فصل دهم : ۱۰

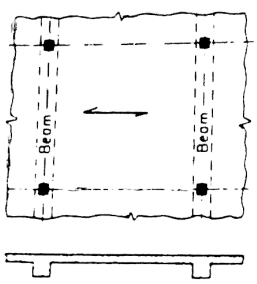
دالها

- ☑ انواع دالها
- ☑ دالهای یک طرفه
- ☑ حداقل درصد میلگرد های حرارتی
- ☑ سقف تیرچه بلوک
- ☑ کلاف عرضی
- ☑ دالهای دو طرفه
- ☑ تعیین ممان های خمشی و برشی ماکزیمم در دالها
- ☑ روش طراحی مستقیم
- ☑ دال تخت

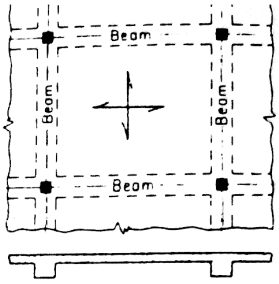
دالها

* دالها به صفحات بتن مسلح اطلاق می شوند که برای پوشش سقفها به کار می روند. این صفحات بار سقفها را به تیر یا به ستونها منتقل می نمایند.

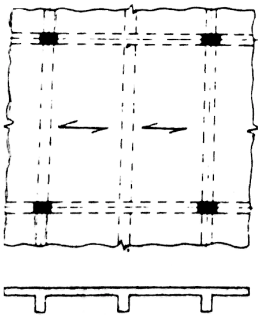
* دالها ممکن است مطابق شکل ۱ (الف) به تیرهای دو طرف تکیه داشته باشند در این صورت بار وارده فقط در یک جهت (عمود بر امتداد تکیه گاهها) حمل می شود. این نوع دالها را دالهای یکطرفه می گویند .



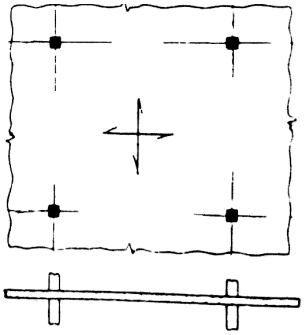
(الف) دال یکطرفه



(ب) دال دوطرفه



(پ) دال یکطرفه با تکیه‌گاه در چهار طرف



(ت) دال تخت

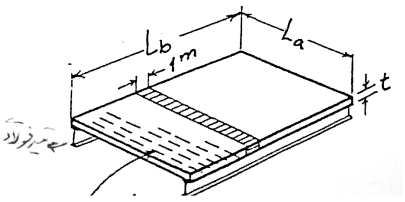
* اگر در زیر چهار بعد دال تکیه گاه موجود باشد باروارده بهر چهار تکیه گاه منتقل می شود. البته مقدار باری که به وسیله هر تیر حمل می شود بستگی به طول و عرض دال دارد. اگر طول دال کمتر از دو برابر عرض آن باشد ، می توان فرض نمود که دال دو طرفه است . یعنی بار وارده به وسیله هر چهار تکیه گاه حمل می شود مطابق شکل ۲ (ب).
در شکل ۳ (پ) با آنکه دال در اطراف روی تیرها قرار دارد . اما چون طول دال از عرض آن به اندازه قابل ملاحظه ای بیشتر است . (نسبت طول به عرض بیشتر از ۲) ، سهم انتقال بار در جهت طولی دال در مقایسه با سهم باری که در جهت عرضی آن منتقل می گردد ناچیز است و می توان از آن صرفنظر نمود . این نوع دالها را دال های یکطرفه می گویند.

* در دال نشان داده شده در شکل ۴ (ت) بار مستقیما" به ستونها منتقل می شود . این نوع دالها را دالهای تخت می گویند.

* در دالها فولاد گذاری به موازات سطوح و در دو جهت به عمل می آید و به علت محدود بودن ضخامت آنها اساسا " خاموت گذاری نمی شوند و ضخامت دالها به اندازه ای در نظر گرفته می شود که نیاز به خاموت نباشد.

دالهای یکطرفه :

نسبت طول به عرض بزرگتر از ۲ $\left(\frac{L_b}{L_a} \geq 2\right)$

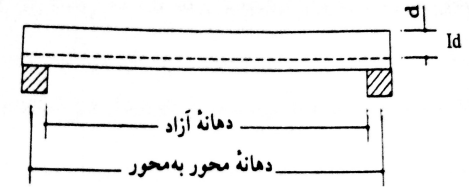


میلگرد اصلی

* در این دالها بار در یک جهت منتقل می شوند.

* برای آنالیز و طراحی این دالها مانند مجموعه ای از تیرهای عرضی متصل به یکدیگر در نظر گرفته می شوند. به عبارت دیگر در جهت عرضی دال ، نواری به عرض واحد طول در نظر گرفته می شود.

* در این روش پیوستگی نوارهای عرضی دال در نظر گرفته نمی شود که این عمل در آنالیز و طراحی محافظه کارانه است و در جهت ضریب اطمینان می باشد.



* تعیین ممان خمشی در نقاط مختلف دال همانند تیرها می باشد.برای دهانه ساده ، طول دهانه محاسباتی مساوی فاصله محور به محور تکیه گاه و یا دهانه آزاد دال به علاوه ارتفاع موثر (d) هر کدام که کوچکترند در نظر گرفته می شود.

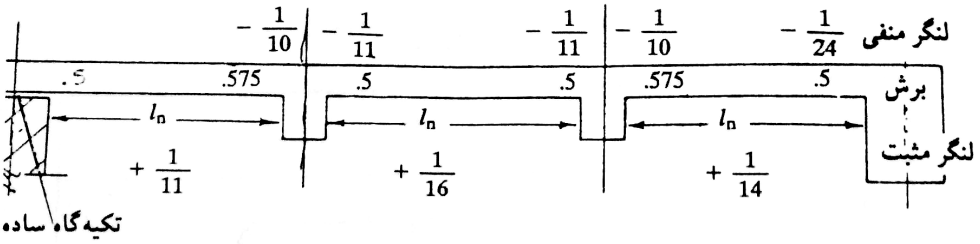
* در دالهای یکسره ، دهانه محاسباتی فاصله محور به محور در نظر رفته می شود لیکن ممان منفی ماکزییمم در بر تکیه گاه منظور می شود.

