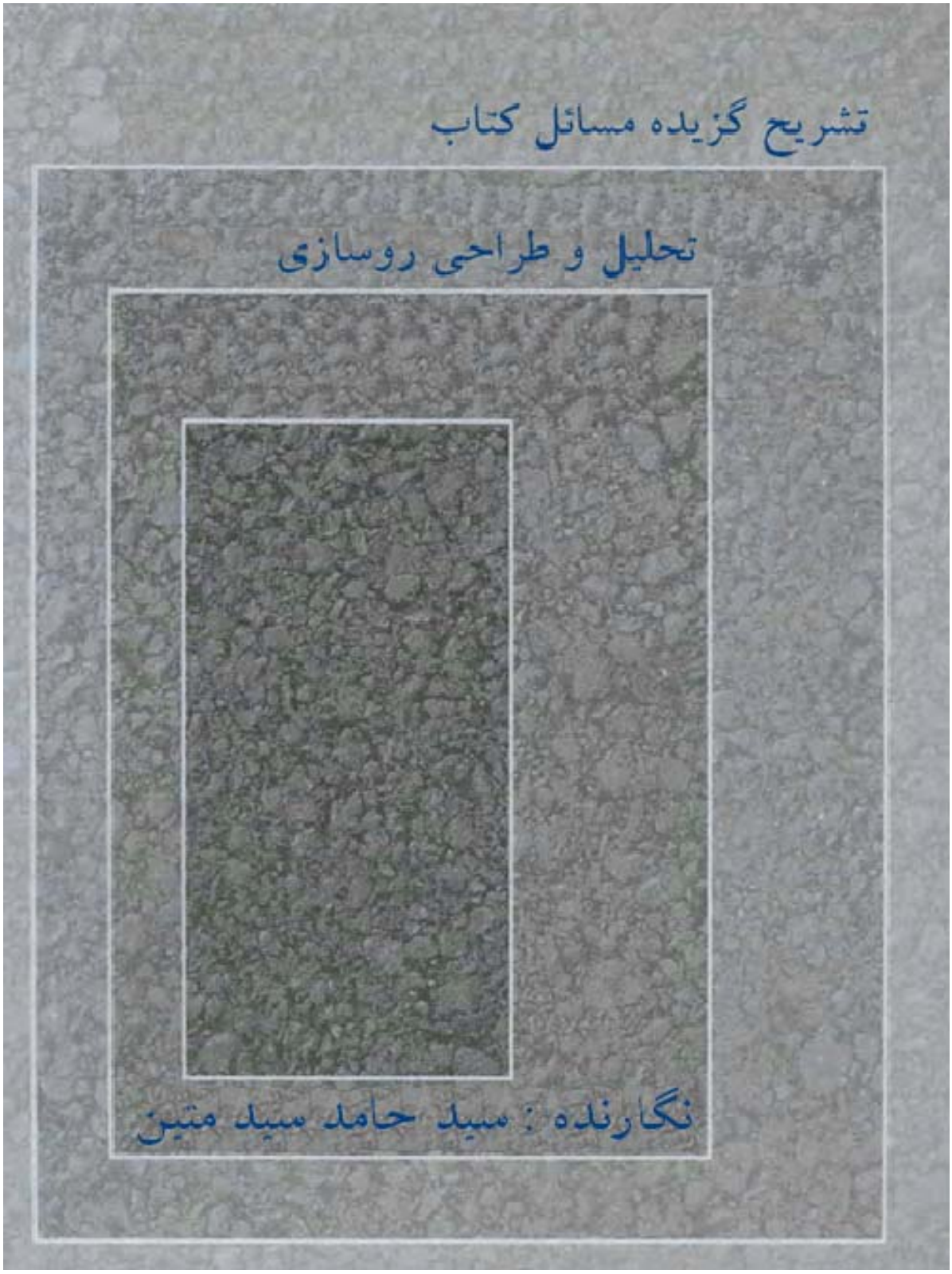

تشریح گزیده مسائل کتاب
تحلیل و طراحی روسازی
نگارنده : سید حامد سید متین

حل تمرینات روسازی پیشرفته

PAVEMENT ANALYSIS AND DESIGN

YANG H, HUANG

فصل دوم –

تنش ها و کرنش ها در روسازیهای انعطاف پذیر

۱-۲- یک توزیع بار با شدت q بصورت یکنواخت در سرتاسر یک سطح دایره ای به شعاع a روی یک سطح تراکم ناپذیر نیمه همگن $\nu = 0.5$ با مدول الاستسیک E همانطور که در شکل P2.1 نشان داده شده اعمال میگردد .

در حالت $q, a, and\ E$ تغییر مکان قائم را تعیین کنید ، سه تنش اصلی و سه کرنش اصلی را در نقطه 2a در زیر سطح و در گوشه r=a سطح بارگذاری را بیابید .

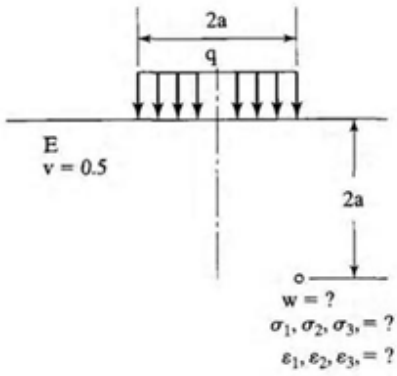


FIGURE P2.1

حل-

پارامترهای زیر را داریم :

$$\frac{Z}{a} = 2 \qquad \frac{r}{a} = 1 \qquad \nu = 0.5$$

توجه داریم که :

$$\sigma_2 = \sigma_t \qquad \sigma_1 = \sigma_{max} \qquad \sigma_3 = \sigma_{min}$$

با توجه به گراف ۲-۲ داریم :

$$\frac{\sigma_z}{q} \times 100 \approx 1.8 \rightarrow \sigma_z \approx 0.18q$$

با توجه به گراف **۳-۲** داریم :

$$\frac{\sigma_r}{q} \times 100 \approx 4.2 \rightarrow \sigma_r \approx 0.042q$$

با توجه به گراف **۵-۲** داریم :

$$\frac{\tau_{rz}}{q} \times 100 \approx 7.5 \rightarrow \sigma_r \approx 0.075q$$

حال با رسم دایره موهرتنش ، تنش های اصلی σ_1 & σ_3 را بدست می آوریم

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_z + \sigma_r}{2} \rightarrow \sigma_{av} = \frac{0.18q + 0.042q}{2} = 0.111q$$

$$R = \sqrt{(\frac{\sigma_z - \sigma_r}{2})^2 + \tau_{rz}^2)} \rightarrow R = \sqrt{(\frac{0.18q - 0.042q}{2})^2 + 0.075q^2)} = 0.102q$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{av} + R \rightarrow \sigma_{max} = 0.111q + 0.102q = 0.213q$$

$$\rightarrow \sigma_1 = \sigma_{max} = 0.213q$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{av} - R \rightarrow \sigma_{min} = 0.111q - 0.102q = 0.009q$$

$$\rightarrow \sigma_3 = \sigma_{min} = 0.009q$$

با توجه به گراف **۴-۲** داریم :

$$\frac{\sigma_t}{q} \times 100 \approx 1.1 \rightarrow \sigma_t \approx 0.011q \rightarrow \sigma_2 = \sigma_t \approx 0.011q$$

با توجه به گراف **۶-۲** داریم :

$$F \approx 0.58$$

با توجه به رابطه زیر داریم :

$$\omega = \frac{qa}{E} \times F \rightarrow \omega = \frac{0.58qa}{E}$$

برای محاسبه کرنش های اصلی می توانیم از معادلات ۱-۲ و سپس از دایره موهر کرنش مشابه آنچه برای تنشهای اصلی انجام شد ، استفاده کنیم :

$$\epsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_t)] \rightarrow \epsilon_z = \frac{1}{E}[0.18q - 0.5(0.042q + 0.011q)] \approx \frac{0.154q}{E}$$

$$\epsilon_r = \frac{1}{E}[\sigma_r - \nu(\sigma_z + \sigma_t)] \rightarrow \epsilon_r = \frac{1}{E}[0.042q - 0.5(0.18q + 0.011q)] \approx \frac{-0.054q}{E}$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E}[\sigma_t - \nu(\sigma_r + \sigma_z)] \rightarrow \epsilon_t = \frac{1}{E}[0.011q - 0.5(0.042q + 0.18q)] \approx \frac{-0.1q}{E}$$

توجه داریم که :

$$\epsilon_2 = \epsilon_t \qquad \epsilon_1 = \epsilon_{max} \qquad \epsilon_3 = \epsilon_{min}$$

در نتیجه داریم :

$$\epsilon_2 = \epsilon_t \approx -\frac{0.1q}{E}$$

با توجه به اینکه مقدار γ_{rz} مجهول می باشد ، بنابراین از روابط زیر برای محاسبه کرنش های اصلی استفاده می کنیم :

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}[\sigma_1 - \nu(\sigma_3 + \sigma_2)] \rightarrow \epsilon_1 = \frac{1}{E}[0.213q - 0.5(0.009q + 0.011q)] \approx \frac{0.203q}{E}$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E}[\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)] \rightarrow \epsilon_r = \frac{1}{E}[0.009q - 0.5(0.213q + 0.011q)] \approx \frac{-0.103q}{E}$$

۲-۲- فشار 100 psi در سرتاسر یک سطح دایره ای به قطر 12 in روی یک نیمه همگن دانه ای که در شکل P2.2 نشان داده شده ، بکار رفته است . وزن واحد جرم نیمه همگن 110 pcf ، ضریب فشار زمین در حالت سکون 0.6 ، نسبت پواسون 0.35 است و مدول الاستیک با مجموع تنش های نرمال مطابق معادله نشان داده شده در شکل تغییر می کند. فرض کنید که توزیع تنش بوزینسک قابل قبول بوده و تنش در نقطه ای به فاصله 12 in در زیر مرکز سطح بارگذاری برای محاسبه مدول الاستیک استفاده شود ، حداکثر تغییر مکان در سطح را تعیین کنید .

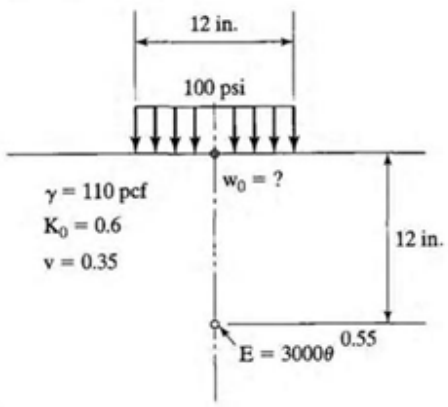


FIGURE P2.2

حل –

پارامترهای زبر را از صورت مسئله داریم :

$$q = 100\ psi \qquad a = 6\ in \qquad r = 0 \qquad z = 12in$$

$$\gamma = 110pcf = \frac{110}{12^3}\ pci \qquad K_o = 0.6 \qquad \nu = 0.35$$

با توجه به معادله **۲-۲** داریم :

$$\sigma_z = q\left[1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}}\right] \rightarrow \sigma_z = 100\left[1 - \frac{12^3}{(6^2 + 12^2)^{1.5}}\right] = 28.446\ psi$$

با توجه به معادله **۳-۲** داریم :

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{q}{2}[1 + 2v - \frac{2(1+v)z}{(a^2+z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{1.5}}$$

$$\rightarrow \sigma_r = \sigma_t = \frac{100}{2}[1 + 2 \times 0.35 - \frac{2(1+0.35) \times 12}{(6^2+12^2)^{0.5}} + \frac{12^3}{(6^2+12^2)^{1.5}} = 0.029$$

حال با توجه به معادله **۱۲-۲** داریم :

$$\theta = \sigma_z + \sigma_r + \sigma_t + \gamma z(1 + 2K_o)$$

$$\rightarrow \theta = 28.446 + 0.029 + 0.029 + \frac{110}{12^3} \times 12(1 + 2 \times 0.6) = 30.185\, psi$$

با توجه به رابطه داده شده در شکل سوال داریم :

$$E = 3000\theta^{0.55} \rightarrow E = 3000 \times 30.185^{0.55} = 19543.68\, psi$$

حال با توجه به معادله **۸-۲** ، برای محاسبه خیز در سطح رویه انعطاف پذیر داریم :

$$\omega_o = \frac{2(1-v^2)qa}{E} \rightarrow \omega_o = \frac{2(1-0.35^2) \times 100 \times 6}{19543.68} = 0.054\, in$$

۳-۲- یک آزمایش بارگذاری صفحه که از یک صفحه صلب به قطر 12 in که روی یک بستر قرار دارد تشکیل شده که در شکل P2.3a نشان داده شده است . کل بار مورد نیاز برای ایجاد نشست 0.2 in ، 10600 lb می باشد .

10 in اساس شنی در بستر جایگزین می شود ، آزمایش بارگذاری صفحه در بالای لایه اساس همانطور که در شکل P2.3b نشان داده شده است انجام می شود . کل بار مورد نیاز برای ایجاد نشست 0.2 in ، 21200 lb می باشد .

فرض کنید نسبت پواسون 0.5 باشد ، ضخامت اساس مورد نیاز برای تحمل بار 50000 lb چرخ با فشار تماسی 100 psi که در یک سطح دایره ای اعمال می شود را همانطور که در شکل P2.3c نشان داده شده تعیین کرده در عین حالیکه تغییر مکان ثابت مانده و بیشتر از 0.2 in نشود .

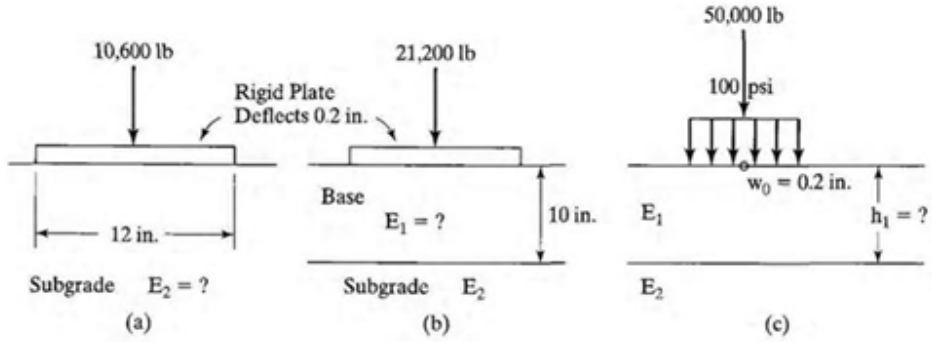


FIGURE P2.3

حل –

با توجه به سوال پارامترهای زیر را داریم :

$$a = 6\ in \qquad \nu = 0.5 \qquad \omega_0 = 0.2\ in$$

$$q_1 = \frac{P_1}{\pi a^2} \rightarrow q = \frac{10600}{\pi \times 6^2} = 93.725\ psi$$

با توجه به معادله **۲-۱۰** ، برای خیز صلب داریم :

$$\omega_0 = \frac{\pi(1-\nu^2)q_1 a}{2E_2} \rightarrow 0.2 = \frac{\pi(1-0.5^2)\times 93.725 \times 6}{2E_2} \rightarrow E_2 = 3312.52\ psi$$

$$q_2 = \frac{P_2}{\pi a^2} \rightarrow q = \frac{21200}{\pi \times 6^2} = 187.45\ psi$$

با توجه به معادله **۲-۱۵** داریم :

$$\omega_0 = \frac{1.18 q_2 a}{E_2} F_2 \rightarrow 0.2 = \frac{1.18 \times 187.45 \times 6}{3312.52} \times F_2 \rightarrow F_2 \approx 0.5$$

با استفاده از گراف **۲-۱۷** و با داشتن پارامترهای زیر داریم :

$$F_2 \approx 0.5 \qquad \& \qquad \frac{h_1}{a} = \frac{10}{6} = 1.67$$

$$\rightarrow \frac{E_1}{E_2} \approx 4$$

$$\rightarrow E_1 \approx 13250\ psi$$

$$q_3 = 100\ psi\ \ \&\ \ P_3 = 50000\ lb\ \rightarrow a'^2 = \frac{P_3}{\pi q_3} = \frac{50000}{\pi \times 100} \rightarrow a' = 12.62\ in$$

حال با توجه به معادله **۲-۱۴** داریم :

$$\omega_0 = \frac{1.5 q_3 a'}{E_2} F_2 \rightarrow 0.2 = \frac{1.5 \times 100 \times 12.62}{3312.52} \times F'_2 \rightarrow F'_2 \approx 0.35$$

مجدداً با استفاده از گراف **۲-۱۷** و با داشتن پارامترهای زیر داریم :

$$F'_2 \approx 0.35 \qquad \& \qquad \frac{E_1}{E_2} \approx 4 \qquad \rightarrow \frac{h_1}{a'} \approx 5.5 \qquad \rightarrow h_1 = 70\ in$$

۴-۲- یک چرخ با بار 10000 lb فشار تماسی 80 psi را به یک سیستم دو لایه الاستیک همانطورکه در شکل P2.4 نشان داده شده اعمال می شود . لایه 1 مدول الاستیک 200000 psi و ضخامت 8 in دارد . لایه 2 دارای مدول الاستیک 10000 psi می باشد . هر دو لایه تراکم ناپذیر بوده با نسبت پواسون 0.5 فرض کنید که سطح بارگذاری یک دایره تک باشد ، حداکثر تغییر مکان رویه و تنش در سطح مشترک را تعیین کنید .

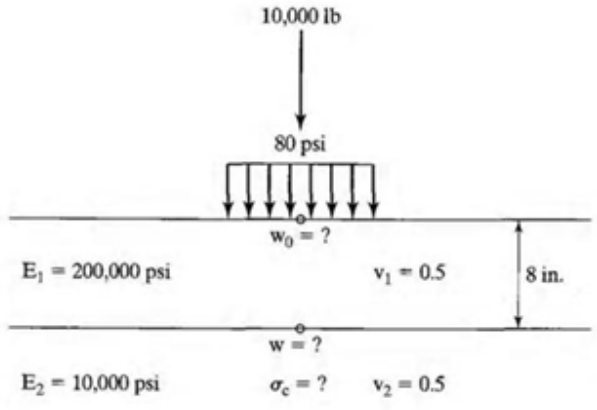


FIGURE P2.4

حل –

داده های زیر را از صورت مسئله داریم :

$$P = 10000\ lb \qquad q = 80\ psi \qquad E_1 = 200000\ psi \qquad E_2 = 10000\ psi$$

$$v_1 = v_2 = 0.5 \qquad h_1 = 8\ in$$

$$a^2 = \frac{P}{\pi q} = \frac{10000}{\pi \times 80} = 39.79 \rightarrow a = 6.31\ in$$

با توجه به گراف **۳-۱۷** و با داده های زیر داریم :

$$\frac{E_1}{E_2} = 20 \qquad \& \qquad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{6.31} \approx 1.27 \qquad \rightarrow F_2 \approx 0.33$$

حال با توجه به معادله **۲-۱۴** داریم :

$$\omega_0 = \frac{1.5qa}{E_2} F_2 \rightarrow \omega_0 = \frac{1.5 \times 80 \times 6.31}{10000} \times 0.33 = 0.025\ in$$

برای محاسبه افت وخیز در فصل مشترک دو لایه از گرافهای **۲-۱۹** و معادله **۲-۱۶** استفاده می کنیم :

با توجه به اینکه در این مسئله $\frac{E_1}{E_2} = 20$ می باشد در نتیجه باید بین نتایج دو حالت زیر درونیابی کنیم :

$$if \quad \frac{E_1}{E_2} = 10 \quad \& \quad \frac{r}{a} = 0 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{6.31} \approx 1.27 \quad \rightarrow F \approx 0.56$$

$$if \quad \frac{E_1}{E_2} = 25 \quad \& \quad \frac{r}{a} = 0 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{6.31} \approx 1.27 \quad \rightarrow F \approx 0.44$$

در نتیجه با درونیابی داریم :

$$for \quad \frac{E_1}{E_2} = 20 \quad \& \quad \frac{r}{a} = 0 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{6.31} \approx 1.27 \quad \rightarrow F \approx 0.48$$

حال با توجه به معادله **۲-۱۶** داریم :

$$\omega = \frac{qa}{E_2} F \rightarrow \omega = \frac{80 \times 6.31}{10000} \times 0.48 = 0.024\ in$$

با توجه گراف **۲-۱۵** برای تعیین تنش قائم در سطح مشترک دو لایه داریم :

$$\frac{E_1}{E_2} = 20 \quad \& \quad \frac{a}{h_1} = \frac{6.31}{8} \approx 0.79 \quad \rightarrow \frac{\sigma_c}{q} \approx 0.14 \rightarrow \sigma_c = 11.2\ psi$$

۵-۲- یک روسازی آسفالتی Full-depth ، شامل یک لایه آسفالتی به ضخامت 8 in با مدول الاستیک 1,500,000 psi و یک بستر خاکی با مدول الاستیک 30,000 psi می باشد که در معرض بار چرخ جفت دو محوره همانطوریکه در شکل P2.5 نشان داده شده است قرار دارد . بار هر چرخ 50,000 lb ، با فشار 100 psi و فاصله مرکز به مرکز بین چرخ ها 28 in می باشد و فاصله مرکز به مرکز بین محور ها 60 in می باشد .

فرض کنید نسبت پواسون 0.5 in باشد . حداکثر کرنش کششی در پائین لایه آسفالتی زیر مرکز یک چرخ و تغییر مکان قائم روی سطح بستر زیر مرکز یک چرخ را تعیین کنید .

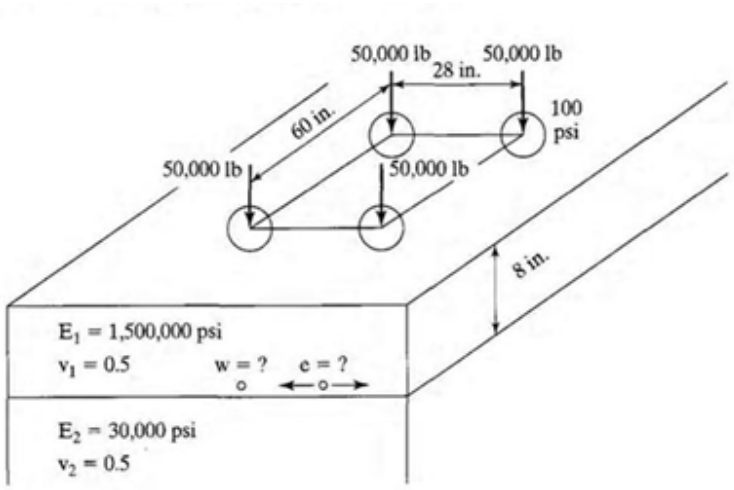


FIGURE P2.5

حل –

پارامترهای زیر را از صورت مسئله داریم :

$P = 50000\ lb$ $q = 100\ psi$ $E_1 = 1500000\ psi$ $E_2 = 30000\ psi$

$\nu_1 = \nu_2 = 0.5$ $h_1 = 8\ in$ $S_d = 28\ in$ $S_t = 60\ in$

$$\frac{E_1}{E_2} = 50$$

$$a^2 = \frac{P}{\pi q} = \frac{50000}{\pi \times 100} = 159.16 \rightarrow a = 12.62\ in$$

چون $S_d \neq 24\ in$ می باشد در نتیجه باید اصلاحی در شعاع تماس و ضخامت انجام دهیم .

با توجه به معادلات **۱۸-۲** داریم :

$$a' = \frac{24}{S_d} a \rightarrow a' = \frac{24}{28} \times 12.62 \approx 10.82\ in$$

$$h' = \frac{24}{S_d} h_1 \rightarrow a' = \frac{24}{28} \times 8 \approx 6.86\ in$$

$$S_t{}' = \frac{24}{S_d} S_t \rightarrow S_t{}' = \frac{24}{28} \times 60 \approx 51.43\ in$$

با توجه به اینکه داریم :

$$\rightarrow S_t = 48 < S_t{}' \approx 51.43 < S_t = 72$$

در نتیجه از گرافهای **۲۶-۲** و **۲۷-۲** برای تعیین ضرایب تبدیل در دو حالت $S_t = 48\ \&\ S_t = 72$

استفاده کرده و سپس برای تعیین ضریب تبدیل $S_t{}' \approx 51.43$ از درونیابی استفاده می کنیم .

با توجه به گراف **۲۶-۲** و با داشتن داده های زیر داریم :

$$h' \approx 6.86\ in \quad \& \quad \frac{E_1}{E_2} = 50 \rightarrow C_1 \approx 1.08 \quad \& \quad C_2 \approx 1.14$$

با توجه به معادله **۱۹-۲** داریم :

$$C = C_1 + 0.2 \times (a' - 3) \times (C_2 - C_1)$$

$$\rightarrow C = 1.08 + 0.2 \times (10.82 - 3) \times (1.14 - 1.08) \approx 1.174$$

با توجه به گراف **۲-۲۷** و با داشتن داده های زیر داریم :

$$h' \approx 6.86\ in \quad \& \quad \frac{E_1}{E_2} = 50 \quad \rightarrow C_1 \approx 1.12 \quad \& \quad C_2 \approx 1.23$$

با توجه به معادله **۲-۱۹** داریم :

$$C = C_1 + 0.2 \times (a' - 3) \times (C_2 - C_1)$$

$$\rightarrow C = 1.12 + 0.2 \times (10.82 - 3) \times (1.23 - 1.12) \approx 1.292$$

حال برای تعیین ضریب تبدیل $S_t' \approx 51.43$ از درونیابی استفاده می کنیم در نتیجه داریم :

$$\frac{1.292 - C}{1.292 - 1.174} = \frac{72 - 51.43}{72 - 48} \rightarrow \mathrm{C} \approx 1.191$$

با توجه به گراف **۲-۲۱** ، برای تعیین ضریب کرنش داریم :

$$\frac{E_1}{E_2} = 50 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{12.62} \approx 0.63 \quad \rightarrow F_e \approx 2.6$$

توجه : این ضریب کرنش بدست آمده برای چرخ تک می باشد و برای چرخ جفت داریم

$$F_e' = C \times F_e \rightarrow F_e' = 1.191 \times 2.6 \approx 3.01$$

حال با توجه به معادله **۲-۱۷** برای تعیین کرنش کششی بحرانی داریم :

$$\delta = e = \frac{q}{E_1} F_e' \rightarrow \delta = e = \frac{100}{1500000} \times 3.01 = 2.06 \times 10^{-4}\ in$$

حال برای تعیین تغییر مکان قائم در زیر یک چرخ اینگونه عمل می نمائیم که :

با استفاده از گراف **۲-۱۹** ، برای دو حالت زیر مقدار ضریب تغییر مکان را تعیین می نمائیم :

$$\frac{E_1}{E_2} = 50 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{12.62} \approx 0.63 \quad \& \quad \frac{r}{a} = 0 \quad \rightarrow F \approx 0.7$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 50 \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{8}{12.62} \approx 0.63 \quad \& \quad \frac{r}{a} = \frac{28}{12.62} \approx 2.22 \quad \rightarrow F \approx 0.4$$

حال بر اساس اصل جمع آثار قوا داریم :

$$F = \sum F \rightarrow F \approx 1.1$$

برای محور مرکب جفت چرخ داریم

$$F' = C \times F \rightarrow F' = 1.191 \times 1.1 \approx 1.31$$

با توجه به معادله **۱۶-۲** داریم :

$$\omega = \frac{qa}{E_2} F' \rightarrow \omega = \frac{100 \times 12.62}{30000} \times 1.31 = 0.055\ in \qquad !$$

۶-۲- شکل P2.6 یک سازه روسازی مرکب از سه لایه را نشان می دهد :

5.75 in ، HMA ، با مدول الاستیک 400,000 psi، 23 in اساس دانه ای با مدول الاستیک 20,000 psi

و یک بستر با مدول الاستیک 10,000 psi

نسبت پواسون تمام لایه ها 0.5 فرض شده است . حداکثر کرنش کششی افقی در زیر لایه HMA و حداکثر کرنش فشاری قائم را در بالای بستر ، زیر فشار تماسی 150 psi و بار چرخ 40,000 lb با فرض اینکه سطح تماس دایره ای است محاسبه کنید .

