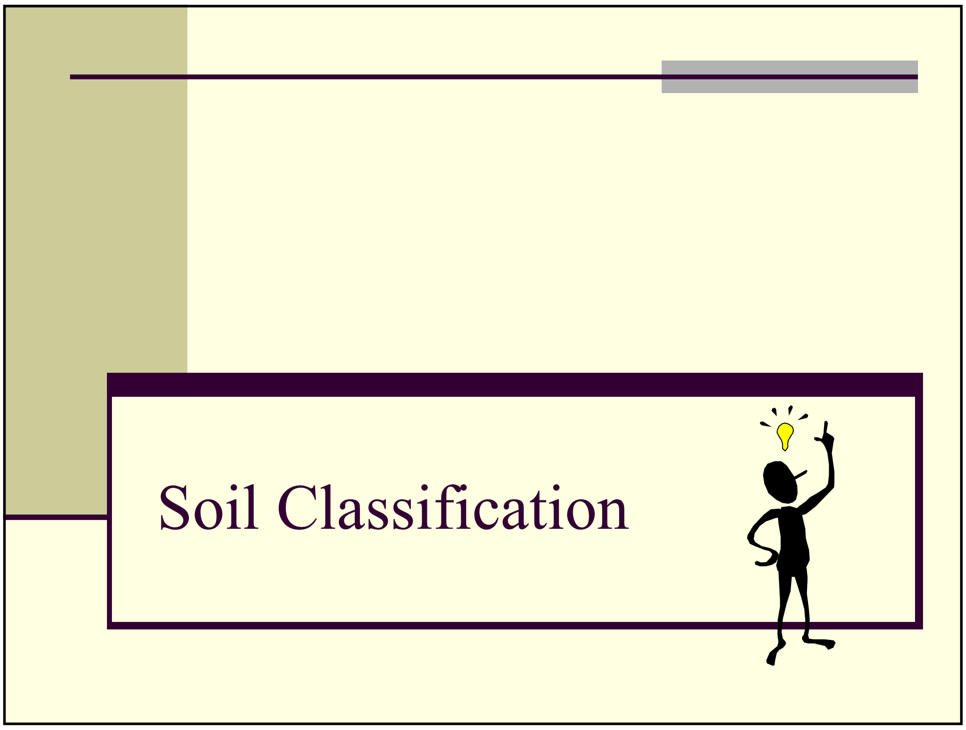
1



2

Need for Simple Classification

- Usually soil on site has to be used.
  - Soils differ from other engineering materials in that one has little control over their properties
- Extent and properties of the soil have to be determined
- Cheap and simple tests are required to give an indication of engineering properties, e.g. stiffness, strength, for preliminary design

The classification must use core samples obtained from the ground. This information is often supplemented by in-situ tests such as cone penetration tests.

3

Objectives

- To group soils of similar geotechnical characteristics; and
- To assign symbols.

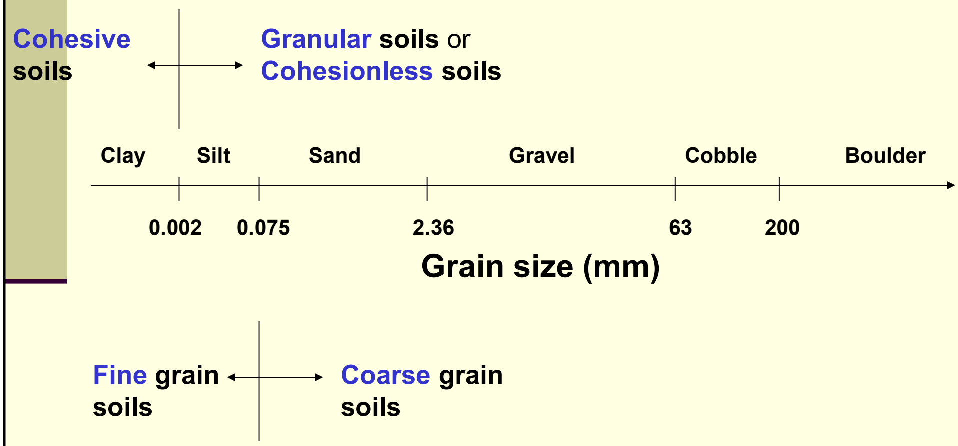
4

Classification based on Particle Size

- Particle size is used because it is related to mineralogy
  - e.g. very small particles usually contain clay minerals
- Broad Classification
  - Coarse grained soils
    - sands, gravels - visible to naked eye
  - Fine grained soils
    - silts, clays, organic soils

5

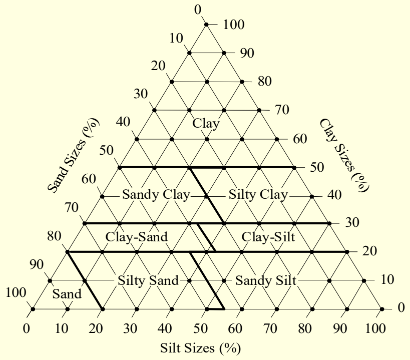
Major Soil Groups



6

Simple Classification

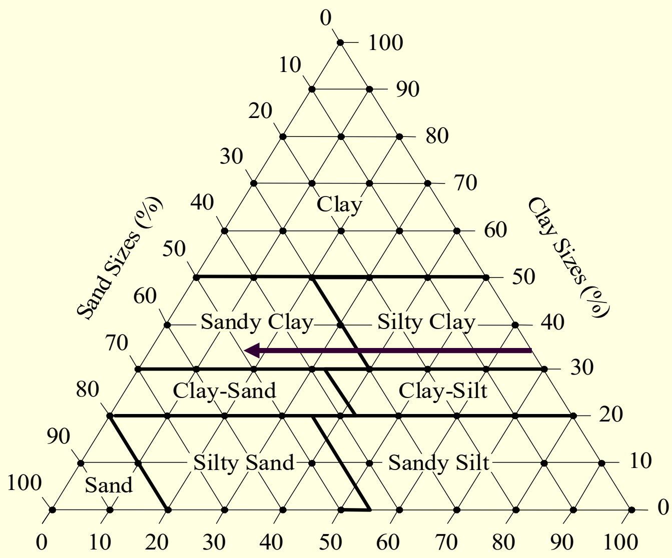
- In general soils contain a wide range of particle sizes
- Some means of describing the characteristics of soils with different proportions of sand/silt/clay is required.



- Note the [illegible] 20% control behaviour

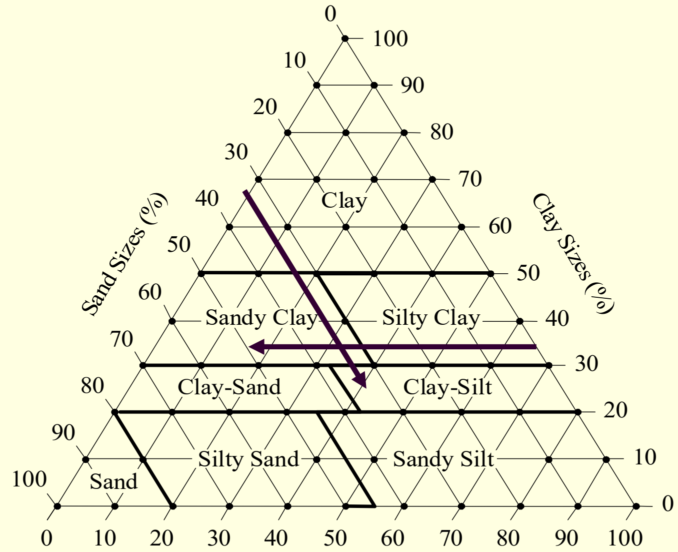
7

Example: equal amounts sand/silt/clay



8

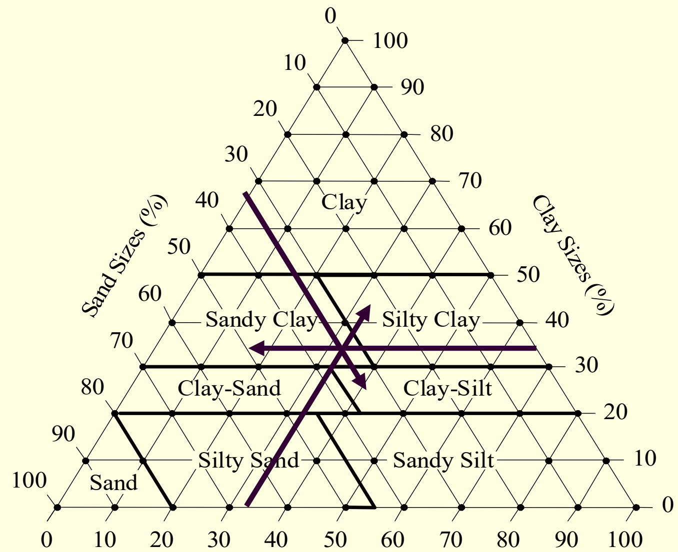
Example: equal amounts sand/silt/clay



پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۹

9

Example: equal amounts sand/silt/clay



پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۱۰

10

Grain Size Distribution

Significance of GSD:

- To know the relative proportions of different grain sizes.