* در دهانه های یکسره در صورتیکه اختلاف طول دو دهانه مجاور از ۲۰٪ دهانه کوچکتر تجاوز نکند می توان از ضرایب نشان داده شده در شکل ۷ استفاده نمود .

$$M_U = \alpha W_U L_n^2 \qquad V_U = \beta W_U L_n$$

* L_N دهانه آزاد برای ممان مثبت و متوسط دهانه آزاد دو طرف برای ممان منفی.

* در صورتیکه دهانه آزاد L_N کمتر از 3 m باشد ضریب تمام ممانهای منفی $\frac{1}{12}$ خواهد بود.



* برای ممانهای منفی هیچگونه کاهشی نباید انجام گیرد.

* در محاسبات خمشی دال یکطرفه ، نسبت فولاد کششی کمتر از ρ_b (ترجیحاً نصف) اختیار می شود و به عبارتی ضخامت دال طوری اختیار می شود که نیاز به میلگرد فشاری نباشد . همچنین ضخامت دال باید طوری انتخاب شود که نیاز به خاموت نباشد.

* حداقل ضخامت دال مطابق جدول زیر می باشد.

کنسولی	دو انتهای یکسره	یک انتها یکسره	دهانه ساده
L / 10	L/28	L/24	L/20

* جدول فوق برای فولاد با مقاومت تسلیم $f_y = 400\ N/mm^2$ می باشد.

برای سایر مقاومتهای تسلیم ، ضرایب باید در $0.4 + \frac{F_Y}{670}$ ضرب شود.

* قشر بتن محافظ روی میلگردها ، درشرایطی که دال با محیط خارجی تماس ندارد $d\sim 25\text{-}30\ mm$ کافی می باشد.

* فاصله مرکز به مرکز میلگرد ها حداکثر مساوی ۳ برابر ضخامت دال یا $350\ mm$ هر کدام که کوچکتر باشند و در هیچ شرایطی فاصله آزاد بین میلگردها نباید از قطر میلگرد یا 1.33 برابر قطر اسمی بزرگترین سنگدانه و یا $25\ mm$ کمتر باشد.

* در نتیجه پدیده انقباض و کاهش درجه حرارت بتن تمایل به جمع شدن طول پیدا می کند و به علت یکپارچگی دال با تیرهای تکیه گاهی و در نتیجه وجود مانع در مقابل کاهش طول ؤ تنش کششی به وجود می آید و در نتیجه احتمال ایجاد ترک لذا لازم است در امتداد عمود بر میلگرد اصلی (در امتداد طولی دال) میلگردهایی برای مقابله با جمع شدگی (انقباض) و تغییرات درجه حرارت منظور نمود . این میلگردها را میلگردهای حرارتی می گویند.

* حداقل درصد میلگردهای حرارتی طبق آیین نامه آبا

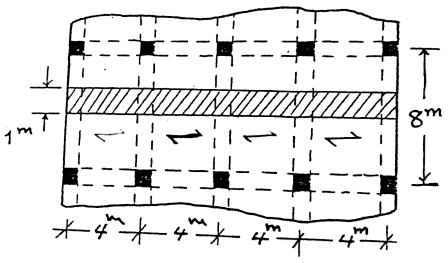
برای f_y کوچکتر از $400\ N/mm^2$ ⟵ $\rho = 0.002$

$A_s = 0.002\ bh$

برای f_y مساوی $400\ N/mm^2$ ⟵ $\rho = 0.0018$

$A_s = 0.0018\ bh$

مثال : مطلوبست طراحی دالهای یکطرفه نشان داده شده در تصویر زیر :



$DL = 15\ KN/m^2$
$LL = 7\ KN/m^2$
$F_C = 25\ N/mm^2$
$f_y = 350\ N/mm^2$
عرض تیرها برابر 400 mm است.

حل :

ابتدا از نوار طراحی به عرض 1m را رسم می کنیم و ممانهای مثبت و منفی را با استفاده از ضرایب ممان به دست می آوریم.

طول آزاد دهانه برابر است با :

$L_n = 4000 - 400 = 3600\ mm$

$W_U = 1.25\ (15) + 1.5(\ 7) = 29.25\ \ KN/m^2$

$W_U = 29.25\ (1) = 29.25\ \ KN.m$

در ازای هر واحد طولی محاسبه ممان ماکزیمم مثبت

$$M_u^+ = \frac{W_U L^2{}_n}{14} = \frac{29.25\ (3.6)^2}{14} \quad \Rightarrow \quad M_u^+ = 27.1\ \ KN.m$$

محاسبه ممان منفی کناری و ماکزیمم میانی :

$$M_u^- = \frac{W_U L^2{}_n}{24} = \frac{29.25\ (3.6)^2}{24} \quad \Rightarrow \quad M_u^- = 15.8\ \ KN.m \quad (\text{ ممان در تکیه گاه کناری })$$

$$M_u^- = \frac{W_U L^2{}_n}{10} = \frac{29.25\ (3.6)^2}{10} \quad \Rightarrow \quad M_u^- = 38\ \ KN.m \quad (\text{ ممان در تکیه گاه میانی })$$

ضخامت دال

حداقل ضخامت

برای دهانه کناری ⟵ $t = [\ L\ /24] \times 0.92 = [\ 4000\ /24] \times 0.92 = 153\ mm$

برای دهانه میانی ⟵ $t = [\ L\ /28] \times 0.92 = [\ 4000\ /\ 28] \times 0.92 = 131\ mm$

use ⟵ $t = 160\ mm$

$d = 160 - 30 = 130\ \ mm$

(0.92 برای تبدیل از F_y مخالف ۴۰۰ می باشد)

