



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی پیشرفته روسازی


تحلیل روسازی های صلب

علیرضا غنی زاده
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

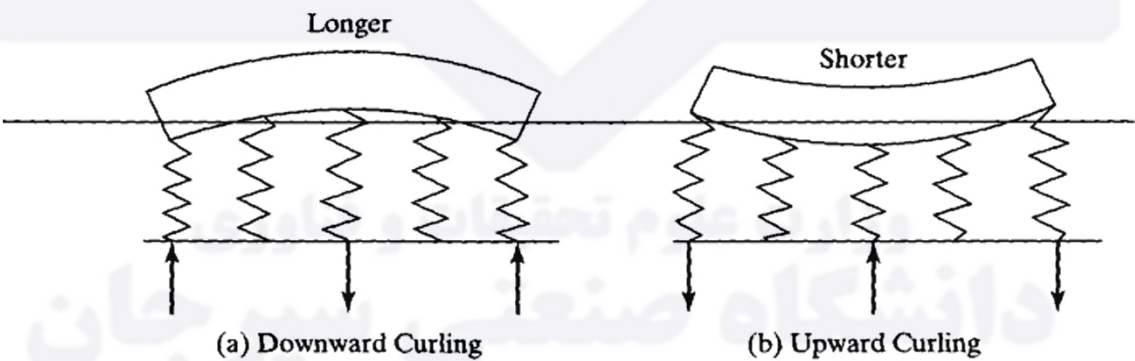


A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش ناشی از تاب خوردگی



- ✓ در طول شبانه روز تغییرات دما باعث ایجاد تنش تاب خوردگی در روسازی بتنی می گردد.
- ✓ توضیح دیگر در مورد تنش تاب خوردگی تئوری وینکلر است.



(a) Downward Curling

(b) Upward Curling

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲

تنش ناشی از تاب خوردگی

The diagram illustrates the stress distribution in a pavement slab during the day and night. At night, the slab is cooler and contracts, creating tension at the top and compression at the bottom. At day, the slab is warmer and expands, creating compression at the top and tension at the bottom. Slab weight is shown as downward arrows at both ends.

دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

خمش صفحه نامحدود

✓ تفاوت تیر و صفحه این است که تیر تنها در یک جهت دچار تنش می شود، در حالی که صفحه در هر دو جهت دچار تنش می شود.

✓ کرنش در جهت x با توجه به قانون هوک از رابطه زیر به دست می آید:

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E}$$

✓ کرنش در جهت y با توجه به قانون هوک از رابطه زیر به دست می آید:

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۴

خمش صفحه نامحدود



- وقتی که صفحه در جهت X خم می شود، ϵ_y باید صفر باشد، زیرا صفحه خیلی پهن است و بخوبی مهار شده است بگونه ای که هیچ تنش جز در لبه ها اتفاق نمی افتد.

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E}$$



$$\sigma_y = \nu \sigma_x$$

- با جایگذاری داریم:

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E}$$



$$\sigma_x = \frac{E \epsilon_x}{1 - \nu^2}$$

$$\sigma_y = \nu \sigma_x$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

خمش صفحه نامحدود



- ✓ هرگاه خمش در هر دو جهت X و Y اتفاق بیفتد، مانند تنش تاب خوردگی دمایی، تنش ها در هر دو جهت بایستی بر هم نهی شوند تا تنش کل به دست آید.
- ✓ حداکثر تنش تاب خوردگی در یک دال نامحدود با فرض مهار دال از هر دو طرف بدست می آید.
- ✓ اگر دال کاملاً مهار شده باشد، کرنش فشاری در بالا و کرنش کششی در پایین بوجود می آید. کرنش حداکثر برابر است با:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{\alpha_1 \Delta t}{2}$$

- ✓ این تحلیل با فرض تقریبی توزیع خطی دما در عمق دال است که در واقعیت غیر خطی می باشد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶

خمش صفحه نامحدود

دانشگاه صنعتی سیرجان تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته ۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

خمش صفحه نامحدود

✓ تنش در جهت X ناشی از کرنش در جهت X برابر است با:

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_1\Delta t}{2(1 - \nu^2)}$$

✓ تنش در جهت X ناشی از کرنش در جهت Y برابر است با:

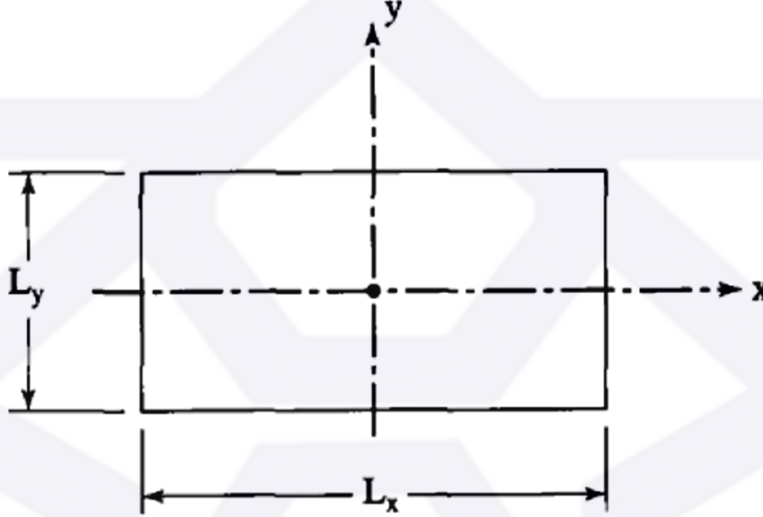
$$\sigma_x = \frac{\nu E\alpha_1\Delta t}{2(1 - \nu^2)}$$

✓ تنش کل برابر است با:

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_1\Delta t}{2(1 - \nu^2)}(1 + \nu) = \frac{E\alpha_1\Delta t}{2(1 - \nu)}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته ۸

تنش تاب خوردگی در دال محدود



دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش تاب خوردگی در دال محدود

تنش کل در وسط دال محدود به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_x = \frac{C_x E \alpha_1 \Delta t}{2(1 - \nu^2)} + \frac{C_y \nu E \alpha_1 \Delta t}{2(1 - \nu^2)} = \frac{E \alpha_1 \Delta t}{2(1 - \nu^2)} (C_x + \nu C_y)$$

که در آن C_x و C_y ضرایب تصحیح برای دال هستند. عبارت اول تنش ناشی از خمش در جهت x و عبارت دوم تنش ناشی از خمش در جهت y می باشد. بطور مشابه تنش در جهت y برابر است با:

$$\sigma_y = \frac{E \alpha_1 \Delta t}{2(1 - \nu^2)} (C_y + \nu C_x)$$

دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۱۰

تنش تاب خوردگی در دال محدود

L = free length or width of slab
 ℓ = radius of relative stiffness
 C = stress coefficient in either directions

$$\ell = \left[\frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)k} \right]^{0.25}$$

با استفاده از تحلیل وستر گارد، برادبری در سال ۱۹۳۸ نموداری ساده مطابق شکل برای تعیین C_x و C_y پیشنهاد داد.

دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۱۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش تاب خوردگی در میانه لبه دال محدود

• تنش در میانه لبه دال از معادله زیر قابل محاسبه است:

$$\sigma = \frac{CE\alpha_1\Delta t}{2}$$

• که در آن σ بسته به اینکه C_x یا C_y استفاده شود σ_x یا σ_y است. تنش تاب خوردگی در وسط دال

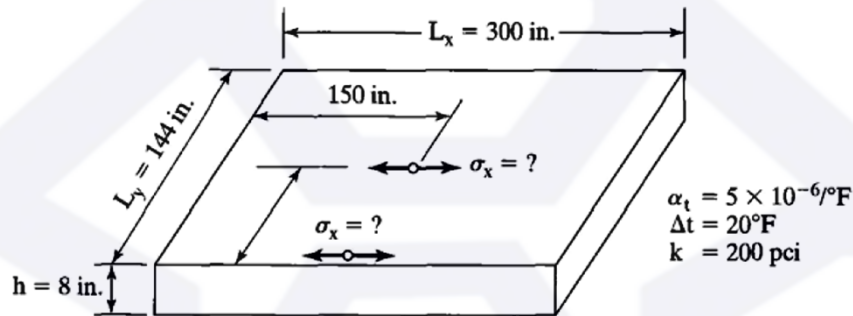
تنش تاب خوردگی در میانه لبه دال

دانشگاه صنعتی سیرجان
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته
۱۲

مثال ۱



Figure 4.5 shows a concrete slab, 25 ft (7.62 m) long, 12 ft (3.66 m) wide, and 8 in. (203 mm) thick, subjected to a temperature differential of 20°F (11.1°C). Assuming that $k = 200$ pci (54.2 MN/m³) and $\alpha_t = 5 \times 10^{-6}$ in./in./°F (9×10^{-6} mm/mm/°C), determine the maximum curling stress in the interior and at the edge of the slab.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۱



Solution: From Eq. 4.10, $\ell = [4 \times 10^6 \times 512 / (12 \times 0.9775 \times 200)]^{0.25} = 30.57$ in. (776 mm). With $L_x/\ell = 25 \times 12/30.57 = 9.81$ and $L_y/\ell = 12 \times 12/30.57 = 4.71$, from Figure 4.4, $C_x = 1.07$ and $C_y = 0.63$. From Eq. 4.9a, the maximum stress in the interior is in the x direction, or $\sigma_x = 4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 20(1.07 + 0.15 \times 0.63)/1.955 = 238$ psi (1.64 MPa). From Eq. 4.11, the maximum stress at an edge is also in the x direction, or $\sigma_x = 1.07 \times 4 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} \times 20/2 = 214$ psi (1.48 MPa).

