

# مکانیک خاکهای غیر اشباع

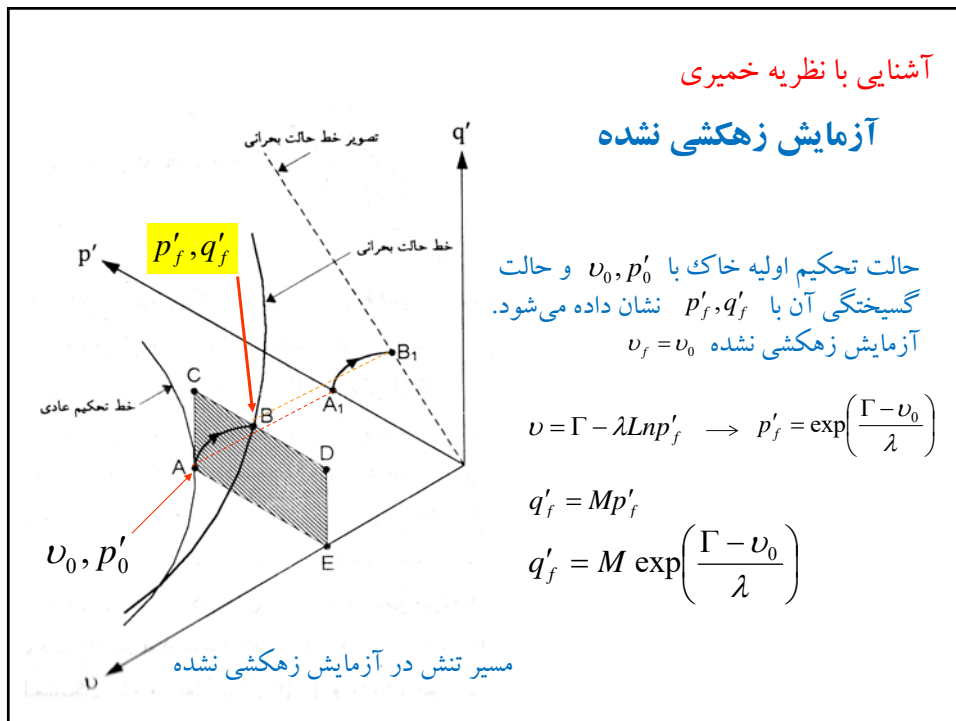
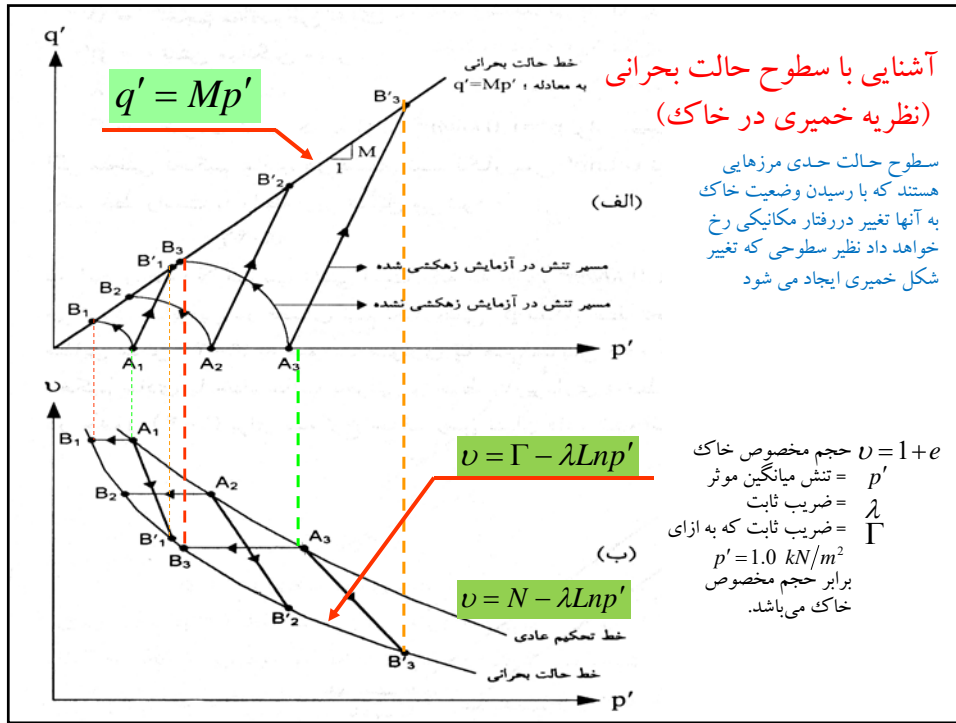
## تئوری

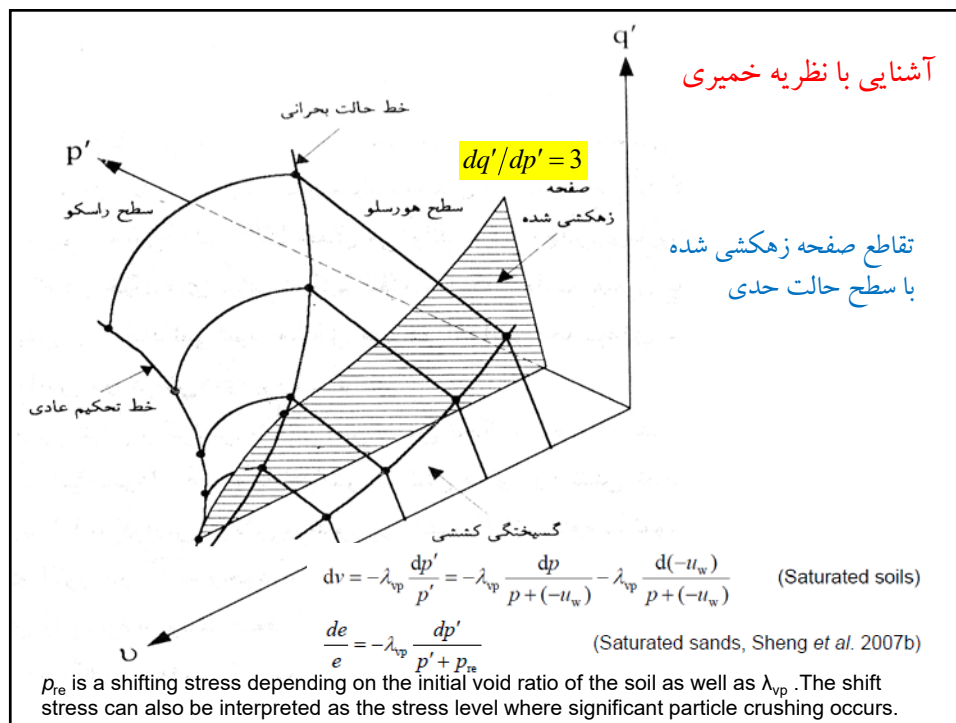
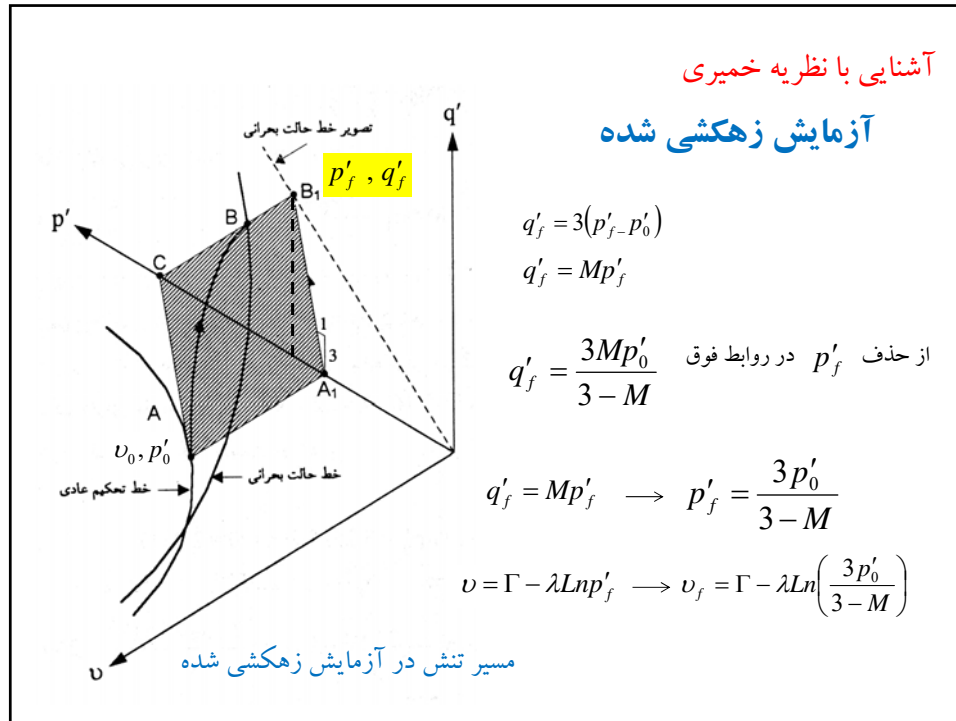
### Unsaturated soils