- An important factor influencing the geotechnical characteristics of a **coarse** grain soil.

- Not important in fine grain soils.

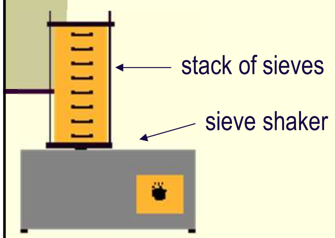
11

Grain Size Distribution

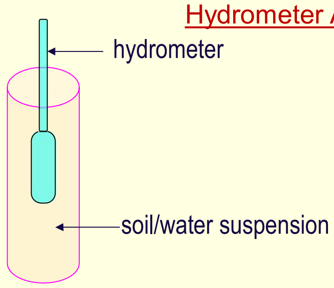
Determination of GSD:

- In coarse grain soils …… By sieve analysis
- In fine grain soils …… By hydrometer analysis

Sieve Analysis



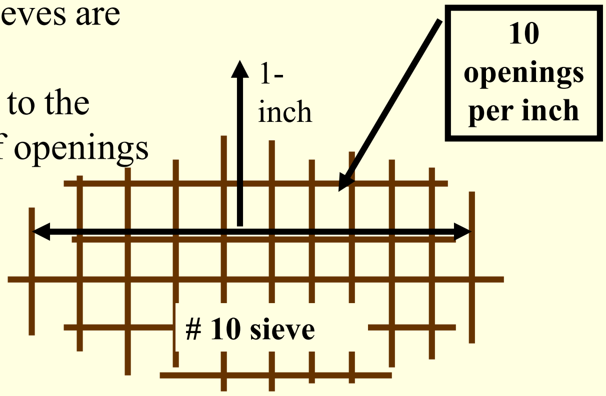
Hydrometer Analysis



12

Sieve Designation - Smaller

Smaller sieves are numbered according to the number of openings per inch

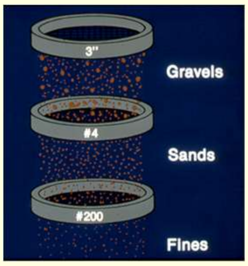


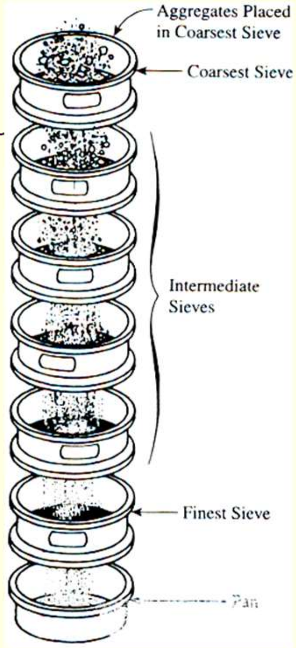
Fine-Grained vs. Coarse-Grained Soils

- U.S. Standard Sieve - *No. 200*
  - 0.0029 inches
  - 0.074 mm
- "*No. 200*" means...

Sieve Analysis (Mechanical Analysis)

- This procedure is suitable for coarse grained soils
- e.g. No.10 sieve …. has 10 apertures per linear inch





15

ASTM Standard Sieves

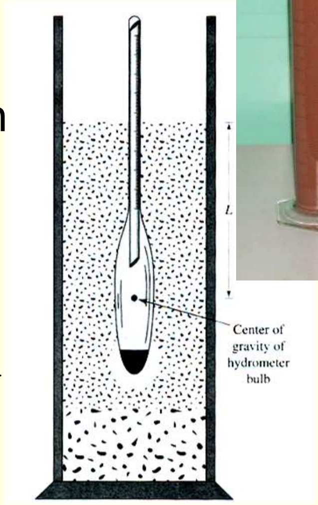
Sieve Identification	Opening Size (in)	Opening Size (mm)	Sieve Identification	Opening Size (in)	Opening Size (mm)
3 inch	3.00	76.2	#16	0.0465	1.18
2 inch	2.00	50.8	#20	0.0335	0.850
1½ inch	1.50	38.1	#30	0.0236	0.600
1 inch	1.00	25.4	#40	0.0167	0.425
3/4 inch	0.75	19.0	#50	0.0118	0.300
3/8 inch	0.375	9.52	#60	0.00984	0.250
#4	0.187	4.75	#100	0.00591	0.150
#8	0.0929	2.36	#140	0.00417	0.106
#10	0.0787	2.00	#200	0.00295	0.075

16

Hydrometer Analysis

- Also called Sedimentation Analysis
- Stoke's Law

$$v = \frac{D^2 \gamma_w (G_s - G_L)}{18\eta}$$



پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۱۷

17

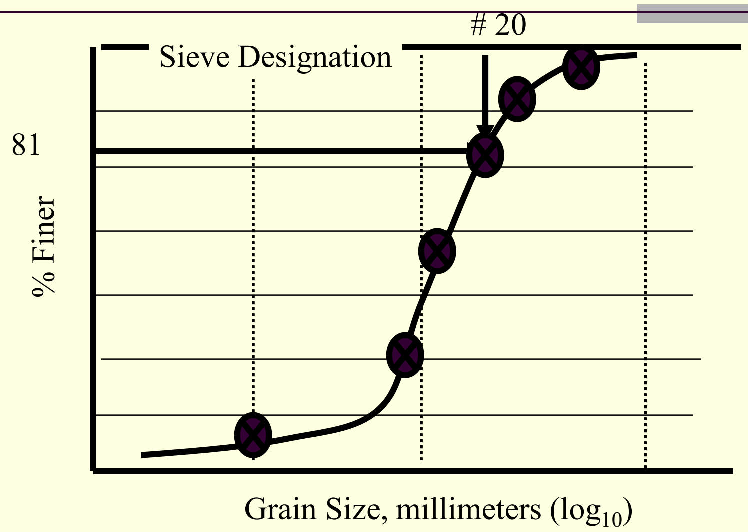
Particle Size Definition

- System based only on particles smaller than 3-inches
- Cobbles are 3"to 12"
- Boulders are > 12"

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۱۸

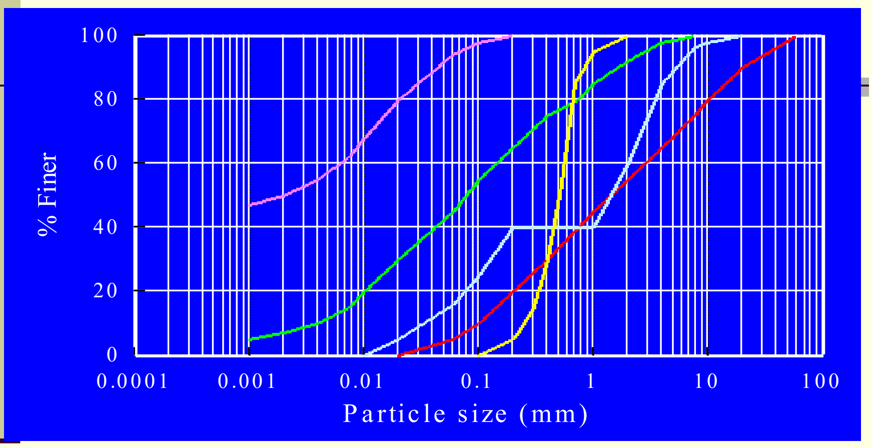
18

Grain-size Distribution



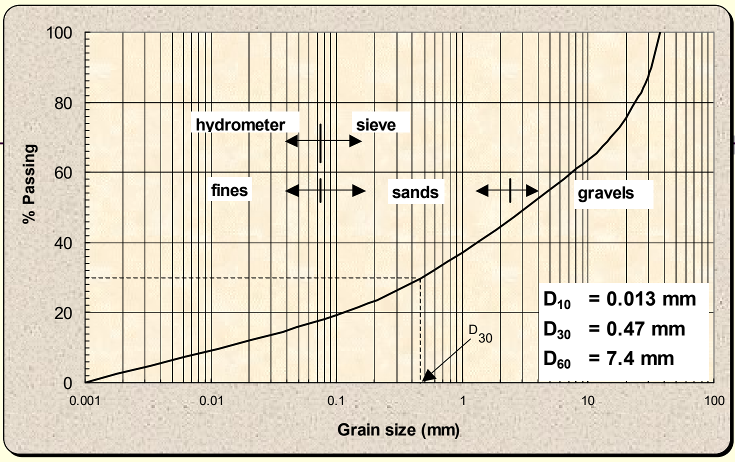
19

Grain Size Distribution Curves



W	Well graded
U	Uniform
P	Poorly graded
C	Well graded with some clay
F	Well graded with an excess of fines

20



Grain Size Distribution Curve

- can find % of gravels, sands, fines
- define D_{10}, D_{30}, D_{60}.. as above.