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۴

اختلاف دما



- ✓ تنش تاب خوردگی در روسازی بتنی با اختلاف دما در بالا و پایین دال تغییر می کند.
- ✓ در آزمایش راه آرلینگتن بیشترین اختلاف دما در طول ماه اپریل و می در دال با ضخامت 6in برابر با 22°F (12.2°C) و در دال با ضخامت 9in برابر 31°F (17.2°C) بود.
- ✓ در آزمایش اشوتو، دما در یک دال 6.5in اندازه گیری شد و اختلاف دما در 0.25in زیر سطح بالایی دال و 0.5in بالای سطح زیرین دال بعنوان اختلاف دمای استاندارد انتخاب گردید.
- ✓ اندازه گیری های اختلاف دما توسط اشوتو برای سایر ضخامت ها نشان داد که اختلاف دما متناسب با ضخامت دال نمی باشد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

دلایل عدم در نظر گرفتن تنش های ترکیبی ناشی از تابیدگی



- ✓ درزها و میلگردها برای کاهش و آزاد نمودن تنش های تاب خوردگی استفاده می شوند.
- ✓ در صورت استفاده از اصل خستگی برای طراحی، تکرار تنش های تاب خوردگی بسیار محدود است.
- ✓ برای دستیابی به تنش کل، تنش تاب خوردگی با تنش ناشی از بارگذاری جمع یا تفریق می شود. برای مثال برای معیار طراحی تنش گوشه به علت حرکت بارهای سنگین در شب و تفریق آن از تنش بارگذاری از آن صرف نظر می شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۶

تنش‌ها و کرنش‌های ناشی از بارگذاری



سه روش برای تعیین تنش‌ها و کرنش‌ها در روسازی بتنی وجود دارد که شامل:

✓ روابط حل بسته مانند روابط وسترگارد

✓ منحنی‌های تأثیر

✓ روش المان محدود

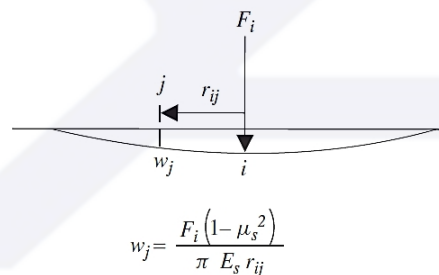
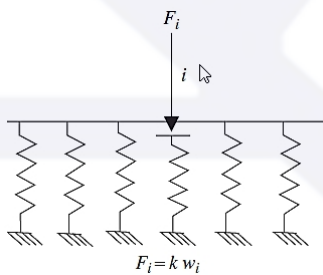
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مفهوم پی جامد در مقابل پی وینکلر یا پی مایع



Winkler Foundation



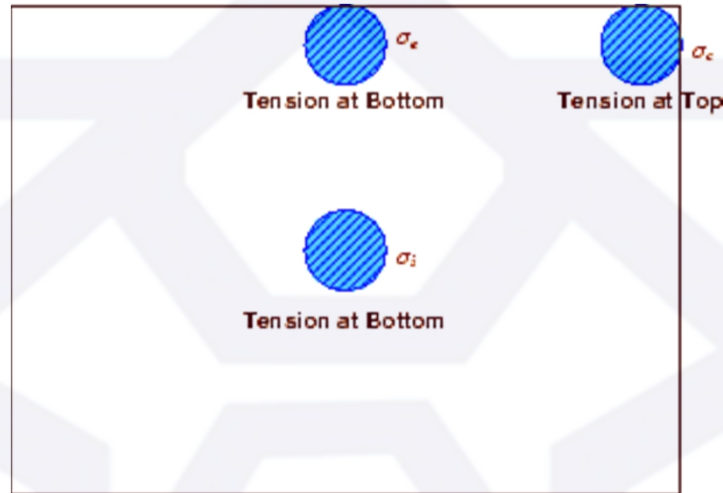
Solid Foundation

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۸

وضعیت تنش کششی در دال با توجه به محل اعمال بار



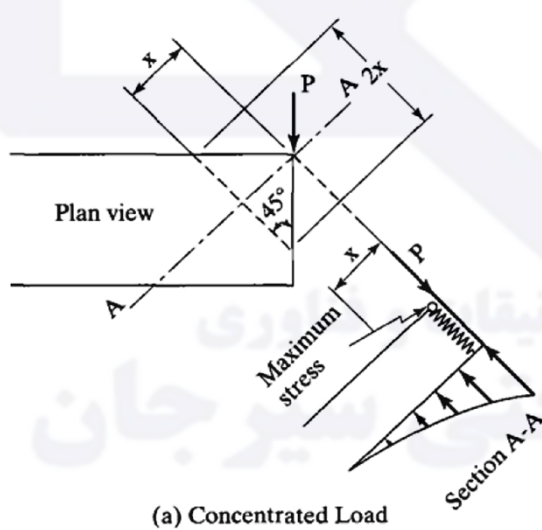
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش ناشی از بارگذاری نقطه‌ای در گوشه دال



(a) Concentrated Load

- رابطه گلدبک و الدر قدیمی‌ترین رابطه طراحی روسازی‌های بتنی است که بر اساس بار متمرکز P که در گوشه دال اعمال گردید استوار است.

$$\sigma_c = \frac{Px}{\frac{1}{6}(2x)h^2} = \frac{3P}{h^2}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

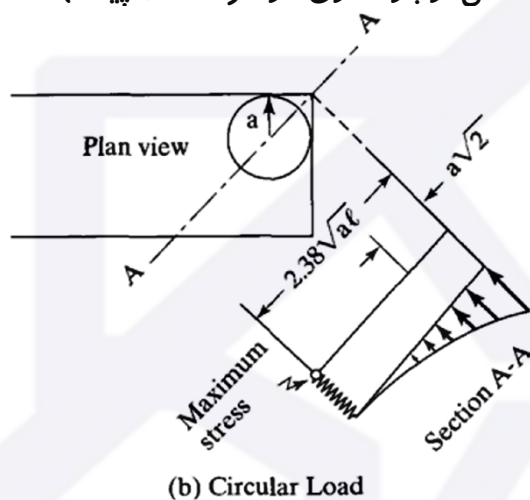
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۰

تنش و نشست ناشی از بارگذاری در گوشه دال



- وسترگارد در سال ۱۹۶۲ روابط زیر را برای محاسبه تنش ناشی از بارگذاری در گوشه دال پیشنهاد نمود:



$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{\ell} \right)^{0.6} \right]$$

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

- بیشترین لنگر در فاصله $2.38\sqrt{a\ell}$ اتفاق می افتد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش و نشست ناشی از بارگذاری در گوشه دال



- یونیدس و همکاران در سال ۱۹۸۵ با استفاده از روش المان محدود روابط زیر را برای بارگذاری در گوشه دال در حالت بارگذاری مربعی پیشنهاد نمودند.

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{c}{\ell} \right)^{0.72} \right]$$

Ioannides et al. (1985)

ابعاد معادل بار مربعی

$$c = 1.772a$$

$$\Delta_c = \frac{P}{k\ell^2} \left[1.205 - 0.69 \left(\frac{c}{\ell} \right) \right]$$

- بیشترین لنگر در فاصله $1.80c^{0.32}\ell^{0.59}$ اتفاق می افتد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

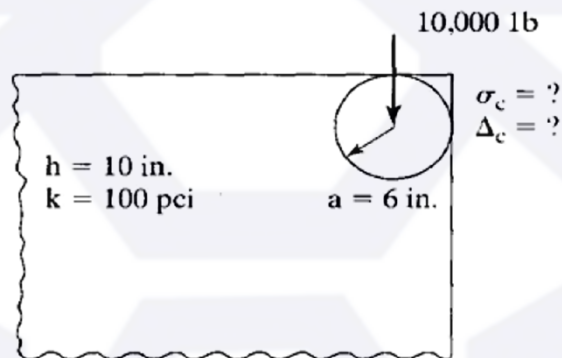
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۲

مثال ۲



Figure 4.7 shows a concrete slab subjected to a corner loading. Given $k = 100$ pci (27.2 MN/m^3), $h = 10$ in. (254 mm), $a = 6$ in. (152 mm), and $P = 10,000$ lb (44.5 kN), determine the maximum stress and deflection due to corner loading by Eqs. 4.13 through 4.16.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۲



Solution: From Eq. 4.10, $\ell = [4 \times 10^6 \times 1000 / (12 \times 0.9775 \times 100)]^{0.25} = 42.97$ in. (1.09 m). From Eq. 4.13, $\sigma_c = 3 \times 10,000 / 100 \times [1 - (6\sqrt{2}/42.97)^{0.6}] = 186.6$ psi (1.29 MPa). From Eq. 4.14, $\Delta_c = 10,000 / (100 \times 1846.4) [1.1 - 0.88(6\sqrt{2}/42.97)] = 0.0502$ in. (1.27 mm). From Eqs. 4.15 and 4.17, $\sigma_c = 3 \times 10,000 / 100 [1 - (1.772 \times 6/42.97)^{0.72}] = 190.3$ psi (1.31 MPa), which is 2% larger than the value obtained from Eq. 4.13. From Eqs. 4.16 and 4.17, $\Delta_c = 10,000 / (100 \times 1846.4) [1.205 - 0.69(1.772 \times 6/42.97)] = 0.0560$ in. (1.42 mm), which is 11% greater than the value obtained from Eq. 4.14.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۴



تنش ناشی از بارگذاری در داخل دال

وستر گارد در سال ۱۹۶۲ معادله زیر را برای تعیین تنش ناشی از بارگذاری در داخل دال پیشنهاد نمود:

$$\sigma_i = \frac{3(1 + \nu)P}{2\pi h^2} \left(\ln \frac{\ell}{b} + 0.6159 \right)$$

$$b = a \quad \text{when } a \geq 1.724h$$

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

For a Poisson ratio of 0.15



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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir



نشست ناشی از بارگذاری در داخل دال

وستر گارد در سال ۱۹۶۲ معادله زیر را برای تعیین نشست ناشی از بارگذاری در داخل دال پیشنهاد نمود:

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

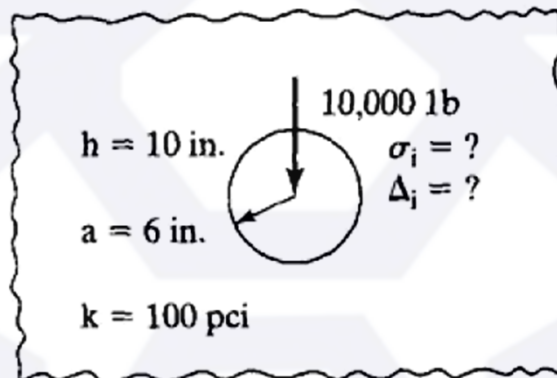
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۶

مثال ۳



Same as Example 4.2 except that the load is applied in the interior, as shown in Figure 4.8. Determine the maximum stress and deflection due to interior loading.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۳



Solution: From Eq. 4.19b, $b = \sqrt{1.6 \times 36 + 100} - 0.675 \times 10 = 5.804$ in. (147 mm). From Eq. 4.20, $\sigma_i = 0.316 \times 10,000/100 \times [4 \log(42.97/5.804) + 1.069] = 143.7$ psi (992 kPa). The same result is obtained if Eq. 4.18 is used. From Eq. 4.21, $\Delta_i = 10,000/(8 \times 100 \times 1846.1) \{1 + (1/2\pi) \times [\ln(6/85.94) - 0.673] \times (6/42.97)^2\} = 0.0067$ in. (0.17 mm). Compared with the Westergaard solutions due to corner loading, the stress due to interior loading is 77% of that due to corner loading, while the deflection is only 13%. This is true only when there is no load transfer across the joint at the corner. If sufficient load transfer is provided, the stress due to corner loading will be smaller than that due to interior loading but the deflection at the corner will still be greater.