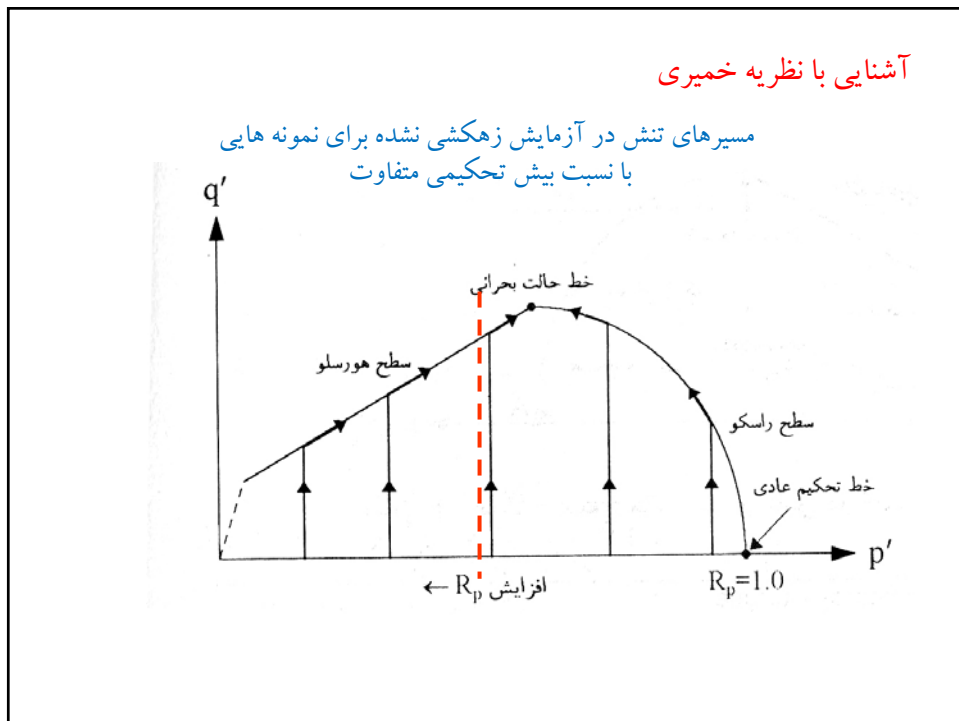
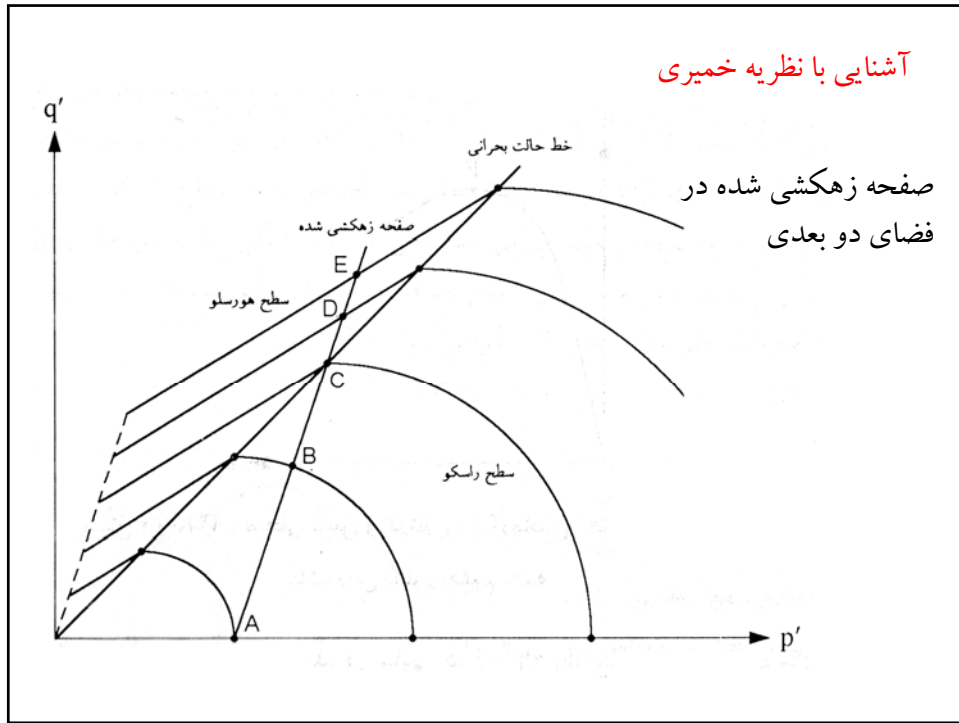
Hasan Ghasemzadeh

## فهرست عناوین و فصول

- ۱- مقدمه - آشنایی - مختصری از ترمودینامیک
- ۲- رفتار فازهای مختلف در خاک غیر اشباع
- ۳- اندازه گیری در خاک غیر اشباع
- ۴- نتایج آزمایشات خاک غیر اشباع
- ۵- تنش موثر و کرنش
- ۶- تئوری های خاک غیر اشباع
- ۷- جریان در خاک غیر اشباع
- ۸- کاربرد خاک غیر اشباع در مهندسی