محاسبه کفایت d برای عدم احتیاج به میلگرد فشاری

$$\rho_{max} = \rho_b = 0.6\beta_1 \frac{f_C}{f_Y} \times \frac{600}{600 + f_Y}$$

$$\Rightarrow 0.6\ (0.85) \frac{25}{350} \times \frac{600}{600 + 350} = 0.023$$

از رابطه تعادل نیروها :

$0.85\ (0.6 \times 25)\ 1000\ a = 0.023 \times 1000 \times 130 \times (0.85 \times 350) \longrightarrow a = b\ 9.8\ mm$

$$M_r = \{\ 0.023\ (1000)\ (130)\ (0.85 \times 350)\ [\ 130 - 69.8/2\ ]\ \}\ \times 10^{-6}$$

$M_r = 84.6\ KN\text{-}M > M_{max\ (موجود)} = 38$ O.K.

کنترل ضخامت انتخابی برای برش :

$V_U = 0.575 \times 29.25 \times 3.6 = 60.5\ KN$

$V_U = 60.5 - 0.13\ (29.25)\ 56.7\ KN$ به فاصله d از بر تکیه گاه

$V_C = 0.2\ \phi_C \sqrt{F_C}\ bd = 0.2\ (0.6) \sqrt{25} \times 1000 \times 130 \times 10^{-3} = 78\ KN$

$V_U > V_C$ O.K.

محاسبه سطح مقطع میلگردها :

$$A_S = \frac{0.85 f_{Cd} . bd}{f_{yd}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{0.85 f_{Cd} . bd^2}} \right]$$

$$A_S = 5571(1 - \sqrt{1 - 0.009 M_U})$$

M_U بر حسب kN.m می باشد.

فولاد مورد نیاز برای ممان مثبت :

$A_S = 727\ mm^2$

Φ_{12} @ 15 cm c/c

فولاد موردنیاز برای ممان منفی:

(i) برای دهانه کناری

$A_S = 411\ mm^2$

Φ_{12} @ 25 cm c/c

(ii) برای دهانه های میانی

$A_S = 1052\ mm^2$

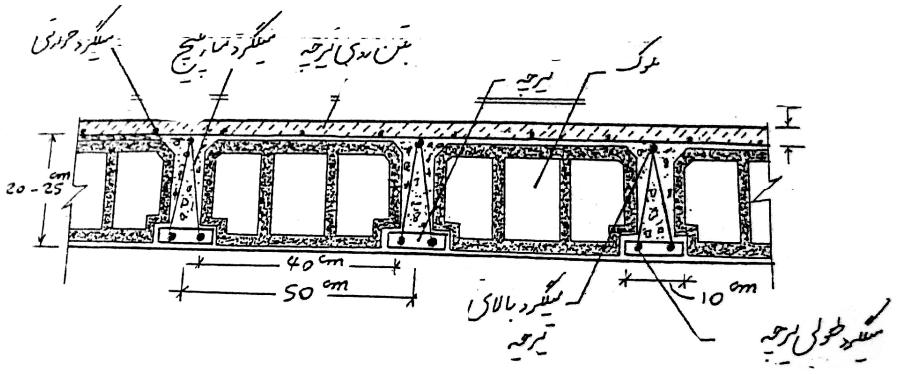
Φ_{12} @ 10 cm c/c

کنترل میزان فولاد لازم

$A_{S\ max} = p_{max}\ bd = 0.023\ (1000)\ (130) = 2990\ mm^2$

$A_{S\ min} = 0.002\ bh = 0.002\ (1000)\ (160) = 320\ mm^2$

$A_{smin} < A_S < A_{Smax}$ O.K.



سقف تیرچه بلوک تشکیل یافته است از :

۱- تیرچه به فواصل 50 cm

برای کاهش بار مرده ⟵ ۲- بلوک های توخالی سفالی یا بتنی

۳- بتن که فضای روی تیرچه ها را پر کرده و روی بلوک ها لایه ای به ضخامت حدود 5 cm تشکیل می دهد.

* سقف تیرچه بلوک به صورت دال یکطرفه عمل می کند.

* پس از گرفتن بتن روی تیرچه، تیرچه به صورت یک مقطع T شکل عمل می کند.

مراحل اجرای سقف تیرچه بلوک

۱- قرار دادن تیرچه ها به فواصل 50 cm از یکدیگر روی تیرهای اصلی

۲- زیر تیرچه ها بسته به طول دهانه ، در نقاط وسط یا 1/3 دهانه تیرچه ها با استفاده از چهار تراش و جک بسته می شود.

۳- بلوک گذاری بین تیرچه ها انجام می گردد.

۴- روی بلوکها میلگرد حرارتی معمولا Φ_6 با فواصل 25 cm بسته می شود.

۵- بتن ریزی سقف

* برای دهانه های بزرگتر از 3 m در وسط دهانه با ایجاد کلافهای عرضی به یکدیگر می بندند .

* برای دهانه بزرگتر از 4.5 m ، دو کلاف عرضی در نقاط 1/3 دهانه گذاشته می شود.

* طبق آبا نیروی برشی مقاوم بتن را می توان ۱۰٪ بیشتر از V_C معمول برای تیرها در نظر گرفت .