❖ بامقایسه حل وسترگارد با بارگذاری گوشه تنش بارگذاری داخلی ۷۷٪ بارگذاری گوشه است در حالی که نشست ۱۳٪.

❖ مطلب فوق در صورتی صحیح است که هیچ انتقال باری در گوشه دال در اتصال وجود نداشته باشد، اگر انتقال باربه اندازه کافی مهیا باشد تنش بارگذاری گوشه کوچکتر از بارگذاری داخلی است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۸

بارگذاری در لبه دال



✓ برای تنش ناشی از بارگذاری لبه، وسترگارد در سال ۱۹۴۸ یک روش عمومی برای تعیین حداکثر تنش و کرنش ناشی از بار بیضوی و نیمه بیضوی در لبه دال ارائه کرد.

✓ با قرار دادن شعاع تماسی a به جای قطرهای بزرگ و کوچک بیضی جواب متناظر برای حل دایره و نیم دایره بدست می آید.

✓ شکل صحیح این معادلات که توسط یونیدس ارائه شده‌اند به شرح اسلاید بعد می‌باشند.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

بارگذاری در لبه دال



Ioannides et al. (1985)

$$\sigma_{e(\text{circle})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right) + 1.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{1-\nu}{2} + \frac{1.18(1+2\nu)a}{\ell} \right]$$

$$\sigma_{e(\text{semicircle})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right) + 3.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{(1+2\nu)a}{2\ell} \right]$$

$$\Delta_{e(\text{circle})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - \frac{(0.76+0.4\nu)a}{\ell} \right]$$

$$\Delta_{e(\text{semicircle})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - \frac{(0.323+0.17\nu)a}{\ell} \right]$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۰

بارگذاری در لبه دال



Ioannides et al. (1985)

For $\nu = 0.15$

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

$$\sigma_e \text{ (semicircle)} = \frac{0.803P}{h^2} \left[4 \log\left(\frac{\ell}{a}\right) + 0.282\left(\frac{a}{\ell}\right) + 0.650 \right]$$

$$\Delta_e \text{ (circle)} = \frac{0.431P}{k\ell^2} \left[1 - 0.82\left(\frac{a}{\ell}\right) \right]$$

$$\Delta_e \text{ (semicircle)} = \frac{0.431P}{k\ell^2} \left[1 - 0.349\left(\frac{a}{\ell}\right) \right]$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

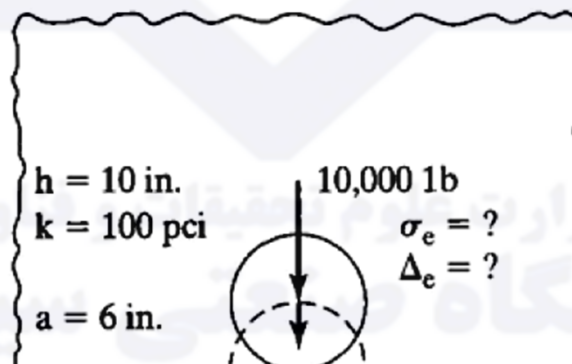
۳۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۴



Same as Example 4.2, except that the load is applied to the slab edge, as shown in Figure 4.9. Determine the maximum stress and deflection under both circular and semicircular loaded areas.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۲

مثال ۴



Solution: For a circular area, from Eq. 4.26, $\sigma_e = 0.803 \times 10,000/100 \times [4 \log(42.97/6) + 0.666(6/42.97) - 0.034] = 279.4 \text{ psi (1.93 MPa)}$; from Eq. 4.28, $\Delta_e = 0.431 \times 10,000/(100 \times 1846.4) \times [1 - 0.82(6/42.97)] = 0.0207 \text{ in. (0.525 mm)}$. For a semicircular area, from Eq. 4.27, $\sigma_e = 0.803 \times 10,000/100 \times [4 \log(42.97/6) + 0.282(6/42.97) + 0.650] = 330.0 \text{ psi (2.28 MPa)}$; from Eq. 4.29, $\Delta_e = 0.431 \times 10,000/(100 \times 1846.4) \times [1 - 0.349(6/42.97)] = 0.0222 \text{ in. (0.564 mm)}$. It can be seen that the maximum stress due to edge loading is greater than that due to corner and interior loadings and that the maximum deflection due to edge loading is greater than that due to interior loading but much smaller than that due to corner loading. The fact that both the stress and deflection are greater under a semicircular loaded area than those under a circular area is reasonable: The centroid of a semicircle is closer to the pavement edge than is that of a circle.

❖ تنش حداکثر ناشی از بارگذاری لبه بزرگتر از بارگذاری گوشه و داخل دال است.
❖ حداکثر نشست بارگذاری لبه بزرگتر از بارگذاری داخلی و بسیار کوچکتر از بارگذاری گوشه است.

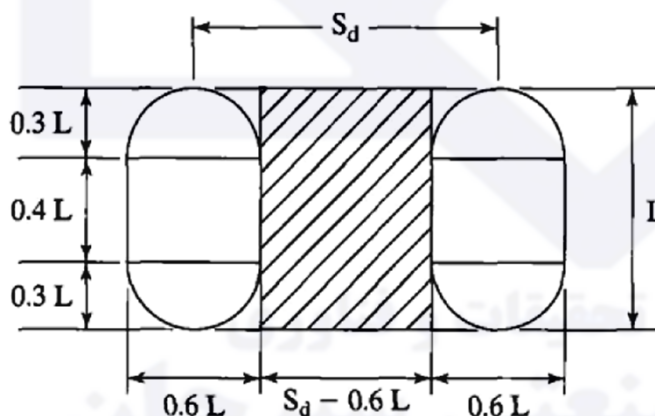
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

چرخ زوج



✓ کلیه روابط ارائه شده در این قسمت به جز روابطی که برای بار نیم‌دایره ارائه شده‌اند، برای چرخ زوج نیز قابل استفاده می‌باشند.

✓ برای استفاده از این روابط باید بار چرخ L زوج به بار دایره‌ای تبدیل شود.


✓ اگر سطح دایره معادل برابر سطح تماس بعلاوه سطح بین زوج چرخ باشد (قسمت هاشور خورده) نتایج رضایت بخشی بدست می‌آید.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۴

چرخ زوج

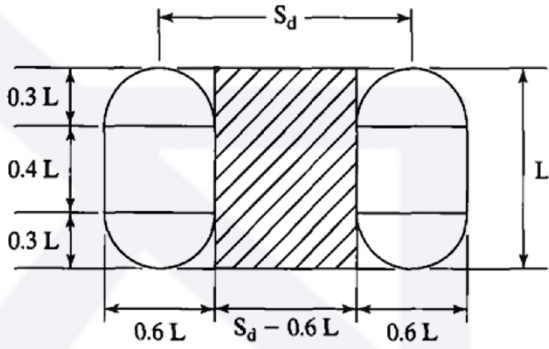


$$\frac{P_d}{q} = \pi(0.3L)^2 + (0.4L)(0.6L) = 0.5227L^2$$

$$L = \sqrt{\frac{P_d}{0.5227q}}$$

$$\pi a^2 = 2 \times 0.5227L^2 + (S_d - 0.6L)L = 0.4454L^2 + S_d L$$

$$\pi a^2 = \frac{0.8521P_d}{q} + S_d \sqrt{\frac{P_d}{0.5227q}} \quad \rightarrow \quad a = \sqrt{\frac{0.8521P_d}{q\pi} + \frac{S_d}{\pi} \left(\frac{P_d}{0.5227q} \right)^{1/2}}$$




دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

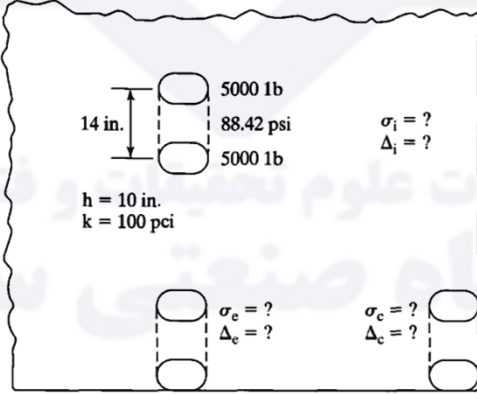
۳۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۵



Using Westergaard's formulas, determine the maximum stress in Examples 4.2, 4.3, and 4.4 if the 10,000-lb (44.5-kN) load is applied on a set of duals spaced at 14 in. (356 mm) on centers, as shown in Figure 4.11, instead of over a 6-in. (152-mm) circular area.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۶

حل مثال ۵



Solution: With $S_d = 14$ in. (356 mm), $q = 10,000/(36\pi) = 88.42$ psi (610 kPa), and $P_d = 5000$ lb (22.3 kN), from Eq. 4.31,

$$a = \sqrt{\frac{0.8521 \times 5000}{88.42\pi} + \frac{14}{\pi} \left(\frac{5000}{0.5227 \times 88.42} \right)^{1/2}} = 7.85 \text{ in. (199 mm)}$$

which is greater than the original 6 in. (152 mm). From Eq. 4.13, $\sigma_c = 3 \times 10,000/100 \times [1 - (7.85\sqrt{2}/42.97)^{0.6}] = 166.8$ psi (1.15 MPa), which is about 89% of the stress in Example 4.2. From Eq. 4.19b, $b = \sqrt{1.6 \times 61.62 + 100 - 0.675 \times 10} = 7.34$ in. (186 mm). From Eq. 4.20, $\sigma_i = 0.316 \times 10,000/100 \times [4 \log(42.97/7.34) + 1.069] = 130.8$ psi (902 kPa), which is about 91% of the stress in Example 4.3. From Eq. 4.26, $\sigma_e = 0.803 \times 10,000/100 \times [4 \log(42.97/7.85) + 0.666(7.85/42.97) - 0.034] = 244.2$ psi (1.68 MPa), which is about 87% of the stress in Example 4.4.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

منحنی‌های تأثیر



✓ منحنی تأثیر بر مبنای پی مایع در گذشته توسط انجمن سیمان پرتلند برای تحلیل روسازی صلب استفاده می‌شده است.