## تعیین مدل رفتاری

مدل رفتاری خاک‌ها غیر اشباع

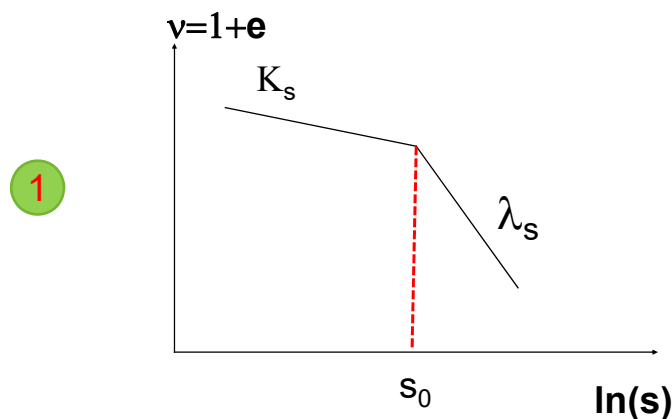
مدل‌های خاک اشباع حدود دهه پنجاه تبیین شد  
 مفاهیم پایه خاک غیر اشباع به سه دهه تاخیر درک گردید  
 در دهه ۸۰ و ۹۰ تنش برشی، تغییر حجم و رابطه میزان آب و مکش  
 در خاک غیر اشباع درک شد  
 دو نوع مدلسازی مقاومت-حجم-اشباع-مکش و تنش-کرنش الاستوپلاستیک  
 جداگانه پیشرفت نمودند.  
 در دهه آخر قرن پیش پیشرفت زیادی در ارتباط با مستقل‌های تنش ایجاد شد

Dr. Hasan Ghasemzadeh

9

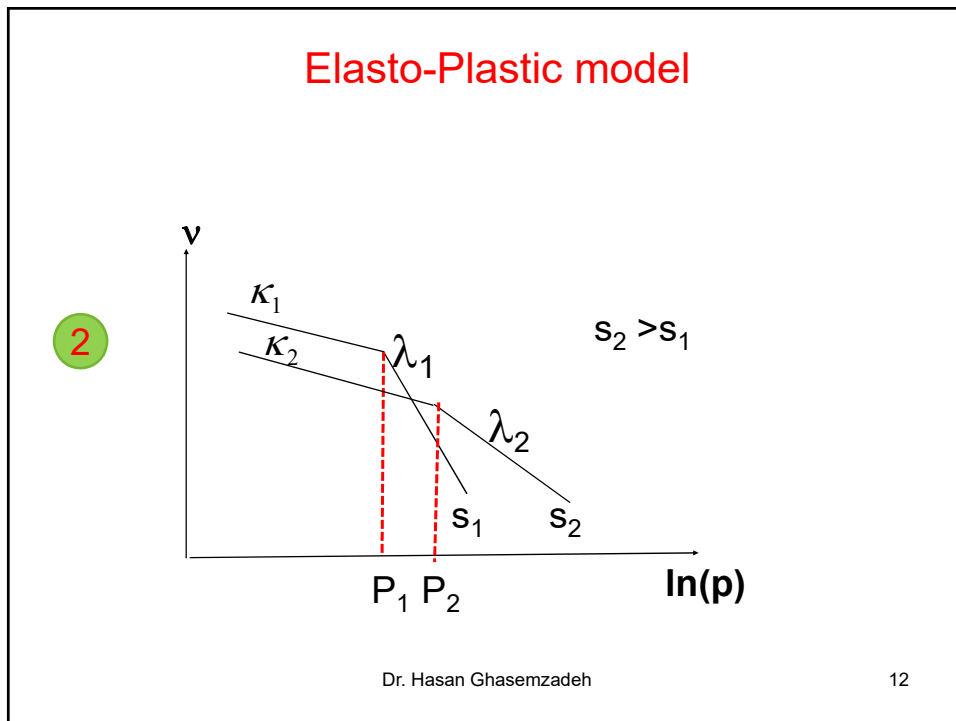
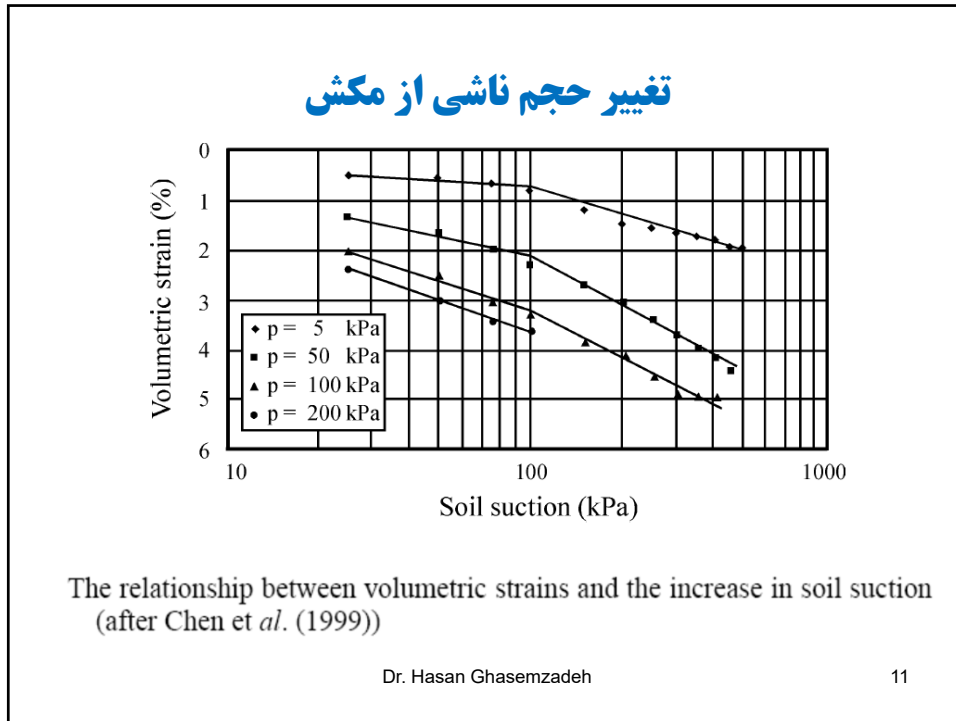
## Elasto-Plastic model

بر اساس آزمایشات شش مورد توسط جنس و آلزو در نظر گرفته شده است

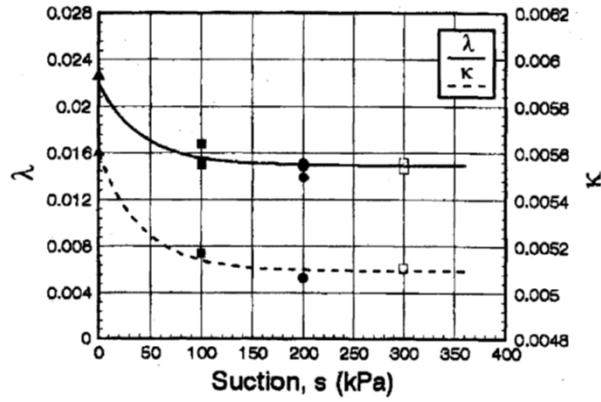


Dr. Hasan Ghasemzadeh

10



### تغییر تراکم پذیری ناشی از مکش

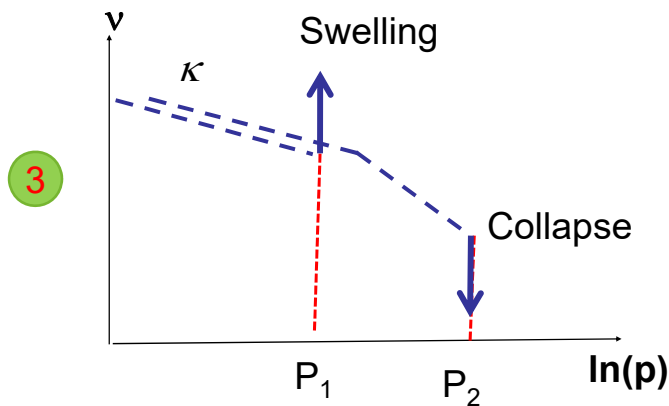


Influence of suction on parameters  $\kappa$  and  $\lambda$  (after Rampino et al. (2000))