Well or Poorly Graded Soils

Well Graded Soils

Wide range of grain sizes present

Gravels: C_c = 1-3 & C_u >4

Sands: C_c = 1-3 & C_u >6

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} . D_{10}}$$

Poorly Graded Soils

Others, including two special cases:

(a) **Uniform** soils – grains of same size

(b) **Gap** graded soils – no grains in a specific size range

Soil Plasticity

- Further classification within fine-grained soils (i.e. soil that passes #200 sieve) is done based on soil plasticity.
- Albert Atterberg, Swedish Soil Scientist (1846-1916)…..series of tests for evaluating soil plasticity
- Arthur Casagrande adopted these tests for geotechnical engineering purposes

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۲۳

23

Soil Consistency Limits

- **Albert Atterberg** (1846-1916) Swedish Soil Scientist

  ….. Developed series of tests for evaluating consistency limits of soil (1911)
- **Arthur Casagrande** (1902-1981)

  ……Adopted these tests for geotechnical engineering purposes

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۲۴

24

Arthur Casagrande (1902-1981)

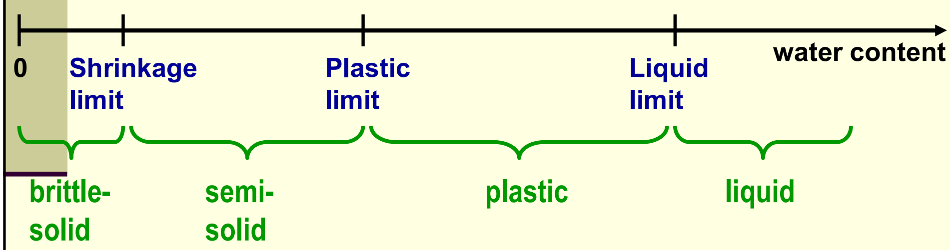
- Joined Karl Terzaghi at MIT in 1926 as his graduate student
- Research project funded by Bureau of Public Roads
- After completion of Ph.D at MIT Casagrande initiated Geotechnical Engineering Program at Harvard
- Soil Plasticity and Soil Classification (**1932)**

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ **Prepared by: S.A.A.Fatemi** ۲۵

25

Atterberg Limits

- Border line **water contents**, separating the different **states** of a fine grained soil

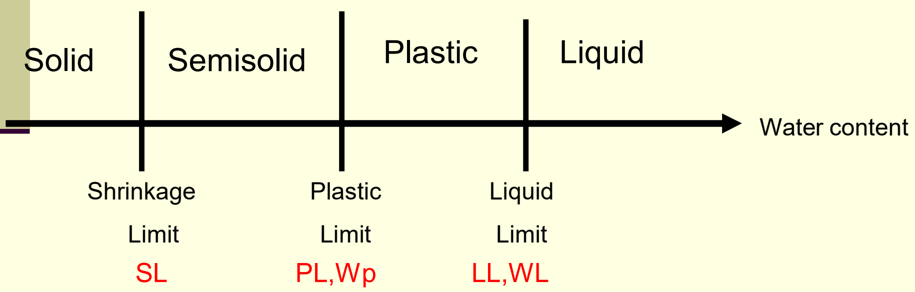


پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ **Prepared by: S.A.A.Fatemi** ۲۶

26

Atterberg Limits

- Consistency of fine-grained soil varies in proportion to the water content



27

Atterberg Limits

Liquid Limit (w_L or LL):

Clay flows like liquid when w > LL

Plastic Limit (w_P or PL):

Lowest water content where the clay is still plastic

Shrinkage Limit (w_S or SL):

At w<SL, no volume reduction on drying

28

Liquid Limit (LL or w_L)

- Empirical Definition
- The moisture content at which a 2 mm-wide groove in a soil pat will close for a distance of 0.5 in when dropped 25 times in a standard brass cup falling 1 cm each time at a rate of 2 drops/sec in a standard liquid limit device

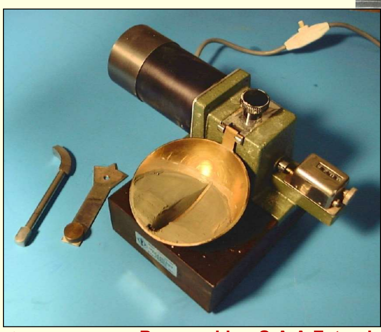
Casagrande Apparatus

Casagrande Apparatus


31

Liquid Limit Definition

- The water content at which a groove cut in a soil paste will close upon 25 repeated drops of a brass cup with a rubber base

32

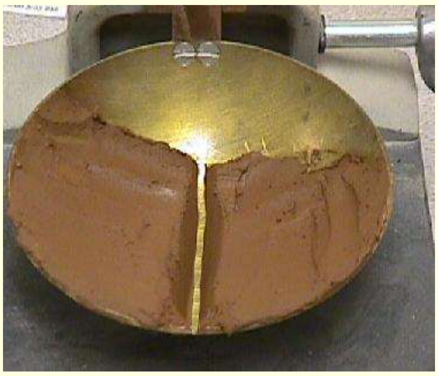
LL Test Procedure

- Prepare paste of soil finer than # 4
sieve
- Place Soil in Cup

33

LL Test Procedure

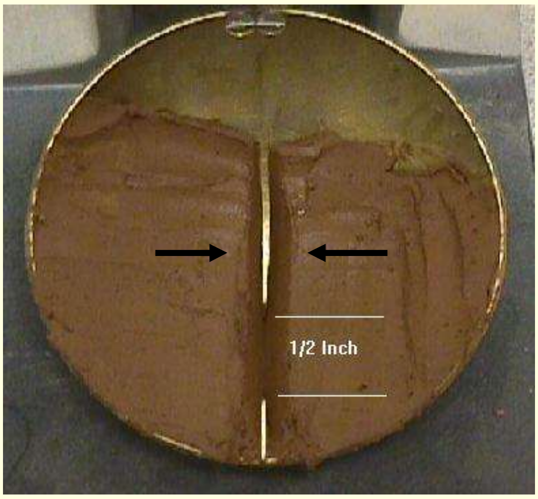
- Cut groove in soil paste with standard grooving tool



34

LL Test Procedure

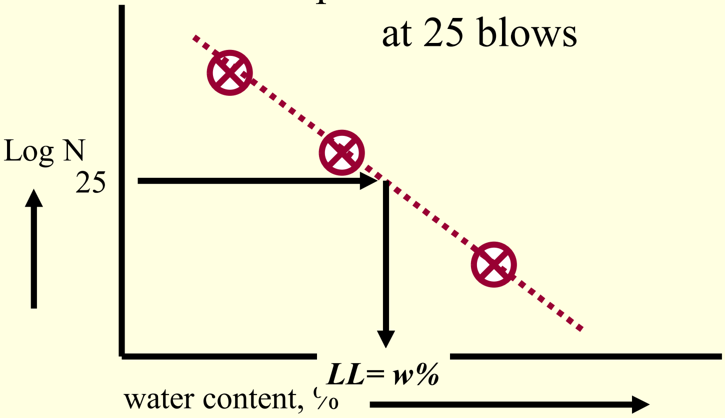
- Rotate cam and count number of blows of cup required to close groove by 1/2”



35

LL Test Results

Interpolate LL water content at 25 blows



36

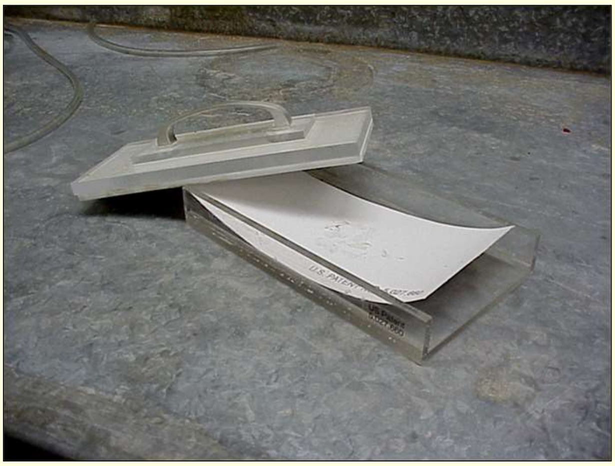
Plastic Limit (PL, w_P)

- The moisture content at which a thread of soil just begins to crack and crumble when rolled to a diameter of 1/8 inches

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۳۷

37

Plastic Limit (PL, w_P)



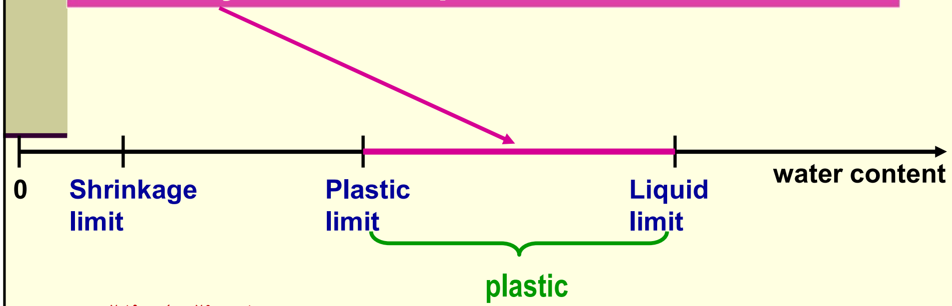
پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۳۸

38

Plasticity Index (PI)

- Range of water content over which the soil remains plastic

Plasticity Index = Liquid Limit – Plastic Limit



Plasticity Index (PI, I_P)

- $PI = LL - PL$

  or $I_P = w_L - w_P$

- Note: These are *water contents*, but the percentage sign is not typically shown.

