

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی پیشرفته روسازی

KENPAVE

دکتر علیرضا غنی زاده
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

E, E11
(Avg. Grt. 75%)

+6.678e-04

+1.000e-04

+2.941e-04

+2.015e-04

+1.082e-04

+1.497e-05

+7.532e-05

-1.716e-05

+3.649e-04

+2.527e-04


+5.156e-04

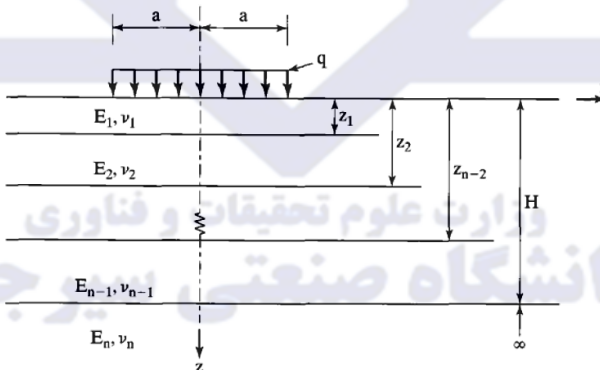
AC

Base

Subgrade

تحلیل سیستم‌های الاستیک چند لایه‌ای با استفاده از KENLAYER





دکتر علیرضا غنی‌زاده

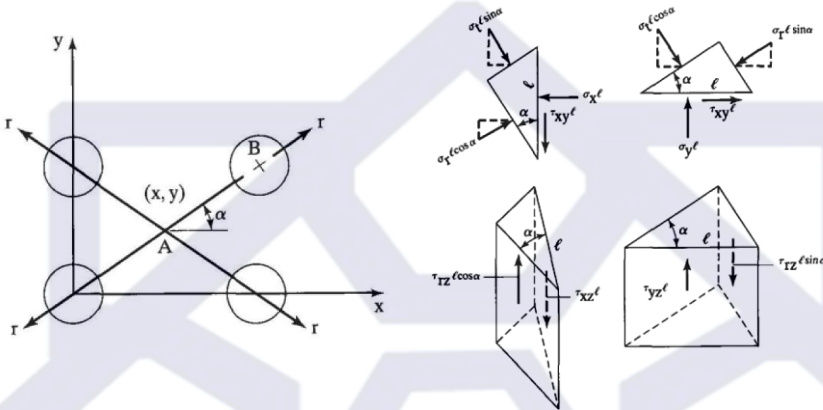
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

جمع آثار قوا برای تحلیل روسازی تحت اثر بارهای چندگانه



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳

جمع آثار قوا برای تحلیل روسازی تحت اثر بارهای چندگانه



$$\sigma_x = \sigma_r \cos^2 \alpha + \sigma_t \sin^2 \alpha$$

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\sigma_y = \sigma_r \sin^2 \alpha + \sigma_t \cos^2 \alpha$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z))]$$

$$\tau_{xy} = (\sigma_r - \sigma_t) \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \tau_{xy}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{rz} \sin \alpha$$

$$\tau_{xz} = \tau_{rz} \cos \alpha$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

محاسبه تنش‌ها و کرنش‌های اصلی



$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_x\sigma_z - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2)\sigma - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{yz}\tau_{xz}\tau_{xy} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}[\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)]$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E}[\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)]$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E}[\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵

حداکثر کرنش کششی تار پایین لایه آسفالت



$$\epsilon_t = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \gamma_{xy}^2}$$

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

خرابی خستگی



$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-f_2}(E_1)^{-f_3}$$

No.	Organization	f1	f2	f3
1	Asphalt Institute	0.0795	3.291	0.854
2	Shell Research	0.0685	5.671	2.363
3	US Army Corps of Engineers	497.156	5	2.66
4	Belgian Road Research Center	4.92E-14	4.76	0
5	Transport and Road Research Laboratory	1.66E-10	4.32	0
6	Federal Highway Administration	0.1001	3.565	1.474
7	ILLINOIS Department of Transportation	5.00E-06	3	0
8	Austin Research Engineers (ARE)	0.4875	3.0312	.06529

