



دانشگاه صنعتی شیراز

E, E11
(Avg. Grt. 75%)

+6.678e-04
+5.788e-04
+3.887e-04
+2.948e-04
+2.015e-04
+1.082e-04
+1.497e-05
-7.836e-04
-1.716e-04
-2.649e-04
-3.582e-04
-4.515e-04

تحلیل و طراحی پیشرفته روسازی


KENPAVE

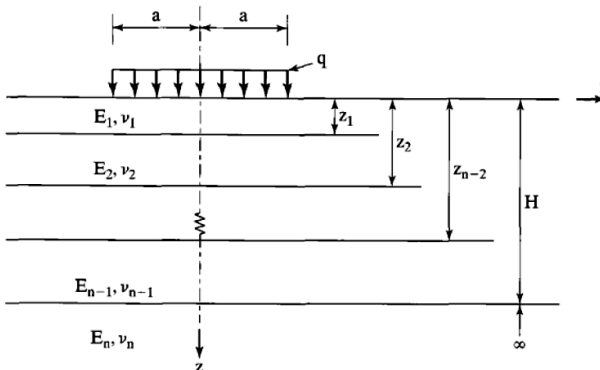
دکتر علیرضا غنی زاده

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شیراز

Subgrade Base AC

تحلیل سیستم‌های الاستیک چند لایه‌ای با استفاده از KENLAYER



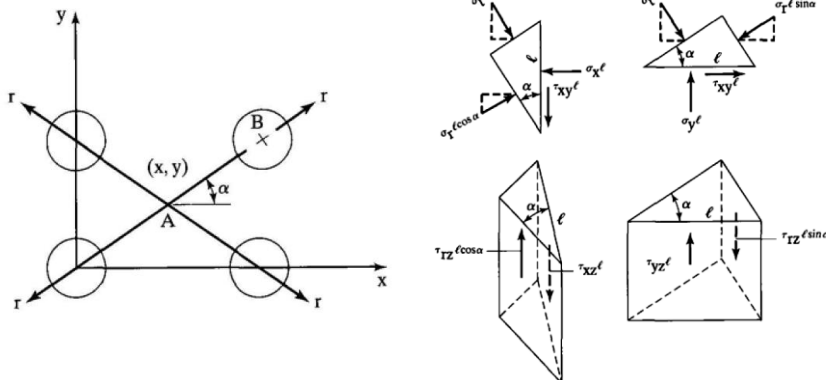


دکتر علیرضا غنی زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲

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

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



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

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶

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

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 ,

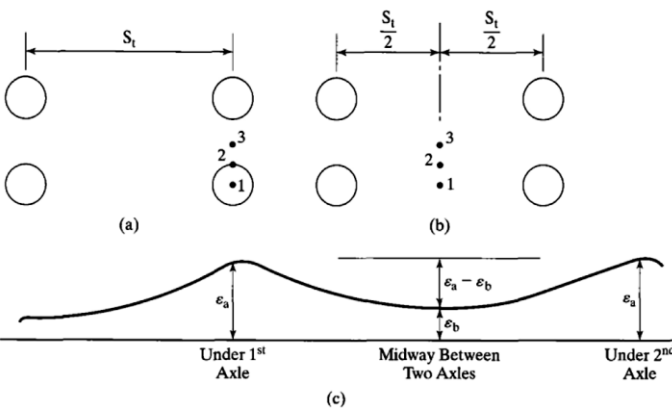
N_i = Allowable Number of load repetitions for load i

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۹

سیستم‌های تک لایه‌ای (نیمه بینهایت)



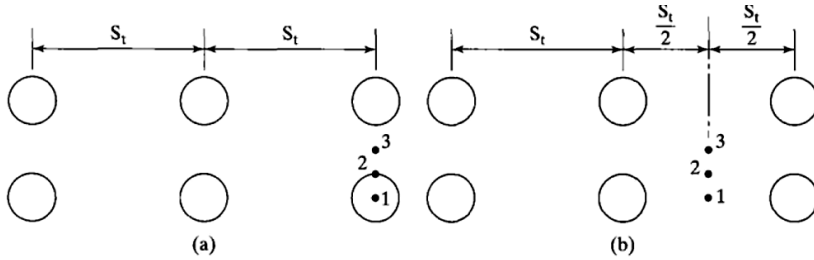
$$D = \frac{n}{N_{\epsilon_a}} + \frac{n}{N_{\epsilon_a - \epsilon_b}}$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۰

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 $K-\theta$ 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



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

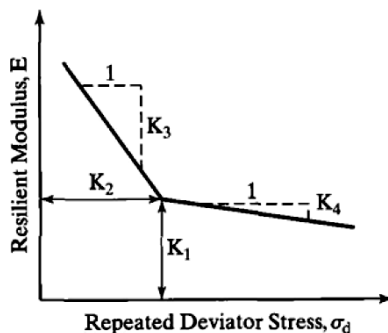


مدل دو جمله‌ای برای مصالح ریزدانه

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

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

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



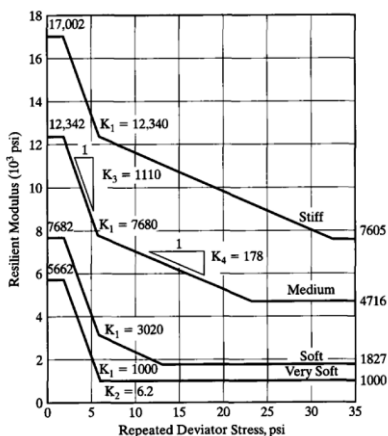
دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۴



مدل دو جمله‌ای برای مصالح ریزدانه



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۵

مدل MEPDG 2004 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



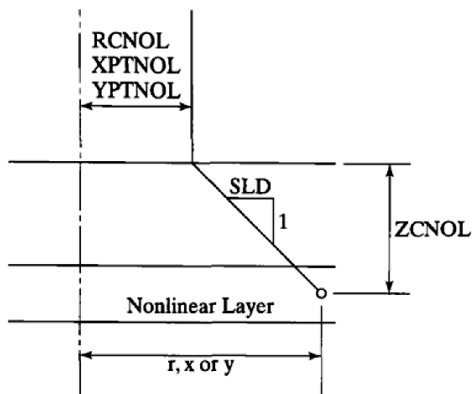
مفهوم نقطه پاسخ

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

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

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

$$SLD = 0$$



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:

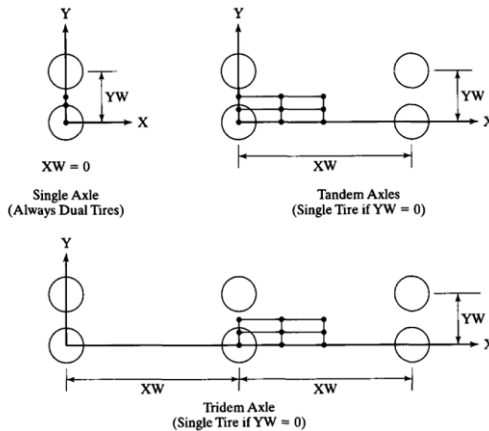
$$SLD = 0.5$$

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۸

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



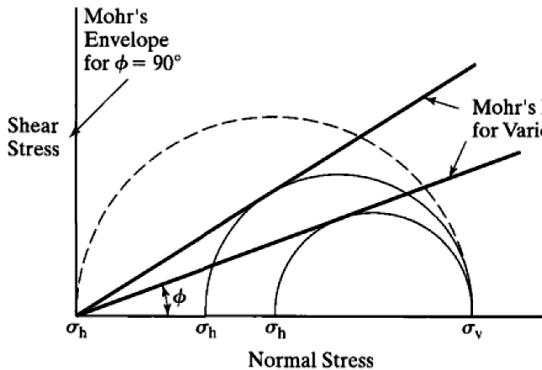
- ۱- تقسیم لایه به تعدادی زیر لایه
- ۲- در نظر گرفتن نقطه تنش در یک سوم الی یک چهارم بخش فوقانی لایه.
- ۳- در نظر گرفتن نقطه تنش در مرکز لایه و اصلاح تنش‌های افقی

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۰

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



Layer Number	Elastic Modulus	Poisson Ratio	Thickness	Unit Weight	Nonlinear	K0	K1	K2	K3	K4	Nonlinear Model	Z Nonlinear
1	40000.00	0.25	3.00	0.0078	<input type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	0.000	30.00	1	0.00
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	500.000	30.00	1	0.00
4	5000.00	0.25	0.00	0.0078	<input checked="" type="checkbox"/>	0.60	6000.000	0.500	500.000	30.00	5	0.00

Nonlinear Models:
 1. 1-Tra Model 2. Uzen Model 3. Uzen-Volzok Model 4. AASHTO Uzen Guide 2002 Model 5. Deviatoric Stress Model

Version 2011
 Design and Implementation:
 Ali Reza Ghazvini
 aghazvini@nsoi.ir

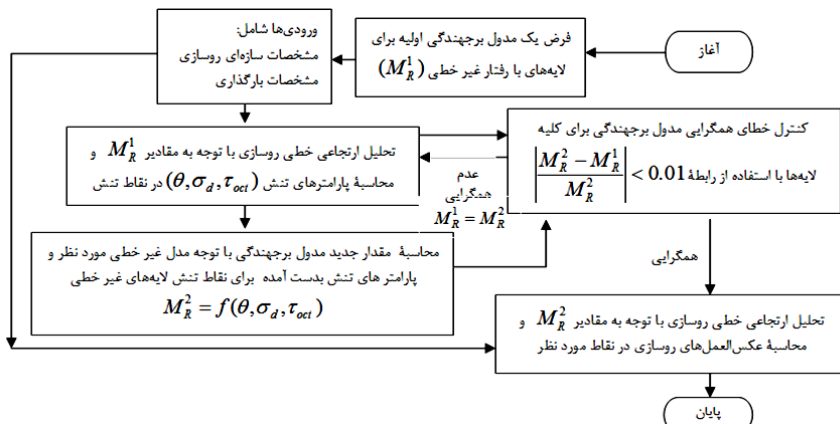
دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۲



برنامه NonPAS

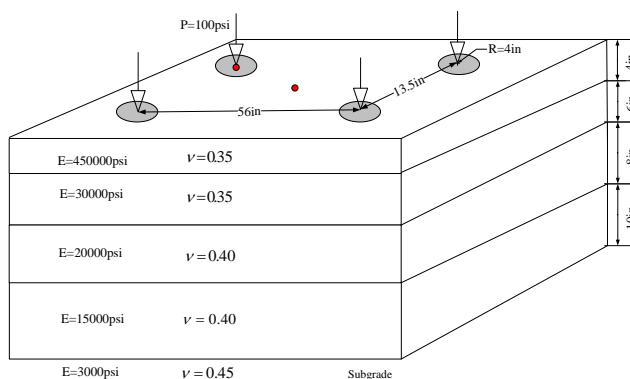


دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۳

برنامه NonPAS



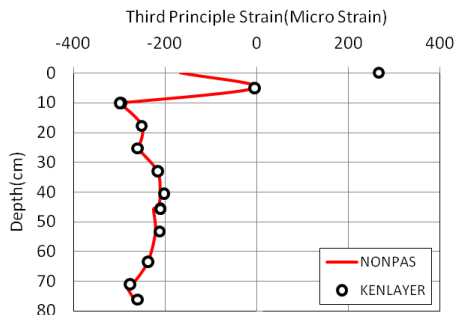
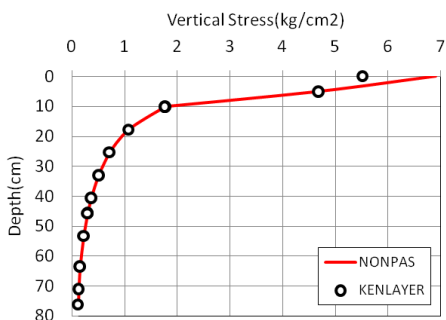
دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۴



برنامه NonPAS



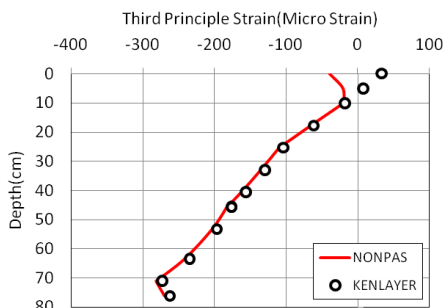
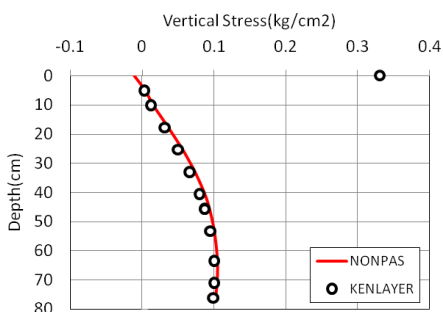
زیر چرخ

دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۵

برنامه NonPAS



محور تقارن بار گذاری

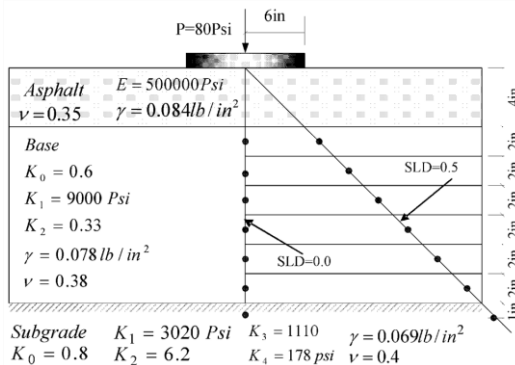
دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۶



نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی

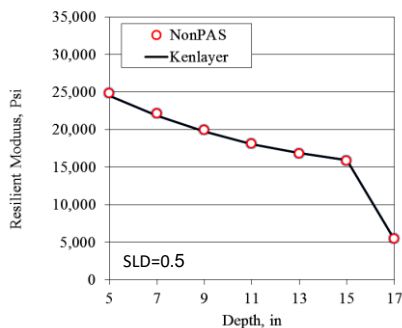
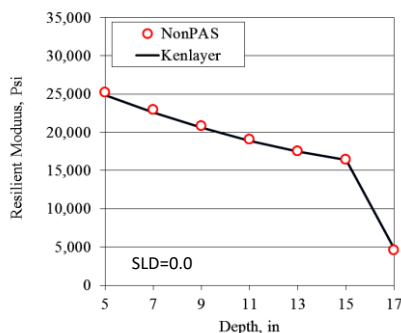


دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۷

نمونه‌ای از تحلیل غیر خطی



دکتر علیرضا غنی‌زاده

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۸



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 (μ Strain)

ε_c : کرنش فشاری قائم سطح خاک بستر (μ 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