Liquidity Index (LI, I_L)

Can be written as: $$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

Or: $$I_L = \frac{w - w_P}{I_P}$$ = relative Consistency

Range of Plasticity Index

Plasticity Index, I_P	Classification	Dry Strength	Visual–Manual Identification of Dry Sample
0 - 3	Nonplastic	Very low	Falls apart easily
3 - 15	Slightly plastic	Slight	Easily crushed with fingers
15 - 30	Medium plastic	Medium	Difficult to crush with fingers
> 30	Highly plastic	High	Impossible to crush with fingers

⇩ Increasing clay content

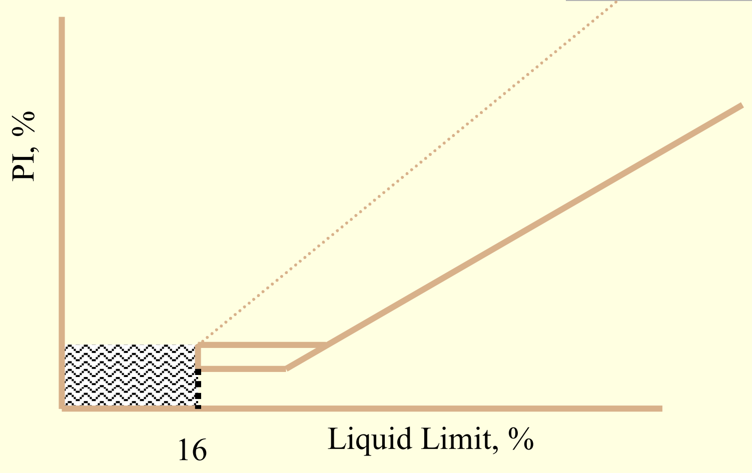
Activity

$$A = \frac{PI}{Percentage \cdot of \cdot soil \cdot in \cdot clay \cdot size}$$

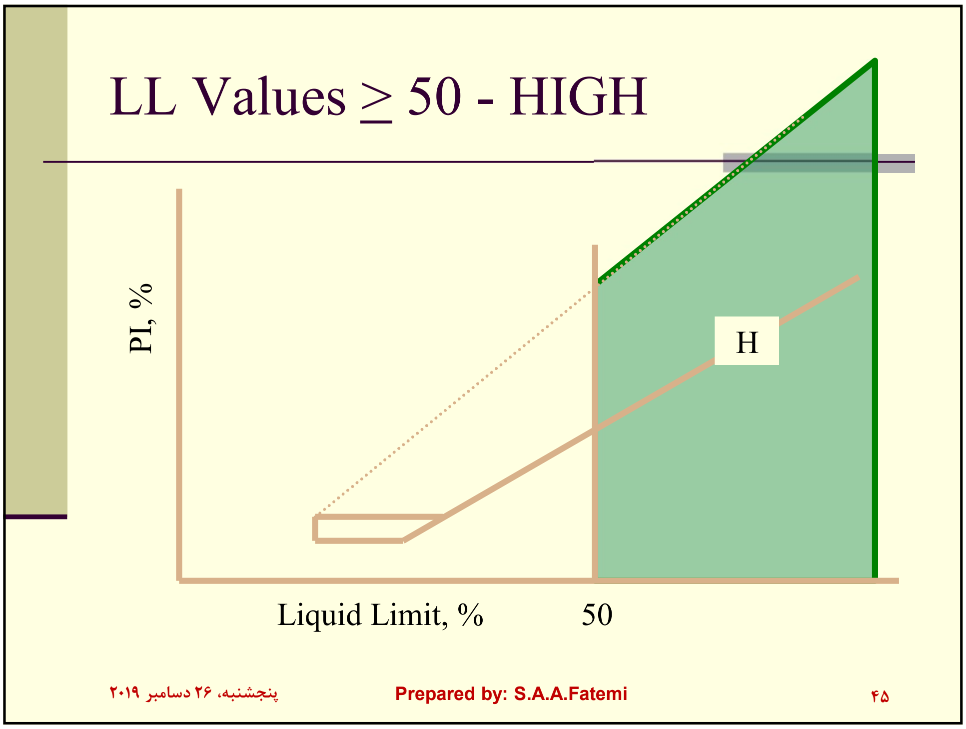
Mineral	Activity
Smectites	1-7
Illite	0/5-1
Kaolinite	0/5

43

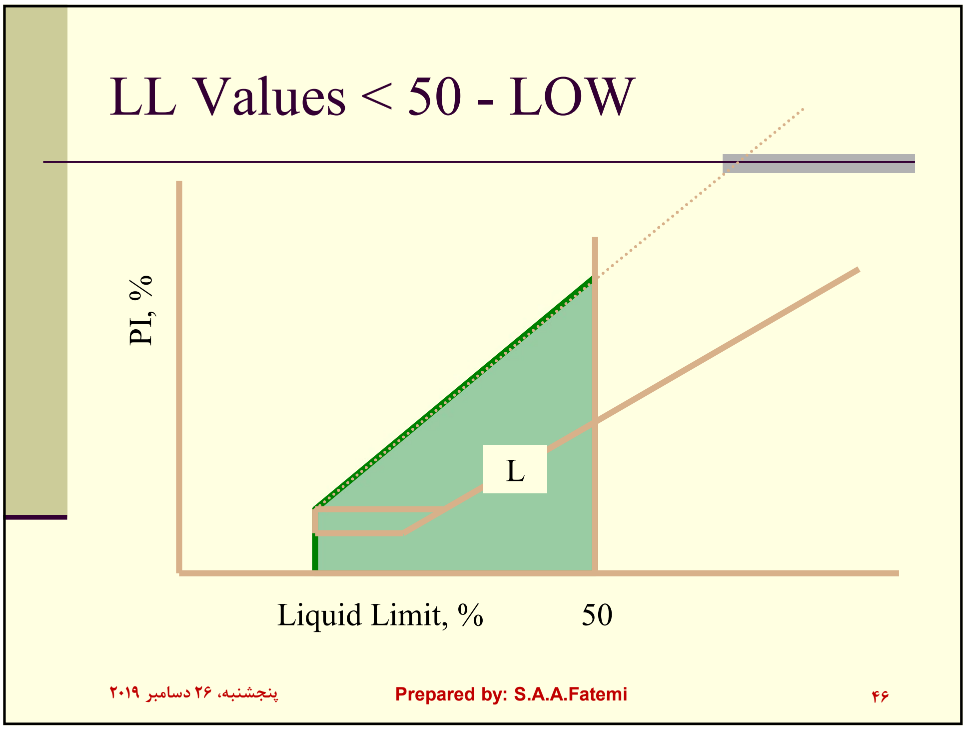
LL Values < 16 % not realistic



44


LL Values ≥ 50 - HIGH
PI, %
H
Liquid Limit, %
50
پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹
Prepared by: S.A.A.Fatemi
۴۵

45


LL Values < 50 - LOW
PI, %
L
Liquid Limit, %
50
پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹
Prepared by: S.A.A.Fatemi
۴۶