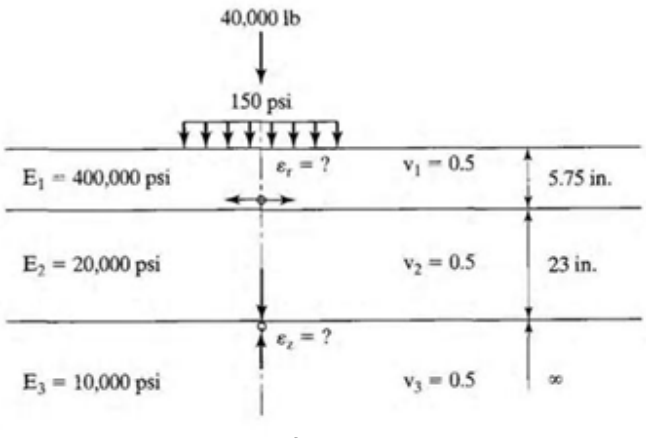


FIGURE P2.6

حل –

داده های زیر را از صورت سوال داریم :

$P = 40000\ lb \qquad q = 150\ psi$

$E_1 = 400000\ psi \qquad E_2 = 20000\ psi \qquad E_3 = 10000\ psi$

$v_1 = v_2 = v_3 = 0.5 \qquad h_1 = 5.75\ in \qquad h_2 = 23\ in$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{40000}{\pi \times 150}} \approx 9.21\ in$$

برای استفاده از جداول جونز، با توجه به معادلات **۲-۲۲** داریم :

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \rightarrow K_1 = \frac{400000}{20000} = 20$$

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3} \rightarrow K_2 = \frac{20000}{10000} = 2$$

$$A = \frac{a}{h_2} \rightarrow K_1 = \frac{9.21}{23} = 0.4$$

$$H = \frac{h_1}{h_2} \rightarrow H = \frac{5.75}{23} = 0.25$$

با توجه به جداول جونز داریم :

$$ZZ1 = 0.37882$$

$$ZZ2 = 0.07933$$

$$(ZZ1 - RR1) = 3.86779$$

$$(ZZ2 - RR2) = 0.14159$$

با توجه به معادلات **۲-۲۴** داریم :

$$\sigma_{z1} = q(ZZ1) \rightarrow \sigma_{z1} = 150 \times 0.37882 = 56.823\ psi$$

$$\sigma_{z2} = q(ZZ2) \rightarrow \sigma_{z2} = 150 \times 0.07933 = 11.9\ psi$$

$$\sigma_{z1} - \sigma_{r1} = q(ZZ1 - RR1) \rightarrow \sigma_{z1} - \sigma_{r1} = 580.17\ psi$$

$$\sigma_{z2} - \sigma_{r2} = q(ZZ2 - RR2) \rightarrow \sigma_{z2} - \sigma_{r2} = 21.24\ psi$$

با توجه به معادلات **۲-۲۰** داریم :

$$\epsilon_{z1} = \frac{1}{E_1}(\sigma_{z1} - \sigma_{r1}) \rightarrow \epsilon_{z1} = \frac{1}{400000} \times (580.17) = 1.45 \times 10^{-3}\ in$$

$$\epsilon_{z2} = \frac{1}{E_2}(\sigma_{z2} - \sigma_{r2}) \rightarrow \epsilon_{z2} = \frac{1}{20000} \times (21.24) = 1.062 \times 10^{-3}\ in$$

$$\epsilon_{r1} = \frac{1}{2E_1}(\sigma_{r1} - \sigma_{z1}) \rightarrow \epsilon_{r1} = \frac{1}{2 \times 400000}(-580.17) = -7.25 \times 10^{-4} in$$

$$\epsilon_{r2} = \frac{1}{2E_2}(\sigma_{r2} - \sigma_{z2}) \rightarrow \epsilon_{r2} = \frac{1}{2 \times 20000}(-21.24) = -5.31 \times 10^{-4} in$$

در نتیجه حداکثر کرنش کششی افقی در زیر لایه HMA برابر است با :

$$\epsilon_{r1} = -7.25 \times 10^{-4} in$$

و نیز حداکثر کرنش فشاری قائم در بالای لایه بستر برابر است با :

$$\epsilon_{z2} = 1.062 \times 10^{-3}\ in$$

۲-۷- در مسئله **۲-۶** ، اگر اساس و بستر بعنوان یک لایه ترکیب شوند ، همانطوریکه در شکل P2.7a نشان داده شده است . مدول الاستیک هم ارز این لایه ترکیبی برای اینکه کرنش کششی ای مشابه (مسئله قبل) در زیر لایه HMA بدست آید جقدر باید باشد ؟

اگر HMA و اساس بعنوان یک لایه با ضخامت کل 28.75 in ، همانطور که در شکل P2.7b نشان داده شده ، ترکیب شوند ، مدول الاستیک هم ارز لایه مرکب چقدر باید باشد برای اینکه کرنش فشاری مشابه (مسئله قبل) در بالای بستر بدست آید ؟

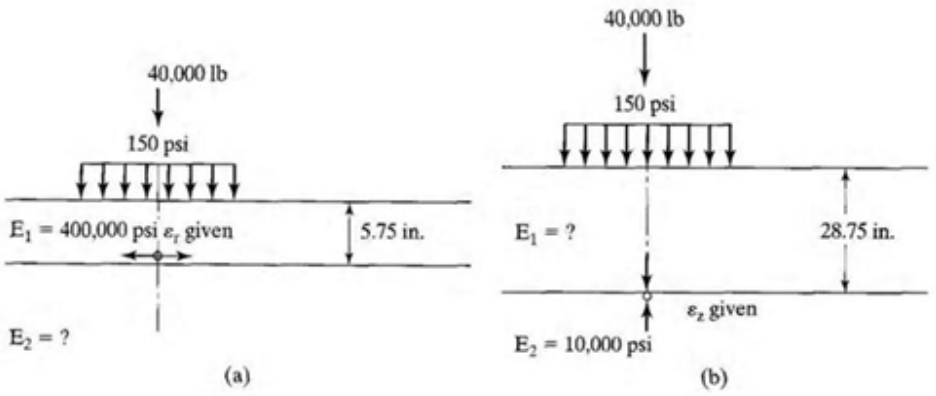


FIGURE P2.7

حل –

در بخش اول ، کرنش کششی در زیر لایه HMA (مشابه جواب مسئله قبل) داریم

$$\epsilon_{r1} = -7.25 \times 10^{-4} in$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{40000}{\pi \times 150}} \approx 9.21\ in$$

$$P = 40000\ lb \qquad q = 150\ psi$$

$$E_1 = 400000\ psi \qquad E_2 = ? \qquad h_1 = 5.75\ in$$

با توجه به معادله **۱۷-۲** داریم :

$$\delta = e = \frac{q}{E_1} F_e \rightarrow 7.25 \times 10^{-4} = \frac{150}{400000} \times F_e \rightarrow F_e = 1.93$$

حال با توجه به گراف **۲۱-۲** با توجه به داده های زیر داریم :

$$\frac{E_1}{E_2} = ? \quad \& \quad \frac{h_1}{a} = \frac{5.75}{9.21} \approx 0.62 \quad \& \quad F_e = 1.93 \quad \rightarrow \frac{E_1}{E_2} \approx 20$$

در نتیجه داریم :

$$\frac{400000}{E_2} \approx 20 \rightarrow E_2 \approx 20000\ psi$$

در بخش دوم ، کرنش فشاری در بالای لایه بستر (مشابه جواب مسئله قبل) داریم

$$\epsilon_{z2} = 1.062 \times 10^{-3} in$$

$$P = 40000\ lb \qquad q = 150\ psi$$

$$E_1 = ? \qquad E_2 = 10000\ psi \qquad h_1 = 28.75\ in$$

با توجه به رابطه **۲۶-۲** برای مصالح الاستیک داریم :

$$\sigma = E\epsilon$$

در نتیجه برای محاسبه تنش فشاری قائم داریم :

$$\sigma_c = E_2 \epsilon_z \rightarrow \sigma_c = 10000 \times 1.062 \times 10^{-3} = 10.62\ psi$$

با توجه به گراف **۱۵-۲** با پارامترهای زیر داریم :

$$\frac{E_1}{E_2} = ? \quad \& \quad \frac{a}{h_1} = \frac{9.21}{28.75} \approx 0.32 \quad \& \quad \frac{\sigma_c}{q} = \frac{10.62}{150} \approx 0.071 \quad \rightarrow \frac{E_1}{E_2} \approx 3.5$$

در نتیجه داریم :

$$\frac{E_1}{10000} \approx 3.5 \rightarrow E_1 \approx 35000\, psi$$

۸-۲- یک بار دایره ای به شدت 80 psi و شعاع 6 in بالای نقطه A روی یک سطح نیمه همگن حرکت می کند . نیمه همگن نسبت پواسون 0.3 دارد و خصوصیات مدول با مدل ماکسول نشان داده شده در شکل P2.8 بیان می شود . اگر شدت بار با زمان مطابق تابع مثلثی با مدت زمان 10 ثانیه نوسان نماید ، تغییر مکان رویه را هنگامیکه بار به نقطه A وارد می شود را تعیین نمائید .

اگر نوسان بار تابعیhaversine که با معادله ۵۵-۲ نشان داده شده باشد ، تغییر مکان رویه را تعیین نمائید .

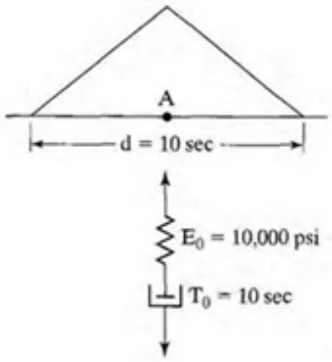


FIGURE P2.8

حل –

فصل چهارم –

تنش ها و کرنش ها در روسازیهای صلب

در این مسائل داده های نمونه فرض شده اند :

مدول الاستیسیته بتن $= 4 \times 10^6\ psi$

مدول الاستیسیته فولاد $= 29 \times 10^6\ psi$

نسبت پواسون بتن $= 0.15$

نسبت پواسون فولاد $= 0.3$

مدول تکیه گاهی داول $= 1.5 \times 10^6\ psi$

ضریب انبساط حرارتی بتن $= 5 \times 10^{-6}\ in/in/°\mathrm{F}$

ضریب اصطکاک بین دال و بستر $= 1.5$

۱-۴- تنش پیچشی در یک دال 8 in، در طول روز تحت گرادیان حرارتی $3°\mathrm{F}$ در هر اینچ دال برای دو مورد نمونه : الف- در نقطه وسط و لبه دال نا محدود ، و

ب- در نقاط A , B , and C در یک دال محدود ، همانطوریکه در شکل P4.1 نشان داده شده است. فرض شود که مدول عکس العمل بستر برابر است با : 50 psi

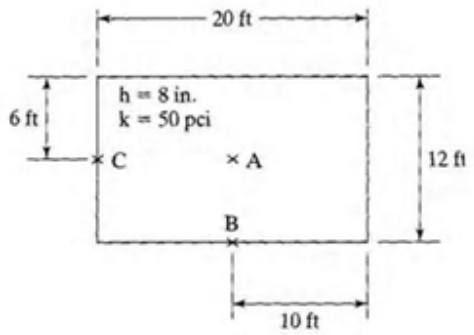


FIGURE P4.1

حل-

الف –

با توجه به شکل و داده های سوال داریم :

$$L_x = 20 \times 12 = 240\ in \qquad L_y = 12 \times 12 = 144\ in \qquad h = 8\ in$$

$$\alpha_t = 5 \times 10^{-6}\ in/in/°\text{F} \qquad K = 50\ psi$$

$$\Delta t = 3\ °\text{F}/in \qquad \nu_c = 0.15 \qquad E_c = 4 \times 10^6\ psi$$

با توجه به معادله ۴-۱۰ برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 8^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 50}]^{0.25} = 43.228\ in$$

توجه بسیار مهم :

برای تبدیل دال نامحدود به دال محدود ، در جاهائیکه نیاز باشد از ضریب تصحیح C استفاده می کنیم .

با توجه به گراف ۴-۴ و با توجه به پارامترهای زیر، ضریب تصحیح برای دال محدود را داریم :

$$\frac{L_x}{l} = \frac{240}{43.228} = 5.55 \qquad \rightarrow \qquad C_x \approx 0.88$$

$$\frac{L_y}{l} = \frac{140}{43.228} = 3.24 \qquad \rightarrow \qquad C_y \approx 0.24$$

- یک نقطه درون دال نامحدود (تنش کل به سبب خمش)

با توجه به معادلات ۴-۸ برای محاسبه تنش پیچشی درون دال نا محدود داریم :

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2(1-\nu)} \rightarrow \sigma_x = \frac{4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2(1-0.15)} \approx 282.4\ psi$$

- در لبه دال نا محدود

با توجه به معادلات ۱۱-۴ برای محاسبه تنش پیچشی در لبه دال نا محدود داریم :

$$\sigma = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2} \rightarrow \sigma = \frac{4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2} = 240\ psi$$

ب –

- در نقطه A در وسط یک دال محدود

با توجه به معادلات ۱۱-۴ ، تنش لبه ای در وسط دهانه دال را داریم :

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)}\left(C_x + \nu C_y\right)$$

$$\rightarrow \sigma_x = \frac{4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2(1-0.15^2)} \times (0.88 + 0.15 \times 0.24) = 224.9\ psi$$

$$\sigma_y = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)}\left(C_y + \nu C_x\right)$$

$$\rightarrow \sigma_y = \frac{4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2(1-0.15^2)} \times (0.24 + 0.15 \times 0.88) = 91.335\ psi$$

- در نقطه B در وسط لبه یک دال محدود

$$\sigma_x = C_x \frac{E\alpha_t \Delta t}{2} \rightarrow \sigma_x = \frac{0.88 \times 4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2} \approx 211.2\ psi$$

- در نقطه C در وسط لبه یک دال محدود

$$\sigma_y = C_y \frac{E\alpha_t \Delta t}{2} \rightarrow \sigma_x = \frac{0.24 \times 4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 3 \times 8}{2} \approx 57.6\ psi$$

۲-۴- یک دال بتنی به ضخامت 10 in به یک بستر که مدول عکس العمل آن200 psi می باشد تکیه داده است . یک بار چرخ جفت 12000 lb (هر چرخ6000 lb) در فاصله 14 in روی مراکز در گوشه دال همانطوریکه در شکل P4.2 نشان داده شده است اعمال می شود .

فشار تماسی 80 psi می باشد . حداکثر تنش در بتن را با معادله وسترگارد با سطح تماس معادل تعیین کنید .

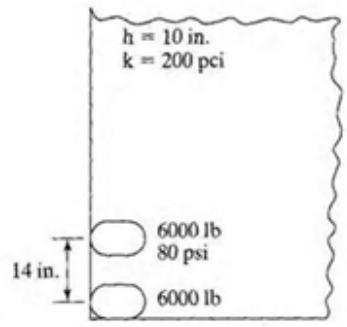


FIGURE P4.2

حل –

داده های زیر را داریم :

$$S_d = 14\ in \qquad P_d = 6000lb \qquad q = 80\ psi$$

$$h = 10\ in \qquad K = 200\ pci \qquad P = 12000\ lb$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{12000}{\pi \times 80}} \approx 6.91\ in$$

با توجه به معادله **۴-۳۱** ، برای تعیین شعاع تماس هم ارز داریم :

$$a' = \sqrt{\frac{0.8521P_d}{q\pi} + \frac{S_d}{\pi}\left(\frac{P_d}{0.5227q}\right)^{0.5}}$$

$$\rightarrow a' = \sqrt{\frac{0.8521 \times 6000}{80 \times \pi} + \frac{14}{\pi}\left(\frac{6000}{0.5227 \times 80}\right)^{0.5}} \approx 8.59\ in > a$$

با توجه به معادله **۴-۱۰** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 200}]^{0.25} = 36.135\ in$$

حال با توجه به معادله **۴-۱۳** ، برای تعیین تنش در گوشه دال داریم :

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right] \rightarrow \sigma_c = \frac{3 \times 12000}{10^2}\left[1 - \left(\frac{8.59\sqrt{2}}{36.135}\right)^{0.6}\right] = 172.8\ psi$$

نکات اضافی -

توجه : اگر تغییر مکان در گوشه دال نیز مد نظر بود به این ترتیب بدست می آوریم :

با استفاده از معادله **۴-۱۴** داریم :

$$\Delta_c = \frac{P}{Kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right]$$

$$\rightarrow \Delta_c = \frac{12000}{200 \times 36.135^2}\left[1.1 - 0.88 \times \left(\frac{8.59\sqrt{2}}{36.135}\right)\right] = 0.037\ in$$

توجه :

اگر در همین سوال تنش و تغییر مکان در وسط و یا لبه دال را می خواستیم تعیین کنیم با کمک روابط زیر

این امر امکان پذیر می باشد :

- در وسط دال

با توجه به معادلات **۴-۱۹** داریم :

$$b = a \qquad when \quad a \geq 1.724h$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h \qquad when \quad a < 1.724h$$

سپس با کمک معادله **۴-۲۰** برای تعیین تنش داریم :

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{b}) + 1.069\right]$$

با استفاده از معادله **۴-۲۱** برای تعیین تغییر مکان داریم

$$\Delta_i = \frac{P}{8Kl^2}\{1 + \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0.673\right]\left(\frac{a}{l}\right)^2\}$$

- در لبه دال

با استفاده از معادلات **۴-۲۶** و **۴-۲۷** برای تعیین تنش داریم :

$$\sigma_{e(circle)} = \frac{0.803P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{a}) + 0.666\left(\frac{a}{l}\right) - 0.034\right]$$

$$\sigma_{e(semicircle)} = \frac{0.803P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{a}) + 0.282\left(\frac{a}{l}\right) + 0.65\right]$$

با استفاده از معادلات **۴-۲۸** و **۴-۲۹** برای تعیین تغییر مکان داریم :

$$\Delta_{e(circle)} = \frac{0.431P}{Kl^2}\left[1 - 0.82\left(\frac{a}{l}\right)\right]$$

$$\Delta_{e(semicircle)} = \frac{0.431P}{Kl^2}\left[1 - 0.349\left(\frac{a}{l}\right)\right]$$

۳-۴- یک روسازی و بارگذاری مشابه مسئله **۲-۴** ، اما بار در وسط دال نامحدود همانطور که در شکل P4.3 نشان داده شده است . حداکثر تنش در بتن را با

الف – معادلات وسترگارد با سطح تماس هم ارز و

ب- با استفاده از چارت تاثیر برای چرخ جفت ، تعیین کنید .

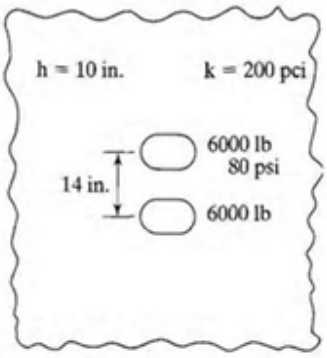


FIGURE P4.3

حل –

داده های زیر را داریم :

$$S_d = 14\ in \qquad P_d = 6000lb \qquad q = 80\ psi$$

$$h = 10\ in \qquad K = 200\ pci \qquad P = 12000\ lb$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{12000}{\pi \times 80}} \approx 6.91\ in$$

الف –

با توجه به معادله **۳۱-۴** ، برای تعیین شعاع تماس هم ارز داریم :

$$a' = \sqrt{\frac{0.8521P_d}{q\pi} + \frac{S_d}{\pi}\left(\frac{P_d}{0.5227q}\right)^{0.5}}$$

$$\rightarrow a' = \sqrt{\frac{0.8521 \times 6000}{80 \times \pi} + \frac{14}{\pi}\left(\frac{6000}{0.5227 \times 80}\right)^{0.5}} \approx 8.59\ in > a$$

با توجه به معادله **۴-۱۰** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 200}]^{0.25} = 36.135\ in$$

با توجه به معادلات **۴-۱۹** داریم :

$$b = a \qquad when \quad a \geq 1.724h$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h \qquad when \quad a < 1.724h$$

$$\rightarrow b = \sqrt{1.6 \times 8.59^2 + 10^2} - 0.675 \times 10 \approx 8.02\ in$$

سپس با کمک معادله **۴-۲۰** برای تعیین تنش داریم :

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{b}) + 1.069\right]$$

$$\rightarrow \sigma_i = \frac{0.316 \times 12000}{10^2}\left[4\log(\frac{36.135}{8.02}) + 1.069\right] \approx 139.7\ psi$$

ب –

با توجه به معادلات **۴-۳۲** داریم :

$$M = \frac{ql^2N}{10{,}000}$$

در این معادله تعداد N برابر است با تعداد بلوک های پوشیده شده توسط چرخ در شکل **۴-۱۲** ، که تقریباً

برابر است با :

$$N \approx 223$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow M = \frac{80 \times 36.135^2 \times 223}{10{,}000} \approx 2329.44$$

حال با استفاده از معادله زیر داریم :

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2} \rightarrow \sigma_i = \frac{6 \times 2329.44}{10^2} \approx 139.8\, psi$$

۴-۴- مشابه مسئله **۳-۴** ، با این تفاوت که بار در لبه اعمال میگردد همانطور که در شکل P4.4 نشان داده شده است .

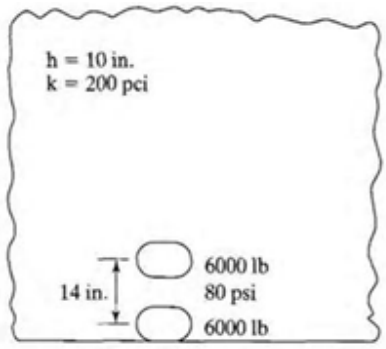


FIGURE 4.4

حل –

داده های زیر را داریم :

$$S_d = 14\ in \qquad P_d = 6000lb \qquad q = 80\ psi$$

$$h = 10\ in \qquad K = 200\ pci \qquad P = 12000\ lb$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{12000}{\pi \times 80}} \approx 6.91\ in$$

با توجه به معادله **۳۱-۴** ، برای تعیین شعاع تماس هم ارز داریم :

$$a' = \sqrt{\frac{0.8521P_d}{q\pi} + \frac{S_d}{\pi}\left(\frac{P_d}{0.5227q}\right)^{0.5}}$$

$$\rightarrow a' = \sqrt{\frac{0.8521 \times 6000}{80 \times \pi} + \frac{14}{\pi}\left(\frac{6000}{0.5227 \times 80}\right)^{0.5}} \approx 8.59\ in > a$$

با توجه به معادله **۱۰-۴** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4\times10^6\times10^3}{12\times(1-0.15^2)\times200}]^{0.25} = 36.135\ in$$

با استفاده از معادلات **۲۶-۴** برای تعیین تنش داریم :

$$\sigma_{e(circle)} = \frac{0.803P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{a}) + 0.666\left(\frac{a}{l}\right) - 0.034\right]$$

$$\rightarrow \sigma_{e(circle)} = \frac{0.803\times12000}{10^2}\left[4\log(\frac{36.135}{8.59}) + 0.666\left(\frac{8.59}{36.135}\right) - 0.034\right] \approx 252.5\ psi$$

۵-۴- در شکل **۱۲-۴** ، شعاع سفتی نسبی روسازی چقدر می باشد ؟

اگر ضخامت دال 11 in باشد و فشار تماسی 100 psi باشد ، حداکثر تنش به سبب چهار چرخ را در زیر مرکز یکی از چرخ ها در جهت عرضی ، یا n ، تعیین کنید .

حداکثر تنش در جهت طولی زیر مرکز یکی از چرخ ها را تخمین بزنید

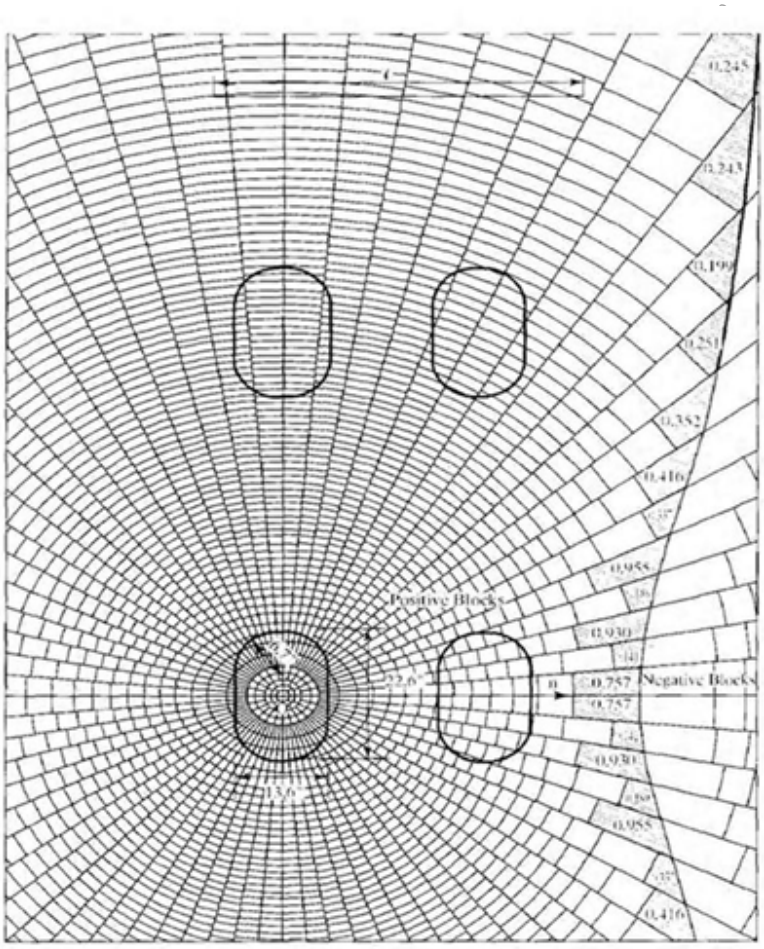


FIGURE 4.12

Application of influence chart for determining moment (1 in. = 25.4 mm). (After Pickett and Ray (1951).)

حل –

مطابق شکل مقدار شعاع سفتی نسبی برابر است با :

$$l \approx 57\ in$$

– در جهت عرضی

با توجه به شکل مشاهده می کنیم که :

$$N \approx 290$$

با توجه به معادلات **۳۲–۴** داریم :

$$M = \frac{ql^2N}{10{,}000}$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow M = \frac{100 \times 57^2 \times 290}{10{,}000} \approx 9422.1$$

حال با استفاده از معادله زیر داریم :

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2} \rightarrow \sigma_i = \frac{6 \times 9422.1}{11^2} \approx 467\ psi$$

– در جهت طولی (90 درجه ساعتگرد چرخها را می چرخانیم که در این حالت لنگر کوچک می شود)

با توجه به شکل مشاهده می کنیم که :

$$N \approx 260$$

با توجه به معادلات **۳۲–۴** داریم :

$$M = \frac{ql^2N}{10{,}000}$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow M = \frac{100 \times 57^2 \times 260}{10{,}000} \approx 8470$$

حال با استفاده از معادله زیر داریم :

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2} \rightarrow \sigma_i = \frac{6 \times 8470}{11^2} = 420\ psi$$

۴-۶- شکل P4.6 ، چیدمان چرخ های جفت با محورهای مرکب را با وزن کل 40000 lb (هر چرخ 10000 lb) که فشار هر چرخ برابر 100 psi ، فاصله چرخ ها 20 in و فاصله محور ها 40 in می باشد را نشان می دهد .