✓ این منحنی‌ها بر مبنای تئوری وسترگارد با نسبت پواسن ۰/۱۵ برای دال بتنی توسعه داده شده‌اند.

✓ تنها نمودارهای بارگذاری داخلی و لبه موجود هستند، که بارگذاری داخلی برای طرح روسازی فرودگاه و بارگذاری لبه برای طرح روسازی راه‌ها کاربرد داشته است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۸

بارگذاری داخل دال



- ✓ منحنی‌های تأثیر برای تعیین لنگر در داخل دال بکار می‌روند.
- ✓ لنگر در نقطه 0 در جهت n محاسبه می‌شود، برای استفاده از منحنی لازم است تا شعاع سختی نسبی را حساب کنیم.
- ✓ با شمارش پلوک‌های اشغال شده توسط چرخ (N)، لنگر (M) در جهت n از معادله زیر بدست می‌آید:

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

- ✓ تنش از تقسیم لنگر بر مدول مقطع بدست می‌آید:

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2}$$

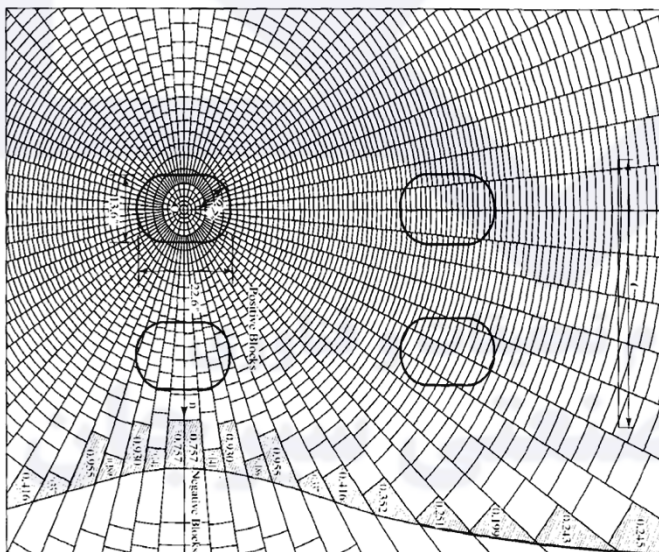
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

نمودار تأثیر برای تعیین لنگر



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

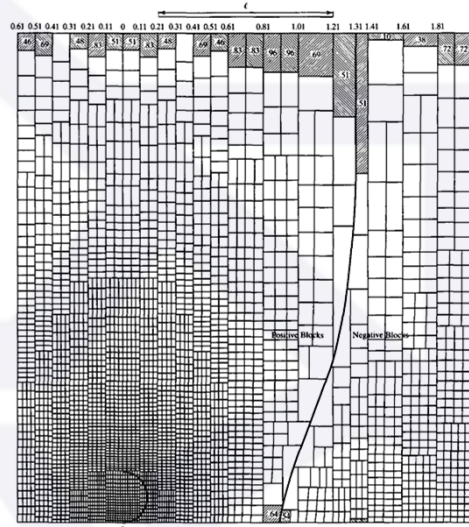
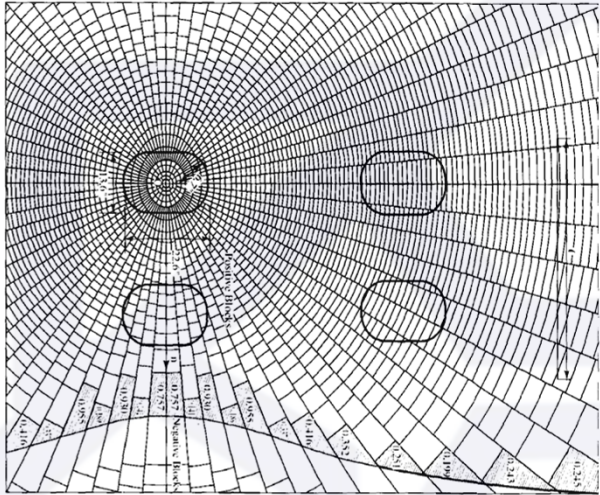
$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۰

نمودار تأثیر برای تعیین لنگر



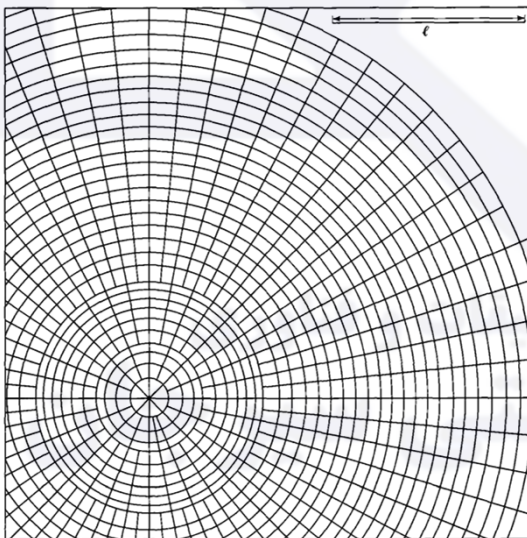
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

نمودار تأثیر برای تعیین نشست ناشی از بارگذاری در داخل دال



$$\Delta_i = \frac{0.0005q\ell^4 N}{D}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۲

مثال ۶



Same as Example 4.3. Determine the maximum stress and deflection due to interior loading by the influence charts shown in Figures 4.13 and 4.14.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۶



and from Eq. 4.32b,

$$\sigma_i = 6 \times 2416/100 = 145.0 \text{ psi (1.0 MPa), obtained in Example 4.3.}$$

which checks with the 143.7 psi (992 kPa)

The number of blocks for deflection is 16 and can be found from Figure 4.13.

From Eq. 4.34,

$$D = 4 \times 10^6 \times 10^3 / (12 \times 0.9775) = 3.41 \times 10^8 \text{ in.-lb (38.5 m-MN).}$$

From Eq. 4.33,

$$\Delta_i = 0.0005 \times 88.42 \times (42.97)^4 \times 16 / (3.41 \times 10^8) = 0.0071 \text{ in. (0.18 mm),}$$

which checks with the 0.0067 in. (0.17 mm) obtained in Example 4.3.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۴



مثال ۷

Same as Example 4.4. Determine the maximum stress and deflection due to the circular loaded area tangent to the pavement edge.

Solution:

By drawing a circle tangent to the edge at point O with a radius of 0.14ℓ , the number of blocks is 282 for moment and 46 for deflection.

Because the stress and deflection are proportional to N , from Example 4.6,
 $\sigma_e = 145.0 \times 282/148 = 276.3 \text{ psi (1.91 MPa)}$,

which checks with the 279.4 psi (1.93 MPa) obtained in Example 4.4, and

$\Delta_e = 0.0071 \times 46/16 = 0.0204 \text{ in (0.518 mm)}$.

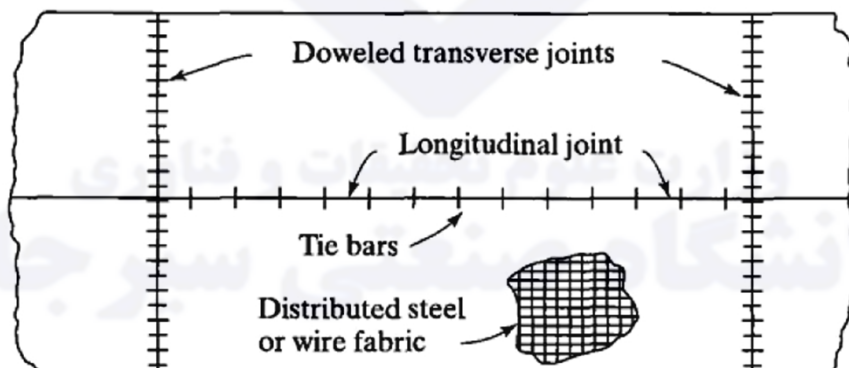
which checks with the 0.0207 in. (0.525 mm) in Example 4.4.

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir



تنش های ناشی از اصطکاک

- ✓ اصطکاک بین دال بتنی و پی باعث ایجاد تنش کششی در دال بتنی، آرماتورها و میلگردهای اتصال می شود.
- ✓ برای کنترل تنش اصطکاکی از میلگرد دوخت استفاده می شود.



تأثیر تغییر حجم بتن



تغییر حجم بتن که بدلیل تغییرات دما و رطوبت رخ می دهد دو اثر مهم بر بتن دارد:

- ✓ باعث ایجاد تنش کششی و ترک خوردگی می شود.
- ✓ باعث باز شدن درزها و کاهش عملکرد انتقال بار می شود.

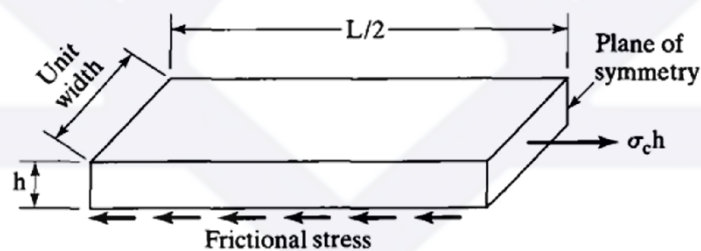
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش ناشی از اصطکاک در بتن



(a) Free Body Diagram



(b) Variation of Frictional Stress

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۸



تنش ناشی از اصطکاک در بتن

✓ دال تمایل به حرکت از دو انتها به سمت مرکز دارد که بستر از حرکت آن جلوگیری می‌کند و این موضوع باعث ایجاد تنش اصطکاک بین دال و بستر می‌شود.
 ✓ تنش کششی در بتن در وسط حداکثر است و با برابر قرار دادن نیروی اصطکاک در واحد عرض دال $\gamma_c h L f_a / 2$ با نیروی کششی $\sigma_c h$ بدست می‌آید.