46

Plasticity Chart

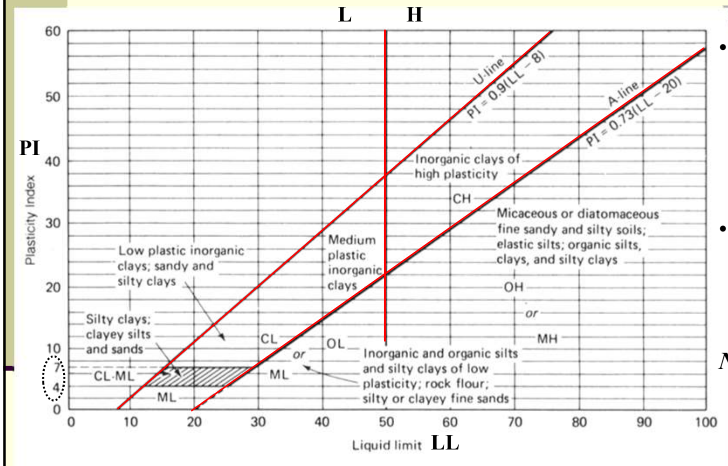


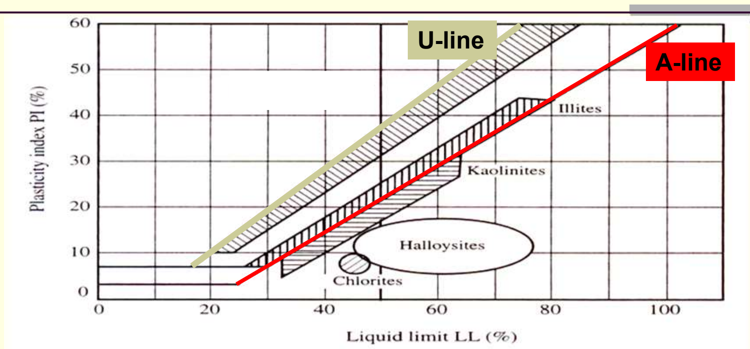
Fig. 3.2 Casagrande's plasticity chart, showing several representative soil types (developed from Casagrande, 1948, and Howard, 1977).

- The A-line generally separates the more claylike materials from silty materials, and the organics from the inorganics.
- The U-line indicates the upper bound for general soils.

Note: If the measured limits of soils are on the left of U-line, they should be rechecked.

(Holtz and Kovacs, 1981)

Plasticity Chart

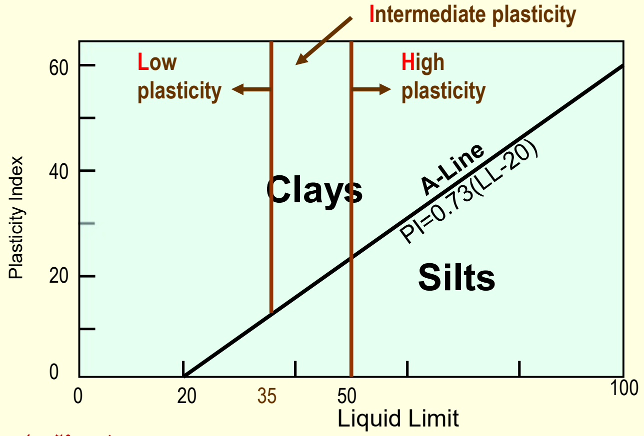


$$A \rightarrow PI = 0.73(LL - 20)$$

$$U \rightarrow PI = 0.9(LL - 8)$$

Classifying Fines

- Purely based on LL and PI



Engineering Characterization of Soils used for Classification

Soil Properties that Control its Engineering Behavior

- Particle Size
  - Sieve Analysis
  - Hydrometer Analysis

coarse-grained

- Particle/Grain Size Distribution
- Particle Shapes (?)

fine-grained

- Soil Plasticity

Purpose of soil Classification

- Classifying soils into groups with similar behavior, in terms of *simple* indices, can provide geotechnical engineers a general guidance about engineering properties of the soils through the *accumulated experience*.

Communicate between engineers

Simple indices GSD, LL, PI → Classification system (Language) → Estimate engineering properties → Achieve engineering purposes

Use the accumulated experience

Soil Classification Systems

- **Two commonly used systems:**
- Unified Soil Classification System (USCS).
  - British Soil Classification System (BSCS)
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) System

Unified Soil Classification System (USCS)

Origin of USCS:

This system was first developed by Professor A. Casagrande (1948) for the purpose of airfield construction during World War II. Afterwards, it was modified by Professor Casagrande, the U.S. Bureau of Reclamation, and the U.S. Army Corps of Engineers to enable the system to be applicable to dams, foundations, and other construction.

Four major divisions:
(1) Coarse-grained
(2) Fine-grained
(3) Organic soils
(4) Peat

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۵۳

53

Symbols

- **Soil symbols:**
- G: Gravel
- S: Sand
- M: Silt
- C: Clay
- O: Organic
- Pt: Peat

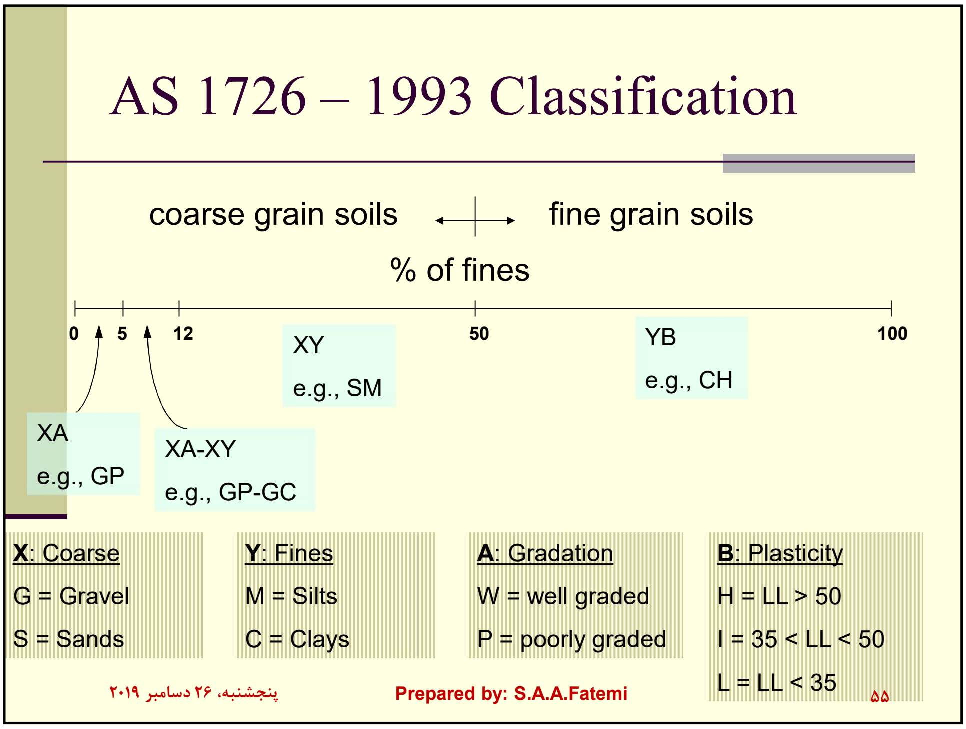
Example: SW, Well-graded sand
SC, Clayey sand
SM, Silty sand,
MH, Elastic silt

- **Liquid limit symbols:**
- H: High LL (LL>50)
- L: Low LL (LL<50)
- **Gradation symbols:**
- W: Well-graded
- P: Poorly-graded

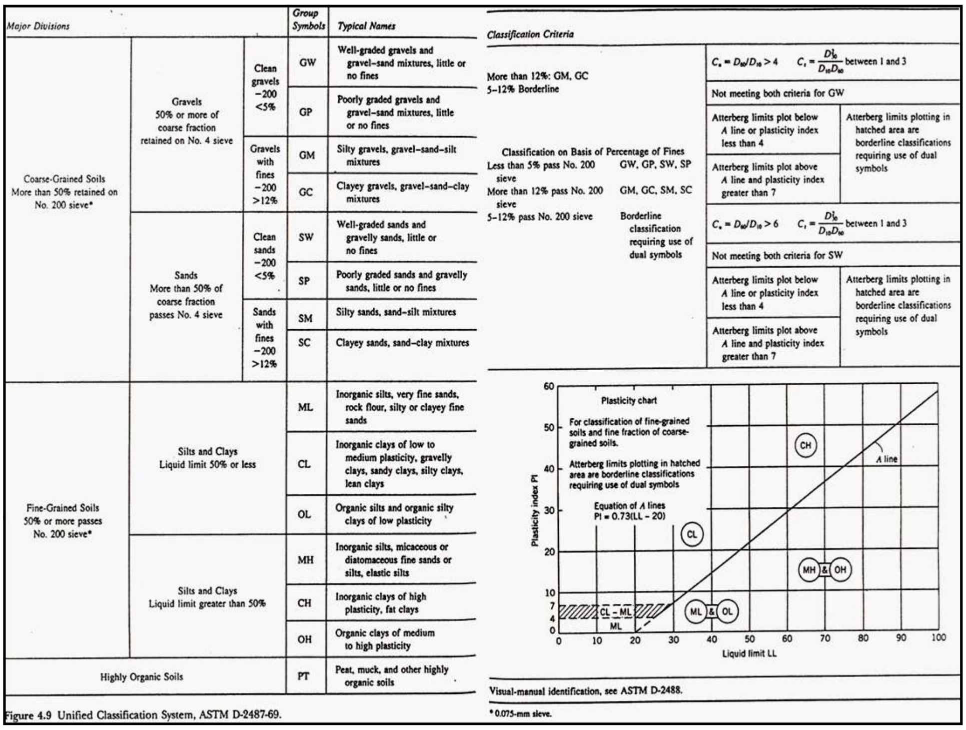
Well – graded soil
$1 < C_c < 3$ and $C_u \geq 4$
(for gravels)
$1 < C_c < 3$ and $C_u \geq 6$
(for sands)