Elastic (pre-yield) compressibility coefficient  $\kappa$   
 Elastioplastic (post-yield) compressibility coefficient  $\lambda$   
 Dr. Hasan Ghasemzadeh

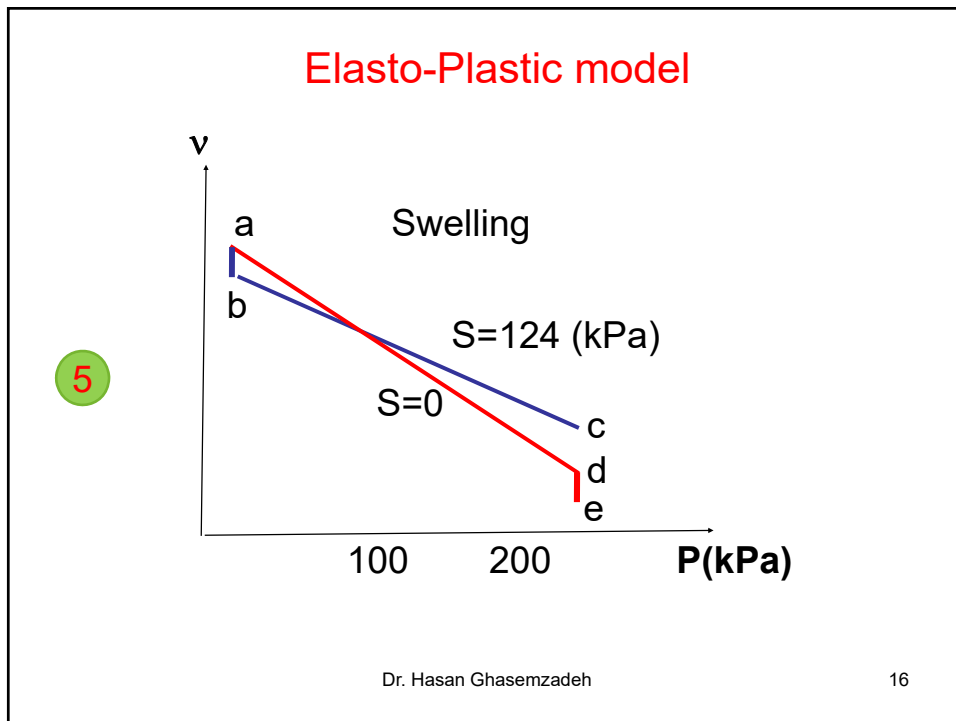
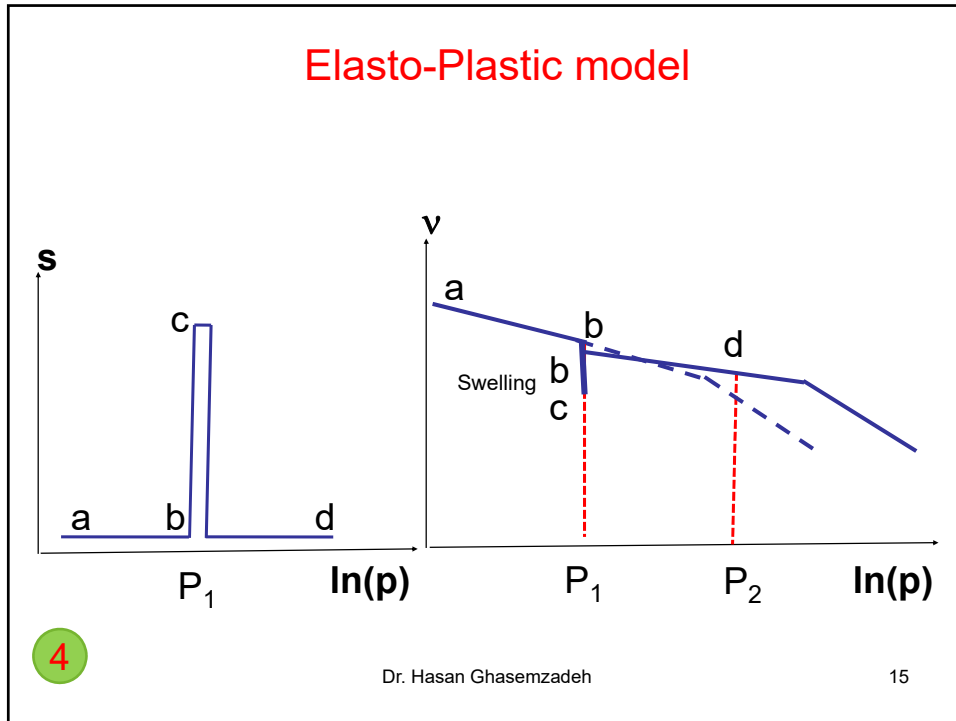
13