ضخامت دال بتنی 8 in و مدول عکس العمل بستر 100 pci می باشد . تنش درونی در جهت y را در نقطه A زیر مرکز محور چرخ مرکب تعیین کنید

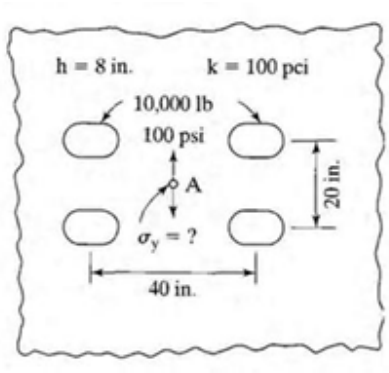


FIGURE 4.6

حل –

داده های زیر را داریم :

$$S_d = 20\ in \quad S_d = 40\ in \quad P_d = 10000lb \quad q = 100\ psi$$

$$h = 8\ in \quad K = 100\ pci \quad P = 40000\ lb$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{40000}{\pi \times 100}} \approx 11.28\ in$$

با توجه به معادله ۴-۱۰ برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 8^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 100}]^{0.25} = 36.35\ in$$

با توجه به چارت **۱۲-۴** داریم (برای جهت طولی):

$$N \approx 225$$

با توجه به معادلات **۳۲-۴** داریم :

$$M = \frac{ql^2N}{10{,}000}$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow M = \frac{100 \times 36.35^2 \times 225}{10{,}000} \approx 2973$$

حال با استفاده از معادله زیر داریم :

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2} \rightarrow \sigma_i = \frac{6 \times 2973}{8^2} \approx 279\ psi$$

۴-۷- مشابه مسئله ۴-۶ ، با این تفاوت که چرخهای بیرونی روی لبه دال ، همانطور که در شکل P4.7 نشان داده شده است ، قرار گرفته اند .تنش لبه ای را در نقطه A در یک دال بزرگ بصورت نا محدود به کمک چارتهای تاثیر محاسبه کنید .

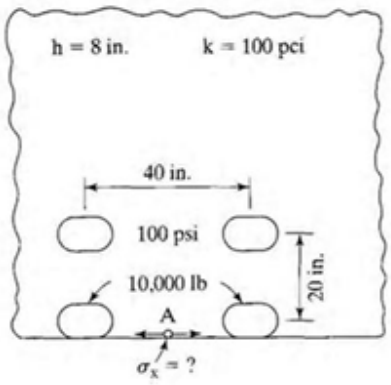


FIGURE P4.7

حل –

داده های زیر را داریم :

$$S_d = 20\ in \quad S_d = 40\ in \quad P_d = 10000lb \quad q = 100\ psi$$

$$h = 8\ in \quad K = 100\ pci \quad P = 40000\ lb$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{40000}{\pi \times 100}} \approx 11.28\ in$$

با توجه به معادله ۴-۱۰ برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 8^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 100}]^{0.25} = 36.35\ in$$

با توجه به چارت ۴-۱۴ داریم (برای جهت عرضی):

$$N \approx 256$$

با توجه به معادلات **۳۲-۴** داریم :

$$M = \frac{ql^2N}{10{,}000}$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow M = \frac{100 \times 36.35^2 \times 256}{10{,}000} \approx 3383$$

حال با استفاده از معادله زیر داریم :

$$\sigma_e = \frac{6M}{h^2} \rightarrow \sigma_e = \frac{6 \times 3383}{8^2} \approx 317\ psi$$

۸-۴- یک دال بتنی 40 ft طول ، 11 ft عرض ، و 9 in ضخامت دارد که بر روی یک بستر که مدول عکس العمل آن 200 pci می باشد قرار گرفته است. یک چرخ تک با بار 9000 lb از روی لبه دال با سطح دایره ای شکل و با فشار تماسی 100 psi ، همانطور که در شکل P4.8 نشان داده شده است ، عبور می کند.

محاسبه کنید :

الف – تنش پیچشی بر روی لبه در طول شب هنگامیکه اختلاف حرارتی $1.5°\mathrm{F}/in$ باشد .

ب- تنش بارگذاری به سبب بار چرخ 9000 lb ، و

پ – تنش مرکب بر روی لبه در زیر بار به سبب حالت الف و ب .

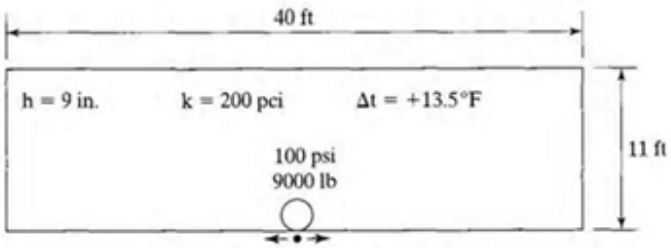


FIGURE P4.8 σ_c due to combined curling and loading ?

حل –

داده های زیر را داریم :

$S_d = 20\ in \quad S_d = 40\ in \quad \Delta_t = 1.5 \times 9 = 13.5°\mathrm{F} \quad q = 100\ psi$

$h = 9\ in \quad K = 200\ pci \quad P = 9000\ lb$

$L_x = 40ft = 40 \times 12 = 480in \quad L_y = 11ft = 11 \times 12 = 132\ in$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} \rightarrow a = \sqrt{\frac{9000}{\pi \times 100}} \approx 5.35\ in$$

با توجه به معادله ۴-۱۰ برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 9^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 200}]^{0.25} = 33.39\ in$$

توجه بسیار مهم :

برای تبدیل دال نامحدود به دال محدود ، در جاهائیکه نیاز باشد از ضریب تصحیح C استفاده می کنیم .

با توجه به گراف ۴-۴ و با توجه به پارامترهای زیر، ضریب تصحیح برای دال محدود را داریم :

$$\frac{L_x}{l} = \frac{480}{33.39} \approx 14.4 \qquad \rightarrow \qquad C_x \approx 1.04$$

$$\frac{L_y}{l} = \frac{132}{33.39} \approx 3.95 \qquad \rightarrow \qquad C_y \approx 0.47$$

الف – تنش پیچشی در لبه

با استفاده از معادله ۴-۱۱ برای تعیین تنش پیچشی در لبه دال داریم :

$$\sigma_x = C_x \frac{E\alpha_t \Delta t}{2} \rightarrow \sigma_x = \frac{1.04 \times 4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 1.5 \times 9}{2} = 140.4\ psi$$

ب – تنش بارگذاری در لبه

با استفاده از معادلات ۴-۲۶ برای تعیین تنش بارگذاری در لبه دال داریم :

$$\sigma_{e(circle)} = \frac{0.803P}{h^2}\left[4\log(\frac{l}{a}) + 0.666\left(\frac{a}{l}\right) - 0.034\right]$$

$$\rightarrow \sigma_{e(circle)} = \frac{0.803 \times 9000}{9^2}\left[4\log(\frac{33.39}{5.35}) + 0.666\left(\frac{5.35}{33.39}\right) - 0.034\right] \approx 290.3\ psi$$

پ– تنش لبه ای مرکب

به سبب اینکه در شب گفته شده است در نتیجه داریم :

$$combined\ stresses\ @\ night = loading\ stresses - curling\ stresses$$

بنابراین داریم :

$$combined\ stresses\ @\ night = 290.3 - 140.4 = 149.9\ psi$$

توجه :

اگر در صورت مسئله تنش پیچشی در روز ذکر میگردید آنگاه داشتیم :

$$combined\ stresses\ @\ night = loading\ stresses + curling\ stresses$$

۹-۴- اگر روسازی در مسئله **۸-۴** یک خط از بزرگراه دو خطه باشد ، همانطور که در شکل P4.9 نشان داده شده است ،Tie bars و Welded wire fabric را طراحی کنید .

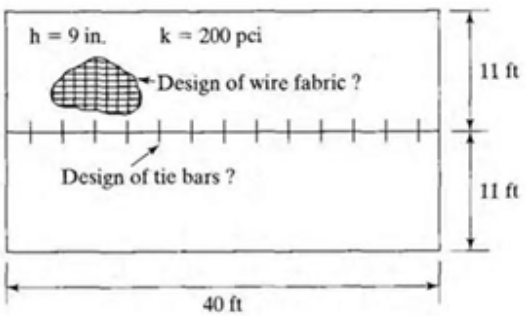


FIGURE P4.9

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$$\gamma_c = 150\ pcf = 0.0868\ psi \qquad L_x = 40\ ft = 480\ in \qquad L_y = 22ft = 264\ in$$

$$f_a = 1.5 \qquad f_s = 43000\ psi \qquad h_c = 9\ in$$

با توجه به معادله **۳۷-۴** داریم :

– مقدار آرماتور طولی مورد نیاز

$$A_s = \frac{\gamma_c h L f_a}{2 f_s} \rightarrow A_s = \frac{0.0868 \times 9 \times 480 \times 1.5}{2 \times 43000} = 0.00654\ in^2/in = 0.0785 in^2/ft$$

– مقدار آرماتور عرضی مورد نیاز

$$A_s = \frac{\gamma_c h L f_a}{2 f_s} \rightarrow A_s = \frac{0.0868 \times 9 \times 264 \times 1.5}{2 \times 43000} = 0.0036\ in^2/in = 0.0432 in^2/ft$$

با توجه به جدول **۳-۴** می توانیم نوع آرماتورها راتعیین می کنیم :

$$8 \times 12 - W5.5 \times W4.5$$

حال با استفاده از معادله ۴-۳۸ ، برای تعیین مقدار آرماتور دوخت داریم :

برای آرماتور دوخت داریم :

$$f_s = 27000\ psi \qquad L' = 11ft = 11 \times 12 = 132in \qquad \mu = 350\ psi$$

$$A_s = \frac{\gamma_c h L' f_a}{f_s} \rightarrow A_s = \frac{0.0868 \times 9 \times 132 \times 1.5}{27000} = 0.00573\ in^2/in$$

با توجه به جدول ۴-۲ ، اگر از میلگردهای نمره ۴ استفاده گردد داریم :

$$cross - sectional\ area\ of\ one\ \ bar = 0.2\ in^2$$

$$Spacing\ of\ the\ bar = \frac{0.2}{0.00573} \approx 36\ in = 3\ ft\ \ \ (on\ centers)$$

$$diameter = 0.5\ in$$

با استفاده از معادله ۴-۴۰ ، برای تعیین طول میلگرد دوخت داریم :

$$t = \frac{1}{2}\left(\frac{f_s d}{\mu}\right) \rightarrow t = 0.5 \times \left(\frac{27000 \times 0.5}{350}\right) = 19.3\ in$$

توجه داریم که به مقدار فوق باید ۳ اینچ افزوده شود

در نتیجه داریم :

$$t = 19.3 + 3 = 22.3\ in\ \approx 2\ ft$$

در نتیجه برای طراحی داریم :

$$NO.4\ deformed\ bars\ , \frac{1}{2} in\ tie\ bars, 2ft\ long\ and\ 3ft\ on\ centers$$

۱۰-۴- یک چارت طراحی برای مساحت مورد نیاز آرماتور حرارتی برحسب ضخانت و طول دال ایجاد کنید ،

فرض کنید تنش کششی مجاز 40000 psi باشد .

حل –

داده های زیر را داریم :

$$f_s = 40{,}000 \text{ psi}$$

۴-۱۱- یک دال بتنی به عرض 12 ft ، به ضخامت 10 in و مدول عکس العمل بستر 300 pci وجود دارد. یک بار محوری 24000 lb با فاصله چرخهای 6 ft روی درز با یک چرخ با فاصله . 6 in از لبه همانطوریکه در شکل P4.11 نشان داده شده است وارد می شود . حداکثر تنش باربری بین بتن و داول را تعیین کنید . فرض کنید 100% بار انتقال یافته ، بازشدگی درز 0.25 in ،فاصله مراکز میلگردهای داول 1 in در هر 12 in می باشد . فرض می شود که حداکثر لنگر منفی در فاصله 1.8L از بار اتفاق بیفتد . L شعاع سفتی نسبی می باشد .

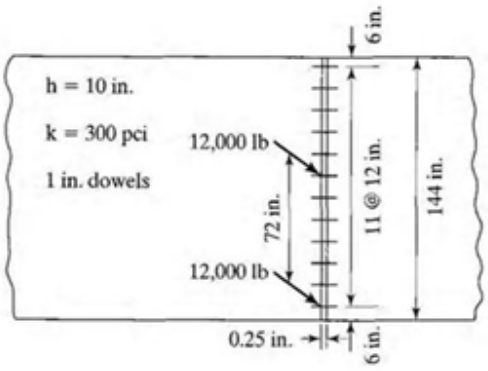


FIGURE P4.11

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$h = 10\ in$ $K = 300\ pci$ $W = 12000\ lb$ $d = 1\ in$

$L_y = 12ft = 12 \times 12 = 144\ in$ $Z = 0.25\ in$ $\sigma_b = ?$

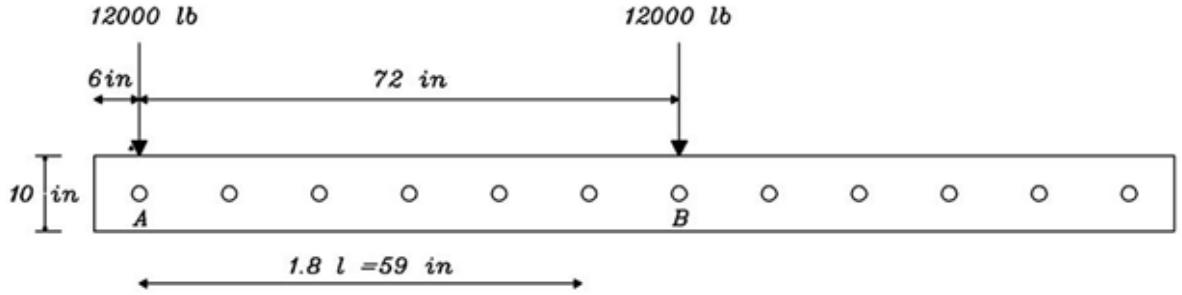
$S_d = 72\ in$ $E_d = 29 \times 10^6\ psi$ $K_{dowel\ support} = 1.5 \times 10^6\ pci$

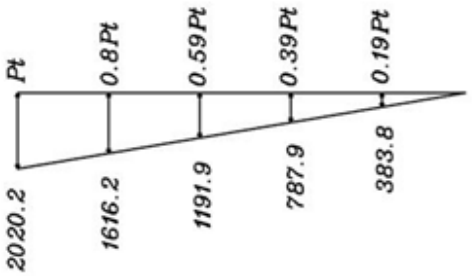
با توجه به معادله ۴-۱۰ برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 300}]^{0.25} = 32.652\ in$$

$$1.8\,l = 1.8 \times 32.652 = 58.78 \approx 59\,in$$

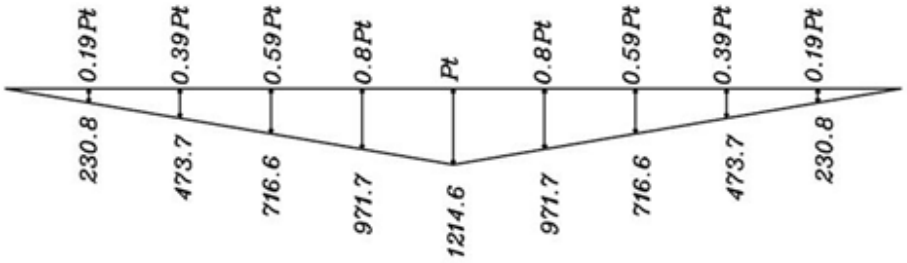
حال دیاگرام نیروهای وارده به داولها را رسم می نمائیم :





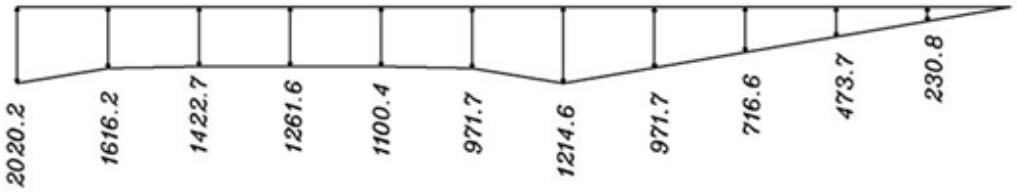
$$\sum = 2.97\ Pt = W/2 = 6000$$
$$\rightarrow Pt = 2020.2\ lb$$

Dowel Forces due to Load at A



Dowel Forces due to Load at B

$$\sum = 4.94\ Pt = W/2 = 6000$$
$$\rightarrow Pt = 1214.6\ lb$$



Dowel Forces due to Both Loads

$$\sum = W = 12000 \text{ lb}$$

نکته ای که در رسم دیاگرام حائز اهمیت می باشد اینست که اعداد روی دیاگرام از یک تناسب خطی بدست می آیند .

$$\frac{1.8\,l}{1.8\,l - \sum_{n=1}^{i} dowel\ spacing} = \frac{P_t}{x}$$

بعنوان نمونه داریم :

– داول اول :

P_t

– داول دوم :

$$\rightarrow \frac{59}{59-12} = \frac{P_t}{x} \rightarrow x \approx 0.8P_t$$

– داول سوم :

$$\rightarrow \frac{59}{59-24} = \frac{P_t}{x} \rightarrow x \approx 0.59P_t$$

به همین ترتیب تا داولهایی که در محدوده 1.8 L هستند ادامه می دهیم

حال سهم بار هر داول را برای چرخ جفت با توجه به 100% انتقال بار توسط درز تعیین می کنیم :

$$P_t = 1 \times \frac{6000}{2.97} + 0 \times \frac{6000}{4.94} = 2020.2\ lb$$

در واقع داولها را برای حداکثر نیروی وارده بر آنها طراحی می کنیم .

با توجه به معادله **۴-۴۳** ، برای تعیین ممان اینرسی داول داریم :

$$I_d = \frac{1}{64}\pi d^4 \rightarrow I_d = \frac{1}{64} \times \pi \times 1^4 = 0.0491\ in^4$$

حال با استفاده از معادله **۴-۴۴** ، برای تعیین سفتی نسبی داول داخل بتن داریم :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{dowel\ support} \times d}{4E_d I_d}} \rightarrow \beta = \sqrt[4]{\frac{1.5 \times 10^6 \times 1}{4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491}} = 0.72\ in$$

با توجه به معادله **۴-۴۵** ، برای تعیین تنش لهیدگی زیر داول داریم :

$$\sigma_b = K_{dowel\ support} \times y_o = \frac{K_{dowel\ support} \times P_t \times (2 + \beta Z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$\rightarrow \sigma_b = \frac{1.5 \times 10^6 \times 2020.2 \times (2 + 0.72 \times 0.25)}{4 \times 0.72^3 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491} = 3107.5\ psi \quad !$$

۴-۱۲- مسئله **۴-۱۱** را با فرض اینکه حداکثر لنگر منفی در فاصله L 1.0 از بار رخ دهد تکرار کنید .

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$h = 10\ in$ $K = 300\ pci$ $W = 12000\ lb$ $d = 1\ in$

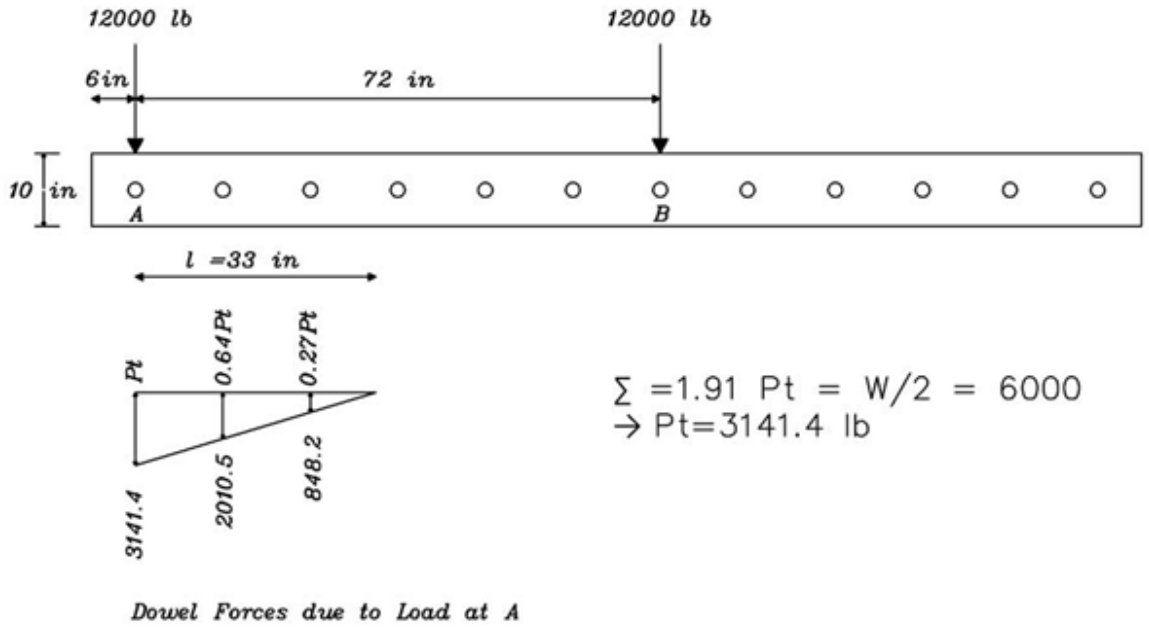
$L_y = 12ft = 12 \times 12 = 144\ in$ $Z = 0.25\ in$ $\sigma_b = ?$

$S_d = 72\ in$ $E_d = 29 \times 10^6\ psi$ $K_{dowel\ support} = 1.5 \times 10^6\ pci$

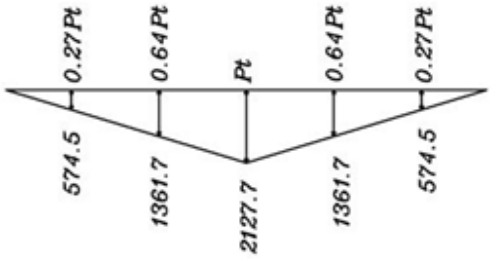
با توجه به معادله **۴-۱۰** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 300}]^{0.25} = 32.652\ in$$

حال دیاگرام نیروهای وارده به داولها را رسم می نمائیم :

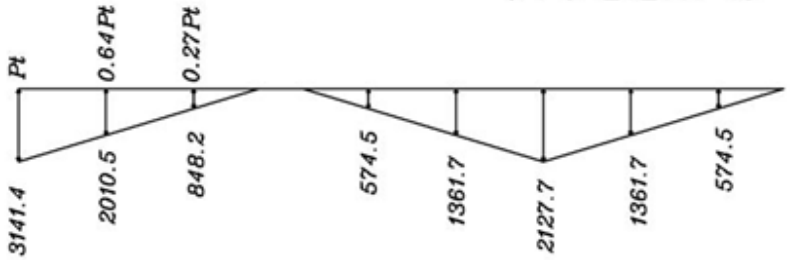


Dowel Forces due to Load at A



Dowel Forces due to Load at B

$$\sum = 2.82\ Pt = W/2 = 6000$$
$$\rightarrow Pt = 2127.7\ lb$$



Dowel Forces due to Both Loads

$$\sum = W = 12000\ lb$$

نکته ای که در رسم دیاگرام حائز اهمیت می باشد اینست که اعداد روی دیاگرام از یک تناسب خطی بدست می آیند .

$$\frac{l}{l - \sum_{n=1}^{i} dowel\ spacing} = \frac{P_t}{x}$$

بعنوان نمونه داریم :

– داول اول :

$$P_t$$

– داول دوم :

$$\rightarrow \frac{33}{33-12} = \frac{P_t}{x} \rightarrow x \approx 0.64P_t$$

– داول سوم :

$$\rightarrow \frac{33}{33-24} = \frac{P_t}{x} \rightarrow x \approx 0.27P_t$$

حال سهم بار هر داول را برای چرخ جفت با توجه به 100%انتقال بار توسط درز تعیین می کنیم :

$$P_t = 3141.4\ lb$$

در واقع داولها را برای حداکثر نیروی وارده بر آنها طراحی می کنیم .

با توجه به معادله **۴-۴۳** ، برای تعیین ممان اینرسی داول داریم :

$$I_d = \frac{1}{64}\pi d^4 \rightarrow I_d = \frac{1}{64} \times \pi \times 1^4 = 0.0491\ in^4$$

حال با استفاده از معادله **۴-۴۴** ، برای تعیین سفتی نسبی داول داخل بتن داریم :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{dowel\ support} \times d}{4E_d I_d}} \rightarrow \beta = \sqrt[4]{\frac{1.5 \times 10^6 \times 1}{4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491}} = 0.72\ in$$

با توجه به معادله **۴-۴۵** ، برای تعیین تنش لهیدگی زیر داول داریم :

$$\sigma_b = K_{dowel\ support} \times y_o = \frac{K_{dowel\ support} \times P_t \times (2 + \beta Z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$\rightarrow \sigma_b = \frac{1.5 \times 10^6 \times 3141.4 \times (2 + 0.72 \times 0.25)}{4 \times 0.72^3 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491} = 4832\ psi \quad !$$

۴-۱۳- مشابه مسئله **۴-۱۱** ، با این تفاوت که یک چرخ با بار 12000 lb در فاصله 2.5 ft از لبه قرار دارد همانطوریکه در شکل P4.13 نشان داده شده است .

