

طراحی دال بتنی دهانه 4 متر همسطح راه

داده های ورودی :

| | | |
|--------------------|----------------|-----------------------------|
| N | 1 | تعداد دهانه |
| L_{net} | 4 m | طول دهانه مفید |
| L1 | 0.4 m | طول نشیمنگاه |
| b_{dck} | 9 m | عرض کل پل |
| t_s | 0.4 m | ضخامت دال |
| f_y | 4000 kg/cm^2 | مقاومت مشخصه فولاد |
| f_c | 250 kg/cm^2 | مقاومت مشخصه بتن در دال |
| f_{cg} | 280 kg/cm^2 | مقاومت مشخصه بتن در شاتیرها |
| γ_{conc} | 2.5 ton/m^3 | وزن مخصوص بتن |
| $\gamma_{asphalt}$ | 2.2 ton/m^3 | وزن مخصوص آسفالت |

فرضیات :

عرض عبورگاه برابر ۹ متر در نظر گرفته شده است.

طراحی دال بتن مسلح :

طول دهانه محاسباتی:

مطابق بند (۱۵-۲-۲) نشریه ۳۸۹، برابر حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می شود:

| | | |
|-------------|-----|--------------------------------|
| $L_{cal} =$ | 4.4 | • طول دهانه آزاد+ ضخامت دال : |
| $L_{cal} =$ | 4.4 | • فاصله محور تا محور تکیه گاه: |
| $L_{min} =$ | 4.4 | طول دهانه محاسباتی: |

تعیین عرض موثر دال :

برای تحلیل دال تحت اثر بار مرده و بار زنده کامیون از مدل تیر دو سر مفصل استفاده می شود. در این حالت عرض موثر دال برای توزیع بار چرخ کامیون مطابق نشریه ۳۸۹ و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E = 1.20 + 0.06 L_{cal} = 1.46 \text{ m}$$

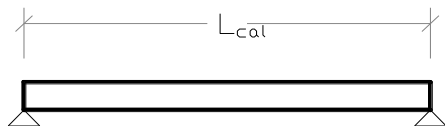
بار خط عبور در ۲ برابر عرض توزیع بار چرخ توزیع می شود:

$$2E = 2.93 \text{ m}$$

ضریب توزیع بار خط عبور برابر است با:

$$K = 1 \div 2E = 0.34$$

برای تحلیل دال و تعیین نیروهای حداکثر تحت اثر بارهای زنده تانک ارتشی و تریلی تانک بر از مدل سه بعدی برای مدل صفحه دال استفاده می شود. در این مدل طول دهانه دال برابر طول دهانه محاسباتی و عرض دال برابر ۹ متر لحاظ می شود.



بارگذاری : ۲ ۲
بار مرده : ۱ ۳ ۲

برای بارگذاری مرده دال بتنی از گزینه Selfweight نرم افزار استفاده شده است.

بار مرده روسازی اعمالی روی دال:

مطابق آشتو: در پلهای همسطح چنانچه ارتفاع خاکریزی و روسازی انعطاف پذیر روی دال پل تا ۶۰ سانتیمتر باشد، توزیع بار زنده روی دال مشابه توزیع بار متمرکز روی دال بوده و پخش بار متمرکز چرخ صورت نمی گیرد. لذا در پل همسطح در جهت اطمینان در طراحی دال، بار ۶۰ سانت خاکریز روی دال لحاظ می شود :

$$\begin{aligned} 2 \text{ ton/m}^3 &= \text{وزن مخصوص مصالح خاکریز} \\ 1 \text{ ton/m}^2 &= \gamma \times 0.5 = \text{بار مرده خاکریز ۵۰ سانت} \\ 2.2 \text{ ton/m}^3 &= \text{وزن مخصوص آسفالت} \\ 0.22 \text{ ton/m}^2 &= \gamma \times 0.1 = \text{بار مرده آسفالت ۱۰ سانت} \\ \hline 1.22 \text{ ton/m}^2 &= \text{بار مرده روی دال (DL1)} \end{aligned}$$

ولی با توجه به اینکه در برخی موارد کل ضخامت روسازی روی دال پل اجرا نمی شود. بار مرده تنها برای یک لایه اساس ۱۵ سانتی و ۱۰ سانتی متر آسفالت به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} 0.3 \text{ ton/m}^2 &= \gamma \times 0.15 = \text{بار مرده خاکریز ۱۵ سانت} \\ 0.22 \text{ ton/m}^2 &= \gamma \times 0.1 = \text{بار مرده آسفالت ۱۰ سانت} \\ \hline 0.52 \text{ ton/m}^2 &= \text{بار مرده روی دال (DL2)} \end{aligned}$$

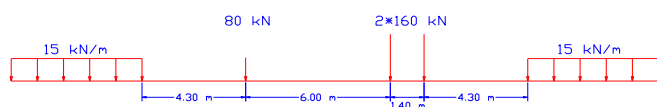
برای هر دو بار مرده فوق مقدار آرماتور محاسباتی دال محاسبه خواهد شد.

بار زنده : ۲ ۳ ۲

بارگذاری زنده، شامل سه نوع بار زنده به شرح زیر میباشد.

بار نوع اول : Mov1 ۱ ۲ ۳ ۲

این بارگذاری که بارگذاری کامیون ۴۰ تن عادی نامیده میشود، به شرح زیر میباشد.



بار نوع دوم : Mov2 ۲ ۲ ۳ ۲

این بار معادل ۸۰ کیلو نیوتن است که سطح اثر آن مربعی به ابعاد ۳۰ سانتی متر فرض می شود.

بار نوع سوم : ۳ ۲ ۳ ۲

این نوع بار شامل بار تانک و بار تریلی تانک بر میشود.

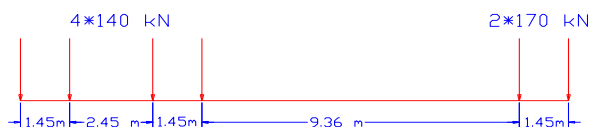
بار تانک : Mov3

این بار به میزان ۷۰۰ کیلو نیوتن روی دو زنجیر به ابعاد ۱ متر در ۳/۵ متر می باشد. با توجه به طول دهانه، یک

تانک در طول پل قرار داده می شود.

بار تریلی تانک بر : Mov4

در طول پل حداکثر دو دستگاه تریلی تانک بر با حداقل فاصله بین چرخ های متوالی ۱۲ متر قرار داده می شود.



۴ ۲

ترکیب بارهای طراحی دال بتن مسلح:

ترکیب بارگذاری بر اساس ترکیبات بارگذاری جدول ۳-۵-۱۰ نشریه ۳۸۹ و ضرایب بار به شرح زیر می باشد:

$$(الف) \quad 1.25(DL+1.30(LL+I))$$

| | | |
|-----------|----|----------|
| DEAD LOAD | DL | بار مرده |
| LIVE LOAD | LL | بار زنده |

برای محاسبه تلاشهای برشی و خمشی بار زنده در ضریب زیر ضرب می شود.

$$1.278 = 1.3 - 0.005L - 0.15h = \text{ضریب ضربه}$$

این ضریب برای محاسبه نیروهای دال در بار زنده نوع اول در نظر گرفته می شود.

توزیع بار تانک و تریلی تانک بر روی دال:

مطابق بند (۲-۲) برای تعیین نیروهای داخلی ناشی از بار تانک و تریلی تانک بر که تنها در یک خط عبور اعمال می شوند، و بار نوع ۲، از مدلسازی سه بعدی با المان shell استفاده شده و نتایج به شرح زیر می باشد:

Moment:

| | | |
|-------|------|-----|
| Mov2= | 5.6 | t.m |
| Mov3= | 11.9 | t.m |
| Mov4= | 8.4 | t.m |

ماکزیمم لنگر ناشی از بار تانک و تریلی تانک بر و بار نوع ۲ در دهانه محاسباتی (بدون توزیع بار):

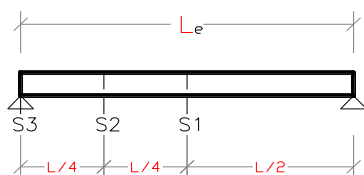
Moment:

| | | |
|-------|------------|-------|
| Mov2= | 8.7 | t.m |
| Mov3= | 45.5 | t.m |
| Mov4= | 25.68 | t.m |
| K2= | 5.6/8.7= | 0.644 |
| K3= | 11.9/45.5= | 0.262 |
| K4= | 8.4/25.68= | 0.327 |

ضریب توزیع بار نوع ۲:

ضریب توزیع بار تریلی تانک بر:

ضریب توزیع بار تانک:



نتایج تحلیل و طراحی اجزای سازه ای

۳

| Sec. | Moment (t.m) | | | | | Shear (ton) | | | | |
|------|--------------|-------|------|-------|------|-------------|-------|------|-------|------|
| | DL1 | Mov1 | Mov2 | Mov3 | Mov4 | DL1 | Mov1 | Mov2 | Mov3 | Mov4 |
| S1 | 4.87 | 10.66 | 5.6 | 11.92 | 8.4 | 0 | 4.71 | 2.57 | 2.85 | 3.7 |
| S2 | 3.66 | 8.91 | 4.2 | 8.94 | 7.05 | 2.24 | 8.2 | 3.86 | 6.4 | 6.48 |
| S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.48 | 11.68 | 5.15 | 10.96 | 9.26 |

۱ ۳ طراحی خمشی دال:

$ts = 40 \text{ cm}$ ضخامت دال:
 $d = 33 \text{ cm}$ ارتفاع موثر دال
 $b = 100 \text{ cm}$ عرض واحد طراحی:
 $ML(max) = 11.92 \text{ t.m}$ ماکزیمم لنگر بار زنده:
 $M_U = 25.46 \text{ t.m}$

$$A_s = \frac{0.85 f_{cd} b d}{f_{yd}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{0.85 f_{cd} b d^2}} \right]$$

 $A_{s(req)} = 25.3 \text{ cm}^2$ محاسبه آرماتور خمشی اصلی:

$$\rho_{min} = 0.14 \left(\frac{h}{d} \right)^2 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$$
 کنترل آرماتور حداقل خمشی :
 مطابق بند (۱۱-۲) نشریه ۳۸۹:

$A_s(min) = 8.48 \text{ cm}^2/m < A_s(req) \quad ok.$

$TAKE : \quad \Phi 22 \quad @ \quad 15 \quad A_s = 25.3 \text{ cm}^2/m$

آرماتورهای توزیع:

مطابق بند ۱۵-۲-۲ نشریه ۳۸۹، مقدار آرماتور توزیع برابر است با:

$R = 55 / \sqrt{L_{cal}} < 50\%$
 $R = 26.2 \longrightarrow A_s = 6.63 \text{ cm}^2/m$
 $TAKE : \quad \Phi 14 \quad @ \quad 23 \quad A_s = 6.7 \text{ cm}^2/m$

آرماتور افت و حرارت :

$b = 100 \text{ cm}$
 $h = 40 \text{ cm}$
 $A_s = 0.0018 \times b \times h = 7.2 \text{ cm}^2/m \longrightarrow A_s = 3.6 \text{ cm}^2/m$
 از آرماتورهای اودکا (خم ۴۵ درجه) آرماتورهای کششی بصورت یک در میان بعنوان آرماتور برشی استفاده می کنیم.
 مقدار نیروی برشی میلگردهای مایل مطابق بند (۱۲-۴-۳) آیین نامه آبا از رابطه زیر بدست می آید. که مقدار آن نباید بیشتر از
 مقدار $1.50 v_c b_w d$ در نظر گرفته شود.
 $TAKE : \quad \Phi 12 \quad @ \quad 30 \quad A_s = 3.8 \text{ cm}^2/m$

۲ ۳ طراحی برشی دال:

$VL(max) = 11.68 \text{ ton}$ ماکزیمم برش بار زنده:
 $V_U = 1.25 V_D + 1.625 V_L = 24.6 \text{ ton}$
 $v_c = 0.2 \times \Phi_c \times \sqrt{f'_c} \text{ (N/mm}^2\text{)}$
 $v_c = 5.98 \text{ kg/cm}^2$
 $V_C = v_c \times A_V = 19.7 \text{ ton}$
 $V_s = V_U - V_C = 4.9 \text{ ton}$

از آرماتورهای اودکا (خم ۴۵ درجه) آرماتورهای کششی بصورت یک در میان بعنوان آرماتور برشی استفاده می کنیم.
 مقدار نیروی برشی میلگردهای مایل مطابق بند (۱۲-۴-۳) آیین نامه آبا از رابطه زیر بدست می آید. که مقدار آن نباید بیشتر از
 مقدار $1.50 v_c b_w d$ در نظر گرفته شود.

$V_s = \phi_s \cdot A_v \cdot f_y \cdot \sin \Theta$
 $V_s = 22.8 \text{ ton} > 4.9 \quad ok.$
 $1.50 v_c b_w d = 29.58 \text{ ton}$
 $\Theta = 45 \text{ deg}$

کنترل ضوابط بهره برداری : ۴
کنترل خیز : ۱ ۴

$$E = 5000\sqrt{f_c} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$E_c = 246658 \text{ kg / cm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ kg / cm}^2$$

$$n = 8.11$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f_c}$$

$$f_r = 30.0 \text{ kg / cm}^2$$

$$\xi = 2.0$$

مقدار خیز بدست آمده از تحلیل کامپیوتری (با I_g) برای بارهای بدون ضریب برابر است با :

$$\Delta_{0D} = 1.10 \text{ mm}$$

$$\Delta_{0L} = 2.21 \text{ mm}$$

مقدار لنگر بدون ضریب در محل خیز حداکثر برابر است با :

$$M_D = 4.87$$

$$M_L = 10.7$$

$$M_a = 15.5$$

آرماتورهای استفاده شده :

$$d = 33.0 \text{ cm}$$

$$A'_s = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

آرماتور در وجه بالایی دال

$$A''_s = 25.3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

آرماتور در وجه پایینی دال

محاسبه مشخصات مقاطع :

مشخصات مربوط به مقطع دال :

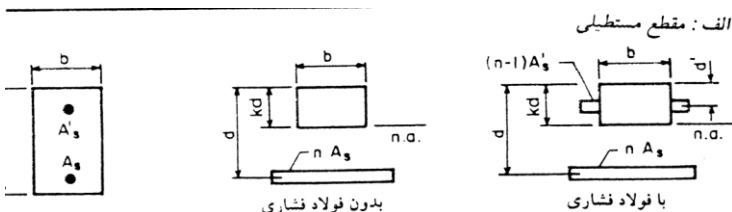
$$(I_g) = 5.33E+05 \text{ cm}^4$$

$$(y_t) = 20.0 \text{ cm}$$

$$(M_{cr}) = 8.0 \quad t.m$$

لنگر ترک خوردگی مقطع:

ممان اینرسی مقطع ترک خورده:



$$B = b/(nA_s) \quad r = (n-1)A'_s/(nA_s) \quad I_g = bh^3/12$$

$$kd = (\sqrt{2dB + 1} - 1)/B$$

$$I_{ct} = bk^3d^3/3 + nA_s(d - kd)^2$$

بدون فولاد فشاری

$$kd = [\sqrt{2dB(1 + rd'/d) + (1 + r)^2} - (1 + r)]/B$$

$$I_{ct} = bk^3d^3/3 + nA_s(d - kd)^2 + (n-1)A'_s(kd - d')^2$$

با فولاد فشاری

$$B = 0.49$$

$$kd = 9.77E+00$$

$$I_{ct} = 1.42E+05 \quad cm^4$$

$$I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr}) \times \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \leq I_g$$

محاسبه ممان اینرسی موثر:

$$(I_e) = 1.95E+05 \quad cm^4$$

مقدار خیز آنی بار مرده بر مبنای ممان موثر به صورت زیر تصحیح می شود:

$$\Delta_D = \Delta_{0D} \times (I_g/I_e) = 3.0 \quad mm$$

خیز دراز مدت ناشی از بار مرده:

مقدار خیز اضافی ایجاد شده در طول زمان را که در اصطلاح اضافه افتادگی دراز مدت نامیده می شود، می توان از حاصلضرب افتادگی

آنی ناشی از بار مرده در ضریب λ بدست آورد. مقدار λ از رابطه زیر بدست می آید:

$$\lambda = \xi / (1 + 50 \times \rho')$$

$$\rho' = A'_s / b \times d = 0.0011$$

$$\lambda = 1.89$$

مقدار λ برای تیر دو سر مفصل در جهت اطمینان ۲ در نظر گرفته شده است.

خیز دراز مدت ناشی از بار مرده:

$$\Delta'D = 2 \times \Delta_D = 6.0 \quad mm$$

خیز آنی ناشی از بار زنده:

$$\Delta_L = \Delta_{0L} \times (I_g/I_e) = 6.0 \quad mm < 1/1000 + 5 = 9.4 \quad mm$$

O.K

خیز منفی با توجه به خیز دراز مدت ناشی از بار مرده انتخاب می شود که نحوه اعمال آن به صورت سهمی خواهد بود:

$$\Delta = 6 \quad mm$$

لیکن با توجه به مقدار اندک خیز دراز مدت اعمال آن در قالب بندی ضروری نیست.

کنترل عرض ترک : ۲ ۴

$$\begin{aligned} s &= 150 \text{ mm} && \text{فاصله آرماتورها :} \\ d_c &= 50 \text{ mm} \\ A &= 2.s.d_c \\ A &= 15000.0 \text{ mm}^2 \\ f_s &= 240.0 \text{ N/mm}^2 \\ w &= 13 \times 10^{-6} \times f_s \sqrt[3]{d_c} A \\ w &= 0.28 \text{ mm} < w_{all} = 0.3 \end{aligned}$$

محاسبه آرماتورهای دال با فرض بار مرده DL2 مطابق بند (2-3-1): ۵

M (DL2)= 3.22 t.m/m آرماتورهای خمشی: ۱ ۵

Mu= 23.40 t.m/m

ts= 40 cm ضخامت دال:

d= 33 cm ارتفاع موثر دال

b= 100 cm عرض واحد طراحی:

As(req)= 23.0 cm² محاسبه آرماتور خمشی اصلی:

As(min)= 8.48 cm²/m < As(req) ok.

TAKE : Φ 22 @ 16 As = 23.7 cm²/m

آرماتورهای توزیع:

مطابق بند ۱۵-۳-۲، نشریه ۳۸۹، مقدار آرماتور توزیع برابر است با:

R=55/√(Lcal) < 50%

R= 26.2 → As= 6.03 cm²/m

TAKE : Φ 14 @ 23 As = 6.7 cm²/m

طراحی برشی دال: ۲ ۵

V (DL2)= 2.96 ton

V_U = 1.25 V_D + 1.625 V_L = 22.7 ton

(N/mm²)

v_c = 0.2 × Φ_c × √f_c

v_c = 5.98 kg/cm²

V_C = v_c × A_V = 19.7 ton

V_s = V_U - V_C = 3.0 ton

از آرماتورهای اودکا (خم ۴۵ درجه) آرماتورهای کششی بصورت یک در میان بعنوان آرماتور برشی استفاده می کنیم.

مقدار نیروی برشی میلگردهای مایل مطابق بند (۱۲-۴-۳) آیین نامه آبا از رابطه زیر بدست می آید. که مقدار آن نباید بیشتر از

مقدار 1.50 v_c b_w d در نظر گرفته شود.

V_s = Φ_s.A_v.f_y.sinΘ Θ= 45 deg

V_s = 21.4 ton > 3 ok.

1.50 v_c b_w d = 29.58 ton