### Elasto-Plastic model

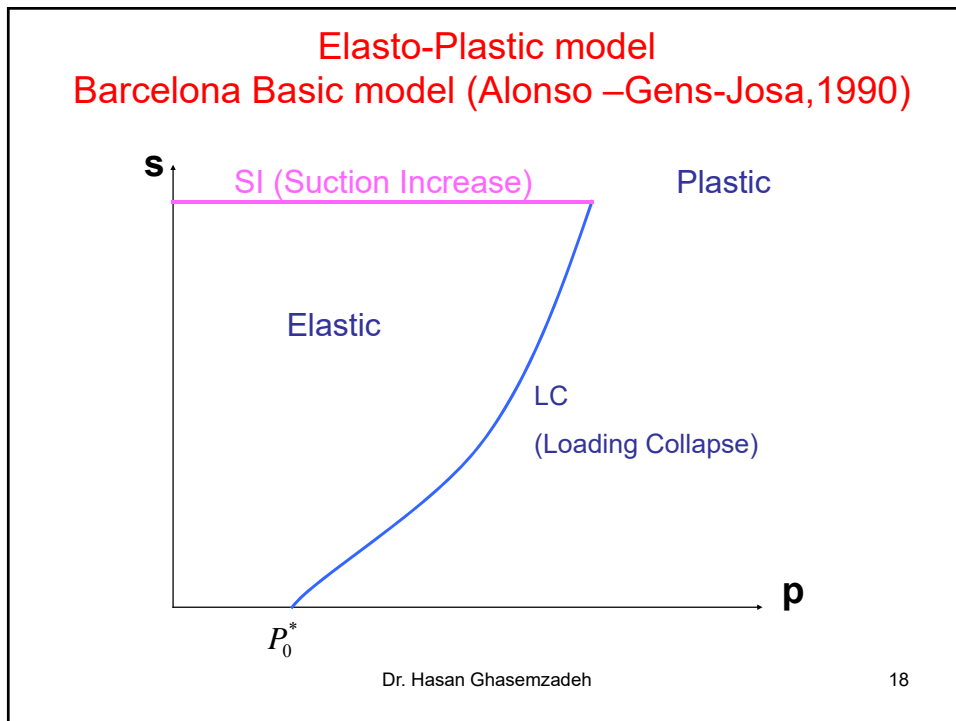
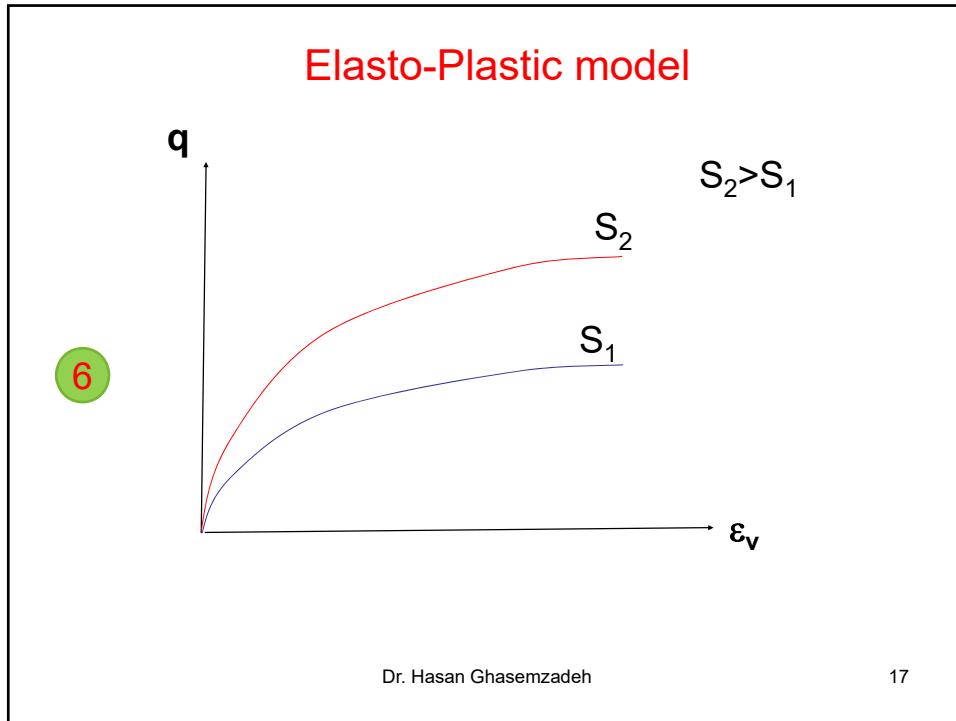


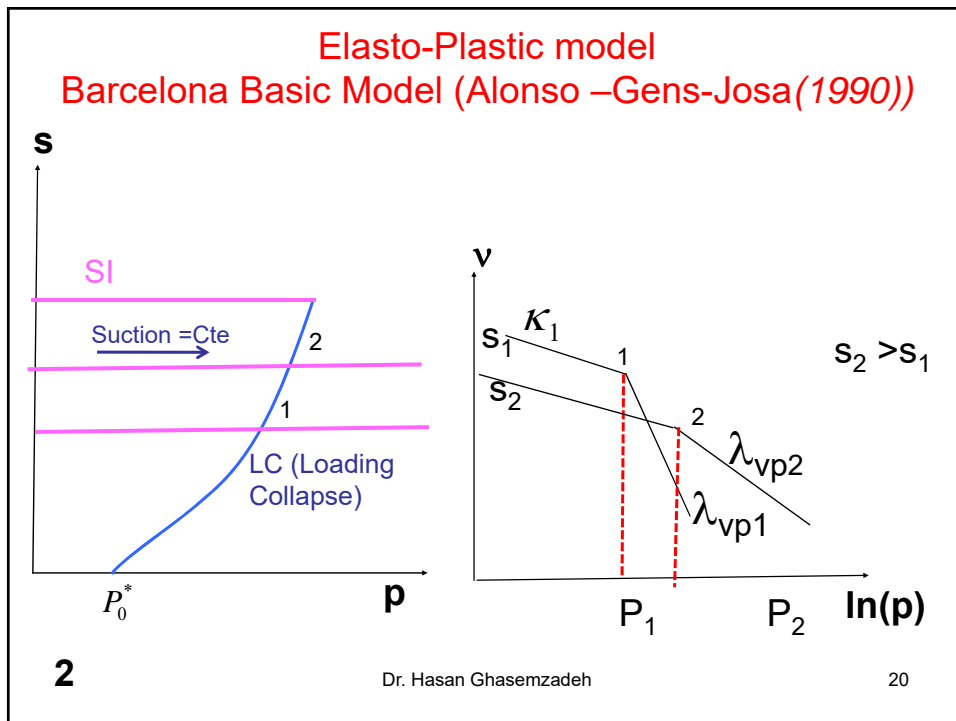
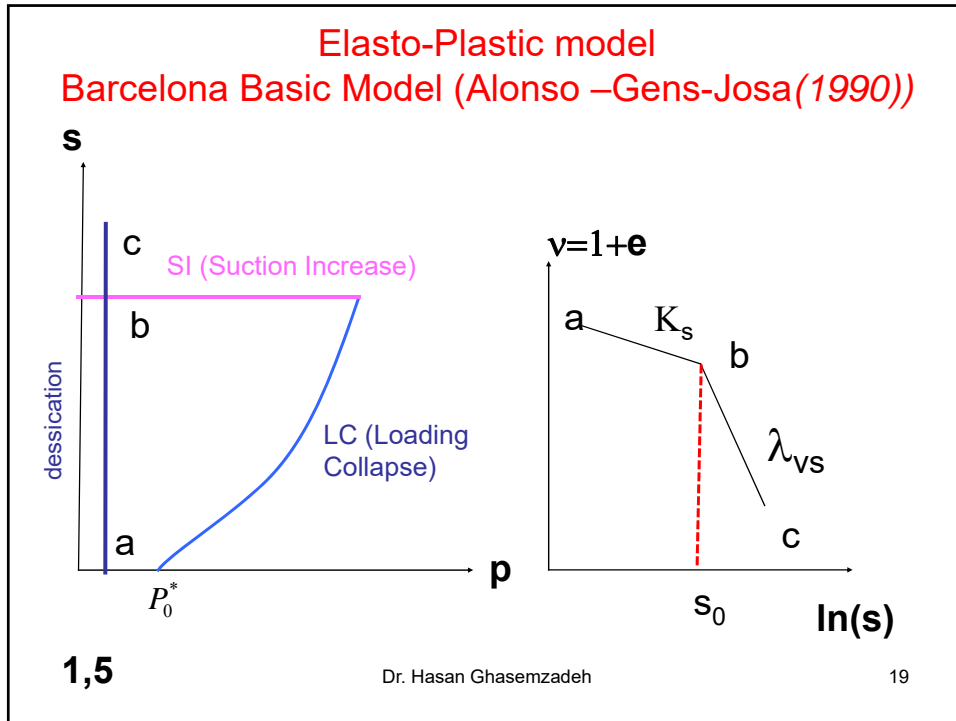
Dr. Hasan Ghasemzadeh