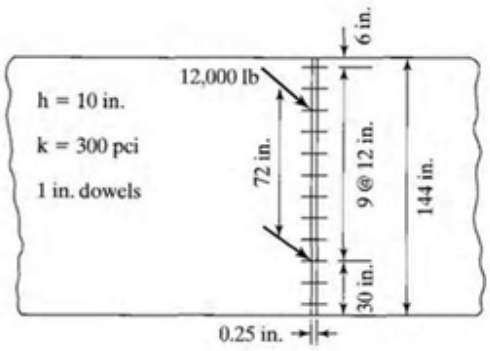


FIGURE P4.13

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$h = 10\ in$ $K = 300\ pci$ $W = 12000\ lb$ $d = 1\ in$

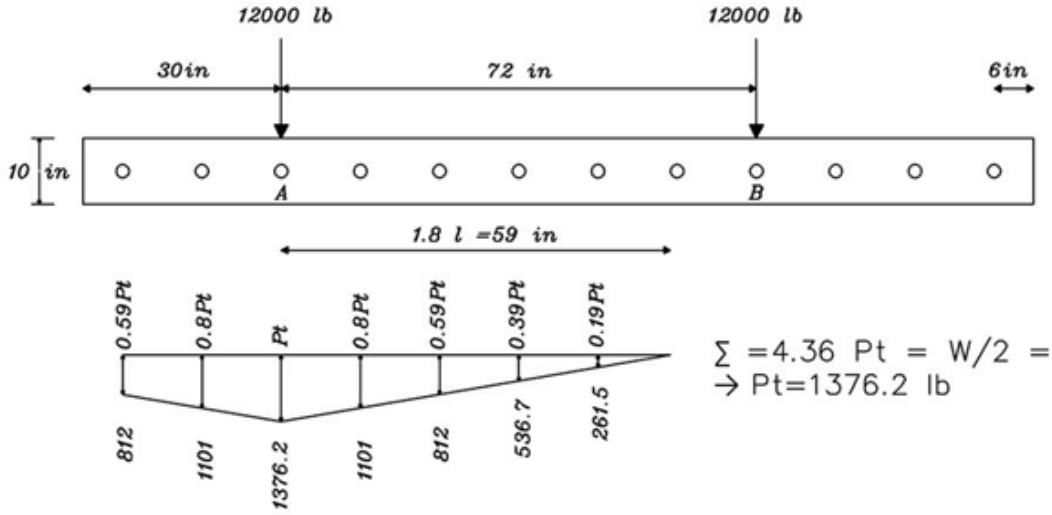
$L_y = 12ft = 12 \times 12 = 144\ in$ $Z = 0.25\ in$ $\sigma_b = ?$

$S_d = 72\ in$ $E_d = 29 \times 10^6\ psi$ $K_{dowel\ support} = 1.5 \times 10^6\ pci$

با توجه به معادله **۴-۱۰** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 300}]^{0.25} = 32.652\ in$$

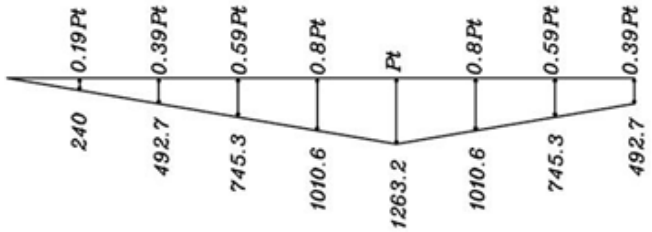
$$1.8\ l = 1.8\ \times 32.652 = 58.78 \approx 59\ in$$



$\sum = 4.36\ Pt = W/2 = 6000$

$\rightarrow Pt = 1376.2\ lb$

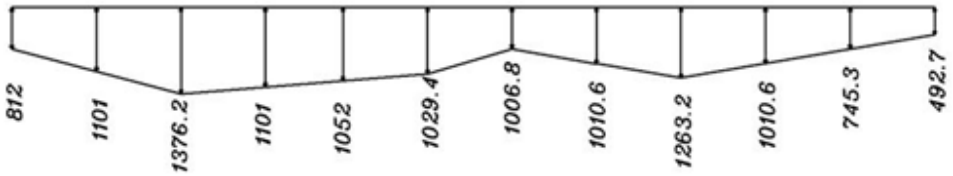
Dowel Forces due to Load at A



Dowel Forces due to Load at B

$\sum = 4.75\ Pt = W/2 = 6000$

$\rightarrow Pt = 1263.2\ lb$



Dowel Forces due to Both Loads

$\sum = W = 12000\ lb$

حال سهم بار هر داول را برای چرخ جفت با توجه به 100%انتقال بار توسط درز تعیین می کنیم :

$$P_t = 1376.2\ lb$$

در واقع داولها را برای حداکثر نیروی وارده بر آنها طراحی می کنیم .

با توجه به معادله **۴-۴۳** ، برای تعیین ممان اینرسی داول داریم :

$$I_d = \frac{1}{64}\pi d^4 \rightarrow I_d = \frac{1}{64} \times \pi \times 1^4 = 0.0491\ in^4$$

حال با استفاده از معادله **۴-۴۴** ، برای تعیین سفتی نسبی داول داخل بتن داریم :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{dowel\ support} \times d}{4E_d I_d}} \rightarrow \beta = \sqrt[4]{\frac{1.5 \times 10^6 \times 1}{4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491}} = 0.72\ in$$

با توجه به معادله **۴-۴۵** ، برای تعیین تنش لهیدگی زیر داول داریم :

$$\sigma_b = K_{dowel\ support} \times y_o = \frac{K_{dowel\ support} \times P_t \times (2 + \beta Z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$\rightarrow \sigma_b = \frac{1.5 \times 10^6 \times 1376.2 \times (2 + 0.72 \times 0.25)}{4 \times 0.72^3 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491} = 2116.9\ psi \quad !$$

۱۴-۴- مسئله **۱۳-۴** را با فرض اینکه حداکثر لنگر منفی در فاصله L 1.0از بار رخ دهد تکرار کنید .

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$h = 10\ in$ $K = 300\ pci$ $W = 12000\ lb$ $d = 1\ in$

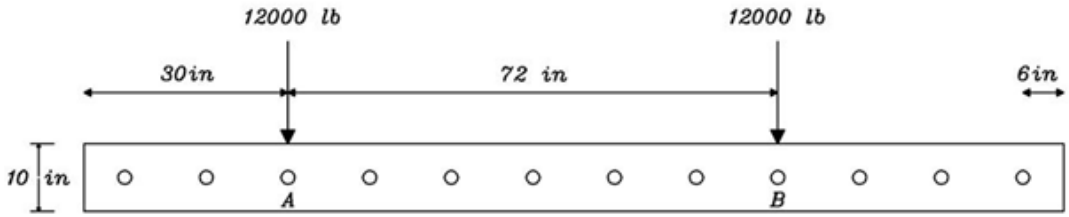
$L_y = 12ft = 12 \times 12 = 144\ in$ $Z = 0.25\ in$ $\sigma_b = ?$

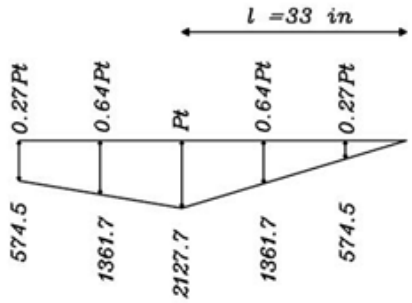
$S_d = 72\ in$ $E_d = 29 \times 10^6\ psi$ $K_{dowel\ support} = 1.5 \times 10^6\ pci$

با توجه به معادله **۱۰-۴** برای محاسبه شعاع سفتی نسبی داریم :

$$l = [\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}]^{0.25} \rightarrow l = [\frac{4 \times 10^6 \times 10^3}{12 \times (1-0.15^2) \times 300}]^{0.25} = 32.652\ in$$

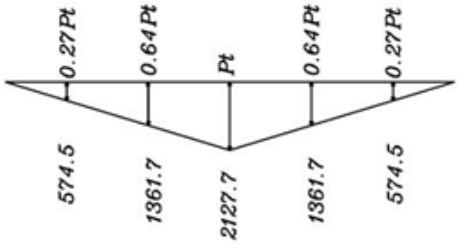
حال دیاگرام نیروهای وارده به داولها را رسم می نمائیم :





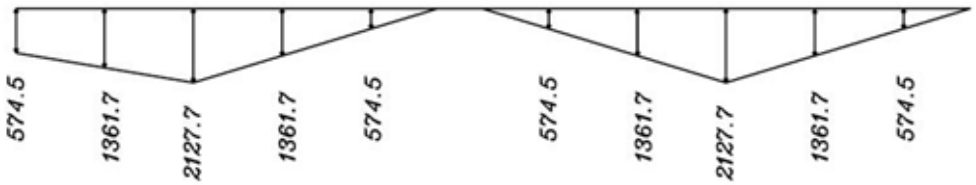
$\sum = 2.82\ Pt = W/2 = 6000$
$\rightarrow Pt = 2127.7\ lb$

Dowel Forces due to Load at A



Dowel Forces due to Load at B

$\sum = 2.82\ Pt = W/2 = 6000$
$\rightarrow Pt = 2127.7\ lb$



Dowel Forces due to Both Loads

$\sum = W = 12000\ lb$

حال سهم بار هر داول را برای چرخ جفت با توجه به 100%انتقال بار توسط درز تعیین می کنیم :

$$P_t = 2127.7\ lb$$

در واقع داولها را برای حداکثر نیروی وارده بر آنها طراحی می کنیم .

با توجه به معادله **۴۳-۴** ، برای تعیین ممان اینرسی داول داریم :

$$I_d = \frac{1}{64}\pi d^4 \rightarrow I_d = \frac{1}{64} \times \pi \times 1^4 = 0.0491\ in^4$$

حال با استفاده از معادله **۴۴-۴** ، برای تعیین سفتی نسبی داول داخل بتن داریم :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{dowel\ support} \times d}{4E_d I_d}} \rightarrow \beta = \sqrt[4]{\frac{1.5 \times 10^6 \times 1}{4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491}} = 0.72\ in$$

با توجه به معادله **۴۵-۴** ، برای تعیین تنش لهیدگی زیر داول داریم :

$$\sigma_b = K_{dowel\ support} \times y_o = \frac{K_{dowel\ support} \times P_t \times (2 + \beta Z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$\rightarrow \sigma_b = \frac{1.5 \times 10^6 \times 2127.7 \times (2 + 0.72 \times 0.25)}{4 \times 0.72^3 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491} = 3272.8\ psi \quad !$$

فصل هفتم –

خصوصیات مصالح

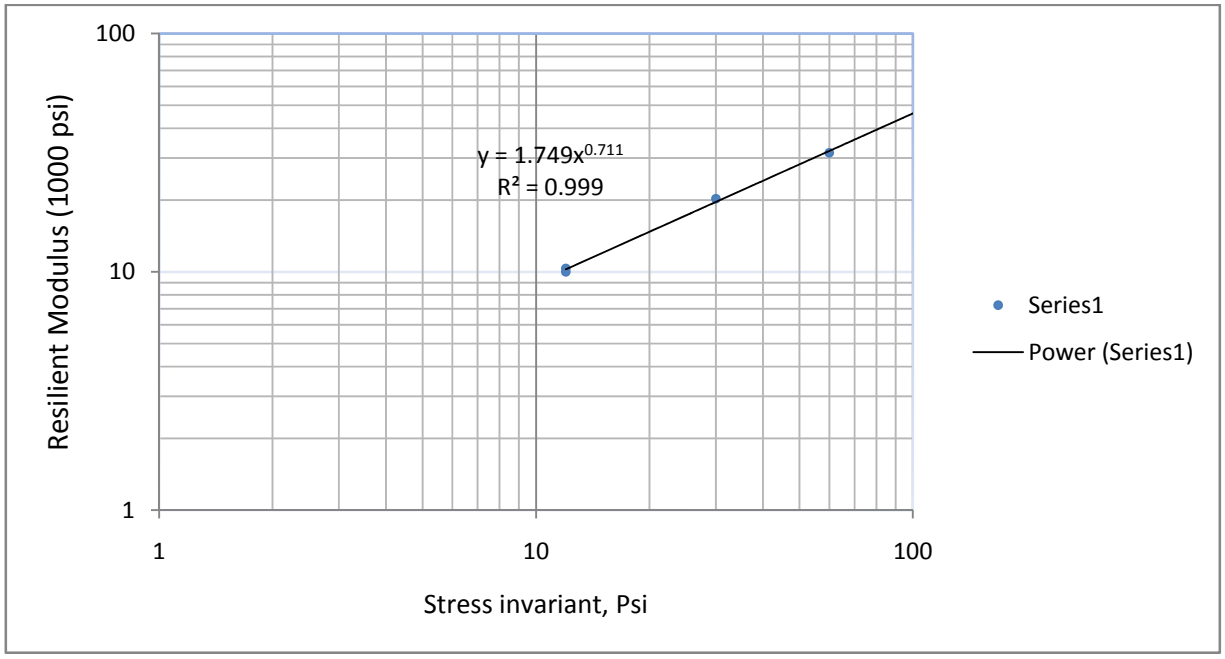
۱-۷- نتایج آزمایش تکرار بار روی مصالح دانه ای در جدول P7-1 آمده است . یک معادله مرتبط با مدول برجهندگی با اولین ثابت تنش یا مجموع سه اصل تنش ها بسط دهید

TABLE P7.1

Confining pressure (psi)	2	5	10	20	2
Deviator stress (psi)	6	15	30	60	6
Recoverable strain (10^{-4})	5.8	7.4	9.5	11.4	6.0

حل –

فشار محدود شونده $\sigma_3\ (psi)$	تنش انحرافی $\sigma_d\ (psi)$	تغییر مکان برگشتی $(0.001\ in)$	کرنش برگشتی $\epsilon_r\ (\times 10^{-3})$	مدول برجهندگی $M_R\ (\times 10^3)$	ثابت تنش $\theta\ (psi)$
2	6	-	0.58	10.34	12
5	15	-	0.74	20.27	30
10	30	-	0.95	31.58	60
20	60	-	1.14	52.63	120
2	6	-	0.6	10	12



با توجه به جدولی که ایجاد کرده ایم و نقطه یابی انجام داده بهترین خط را از ن عبور داده و معادله خط آن را

می یابیم :

در نتیجه داریم:

$$M_R = 1750\theta^{0.711}$$

۲-۷- یک خاک ریز دانه مقاومت فشاری نامحدود 2.3 tsf دارد . نتایج آزمایش تکرار بار در جدول P7-2 آمده است . یک معادله که ارتباط مدول برجهندگی با تنش انحرافی را شرح دهد بسط دهید .

حداکثر و حداقل مدول برجهندگی برای خاک چقدر باید باشد ؟

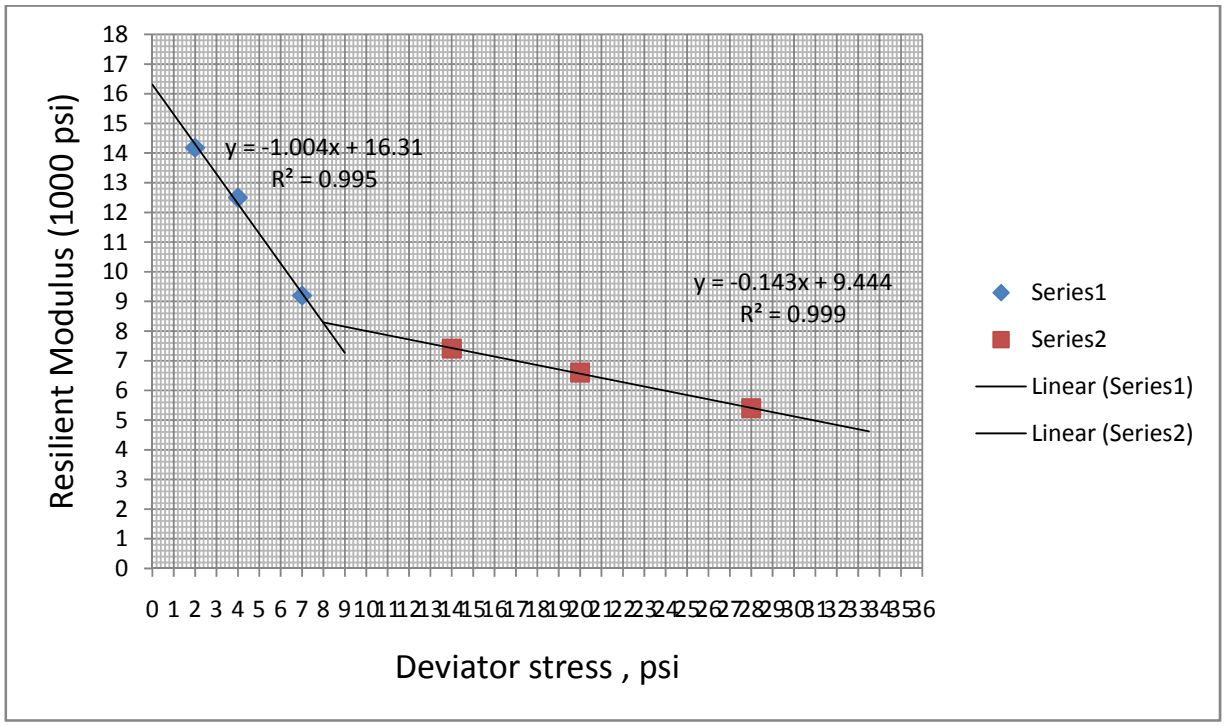
TABLE P7.2

Deviator stress (psi)	2	4	7	14	20	28
Recoverable strain (10^{-4})	1.41	3.20	7.61	18.90	30.32	51.81

حل –

فشار محدود شونده $\sigma_3\ (psi)$	تنش انحرافی $\sigma_d\ (psi)$	تغییر مکان برگشتی $(0.001\ in)$	کرنش برگشتی $\epsilon_r\ (\times 10^{-3})$	مدول برجهندگی $M_R\ (\times 10^3)$
-	2	-	0.141	14.18
-	4	-	0.32	12.5
-	7	-	0.761	9.198
-	14	-	1.89	7.41
-	20	-	3.032	6.6
-	28	-	5.181	5.4

با توجه به جدول فوق گراف زیر را رسم کرده و پارامتر های مورد نیاز را می یابیم



با توجه به گراف رسم شده داریم :

$K_1 = 8300$

$K_2 = 7.9$

$K_3 = 1004 \approx 1010$!

$K_4 = 143 \approx 145$

$E_{\max} = 16200$ psi !

$E_{\min} = 4850$ psi

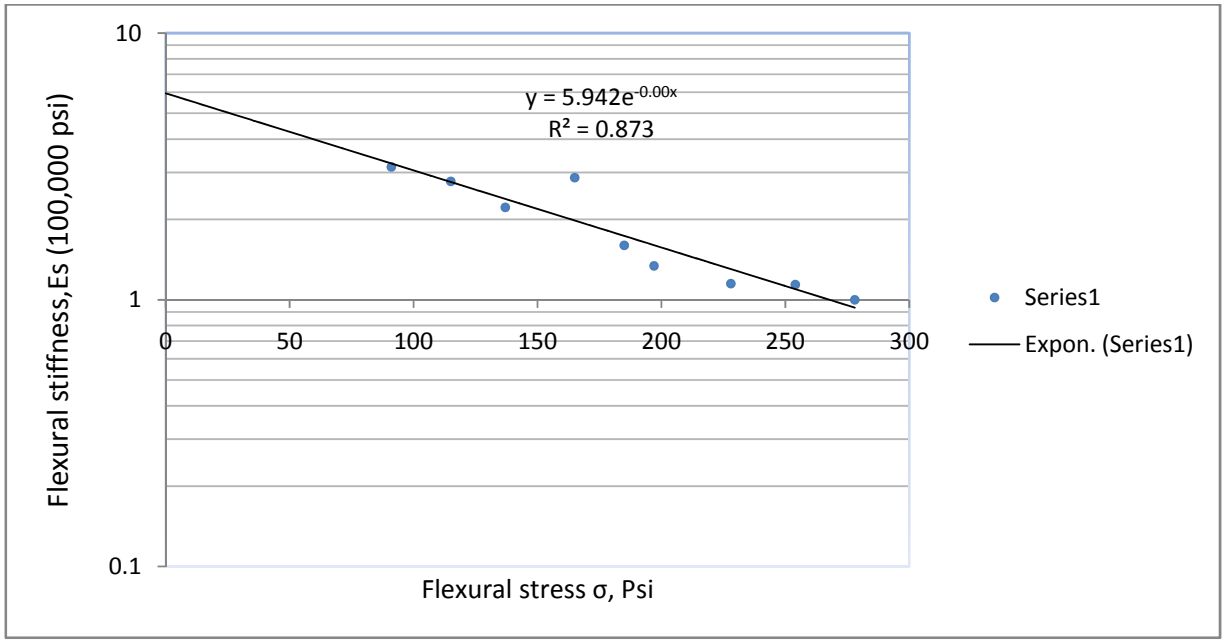
۳-۷- تنش خمشی و مدول اولیه برای یک سری از آزمایش های خستگی روی نمونه هایHMA در جدول P7-3 آورده شده است . مدول دینامیکی برای فرکانس 8 هرتز را با معادله ۱۵-۷ تعیین کنید .

TABLE P7.3

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stress (psi)	278	254	228	197	185	165	137	115	91
Initial stiffness modulus (10^5 psi)	1.00	1.14	1.15	1.34	1.60	2.87	2.22	2.78	3.15

حل –

با توجه به جدول فوق گراف زیر را رسم می کنیم



از گراف فوق نتیجه میگیریم که :

$$E_0 = 5.492 \times 10^5$$

در نتیجه با توجه به معادله ۱۵-۷ داریم :

$$|E^*| = 0.18089 f^{2.1456} E_0^{\left(\frac{14.6918}{f^{0.01}} - 13.5739\right)} \rightarrow |E^*| = 751804.95 \approx 7.5 \times 10^5 psi \ !$$

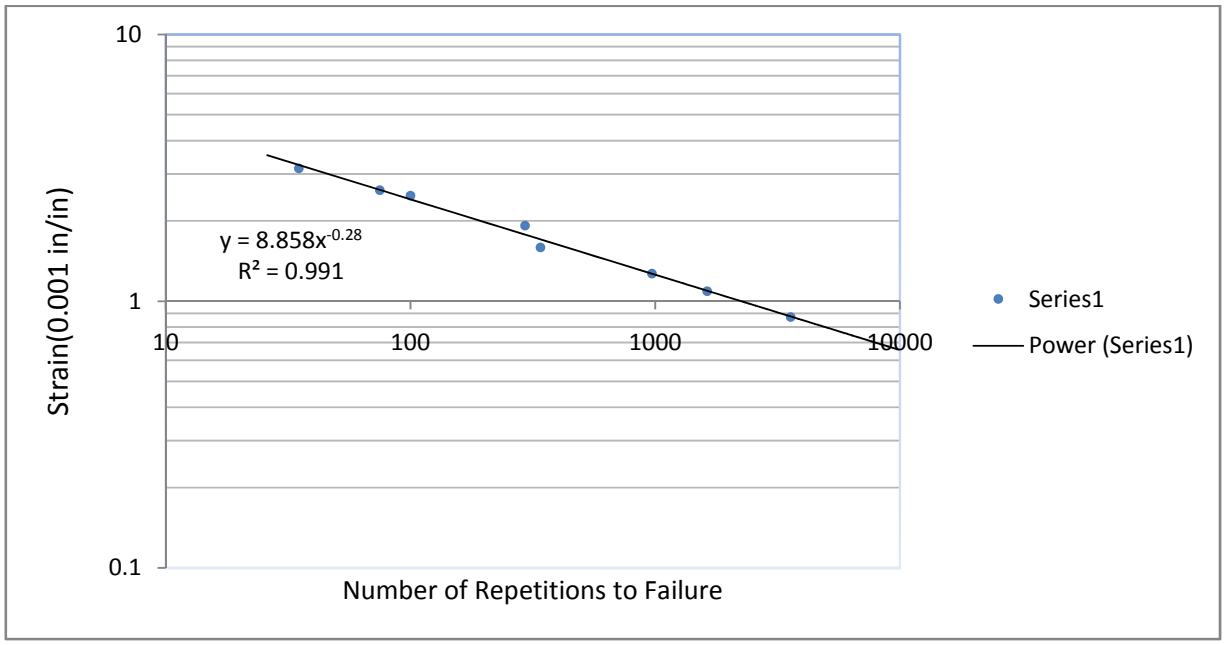
۴-۷- نتایج آزمایش خستگی روی یک اساس آسفالتی در جدول P7-4 نشان داده شده است .یک معادله که ارتباط تعداد تکرار خستگی و کرنش کششی اولیه را شرح دهد ، بسط دهید .

TABLE P7.4

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Initial strain (10^{-3})	3.15	2.61	2.49	1.92	1.59	1.27	1.09	0.873
Fracture life (N_f)	35	75	100	294	340	970	1630	3573

حل –

با توجه به جدول داده شده گراف زیر را رسم می کنیم :



با توجه به گراف رسم شده داریم :

$$f_2 = \frac{\log 10000 - \log 10}{\log 4.7 - \log 0.65} \approx 3.5$$

$$\epsilon_t = 4.7 \times 10^{-3}$$

$$N_f = 10$$

با توجه به معادله **۳۱-۷** داریم :

$$\log C_1 = \log N_f + f_2 \log \epsilon_t \rightarrow C_1 = 7.12 \times 10^{-8}$$

با توجه به معادله **۲۹-۷** داریم :

$$N_f = C_2(\epsilon_t)^{-f_2}$$

$$\rightarrow N_f = 7.12 \times 10^{-8}(\epsilon_t)^{-3.5} \qquad !$$

۵-۷- یک مخلوط آسفالتی **۷** درصد آسفالت و وزن مخصوص ظاهری **۲/۲۴** دارد. آسفالت بازیافتی وزن مخصوص **۱/۰۲** و آزمایش گوی و حلقه با نقطه نرمی **۱۲۰** درجه فارنهایت و درجه نفوذ **۵۰** در دمای **۷۷** درجه فارنهایت دارد. وزن مخصوص دانه بندی **۲/۶۱** می باشد .

مدول نرمی مخلوط را در دمای **۷۴** درجه فارنهایت و زمان بارگذاری **۰/۰۲** ثانیه با نمو گرافهای نشان داده شده در گراف **۱۹-۷** و **۲۰-۷** تعیین کنید. نتیجه را با معادله **۲۵-۷** کنترل کنید .

حل –

$$120°\text{F} = 48.89°\text{C} \qquad 77°\text{F} = 25°\text{C} \qquad 74°\text{F} = 23.3°\text{C}$$

با توجه به رابطه **۱۸-۷** داریم :

$$A = \frac{\log(pen\ at\ T) - \log 800}{T - T_{R\&B}}$$

با داشتن داده هایی که در صورت مسئله ذکر گردیده داریم :

$$A = \frac{\log(50) - \log 800}{25 - 48.89} = 0.0504$$

حال با توجه به رابطه **۱۶-۷** داریم :

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \rightarrow PI = \frac{20 - 500 \times 0.0504}{1 + 50 \times 0.0504} = -1.48$$

حال با توجه به داشتن پارامترهای زیر به گراف **۱۹-۷** رفته و مدول نرمی قیر را بر اساس حرارت می خوانیم :

$$Time\ of\ Loading = 0.02\ s \qquad T_{800pen} = 48.89 - 23.33 = 25.56°\text{C} \qquad PI = -1.48$$

$$\rightarrow S_b \approx 1.5 \times 10^7\ \text{N/m}^2$$

برای بدست آوردن مدول نرمی مخلوط قیری بر اساس مدول نرمی قیر و درصد حجم قیر V_b و درصد حجم دانه بندی V_g از گراف **۲۰-۷** لازم است مقادیر زیر را بیابیم :

داده های زیر را از مسئله داریم :

$$G_g = 2.61 \qquad G_b = 1.02 \qquad P_b = 7\% \qquad G_m = 2.24$$

با توجه به رابطه **۲۰-۷** داریم :

$$V_g = \frac{\frac{(1-P_b)W}{G_g}}{\frac{W}{G_m}} \times 100 = \frac{100(1-P_b)G_m}{G_g}$$

$$\rightarrow V_g = \frac{100(1-0.07)\times 2.24}{2.61} = 79.82\%$$

با توجه به رابطه **۲۱-۷** داریم :

$$V_b = \frac{P_b W/G_b}{W/G_m} \times 100 = \frac{100P_bG_m}{G_b}$$

$$\rightarrow V_b = \frac{100\times 0.07\times 2.24}{1.02} = 15.37\%$$

با توجه به مدول نرمی قیر بدست آمده از بالا ، با توجه به گراف **۲۰-۷** و داشتن داده های زیر از مسئله داریم :

$$S_b \approx 1.5\times 10^7 \frac{N}{m^2} \qquad V_g = 79.82\% \qquad V_b = 15.37\%$$

$$\rightarrow S_m = 2\times 10^9 N/m^2$$

حال با توجه به معادله **۲۵-۷** داریم :

$$For\ 5\times 10^6 \frac{N}{m^2} < S_b < 10^9 \frac{N}{m^2}$$

$$\log S_m = \frac{\beta_4 + \beta_3}{2}(\log S_b - 8) + \frac{\beta_4 - \beta_3}{2}|\log S_b - 8| + \beta_2$$

با توجه به معادلات **۲۴-۷** داریم :

$$\beta_1 = 10.82 - \frac{1.342(100 - V_g)}{V_g + V_b} \rightarrow \beta_1 = 10.82 - \frac{1.342(100 - 79.82)}{79.82 + 15.37} = 10.54$$

$$\beta_2 = 8 + 0.00568V_g + 0.0002135V_g^2$$

$$\rightarrow \beta_2 = 8 + 0.00568 \times 79.82 + 0.0002135 \times 79.82^2 = 9.81$$

$$\beta_3 = 0.6\log(\frac{1.37V_b^2 - 1}{1.33V_b - 1}) \rightarrow \beta_3 = 0.6\log(\frac{1.37 \times 15.37^2 - 1}{1.33 \times 15.37 - 1}) = 0.73$$

$$\beta_4 = 0.7582(\beta_1 - \beta_2) \rightarrow \beta_4 = 0.7582 \times (10.54 - 9.81) = 0.55$$

حال داریم :

$$\rightarrow \log S_m = \frac{0.55 + 0.73}{2} \times (\log 1.5 \times 10^7 - 8) + \frac{0.55 - 0.73}{2} \times |\log 1.5 \times 10^7 - 8| + 9.81 = 9.3$$

$$\rightarrow S_m \approx 2 \times 10^9\ N/m^2$$

۶-۷- مخلوط آسفالتی مشابه مسئله ۵-۷ است . دانه بندی ۵ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ دارد .