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c L f_a}{2}$$

که در آن:

γ_c : وزن مخصوص بتن

L: طول دال

f_a : میانگین ضریب اصطکاک تقریباً برابر با 1.5

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

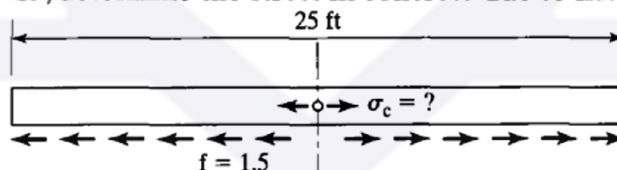
۴۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir



مثال ۸

Given a concrete pavement with a joint spacing of 25 ft (7.6 m) and a coefficient of friction of 1.5, as shown in Figure 4.19, determine the stress in concrete due to friction.



Solution: With $\gamma_c = 150 \text{ pcf} = 0.0868 \text{ pci} (23.6 \text{ kN/m}^3)$, $L = 25 \text{ ft} = 300 \text{ in.} (7.6 \text{ m})$, and $f_a = 1.5$, from Eq. 4.35, $\sigma_c = 0.0868 \times 300 \times 1.5/2 = 19.5 \text{ psi} (135 \text{ kPa})$.

The tensile strength of concrete ranges from $3\sqrt{f'_c}$ to $5\sqrt{f'_c}$, where f'_c is the compressive strength of concrete (Winter and Nilson, 1979). If $f'_c = 3000 \text{ psi} (13.8 \text{ MPa})$, the tensile strength is from 164 to 274 psi (1.13 to 1.89 MPa), which is much greater than the tensile stress of 19.5 psi (135 kPa). Therefore, it does not appear that joint spacings in plain concrete pavements are dictated by the concrete stress due to friction.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۰

باز شدگی درز



- ✓ فواصل درزها در روسازی بتنی ساده بیشتر وابسته به جمع شدگی است تا به تنش در بتن.
- ✓ باز شدگی درز باعث کاهش انتقال بار می‌شود
- ✓ باز شدگی درز بصورت تقریبی از رابطه زیر برابر:

$$\Delta L = CL(\alpha_t \Delta T + \epsilon)$$

in which ΔL is the joint opening caused by temperature change and drying shrinkage of concrete; α_t is the coefficient of thermal expansion of concrete, generally 5 to $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$ (9 to $10.8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$); ϵ is the drying shrinkage coefficient of concrete, approximately 0.5 to 2.5×10^{-4} ; L is the joint spacing or slab length; ΔT is the temperature range, which is the temperature at placement minus the lowest mean monthly temperature; and C is the adjustment factor due to slab-subbase friction, 0.65 for stabilized base and 0.8 for granular subbase.

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۹



Given $\Delta T = 60^\circ\text{F}$ (33°C), $\alpha_t = 5.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$ ($9.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), $\epsilon = 1.0 \times 10^{-4}$, $C = 0.65$, and the allowable joint openings for undoweled and doweled joints are 0.05 and 0.25 in. (1.3 and 6.4 mm), respectively, determine the maximum allowable joint spacing.

Solution: From Eq. 4.36, $L = \Delta L/[C(\alpha_t \Delta T + \epsilon)] = \Delta L/[0.65(5.5 \times 10^{-6} \times 60 + 0.0001)] = \Delta L/0.00028$. For the undoweled joint, $L = 0.05/0.00028 = 178.6$ in. = 14.9 ft (4.5 m). For the doweled joint, $L = 0.25/0.00028 = 892.9$ in. = 74.4 ft (22.7 m).

تنش در فولاد



در روسازی‌های بتنی از فولاد در موارد زیر استفاده می‌شود:

- ✓ مسلح کننده
- ✓ میلگرد دوخت
- ✓ میلگرد اتصال.

❖ طراحی آرماتورهای طولی و عرضی و میلگردهای دوخت مبتنی بر تنش ناشی از اصطکاک است.

❖ طراحی میلگردهای داول مبتنی بر تنش ناشی از اصطکاک نمی‌باشد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مسلح کننده ها (آرماتورها)



شبکه آرماتورها(مش) در دال برای کنترل ترک حرارتی استفاده می‌شود، این آرماتورها ظرفیت سازه ای دال را افزایش نمی‌دهند و به دو دلیل استفاده می‌شوند:

- ✓ افزایش فواصل درزها
- ✓ دوخت بتن ترک خورده و حفظ قفل و بست سنگدانه‌ها
- فرض بر این است که کل تنش کششی توسط آرماتور تحمل می‌شود، بنابراین داریم ،

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c L f_a}{2} \quad \longrightarrow \quad A_s = \frac{\gamma_c h L f_a}{2 f_s}$$

• که A_s مساحت فولاد مورد نیاز در واحد عرض و f_s تنش مجاز فولاد است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۴

مقاومت تسلیم و تنش مجاز در انواع فولاد



TABLE 4.1 Yield Strength and Allowable Stress for Steel

Type and grade of steel	Yield strength (psi)	Allowable stress (psi)
Billet steel, intermediate grade	40,000	27,000
Rail steel or hard grade of billet steel	50,000	33,000
Rail steel, special grade	60,000	40,000
Billet steel, 60,000 psi minimum yield	60,000	40,000
Cold drawn wire (smooth)	65,000	43,000
Cold drawn wire (deformed)	70,000	46,000

❖ تنش مجاز معمولاً دو سوم تنش تسلیم است

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

وزن و ابعاد میلگردهای استاندارد مسلح کننده



TABLE 4.2 Weights and Dimensions of Standard Reinforcing Bars

Bar size designation	Weight (lb/ft)	Nominal dimensions, round sections		
		Diameter (in.)	Cross-sectional area (in. ²)	Perimeter (in.)
No. 3	0.376	0.375	0.11	1.178
No. 4	0.668	0.500	0.20	1.571
No. 5	1.043	0.625	0.31	1.963
No. 6	1.502	0.750	0.44	2.356
No. 7	2.044	0.875	0.60	2.749
No. 8	2.670	1.000	0.79	3.142
No. 9	3.400	1.128	1.00	3.544
No. 10	4.303	1.270	1.27	3.990
No. 11	5.313	1.410	1.56	4.430

❖ وزن و ابعاد میلگردهای استاندارد مسلح کننده

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۶

وزن و ابعاد شبکه‌های جوشکاری شده



TABLE 4.3 Weights and Dimensions of Welded Wire Fabric

Wire size no.		Diameter (in.)	Weight lb/ft	Cross-sectional area (in. ² /ft) center-to-center spacing (in.)							
Smooth	Deformed			2	3	4	6	8	10	12	
W31	D31	0.628	1.054	1.86	1.24	.93	.62	.465	.372	.31	
W30	D30	0.618	1.020	1.80	1.20	.90	.60	.45	.36	.30	
W28	D28	0.597	.952	1.68	1.12	.84	.56	.42	.336	.28	
W26	D26	0.575	.934	1.56	1.04	.78	.52	.39	.312	.26	
W24	D24	0.553	.816	1.44	.96	.72	.48	.36	.288	.24	
W22	D22	0.529	.748	1.32	.88	.66	.44	.33	.264	.22	
W20	D20	0.504	.680	1.20	.80	.60	.40	.30	.24	.20	
W18	D18	0.478	.612	1.08	.72	.54	.36	.27	.216	.18	
W16	D16	0.451	.544	.96	.64	.48	.32	.24	.192	.16	
W14	D14	0.422	.476	.84	.56	.42	.28	.21	.168	.14	
W12	D12	0.390	.408	.72	.48	.36	.24	.18	.144	.12	
W11	D11	0.374	.374	.66	.44	.33	.22	.165	.132	.11	
W10.5		0.366	.357	.63	.42	.315	.21	.157	.126	.105	
W10	D10	0.356	.340	.60	.40	.30	.20	.15	.12	.10	
W9.5		0.348	.323	.57	.38	.285	.19	.142	.114	.095	
W9	D9	0.338	.306	.54	.36	.27	.18	.135	.108	.09	
W8.5		0.329	.289	.51	.34	.255	.17	.127	.102	.085	
W8	D8	0.319	.272	.48	.32	.24	.16	.12	.096	.08	
W7.5		0.309	.255	.45	.30	.225	.15	.112	.09	.075	
W7	D7	0.298	.238	.42	.28	.21	.14	.105	.084	.07	
W6.5		0.288	.221	.39	.26	.195	.13	.097	.078	.065	
W6	D6	0.276	.204	.36	.24	.18	.12	.09	.072	.06	
W5.5		0.264	.187	.33	.22	.165	.11	.082	.066	.055	
W5	D5	0.252	.170	.30	.20	.15	.10	.075	.06	.05	
W4.5		0.240	.153	.27	.18	.135	.09	.067	.054	.045	
W4	D4	0.225	.136	.24	.16	.12	.08	.06	.048	.04	

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

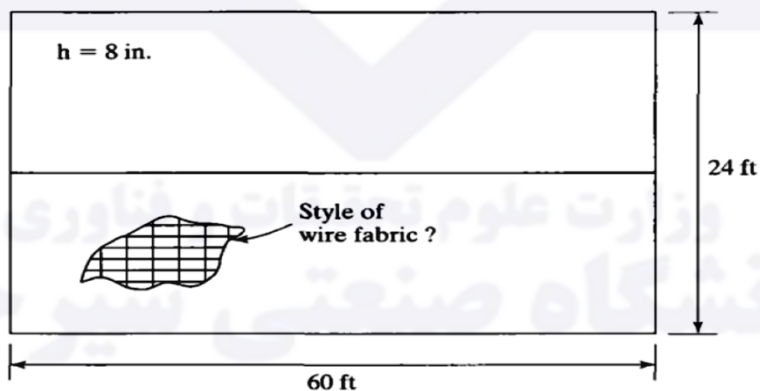
۵۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۱۰



Determine the wire fabric required for a two-lane concrete pavement, 8 in. (203 mm) thick, 60 ft (18.3 m) long, and 24 ft (7.3 m) wide, with a longitudinal joint at the center, as shown in Figure 4.20.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۸

حل مثال ۱۰



Solution: With $\gamma_c = 0.0868$ pci (23.6 kN/m^3), $h_c = 8$ in. (203 mm), $L = 60$ ft = 720 in. (18.3 m), $f_a = 1.5$, and $f_s = 43,000$ psi (297 MPa), from Eq. 4.37, the required longitudinal steel is $A_s = 0.0868 \times 8 \times 720 \times 1.5 / (2 \times 43,000) = 0.00872 \text{ in.}^2/\text{in.} = 0.105 \text{ in.}^2/\text{ft}$ ($222 \text{ mm}^2/\text{m}$). The required transverse steel is $A_s = 0.0868 \times 8 \times 24 \times 12 \times 1.5 / (2 \times 43,000) = 0.00349 \text{ in.}^2/\text{in.} = 0.042 \text{ in.}^2/\text{ft}$ ($88.9 \text{ mm}^2/\text{m}$). From Table 4.3, use $6 \times 12 - W5.5 \times W4.5$ with cross-sectional areas of 0.11 in.^2 (71 mm^2) for longitudinal wires and 0.045 in.^2 (29 mm^2) for transverse wires.