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۵۴

54



55



Major Divisions			Group Symbols	Typical Names	Classification Criteria	
Coarse-Grained Soils More than 50% retained on No. 200 sieve*	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean gravels −200 <5%	GW	Well-graded gravels and gravel–sand mixtures, little or no fines	More than 12%: GM, GC 5–12% Borderline	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$ between 1 and 3
			GP	Poorly graded gravels and gravel–sand mixtures, little or no fines		Not meeting both criteria for GW
		Gravels with fines −200 >12%	GM	Silty gravels, gravel–sand–silt mixtures	Classification on Basis of Percentage of Fines Less than 5% pass No. 200 sieve: GW, GP, SW, SP More than 12% pass No. 200 sieve: GM, GC, SM, SC 5–12% pass No. 200 sieve: Borderline classification requiring use of dual symbols	Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4 — Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
			GC	Clayey gravels, gravel–sand–clay mixtures		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7
	Sands More than 50% of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean sands −200 <5%	SW	Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines		$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$ between 1 and 3
			SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines		Not meeting both criteria for SW
		Sands with fines −200 >12%	SM	Silty sands, sand–silt mixtures		Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4 — Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
			SC	Clayey sands, sand–clay mixtures		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7
Fine-Grained Soils 50% or more passes No. 200 sieve*	Silts and Clays Liquid limit 50% or less		ML	Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands		
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays		
			OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
	Silts and Clays Liquid limit greater than 50%		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts		
			CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
			OH	Organic clays of medium to high plasticity		
Highly Organic Soils			PT	Peat, muck, and other highly organic soils	Visual-manual identification, see ASTM D-2488.	

* 0.075-mm sieve.

Figure 4.9 Unified Classification System, ASTM D-2487-69.

56

Borderline Cases (Dual Symbols)

- For the following three conditions, a dual symbol should be used.
  - Coarse-grained soils with 5% - 12% fines.
    - **About 7 % fines can change the hydraulic conductivity of the coarse-grained media by orders of magnitude**.
    - The first symbol indicates whether the coarse fraction is well or poorly graded. The second symbol describe the contained fines. For example: SP-SM, poorly graded sand with silt.
  - Fine-grained soils with limits within the shaded zone. (PI between 4 and 7 and LL between about 12 and 25).
    - It is hard to distinguish between the silty and more claylike materials.
    - CL-ML: Silty clay, SC-SM: Silty, clayed sand.
  - Soil contain similar fines and coarse-grained fractions.
    - possible dual symbols GM-ML

Organic Soils

- **Highly organic soils- Peat (Group symbol PT)**
  - A sample composed primarily of vegetable tissue in various stages of decomposition and has a fibrous to amorphous texture, a dark-brown to black color, and an organic odor should be designated as a highly organic soil and shall be classified as peat, PT.
- **Organic clay or silt(group symbol OL or OH):**
  - "The soil's liquid limit (LL) after oven drying is less than 75 % of its liquid limit before oven drying." If the above statement is true, then the first symbol is O.
  - The second symbol is obtained by locating the values of PI and LL (not oven dried) in the plasticity chart.

Soil Engineering’s Application

نشانه گروه	عوع خاک	دامنه وزن واحد حجم خشک حداکثر pcf	دامنه رطوبت بهینه %	مقادیر نمونه‌وار متراکم – درصد ارتفاع اولیه: در 1/4 tsf (psi ۲۰)	در 3/6 tsf (psi ۵۰)	ویژگیهای مقاومتی نمونه‌وار: چسبندگی نمونه متراکم شده psf	چسبندگی نمونه اشباع شده psf	پوش تنش موثر (φ درجه)	tan φ	ضریب نفوذپذیری نمونه‌وار Ft/min	دامنه مقادیر CBR	دامنه مقادیر مدول واکنش خاک lb/in^3
GW	شنهای تمیز بادانه‌بندی خوب، مخلوطهای شن و ماسه	۱۲۵_۱۳۵	۱۱_۸	۰/۳	۰/۶	۰	۰	>۳۸	>۰/۷۹	5×10^{-2}	۴۰_۸۰	۳۰۰_۵۰۰
GP	شنهای تمیز با دانه‌بندی ضعیف، مخلوط شن و ماسه	۱۱۵_۱۲۵	۱۴_۱۱	۰/۴	۰/۹	۰	۰	>۳۷	>۰/۷۴	10^{-1}	۳۰_۶۰	۲۵۰_۴۰۰
GM	شنهای لایدار، مخلوطهای شن، ماسه و لای با دانه‌بندی ضعیف	۱۲۰_۱۳۵	۱۲_۸	۰/۵	۱/۱	...	...	>۳۴	>۰/۶۷	$>10^{-6}$	۲۰_۶۰	۱۰۰_۴۰۰
GC	شنهای رسدار، مخلوطهای شن، ماسه و رس با دانه‌بندی ضعیف	۱۱۵_۱۳۰	۱۴_۹	۰/۷	۱/۶	...	...	>۳۱	>۰/۶۰	$>10^{-7}$	۲۰_۴۰	۱۰۰_۳۰۰
SW	ماسه‌های تمیز بادانه‌بندی خوب، ماسه‌های شندار	۱۱۰_۱۳۰	۱۶_۹	۰/۶	۱/۲	۰	۰	۳۸	۰/۷۹	$>10^{-3}$	۲۰_۴۰	۲۰۰_۳۰۰
SP	ماسه‌های تمیز با دانه‌بندی ضعیف، ماسه‌های شندار	۱۰۰_۱۲۰	۲۱_۱۲	۰/۸	۱/۴	۰	۰	۳۷	۰/۷۴	$>10^{-3}$	۱۰_۴۰	۲۰۰_۳۰۰
SM	ماسه‌های لای‌دار، مخلوطهای ماسه و لای با دانه‌بندی ضعیف	۱۱۰_۱۲۵	۱۶_۱۱	۰/۸	۱/۶	۱۰۵۰	۴۲۰	۳۴	۰/۶۷	5×10^{-5}	۱۰_۴۰	۱۰۰_۳۰۰
SM-SC	مخلوطهای ماسه، لای و رس با مقدار ناچیزی ذرات ریز خمیرسان	۱۱۰_۱۳۰	۱۵_۱۱	۰/۸	۱/۴	۱۰۵۰	۳۰۰	۳۳	۰/۶۶	2×10^{-6}	...	
SC	ماسه‌های رسدار، مخلوطهای ماسه و رس با دانه‌بندی ضعیف	۱۰۵_۱۲۵	۱۹_۱۱	۱/۱	۲/۲	۱۵۵۰	۲۳۰	۳۱	۰/۶۰	5×10^{-7}	۵_۲۰	۱۰۰_۳۰۰
ML	لایهای غیر آلی و لایهای رسدار	۹۵_۱۲۰	۲۴_۱۲	۰/۹	۱/۷	۱۴۰۰	۱۹۰	۳۲	۰/۶۲	10^{-5}	۱۵ یا کمتر	۱۰۰_۲۰۰
ML-CL	مخلوط لای غیر آلی و رس	۱۰۰_۱۲۰	۲۲_۱۲	۱/۰	۲/۲	۱۳۵۰	۴۶۰	۳۲	۰/۶۲	5×10^{-7}	...	
CL	رسهای غیر آلی، خمیرسانی کم تا متوسط	۹۵_۱۲۰	۲۴_۱۲	۱/۳	۲/۵	۱۸۰۰	۲۷۰	۲۸	۰/۵۴	10^{-7}	۱۵ یا کمتر	۵۰_۲۰۰
OL	لایهای آلی و لایهای رسدار آلی با خمیرسانی کم	۸۰_۱۰۰	۳۳_۲۱	...	...	...	...	...	...	...	۵ یا کمتر	۵۰_۱۰۰
MH	لایهای رسدار غیر آلی، لایهای کشسان	۷۰_۹۵	۴۰_۲۴	۲/۰	۳/۸	۱۵۰۰	۴۲۰	۲۵	۰/۴۷	5×10^{-7}	۱۰ یا کمتر	۵۰_۱۰۰
CH	رسهای غیر آلی با خمیرسانی زیاد	۷۵_۱۰۵	۳۶_۱۹	۲/۶	۳/۹	۲۱۵۰	۲۳۰	۱۹	۰/۳۵	10^{-7}	۱۵ یا کمتر	۵۰_۱۵۰
OH	رسهای آلی و رسهای لایدار آلی	۶۵_۱۰۰	۴۵_۲۱	...	...	...	...	...	...	...	۵ یا کمتر	[illegible]