و آسفالت در دمای ۷۷ درجه فارنهایت درجه نفوذ ۷۵ دارد .

مدول دینامیکی را در دمای ۷۴ درجه فارنهایت و فرکانس بارگذاری ۸ هرتز با معادلات انستیتو آسفالت

تعیین کنید .

حل –

با توجه به داده های مسئله داریم :

$$P_{200} = 5\% \quad V_b = 15.37\% \quad V_g = 79.82\% \quad f = 8\,Hz \quad P_{77^\circ\mathrm{F}} = 75 \quad T = 74^\circ\mathrm{F}$$

با توجه به معادله ۲۲-۷ داریم :

$$V_a = V_V = 100 - V_g - V_b \rightarrow V_a = V_V = 100 - 79.82 - 15.37 = 4.81\%$$

با توجه به معادله ۲۸-۷ داریم :

$$\lambda = 29508.2(P_{77^\circ\mathrm{F}})^{-2.1939} \rightarrow \lambda = 29508.2 \times 75^{-2.1939} = 2.27 \times 10^6 poise$$

حال با توجه به معادلات ۲۷-۷ داریم :

$$\beta_5 = 1.3 + 0.49825 \times \log f \rightarrow \beta_5 = 1.3 + 0.49825 \times \log 8 = 1.75$$

$$\beta_4 = 0.483\mathrm{V_b} \rightarrow \beta_4 = 0.483 \times 15.37 = 7.42$$

$$\beta_3 = 0.553833 + 0.028829(\mathrm{P_{200}f^{-0.1703}}) - 0.03476\mathrm{V_a} + 0.070377\lambda + 0.931757\mathrm{f^{-0.02774}}$$

$$\rightarrow \beta_3 = 0.553833 + 0.028829 \times 5 \times 8^{-0.1703} - 0.03476 \times 4.81 + 0.070377 \times 2.27 + 0.931757 \times 8^{-0.02774} = 1.527$$

$$\beta_2 = {\beta_4}^{0.5} \times \mathrm{T}^{\beta_5} = 7.42^{0.5} \times 74^{1.75} = 5085.78$$

$$\beta_1 = \beta_3 + 0.000005\beta_2 - 0.00189\beta_2 f^{-1.1}$$

$$\rightarrow \beta_1 = 1.527 + 0.000005 \times 5085.78 - 0.00189 \times 5085.78 \times 8^{-1.1} = 0.577$$

$$|E^*| = 100000 \times 10^{\beta_1} \cong 377572 \approx 3.8 \times 10^5 \text{psi}$$

۷-۷- مخلوط آسفالتی مسئله **۵-۷** در معرض کرنش کششی اولیه **۰/۰۰۰۱۵** است . تعداد تکرار خستگی را با نموگراف نشان داده شده در گراف **۲۶-۷** تعیین کنید . از آزمایش تنش ثابت و کرنش ثابت بترتیب استفاده کرده و نتایج را با معادلات **۳۳-۷** و **۳۵-۷** کنترل کنید .

حل –

پارامترهای زیر را داریم :

$$V_b = 15.37\% \qquad PI = -1.48 \qquad S_m = 2 \times 10^9 \frac{N}{m^2} = 2.9 \times 10^5 \frac{lb}{in^2} \qquad \epsilon_t = 0.00015$$

با توجه به گراف **۲۶-۷** ، برای آزمایش تنش ثابت داریم :

$$\rightarrow N_f \approx 9 \times 10^5 \quad !$$

با توجه به گراف **۲۶-۷** ، برای آزمایش کرنش ثابت داریم

$$\rightarrow N_f \approx 10^8 \quad !$$

با توجه به معادله **۳۳-۷** برای آزمایش تنش ثابت داریم(توجه داریم که S_m بر حسب PSI می باشد)

$$N_f = [0.0252PI - 0.00126PI(V_b) + 0.00673V_b - 0.0167]^5 \epsilon_t^{-5} S_m^{-1.4}$$

$$\rightarrow N_f = [0.0252 \times (-1.48) - 0.00126 \times (-1.48) \times 15.37 + 0.00673 \times 15.37 - 0.0167]^5 \times 0.00015^{-5} \times (2.9 \times 10^5)^{-1.4}$$

$$\rightarrow N_f \approx 862205 \approx 8.6 \times 10^5 \quad !$$

با توجه به معادله **۳۵-۷** برای آزمایش کرنش ثابت داریم(توجه داریم که S_m بر حسب PSIمی باشد)

$$N_f = [0.17PI - 0.0085PI(V_b) + 0.0454V_b - 0.112]^5 \epsilon_t^{-5} S_m^{-1.8}$$

$$\rightarrow N_f = [0.017 \times (-1.48) - 0.0085 \times (-1.48) \times 15.37 + 0.0454 \times 15.37 - 0.112]^5 \times 0.00015^{-5} \times (2.9 \times 10^5)^{-1.8}$$

$$\rightarrow N_f \approx 79169180 \approx 7.9 \times 10^7 \quad !$$

۸-۷- مخلوط آسفالتی در مسئله **۶-۷** در معرض کرنش اولیه **۰/۰۰۰۱۵** می باشد . تعداد تکرار خستگی را با معادلات **۳۶-۷** و **۳۷-۷** تعیین کنید .

حل –

داده های زیر را داریم

$$V_b = 15.37\% \qquad V_a = 4.81\% \quad |\mathrm{E}^*| = 3.8 \times 10^5 \mathrm{psi} \quad \epsilon_t = 0.00015$$

با توجه به رابطه **۳۶-۷** داریم :

$$N_f = 0.00432 C \epsilon_t^{-3.291} |\mathrm{E}^*|^{-0.854}$$

با توجه به معادلات **۳۷-۷** داریم :

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84\left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69\right) \rightarrow M = 4.84\left(\frac{15.37}{4.81 + 15.37} - 0.69\right) \approx 0.35$$

حال داریم :

$$\rightarrow C = 10^{0.35} = 2.222$$

$$\rightarrow N_f = 0.00432 \times 2.222 \times 0.00015^{-3.291} \times (3.8 \times 10^5)^{-0.854} \approx 633252$$

$$\rightarrow N_f \approx 6.3 \times 10^5\ psi \quad !$$

۹-۷- نتایج آزمایش incremental static روی یک نمونه HMA در جدول P7-9 نشان داده شده است .

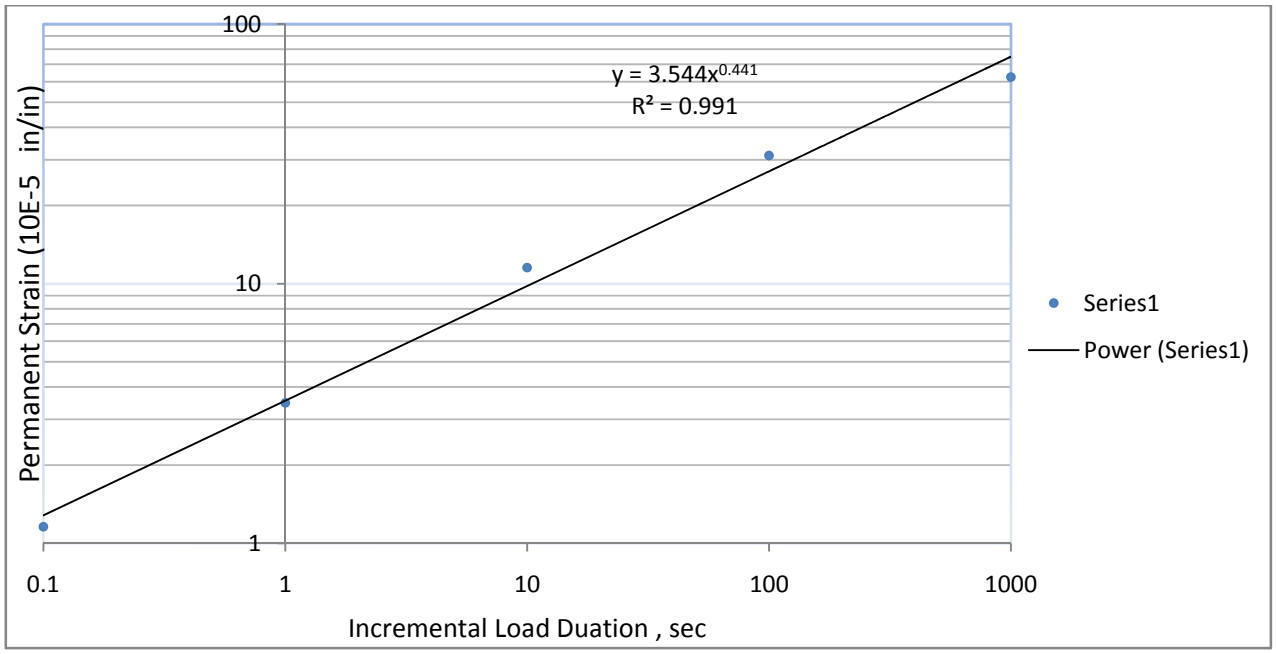
اگر کرنش خزش در مدت زمان ۰.۰۳ ثانیه 3.045×10^{-5} باشد پارامترهای تغییر مکان پایدار

α & μ را تعیین کنید

TABLE P7.9

Load duration (s)	0.1	1	10	100	1000
Permanent strain (10^{-5})	1.158	3.474	11.533	31.172	62.483

حل –



با توجه به جدول داده شده گراف فوق را رسم می کنیم .

با توجه به گراف رسم شده مشاهده می کنیم شیب نمودار برابر است با :

$$S = \frac{\log 75 - \log 1.29}{4} \approx 0.441$$

در نتیجه داریم :

$$I = 1.29 \times 10^{-5}$$

با توجه به معادله **۴۳-۷** داریم :

$$\alpha = 1 - S \rightarrow \alpha = 1 - 0.441 = 0.559$$

با توجه به داده مسئله داریم :

$$\epsilon = 3.045 \times 10^{-5}$$

با توجه به معادله **۴۴-۷** داریم :

$$\mu = \frac{IS}{\epsilon} \rightarrow \mu = \frac{1.29 \times 0.441}{3.045} = 0.187$$

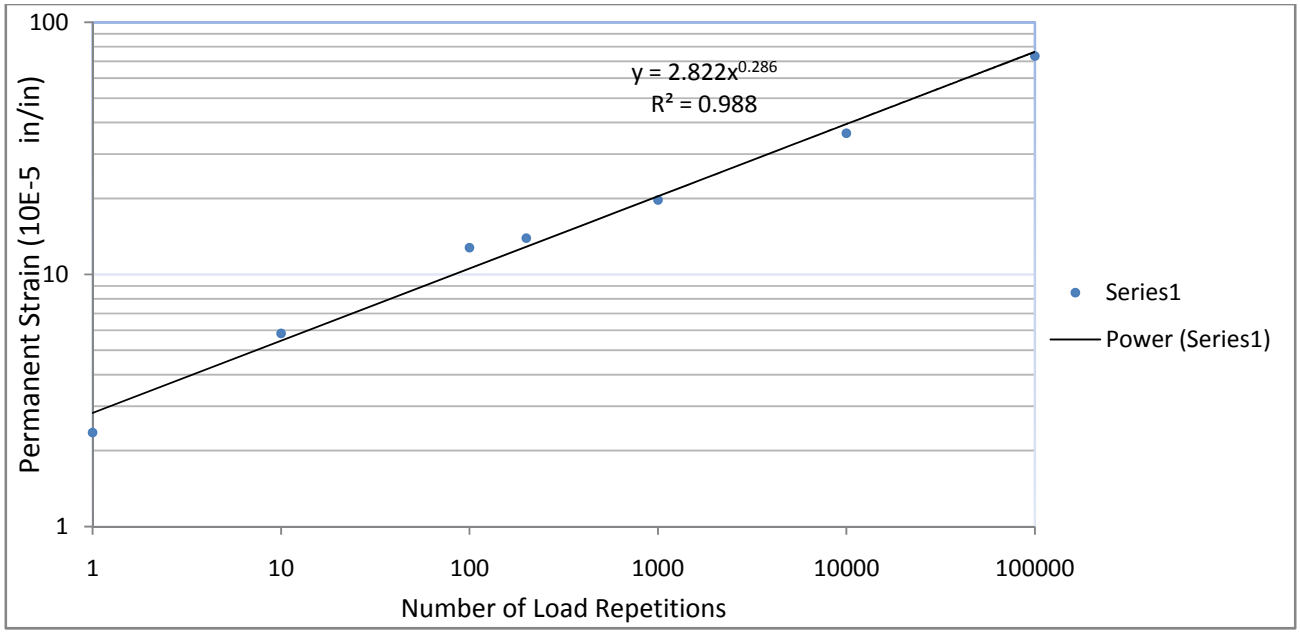
۱۰-۷- نتایج آزمایش دینامیک روی یک نمونهHMA در جدول P7-10 نشان داده شده است . کرنش الاستیک در تکرار دویستم ، 4.128×10^{-5} است ، پارامترهای تغییر مکان پایدار را تعیین کنید

$\alpha \,\&\, \mu = ?$

TABLE P7.10

No. of repetitions	1	10	100	200	1000	10,000	100,000
Accumulated permanent strain (10^{-5})	2.360	5.831	12.773	13.930	19.715	36.281	73.506

حل –



با توجه به جدول داده شده گراف فوق را رسم می کنیم .

با توجه به گراف رسم شده مشاهده می کنیم شیب نمودار برابر است با :

$$S = \frac{\log 78 - \log 2.9}{5} \approx 0.286$$

در نتیجه داریم :

$$I = 2.9 \times 10^{-5}$$

با توجه به معادله **۴۳-۷** داریم :

$$\alpha = 1 - S \rightarrow \alpha = 1 - 0.286 = 0.714 \qquad !$$

با توجه به داده مسئله ، کرنش الاستیک در تکرار دویستم را داریم :

$$\epsilon = 4.128 \times 10^{-5}$$

با توجه به معادله **۴۴-۷** داریم :

$$\mu = \frac{IS}{\epsilon} \rightarrow \mu = \frac{2.9 \times 0.286}{4.128} = 0.2 \qquad !$$

فصل یازدهم –

طراحی روسازی انعطاف پذیر

۱-۱۱- شکل P11.1a یک روسازی نازک را که شامل یک لایه ماسه به ضخامت ۵ فوت و یک لایه رس که در زیر آن گسترده شده است را نشان می دهد.

سطح آب ۱۰ فوت زیر سطح رویه است.جرم واحد حجم (چگالی) ماسه ۱۲۰ pcf و رس ۱۰۰pcf می باشد.

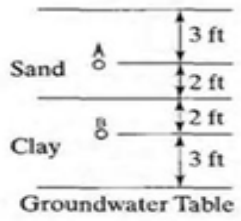
ضریب تراکم پذیری برای رس ۰/۵ است.

منحنی مکش-درصدرطوبت برای هر خاک در شکل P11.1b نشان داده شده است.

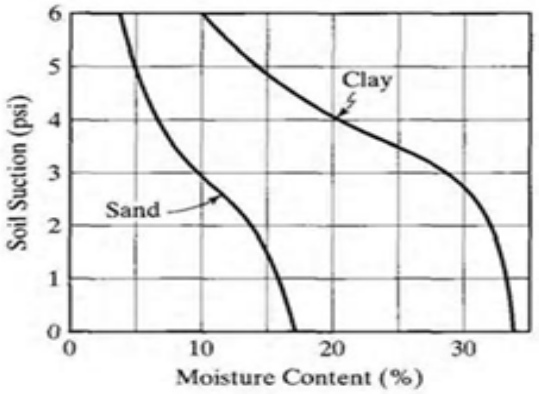
از وزن روسازی صرفنظر کرده ، درصد رطوبت خاک بستر را در دونقطه ی مورد نظر بیابید :

الف – نقطه A که ۷ فوت بالای سطح آب می باشد

ب – نقطه B که ۳ فوت بالای سطح آب می باشد



(a)



(b)

FIGURE P11.1

حل-

برای شروع به حل نیاز به چند پارامتر که در ذیل آمده داریم :

1 psi = 6.9 kpa 1 in = 25.4 mm 1 ft = 12 in

1 pcf = 157.1 $^{N}/_{m^3}$ 1 psf ≈ 0.0068 psi

1 pci = 271.3 $^{KN}/_{m^3}$ 1 lb = 4.45 N

$\gamma_w = 62.4\, pcf$ $U = S + \propto P$

الف-

@ point A ; P= 3 x 120 = 360 psf

∝= 0 → S= -7 x 62.4 – 0 x 360 = - 436.8 psf ≈ - 2.97 psi

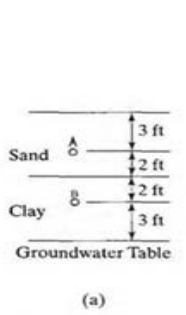
From Figure p11.1b → درصد رطوبت ماسه = 10%

ب-

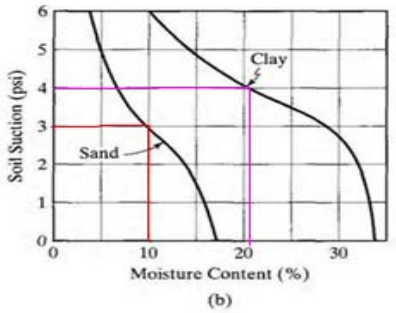
@ point B ; P= 5 x 120 +2 x 100 = 800 psf

∝= 0.5 → S= -3 x 62.4 – 0.5 x 800 = - 587.2 psf ≈ - 3.99 psi

From Figure p11.1b → درصد رطوبت رس = 21%



(a)



(b)

FIGURE P11.1

۲-۱۱- بر اساس نتایج آزمایش نشان داده شده در شکل **۴-۱۱** و **۵-۱۱** ، ضرایب تغییر شکل پایدار را در مدل Ohio State که با a,b,m در معادله **۱۶-۱۱** نشان داده شده است تخمین بزنید.

۳-۱۱- معادله خستگی برای یک روسازی آسفالتی $N_p = 5 \times 10^{-6}(\epsilon_t)^{-3}$ است که ϵ_t کرنش کششی می باشد. اگر روسازی در معرض ۵۰۰۰ چرخه حرارتی با کرنش کششی حداکثر ۰/۰۰۰۵ و ضریب نوسان N_f ، $C[N_f]$ ، ۰/۸ باشد درصد ترک خوردگی که به سبب خستگی حرارتی ترک می خورد را تعیین کنید؟

۴-۱۱- شکل P11.4 یک روسازی آسفالتی با ضخامت و مدول برجهندگی اساس دانه ای و مدول برجهندگی بستر آن را نشان می دهد.

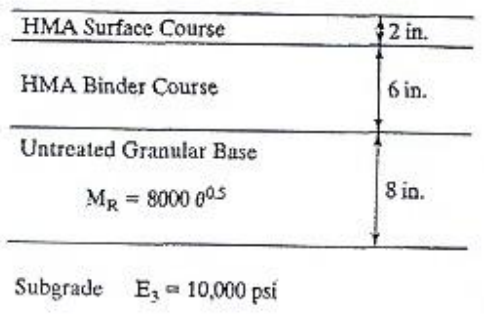
رویه آسفالتیHMA دارای ویسکوزیته $25 \times 10^6 poise$ در دمای $70\ ^\circ F$ و درصد قیر ۱۱٪ و درصد عبور از الک شماره ۲۰۰ ، ۵٪ می باشد و در معرض بارگذاری با فرکانس ۸ هرتز قرار میگیرد. درصد حفره ها ۴٪ برای رویه و ۷٪ برای لایه بیندر است.

متوسط دمای هوای ماهیانه $68\ ^\circ F$ است. با روش انستیتو آسفالت همانطور که در برنامهDAMA استفاده شده ، تعیین کنید :

الف – دما برای رویه و لایه بیندر با استفاده از معادله ی ۳-۲۷

ب- مدول دینامیکی رویه و لایه بیندر را با استفاده از معادله ۷-۲۷ بدست آورید.

پ- مدول اساس معمولی را با استفاده از معادله های ۳-۲۸ و ۳-۲۹ بدست آورید.



حل- الف-

داده های زیر را از مسئله داریم :

P_{200}=5% $V_b = 11\%$ $f = 8\ Hz$ $M_p = 68°\text{F}$

$\lambda = 2.5 \times 10^6 poise$ $V_a = 4\%$ رویه $V_a = 7\%$ لایه بیندر

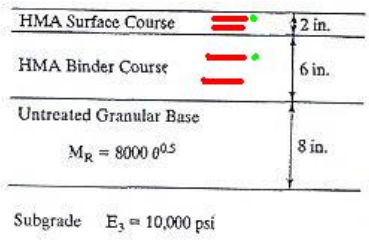
با توجه به رابطه **۲۷-۳** داریم :

$$M_p = M_a\left(1 + \frac{1}{Z+4}\right) - \frac{34}{Z+4} + 6$$

M_p= متوسط دمای روسازی

M_a= متوسط دمای هوای ماهیانه

Z= عمق زیر لایه روسازی- توجه شود که هر لایه روسازی را به سه قسمت تقسیم کرده و دما در بالای سومین نقطه در هر لایه را به عنوان میانگین وزنی دمای روسازی در نظر میگیریم.



$$M_p = 68\left(1 + \frac{1}{\frac{2}{3}+4}\right) - \frac{34}{\frac{2}{3}+4} + 6 = 81.29 \approx 81.3°\text{F}$$ رویه

$$M_p = 68\left(1 + \frac{1}{2+\frac{6}{3}+4}\right) - \frac{34}{2+\frac{6}{3}+4} + 6 = 78.28 \approx 78.3°\text{F}$$ بیندر

ب- با توجه به رابطه **۲۷-۷** داریم :

برای لایه رویه :

$$\beta_5 = 1.3 + 0.49825 \times \log f = 1.3 + 0.49825 \times \log 8 = 1.75$$

$$\beta_4 = 0.483\text{V}_\text{b} = 0.483 \times 11 = 5.313$$

$$\begin{aligned}\beta_3 &= 0.553833 + 0.028829(\text{P}_{200}\text{f}^{-0.1703}) - 0.03476\text{V}_\text{a} + 0.070377\lambda + 0.931757\text{f}^{-0.02774} \\ &= 0.553833 + 0.028829 \times 5 \times 8^{-0.1703} - 0.03476 \times 4 + 0.070377 \times 2.5 \\ &\quad + 0.931757 \times 8^{-0.02774} = 1.57143\end{aligned}$$

$$\beta_2 = {\beta_4}^{0.5} \times \text{T}^{\beta_5} = 5.313^{0.5} \times 81.3^{1.75} = 5073.7418 \qquad T = M_p \text{ رویه}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \beta_3 + 0.000005\beta_2 - 0.00189\beta_2 f^{-1.1} \\ &= 1.57143 + 0.000005 \times 5073.7418 - 0.00189 \times 5073.7418 \times 8^{-1.1} = 0.62317\end{aligned}$$

$$\text{E}^* = 100000 \times 10^{\beta_1} \cong 419928 \approx 4.2 \times 10^5$$

برای لایه بیندر :

$$\beta_5 = 1.3 + 0.49825 \times \log f = 1.3 + 0.49825 \times \log 8 = 1.75$$

$$\beta_4 = 0.483\text{V}_\text{b} = 0.483 \times 11 = 5.313$$

$$\begin{aligned}\beta_3 &= 0.553833 + 0.028829(\text{P}_{200}\text{f}^{-0.1703}) - 0.03476\text{V}_\text{a} + 0.070377\lambda + 0.931757\text{f}^{-0.02774} \\ &= 0.553833 + 0.028829 \times 5 \times 8^{-0.1703} - 0.03476 \times 7 + 0.070377 \times 2.5 \\ &\quad + 0.931757 \times 8^{-0.02774} = 1.46714\end{aligned}$$

$\beta_2 = {\beta_4}^{0.5} \times \mathrm{T}^{\beta_5} = 5.313^{0.5} \times 78.3^{1.75} = 4750.64952$ بیندر $T = M_p$

$\beta_1 = \beta_3 + 0.000005\beta_2 - 0.00189\beta_2 f^{-1.1}$
$= 1.46714 + 0.000005 \times 4750.65 - 0.00189 \times 4750.65 \times 8^{-1.1} = 0.5793$

$\mathrm{E}^* = 100000 \times 10^{\beta_1} \cong 379550 \approx 3.8 \times 10^5$

پ- با توجه به روابط **۲۸-۳** و **۲۹-۳** داریم :

$$E_2 = 10.447{h_1}^{-0.471} \times {h_2}^{-0.041} \times {E_1}^{-0.139} \times {E_3}^{0.287} \times {K_1}^{0.868}$$

$$E_1 = \left[\frac{h_{1a}(E_{1a})^{1/3} + h_{1b}(E_{1b})^{1/3}}{h_{1a} + h_{1b}}\right]^3$$

$E_1 =$ مدول رویه $(E_{1a} =$ مدول $HMA - E_{1b} =$ مدول بیندر)

$E_2 =$ مدول اساس

$E_3 =$ مدول بستر

$M_R = K_1\theta^{K_2} = 8000\theta^{0.5}$ طبق داده سوال $\rightarrow K_1 = 8000 \;\&\; K_2 = 0.5$

$h_1 =$ ضخامت رویه $(h_{1a} =$ ضخامت $HMA - h_{1b} =$ ضخامت بیندر)

$h_2 =$ ضخامت اساس

$$E_1 = \left[\frac{2(4.2 \times 10^5)^{1/3} + 6(3.8 \times 10^5)^{1/3}}{2 + 6}\right]^3 = 389750.5\ psi$$

$E_2 = 10.447 \times 8^{-0.471} \times 8^{-0.041} \times 389750.5^{-0.139} \times 100000^{0.287} \times 8000^{0.868} = 20671.5\ psi$
$\approx 20700\ psi$

۵-۱۱- یک بزرگراه ۶ خطه بین ایالتی (۳ خط در هر جهت) تعداد عبور ۱۸۸۵ کامیون در روز (شامل دو محور و ۴ چرخ و کامیون pickup) و نرخ رشد سالیانه ۴٪ دارد.