If the concrete pavement is used for a four-lane highway with all four slabs tied together at the three longitudinal joints, the transverse reinforcements in the two inside lanes should be doubled, because the length L in Eq. 4.37 should be 48 ft (14.6 m) instead of 24 ft (7.3 m).

If the concrete pavement is used for a four-lane highway with all four slabs tied together at the three longitudinal joints, the transverse reinforcements in the two inside lanes should be doubled, because the length L in Eq. 4.37 should be 48 ft (14.6 m) instead of 24 ft (7.3 m).

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

سطح مقطع میلگردهای دوخت



• میلگردهای دوخت در امتداد درز طولی به گونه ای قرار داده می‌شوند که انتقال بار در دو طرف درز با اطمینان صورت پذیرد. مقدار فولاد مورد نیاز میلگرد دوخت مشابه با آرماتور عرضی به دست می‌آید. داریم:

$$A_s = \frac{\gamma_c h L' f_a}{f_s}$$

• که در آن تنش مجاز فولاد، f_a ضریب اصطکاک دال و بستر، A_s سطح مقطع لازم در طول دال و L' فاصله درز طولی تا لبه آزاد است. این مقدار در راه با دو و سه خط عبور برابر با عرض عبور است. در راه با چهار خط عبور این مقدار برابر عرض باند برای باندهای خارجی و دوبرابر عرض باند در باند داخلی است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۰

سطح مقطع میلگردهای دوخت

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

طول میلگردهای دوخت

- ✓ طول میلگردهای دوخت با توجه به تنش چسبندگی مجاز تعیین می‌شود.
- ✓ تنش مجاز چسبندگی برابر با ۳۵۰ پوند بر اینچ مربع است.
- ✓ طول میلگرد باید مبتنی بر کل مقاومت میلگرد باشد
- ✓ داریم:

$$t = 2 \left(\frac{A_1 f_s}{\mu \Sigma O} \right)$$

که در آن t طول میلگرد دوخت، μ تنش مجاز چسبندگی، A_1 سطح مقطع یک میلگرد و ΣO محیط میلگرد است.

- ✓ برای یک میلگرد با قطر d داریم:

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{f_s d}{\mu} \right)$$

- ✓ طول t بعلت مشکلات اجرایی باید به مقدار ۳ اینچ اضافه گردد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

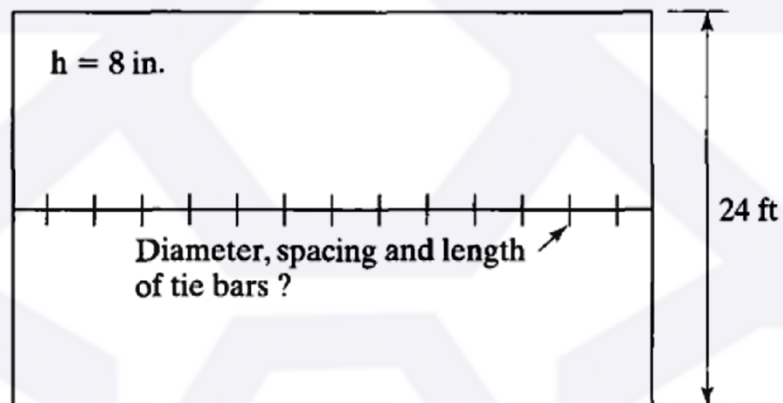
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۲

مثال ۱۱



Same pavement as Example 4.10. Determine the diameter, spacing, and length of the tie bars required, as shown in Figure 4.21.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۱۱



Solution: Assume $f_s = 27,000$ psi (186 MPa) for billet steel (see Table 4.1). With $L' = 12$ ft = 144 in. (3.66 m), from Eq. 4.38, $A_s = 0.0868 \times 8 \times 144 \times 1.5/27,000 = 0.00556$ in.²/in. If No. 4 (0.5 in. or 1.2 mm) bars are used, from Table 4.2, the cross-sectional area of one bar is 0.2 in.² (129 mm²). The spacing of the bar = $0.2/0.00556 = 36$ in. (914 mm).

Assume that $\mu = 350$ psi (24 MPa), from Eq. 4.40, $t = 0.5 \times 27,000 \times 0.5/350 = 19.3$ in. (353 mm). After adding 3 in. (76 mm), $t = 19.3 + 3 = 22.3$ in. (use 24 in. or 610 mm). The design selected is No. 4 deformed bars, 24 in. (610 mm) long and 3 ft (0.9 m) on centers.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۴

طراحی داول ها و درزه ها



- ✓ اگرچه طراحی داول ها و درزه ها تجربی می باشد، اما روشهای طراحی نیز موجود است.
- ✓ اندازه داولهای استفاده شده بستگی به ضخامت دال دارد.
- ✓ جدول صفحه بعد اندازه و طول داولها برای ضخامت های مختلف دال که توسط PCA ارائه شده است را نشان می دهد.
- ✓ در جدول مشاهده می شود که قطر داولها برابر یک هشتم ضخامت دال می باشد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

قطر و طول پیشنهادی برای داول بارها



TABLE 4.4 Recommended Dowel Size and Length

Slab thickness (in.)	Dowel diameter (in.)	Dowel length (in.)
5	$\frac{5}{8}$	12
6	$\frac{3}{4}$	14
7	$\frac{7}{8}$	14
8	1	14
9	$1\frac{1}{8}$	16
10	$1\frac{1}{4}$	18
11	$1\frac{3}{8}$	18
12	$1\frac{1}{2}$	20

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۶

طراحی میلگردهای اتصال



✓ میلگردهای اتصال در امتداد درز عرضی برای انتقال بار به دال کناری بکار می‌روند.

✓ تنش و کرنش در درز هنگامی که بار وارده توسط دو دال تقسیم می‌شود، بسیار کمتر از حالت تکی است.

✓ استفاده از میلگردهای اتصال فالتینگ و پمپینگ را که توسط انجمن سیمان پرتلند به عنوان پارامترهای اصلی طراحی ضخامت در نظر گرفته می‌شود را حداقل می‌کند.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش تکیه گاهی مجاز



✓ بدلیل ضعیف تر بودن بتن نسبت به فولاد، تنش تکیه گاهی بین میلگرد اتصال و بتن تعیین کننده اندازه و فاصله بین میلگردهای اتصال است.

✓ تنش تکیه گاهی مجاز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f_b = \left(\frac{4 - d}{3} \right) f'_c$$

✓ که در آن f_b تنش مجاز تکیه گاهی بر حسب psi و d قطر میلگرد اتصال بر حسب اینچ و f'_c مقاومت فشاری نهایی بتن است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

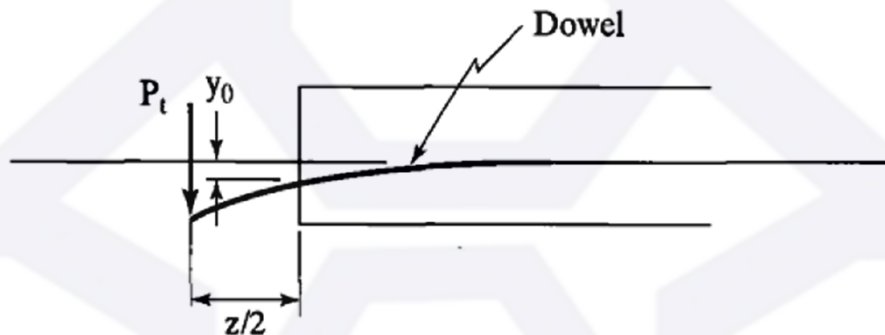
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۸

تنش تکیه گاهی در یک میلگرد اتصال



✓ اگر بار اعمال شده به یک میلگرد اتصال معلوم باشد، بصورت نظری بیشترین تنش تکیه گاهی را می توان با فرض میلگرد اتصال به عنوان تیر و بتن به عنوان پی وینکلر بدست آورد.