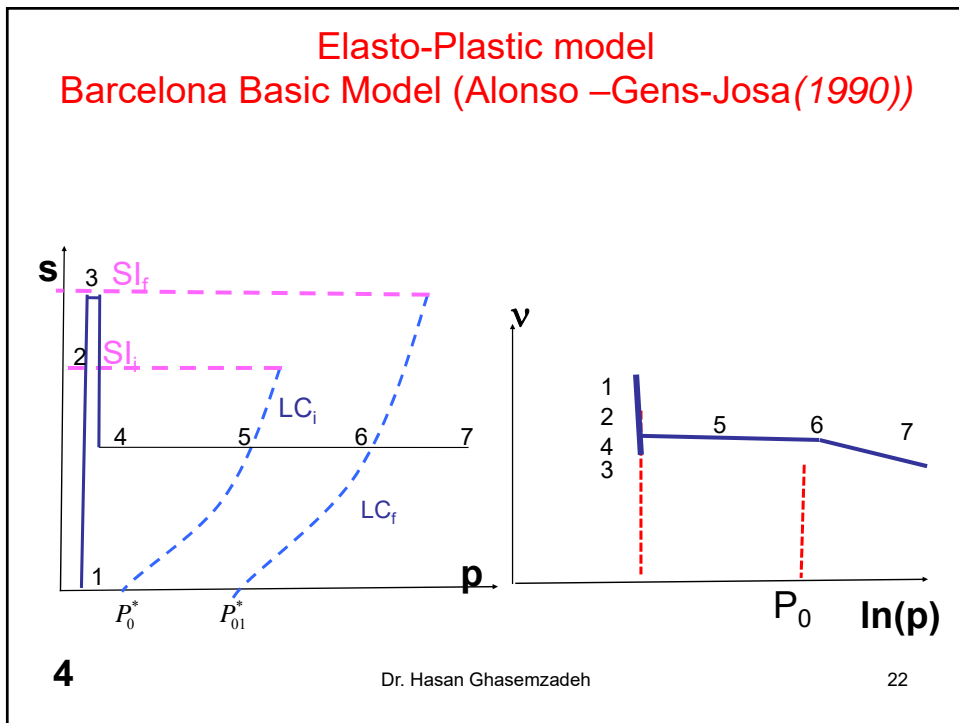
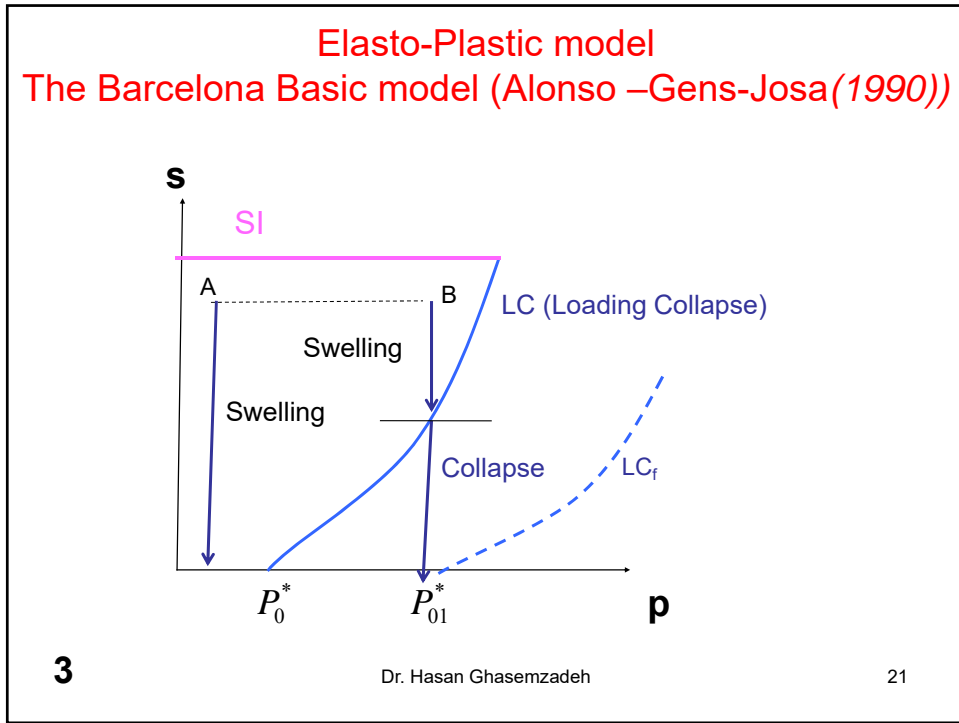
14





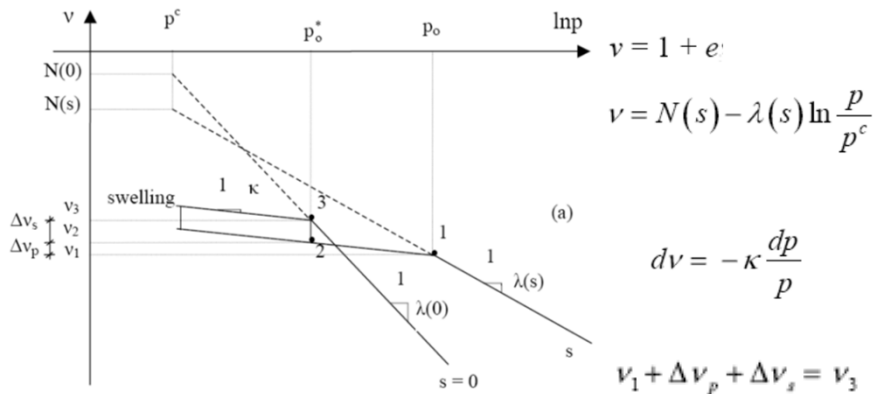






### Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

for partially saturated soils which are slightly or moderately expansive, such as partially saturated sands, silts, clayey sands, sandy clays and clays of low plasticity.



Dr. Hasan Ghasemzadeh

23

### Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

The change in the specific volume ( $v$ ) of an unsaturated soil in response to suction ( $s$ ) or mean stress ( $p$ )

$$dv = \frac{dN_s}{ds} ds - \lambda_{vp} \frac{d\bar{p}}{\bar{p}} - \ln \bar{p} \frac{d\lambda_{vp}}{ds} ds \quad (\text{Net stress, Alonso et al., 1990})$$

$$dv = \frac{dN_s}{ds} ds - \lambda_{vp} \frac{dp'}{p'} - \ln p' \frac{d\lambda_{vp}}{ds} ds \quad (\text{Effective stress})$$

$$dv = -\lambda_{vp} \frac{d\bar{p}}{\bar{p}} - \lambda_{vs} \frac{ds}{s} \quad (\text{Net stress, Fredlund & Rahardjo, 1993})$$

$$dv = -\lambda_{vp} \frac{d\bar{p}}{\bar{p} + s} - \lambda_{vs}(s) \frac{ds}{\bar{p} + s} \quad (\text{Net stress, Sheng et al., 2006})$$