لایه HMA روی یک لایه اساس دانه ای معمولی با 8 in ضخامت که بر روی بستر با مدول برجهندگی 10000 psi قرار دارد گسترده شده است.

الف- با رجوع به جداول ۹-۶ و ۱۰-۶ ،ESAL برای یک دوره طراحی ۲۰ساله را با روش انستیتو آسفالت تخمین بزنید.

ب- ضخامتHMA مورد نیاز را با روش انستیتو آسفالت تعیین کنید.

پ- اگر بخشی ازHMA با یک لایه ی آسفالت امولسیونی تیپI جایگزین شود ، ضخامتHMA و آسفالت امولسیونی مورد نیاز را تعیین کنید.

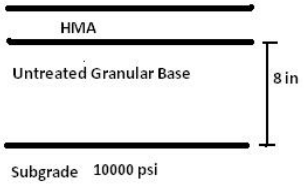
حل-

الف- با استفاده ازجداول ۹-۶ و ۱۰-۶ و ۱۵-۶ داریم :

با استفاده از جدول ۱۵-۶ درصد کل کامیونها در خط طراحی را با توجه به اینکه کل خطوط در هر دو جهت ۶ خط می باشد ۴۰٪ می باشد.

	Interstate			
Vehicle Type	Percents trucks	Truck factors	Growth factor	ESAL
Single-unit trucks				
2 axles-4 tires	43%	0.003	29.78	1885x365x0.4x0.43x0.003x29.78=10572.5
2 axles-6 tires	8%	0.21	29.78	1885x365x0.4x0.08x0.21x29.78=137688.7
3 axles or more	2%	0.61	29.78	1885x365x0.4x0.02x0.61x29.78=99988.2
Tractor				
4 axles or less	5%	0.62	29.78	1885x365x0.4x0.05x0.62x29.78=254068.4
5 axles	41%	1.09	29.78	1885x365x0.4x0.41x1.09x29.78=3662682.4
6 axles or more	1%	1.23	29.78	1885x365x0.4x0.01x1.23x29.78=100807.8
All trucks		0.52		Design ESAL= 4265808≈4.26E06

ب-



با توجه به گراف ۱۷-۱۱ با داشتن مدول برجهندگی بستر وESAL ضخامت رویه برابر 10 in بدست می آید

پ- مراحل حل این قسمت به این ترتیب می باشد:

۱- ابتدا یک ضخامت برای روسازیfull-depth با کمک گراف ۱۱-۱۱ و داشتن مدول برجهندگی بسترو ESAL تعیین می کنیم. در این مرحله عدد 11.5in را از روی گراف می خوانیم

این ضخامت شامل رویه HMA و اساسHMA می باشد.اگر ضخامت HMA رویه را 2 in در نظر بگیریم ضخامتHMA اساس 9.5 in می شود

۲- در مرحله بعد یک روسازی HMA برروی اساس امولسیون قیری در نظر گرفته و با کمک گرافهای ۱۲-۱۱ تا ۱۴-۱۱ ضخامت رویه و اساس قیری را می خوانیم.

در این مرحله از گراف ۱۲-۱۱ ضخامت12in را می خوانیم.سپس از جدل ۱۲-۱۱ حداقل ضخامت HMA روی اساس امولسیون قیری را می خوانیم که ضخامت 2in را در این مرحله بدست می آوریم.

در نتیجه ضخامت اساس امولسیون قیری برابر است با :12-2=10 in

۳- حال ضریب جایگزینی را از تقسیم ضخامتHMA اساس حاصل از مرحله ۲ به ۱ بدست می آوریم.

$$\text{ضریب جایگزینی} = \frac{12-2}{11.5-2} = \frac{10}{9.5} = 1.053$$

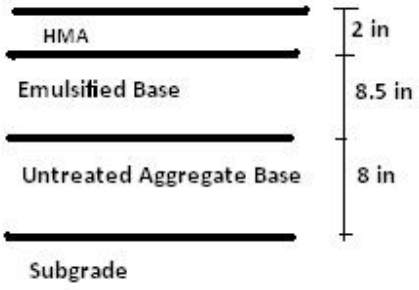
۴- حال ضخامت HMA را بر روی یک لایه اساس معمولی دانه ای با کمک گراف های ۱۵-۱۱ تا ۲۰-۱۱ بدست می آوریم.(در قسمت ب این سوال ضخامت10 in را به کمک گراف ۱۷-۱۱ بدست آوردیم)

توجه می کنیم که ضخامت لایه اساس دانه ای معمولی برابر8 in می باشد.

۵- از جدول ۱۲-۱۱ حداقل ضخامتHMA ، 2in می باشد.در نتیجه 8in از اساس HMA با اساس امولسیون قیری باید جایگزین شود.

۶- ضخامت لایه اساس امولسیون قیری برابر است با :

8 x 1.053 ≈8.5 in


HMA
2 in
Emulsified Base
8.5 in
Untreated Aggregate Base
8 in
Subgrade

۶-۱۱- یک مرحله ساخت برای یک روسازی آسفالتی full-depth با یک بستر با مدول برجهندگی 5000 psi طراحی شده است. دوره طراحی ۳۰ ساله که به ۳ مرحله تقسیم میشود :

اولین مرحله ۵ ساله ، دومین مرحله ۱۰ ساله و آخرین مرحله ۱۵ ساله.

ترافیک اولین سال در خط طراحی ۲۰۰۰۰ محور هم ارز 18 kip تک محوره و نرخ رشد سالیانه ۳/۵٪ است. اگر نسبت صدمه و خرابی در پایان هر مرحله بترتیب ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ باشد ، ضخامت HMA که باید در هر مرحله ایجاد شود را با روش انستیتو آسفالت تعیین کنید.

حل-

ضخامت در هر مرحله با استفاده از گراف ۱۱-۱۱ و داشتن M_R و N_1 بدست می آید.

$$M_R = 5000\,psi$$

ابتدا با استفاده از معادله ۳۳-۶ ضریب کل رشد را بدست می آوریم.

$$\text{Total growth factor} = \frac{(1+\mathrm{r})^{\mathrm{Y}} - 1}{\mathrm{r}}$$

r- نرخ رشد سالیانه

Y- تعداد سال طرح

تا پایان مرحله اول(۵ ساله) :

$$\mathrm{G} = \frac{(1+\mathrm{r})^{\mathrm{Y}}}{\mathrm{r}} = \frac{(1+0.035)^5 - 1}{0.035} = 5.363$$

$$n_1 = \mathrm{G} \times \mathrm{ESAL} = 5.363 \times 20000 = 107260$$

تا پایان مرحله دوم(۱۰ ساله) :

$$G = \frac{(1+r)^Y}{r} = \frac{(1+0.035)^{15}-1}{0.035} = 19.3$$

$$n_2 = G \times ESAL = 19.3 \times 20000 = 386000$$

تا پایان مرحله سوم(۱۵ ساله) :

$$G = \frac{(1+r)^Y}{r} = \frac{(1+0.035)^{30}-1}{0.035} = 51.623$$

$$n_3 = G \times ESAL = 51.623 \times 20000 = 1032460$$

حال با استفاده از رابطه ۲۵-۱۱ برای مرحله اول، N_1 را بدست می آوریم :

$$N_1 = \frac{n_1}{D_r} = \frac{107260}{0.5} = 214520 \approx 2.2 \times 10^5$$

با استفاده از گراف ۱۱-۱۱ ضخامت 8.5 in را بصورت تقریبی می خوانیم.

برای مرحله دوم از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$N_2 = \frac{n_2}{D_{r2} - D_{r1}} = \frac{386000}{0.75-0.5} = 1544000 \approx 1.5 \times 10^6$$

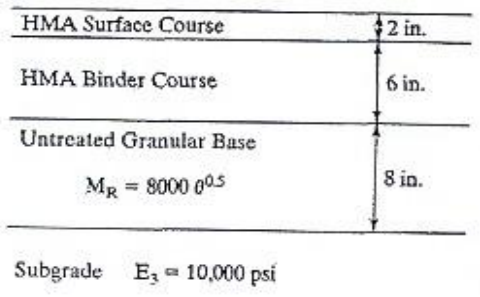
ضخامت 11 in بصورت تقریبی از گراف ۱۱-۱۱ می خوانیم . ضخامت مورد نیاز برای این مرحله برابر است با 2.5 in .

برای مرحله سوم از رابطه زیر استفاده می کنیم :

$$N_3 = \frac{n_3}{D_{r3} - D_{r2}} = \frac{1032460}{1-0.75} = 4129840 \approx 4.1 \times 10^6$$

ضخامت 12.5 in بصورت تقریبی از گراف ۱۱-۱۱ می خوانیم . ضخامت مورد نیاز برای این مرحله برابر است با 1.5 in .

۷-۱۱- از خواص داده شده در مسئله ۴-۱۱ ، عدد سازه ای روسازی نشان داده شده در شکل P11.4 را با فرض اینکه ضریب زهکشی اساس ۱ باشد تخمین بزنید.



حل-

با استفاده از نتایج مسئله ۴-۱۱ داریم :

$E_1 = 389750.5\ psi$ $\qquad$ $D_1 = 8\ in$

$E_2 \approx 20700\ psi$ $\qquad$ $D_2 = 8\ in$

برای بدست آوردن ضریب قشر لایه رویه از گراف ۲۷-۱۱ استفاده می کنیم و بصورت تقریبی عدد ۰/۴۲ را می خوانیم .

برای بدست آوردن ضریب قشر لایه اساس از معادله ۴۴-۱۱ استفاده می کنیم و داریم :

$$a_2 = 0.249(\log E_2) - 0.977 = 0.249(\log 20700) - 0.977 = 0.098$$

حال عدد سازه ای روسازی را از رابطه زیر بدست می آوریم :

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 = 0.42 \times 8 + 0.098 \times 8 = 4.14$$

۸-۱۱- برای متوسط دمای هوای سالیانه $45\ ^{\circ}\mathrm{F}$ و یک مدول نرمال 22500 psi ، مدول برجهندگی موثر خاک بستر را برای مدول ماهیانه نشان داده شده در جدول **۱۰-۱۱** تعیین کنید.

حل-

ابتدا با استفاده از معادله **۴۳-۱۱** و با داشتن مدول برجهندگی هر ماه از جدول **۱۰-۱۱** ، صدمه و خرابی نسبی را برای هر ماه سال بدست می آوریم و میانگین آنها را در کل سال بدست می آوریم :

با توجه به جدول **۱۰-۱۱** و معادله **۴۳-۱۱**داریم :

$$U_f = 1.18 \times 10^8 {M_R}^{-2.32}$$

month	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
Subgrade Modulus By Month (10^3)	22.5	29.4	36.3	43.1	50	15.8	17.1	18.5	19.8	21.1	22.5	22.5
Relative Damage Uf	0.00944	0.00507	0.00311	0.00209	0.00148	0.02143	0.01784	0.01486	0.01269	0.01083	0.00944	0.00944

$$Average = \frac{\sum U_f}{n} = \frac{0.11778}{12} = 0.00982$$

حال با استفاده از گراف **۲۶-۱۱** ، مدول برجهندگی موثرخاک بستر را می یابیم

$$M_{\mathrm{R}} = 22200\ \mathrm{psi}$$

۹-۱۱- یک روسازی آسفالتی full-depth به ضخامت 12 in روی یک بستر با مدول برجهندگی موثر 10000 psi قرار دارد . فرض کنید ضریب لایه رویه آسفالتی HMA، ۰/۴۴ ، افت PSI از ۴/۲ به ۲/۵ ، انحراف استاندارد ۰/۵ ، $ESAL=3\times10^7$ ، قابلیت اعتماد برای طراحی به روش آشتو را تعیین کرده و نتایج را با چارت طراحی به روش آشتو کنترل کنید.

$$W_{18}=3\times10^7$$

$$M_R=10000\ \text{psi}$$

$$S_0=0.5$$

$$\Delta PSI=4.2-2.5=1.7$$

$$SN=a_1D_1=0.44\times12=5.28$$

از معادله **۱۱-۳۷** داریم :

$$\log W_{18}=Z_RS_0+9.36\log(SN+1)-0.2+\frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}]}{0.4+1049/(SN+1)^{5.19}}+2.32\log M_R-8.07$$

با حل معادله فوق Z_R را بدست می آوریم :

$$Z_R=-1.158$$

حال با استفاده از جدول **۱۱-۱۵** قابلیت اعتماد را تعیین می کنیم :

$$R=87.5\%\approx88\%$$

با استفاده از چارت طراحی آشتو ، گراف **۱۱-۲۵** ، قابلیت اعتماد را بدست آورده و با نتیجه فوق مقایسه می کنیم.

۱۰-۱۱- روسازی یک بزرگراه بین ایالتی ترکیبی از لایه رویهHMA و یک لایه اساس بتنی معمولی و یک زیر اساس ماسه- شنی است که برای $ESAL=1.2 \times 10^6$ طراحی شده است.

کیفیت زهکشی ملاحظه شده نسبتا خوب می باشد برای اینکه آب می تواند از زیر اساس در طول یک هفته جابه جا شود . به هر حال ، مقدار زیادی تکرار بار وجود دارد ، بنابراین بیشتراز ۲۵٪ زمان روسازی صرف به اشباع رسیدن رطوبت لایه ها خواهد شد.

خواص مصالح عبارتند از :

- مدول برجهندگی موثر خاک بستر = 5500 psi

- مدول برجهندگی زیر اساس = 15000 psi

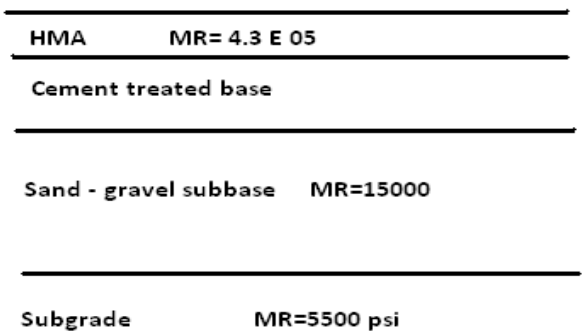
- مقاومت فشاری نا محدود اساس معمولی سیمانی اساس در ۷ روز =500psi

(شکل۱۵c-۷ را ببینید)

- مدول برجهندگیHMA= 4.3×10^5psi

یک ضخامت حداقل برایHMA فرض کنید ، ضخامت رویه واساس و زیر اساس مورد نیاز را تعیین کنید.

حل-



از گراف ۱۱-۲۰ برای کیفیت زهکشی نسبتا خوب داریم داریم :

$$m_2 = m_3 = 0.8$$

از گراف 7-15c با توجه به مقاومت فشاری محدود نشده داده شده داریم :

$$a_2 = 0.18$$

با توجه به ضریب قشر بدست آمده برای بدست آوردن مدول برجهندگی لایه اساس از معادله ۱۱-۴۴ داریم :

$$a_2 = 0.249(\log E_2) - 0.977 \rightarrow E_2 = 44318.6\ psi$$

با توجه به گراف ۱۱-۲۷ برای مدول برجهندگی داده شده برای رویه داریم :

$$a_1 \approx 0.43$$

با توجه به رابطه ۱۱-۴۶ و داشتن مدول برجهندگی لایه زیر اساس داریم :

$$a_3 = 0.227(\log E_3) - 0.839 \rightarrow a_3 = 0.227 \times \log 15000 - 0.839 \approx 0.11$$

داده ها و فرضیات زیر را در نظر می گیریم :

$$ESAL = 1.2 \times 10^6$$

با توجه به جدول ۱۱-۲۱ ، برای حداقل ضخامت داریم :

$$\text{ضخامت رویه فرضی} = 3\ in$$

$$R = 95\% \rightarrow Z_R = -1.645$$

$$P_t = 2.5 \rightarrow \Delta PSI = 1.7$$

$$S_0 = 0.49$$

از معادله ۱۱-۳۷ داریم :

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.2 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}]}{0.4 + 1049/(SN+1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

با جاگذاری مدول برجهندگی اساس در معادله فوق داریم :

$$\rightarrow SN_1 \approx 1.97$$

با توجه به رابطه **۴۷-۱۱** داریم :

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.97}{0.43} = 4.58 \rightarrow D_1 = 5\ in \qquad !$$

با جاگذاری مدول برجهندگی زیر اساس در معادله فوق داریم :

$$\rightarrow SN_2 = 3$$

با توجه به رابطه **۴۸-۱۱** داریم :

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2} = \frac{3 - 0.43 \times 5}{0.18 \times 0.8} = 5.9 \rightarrow D_2 = 6\ in$$

با جاگذاری مدول برجهندگی بستر در معادله فوق داریم :

$$\rightarrow SN_3 \approx 4.37$$

با توجه به رابطه **۴۹-۱۱** داریم :

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3} = \frac{4.37 - 0.43 \times 5 - 0.18 \times 6 \times 0.8}{0.11 \times 0.8} = 15.41$$
$$\rightarrow D_1 = 16\ in \qquad !$$

۱۱-۱۱-ESAL طراحی برای روسازی راه اصلی 5×10^6 می باشد. ترافیک متجاوز به شانه ۲/۵٪ و ترافیک پارکینگ ۰/۰۲٪ می باشد.

مدول برجهندگی بستر 8000 psi و یک ساختارfull-depth برای هر دو روسازی راه اصلی و شانه بکار میرود . به کمک روش انستیتو آسفالت ضخامت روسازی مورد نیاز راه اصلی و شانه را تعیین کنید.

حل-

$$ESAL_{mainline} = 5 \times 10^6$$

$$ESAL_{shoulder} = (P_e + P_p) \times ESAL_{mainline} = \left(\frac{2.5}{100} + \frac{0.02}{100}\right) \times 5 \times 10^6 = 1.26 \times 10^5$$

با توجه به بار معادل هم ارز راه اصلی و شانه و نیز داشتن مدول برجهندگی بستر ، با استفاده از گراف ۱۱-۱۱ ، ضخامت روسازی را می خوانیم .

ضخامت روسازی مورد نیاز راه اصلی :

12 in

ضخامت روسازی مورد نیاز شانه :

6.5 in

$M_{\mathrm{R}} = 5000\ \mathrm{psi}$ ، $\Delta PSI = 1.7, P_{\mathrm{p}} = 0.02\%$ ، $P_{\mathrm{e}} = 2.5\%$ ، ESAL=5×10^6 -۱۲-۱۱

عدد سازه ای روسازی SN مورد نیاز راه اصلی و شانه را برای قابلیت اعتماد ۵۰٪ تعیین کنید.

حل-

ابتدا بار هم ارز معادل تک محوره را برای طراحی روسازی راه اصلی و شانه را بدست می آوریم :

$$ESAL_{mainline} = 5 \times 10^6$$

$$ESAL_{shoulder} = (P_e + P_p) \times ESAL_{mainline} = \left(\frac{2.5}{100} + \frac{0.02}{100}\right) \times 5 \times 10^6 = 1.26 \times 10^5$$

حال با توجه به داده های سوال و با استفاده از معادله ۳۷-۱۱ و جدول ۱۵-۱۱ و با حل معادله ، عدد سازه ای روسازی را بدست می آوریم.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}]}{0.4 + 1049/(SN + 1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$R = 50\% \rightarrow Z_R = 0$$

برای راه اصلی :

با حل معادله داریم

$$SN = 4.02 \approx 4.2\ !$$

برای شانه :

باحل معادله داریم

$$SN = 2.26 \approx 2.4\ !$$

فصل دوازدهم –

طراحی روسازی صلب

۱-۱۲- یک روسازی بتنی به ضخامت 10 in بدون شانه بتنی روی یک زیر اساس معمولی با مقدار K=150 pci قرار دارد. تغییر مکان مجاز گوشه را با معیار فرسایشPCA تخمین بزنید اگر روسازی در معرض ۲ میلیون بار محوری معین باشد.

حل-

با استفاده از معادله ۷-۱۲ ، ابتدا پارامتر نرخ انجام کار یا توانP را بدست می آوریم

$$\log N = 14.524 - 6.777(C_1 \times P - 9)^{0.103}$$

چون زیر اساس معمولی می باشد در نتیجه :

$$C_1 = 1$$

چون روسازی بدون شانه است در نتیجه :

$$C_2 = 0.06$$

با حل معادله داریم :

$$\log(2 \times 10^6 \times 0.06) = 14.524 - 6.777(1 \times P - 9)^{0.103} \rightarrow P = 34.09$$

حال با استفاده از معادله ۸-۱۲ ، پارامتر فشار روی فنداسیون زیر گوشه دالp را بدست می آوریم :

$$P = 268.7\frac{p^2}{hk^{0.73}} \rightarrow 34.09 = 268.7 \times \frac{p^2}{10 \times 150^{0.73}} \rightarrow p = 7.014$$

حال با توجه به رابطه زیر داریم :

$$p = kw \rightarrow 7.014 = 150w \rightarrow w = 0.0468\ in$$

۲-۱۲- یک روسازی مشابه مسئله **۱-۱۲** ، ولی با شانه بتنی . تغییر مکان مجاز گوشه را تخمین بزنید .

حل-

با استفاده از معادله **۷-۱۲** ، ابتدا پارامتر نرخ انجام کار یا توانP را بدست می آوریم

$$\log N = 14.524 - 6.777(C_1 \times P - 9)^{0.103}$$

چون زیر اساس معمولی می باشد در نتیجه :

$$C_1 = 1$$

چون روسازی با شانه بتنی است در نتیجه :

$$C_2 = 0.94$$

با حل معادله داریم :

$$\log(2 \times 10^6 \times 0.94) = 14.524 - 6.777(1 \times P - 9)^{0.103} \rightarrow P = 15.75$$

حال با استفاده از معادله **۸-۱۲** ، پارامتر فشار روی فنداسیون زیر گوشه دالp را بدست می آوریم :

$$P = 268.7\frac{p^2}{hk^{0.73}} \rightarrow 15.75 = 268.7 \times \frac{p^2}{10 \times 150^{0.73}} \rightarrow p = 4.77$$

حال با توجه به رابطه زیر داریم :

$$p = kw \rightarrow 4.77 = 150w \rightarrow w = 0.0318\ in$$

۱۲-۳- ضخامت یک روسازی بتنی برای یک بزرگراه دو خطه با روش PCA تعیین کنید .

روسازی بدون شانه بتنی بوده و دارای doweled Joints می باشد.

مدول عکس العمل بستر 200 pci و مدول گسیختگی بتن 650 psi می باشد. ضریب ایمنی بار را 1.1

و دوره طراحی 20 ساله می باشد.

متوسط ترافیک روزانه در طول دوره طراحی 2500 است که 35٪ کامیون می باشد.

اطلاعات توزیع وزن کامیون برای بارهای محور تک S و برای محور مرکب T در جدول P12.3 آمده است.

TABLE P12.3

Axle loads (kip)	No. axles per 1000 trucks	Axle loads (kip)	No. axles per 1000 trucks
16 S	130.9	24 T	80.2
18 S	110.8	28 T	34.4
20 S	65.4	32 T	24.0
22 S	15.6	36 T	17.2
24 S	2.3	40 T	16.8
26 S	1.9	44 T	10.5
28 S	0.9	48 T	9.6

حل-

$K = 200\,pci$ $S_C = 650\,psi$ $LSF = 1.1$

$design\ \ period = 20$ $ADT = 2500$ $ADTT = 0.35ADT = 875$

L=0.95 با توجه به گراف ۸-۶ داریم :

$$Trucks\ on\ design\ lane\ in\ design\ period = \frac{875}{2} \times 0.95 \times 365 \times 20 = 3034062.5$$

با توجه به ضریب ایمنی بار و مقدار عکس العمل خاک بستر داده شده ، و تعیین نوع تکیه گاه خاک از جدول **۱۲-۱۴**، نوع راه با توجه به جدول **۱۲-۱۲** عبارتست از

$K = 200\,pci \rightarrow Support; High \quad \& with \quad LSF = 1.1$
$\rightarrow Road\ Description: Collector\ streets\ Rural\ and\ secondary\ roads$

با توجه به جدول ۱۰-۶ ، ضریب توزیع کامیون را برای راهMajor Collectorsداریم : 0.3

Axle Loads	Axle Per 1000 trucks	Adjusted axles per 1000 trucks	Axles in design period
Single axles			
16	130.9	130.9/(1-0.3)=187	187x3034.0625=567369.6875
18	110.8	110.8 / (1-0. 3)=158.29	480261.75
20	65.4	65.4 / (1-0. 3)=93.43	283472.459
22	15.6	15.6 / (1-0.3)=22.29	67629.25
24	2.3	2.3 / (1-0.3)=3.29	9982.07
26	1.9	1.9 / (1-0.3)=2.71	8222.31
28	0.9	0.9 / (1-0.3)=1.29	3913.94
Tandem axles			
24	80.2	80.2 / (1-0.3)=114.57	114.57x3034.0625=347612.54
28	34.4	34.4 / (1-0.3)=49.14	149093.83
32	24	24 / (1-0.3)=34.29	104038
36	17.2	17.2 / (1-0.3)=24.57	74546.92
40	16.8	16.8 / (1-0.3)=24	72817.5
44	10.5	10.5 / (1-0.3)=15	45510.94
48	9.6	9.6 / (1-0.3)=13.7	41566.66

Trial thickness = 8 in

For single axle

$Erosion\ factor = 2.8 \qquad from\ table\ 12-8$

$Equivalent\ stress = 242 \qquad from\ table\ 12-6$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{242}{650} = 0.372$$

For tandem axle

$Erosion\ factor = 2.93 \qquad from\ table\ 12-8$

$Equivalent\ stress = 208 \qquad from\ table\ 12-6$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{208}{650} = 0.32$$

Axle Load	Multipied By LSF=1%	Expected repetition	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetition	Fatigue precent	Allowable repetition	Damage precent
Single axle						
28	28x1.1=30.8	3913.94	20000	19.6	900000	0.44
26	28.6	8222.31	45000	18.3	1600000	0.51
24	26.4	9982.07	120000	8.32	2300000	0.43
22	24.2	67629.25	500000	13.53	3500000	1.93
20	22	283472.459	4000000	7.09	6000000	4.73
18	19.8	480261.75	-	-	17000000	2.83
16	17.6	567369.6875	-	-	40000000	1.42
Tandem axle						
48	52.8	41566.66	4000000	1.04	800000	5.2
44	48.4	45510.94	-	-	1500000	3.03
40	44	72817.5	-	-	2500000	2.91
36	39.6	74546.92	-	-	5000000	1.49
32	35.2	104038	-	-	10000000	1.04
28	30.8	149093.83	-	-	30000000	0.5
24	26.4	347612.54	-	-	-	-
				67.88%		26.46%

67.88%+26.46%=94.34%<100%

ضخامت فرض شده کمی دست بالا انتخاب گردیده است ولی مناسب می باشد

روش دوم – روش ساده سازی شده

با توجه به روش ساده شده و با به جداول **۱۴-۱۲** داریم :

Support = High From table 12-14

وبا توجه به جدول **۱۵-۱۲** داریم :

Slab thickness = 8 in

۴-۱۲- یک روسازی بتنی ، doweled joints و شانه بتنی دارد.یک مدول گسیختگی معین 650 psi و مدول عکس العمل بستر 150pci ، ضریب ایمنی بار 1.2 و دوره طراحی 20 ساله ، ترافیک متوسط روزانه کامیون 3460 (باستثنای کامیونهای دو محوره ، چهار چرخ) در خط طراحی در طول عمر طراحی و یک توزیع بار نشان داده شده با طبقه بندی 3 در جدول 13-12 .