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷

شیار شدگی



$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5}$$

No.	Organization	f3	f4
1	Asphalt Institute	1.365E-09	4.477
2	Shell Research	6.15E-07	4
3	US Army Corps of Engineers	1.81E-15	6.527
4	Belgian Road Research Center	3.05E-09	4.35
5	Transport and Road Research Laboratory	1.13E-06	3.75

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

اصل خرابی مایننگ



خرابی مربوط به عبور یک نوع محور:

$$D = \frac{n}{N}$$

خرابی مربوط به عبور چند نوع محور:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

n_i = Predicted number of load repetitions for load i ,

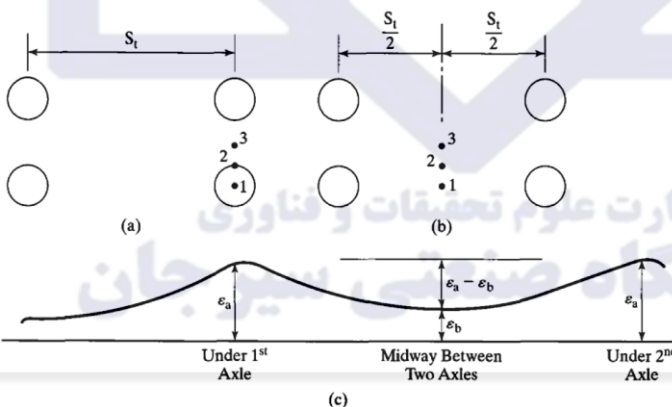
N_i = Allowable Number of load repetitions for load i

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۹

سیستم‌های تک لایه‌ای (نیمه بینهایت)



$$D = \frac{n}{N_{\epsilon_a}} + \frac{n}{N_{\epsilon_{a-b}}}$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

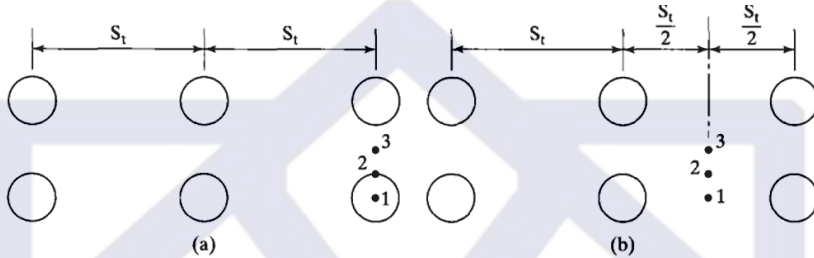
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۰

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

سیستم‌های تک لایه‌ای (نیمه بینهایت)



$$D = \frac{n}{N_{\varepsilon_a}} + \frac{n}{N_{\varepsilon_{a-b}}} + \frac{n}{N_{\varepsilon_{a-b}}}$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۱

مدل K - θ برای مصالح درشتدانه



$$E = K_1 \theta^{K_2} \quad \theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z + \gamma z(1 + 2K_0)$$

TABLE 3.1 Nonlinear Constants K_1 and K_2 for Granular Materials

Material type	No. of data points	K_1 (psi)		K_2	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Silty sand	8	1620	78	0.62	0.13
Sand-gravel	37	4480	4300	0.53	0.17
Sand-aggregate blend	78	4350	2630	0.59	0.13
Crushed stone	115	7210	7490	0.45	0.23

Note. 1 psi = 6.9 kPa.

Source. After Rada and Witzczak (1981).

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۲

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مدل K-θ برای مصالح درشتدانه



TABLE 3.2 Ranges of K_1 and K_2 for Untreated Granular Materials

Reference	Material	K_1 (psi)	K_2
Hicks (1970)	Partially crushed gravel, crushed rock	1600–5000	0.57–0.73
Hicks and Finn (1970)	Untreated base at San Diego Test Road	2100–5400	0.61
Allen (1973)	Gravel, crushed stone	1800–8000	0.32–0.70
Kalcheff and Hicks (1973)	Crushed stone	4000–9000	0.46–0.64
Boyce et al. (1976)	Well-graded crushed limestone	8000	0.67
Monismith and Witzcak (1980)	In service base and subbase materials	2900–7750	0.46–0.65

Note. 1 psi = 6.9 kPa.

Source. After Shook et al. (1982).