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ **Prepared by: S.A.A.Fatemi** ۵۹

59

Soil Engineering’s Application

نماد گروه	نام گروههای خاک	مشخصات مهم: نفوذپذیری (متراکم شده)	مقاومت برشی متراکم و اشباع شده	تراکم پذیری متراکم و اشباع شده	قابلیت کار جهت مصالح ساختمانی	درجه مناسب بودن برای مصارف مختلف – سدهای خاکی: یکنواخت	هسته	پوسته	مقاطع کانال: مقاومت در مقابل فرسایش	آستر خاکی متراکم شده	پی‌ها: نشست یا نفوذ آب مهم است	نشت یا نفوذ آب مهم نیست	راهها – خاکریز: یخ زدن و ذوب امکان پذیر نیست	یخ زدن و ذوب امکان پذیر است	رویه راه
GW	شنهای تمیز بادانه‌بندی خوب، مخلوطهای شن و ماسه (ذرات ریز ناچیز یا صفر)	نفوذپذیر	عالی	صرفنظر کردنی	عالی	-	-	۱	۱	-	-	۱	۱	۱	۳
GP	شنهای تمیز با دانه‌بندی ضعیف، مخلوطهای شن و ماسه (ذرات ریز ناچیز یا صفر)	بسیار نفوذپذیر	خوب	صرفنظر کردنی	خوب	-	-	۲	۲	-	-	۳	۳	۳	-
GM	شنهای لایدار، مخلوطهای شن، ماسه و لای با دانه‌بندی ضعیف	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	خوب	صرفنظر کردنی	خوب	۲	۴	-	۴	۴	۱	۴	۴	۹	۵
GC	شنهای رسدار، مخلوطهای شن، ماسه و رس با دانه‌بندی ضعیف	نفوذناپذیر	خوب تا نسبتاً خوب	خیلی پائین	خوب	۱	۱	-	۳	۱	۲	۶	۵	۵	۱
SW	ماسه‌های با دانه‌بندی خوب، ماسه‌های شندار، (ذرات ریز ناچیز یا صفر)	نفوذپذیر	عالی	صرفنظر کردنی	عالی	-	-	۳ اگر شندار باشد	۶	-	-	۲	۲	۲	۴
SP	ماسه‌های تمیز با دانه‌بندی ضعیف، ماسه‌های شندار، ذرات ریز ناچیز یا صفر)	نفوذپذیر	خوب	خیلی پائین	نسبتاً خوب	-	-	۴ اگر شندار باشد	۷ اگر شندار باشد	-	-	۵	۶	۴	-
SM	ماسه‌های لایدار، مخلوطهای ماسه و لای با دانه‌بندی ضعیف	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	خوب	پائین	نسبتاً خوب	۴	۵	-	۸ اگر شندار باشد	۵ فرسایش بحرانی	۳	۷	۸	۱۰	۶
SC	ماسه‌های رسدار، مخلوطهای ماسه و رس با دانه‌بندی ضعیف	نفوذناپذیر	خوب تا نسبتاً خوب	پائین	خوب	۳	۲	-	۵	۲	۴	۸	۷	۶	۲
ML	لایهای غیرآلی و ماسه‌های بسیار ریز، آردسنگ، ماسه‌های ریز لایدار یا رسدار با قابلیت خمیری ناچیز	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	نسبتاً خوب	متوسط	نسبتاً خوب	۶	۶	-	-	۶ فرسایش بحرانی	۶	۹	۱۰	۱۱	-
CL	رسهای غیرآلی با قابلیت خمیری کم تا متوسط، رسهای شندار، رسهای ماسه‌دار، رسهای لایدار و رسهای لاغر	نفوذناپذیر	نسبتاً خوب	متوسط	خوب تا نسبتاً خوب	۵	۳	-	۹	۳	۵	۱۰	۹	۷	۷
OL	لایهای آلی و لایهای رسدار آلی دارای خمیرسانی کم	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	ضعیف	متوسط	نسبتاً خوب	۸	۸	-	-	۷ فرسایش بحرانی	۷	۱۱	۱۱	۱۲	-
MH	لایهای رسدار غیر آلی، خاکهای دارای ماسه ریز یا لایدار میکائی یا دیاتومه‌ای، لای کشسان	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	نسبتاً خوب تا ضعیف	بالا	ضعیف	۹	۹	-	-	-	۸	۱۲	۱۲	۱۳	-
CH	رسهای غیر آلی با خمیرسانی زیاد، رسهای چاق	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا	ضعیف	۷	۷	-	۱۰	۸ تغییرحجم بحرانی	۹	۱۳	۱۳	۸	-
OH	رسهای آلی با خمیرسانی متوسط تا زیاد	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا	ضعیف	۱۰	۱۰	-	-	-	۱۰	۱۴	۱۴	۱۴	-
Pt	پیت (تورب) و دیگر خاکهای به شدت آلی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ **Prepared by: S.A.A.Fatemi** ۶۰

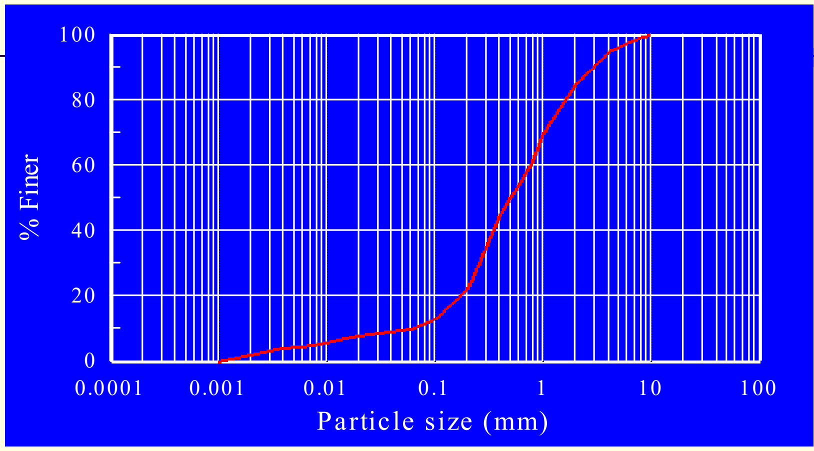
60

Summary

- Sieve analysis – for coarse grain soils
  Hydrometer analysis - for fine grain soils
- Classify coarse by GSD and
  fines from Atterberg limits (PI-LL chart)