مثال : مطلوبست طراحی یک سقف تیرچه بلوک سراسری با تیرچه ای به طول 4 m (مرکز به مرکز) و با طول دهانه آزاد 3.65 m (وزن مرده سقف تیرچه بلوک $4.15\ kN/m^2$)

$F_c = 25\ N/mm^2$ $f_y = 300\ N/mm^2$

$L.L = 2\ kN/m^2$ کف سازی $= 2.4\ kN/m^2$

انتخاب ارتفاع اولیه

$h_{min} = L / 28 = 4000 / 28 = 143\ mm$

ارتفاع انتخابی $= 200 + 50 = 250\ mm$

کنترل ضخامت لایه بتن روی بلوک ها

$W_U = 1.25\ [\ (0.05 \times 24) + 2.4\ ] + 1.5\ (2) = 7.5\ \ kN/m^2$

با در نظر گرفتن عرض 1m $W_U = 7.5\ KN/m$

$M_U = W_U L^2 / 12 = 7.5\ (0.4)^2 / 12 = 0.10\ KN\text{-}M$

$$F_{Ct} = M_C / I = \frac{0.1\times10^6\times25}{\frac{1}{12}(1000)(50)^3} = 0.24\ N/mm^2$$

$F_{Ct} = \phi_c\ (0.6\ \sqrt{f_c}) = 1.8 > 0.24$ O.K.

طراحی تیرچه

وزن مرده سقف تیرچه بلوک $= 4.15\ kN/m^2$

+

کف سازی $= 2.4\ kN/m^2$

$6.55\ kN/m^2$

$W_U = 1.25\ (6.55) + 1.5\ (2) = 11.2\ \ KN/M^2$

تیرچه $W_U = 0.5 \times 11.2 = 5.6\ \ KN/M$

0.5= عرض بارگیر تیرچه

ناحیه ممان منفی (محل تکیه گاه) :

$M_U = W_U L_N^2 / 11 = 5.6\ (3.65)^2 / 11 = 6.8\ \ kN.m$

* در ناحیه ممان منفی تیرچه با مقطع مستطیلی عمل می کند .

$d = 250 - 30 = 220\ \ mm$

$$A_S = \frac{0.85 f_{Cd}.bd}{f_{y_d}}\left[1-\sqrt{1-\frac{2M_U}{0.85 f_{Cd}.bd^2}}\right]$$

$$\Rightarrow As = 129\,mm^2 \qquad 2\Phi 10$$

$$A_S = \frac{0.85(0.6\times 25)100(220)}{0.85\times 300}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 6.8\times 10^6}{0.85(0.6\times 25)(100)(220)^2}}\right]$$

ناحیه ممان مثبت (دهانه میانی)

$M_U = W_U L_n^2 / 16$

$M_U = 5.6\ (3.65)^2 / 16 = 4.66$ kN.m

فرض a = t

$M_r = 0.85\ (0.6\times 25)\ 500(50)(220-25)\times 10^6$

مقطع مستطیلی $M_r = 62.16$

$A_S = 0.85\ (0.6\times 25)$ $A_S = \dfrac{0.85(0.6\times 25)500(220)}{0.85\times 300}\left[1-\sqrt{1-\dfrac{2\times 4.66\times 10^6}{0.85(0.6\times 25)(500)(220)^2}}\right]$

$A_S = 83.7\ mm^2$

کنترل برش

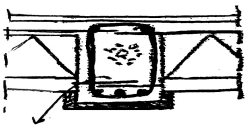
$V_u = 0.57\ W_u L_n - W_u\, d$ در فاصله d از لبه

$= 0.575\ (5.6)\ (3.65) - 5.6\times 0.22 = 10.5$ KN

$V_C = 1.1\times 0.2\ \phi_C \sqrt{F_C}\ bd = 1.1\times 0.2\times 0.6\sqrt{25}\times 100\times 220$

$V_C = 14.5$ KN $> V_U$ لازم

(١٠٪ افزایش به خاطر فولاد زیگزاگ= 1.1)



فولاد کششی تیرچه

- فولاد کششی تیرچه ها باید حداقل به اندازه 12 cm - 13 cm به داخل تکیه گاه ادامه داشته باشد.
- بلافاصله بعد از نصب تیرچه ها، تکیه گاههای موقت نصب می شود. فاصله چهار تراشها و شمع های متوالی از یکدیگر به استقامت تیرچه ها و چهار تراشها بستگی دارد. معمولاً فاصله چهارتراش ها از یکدیگر 1.2 m است.
- هنگام شمع بندی خیز مناسبی برابر $\frac{1}{300}$ دهانه به طرف بالا برای تیرچه ها در نظر گرفته میشود تا پس از بارگذاری خیز در ظر گرفته شده، حذف و سقف مسطح گردد.

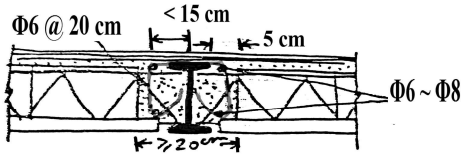
- کلاف عرضی: برای تقویت دیافراگم افقی در امتداد عمود بر امتداد تیرچه ها و برای توزیع یکنواخت بار روی سقف تیرچه و بلوک و همچنین در محلهایی که بار منفرد موجودباشد، کلاف عرضی که جهت آن عمود بر جهت تیرچه هاست تعبیه می شود. حداقل عرض کلاف برابر عرض بتن پاشنه تیرچه (عرض جان مقطع) می باشد.

- در صورتیکه بار زنده سقف کمتر از $350\ Kg/m^2$ و طول دهانه بیشتر از $4\ m$ باشد، یک کلاف عرضی در سقف تعبیه می شود. حداقل سطح مقطع میلگرد های طولی باید برابر نصف مقدار میلگرد کششی تیرچه ها باشد.

- در مورد بار زنده بیشتر از 350Kg/m2 و دهانه 7- 4متر ، دو کلاف عرضی و برای دهانه بیشتر از 7m ، ۳کلاف عرضی اجرا می شود. حداقل سطح مقطع میلگرد های طولی آن برابر سطح مقطع میلگرد های کششی تیرچه می باشد.