ضخامت دال را با روش PCA و با کمک روشی مشابه کاربرگ نشان داده شده در شکل 15-12 تعیین کنید . نتیجه را با روش ساده شده جدول 15-12 کنترل کنید.

حل-

$K = 150\,pci$ $S_C = 650\,psi$ $LSF = 1.2$

$design\ \ period = 20$ $ADTT = 3460$

$$Trucks\ on\ design\ lane\ in\ design\ period = \frac{3460}{2} \times 1 \times 365 \times 20 = 12629000$$

با توجه به ضریب ایمنی بار و مقدار عکس العمل خاک بستر داده شده ، و تعیین نوع تکیه گاه خاک از جدول ۱۲-۱۴، نوع راه با توجه به جدول ۱۲-۱۲ عبارتست از

$$K = 150\,pci \rightarrow Support; Medium \ \ \&\, with \ \ LSF = 1.2$$
$$\rightarrow Road\ Description: Arterial\ streets\ and\ primary\ roads$$

با توجه به جدول ۱۰-۶ ، ضریب توزیع کامیون را برای راه Arterial داریم : 0.21

با توجه به جدول **۱۳-۱۲** برای طبقه بندی نوع **۳** توزیع بار زیر را داریم :

Axle Loads	Axle Per 1000 trucks	Adjusted axles per 1000 trucks	Axles in design period
Single axles			
12	182.02	182.02/(1-0.21)=230.41	230.41x12629=2909847.89
14	47.73	47.73 / (1-0. 21)=60.42	763044.18
16	31.82	31.82 / (1-0. 21)=40.28	508696.12
18	25.15	25.15 / (1-0.21)=31.84	402107.36
20	16.33	16.33 / (1-0.21)=20.67	261041.43
22	7.85	7.85 / (1-0.21)=9.94	125532.26
24	5.21	5.21 / (1-0.21)=6.59	83225.11
26	1.78	1.78 / (1-0.21)=2.25	28415.25
28	0.85	0.85 / (1-0.21)=1.08	13639.32
30	0.45	0.45 / (1-0.21)=0.57	7198.53
Tandem axles			
16	99.34	99.34 / (1-0.21)=125.75	125.75x12629=1588096.75
20	85.94	85.94 / (1-0.21)=108.78	1373782.62
24	72.54	72.54 / (1-0.21)=91.82	1159594.78
28	121.22	121.22 / (1-0.21)=153.4	1937288.6
32	103.63	103.63 / (1-0.21)=131.2	1656924.8
36	56.25	56.25 / (1-0.21)=71.2	899184.8
40	21.31	21.31 / (1-0.21)=26.97	340604.13
44	8.01	8.01 / (1-0.21)=10.14	128058.06
48	2.91	2.91 / (1-0.21)=3.68	46474.72
52	1.19	1.19 / (1-0.21)=1.51	19069.79

Trial thickness = 8 in

For single axle

$$Erosion\ factor \approx 2.39 \qquad from\ table\ 12-10$$

$$Equivalent\ stress = 207 \qquad from\ table\ 12-7$$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{207}{650} \approx 0.32$$

For tandem axle

$$Erosion\ factor = 2.5 \qquad from\ table\ 12-10$$

$$Equivalent\ stress = 179 \qquad from\ table\ 12-7$$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{179}{650} \approx 0.28$$

Axle Load	Multipied By LSF=2%	Expected repetition	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetition	Fatigue precent	Allowable repetition	Damage precent
Single axle						
30	30x1.2=36	7198.53	20000	35.99	500000	1.44
28	33.6	13639.32	80000	17.05	900000	1.52
26	31.2	28415.25	160000	17.76	2000000	1.42
24	28.8	83225.11	600000	13.87	3500000	2.38
22	26.4	125532.26	4000000	3.14	10000000	1.26
20	24	261041.43	-	-	100000000	0.26
18	21.6	402107.36	-	-	-	-
16	19.2	508696.12				
14	16.8	763044.18				
12	14.4	2909847.89				
Tandem axle						
52	62.4	19069.79	2000000	0.95	500000	3.8
48	57.6	46474.72	-	-	900000	5.16
44	52.8	128058.06	-	-	2000000	6.4
40	48	340604.13	-	-	6000000	5.68
36	43.2	899184.8	-	-	40000000	2.25
32	38.4	1656924.8	-	-	-	-
28	33.6	1937288.6	-	-	-	-
24	28.8	1159594.78				
20	24	1373782.62				
16	19.2	1588096.75				
				88.76%		31.57%

88.76%+31.57%=120.3%>100%

ضخامت فرض شده کم انتخاب گردیده است . بنظر میرسد ضخامت 8.5 پاسخگو باشد!

روش دوم – روش ساده سازی شده

با توجه به روش ساده شده و با به جداول **۱۴-۱۲** داریم :

K=150 pci → Support = Medium From table 12-14

وبا توجه به جدول **۱۵-۱۲** داریم :

$M_R = 650\ psi$ & $AADT = 3460$ & $Subgrade - subbase\ Support = Medium$

→ Slab thickness = 8 in

۵-۱۲- مشابه مسئله **۴-۱۲** ، اما بدون شانه بتنی .

ضخامت دال را با روش PCA تعیین کرده و با نتیجه روش ساده شده کنترل کنید .

حل –

اختلاف حل این مسئله و مسئله قبل در انتخاب و نتایج گراف ها می باشد :

Trial thickness = 9.5 in

For single axle

$Erosion\ factor = 2.59 \qquad from\ table\ 12-8$

$Equivalent\ stress = 200 \qquad from\ table\ 12-6$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{200}{650} \approx 0.31$$

For tandem axle

$Erosion\ factor \approx 2.77 \qquad from\ table\ 12-8$

$Equivalent\ stress = 183 \qquad from\ table\ 12-6$

$$Stress\ ratio\ factor = \frac{183}{650} \approx 0.28$$

Axle Load	Multipied By LSF=2%	Expected repetition	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetition	Fatigue precent	Allowable repetition	Damage precent
Single axle						
30	30x1.2=36	7198.53	32000	22.49	1500000	0.48
28	33.6	13639.32	80000	17.05	2200000	0.62
26	31.2	28415.25	250000	11.37	3500000	0.81
24	28.8	83225.11	600000	13.87	5900000	1.41
22	26.4	125532.26	8000000	1.57	11000000	1.14
20	24	261041.43	-	-	23000000	1.13
18	21.6	402107.36	-	-	64000000	0.63
16	19.2	508696.12				
14	16.8	763044.18				
12	14.4	2909847.89				
Tandem axle						
52	62.4	19069.79	2000000	0.95	1100000	1.73
48	57.6	46474.72	-	-	2000000	2.32
44	52.8	128058.06	-	-	3000000	4.27
40	48	340604.13	-	-	6000000	5.68
36	43.2	899184.8	-	-	12000000	7.49
32	38.4	1656924.8	-	-	30000000	5.52
28	33.6	1937288.6	-	-	100000000	1.94
24	28.8	1159594.78				
20	24	1373782.62				
16	19.2	1588096.75				
				67.3%		35.17%

67.3%+35.17%=102.47%>100%

ضخامت فرض شده با کمی تقریب مناسب می باشد.

→ Slab thickness = 9.5 in

نکته : محورهای منفرد موجب ترکهای خستگی و محرهای مرکب موجب فرسایش می شوند.

۶-۱۲- ترافیک پیش بینی شده W18 و افت نشانه خدمت دهی به سبب تورم یخبندان ΔPSIFH به عنوان

یک تابع زمانی می تواند به صورت زیر بیان شود :

$$W_{18} = 5 \times 10^6[(1.04)^{\mathrm{Y}} - 1]$$

$$\Delta\mathrm{PSI}_{\mathrm{FH}} = 0.08(\mathrm{Y})^{0.6}$$

که Y زمان به سال است.دوره اجرا برای روسازی صلب را با اطلاعات زیر تعیین کنید :

$$R = 90\% \quad , \quad S_0 = 0.4 \quad , \quad D = 18\ in \quad , \quad \Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2$$

$$S_c = 600\ psi \quad , \quad C_d = 1.05 \quad , \quad J = 3.2 \quad , \quad E_C = 5 \times 10^6 \quad , \quad K = 100\ pci$$

حل-

ابتدا با توجه به جدول **۱۵-۱۱** انحراف نرمال را با داشتن قابلیت اعتماد بدست می آوریم :

$$Z_R = -1.282$$

ابتدا فرض می کنیم :

$Y = 10$ سال

از گراف رابطه داده شده افت نشانه خدمت به سبب اثرات محیطی را بدست می آوریم :

$$\Delta\mathrm{PSI}_{\mathrm{FH}} = 0.08(\mathrm{Y})^{0.6} \cong 0.319$$

$$\Delta PSI\ due\ to\ traffic = 4.5 - 2.5 - 0.319 = 1.681$$

$$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 4.5 - 1.681 = 2.819$$

حال با حل معادله **۲۱-۱۲** مقدار بار هم ارز **۱۸** تن را بدست می آوریم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

با قرار دادن پارامترها در معادله فوق داریم :

$$\rightarrow W_{18} = 1.3452 \times 10^6$$

حال با توجه به رابطه داده شده در مسئله داریم :

$$W_{18} = 5 \times 10^6[(1.04)^{\mathrm{Y}} - 1]$$

با جاگذاری W_{18} در رابطه فوق داریم :

Y≈ 6 year < 10 year

سال بدست آمده از تعداد سالی که ابتدا فرض کرده بودیم خیلی کوچکتر است بنابراین یکبار دیگر با فرض

$$Y = \frac{10+6}{2} = 8 \text{ year}$$

روند قبل را تکرار می کنیم

$$\Delta \mathrm{PSI}_{\mathrm{FH}} = 0.08(\mathrm{Y})^{0.6} \cong 0.279$$

$$\Delta PSI \ due \ to \ traffic = 4.5 - 2.5 - 0.279 = 1.721$$

$$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 4.5 - 1.721 = 2.779$$

در نتیجه داریم :

$$\rightarrow W_{18} = 1.3722 \times 10^6$$

Y = 6.18 year < 8 year

این روند را آنقدر تکرار تا نتیجه به هم نزدیک شود

بعد از چند مرحله تکرار به این نتیجه می رسیم :

Y = 6.5 year

۷-۱۲- شکل P12.7 یک روسازی بتنی با ضخامت و مدول الاستیک را نشان می دهد.

فرض کنید مدول گسیختگی 650 psi و ضریب انتقال بار 3.2 و افت خدمت دهی از 4.5 به 2 و زهکشی ضعیف با 5٪ زمان اشباع باشد.

ترافیک اجرایی را با کمک معادله ۲۱-۱۲ بدون در نظر گرفتن مقدار قابلیت اعتماد تعیین کرده و نتیجه را با چارت طراحی آشتو کنترل کنید.

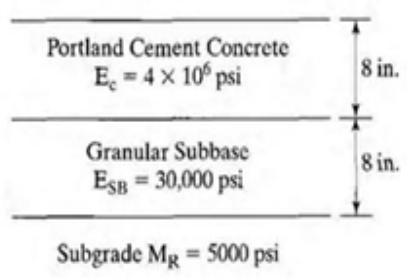


FIGURE P12.7

حل –

$$\Delta PSI = 4.5 - 2 = 2.5$$

$$S_c = 650\,psi \quad , \quad J = 3.2 \quad , \quad E_C = 4 \times 10^6\,psi \quad , \quad M_R = 5000\,psi$$

$$E_{SB} = 30000\,psi$$

با توجه به جدول ۲۰-۱۲ مقدار ضریب زهکشی را بدست می آوریم :

$$C_d = 0.9$$

$$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2$$

برای بدست آوردن مدول عکس العمل بستر از گراف ۱۸-۱۲ استفاده می کنیم .

K = 200 pci

با توجه به معادله **۲۱-۱۲** داریم (قابلیت اعتماد را در نظر نمی گیریم) :

$$\log W_{18} = 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t)$$
$$\times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$W_{18} = 6.57 \times 10^6$$

۸-۱۲- یک دال بتنی به ضخامت 8.5 in مستقیما روی بستر قرار میگیرد. رابطه بین مدول برجهندگی و مقدار K با معادله ۲۲-۱۲ بیان می شود. مدول برجهندگی ماهیانه از ماه ژانویه تا دسامبر 15900 ، 27300 ، 38700 ، 50000 ، 900 ، 1620 ، 2340 ، 3060 ، 3780 ، 4500 ، 4500 و 4500 .

مدول موثر عکس العمل بستر را تعیین کنید .

حل –

$$D = 8.5\ in$$

با توجه به رابطه ۲۲-۱۲ برای محاسبه مدول عکس العمل بستر برای وقتیکه زیر اساس نداریم :

$$K = \frac{M_R}{19.4}$$

و نیز با توجه به معادله ۳۰-۱۲ صدمه و خرابی نسبی برای روسازی صلب داریم :

$$U_r = (D^{0.75} - 0.39K^{0.25})^{3.42}$$

Month	Roadbed modulus M_R (psi)	K value (pci)	Relative damage U_r (%)
Jan	15900	819.59	37.76
Feb	27300	1407.22	25.89
Mar	38700	1994.85	19.17
Apr	50000	2577.32	14.81
May	900	46.39	110.72
Jun	1620	83.51	96.06
Jul	2340	120.62	86.59
Aug	3060	157.73	79.6
Sep	3780	194.85	74.06
Oct	4500	231.96	69.5
Nov	4500	231.96	69.5
Dec	4500	231.96	69.5
			$\sum U_r = 753.16$

$$Average\ U_r = \frac{\sum U_r}{n} = \frac{753.16}{12} = 62.76$$

حال با جاگذاری متوسط صدمه و خرابی نسبی متوسط در معادله **۳۰-۱۲** داریم :

$$U_r = (D^{0.75} - 0.39K^{0.25})^{3.42} \rightarrow K = 300.32\ \ pci\ \ \approx 305\ pci\ !$$

۹-۱۲- مشابه مسئله **۸-۱۲** ، غیر از اینکه رابطه بین مدول برجهندگی و مقدارK با معادله **۷-۵** بیان شود.

فرض کنید بتن دارای مدول الاستیک 4000000 Psi و نسبت پواسون 0.15 و بستر دارای ضریب پواسون 0.45 می باشد . مدول موثر عکس العمل بستر را تعیین کنید .

حل –

با توجه به رابطه **۷-۵** داریم :

$$K = 0.95(\frac{E_f}{E})^{\frac{1}{3}} \times \frac{E_f}{(1-\nu_f^2)h}$$

$$E = 4000000\ psi \qquad \nu_f = 0.45 \qquad E_f = M_R$$

$$U_r = (D^{0.75} - 0.39K^{0.25})^{3.42}$$

Month	Roadbed modulus M_R (psi)	K value (pci)	Relative damage U_r (%)
Jan	15900	352.98	58.58
Feb	27300	725.72	40.62
Mar	38700	1155.67	30.03
Apr	50000	1626.22	23
May	900	7.67	150.13
Jun	1620	16.8	134.11
Jul	2340	27.43	123.17
Aug	3060	39.22	114.77
Sep	3780	51.98	107.94
Oct	4500	65.59	102.16
Nov	4500	65.59	102.16
Dec	4500	65.59	102.16
			$\sum U_r = 1088.83$

$$Average\ U_r = \frac{\sum U_r}{n} = \frac{1088.83}{12} = 90.74$$

حال با جاگذاری متوسط صدمه و خرابی نسبی متوسط در معادله **۳۰-۱۲** داریم :

$$U_r = (D^{0.75} - 0.39K^{0.25})^{3.42} \rightarrow K = 102.75\ \ pci\ \ \approx 105\ pci\ !$$

۱۰-۱۲- یک روسازی بتنی مسلح پیوسته از سنگ آهک بعنوان درشت دانه استفاده می کند در حالیکه در معرض بار هم ارز محور تک 10^7 می باشد . فرض کنید :

$$K = 75\ pci \qquad E_C = 4 \times 10^6 psi \qquad S_c = 650\ psi \qquad C_d = 1.05$$

$$J = 2.9 \qquad R = 95\% \qquad S_0 = 0.3 \qquad \Delta PSI = 2 \qquad DH_D = 60°\text{F}$$

و بار چرخ بسبب ترافیک ساخت برابر 18000 پوند می باشد . ضخامت بتن وتعداد میلگردهای مورد نیاز شماره 5 را در هر 12 فوت تعیین کنید .

حل –

$$Wheel\ load = 18000\ lb$$

$$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 2.5$$

$$\emptyset = No.5 = \frac{5}{8} in = 0.625\ in$$

با توجه به اینکه عرض ترک نباید از 0.04 اینچ تجاوز کند مقدار حداکثر را فرض می کنیم CW = 0.04 in

$$W_s = 12\ ft = 144\ in$$

ابتدا با توجه به جدول **۱۵-۱۱** انحراف نرمال را با داشتن قابلیت اعتماد بدست می آوریم :

$$Z_R = -1.645$$

با توجه به جدول **۲۳-۱۲** داریم :

$$\alpha_c = 3.8 \times 10^{-6}/°\text{F}$$

حال نسبت ضریب حرارتی را بدست می آوریم :

$$\frac{\alpha_s}{\alpha_c} = \frac{5 \times 10^{-6}}{3.8 \times 10^{-6}} = 1.32$$

برای تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم **۲۸** روزه بتن داریم :

$$f_t = 0.86S_c \rightarrow f_t = 559\ psi$$

با توجه به جدول **۱۲-۲۴** ، مقدار تنش مجاز فولاد را می یابیم :

$$No.5\ \&\ f_t = 559 \rightarrow \text{با درونیابی داریم};\ \sigma_s = 62180\ psi$$

با توجه به جدول **۱۲-۲۲** ، مقدار انقباض در **۲۸** روز را تعیین می کنیم :

$$f_t = 559 \rightarrow \text{با درونیابی داریم};\ Z = 0.00044115\ in/in$$

با استفاده از معادله **۱۲-۲۱** ، ضخامت دال بتنی را تعیین می کنیم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$\rightarrow D = 9.7\ in\ \approx 9.5\ in\ !$$

با توجه به گراف **۱۲-۲۲** ، مقدار تنش کششی ناشی از بار چرخ را تعیین می کنیم :

$$\sigma_w = 230\ psi$$

حال تمام داده های مورد نیاز را داریم ، برای تعیین مقدار آرماتور مورد نیاز به ترتیب زیر عمل می کنیم

۱- ابتدا مقدار فولاد مورد نیاز برای ارضای معیارهای محدود کننده را با استفاده از گرافهای **۱۲-۲۳** ، **۱۲-۲۴** و **۱۲-۲۵** و یا با استفاده از معادلات **۱۲-۳۳** ، **۱۲-۳۴** و **۱۲-۳۵** بدست آورده و سپس حداقل مقدار فولاد را از بزرگترین مقدار **۳** عدد بدست آمده اختیار می کنیم. به عبارتی :

$$P_{min} = MAX(crack\ spacing\ of\ 8\ ft\ , crack\ width\ , steel\ stress)$$

برای تعیین حداکثر مقدار فولاد از معبار فاصله ترکهای 3.5 ft استفاده می کنیم . به عبارتی:

$$P_{max} = crack\ spacing\ of\ 3.5\ ft$$

با توجه به توضیحات داده شده داریم :

۱-۱- با استفاده از گراف **۱۲-۲۳** یا معادله **۱۲-۳۳** برای معیار فاصله ترکها داریم :

$$P = \frac{1.062\left(1+\frac{f_t}{1000}\right)^{1.457}\left(1+\frac{\alpha_s}{2\alpha_c}\right)^{0.25}(1+\emptyset)^{0.476}}{(\overline{X})^{0.217}\left(1+\frac{\sigma_w}{1000}\right)^{1.13}(1+1000Z)^{0.389}} - 1$$

$$\rightarrow P_{8\ in} \approx 0.268$$

$$\rightarrow P_{3.5\ in} \approx 0.517$$

۱-۲- با استفاده از گراف **۱۲-۲۴** یا معادله **۱۲-۳۴** برای معیار عرض ترکها داریم :

$$P = \frac{0.358\left(1+\frac{f_t}{1000}\right)^{1.435}(1+\emptyset)^{0.484}}{(CW)^{0.22}\left(1+\frac{\sigma_w}{1000}\right)^{1.079}} - 1$$

$$\rightarrow P_{0.04\ in} \approx 0.391$$

۱-۳- با استفاده از گراف **۱۲-۲۵** یا معادله **۱۲-۳۵** برای معیار تنش فولاد داریم :

$$P = \frac{50.834\left(1+\frac{DT_D}{100}\right)^{0.155}\left(1+\frac{f_t}{1000}\right)^{1.493}}{{\sigma_s}^{0.365}\left(1+\frac{\sigma_w}{1000}\right)^{1.146}(1+1000Z)^{0.18}} - 1$$

$$\rightarrow P \approx 0.395$$

۱-۴- در نتیجه داریم :

$P_{min} = MAX(0.268\,, 0.391\,, 0.395) = 0.395$

$P_{max} = 0.517$

$P_{max} > P_{min} \rightarrow$ طراحی رضایتبخش است

۲- حال محدوده تعداد آرماتورهای مورد نیاز را تعیین می کنیم :

با توجه به معادلات **۳۶-۱۲** و **۳۷-۱۲** داریم :

$N_{min} = 0.01273 P_{min} W_s D/\emptyset^2$

$\rightarrow N_{min} = 17.61$

$N_{max} = 0.01273 P_{max} W_s D/\emptyset^2$

$\rightarrow N_{max} = 23.05$

۳- بنابراین از **۱۸** تا آرماتور با فاصله **۸** اینچ استفاده می کنیم.

کـــــاربرگ طـــــراحی آرماتـــــورهای طولـــی			
داده های طراحـــــــــــــــــــی			
مقدار	متغیرهای ورودی	مقدار	متغیرهای ورودی
1.32	نسبت ضریب حرارتی	No.5	قطر آرماتور
60	افت دمای طراحی	0.00044115	(Z) انقباض بتن
230	تنش بار چرخ σ_w	559	مقاومت کششی بتن f_t

معیار طراحی و درصد فولاد مورد نیاز				
مقدار فولاد	تنش مجاز فولاد σ_{smax}	عرض مجاز ترک CW_{max}	فاصله ترکها X	
	62180 psi	0.04 in	Max=8in Min=3.5in	حداقل مقدار معیارهای محدود کننده
0.40%P_{min}	<0.40%	<0.40%	<0.40%	درصد فولاد مورد نیاز
0.52%P_{max}			0.52%	درصد فولاد مجاز

۱۱-۱۲- روسازی خط اصلی و ترافیک مشابه مسئله **۴-۱۲** می باشد. اگر dowels همچنین برای شانه استفاده شود و ترافیک پارکینگ 2٪ ترافیک خط اصلی باشد ضخامت لبه بیرونی روسازی را با روش PCA تعیین کنید

حل-

$K = 150\,pci$ $S_C = 650\,psi$ $LSF = 1.2$

$design\ \ period = 20$ $ADTT = 3460$

توجه : ضخامت لبه داخلی برای دال بدون شانه بتنی طراحی میشود.

لبه بیرونی فقط بر اساس ترافیک پارکینگ طراحی میشود .

$$Trucks\ on\ design\ lane\ in\ design\ period = \frac{3460}{2} \times 1 \times 365 \times 20 = 12629000$$

Parking traffic on the outer edge = 0.02 x 12629000 =252580

ضخامت فرضی	تحلیل خستگی		
	تنش هم ارز	نسبت تنش	تکرار مجاز
لبه بیرونی			
6.5 in	341	255/650=0.525	180000
7 in	307	307/650=0.47	1000000

توجه : برای تعیین ضریب فرسایش از جدول **۶-۱۲** استفاده می کنیم و برای تعیین تکرار مجاز از گراف **۱۲-۱۲** استفاده می کنیم.

بنظر میرسد ضخامت 7 اینچ کافی باشد !

۱۲-۱۲- خط اصلی روسازی و ترافیک آن مشابه مسئله **۴-۱۲** می باشد. اگرdowels برای شانه نیز بکار روند و ترکیب ترافیک متجاوز و پارکینگ 2٪ ترافیک خط اصلی باشد ، ضخامت لبه داخلی شانه را با روشPCA تعیین کنید .

$K = 150\,pci$ $S_C = 650\,psi$ $LSF = 1.2$

$design\ \ period = 20$ $ADTT = 3460$

توجه : ضخامت لبه داخلی برای دال با درزهای. dowel باشانه بتنی طراحی میشود

لبه داخلی بر اساس ترکیب ترافیک پارکینگ و ترافیک متجاوز طراحی میشود .

$$Trucks\ on\ design\ lane\ in\ design\ period = \frac{3460}{2} \times 1 \times 365 \times 20 = 12629000$$

Parking traffic on the outer edge = 0.02 x 12629000 =252580

ضخامت فرضی	تحلیل فرسایش	
	ضریب فرسایش	تکرار مجاز
لبه داخلی		
6.5 in	2.63	-
7 in	2.54	-

توجه : برای تعیین ضریب فرسایش از جدول **۱۰-۱۲** استفاده می کنیم و برای تعیین تکرار مجاز از گراف **۱۴-۱۲** استفاده می کنیم.

فصل سیزدهم –

روکش

۱-۱۳- یک روسازی انعطاف پذیر ترکیبی از 4 in HMA رویه ، و 12 in اساس سنگ شکسته می باشد.

اندازه گیری تغییر مکان در بهار با استفاده از تیر بنکلمن انجام گرفته است.

تغییر مکان متوسط 0.034 in با یک انحراف استاندارد 0.0041 in بدست آمده است.

متوسط حرارت روسازی در طول آزمایش 80 درجه فارنهایت بوده است . ضخامت روکشHMA مورد نیاز برای ESAL=10,000,000 را تعیین کنید . از معادلات انستیتو آسفالت استفاده کرده و نتایج آن را با نتایج چارت طراحی مقایسه کنید .