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۳

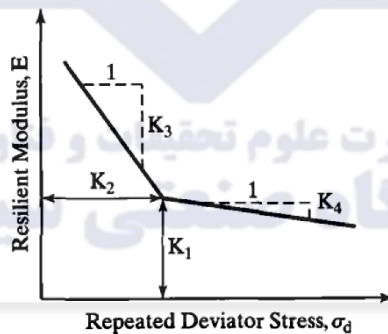
مدل دو جمله‌ای برای مصالح ریزدانه



$$E = K_1 + K_3(K_2 - \sigma_d) \quad \text{when } \sigma_d < K_2$$

$$\sigma_d = \sigma_1 - 0.5(\sigma_2 + \sigma_3) + \gamma z(1 - K_0)$$

$$E = K_1 - K_4(\sigma_d - K_2) \quad \text{when } \sigma_d > K_2$$



دکتر علیرضا غنی‌زاده

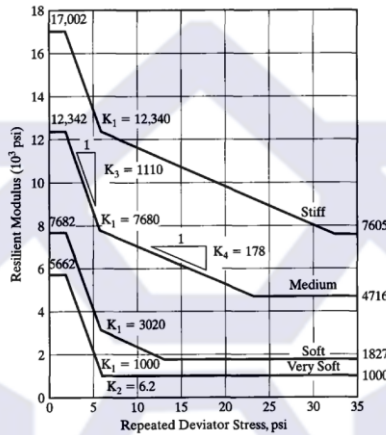
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۴

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مدل دو جمله‌ای برای مصالح ریزدانه



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۵

مدل 2004 MEPDG برای مصالح ریزدانه و درشتدانه



$$M_R = K_1 p_a \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{k_3}$$

θ = First invariant of stress tensor = $|\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3|/3$

τ_{oct} = Octahedral shear stress = $1/3\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}$

p_a = Atmospheric pressure

K_1 , K_2 , and K_3 = multiple regression constants evaluated from resilient modulus test data.

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۶

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مفهوم نقطه پاسخ

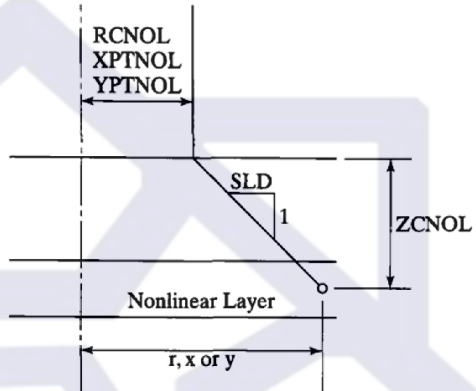


$$r = RCNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$x = XPTNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$y = YPTNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$SLD = 0$$



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۷

مختصات نقطه تنش برای محاسبه پاسخ‌های مختلف



محاسبه تنش و کرنش‌های حداکثر برای بار منفرد:

$$r = RCNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$RCNOL = 0 \text{ and } SLD = 0$$

محاسبه تنش و کرنش‌های حداکثر برای بار چندگانه:

$$x = XPTNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$y = YPTNOL + (SLD)(ZCNOL)$$

$$XPTNOL = 0, YPTNOL = YW/2$$

$$SLD = 0$$

محاسبه افت و خیزها:

$$SLD = 0.5$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

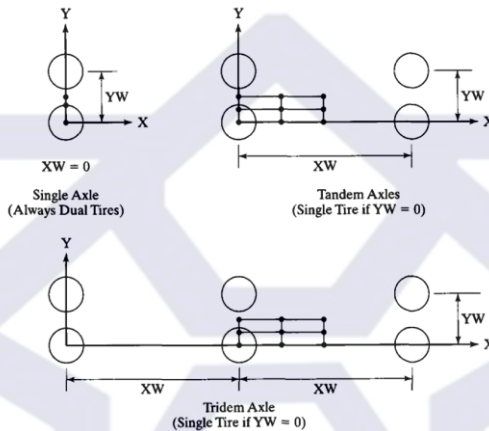
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۸

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

مختصات چرخ‌ها و نقاط بحرانی در برنامه KENLAYER



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۹

روش‌های در نظر گرفتن نقاط تنش و تحلیل غیر خطی



۱- تقسیم لایه به تعدادی زیر لایه

۲- در نظر گرفتن نقطه تنش در یک سوم الی یک چهارم بخش فوقانی لایه.