- تیر آهن در وسط کلاف قرار می گیرد

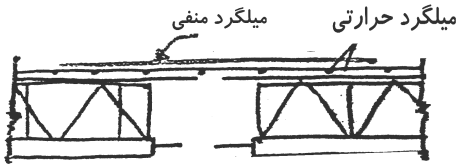
عرض کلاف حداقل ۲۰ سانتیمتر



نحوه استقرار سقف تیرچه و بلوک

روی تیر باربر فولادی

- در عمل ،طراحی سقف های تیرچه و بلوک با فرض تکیه گاه ساده انجام می شود. لیکن ، میلگرد های منفی بر اساس ۱۵٪ ممان جنبشی وسط دهانه محاسبه و در محل تکیه گاه تعبیه می شوند. در صورتیکه تکیه گاه میانی باشد ، بیشترین ممان جنبشی دهانه های طرفین ملاک محاسبه قرار می گیرد .این میلگرد ها از تکیه گاه به طرف داخل دهانه تا فاصله $\frac{1}{5}$ دهانه آزاد ادامه می یابد.



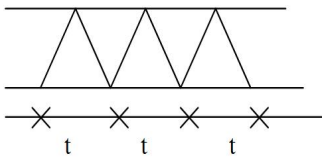
✓ جزییات فولاد های تیرچه

- **فولاد کششی** : سطح مقطع فولاد کششی از طریق محاسبه تعیین می شود. در هر صورت
  - برای فولاد A-I از 0.0025 نباید کمتر باشد
  - برای فولاد A-II, A-III نباید از 0.0015 کمتر باشد.
  - همچنین در همه موارد نباید از 0.025 بیشتر باشد.

❖ **فولاد عرضی** (زیگزاگ) : فولاد عرضی تیرچه در مرحله اول باربری به کمک اعضای طولی بالایی و پایینی ایستایی لازم را برای تحمل وزن تیرچه به هنگام حمل و نقل و نصب و وزن مرده سقف در حد فاصل تکیه گاههای موقت را به هنگام اجرا تامین می نماید. و در مرحله دوم باربری ، پیوستگی لازم بین میلگرد های کششی و بتنی در جا توسط میلگرد های عرضی تامین می شود. همچنین تحمل نیرو های برشی سقف نیز بوسیله میلگرد عرضی انجام می گیرد.سطح مقطع میلگرد های عرضی نباید از $b_w t$ 0.0015 کمتر باشد.

b_w: عرض پاشنه تیرچه (عرض جان مقطع)

t: فاصله گام میلگرد عرضی



❖ فاصله گام میلگرد عرضی حداکثر 20 cm است.

❖ **فولاد فوقانی**: این میلگرد در مرحله اول باربری به عنوان میلگرد فشاری عمل می کند و به کمک سایر اعضا نیرو های وارده در مرحله حمل ، نصب و اجرا را تحمل می کند و در مرحله دوم باربری ، به عنوان قسمتی از میلگرد های حرارتی محسوب می شود.

❖ قطر میلگرد های فوقانی تیرچه معمولاً بین 12 mm – 6 تغییر می کند.

توصیه می شود:

برای تا دهانه 3 m از قطر 6 mm استفاده شود.

از دهانه 3 m تا 4 m از قطر 8 mm استفاده شود.

از دهانه 4 m تا 5.5 m از قطر 10 mm استفاده شود.

از دهانه 5.5 m تا 7 m از قطر 12 mm استفاده شود.

❖ حداقل عرض پاشنه بتنی 10 cm است و معمولاً آن را به عرض 12 cm اجرا می کنند.حداقل ضخامت بتنی پاشنه 4 Cm است . نباید از قطر بزرگترین میلگرد کششی بعلاوه 30 mm کمتر باشد. معمولاً ضخامت بتنی پاشنه از 4.5 Cm تا 5.5 Cm اجرا می شود.

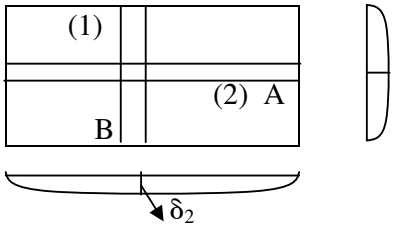
❖ برای متراکم کردن بتن سقف تیرچه و بلوک ، استفاده از ویبراتور های سطحی توصیه می شود. این نوع ویبراتور ها لایه های بتنی با ضخامت 25cm را به خوبی متراکم می کنند.

دالهای دو طرفه

دالهایی که تغییر شکل آنها عمدتاً به صورت یک سطح استوانه ای است را می توان به صورت دالهای یکطرفه و یا تیرهای نواری با دهانه های در جهت انحناء طراحی نمود. در صورتیکه نسبت طول به عرض دال کمتر از ۲ باشد ، سطح دال در اثر وارد شدن بار به صورت بشقاب ته گردی در می آید . این بدان معنی است که در هر نقطه دال دارای انحناء در دو جهت طولی و عرضی می باشد. از آنجا که مقدار ممان خمشی با مقدار انحناء متناسب است ، در هر دو جهت ممان خمشی وجود خواهد داشت . برای مقاومت در مقابل ممان های خمشی وارده باید در هر دو جهت طولی و عرضی دال از میلگرد استفاده نمود که در این صورت میلگردها در دو جهت عمود بر یکدیگر قرار خواهد گرفت.

* میزان و نحوه انتقال بار در دو جهت دال بستگی به ابعاد دال و شرایط گیرداری دال (شرایط لبه پیوسته) در تکیه گاهها دارد. بررسی دقیق چگونگی رفتار دال در زیر بار نیاز به بررسی تئوری صفحات دارد.

* برای درک فیزیکی چگونگی رفتار یک دال در زیر اثر بار به طور تقریبی می توان دالها را مجموعه ای از نوارهای مجزا در دو جهت دانست.



δ_1

برای مثال در دال ساده شکل مقابل
دو نوار ۱ و ۲ را در نظر می گیریم.
هر یک از این دو نوار سهمی از بار وارده دال را تحمل می کند

سهم هر یک آنقدر است که خیز ایجاد شده در هر یک از آنها در محل تقاطع ایندو یکسان باشد. به عبارت دیگر در دو منحنی فوق که نمایش تغییر شکل این دو نوار است. $\delta_1 = \delta_2$

اگر سهم شدت بار نوار ۱ W_A و نوار 2 را W_B بنامیم می توان نوشت که :

$$\delta_1 = \frac{5}{384}\frac{w_A \,.\, A^4}{EI}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384}\frac{w_B \,.\, B^4}{EI}$$

اگر $\delta_1 = \delta_2$ باشد خواهیم داشت

$$W_A \,.\, A^4 = W_B \,.\, B^4$$

$$\frac{W_A}{W_B} = \left(\frac{B}{A}\right)^4$$

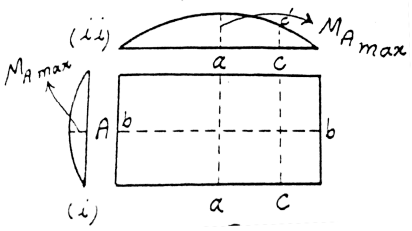
اگر اندازه یک ضلع دال نسبت به ضلع دیگر آن کوچکتر باشد ، سهم بیشتری از بار در جهت کوچکتر منتقل می گردد . اگر $B=2A$ باشد $W_A = 16\, W_B$ یعنی فقط $6\% \approx 1/16$ از کل بار در جهت بزرگتر B منتقل خواهد شد. لذا بدین علت است که در دال های که $B \geqslant 2$ است ، دال عملاً در جهت کوچکتر تحمل بار نموده و بنابراین دال یکطرفه می باشد.

* رفتار دال در زیر اثر بار به طور تقریبی مانند آنچه در بالا گفته شد می باشد . در عمل یک نوار نمی تواند مستقلاً تغییر شکل دهد مگر آنکه نوار مجاور را نیز با خود تغییر شکل دهد و چون تغییر شکل دو نوار مجاور یکسان نخواهد بود ، لذا هر یک از نوارها موجب به وجود آمدن پیچشی در نوار دیگر خواهد شد پیچش ایجاد شده در نوارها به تقویت نوار کمک کرده و مانع از بوجود آمدن تغییر شکل کامل مانند آنچه در دو نوار بالا گفته شد می گردد. نتیجه اینکه خیز و تنش در دال عملاً کمتر از آنست که بر اساس فرض فوق بدست آید.

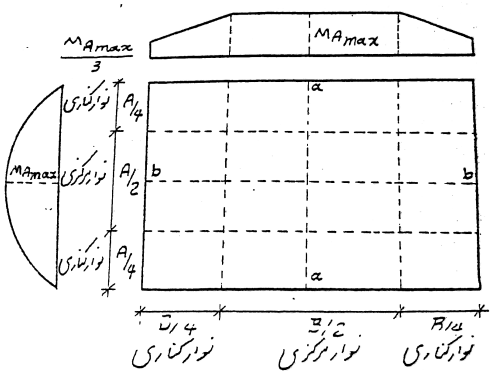
تحلیل و طراحی دالهای دو طرفه متکی در لبه ها بر طبق آیین نامه بتن ایران

* تحلیل دالها به طور دقیق نسبتاً پیچیده است . در کارهای عملی آیین نامه آبا تحلیل دالهای مربع مستطیلی که در اطراف روی تکیه گاه (دیوارها یا تیرهای سخت) قرار دارند ، روش ساده ای موسوم به روش ضرایب ممان خمشی را پیشنهاد می نماید.

برای درک پیشنهاد آبا در مورد تحلیل دالها، دال ساده زیر را که تحت اثر بار یکنواخت قرار دارد در نظر می گیریم.



دیاگرام ممان خمشی در دال را در جهت ضلع A بررسی می کنیم. در نوار مرکزی a -a دیاگرام ممان خمشی در جهت a-a سهمی شکل (شکل i) می باشد. بدیهی است هر چه از مرکز دال به سمت تکیه گاه نزدیکتر شویم تغییر شکل دال کمتر حواهد بود. تغییرات ممان خمشی ماکزیمم در جهت a-a در طول b-b در شکل (ii) نشان داده شده است. برای مثال ماکزیمم ممان خمشی در نوار c-c برابر c-c′ در شکل (ii) می باشد. چنین دیاگرامهایی را می توان برای ممان خمشی دال در جهت b-b و نیز تغییرات آن در طول a-a ترسیم نمود.



* آیین نامه آبا دال فوق را مطابق شکل مقابل در هر جهت به سه قسمت تقسیم می کند. در هر جهت دو نوار کناری و یک نوار میانی .

* آیین نامه آبا پیشنهاد می کند که تغییرات ممان خمشی ماکزیمم در طول نوار مرکزی ثابت گرفته شود و در طول نوارهای کناری به طور خطی تغییر کند تا به مقدار M_{Amax} 1/3 در روی تکیه گاه برسد.

* همین وضعیت در جهت b-b نیز صادق می باشد.

در نواحی کناری از آنجا که ممان خمشی از $M_{A\,max}$ تا $M_{A\,max}$ 1/3 (یا $M_{B\,max}$ تا $M_{B\,max}$ 1/3) تغییر می کند .فولادگذاری یکنواخت نیست . روش عملی در تعیین فولاد لازم برای نوارهای کناری بر اساس M_{Amax} 2/3 و M_{Bmax} 2/3 در هر جهت می باشد. لذا فولادگذاری در این ناحیه نیز یکنواخت خواهد بود لذا بطور تقریب می توان گفت که فولاد لازم برای نوارهای کناری 2/3 فولاد لازم در نوار مرکزی است . به دیگر فولادهاییکه برای نوار مرکزی تعیین شده می توان درنوارهای کناری با فاصله 1.5 برابر فاصله آنها در نوار مرکزی به کار برد.

تعیین ممانهای خمشی ماکزیمم و نیروهای برشی ماکزیمم در دالها

* این ممانها و نیروها به کمک ضرایبی که در آئین نامه آبا برای ۹ حالت مختلف در دالها داده شده تعیین می گردند. ایم حالات برای دالها با درجه پیوستگی های متفاوت در تکیه گاهها در نظر گرفته شده اند.

* در اشکال جدولها (جداول ۱۰-۳ تا ۱۰-۶) برای دال وقتی یک سمت دال هاشور خورده است منظور آنست که دال در آن سمت با دال دیگر پیوسته است.

* پارامتر اصلی در این جداول m نسبت ضلع کوچک دال به ضلع بزرگ آن است. $m = \frac{L_a}{L_b}$

M_a : ممان برای نواری با عرض واحد به موازات L_a

M_b : ممان برای نواری با عرض واحد به موازات L_b

$M_a = C_a\, wL_a^2$

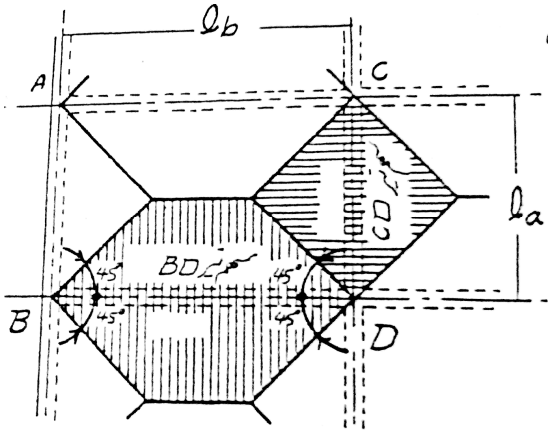
$M_b = C_b\, WL_b^2$

W : شدت بار گسترده یکنواخت وارد بر واحد سطح دال

L_a : دهانه آزاد در امتداد کوتاه L_b : دهانه آزاد در امتداد بلند

C_a و C_b : مقادیر بدست آمده از جداول

- ♣ برای تعیین ضرایب ممان منفی فزض شده است که در دو دهانه مجاور به طور کامل تحت بار مرده و زنده می باشد.
- ♣ در لبه های پیوسته ، ضرایب ممان منفی برای پانل های مجاور بدست می آید و سپس میانگین آن استفاده می شود.
- ♣ برای ممان خمشی مثبت ، ضرایب مربوط به بار مرده با ضرایب مربوط به بار زنده متفاوت می باشد .
- ♣ ممان منفی در لبه غیر پیوسته مساوی 3/4 ممان مثبت دهانه در همان امتداد می باشد.
- ♣ برای محاسبه نیروی برشی در دالها می توان از ضرایب داده شده در جدول ۶ استفاده نمود.
- ♣ برای محاسبه بار وارده بر تیرهای محیطی می توان از تقسیم صفحه (دال) توسط خطوط 45° متقاطع رسم شده از گوشه ها و خط مرکزی موازی لبه به صورت بارهای مثلثی و ذوزنقه بدست آورد.
- ♣ بجای بارهای مثلثی و ذوزنقه ای می توان بار یکنواخت معادل را نیز به کار برد.



برای تیرهای کوتاه $q_e = \frac{W_u l_a}{3}$

برای تیردهانه بلند $q_e = (\frac{W_u l_a}{3})(\frac{3-m^2}{2})$

W_u : شدت بار نهایی وارد بر واحد سطح پانل

m : نسبت ضلع کوتاه به ضلع بلند پانل $m = L_a / L_b$

♣ اگر تیری از دو پانل مجاور بار بری داشته باشد ، q_e مربوط به هر پانل جداگانه محاسبه و سپس با هم جمع می گردند.

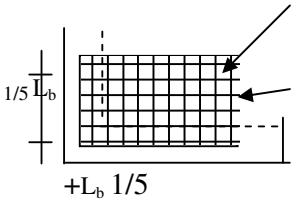
♣ برای محاسبه بار وارده بر تیر می توان از نسبت های داده شده در جدول ۶ استفاده کرد مشروط بر آنکه بـار وارد بـر تیر در جهت کوتاه از بار حاصل از بار از دال محصور توسط خطوط 45° کمتر نباشد.

♣ بدلیل وجود ممان پیچشی که در شروع تحت دال دو طرفه عنوان شده بود ، در گوشه کنـاری دالهـای بیرونـی ایجـاد اشکالاتی را می کند . وجود این ممان باعث می شود که گوشه دال تمایل به بر خاستن از روی تکیه گاه را داشته باشد . بـر خاستن دال از روی تکیه گاه ممکن است منجر به ترک خوردن دال شود ، لذا طبق توصـیه آئـین نامـه لازم اسـت در طـول مساوی 1/5 دهانه بزرگتر در دو جهت گوشه هم در بالا و هم در پایین یک شبکه میلگرد مساوی میلگردهـای لازم بـرای ممان مثبت حداکثر دال قرار گیرد.

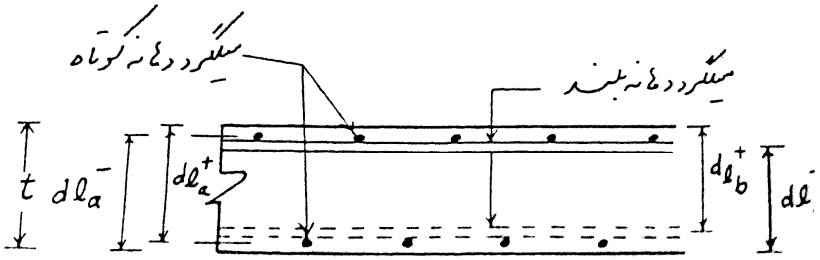
شبکه میلگرددربالا وپایین

♣ جزئیات آرماتورگذاری در جهت کوتاه وبلند

به صورت زیر میتوان نمایش داد .



