

شمع تمت بار جانبی

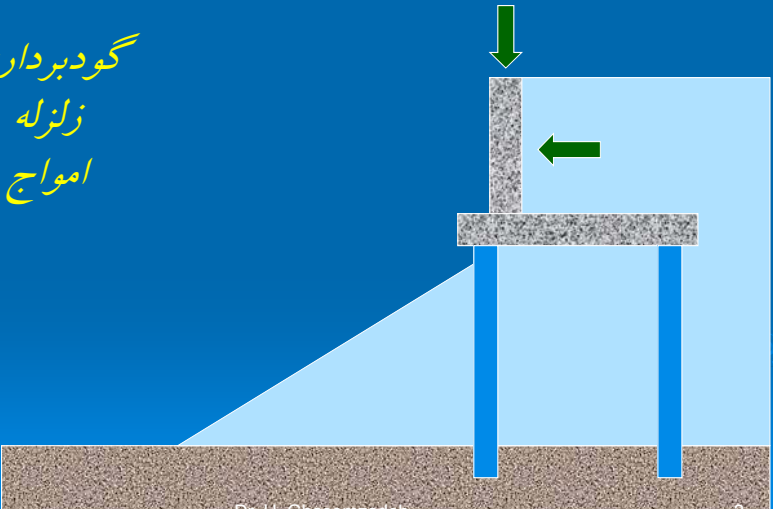
Piles

Hasan Ghasemzadeh

Dr. H. Ghasemzadeh 1

کاربرد

گودبرداری
زلزله
امواج



Dr. H. Ghasemzadeh 2

The diagram illustrates the application of piles in foundation engineering. It shows a cross-section of a structure with two vertical piles driven into the ground. A horizontal load is applied to the structure, indicated by a green arrow pointing left. A vertical load is also shown, indicated by a green arrow pointing down. The ground is depicted as a brown layer at the bottom. The text 'کاربرد' (Application) is at the top, and 'گودبرداری', 'زلزله', and 'امواج' (Excavation, Earthquake, and Waves) are listed on the left side, indicating the contexts in which piles are used.

کاربرد

شمع سکوهای شابلونی

El. +17'

1:7 batter

8 main piles
-48-in. diameter
-welded at top
-300-ft penet.

4 skirt piles
-grouted in sleeves

El. -280'

Dr. H. Ghasemzadeh

انواع شمع

شمع پافیلی

شمع درجا

شمع تودرتو

شمع کوبیدنی

Dr. H. Ghasemzadeh

4

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

➤ در بررسی رفتار شمع‌ها تحت بار جانبی از دو روش آنالیزی استفاده می‌شود که هر دوی آن‌ها معمولاً بر اساس فرض رفتار الاستیک خاک و شمع استوار است. این دو روش عبارتند از:

- ♦ مدل المان محدود
- ♦ مدل تیر بر بستر ارتجاعی (مدل وینکلر)

Dr. H. Ghasemzadeh

5

پارامترهای مورد نیاز و تاثیر گذار
آنالیز استاتیکی شمع تحت بار
جانبی

خصوصیات بار گذاری

حد بار گذاری که سیستم در محدوده خطی
و یا غیرخطی قرار می‌گیرد.

نوع بار گذاری (استاتیکی یا دینامیکی)

نحوه و محل وارد آمدن بار

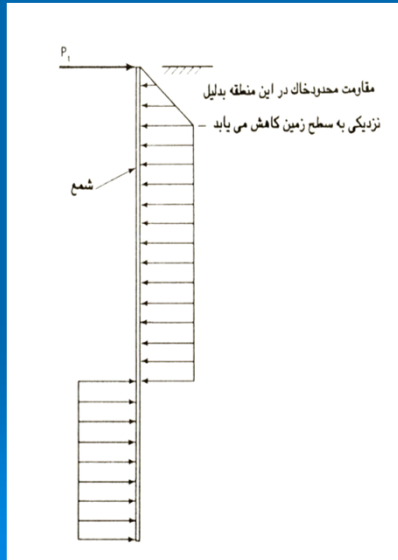
خصوصیات خاک

خصوصیات شمع

Dr. H. Ghasemzadeh

6

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

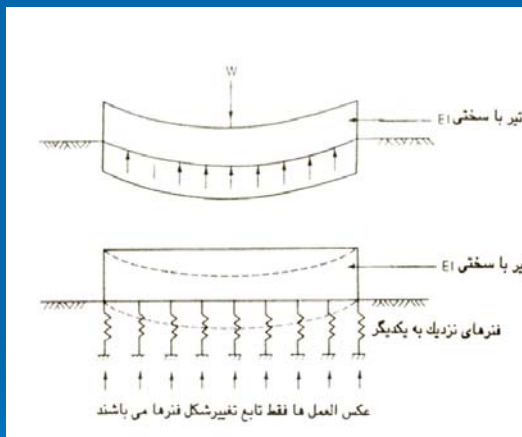


در روش المان محدود فرض بر اینست که مقاومت ماکزیمم خاک در برابر شمع عمل می نماید. در این روش مقاومت خاک در عمق شمع ثابت گرفته شده و فرض می گردد تغییر شکل جانبی شمع به حدی می رسد که موجب فعال شدن کل نیروی مقاوم خاک گردد.

Ghasemzadeh

7

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی



بر اساس یک فرض ساده تر محیط الاستیک خاک با یک سری فنر الاستیک مستقل، قابل جایگزین است.