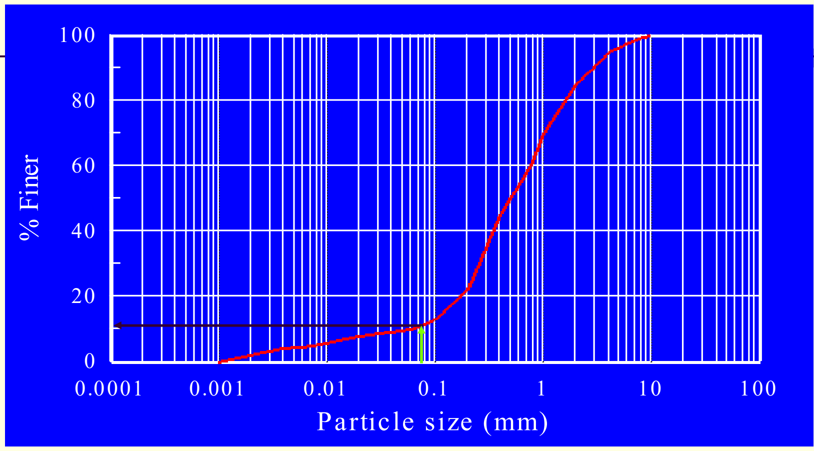
61

Example 1



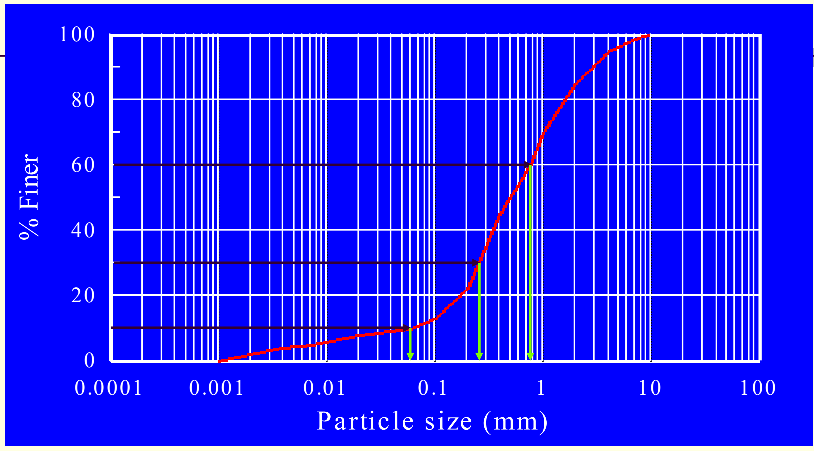
62

Example 1



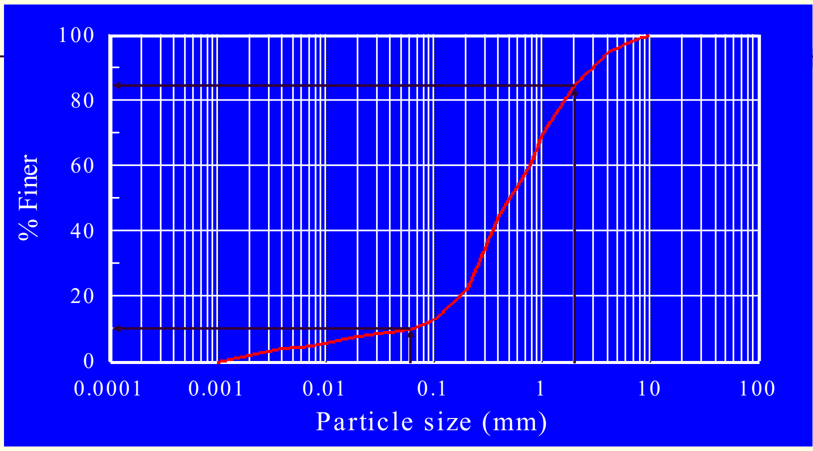
- %fines (% finer than 75 µm) = 11% - Dual symbols required

Example 1



- %fines (% finer than 75 µm) = 11% - Dual symbols required
- D_{10} = 0.06 mm, D_{30} = 0.25 mm, D_{60} = 0.75 mm

Example 1



Particle size fractions:	Gravel	17%
	Sand	73%
	Silt and Clay	10%

65

Example 1

Of the coarse fraction about 80% is sand, hence Prefix is S

$C_u = 12.5$, $C_c = 1.38$

$Suffix_1 = W$

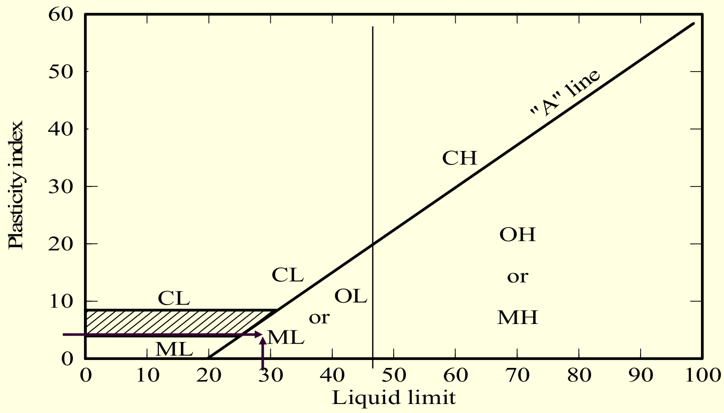
From Atterberg Tests

LL = 32, PL = 26

$I_p = 32 - 26 = 6$

66

Example 1



Plasticity chart
for laboratory classification of fine grained soils

67

Example 1

Of the coarse fraction about 80% is sand, hence Prefix is S

$C_u = 12.5, C_c = 1.38$

$Suffix_1 = W$

From Atterberg Tests

LL = 32, PL = 26

$I_p = 32 - 26 = 6$

From Plasticity Chart point lies below A-line

$Suffix_2 = M$

68

Of the coarse fraction about 80% is sand, hence Prefix is S

$C_u = 12.5, C_c = 1.38$

$Suffix_1 = W$

From Atterberg Tests

LL = 32, PL = 26

$I_p = 32 - 26 = 6$

From Plasticity Chart point lies below A-line

$Suffix_2 = M$

Dual Symbols are SW-SM

To complete the classification the Symbols should be accompanied by a description

Example 2

Passing No.200 sieve 30 % **LL= 33**

Passing No.4 sieve 70 % **PI= 12**

Passing No.200 sieve 30 %

Passing No.4 sieve 70 %

LL= 33

PI= 12

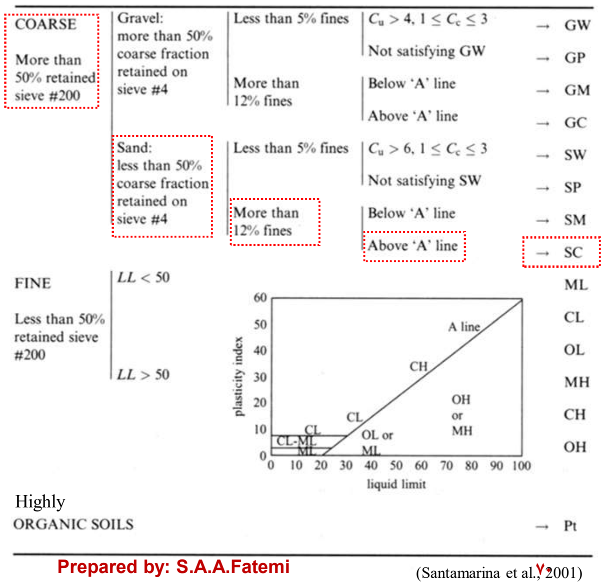
PI= 0.73(LL-20), A-line

PI=0.73(33-20)=9.49

SC

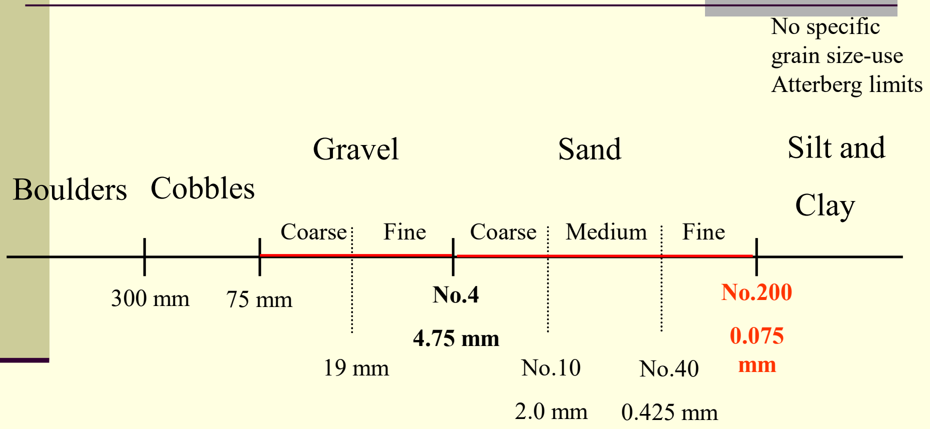
(≥15% gravel)

Clayey sand with gravel



(Santamarina et al., 2001)

Definition of Grain Size



71

American Association of State Highway and Transportation Officials system (AASHTO)

Origin of AASHTO: (For road construction)

This system was originally developed by Hogentogler and Terzaghi in 1929 as the Public Roads Classification System. Afterwards, there are several revisions. The present AASHTO (1978) system is primarily based on the version in 1945. (Holtz and Kovacs, 1981)

72

General Guidance

- 8 major groups: A1~ A7 (with several subgroups) and organic soils A8
- The required tests are sieve analysis and Atterberg limits.
- The group index, an empirical formula, is used to further evaluate soils within a group (subgroups).

A1 ~ A3	A4 ~ A7
Granular Materials	Silt-clay Materials
$\leq$ 35% pass No. 200 sieve	$\geq$ 36% pass No. 200 sieve
Using LL and PI separates silty materials from clayey materials (only for A2 group)	Using LL and PI separates silty materials from clayey materials

- The original purpose of this classification system is used for road construction (subgrade rating).

Group Index

The first term is determined by the LL

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

The second term is determined by the PI

For Group A-2-6 and A-2-7

$$GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$ use the second term only

F200: percentage passing through the No.200 sieve

In general, the rating for a pavement subgrade is inversely proportional to the group index, GI.

Classification

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						

Das, 1998

75

Classification (Cont.)

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, $PI > LL - 30$

Das, 1998

Note:

The first group from the left to fit the test data is the correct AASHTO classification.

76

Example

Passing No.200 86%

LL=70, PI=32

LL-30=40 > PI=32

Passing No.200 86%

LL=70, PI=32

LL-30=40 > PI=32

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

$$= 33.47 \cong 33 \quad \textit{Round off}$$

A-7-5(33)

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, $PI > LL - 30$

Prepared by: S.A.A.Fatemi ۷۷

77

Soil Description

Soil structure is related to:

- Shape
- Size
- Mineralogy
- Combination of water and soil

پنجشنبه، ۲۶ دسامبر ۲۰۱۹ Prepared by: S.A.A.Fatemi ۷۸

78