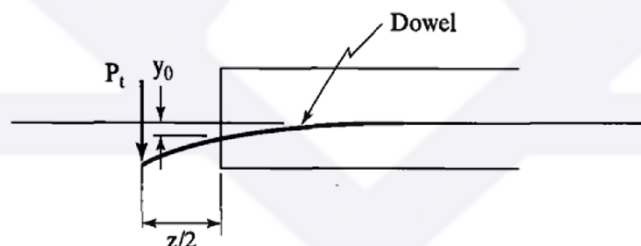
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

تنش تکیه گاهی در یک میلگرد اتصال



✓ با استفاده از حل تیموشنکو- فرایبرگ، بیشترین تغییر شکل بتن در زیر میلگرد اتصال برابر است با:

$$y_0 = \frac{P_t(2 + \beta z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

✓ که در آن Y_0 تغییر شکل داول در محل درزه، P_t بار روی یک داول، z عرض درز، E_d مدول یانگ میلگرد اتصال

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۰

تنش تکیه گاهی در یک میلگرد اتصال



$$y_0 = \frac{P_t(2 + \beta z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$I_d = \frac{1}{64} \pi d^4$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kd}{4E_d I_d}}$$

in which K is the modulus of dowel support, which ranges from 300,000 to 1,500,000 pci (81.5 to 409 GN/m³), and d is the diameter of dowel. The bearing stress σ_b is proportional to the deformation:

$$\sigma_b = K y_0 = \frac{K P_t(2 + \beta z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

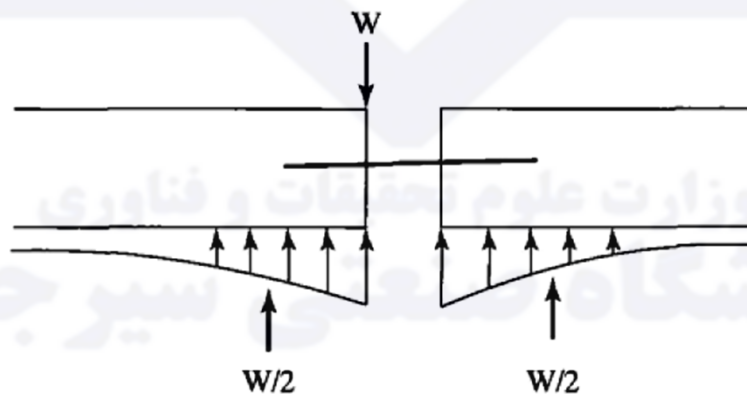
۷۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

عملکرد گروهی میلگردهای اتصال



وقتی بار w روی یک دال نزدیک به درز اعمال می شود، قسمتی از بار وارده توسط گروه میلگردهای اتصال به دال مجاور انتقال می یابد.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۲

عملکرد گروهی میلگردهای اتصال



✓ اگر میلگردهای اتصال کارایی مناسب داشته باشند، هر دو دال مجاور به یک اندازه نشست خواهند کرد که نیروی عکس العمل در زیر هر دال برابر با $0.5W$ است.

✓ بر اساس حل وسترگارد، فرایبرگ در سال ۱۹۴۰ نتیجه گرفت که بیشترین ممان منفی در بارگذاری داخلی و لبه در فاصله $1/8l$ از بار رخ می‌دهد که در آن l شعاع سختی نسبی است.

✓ برش در هر میلگرد اتصال با افزایش فاصله از نقطه بارگذاری کاهش می‌یابد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

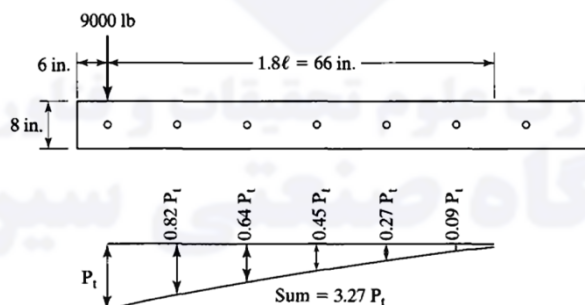
۷۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۱۲



Figure 4.24 shows a concrete pavement 8 in. (203 mm) thick having a joint width of 0.2 in. (5.1 mm), a modulus of subgrade reaction of 100 pci (27 kN/m³), and a modulus of dowel support of 1.5×10^6 pci (407 GN/m³). A load of 9000 lb (40 kN) is applied over the outermost dowel at a distance of 6 in. (152 mm) from the edge. The dowels are $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) in diameter and 12 in. (305 mm) on centers. Determine the maximum bearing stress between dowel and concrete.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۴

حل مثال ۱۲



Solution: From Eq. 4.10, $\ell = [4 \times 10^6 \times 512 / (12 \times 0.9775 \times 100)]^{0.25} = 36.35$ in. (427 mm). If the dowel directly under the load is subjected to a shear force P_i , the forces on the dowels within a distance of 1.8ℓ , or 66 in. (1.68 m), can be determined by assuming a straight-line variation, as shown in Figure 4.24. The sum of the forces on all dowels is $3.27P_i$, which must be equal to one-half of the applied load based on 100% joint efficiency, or $P_i = 4500/3.27 = 1376$ lb (6.1 kN). From Eq. 4.43, $I_d = \pi(0.75)^4/64 = 0.0155$ in.⁴ (6450 mm⁴). From Eq. 4.44, $\beta = [1.5 \times 10^6 \times 0.75 / (4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0155)]^{0.25} = 0.889$ in. (22.6 mm). From Eq. 4.45, $\sigma_b = 1.5 \times 10^6 \times 1376(2 + 0.889 \times 0.2) / (4 \times 0.703 \times 29 \times 10^6 \times 0.0155) = 3556$ psi (24.5 MPa). For a 3000-psi (20.7-MPa) concrete, the allowable bearing stress obtained from Eq. 4.41 is $f_b = (4 - 0.75) \times 3000/3 = 3250$ psi (22.4 MPa). Because the actual bearing stress is about 10% greater than the allowable, the design is not considered satisfactory.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

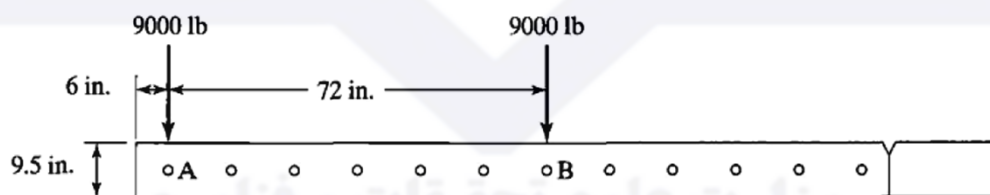
۷۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۱۳



Figure 4.25a shows a 9.5-in. (241-mm) slab resting on a foundation with $k = 50$ pci (13.6 MN/m³). Twelve dowels at 12 in. (305 mm) on centers are placed at the joint on the 12-ft



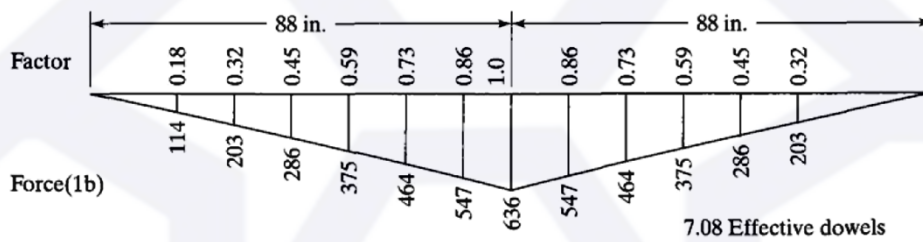
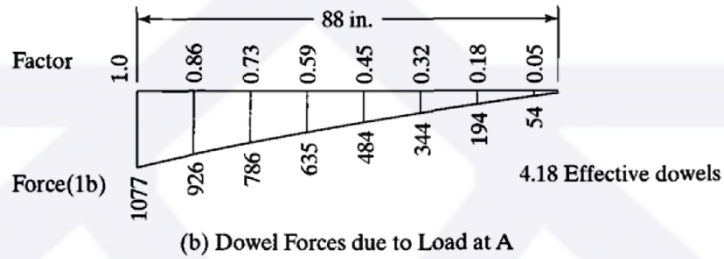
(a) Location of Loads and Dowels

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۶

حل مثال ۱۳



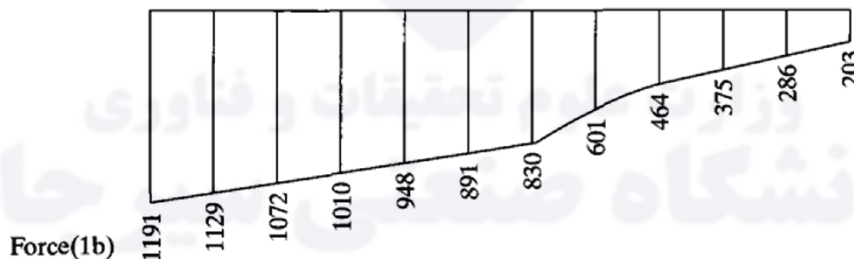
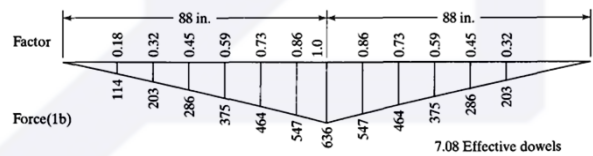
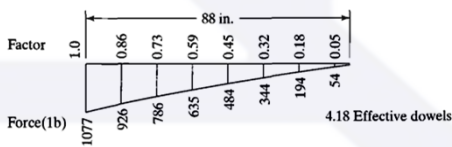
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

حل مثال ۱۳



(d) Dowel Forces due to Both Loads

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۸

حل مثال ۱۳



Solution: From Eq. 4.10, $\ell = [4 \times 10^6 \times (9.5)^3 / (12 \times 0.9775 \times 50)]^{0.25} = 49.17$ in. (1.25 m), so $1.8\ell = 88$ in. (2.24 m). First, consider the 9000-lb (40-kN) load at *A*. If the dowel at *A* has a load factor of 1, the load factors at other dowels can be determined from similar triangles, as shown in Figure 4.25*b*. The sum of these factors results in 4.18 effective dowels, so the load carried by the dowel at *A* is $4500/4.18$ or 1077 lb (4.8 kN). The loads carried by other dowels can be determined by proportion. Next, consider the 9000-lb (40-kN) load at *B*. If the dowel at *B* has a load factor of 1, the load factors at other dowels can be determined from the triangular distribution, as shown in Figure 4.25*c*. The sum of these factors results in 7.08 effective dowels. Note that the dowels on the other side of the longitudinal joint are not considered effective in carrying the load. The load carried by the dowel at *B* is $4500/7.08$ or 636 lb (2.8 kN), and those carried by other dowels can be determined by proportion. Figure 4.25*d* shows the forces on each dowel due to the combined effect of both loads. It can be seen that the dowel nearest to the pavement edge is the most critical and should be used for design purposes. The load carried by this dowel can be determined directly by $P_t = 4500/4.18 + 0.18 \times 4500/7.08 = 1191$ lb (5.3 kN).

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

طراحی درزه ها



درزها در بتن بایستی به گونه‌ای ایجاد شوند که ترک‌های ناشی از تغییر دما یا تغییرات رطوبت رخ ندهد.

چهار نوع درز داریم:

✓ درز انقباضی

✓ درز انبساطی

✓ درز اجرایی

✓ درز طولی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۰

درز انقباضی



✓ درزهای انقباض درزهایی عرضی هستند که برای آزادسازی تنش کششی بکار می‌روند.