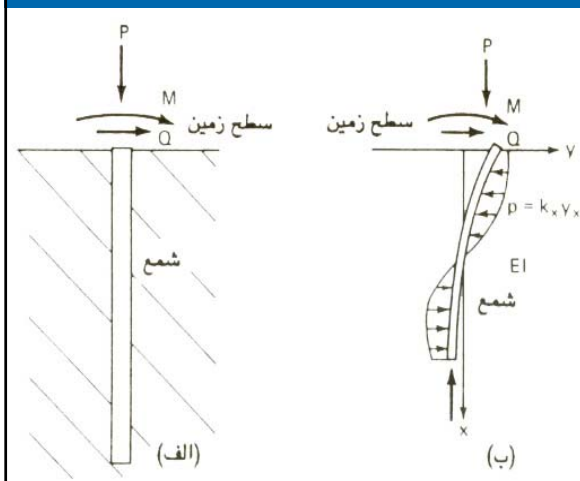
سختی این فنرها را می توان این چنین نوشت:

$$k_{(kg/cm)} = \frac{P}{y_{(cm)}}$$

Dr. H. Ghasemzadeh

8

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی



سختی این فنرها:

$$k_x = k_h \left(\frac{x}{l} \right)^n$$

عمق	x
سختی در نوک شمع	k_h
طول شمع	l

Dr. H. Ghasemzadeh

9

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

$n = 1$ برای خاک دانه‌ای و سیلتها و رسهای عادی تحکیم یافته

$$k_x = k_h \left(\frac{x}{l} \right) = \left(\frac{k_h}{l} \right) x = n_h x$$

مدول ثابت عکس العمل افقی خاک در نوک شمع n_h (kg/cm^3)

$n = 0$ برای خاک های چسبنده

$$k_x = k_h$$

Dr. H. Ghasemzadeh

10

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

طول مشخصه شمع

با افزایش طول از حد مشخصی دیگر تاثیری روی تغییر شکل جانبی مشاهده نمی شود این طول را طول مشخصه می نامیم

$y \approx y_1$

و l_a تابعی از سختی خاک k و سختی شمع EI باشد

Dr. H. Ghasemzadeh 11

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

با داشتن سختی خاک و شمع تغییر مکان شمع مشخص می شود

با داشتن تغییر مکان شمع با مشتق گیری لنگر و برش و عکس العمل خاک مشخص می شود

y $M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$ $v = EI \frac{d^3 y}{dx^3}$ $p = EI \frac{d^4 y}{dx^4}$

Dr. H. Ghasemzadeh 12

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

تغییر مکان جانبی شمع‌ها تابعی از

$$y(x) = y(x, T, l_s, k, EI, Q_g, M_g)$$

فاکتور نسبی سختی $T = \frac{l_a}{\lambda}$

ضریب $\lambda > 0$

Properties
A, E, I

Dr. H. Ghasemzadeh

13

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

در تغییر شکل کوچک

$$y = y_A + y_B$$

Dr. H. Ghasemzadeh

14

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

پارامترهای بدون بعد ➤

$$\frac{y_A EI}{Q_g T^3}, \frac{x}{T}, \frac{l_s}{T}, \frac{kT^4}{EI} \quad \text{A برای بار } Q_g$$

$$\frac{y_B EI}{M_g T^2}, \frac{x}{T}, \frac{l_s}{T}, \frac{kT^4}{EI} \quad \text{B برای بار } M_g$$

$$\text{تابع مدول خاک} \quad \frac{kT^4}{EI} = \varphi(z) \quad \begin{array}{l} \text{فاکتور نسبی سختی} \quad T = \frac{l_a}{\lambda} \\ \text{ضریب عمق} \quad z = \frac{x}{T} \\ \text{ضریب عمق حداکثر} \quad z_{\max} = \frac{l_s}{T} \end{array}$$

Dr. H. Ghasemzadeh

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

$$A_y = \frac{y_A EI}{Q_g T^3} \quad \text{A ضریب تغییر مکان حالت}$$

$$B_y = \frac{y_B EI}{M_g T^2} \quad \text{B ضریب تغییر مکان حالت}$$

$$y_x = y_A + y_B = A_y \frac{Q_g T^3}{EI} + B_y \frac{M_g T^2}{EI}$$

بصورت مشابه

Dr. H. Ghasemzadeh

16

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

بصورت مشابه

$$S_x = S_A + S_B = A_s \frac{Q_g T^2}{EI} + B_s \frac{M_g T}{EI}$$

شیب

$$M_x = M_A + M_B = A_m Q_g T + B_m M_g$$

لنگر

$$V_x = V_A + V_B = A_m Q_g + B_m M_g / T$$

برش

$$P_x = P_A + P_B = A_p Q_g / T + B_p M_g / T^2$$

فشار خاک

Dr. H. Ghasemzadeh

17

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

محاسبه ضرایب A , B

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = P$$

$$P = -ky_x$$

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{ky_x}{EI} = 0$$

با حل معادله فوق برای حالت نیروی افقی و ممان مقادیر ضرایب A_y, B_y برای مقادیر مختلف عمق بدست می آیند.

Dr. H. Ghasemzadeh

18

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

➤ مقاومت نهایی جانبی شمع‌ها

➤ محاسبه مقاومت نهایی جانبی خاک :

♦ برای خاک‌های چسبنده داریم:

$$P_u = K_c C$$

K_c بستگی به نسبت چسبندگی شمع به چسبندگی خاک و به مقطع شمع

دارد.

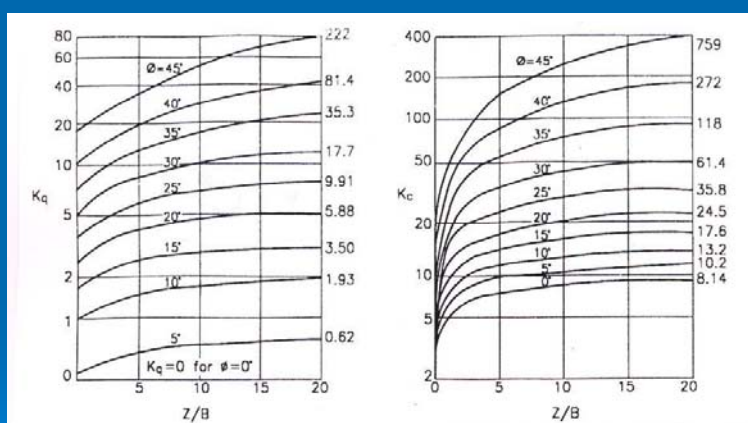
♦ برای خاک‌های دانه‌ای نیز داریم:

$$P_u = qK_q + CK_c$$

Dr. H. Ghasemzadeh

19

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی



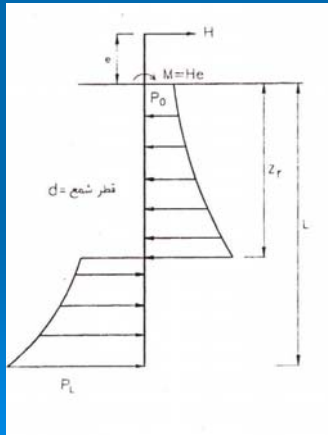
ضریب مقاومت جانبی K_c و K_q برای خاک‌های دانه‌ای

Dr. H. Ghasemzadeh

20

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

محاسبه مقاومت نهایی شمع به روش استاتیکی:



$$H_u = \left(\int_0^{z_r} P_u dz - \int_{z_r}^l P_u dz \right)$$

$$M_u = H_u \cdot e = - \int_0^{z_r} P_u \cdot d \cdot z dz - \int_{z_r}^l P_u \cdot d \cdot z dz$$

Dr. H. Ghasemzadeh

21

رفتار شمع تحت بار جانبی استاتیکی

➤ در حالتی که مقاومت خاک با عمق در طول شمع دارای توزیع یکساحت است:

$$Z_r = \frac{1}{2} \left(\frac{H_u}{P_u \cdot d} + l \right)$$

$$\frac{M_u}{P_u \cdot d \cdot l^2} = \frac{H_u \cdot e}{P_u \cdot d \cdot l^2} = \frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{2H_u}{P_u \cdot d \cdot l} \right) - \left(\frac{H_u}{P_u \cdot d \cdot l} \right)^2 \right]$$

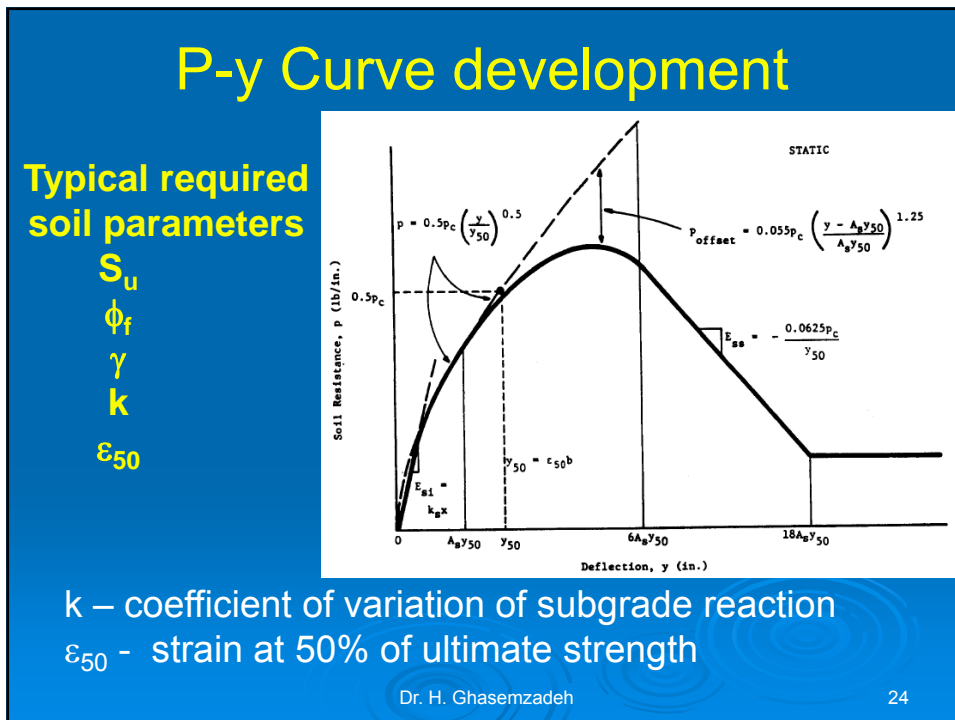
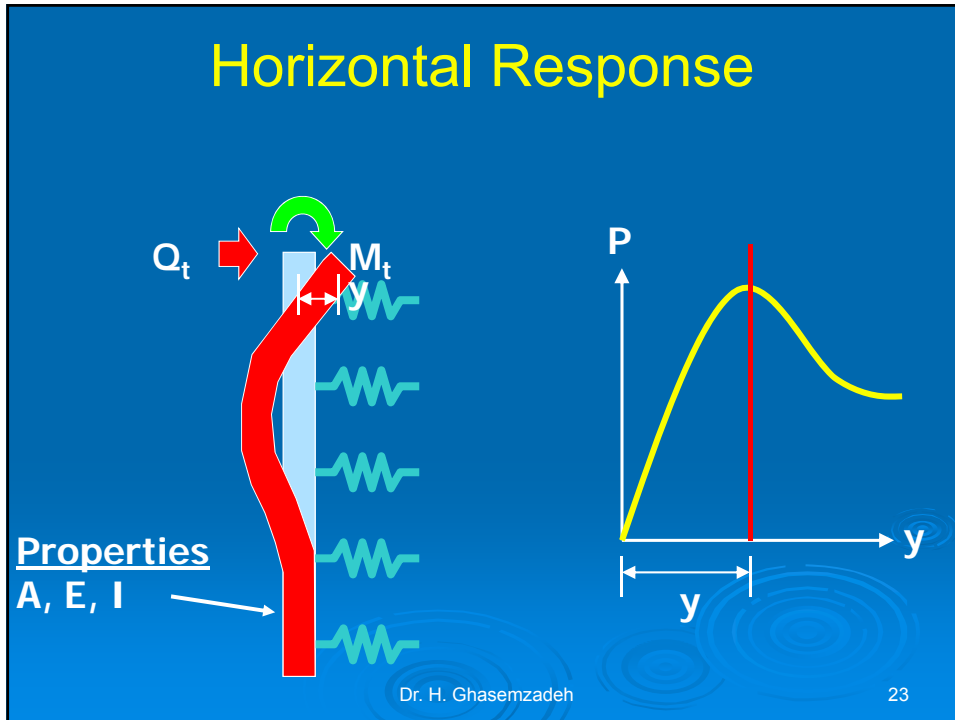
➤ در حالتی که تغییرات مقاومت خاک با عمق خطی است، معادلات زیر باید ساخته و حل شوند:

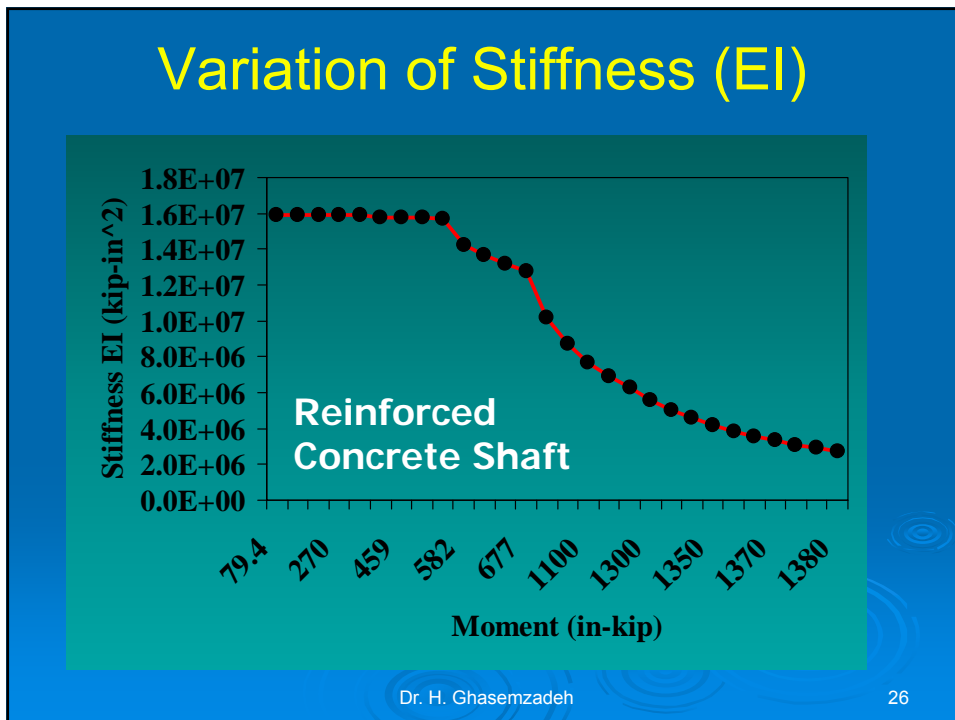
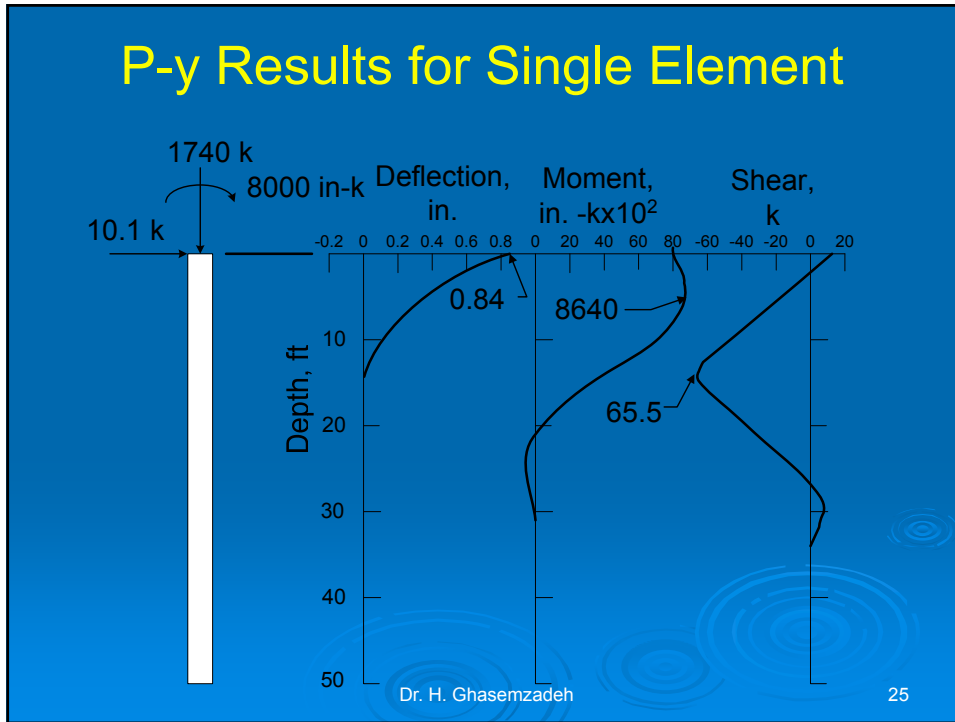
$$4 \left(\frac{Z_r}{l} \right)^3 + \left[6 \left(\frac{Z_r}{l} \right)^2 \right] \left[\frac{e}{l} + \frac{P_0}{P_l - P_0} \right] + \left(\frac{12P_0}{P_l - P_0} \right) \left(\frac{e}{l} \right) \left(\frac{Z_r}{l} \right) - \left(\frac{3e}{l} \right) \left(\frac{P_0 + P_l}{P_l - P_0} \right) - \left(\frac{2P_l + P_u}{P_l - P_0} \right) = 0$$

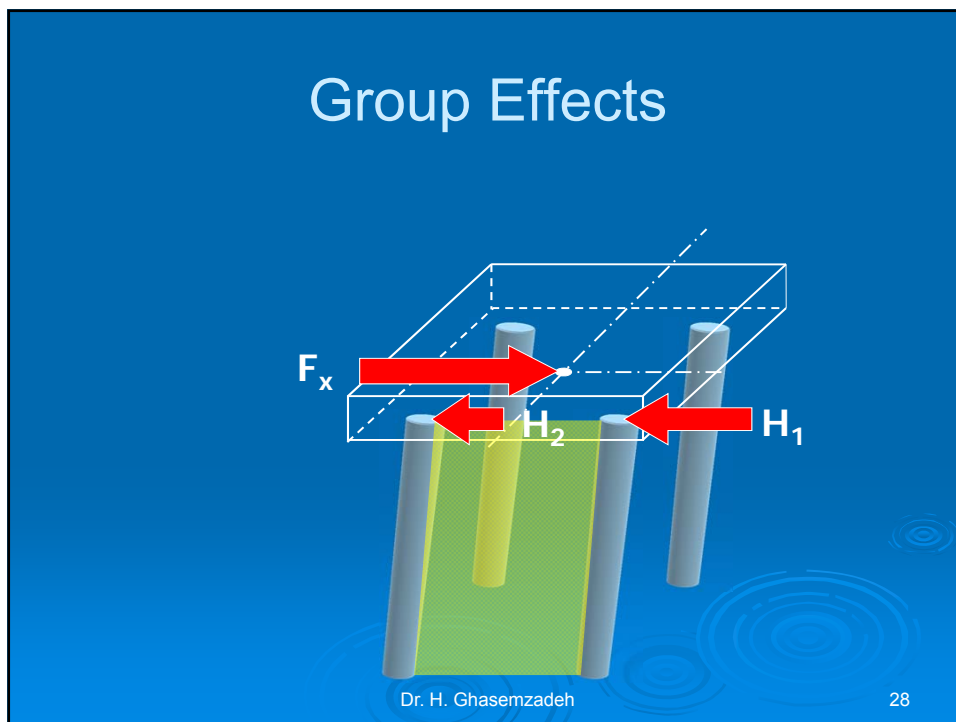
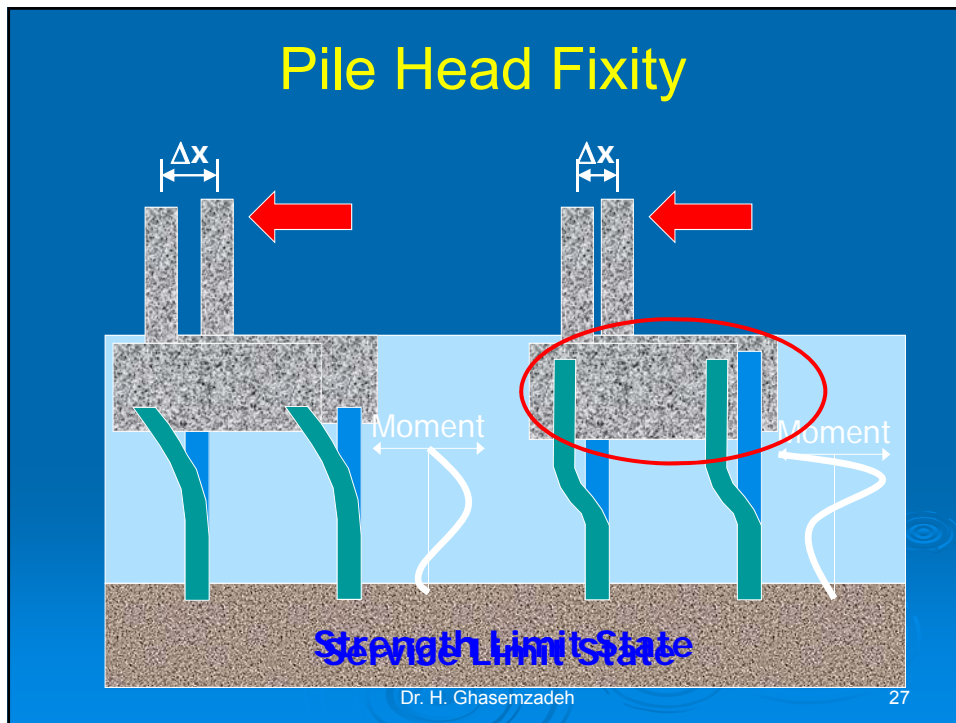
$$\frac{H_u}{P_l \cdot d \cdot l} = \left(1 - \frac{P_0}{P_l} \right) \left(\frac{Z_r}{l} \right)^2 + \left(\frac{2P_0}{P_l} \right) \left(\frac{Z_r}{l} \right) - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{P_0}{P_l} \right)$$

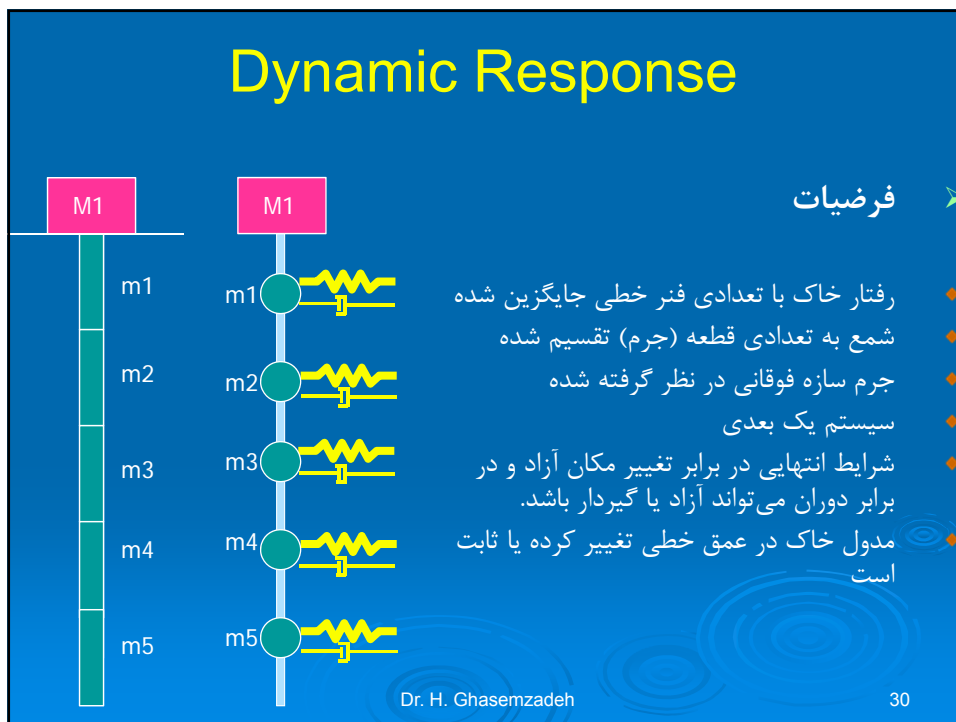
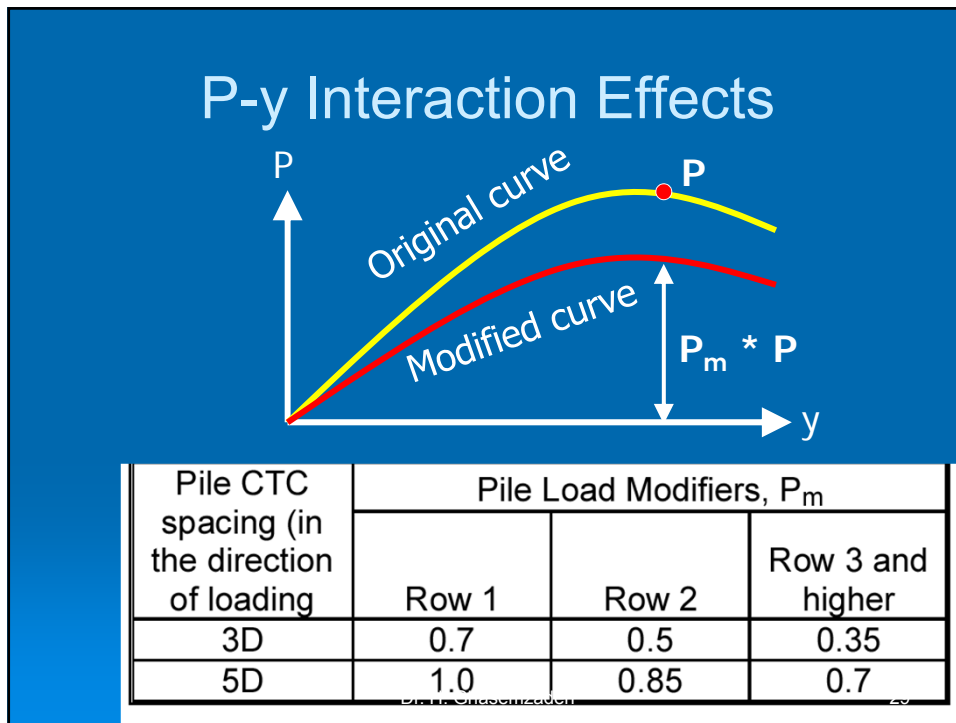
Dr. H. Ghasemzadeh

22









Dynamic Response

فاکتور بدون بعد فرکانس بصورت زیر تعریف می شود

$F_{cl1} = \omega_{n1} \sqrt{\frac{w}{gkR}}$ برای خاک با مدول ثابت
(ماهیت چسبنده)

$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{k}}$ فاکتور نسبی سختی

$F_{sl1} = F'_{sl1} = \omega_{n1} \sqrt{\frac{w}{g} \frac{1}{n_h T^2}}$ برای خاک با مدول متغیر
(ماهیت دانه‌ای)

سر شمع در برابر دوران گیردار یا آزاد

$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$ فاکتور نسبی سختی

Dr. H. Ghasemzadeh 31

Dynamic Response

فاکتور بدون بعد فرکانس از گرافها بر اساس Z_{max} بدست می‌آید.

$\Rightarrow \omega_{n1} = 2\pi f_1$

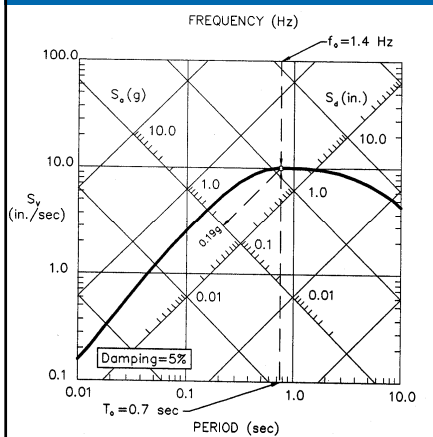
$\Rightarrow T_1 = 1/f_1$

فاکتور بدون بعد فرکانس برای مدهای بالاتر به طریق مشابه محاسبه می‌شود

با استفاده از پرپود محاسبه شده و میرایی می توان از گراف سه محوره به تغییر مکان و سرعت و شتاب دست یافت

Dr. H. Ghasemzadeh 32

Dynamic Response



لنگر خمشی ماکزیمم

$\Rightarrow M_{\max} = A_{me} kR^2 s_d$ خاک با مدول ثابت

$\Rightarrow M_{\max} = B_{me} n_h T^3 s_d$ خاک با مدول متغیر

ضرایب A_{me}, B_{me} بر اساس z_{\max}

از جداول بدست می آیند

فشار خاک

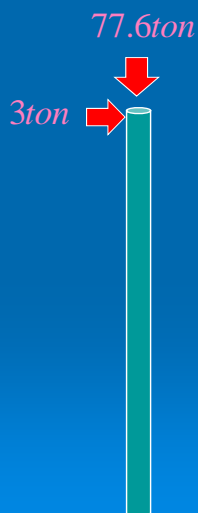
$\Rightarrow P = ky(x)$ خاک با مدول ثابت

$\Rightarrow P = n_h xy(x)$ خاک با مدول متغیر

Dr. H. Ghasemzadeh

33

Dynamic Response



مثال: تحت بار دینامیکی مطلوبست

- مقدار ماکزیمم تغییر مکان

- مقدار ماکزیمم لنگر خمشی

- مقدار عکس العمل شمع در طول شمع

$\phi = 30^\circ$

$n_h = 1.613 \text{ kg / cm}^3$

$EI = 3.8 \times 10^{10} \text{ kg / cm}^2$

$L_s = 12.2 \text{ m}$

$d = 30 \text{ cm}$

Dr. H. Ghasemzadeh

34

Dynamic Response

جواب:

$\lambda = 0$ برای سر شمع آزاد

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{3.8 \times 10^{10}}{1.613}} = 118.7 \text{ cm} = 1.187 \text{ m}$$

$$z_{\max} = \frac{L_s}{T} = \frac{12.2}{1.187} = 10.27 > 5$$

$\lambda = 0$

$$F_{s11} = 0.65 \Rightarrow \omega_{n1} = F_{s11} \sqrt{\frac{w}{g n_h T^2}} = 0.65 \sqrt{\frac{77.6 \times 1000}{9.81 \times 100} \frac{1}{1.613 \times 118.7^2}} = 11.014 \text{ rad/s}$$

$\lambda = 1$

$$F'_{s11} = 1$$

Dr. H. Ghasemzadeh

35

Dynamic Response

جواب:

$$\Rightarrow \omega_{n1} = 11.014 = 2\pi f_1 \Rightarrow f_1 = 1.753 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow T_1 = 1/f_1 = 0.57 \text{ s}$$

$$\zeta = 5\%$$

$$\Rightarrow s_d = 0.8 \text{ in} = 2 \text{ cm}$$

برای توزیع تغییر مکان از روابط تحت اثر بار جانبی داریم

$$y_x = A_y \frac{Q_g T^3}{EI} + B_y \frac{M_g T^2}{EI} \Rightarrow y_g = A_y \frac{Q_g T^3}{EI}$$

$$x = 0 \Rightarrow y_g = s_d \Rightarrow \frac{Q_g T^3}{EI} = \frac{2}{2.435} = 0.821$$

$$\Rightarrow y_g = 0.821 \text{ A}$$

Dr. H. Ghasemzadeh

36

Dynamic Response

ادامه:

با قرار دادن A_y اعماق مختلف مقدار تغییر مکان
شمع در آن نقطه بدست می آید

x	z	A_y	$y_g = 0.821A_y$	$P = n_h xy(x)$
	۰	۲,۴۳۵		

لنگر خمشی ماکزیمم

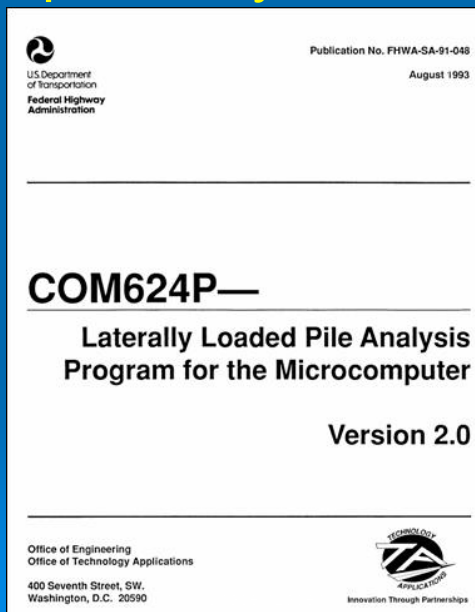
خاک با مدول متغیر

$$\Rightarrow M_{\max} = B_{me} n_h T^3 s_d = 16.98t - m$$

Dr. H. Ghasemzadeh

37

Computer P-y Modeling



38

Output for multiple loads

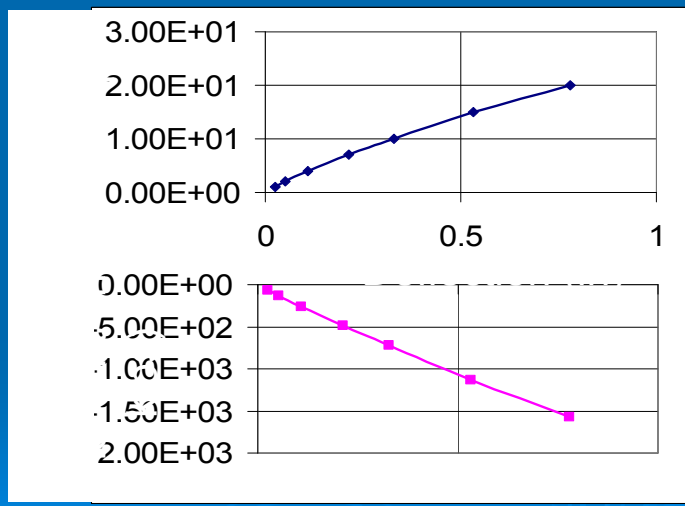
Applied
Horizontal
Load

Resulting
Deflection

Maximum
Moment

S U M M A R Y T A B L E

LATERAL LOAD (KIP)	BOUNDARY CONDITION BC2	AXIAL LOAD (KIP)	YT (IN)	ST (IN/IN)	MAX. MOMENT (IN-KIP)	MAX. STRESS (LBS/IN**2)
.100E+01	.000E+00	.100E+03	.257E-01	.452E-18	-.637E+02	.742E+04
.200E+01	.000E+00	.100E+03	.514E-01	.904E-18	-.127E+03	.840E+04
.400E+01	.000E+00	.100E+03	.108E+00	.000E+00	-.261E+03	.104E+05
.700E+01	.000E+00	.100E+03	.213E+00	-.361E-17	-.488E+03	.139E+05
.100E+02	.000E+00	.100E+03	.328E+00	.000E+00	-.723E+03	.175E+05
.150E+02	.000E+00	.100E+03	.532E+00	-.145E-16	-.113E+04	.236E+05
.200E+02	.000E+00	.100E+03	.779E+00	.000E+00	-.157E+04	.305E+05



مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

عوامل موثر بر پاسخ دینامیکی شمع‌ها

در مقایسه با پاسخ استاتیکی، مهم‌ترین اثرات بارهای دینامیکی وارد بر شمع‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- ♦ کاهش ظرفیت و سختی خاک به علت بارگذاری نوسانی.
- ♦ افزایش ظرفیت و سختی به علت سرعت بارگذاری.
- ♦ اثر تجمعی تغییرمکان (به خصوص در خاک‌های رسی بسیار چسبنده)
- ♦ استهلاك انرژی ناشی از میرایی هیستریزیک و شعاعی

Dr. H. Ghasemzadeh

41

مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

اثرات غیرخطی

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رفتار دینامیکی شمع‌ها اثرات غیرخطی ایجاد شده در شمع تحت بار دینامیکی است. علل اهمیت این رفتار را به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

- ♦ خاک
- ♦ اندرکنش آب - خاک و المان‌های شالوده
- ♦ همبستگی بین سازه و فونداسیون

Dr. H. Ghasemzadeh

42

مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

➤ مروری بر آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه آنالیز شمع تحت بار دینامیکی انجام شده است که در این قسمت به برخی از آنها به‌طور مختصر اشاره شده است. این آنالیزها بر پایه روش تیر بر پی وینکلر می‌باشد.

- ♦ پنزین و همکاران (Penzin) در سال ۱۹۶۴ جزء اولین محققینی بودند که روشی را برای تحلیل پاسخ لرزه‌ای شمع ارائه داده‌اند. در این روش جهت اندازه‌گیری پاسخ غیرخطی هیستریزیک خاک، فنرهایی با رفتار دو خطی، به‌همراه میراگرهای موازی و سری که به ترتیب برای مدل‌سازی میرائی و خزش خاک به کار می‌روند، استفاده شده است.

Dr. H. Ghasemzadeh

43

مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

- ♦ به سال ۱۹۷۸ متلاک و فو برنامه تحلیل تیر بر بستر ارتجاعی موسوم به LPASM8 را منتشر کردند. در این روش، یک شمع ارتجاعی خطی دارای المان‌های مجزا به یک تکیه‌گاه غیرخطی که دارای قابلیت مدل‌سازی شکاف ایجاد شده بین شمع و خاک را داراست، متصل می‌گردد.

- ♦ بی (Bea) چندین روش تحلیلی اندرکنش خاک - شمع - سازه را، به‌ویژه آن‌هایی را که به سازه‌های دریایی مربوط هستند معرفی نموده است. بی (۱۹۷۹) آهنگ بارگذاری و تاثیرات بارگذاری تناوبی را بر روی پاسخ محوری دینامیکی و جانبی شمع بررسی نمود.

Dr. H. Ghasemzadeh

44

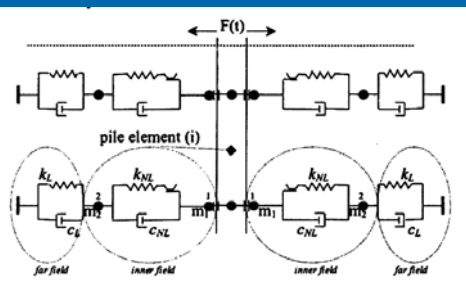
مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی

- بی در مقاله‌ای در سال ۱۹۹۱، یک مدل پیشرفته را برای شمع تحت بارگذاری دینامیکی محوری که در کنار آن چگونگی فرموله نمودن منحنی‌های $t-Z$ (منحنی مقاومت اصطکاکی شمع میله‌ای- تغییرمکان قائم) و $Q-Z$ (منحنی مقاومت انتهای شمع- تغییرمکان قائم) نیز عنوان شده است، ارائه کرد.
- در تحقیقی که El Naggar در سال ۲۰۰۰ در مورد آنالیز دینامیکی شمع‌ها تحت بار جانبی انجام داد شمع را به صورت دو بعدی به وسیله مدل وینکلر و با استفاده از منحنی $p-y$ خاک با در نظر گرفتن اثر میرایی و ایجاد شکاف در خاک تحلیل کرده است.

Dr. H. Ghasemzadeh

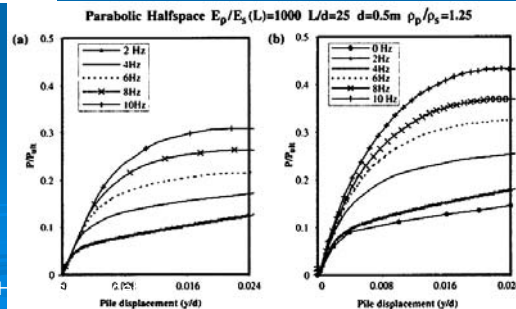
45

مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی



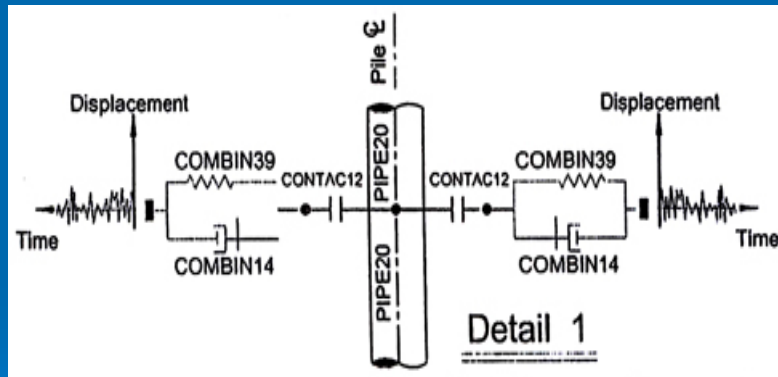
مدل عددی مورد استفاده به وسیله El. Naggar (1999)

نمونه ای از منحنی $p-y$ محاسبه شده به وسیله (1999) El.Naggar



Dr. H

مروری بر مدل‌ها و آنالیزهای دینامیکی شمع تحت بار جانبی



نحوه مدلسازی المانهای خاک و شمع، کیمیایی (۲۰۰۴)
 سختی خاک از منحنی‌های توصیه شده توسط آیین نامه انستیتو
 نفت آمریکا (API) استفاده شده است.

Dr. H. Ghasemzadeh

47