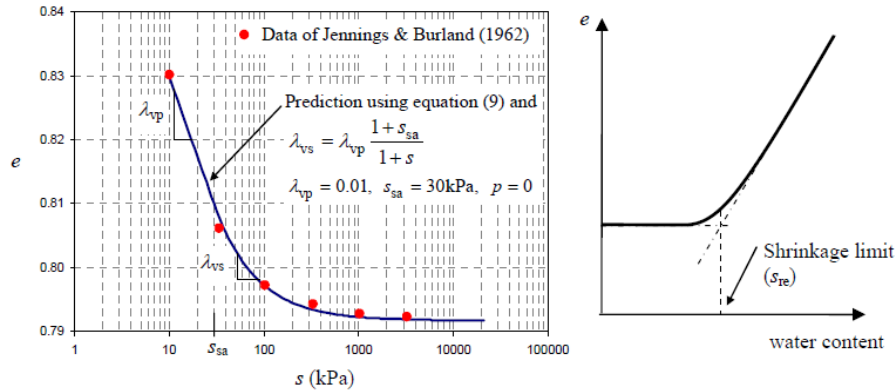
The slope  $\lambda_{vp}$  can be independent of suction, and the slope  $\lambda_{vs}$  varies between  $\lambda_{vp}$  for saturated states and zero for suctions above the residual suction

$$\frac{de}{e} = \begin{cases} -\lambda_{vp} \frac{d\bar{p}}{\bar{p} + p_{re} + s} - \lambda_{vs}(s) \frac{ds}{\bar{p} + p_{re} + s} & s \leq s_{re} \\ -\lambda_{vp} \frac{d\bar{p}}{\bar{p} + p_{re} + s_{re}} & s > s_{re} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{For sand} \\ \text{after Sheng \& Fredlund 2008} \end{matrix}$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

24

Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

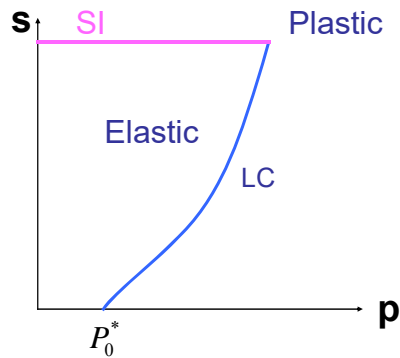


Schematic view of void ratio versus suction under zero net mean stress ( $s_{sa}$ : suction corresponding to full saturation,  $s_{re}$ : residual suction)

Dr. Hasan Ghasemzadeh

25

Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)



Elastic Deformation

$$d\varepsilon_v^e = \frac{\kappa}{v} \frac{dp}{p} + \frac{\kappa_s}{v} \frac{ds}{s + p_{atm}}$$

$$d\varepsilon_s^e = \frac{dq}{3G}$$

LC

$$\frac{p_0}{p_c} = \left( \frac{p_0^*}{p_c} \right)^{\frac{\lambda(0) - \kappa}{\lambda(s) - \kappa}}$$

$$\lambda(s) = \lambda(0) [(1-r) \exp(-\beta s) + r]$$

مقدار  $P_c$  معمولاً بین ۱۰ تا ۵۰ کیلو پاسکال است

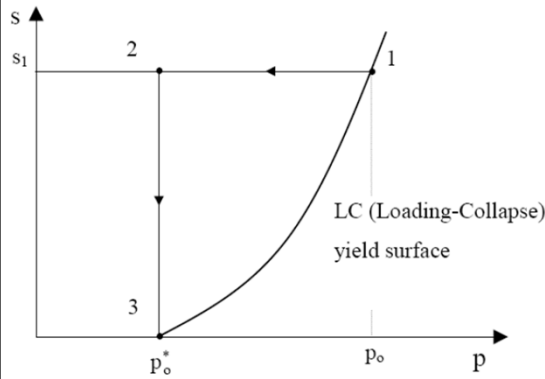
$$r = \frac{\lambda(s \rightarrow \infty)}{\lambda(0)}$$

مقدار  $\beta$  معمولاً بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ بر کیلو پاسکال است

Dr. Hasan Ghasemzadeh

26

Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)



$$\Delta v_s = \kappa_s \ln \frac{s + p_{atm}}{p_{atm}}$$

(b)

$$\Delta v_p = \kappa \ln \frac{p_o}{p_o^*}$$

$$N(s) - \lambda(s) \ln \frac{p_o}{p^c} + \kappa \ln \frac{p_o}{p_o^*} + \kappa_s \ln \frac{s + p_{atm}}{p_{atm}} = N(0) - \lambda(0) \ln \frac{p_o^*}{p^c}$$

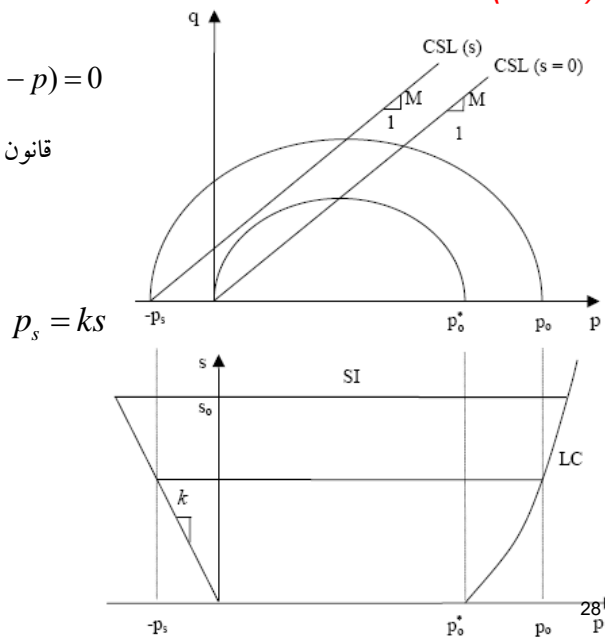
Dr. Hasan Ghasemzadeh

27

Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

$$\alpha q^2 - M^2(p + p_s)(p_0 - p) = 0$$

$\alpha = 1$  قانون جریان همراه



Dr. Hasan Ghasemzadeh

**Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)**

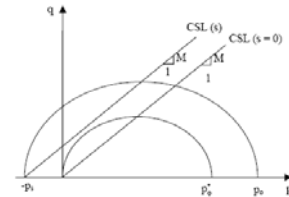
$$\alpha q^2 - M^2(p + p_s)(p_0 - p) = 0$$

$$p_s = ks$$

سطح تسلیم

**Flow rule**

جهت کرنش‌های خمیری را نشان می‌دهد که در حالت کلی عمود بر سطح پتانسیل است



$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_{vs}^p} = \frac{2q\alpha}{M^2(2p + p_s - p_0)}$$