۳- در نظر گرفتن نقطه تنش در مرکز لایه و اصلاح تنش‌های افقی

دکتر علیرضا غنی‌زاده

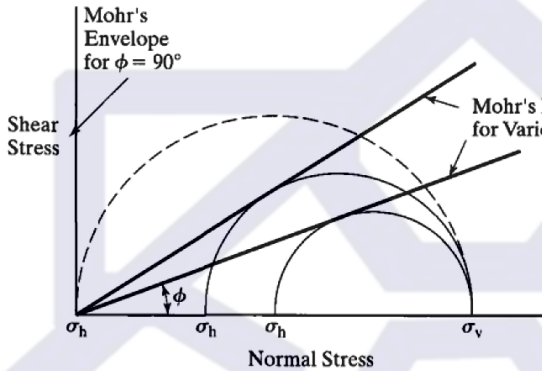
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۰

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

تصحیح مقادیر تنش افقی



$$\sigma_h = \sigma_v \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

Weak subgrade:

PHI=40 when E<10000psi

Stiff subgrade:

PHI>60

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۱

برنامه NonPAS



NonPAS 2011

General Settings Layers Specifications Loading Specifications Evaluation points Nonlinear Convergence Results

Layers

Number of Layers: 4

Layer Number	Elastic Modulus	Poisson Ratio	Thickness	Unit Weight	Nonlinear	F0	F1	F2	F3	F4	Nonlinear Model	Z Nonlinear
1	40000.00	0.25	3.00	0.0028	<input checked="" type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	0.000	30.00	1	4.50
2	30000.00	0.25	3.00	0.0078	<input checked="" type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	0.000	30.00	1	4.50
3	15000.00	0.25	0.00	0.0078	<input checked="" type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	0.000	30.00	1	0.00
4	5000.00	0.25	0.00	0.0078	<input checked="" type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	0.000	30.00	5	0.00

Note:

Nonlinear Models:

1. F-Trip Model 2. Uzen Model 3. Uzen-Voloshin Model 4. AASHTO Uzen Guide 2002 Model 5. Deviation Stress Model

NonPAS Version 2011

Design and Implementation: Ali Reza Ghanizadeh, ghanizadeh@st.ust.ac.ir

Pressure[Pa], Friction[inch], Elastic Modulus[Pa], Thickness[inch], Unit Weight[kN/m³], Coordinates[inch], Deflection[inch], Stress[Pa], Strain[mm/mm]

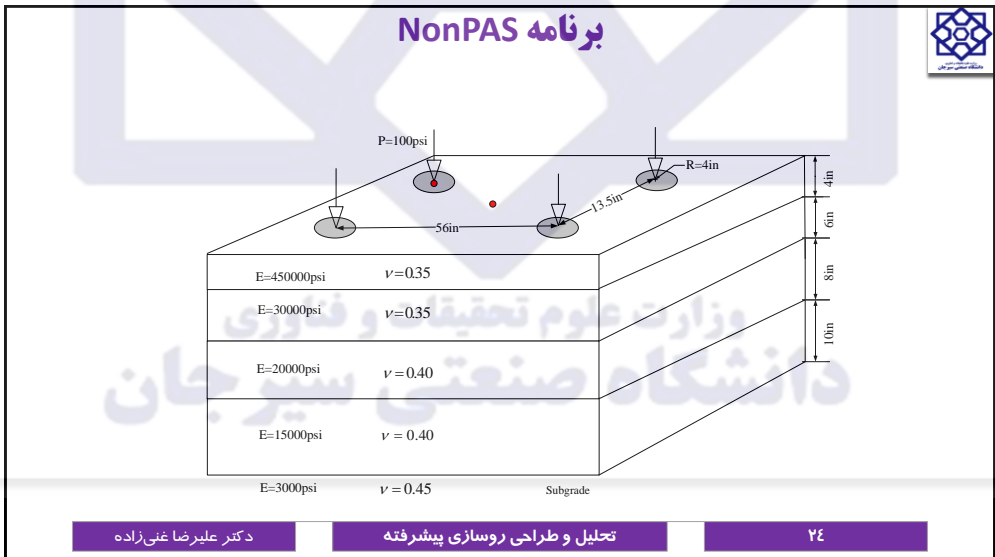
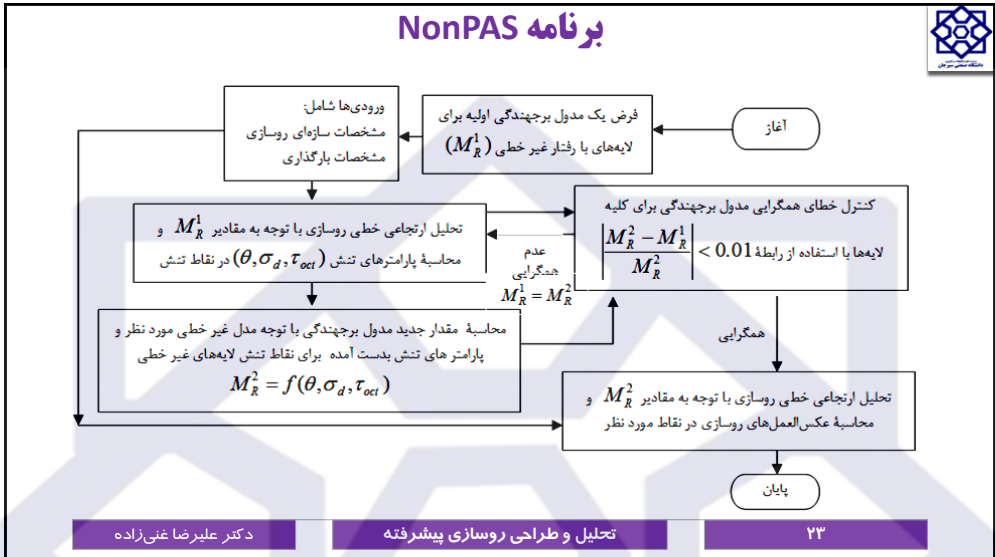
دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۲

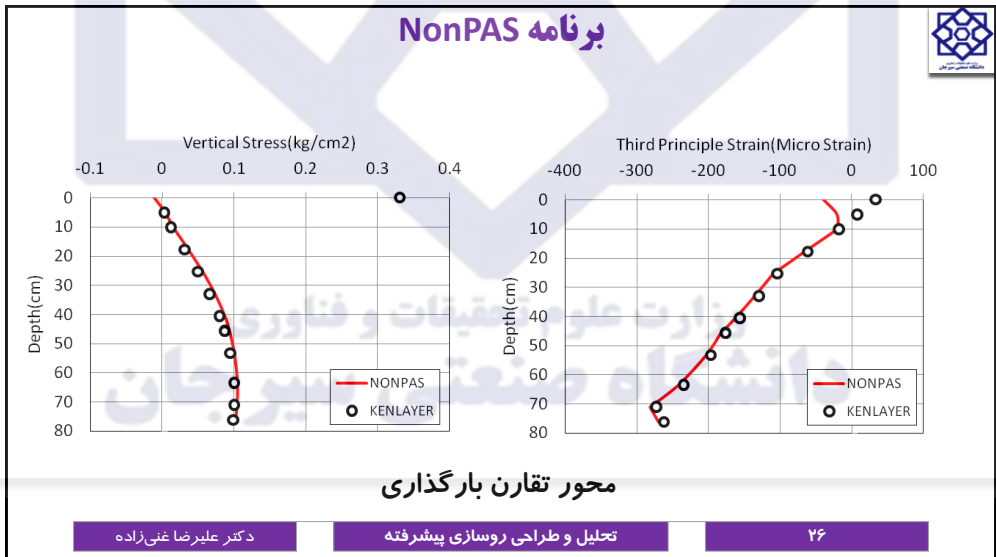
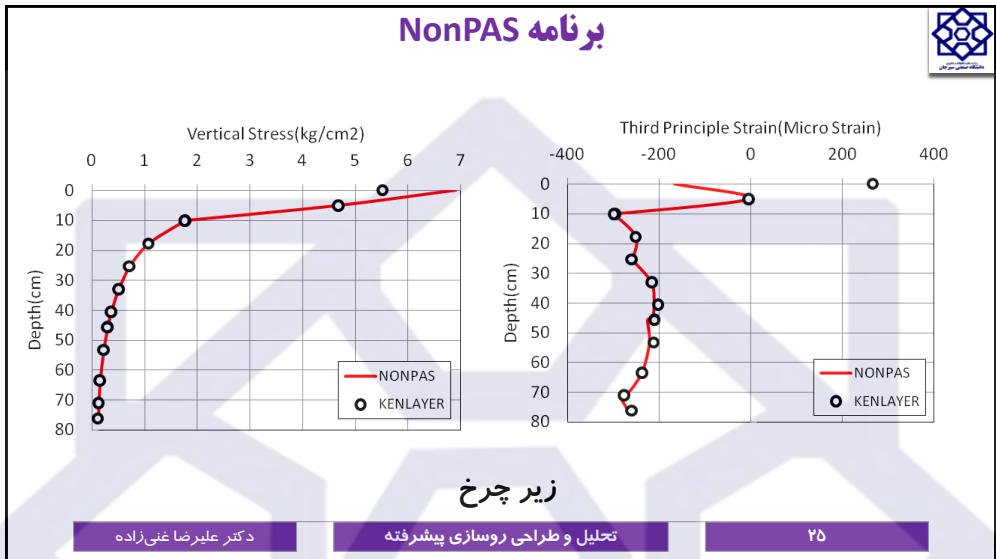
Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh



Soil Mechanics

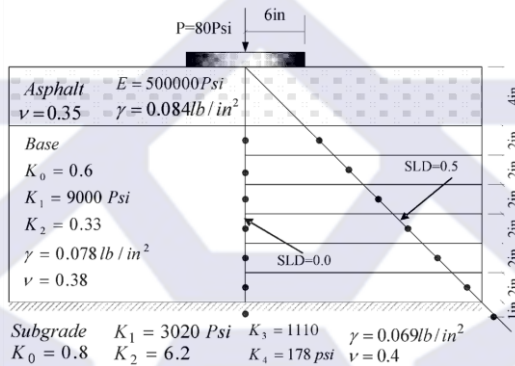
© Dr. Ali Reza Ghanizadeh



Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی

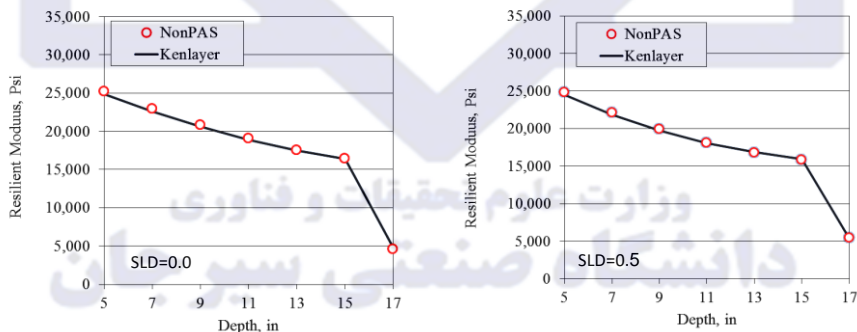


دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۷

نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۸

Soil Mechanics

© Dr. Ali Reza Ghanizadeh

نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی



SLD=0.0

روش سوم		روش دوم		روش اول		برنامه
ε_c	ε_t	ε_c	ε_t	ε_c	ε_t	
929.5	324.4	947.4	331.8	987.7	333.5	NonPAS
936.7	325.7	954.2	333.0	992.6	334.7	KENLAYER

ε_t : کرنش کششی افقی تار پایین آسفالت ($\mu Strain$)

ε_c : کرنش فشاری قائم سطح خاک بستر ($\mu Strain$)

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۹

نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی



SLD=0.5

روش سوم		روش دوم		روش اول		برنامه
ε_c	ε_t	ε_c	ε_t	ε_c	ε_t	
876.7	324.8	896.9	334.7	924.4	334.4	NonPAS
882.1	326.4	901.6	336.2	926.9	335.4	KENLAYER

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۰