حل –

HMA	4in
Crushed stone	12in

$\bar{\delta} = 0.034\ in$ متوسط تغییر مکان

$s = 0.0041\ in$ انحراف استاندارد

از گراف **۳-۱۳** برای تعیین ضریب تعدیل حرارتی داریم :

$$F = 0.95$$

در بهار آزمایش انجام گرفته در نتیجه شرایط بحرانی می باشد :

$$C = 1$$

با توجه به معادله **۷-۱۳** داریم :

$$\delta_{rrd} = (\bar{\delta} + 2s)FC \rightarrow \delta_{rrd} = (0.034 + 2 \times 0.0041) \times 0.95 \times 1 = 0.04$$

با توجه به معادله **۸-۱۳** برای تعیین مدول روسازی موجود داریم :

$$E_2 = \frac{1.5qa}{\delta_{rrd}}$$

فرضیات زیر را داریم :

$$q = 70\ psi \qquad a = 6.4\ in \qquad E_1 = 500{,}000\ psi$$

$$\rightarrow E_2 = \frac{1.5 \times 70 \times 6.4}{0.04} = 16800$$

با توجه به معادله **۱۰-۱۳** داریم (از استفاده از گراف **۴-۱۳** نیز می توانیم استفاده کنیم) :

$$\delta_d = 1.0363(ESAL)^{-0.2438} \rightarrow \delta_d = 1.0363(10{,}000{,}000)^{-0.2438} = 0.02$$

حال با استفاده از معادله **۹-۱۳** داریم :

$$\delta_d = \frac{1.5qa}{E_2}(\{1 - [1 + 0.8(\frac{h_1}{a})^2]^{-0.5}\}\frac{E_2}{E_1} + \{1 + [0.8\frac{h_1}{a}(\frac{E_1}{E_2})^{\frac{1}{3}}]^2\}^{-0.5})$$

در نتیجه با حل معادله فوق داریم :

$$h_1 \approx 4.4\ in$$

حال نتیجه را با چارت طراحی یعنی گراف **۵-۱۳** مقایسه می کنیم :

$$h_1 \approx 4.5$$

۲-۱۳- تغییر مکان ارتجاعی روسازی انعطاف پذیری 0.055 in می باشد. اگر نرخ رشد ترافیک 6٪ و روسازی برای 5 سال قبل از اینکه روکش جدید شود استفاده گردد ، حداکثر ESAL مجاز در طول سال جاری چقدر می باشد ؟

حل-

$$\delta_{rrd} = 0.055 \text{ in}$$

$$r = 0.06 \rightarrow G = \frac{(1+0.06)^5 - 1}{0.06} = 5.64$$

با توجه به معادله **۱۱-۱۳** داریم :

$$(ESAL)_r = (\frac{1.0363}{\delta_{rrd}})^{4.1017} \rightarrow (ESAL)_r = 169891.33$$

با توجه به معادله **۱۲-۱۳** داریم :

$$Growth\ factor = \frac{(ESAL)_r}{(ESAL)_0} \rightarrow 5.64 = \frac{169891.33}{(ESAL)_0} \rightarrow (ESAL)_0 = 30122.6$$

۳-۱۳- یک روسازیCRCP با فاصله ترکهای 10 فوت و اختلاف حرارتی 56 درجه فارنهایت موجود است.

تغییر مکان لبه با Dynaflect ، 0.0007 in اندازه گیری شده است .با روش انستیتو آسفالت ، ضخامت روکش آسفالتی مورد نیاز را تعیین و کنترل کنید که آیا Undersealing نیاز است یا نه ؟

حل –

نکته : برای روسازی CRCP داریم

0.0006 in < Dynaflect deflection < 0.0009 in→ Undersealing Not required

با توجه به گراف ۷-۱۳ داریم :

ضخامت روکش آسفالتی روی روسازی بتنی = (4 in) 100 mm

۴-۱۳- یک دال PCC با شرایط نسبتا خوب وجود دارد اما ظرفیت سازه ای کافی برای انتقال بار ترافیک پیش بینی شده ندارد.

۱۲ نمونه مغزه گیری از روسازی موجود در وسط دال در حدود **۲** فوت از لبه انجام گرفته و در ادامه مقاومتهای کششی بدست آمده عبارتند از :

500,453,554,450,513,488,512,468,532,520,420 & 556

ضخامت دال جدید برای انتقال ترافیک پیش بینی شده 11in می باشد. ضخامت روکش مورد نیاز را با روش PCA برای هر دو مورد یکپارچه (پیوسته) و غیر پیوسته را تعیین کنید .

حل –

برای حالت غیر یکپارچه داریم :

فرض :

K = 200 pci

طبق معادله **۱۳-۱۳** داریم :

$$f_{te} = \overline{f_t} - 1.65s$$

$$\overline{f_t} = \frac{\sum f_t}{n} = \frac{500 + 453 + 554 + \cdots + 556}{12} = 497.2$$

$$V[x] = \sum_{i=1} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{[(500 - 497.2)^2 + \cdots + (556 - 497.2)^2]}{12 - 1} = 1815.43$$

$$S = \sqrt{V[x]} = 42.6$$

$$f_{te} = \overline{f_t} - 1.65s = 497.2 - 1.65 \times 42.6 = 426.91$$

با توجه به معادله **۱۴-۱۳** داریم :

$$S_c = \mathrm{ABf_{te}}$$

با توجه به شرایط ذکر شده در صورت مسئله داریم :

$$A = 1.45 \qquad B = 0.9$$

$$\rightarrow S_c = 1.45 \times 0.9 \times 426.91 = 557.12 \cong 550 \text{ psi}$$

با توجه به معادله **۱۵-۱۳** داریم :

$$E_c = DS_c$$

$$D = 6500$$

$$\rightarrow \ E_c = 6500 \times 557.12 = 3621264.1$$

با توجه به جدول **۱۵-۱۲** داریم :

ضخامت روسازی موجود **۹** اینچ می باشد

حال با توجه به گراف **۱۰-۱۳** داریم :

ضخامت روکش = 10.5 in !

ولی با توجه به معادله **۳-۱۳** داریم :

$$h_{OL}^n = h_n^n - Ch_e^n$$

داریم :

$$0.3 < C < 0.5 \qquad n = 2$$

$$h_{OL}^2 = 11^2 - 0.45 \times 9^2 \rightarrow h_{OL} \approx 9\ in$$

برای حالت پیوسته داریم :

با توجه به گراف **۱۴-۱۳** داریم :

Combined Thickness of Existing Pavement & Overlay = 12.5 in

So thickness of bonded Overlay = 12.5 – 9 = 3.5 in

۵-۱۳- یک روکش با $a_1 = 0.44$ روی یک روسازی موجود AC قرار می گیرد.

روسازی موجود یک رویه AC به ضخامت 1.5 و اساس تثبیت شده با ضخامت 6 اینچ دارد .

نتایج NDT با یک صفحه 5.9 اینچ زیر بار 9000 پوند ، تغییر مکان 0.0161 اینچ را در مرکز صفحه و

0.00608 اینچ را در فاصله 36 اینچ از مرکز می دهد.

الف – ضریب C برای MR برابر 0.33 فرض شود .ESALs آینده در خط طراحی برابر 100000

و

$R = 95\%$ $S_0 = 0.45$ $P_1 = 4.2$ $P_2 = 2.5$

SN_f را تعیین کنید

ب – با روشNDT ، D_{OL} را تعیین کنید

پ – با فرض داده های زیر D_{OL} موجود را با روش براورد شرایط تعیین کنید و شرایط AC رویه و

اساس تثبیت شده را توصیف کنید.

$a_1 = 0.35$, $a_2 = 0.25$

ت- فرض کنید ESALs گذشته در خط طراحی 95000 و

$P_1 = 4.2$ $P_2 = 2.5$ $a_1 = 0.44$ $a_2 = 0.33$

D_{OL} را با روش عمر باقیمانده تعیین کنید

حل –

الف – پارامترهای زیر را داریم :

$a_1 = a_{\mathrm{OL}} = 0.44$

$a = 5.9\ in$

P= 9000 lb

r = 36 in

$d_0 = 0.0161$

$d_r = 0.00608$

C = 0.33

D = 1.5 + 6 =7.5 in

$R = 95\% \rightarrow Z_R = -1.645$

$S_0 = 0.45$

$P_1 = 4.2 \qquad P_2 = 2.5 \qquad \rightarrow \Delta PSI = 1.7$

ESALs = 100,000

با توجه به معادله **۲۳-۱۳** داریم :

$$M_R = C\left(\frac{0.24P}{d_r.r}\right) \rightarrow M_R = 0.33\left(\frac{0.24 \times 9000}{0.00608 \times 36}\right) = 3256.6$$

با توجه به معادله **۳۷-۱۱** داریم :

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}]}{0.4 + 1049/(SN + 1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$\rightarrow SN_f = 3.486 \quad !$

ب-

بدون ضریب تعدیل $M_R = 9868.4$

با توجه به گراف **۱۹-۱۳** ضریب تعدیل حرارتی را بدست می آوریم :

از دمای استاندارد روسازی یعنی $68°\mathrm{F}$ و ضخامت رویه آسفالتی استفاده می کنیم .

$$\rightarrow \text{ضریب تعدیل } d_0 \approx 1 \rightarrow (d_0)_{\text{جدید}} = d_0 = 0.0161in = 16.1\ mil$$

با استفاده از گراف **۱۷-۱۳** و با تعیین پارامترهای لازم داریم :

$$\frac{M_R d_0}{P} = \frac{9868.4 \times 16.1}{9000} = 17.7 \qquad \& \qquad D = 7.5\ in$$

$$\rightarrow \frac{E_P}{M_R} \approx 50$$

بنابراین داریم :

$$E_P \approx 50 \times 9868.4 = 493420\ psi$$

از معادله **۲۶-۱۳** داریم :

$$SN_{eff} = 0.0045 \times D \times \sqrt[3]{E_P} \rightarrow SN_{eff} = 0.0045 \times 7.5 \times \sqrt[3]{493420} = 2.66$$

در نتیجه با توجه به رابطه **۱۸-۱۳** داریم :

$$SN_{OL} = SN_f - SN_{eff} \rightarrow SN_{OL} = 3.486 - 2.66 \approx 0.83$$

در نتیجه داریم :

$$D_{OL} = \frac{SN_{OL}}{a_{OL}} \rightarrow D_{OL} = \frac{0.83}{0.44} \approx 1.9\ in$$

پ –

$$a_1 = 0.35\ , \qquad a_2 = 0.25$$

با توجه به رابطه **۱۹-۱۳** داریم :

$$SN_{\text{eff}} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 \rightarrow SN_{\text{eff}} = 0.35 \times 1.5 + 0.25 \times 7 \times 1 = 2.275$$

در نتیجه با توجه به رابطه **۱۸-۱۳** داریم :

$$SN_{OL} = SN_f - SN_{eff} \rightarrow SN_{OL} = 3.486 - 2.275 = 1.211$$

در نتیجه داریم :

$$D_{OL} = \frac{SN_{OL}}{a_{OL}} \rightarrow D_{OL} = \frac{1.211}{0.44} = 2.75\ in \qquad !$$

با توجه به جدول **۷-۱۳** ، برای توصیف لایه ها داریم :

$$a_1 = 0.35\ ;\ little\ or\ no\ alligator\ cracking\ and, or\ only\ \ low - severity\ transverse\ \ cracking$$

$$a_2 = 0.25\ ;\ little\ or\ no\ alligator\ cracking\ and, or\ only\ \ low - severity\ transverse\ \ cracking$$

ت – پارامترهای زیر را داریم :

$$P_1 = 4.2 \qquad P_2 = 2.5 \qquad a_1 = 0.44 \qquad a_2 = 0.33$$

$$ESALs = N_P = 95000$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 \rightarrow SN = 0.44 \times 1.5 + 0.33 \times 7 \times 1 = 2.97$$

برای تعیین $N_{1.5}$ با توجه به معادله **۳۷-۱۱** داریم

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$\rightarrow N_{1.5} = 304995$$

حال با توجه به معادله **۳۰-۱۳** داریم :

$$RL = 100\left(1 - \frac{N_P}{N_{1.5}}\right) \rightarrow RL = 100\left(1 - \frac{95000}{304995}\right) = 68.85\%$$

حال با توجه به گراف **۲۳-۱۳** ضریب شرایط را تعیین می کنیم :

$$CF = 0.94$$

با توجه به معادله **۳۱-۱۳** داریم :

$$SN_{eff} = CF \times SN_0 \rightarrow SN_{eff} = 0.94 \times 2.97 = 2.79$$

$$SN_{OL} = SN_f - SN_{eff} \rightarrow SN_{OL} = 3.486 - 2.79 = 0.696$$

$$D_{OL} = \frac{SN_{OL}}{a_{OL}} \rightarrow D_{OL} = \frac{0.696}{0.44} = \ in$$

۶-۱۳- یک روکشAC با $a_1 = 0.44$ روی یک روسازی Rubblized PCC ساخته شده است .

دال موجودRubblized شده ضخامت 10 اینچ دارد و اساس دانه ای ضخامت 6 اینچ دارد .

نتایجNDT روی رویه PCC پیش از استفاده از Rubblizing ، صفحه 5.9 اینچ زیر بار 9000 پوند که

تغییر مکان در وسط صفحه 0.0041 in و 0.0027 در فاصله 36 اینچی از مرکز است .

الف – E_P را از گراف ۱۷-۱۳ تعیین کرده و نتیجه را با گراف ۲۰-۱۳ مقایسه کنید . کدام مقدار بزرگتر است

ب- فرض کنید ضریبC = 0.167 برای MR موثر باشد ، ESALs آینده در خط طراحی 6700000

$R = 95\%$ $S_0 = 0.49$ $P_1 = 4.5$ $P_2 = 2.5$

SN_f را تعیین کنید

پ- فرض کنید :

$a_1 = 0.25$, $a_2 = 0.05$

D_{OL} را تعیین کنید و شرایط Rubblized PCC رویه و اساس را توصیف کنید

.حل –

الف –

$a_1 = a_{OL} = 0.44$

$a = 5.9\ in$

P= 9000 lb

r = 36 in

$d_0 = 0.0041$

$d_r = 0.0027$

C = 0.167

با توجه به معادله **۲۲-۱۳** داریم :

$$M_R = \left(\frac{0.24P}{d_r.r}\right) \rightarrow M_R = \left(\frac{0.24 \times 9000}{0.0027 \times 36}\right) = 22222.2$$

با استفاده از گراف **۱۷-۱۳** و با تعیین پارامترهای لازم داریم :

$$\frac{M_R d_0}{P} = \frac{22222.2 \times 4.1}{9000} \approx 10 \qquad \& \qquad D = 10 + 6 = 16\ in$$

$$\rightarrow \frac{E_P}{M_R} \approx 39$$

بنابراین داریم :

$$E_P \approx 39 \times 22222.2 = 866{,}665.8\ psi$$

با استفاده از گراف **۲۰-۱۳** و با تعیین پارامترهای لازم داریم :

$$\frac{M_R d_0}{qa} = \frac{22222.2 \times 0.0041}{\frac{9000}{\pi \times 5.9^2} \times 5.9} \approx 0.19 \qquad \& \qquad \frac{D}{a} = \frac{16}{5.9} = 2.7$$

$$\rightarrow \frac{E_P}{M_R} \approx 50$$

بنابراین داریم :

$$E_P \approx 50 \times 22222.2 = 1{,}111{,}110\ psi$$

ب – با توجه به ضریب تعدیل داریم :

$$M_R = 0.167 \times 22222.2 = 3711.1$$

با توجه به معادله **۳۷-۱۱** داریم :

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}]}{0.4 + 1049/(SN + 1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$\rightarrow SN_f = 6.3 \cong 6$$

پ –

$$SN_{\text{eff}} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 \rightarrow SN_{\text{eff}} = 0.25 \times 10 + 0.05 \times 6 \times 1 = 2.8$$

در نتیجه با توجه به رابطه ۱۸–۱۳ داریم :

$$SN_{OL} = SN_f - SN_{eff} \rightarrow SN_{OL} = 6 - 2.8 = 3.2$$

در نتیجه داریم :

$$D_{OL} = \frac{SN_{OL}}{a_{OL}} \rightarrow D_{OL} = \frac{3.2}{0.44} = 7.3\ in$$

با توجه به جدول ۷–۱۳ ، برای توصیف لایه ها داریم :

$$a_1 = 0.25 \; ; > 10\%\ low - severity\ alligator\ cracking\ and\ , or$$
$$< 5\%\ medium - and\ high\ severity\ transverse\ cracking$$

$$a_2 = 0.05 \; ; some\ evidence\ of\ pumping\ , degradation, or\ contamination\ by\ fines$$

۷-۱۳- یک روکشAC برای روسازی JRCP طراحی شده است . ضخامت دال موجود 8 اینچ است .

NDT برای backcalculate مقدار K دینامیک و مدول بتن Ec زیر بار دینامیکی 9000 پوند انجام می گیرد تغییر مکانهای اندازه گیری شده در فواصل 0 و 12 و 24 و 36 اینچ ، بترتیب 5.2 ، 4.5 ، 3.5 و 2.9 است

الف – Ec و مقدار K را تعیین کنید

ب – ازEc & K تعیین شده در قسمت الف با معادله 7-56a استفاده کرده و با فرض

$R = 95\%$ $S_0 = 0.3$ $P_1 = 4.5$ $P_2 = 2.5$ $C_d = 1$ $J = 2.2$

$F_{jc} = 0.95$ $F_{fat} = 0.95$ $F_{dur} = 1$ $ESALs$ آینده $= 80{,}000{,}000$

D_{OL} را تعیین کنید و شرایط PCC موجود را توصیف کنید

حل –

الف –

D = 8 in

$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 4.5 - 2 = 2.5$

با توجه به معادله ۲۸-۱۳ داریم :

$$AREA = 6\left[1 + 2\left(\frac{d_{12}}{d_0}\right) + 2\left(\frac{d_{24}}{d_0}\right) + \left(\frac{d_{36}}{d_0}\right)\right]$$

$$\rightarrow AREA = 6\left[1 + 2\left(\frac{4.5}{5.2}\right) + 2\left(\frac{3.5}{5.2}\right) + \left(\frac{2.9}{5.2}\right)\right] = 27.81$$

با توجه به گراف ۲۱-۱۳ داریم :

$$Dynamic\ K \approx 300\ pci \rightarrow Static\ k - value = \frac{Dynamic\ k - value}{2} = 150\ pci$$

با توجه به گراف **۲۲-۱۳** داریم :

$$E_C D^3 \approx 1.7 \times 10^9 \rightarrow E_C \approx 3.4 \times 10^6\ psi$$

ب-

با توجه به معادله 7-56a داریم :

$$S_C = \frac{43.5 E_C}{10^6} + 488.5$$

$$\rightarrow S_C = \frac{43.5 \times 3.4 \times 10^6}{10^6} + 488.5 = 636.4 \text{ psi}$$

با استفاده از معادله **۲۱-۱۲** داریم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$\rightarrow D_f = 11.4\ in$$

با توجه به رابطه **۲۰-۱۳** داریم :

$$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D \rightarrow D_{eff} = 0.95 \times 1 \times 0.95 \times 8 = 7.22\ in$$

از معادله **۳۶-۱۳** داریم :

$$A = 2.2233 + 0.0099(D_f - D_{eff})^2 - 0.1534(D_f - D_{eff})$$

$$\rightarrow A = 2.2233 + 0.0099(11.4 - 7.22)^2 - 0.1534(11.4 - 7.22) = 1.755$$

با توجه به معادله **۳۵-۱۳** برای روکش AC داریم :

$$D_{OL} = A(D_f - D_{eff}) \rightarrow D_{OL} = 1.775(11.4 - 7.22) = 7.34 \text{ in} \quad !$$

۸-۱۳- یک روکشAC روی روسازی موجود AC/CRCP ریخته شده است . روسازی موجود 3 in رویه AC و 7 in دال دارد. میانگین چهار آزمایش NDT انجام گرفته روی روسازی موجود ، یک مقدار K=362 pci و Ec = 2,100,000 psi نتیجه شده است . فرض کنید ESALs=10,000,000 آینده در خط طراحی ، ضخامت رویه AC (milled) برابر 0.75 اینچ ،

$$R = 95\% \quad S_0 = 0.35 \quad P_1 = 4.5 \quad P_2 = 2.5 \quad C_d = 1 \quad J = 2.6$$

$$F_{jc} = 0.8 \quad F_{ac} = 0.85 \quad F_{dur} = 0.8$$

D_{OL} را تعیین کنید و شرایط PCC موجود را توصیف کنید

حل –

با توجه به معادله 7-56aداریم :

$$S_C = \frac{43.5E_C}{10^6} + 488.5$$

$$\rightarrow S_C = \frac{43.5 \times 2.1 \times 10^6}{10^6} + 488.5 = 579.85 \text{ psi}$$

با استفاده از معادله ۱۲-۲۱ داریم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$\rightarrow D_f = 8.8\ in$$

با توجه به معادله ۱۳-۳۷ داریم :

$$D_{ac} = 3 - 0.75 = 2.25$$

$$D_{eff} = \left(F_{jc}\right)(F_{dur})(D_{pcc}) + (\frac{D_{ac}}{2})F_{ac}$$

$$\rightarrow D_{eff} = 0.8 \times 0.8 \times 7 + \left(\frac{2.25}{2}\right) \times 0.85 \approx 5.44\ in$$

از معادله **۱۳-۳۶** داریم :

$$A = 2.2233 + 0.0099(D_f - D_{eff})^2 - 0.1534(D_f - D_{eff})$$

$$\rightarrow A = 2.2233 + 0.0099(8.8 - 5.44)^2 - 0.1534(8.8 - 5.44) = 1.82$$

با توجه به معادله **۱۳-۳۵** داریم :

$$D_{\mathrm{OL}} = \mathrm{A}(\mathrm{D_f} - \mathrm{D_{eff}}) \rightarrow \mathrm{D_{OL}} = 1.82(8.8 - 5.44) = 6.12\ \mathrm{in} \quad !$$

Extensive durability distress and localized failures

Severe AC material distress (rutting , stripping , shoving)

۹-۱۳- مشابه مسئله **۸-۱۳** ، غیر از اینکه روکش PCC و ضریب تعدیل درز و ترک ، $F_{jcu} = 0.9$ مورد استفاده قرار می گیرد . ضخامت روکش PCC مورد نیاز را تعیین کنید .

حل –

با توجه به معادله **۳۹-۱۳** داریم :

$$D_{eff} = (F_{jcu})D \rightarrow D_{eff} = 0.9 \times 7 = 6.3\ in$$

با توجه به رابطه **۳۸-۱۳** داریم :

$$D_{OL} = \sqrt{(D_f^2 - D_{eff}^2)} \rightarrow D_{OL} = \sqrt{(8.8^2 - 6.3^2)} = 6.14\ in \qquad !$$

۱۰-۱۳- یک روکش یکپارچه PCC برای یک روسازی JPCP موجود طراحی شده است .

ضخامت دال موجود 8.2 اینچ می باشد . روشNDT برای Backcalculate مقدار k دینامیک و مدول بتن Ec زیر بار دینامیکی 8500 پوند انجام می گردد . تغییر مکان اندازه گیری شده در فواصل 0 ، 12 ، 24 و 36 اینچ ، بترتیب 3.68 ، 3.08 ، 2.64 و 2.23 می باشد.

الف -Ec و مقدار k استاتیکی را تعیین کنید

ب – ازEc و مقدار k بدست آمده از روش NDT استفاده کرده وفرض کنید ESALs آینده در خط طراحی برابر11,000,000 و

$$R = 95\% \qquad S_0 = 0.35 \qquad P_1 = 4.5 \qquad P_2 = 2.5 \qquad C_d = 1 \qquad J = 4$$

$$F_{jc} = 1 \qquad F_{fat} = 0.95 \qquad F_{dur} = 1$$

D_{OL} را تعیین کنید و شرایط PCC موجود را توصیف کنید

حل –

الف -

D = 8.2 in

$$P_t = 4.5 - \Delta PSI = 4.5 - 2 = 2.5$$

با توجه به معادله **۲۸-۱۳** داریم :

$$AREA = 6\left[1 + 2\left(\frac{d_{12}}{d_0}\right) + 2\left(\frac{d_{24}}{d_0}\right) + \left(\frac{d_{36}}{d_0}\right)\right]$$

$$\rightarrow AREA = 6\left[1 + 2\left(\frac{3.08}{3.68}\right) + 2\left(\frac{2.64}{3.68}\right) + \left(\frac{2.23}{3.68}\right)\right] = 28.3$$

با توجه به گراف **۲۱-۱۳** داریم :

$$Dynamic\ K \approx 380\ pci\ \rightarrow Static\ k-value = \frac{Dynamic\ k-value}{2} = 190\ pci$$

با توجه به گراف **۲۲-۱۳** داریم :

$$E_C D^3 \approx 2.5 \times 10^9 \rightarrow E_C \approx 4.6 \times 10^6\ psi$$

ب -

با توجه به معادله 7-56aداریم :

$$S_C = \frac{43.5 E_C}{10^6} + 488.5$$

$$\rightarrow S_C = \frac{43.5 \times 4.6 \times 10^6}{10^6} + 488.5 = 688.6\ \text{psi}$$

با استفاده از معادله **۲۱-۱۲** داریم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$\rightarrow D_f = 11.4\ in$$

با توجه به رابطه **۲۰-۱۳** داریم :

$$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D \rightarrow D_{eff} = 1 \times 1 \times 0.95 \times 8.2 = 7.79\ in$$

با توجه به رابطه **۳۴-۱۳** داریم :

$$D_{OL} = D_f - D_{eff} \rightarrow D_{OL} \approx 3.61\ \text{in}\ !$$

۱۱-۱۳- مشابه مسئله **۱۰-۱۳** ، غیر از اینکه روکشPCC غیر یکپارچه و $F_{jcu} = 0.9$ ، ضخامت روکش مورد نیاز را تعیین کنید .

حل –

با توجه به معادله **۳۹-۱۳** داریم :

$$D_{eff} = (F_{jcu})D \rightarrow D_{eff} = 0.9 \times 8.2 = 7.38\ in$$

با توجه به رابطه **۳۸-۱۳** داریم :

$$D_{OL} = \sqrt{(D_f^2 - D_{eff}^2)} \rightarrow D_{OL} = \sqrt{(11.4^2 - 7.38^2)} = 8.7\ in \qquad !$$

۱۲-۱۳- یکJPCP روی یک روسازی AC موجود ریخته شده است . روسازی موجود یک رویه AC به ضخامت 5.5 اینچ و اساس سنگ شکسته به ضخامت 12 اینچ دارد . نتایج روشNDT با یک صفحه 5.9 in تحت بار 9000 پوند، تغییر مکان 0.0241 اینچ در مرکز صفحه و 0.004455 اینچ در فاصله 36 in است .

فرضیات زیر را در نضر بگیرید :

$R = 95\%$ $S_0 = 0.35$ $P_1 = 4.5$ $P_2 = 2.5$ $C_d = 1$ $J = 3.2$

$ESALs$ آینده در خط طراحی $= 4{,}200{,}000$

$S_C = 690\ psi$ $E_C = 4.2 \times 10^6$

ضخامت روکش مورد نیاز را با استفاده از گراف **۱۲-۱۷** تعیین کنید . ضخامت را در معادله **۱۲-۲۱** جایگزین کرده و W_{18} را با ESALs فرضی کنترل کنید

حل –

$$D_{SB} = 5.5 + 12 = 17.5\ in$$

با توجه به معادله **۱۳-۲۲** داریم :

$$M_R = \left(\frac{0.24P}{d_r.r}\right) \rightarrow M_R = \left(\frac{0.24 \times 9000}{0.004455 \times 36}\right) \approx 13468\ psi$$

با استفاده از گراف **۱۳-۱۷** و با تعیین پارامترهای لازم داریم :

$$\frac{M_R d_0}{P} = \frac{13468 \times 24.1}{9000} \approx 30.1 \qquad \& \qquad D = 5.5 + 12 = 17.5\ in$$

$$\rightarrow \frac{E_P}{M_R} = 4$$

بنابراین داریم :

$$E_P \approx 4 \times 13468 = 53872\ psi$$

$$E_P = E_{SB} = 53872\ psi$$

با توجه به گراف **۱۸-۱۲** ، مقدارK تعیین می کنیم :

$$K_{dynamic} \approx 1000\ pci \rightarrow K_{static} \approx 500\ pci$$

با توجه به گراف **۱۷-۱۲** و معادله **۴۰-۱۳** ضخامت روکش مورد نیاز را تعیین می کنیم :

$$D_{OL} = D_f \approx 8.3\ in$$

حال با استفاده از معادله **۲۱-۱۲** برای کنترل داریم :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}]}{1 + 1.624 \times 10^7/(D+1)^{8.46}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log\{\frac{S_C C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right]}\}$$

$$\rightarrow W_{18} \approx 5.2 \times 10^6$$