✓ فواصل درزها بر اساس تجربه است و تغییر در نوع سنگدانه‌های درشت‌دانه باعث تغییر در ضریب انبساط حرارتی و در نتیجه تغییر فاصله درز مطلوب می‌شود.

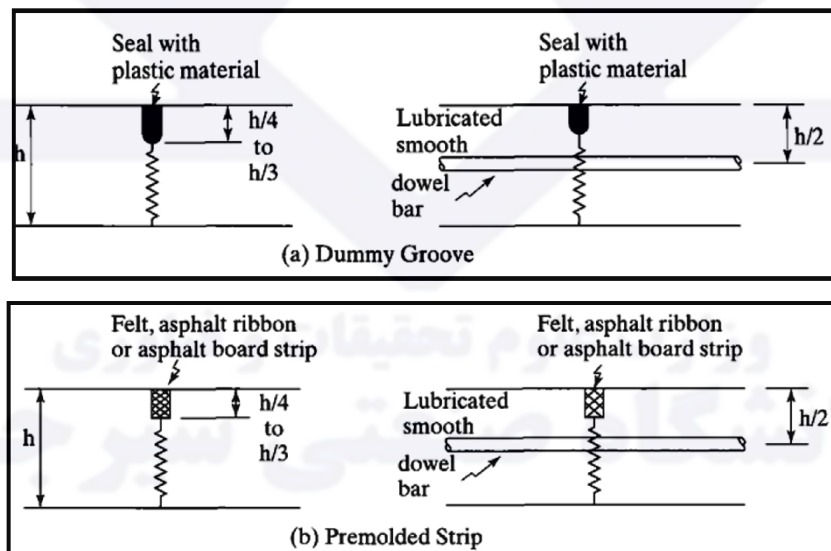
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

نحوه ساخت درزهای انقباضی

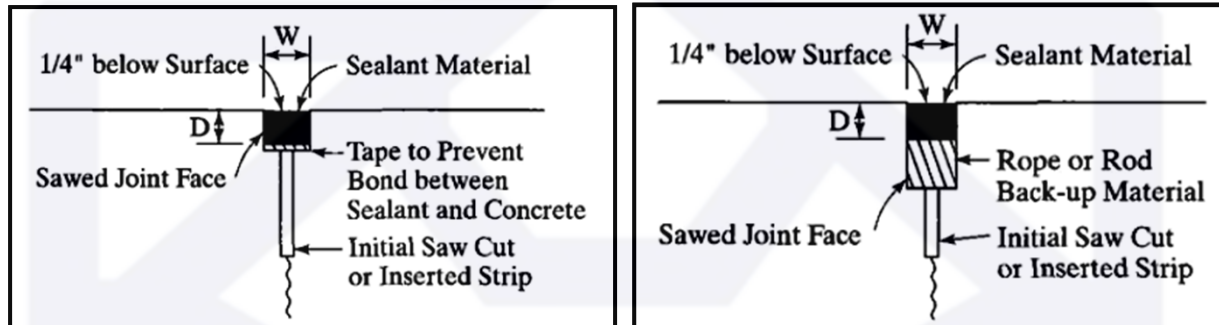


دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۲

طراحی جزئیات درز



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۳

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

طراحی جزئیات درز



TABLE 4.5 Reservoir Dimensions for Field-Molded Sealants

Joint spacing (ft)	Reservoir width (in.)	Reservoir depth (in.)
15 or less	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$ minimum
20	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$ minimum
30	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ minimum
40	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$

Note. 1 ft = 0.305 m, 1 in. = 25.4 mm.

Source. After PCA (1975).

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۴

طراحی جزئیات درز



TABLE 4.6 Joint and Sealant Width for Preformed Seals

Joint spacing (ft)	Joint width (in.)	Sealant width (in.)
20 or less	$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$
30	$\frac{3}{8}$	$\frac{5}{8}$
40	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{4}$
50	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$

Note. 1 ft = 0.305 m, 1 in. = 25.4 mm.

Source. After PCA (1975).

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۵

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

مثال ۱۴



A concrete pavement 15 ft (4.6 m) long is placed on a gravel subbase. If the joint width is $\frac{1}{4}$ in. (6.4 mm), the design temperature range ΔT is 100°F (55.6°C), the coefficient of thermal expansion α_t is $5 \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$ ($9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), and the drying shrinkage coefficient ϵ is 1.0×10^{-4} , determine the width of preformed sealant required.

Solution: From Eq. 4.36, the joint opening due to temperature change is $\Delta L = 0.65 \times 15 \times 12(0.000005 \times 100 + 0.0001) = 0.07$ in. (1.8 mm). Try $\frac{7}{16}$ or 0.4375 in. (11.1 mm) sealant installed in summer, so the joint would not be further compressed. Check maximum compression of sealant: $(0.4375 - 0.25)/0.4375 = 0.43 < 50\%$, OK. Check minimum compression of sealant: $(0.4375 - 0.25 - 0.07)/0.4375 = 0.27 > 20\%$, OK. Therefore, the use of $\frac{7}{16}$ in. (11.1 mm) sealant for a $\frac{1}{4}$ -in. (6.4-mm) joint is satisfactory, as shown in Table 4.6.

دانشگاه صنعتی سیرجان

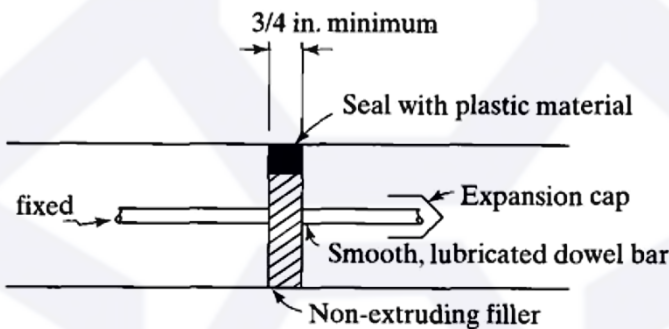
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۶

درز انبساط



- ✓ درزهای انبساطی درزهای عرضی برای آزادسازی تنش‌های فشاری هستند. بدلیل نگهداری مشکل و پدیده پمپینگ فقط در اتصال به سازه ای مانند پل استفاده می‌شود.
- ✓ حداقل عرض درز برابر با $\frac{3}{4}$ اینچ می‌باشد.



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

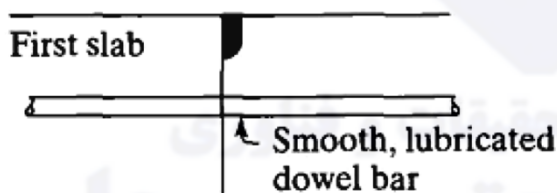
۸۷

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

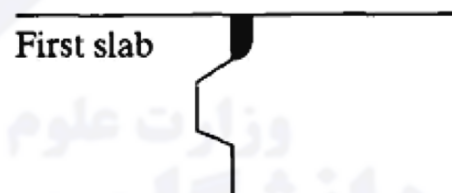
درز اجرایی



- در صورت امکان درز اجرایی عرضی بایستی منطبق بر محل درز انقباض باشد.
- در شکل a به شکل درز لب به لب نشان داده شده است.
- اگر بدلیل کار متوقف شود از درز کلید شکل استفاده میشود.



(a) Butt Joint at Contraction Joint.



(b) Key Joint for Emergency.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۸

درزهای طولی



- ✓ درزهای طولی در راه برای آزاد سازی تاب خوردگی دمایی و تاب خوردگی حرارتی استفاده میشوند.
- ✓ انواع مختلفی از درز بسته به اینکه باندها یکپارچه باشد یا مجزا (باند در زمان یا نیم باند) وجود دارد.
- ✓ برای اجرای درزهای طولی روشهای مختلفی وجود دارد.

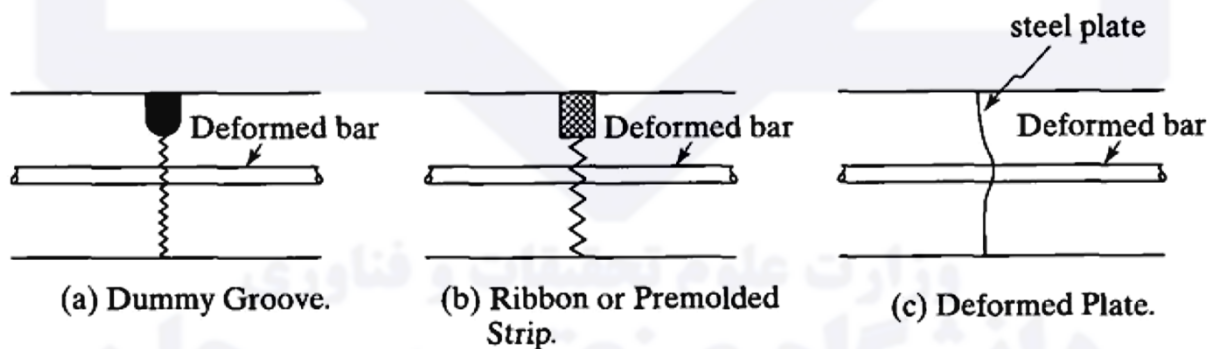
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸۹

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

نحوه اجرای درزهای طولی در صورت اجرای کل عرض

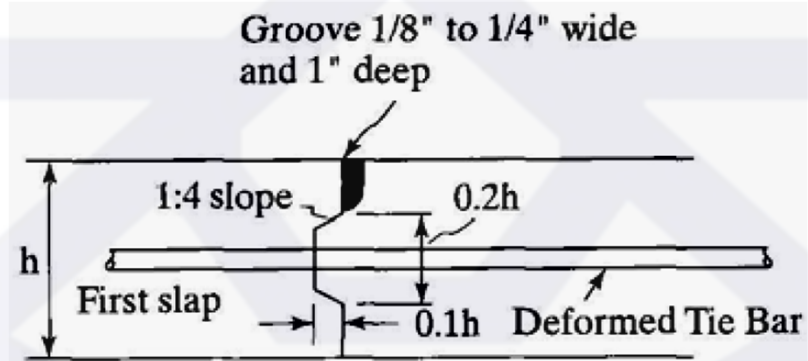


دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۹۰

نحوه اجرای درزهای طولی در صورتی که باندها به صورت جدا اجرا شوند



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۹۱

A.R. Ghanizadeh, ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان