 نجد أن نسبة البحص = 0 ونسبة الرمل هي 39 =61 − 100 وبالتالي بما أن نسبة الرمل أكبر من نسبة البحص فإن اسم المجموعة:

رمل سيلتي غضاري

sandy silty clay

مثال 6.5:

صنف التربة التالية وفق نظام تصنيف USCS واذكر رمز المجموعة واسمها:

- نسبة المارمن المنخل رقم 4 تساوي 70 .
- نسبة المار من المنخل رقم 200 تساوي 30.
- حد السيولة = 33.
- حد اللدونة = 12.

الحل:

باستخدام الجدول رقم 2.5 وبما أن نسبة المار من المنخل رقم 200 أقل من 50 % بالتالي فالتربة حبيبية خشنة وعليه فإن:

- نسبة الحبيبات الخشنة: % 70 = 30 – 100
- نسبة البحص هي نسبة المحجوز على المنخل رقم 4: % 30 = 70 – 100

وبالتالي أكثر من 50 % مرت من المنخل رقم 4 بالتالي فإن التربة تسمى تربة رملية.

وبما أن نسبة المار من المنخل رقم 200 أكبر من 12 % فرمز المجموعة هو SM or SC

وحسب الشكل (3.5) وبما أن حد السيولة يساوي 33 وقرينة اللدونة تساوي 21 = 12 – 33 فإن التربة تقع فوق الخط A–Line ورمزها هو **SC**، ومن الشكل (4.5) وبما أن نسبة البحص أكبر من 15 % بالتالي اسم المجموعة:

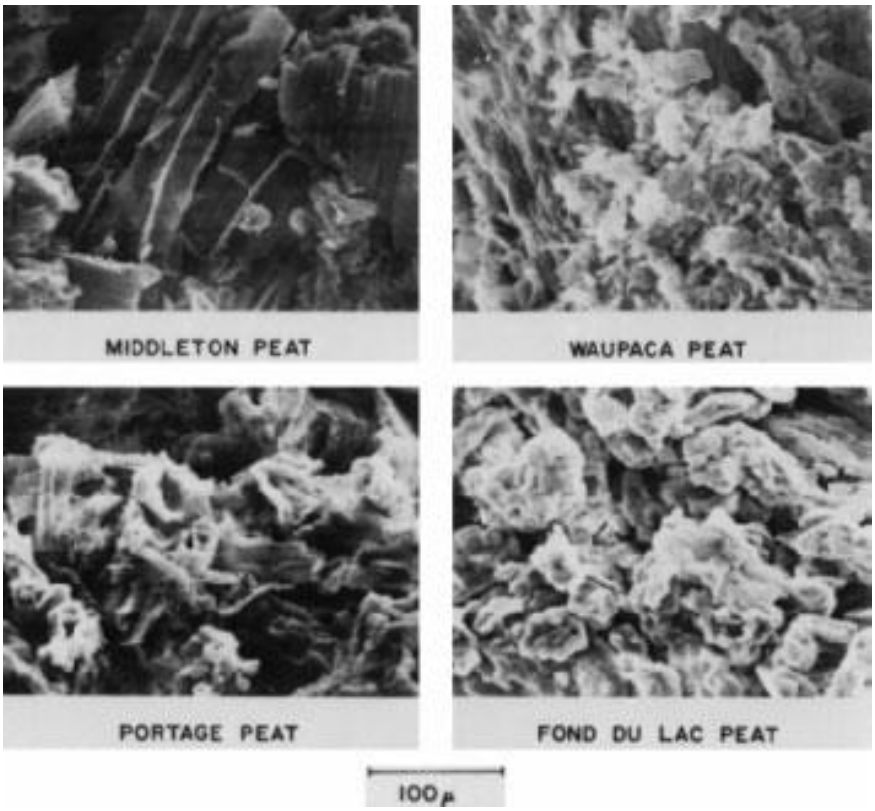
غضار رملي مع بحص

clayey sand with gravel.

في نظام التصنيف الموحد، الترب البحصية والترب الرملية مفصولة بشكل واضح، ولكن في نظام AASHTO ليسوا كذلك. المجموعة A–2 بالذات تحوي تنوع كبير للترب. رموز مثل GW,SM,CH ورموز أخرى تستخدم في نظام الآشتو تعد أفضل وصفاً لخواص التربة من المجموعة ذات الرمز A المستخدمة في نظام الآشتو.

تصنيف الترب العضوية مثل OL, OH, Pt موجود في نظام التصنيف العالمي الموحد. أما حسب نظام الآشتو لا يوجد مكان للترب العضوية. الخبث يحوي عادة محتوى رطوبة عالي، وزن نوعي للأجزاء الصلبة منخفض ووزن حجمي منخفض، الشكل (5.5) يظهر المسح الالكتروني الميكروغرافي لأربع عينات خثية مأخوذة من Wisconsin وبعض خواص الخبث معطاة في الجدول (3.5).

قارن الباحث Liu في العام (1967) نظام الآشتو مع نظام التصنيف الموحد. وكانت نتائج دراسته موضحة في الجدول 4.5 و5.5.



الشكل (5.5): المسح الالكتروني الميكروغرافي لأربع عينات خثية مأخوذة من Wisconsin

(*After Dhowian and Edil, 1980. Copyright ASTM INTERNATIONAL. Reprinted with permission.*)

الجدول (3.5): خواص الخبث

Source of peat	Moisture content (%)	Unit weight kN/m³	Unit weight lb/ft³	Specific gravity, G_s	Ash content (%)
Middleton	510	9.1	57.9	1.41	12.0
Waupaca County	460	9.6	61.1	1.68	15.0
Portage	600	9.6	61.1	1.72	19.5
Fond du Lac County	240	10.2	64.9	1.94	39.8

الجدول (4.5): المقارنة ما بين نظام الآشتو ونظام التصنيف الموحد

Soil group in AASHTO system	Comparable soil groups in Unified system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

*After Liu (1967)
Source: From A Review of Engineering Soil Classification Systems. In Highway Research Record 156, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1967, Table 5, p. 16. Reproduced with permission of the Transportation Research Board.

الجدول (5.5): المقارنة ما بين نظام التصنيف الموحد ونظام الآشتو

Soil group in Unified system	Comparable soil groups in AASHTO system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

*After Liu (1967)
Source: From A Review of Engineering Soil Classification Systems. In Highway Research Record 156, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1967, Table 6, p. 17. Reproduced with permission of the Transportation Research Board.

111

6.5 أمثلة غير محلولة

1. صنف الترب التالية باستخدام نظام:

U.S. Department of Agriculture textural classification chart:

	نسبة الحبيبات (%)		
التربة	رمل	سيلت	غضار
A	20	20	60
B	55	5	40
C	45	35	20
D	50	15	35
E	70	15	15

2. النتائج التالية هي لتحليل حبي منخلي لعشر ترب وحد السيولة واللدونة للجزيئات المارة من المنخل رقم 40. صنف هذه الترب باستخدام نظام AASHTO وأوجد معاملات المجموعات.

	التحليل المنخلي: نسبة المار (%)				
رقم التربة	منخل رقم 10	منخل رقم 40	منخل رقم 200	حد السيولة %	حد اللدونة %
1	98	80	50	38	29
2	100	92	80	56	23
3	100	88	65	37	22
4	85	55	45	28	20
5	92	75	62	43	28
6	48	28	6	–	NP
7	87	62	30	32	24
8	90	76	34	37	25
9	100	78	8	–	NP
10	92	74	32	44	35

3. صنف الترب التالية باستخدام نظام التصنيف العالمي الموحد. أعطي رمز المجموعة واسمها.

	التحليل المنخلي: نسبة المار (%)		حد السيولة %	حد اللدونة %	ملاحظات
رقم التربة	منخل رقم 4	منخل رقم 200			
1	94	3	–	NP	C_u = 4.48
2	100	77	63	25	C_c = 1.22
3	100	86	55	28	
4	100	45	36	22	
5	92	48	30	8	
6	60	40	26	4	
7	99	76	60	32	

4.من أجل تربة لاعضوية، التحليل الحبي المنخلي معطى بالتالي:

رقم المهزة	نسبة المار (%)
4	100
10	90
20	64
40	38
80	18
200	13

ومن أجل هذه التربة، LL = 23% و PL = 19% صنف التربة باستخدام:

1. نظام تصنيف الآشتو.
2. نظام التصنيف العالمي الموحد.
3. أعطي اسم المجموعة ورمزها.

7.5 المراجع

1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1982). AASHTO Materials، Part I، Specifications، Washington، D.C.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2007). Annual Book of ASTM Standards ،Sec. 4، Vol. 04.08، West Conshohoken، Pa.
3. CASAGRANDE، A. (1948). "Classification and Identification of Soils،" Transactions، ASCE ،Vol. 113، 901–930.
4. DHOWIAN، A. W.، and EDIL، T. B. (1980). "Consolidation Behavior of Peats،" Geotechnical Testing Journal، ASTM، Vol. 3، No. 3، 105–114.
5. LIU، T. K. (1967). "A Review of Engineering Soil Classification Systems،" Highway Research Record No. 156، National Academy of Sciences، Washington، D.C.، 1–22.