برای قانون جریان همراه مقدار این پارامتر برابر یک است  $\alpha = 1$

$$\alpha = \frac{M(M-9)(M-3)}{9(6-M)} \frac{1}{1 - \frac{\kappa}{\lambda(0)}}$$

قانون جریان غیرهمراه

29

Dr. Hasan Ghasemzadeh

**Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)**

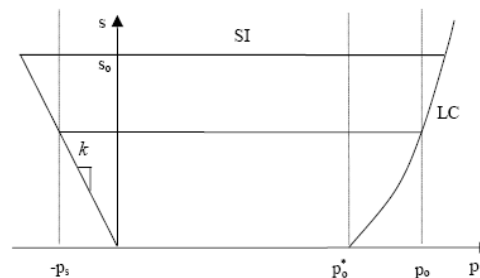
$$\alpha q^2 - M^2(p + p_s)(p_0 - p) = 0$$

$$p_s = ks$$

سطح تسلیم

**Hardening**

تغییرات سطح تسلیم را نشان می‌دهد

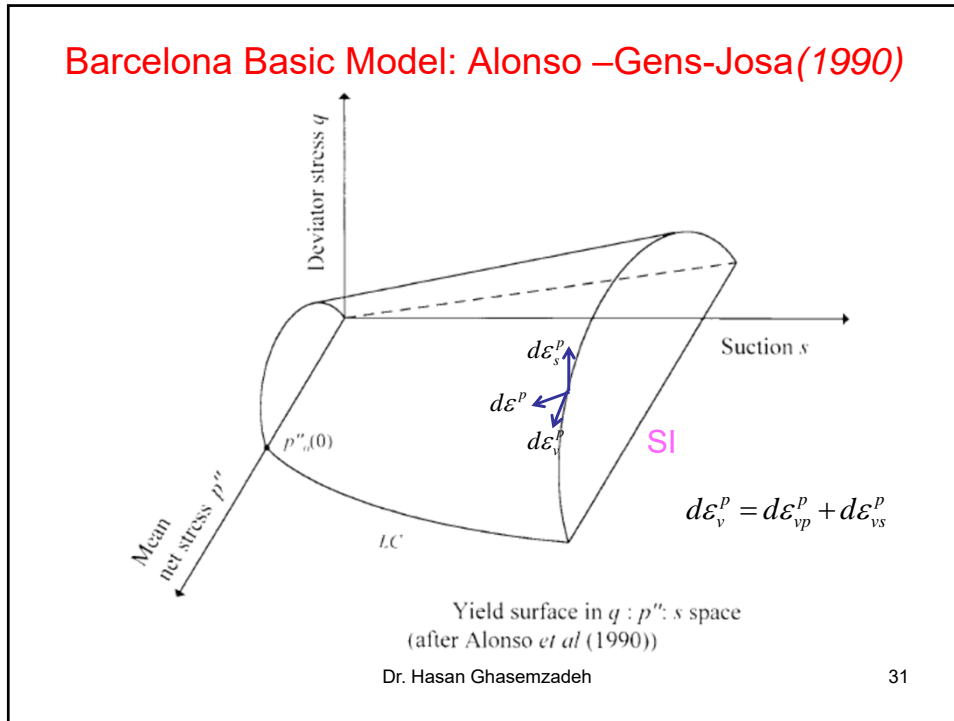


$$\frac{dp_0^*}{p_0^*} = \frac{v}{\lambda(0) - \kappa} d\varepsilon_v^p$$

$$\frac{ds_0}{s_0 + P_{am}} = \frac{v}{\lambda(s) - \kappa_s} d\varepsilon_{vs}^p$$

30

Dr. Hasan Ghasemzadeh



**Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)**

$$d\varepsilon_v^p = d\varepsilon_{vs}^p + d\varepsilon_{vp}^p$$

LC yield surface: 
$$\frac{dp_0^*}{p_0^*} = \frac{v}{\lambda(0) - \kappa} d\varepsilon_v^p$$

SI yield surface: 
$$\frac{ds_0}{(s_0 + p_{atm})} = \frac{v}{\lambda_s - \kappa_s} d\varepsilon_v^p$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh 32



### Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

Increase of mean total stress,  $p$ :

$$\text{Elastic:} \quad d\varepsilon_{vp}^e = -\frac{dv}{v} = \frac{\kappa}{v} \frac{dp}{p}$$

$$\text{Total:} \quad d\varepsilon_{vp} = \frac{\lambda(s)}{v} \frac{dp_0}{p_0}$$

$$\text{Plastic:} \quad d\varepsilon_{vp}^p = \frac{\lambda(s) - \kappa}{v} \frac{dp_0}{p_0} = \frac{\lambda(0) - \kappa}{v} \frac{dp_0^*}{p_0^*}$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

33

### Barcelona Basic Model: Alonso –Gens-Josa(1990)

Increase of suction,  $s$ :

$$\text{Elastic:} \quad d\varepsilon_{vs}^e = \frac{\kappa_s}{v} \frac{ds}{(s + p_{atm})}$$

$$\text{Total:} \quad d\varepsilon_{vs} = \frac{\lambda_s}{v} \frac{ds_0}{(s_0 + p_{atm})}$$

$$\text{Plastic:} \quad d\varepsilon_{vs}^p = \frac{\lambda_s - \kappa_s}{v} \frac{ds_0}{(s_0 + p_{atm})}$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

34

### مثال

$p^c$ (kPa)	30
$\beta$ (kPa <sup>-1</sup> )	0.01
$r$	0.75
$\lambda_0$	0.2
$\lambda_\infty$	0.15
$\kappa_s$	0.01
$\kappa$	0.02
$\lambda_s$	0.1
$\phi'$	30
$\phi^b$	25

خاک عادی تحکیم یافته با مشخصات زیر موجود می باشد رابطه  $p^* - q - s$  را طبق مدل بارسلون پایه برای این خاک محاسبه کنید.

$$p^* = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 - p_a$$

$$M = \frac{(6 \sin \phi')}{(3 + \sin \phi')} = \frac{6 \sin 30}{3 + \sin 30} = 0.857$$

$$k = M \frac{\tan \phi^b}{\tan \phi'} = 0.857 \frac{\tan 25}{\tan 30} = 0.692$$

حل:

Dr. Hasan Ghasemzadeh

35

$$\alpha q^2 - M^2(p + p_s)(p_0 - p) = 0$$

### مثال

$p^c$ (kPa)	30
$\beta$ (kPa <sup>-1</sup> )	0.01
$r$	0.75
$\lambda_0$	0.2
$\lambda_\infty$	0.15
$\kappa_s$	0.01
$\kappa$	0.02
$\lambda_s$	0.1
$\phi'$	30
$\phi^b$	25

$$\lambda(s) = \lambda(0) [(1-r) \exp(-\beta s) + r] \quad \text{ادامه حل:}$$

$$\lambda_s = .2 \times ((1 - .75) \exp(-.01s)) = .05 \exp(-.01s)$$

$$p_c = p_0^* = 30 \quad \text{خاک عادی تحکیم یافته}$$

$$\frac{p_0}{p_c} = \left( \frac{p_0^*}{p_c} \right)^{\frac{\lambda(0)-\kappa}{\lambda(s)-\kappa}} = 30 \left( \frac{30}{30} \right)^{\frac{0.2-.002}{0.1-.002}} = 30 \text{ kPa}$$

$$p_s = ks = 0.692s$$

$$\alpha = \frac{M(M-9)(M-3)}{9(6-M)} \times \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - k} = \frac{0.857(0.857-9)(0.857-3)}{9(6-0.857)} \times \frac{0.2}{0.2-0.02} = 0.359$$

$$\alpha q^2 - M^2(p + p_s)(p_0 - p) = 0$$

$$\rightarrow 0.359q^2 - 0.734(p + 0.692s)(30 - p) = 0$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

36

## مساله

در صورتیکه در این خاک مکش برابر  $20\text{kPa}$  باشد و بار گسترده  $10\text{ kN/m}^2$

بر آن وارد شود نسبت ظرفیت باربری خاک در حالت در نظر گرفتن مکش  
به حالت در نظر نگرفتن مکش را حساب نمایید.