میلگردهای گوشه دال



✓ ضخامت حداقل دالهای دو طرفه متکی در چهار لبه

طبق آبا حداقل ضخامت دالهای دو طرفه متکی بر تیرهای پیرامون به صورت زیر می باشد :

۱- در پانلهایی که در یک وجه یا بیشتر غیر پیوسته باشند ، محیط پانل تقسیم بر ۱۴۰

۲- در پانلهایی که در چهار وجه پیوسته باشند ، محیط دال تقسیم بر ۱۶۰

۳- ۱۰۰ میلی متر

روابط تعیین تغییر شکل دالهای دو طرفه

الف) پانلها با چهار لبه پیوسته

تغییر شکل الاستیک ناشی از بار زنده $\Delta_L = \frac{3}{32}\frac{M_b l_b^{\,2}}{E_C I_{eff}}$

تغییر شکل الاستیک ناشی از بار مرده $\Delta_d = \frac{1}{16}\frac{M_b l_b^{\,2}}{E_C I_{eff}}$

ب) پانلها با چهار لبه ساده

تغییر شکل الاستیک ناشی از بار زنده $\Delta_L = \frac{5}{48}\frac{M_b l_b^{\,2}}{E_C I_{eff}}$

تغییر شکل الاستیک ناشی از بار مرده $\Delta_d = \frac{5}{48}\frac{M_b l_b^{\,2}}{E_C I_{eff}}$

M_b: ممان وسط دهانه برای نواری به عرض واحد در امتداد دهانه بلند (N.mm)

L_b: دهانه بلند بر حسب mm

E_C: مدول الاستیسیته بتن $E_C = 5000\sqrt{fc}$

I_{eff}: ممان اینرسی موثر ، به طور تقریب می توان از I_g ممان اینرسی مقطع بتنی ترک نخورده استفاده کرد.

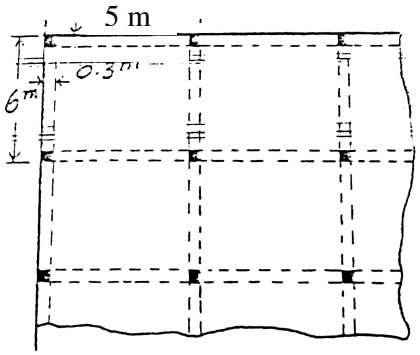
❖ برای محاسبه تغییر شکل دراز مدت ناشی از بار مرده باید آنرا در ضریب λ ضرب نمود.

$\Delta_{td} = \Delta_d + \lambda\Delta_d = \Delta_d\,(1+\lambda)$ (تغییر شکل کل ناشی از بار مرده)

$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'}$$

ρ' : درصد فولاد فشاری مقطع

زمان پس از بارگذاری	تابع زمانξ
۵ سال یا بیشتر	۲
۱۲ ماه	۱/۴
۶ ماه	۱/۲
۳ ماه	۱/۰



مثال : پلان یک کف شامل دالهای دو طرفه و متکی بر تیرهایی به عرض 30 cm که به صورت یکپارچه با دال در شکل مقابل نشان داده شده است. بار مرده علاوه بر وزن دال برابر $1.5\ KN/m^2$ و بار زنده برابر $4.8\ KN.m^2$ است . دال گوشه را طراحی کنید.

$F_c = 20\ N/mm^2$

$F_y = 400\ N/mm^2$

حل :

حداقل ضخامت دال $\Rightarrow \dfrac{2(6700+5700)}{140} = 177\ mm$ $\quad h =$ محیط پانل / 140

Use 180 mm

محاسبه بارهای ضریبدار

وزن دال $= 0.18 \times 24 = 4.32\ kN/m^2$

بار مرده ضریبدار $= 1.25\ (4.32 + 1.5) = 7.3$

بار زنده ضریبدار $= 1.5\ (4.8) = 7.2$

$W_U = 7.3 + 7.2 = 14.5\ kN/m^2$

تعیین ممانهای طراحی در نوار میانی

$m = L_a / L_b = 5.7 / 6.7 = 0.85$

ممان منفی در لبه پیوسته دال

$\dfrac{0.066 + 0.072}{2}$

در امتداد دهانه کوتاه $M^- = 0.069 \times 14.5 \times 5.7^2 = 32.5\ kN.m/m$

در امتداد دهانه بلند $M^- = 0.04 \times 14.5 \times 6.7^2 = 26\ kN.m/m$

$\dfrac{0.034 + 0.046}{2}$

ممان مثبت در وسط دهانه

i) در امتداد دهانه کوتاه

(ناشی از بار مرده) $M^+ = 0.036 \times 7.3 \times 5.7^2 = 8.5\ kN.m/m$

(ناشی از بار زنده) $M^+ = 0.043 \times 7.2 \times 5.7^2 = 10.1\ kN.m/m$

(ناشی از بار مرده) $M^+ + M^+ = 8.5 + 10.1 = 18.6\ kN.m/m$

ii) در امتداد دهانه بلند

$M^{+} = 0.019 \times 7.3 \times 6.7^2 = 6.2$ kN.m /m (ناشی از بار مرده)

$M^{+} = 0.023 \times 7.2 \times 6.7^2 = 7.4$ kN.m/m (ناشی از بار مرده)

13.6

ممان منفی در لبه های غیر پیوسته (3/4 ممان مثبت وسط دهانه)

$M^{-} = 3/4 \ \ 18.6 = 14$ kN.m /m (در امتداد دهانه کوتاه)

$M = 3/4 \times 13.6 = 10.2$ kN.m/m (در امتداد دهانه بلند)

طراحی میلگرد

برش دال به موازات لبه بلند

$d_a^+ = 180 - 20 - 5 = 155$ mm

$d_b^+ = 180 - 5 - 10 - 20 = 145$ mm

کنترل ضخامت دال

لازم است کنترل شود که به فولاد فشاری نیاز نمی باشد.

$$\rho_{MAX} = \frac{0.6\,\beta_1 f_C}{f_y} \ \frac{(600)}{(600 + f_y)}$$

$$\rho_{MAX} = \frac{0.6 \times 0.85 \times 20}{400} \ \frac{(600)}{(600+400)} = 0.0153$$

$A_{Smax} = P_{max}\ bd = 0.0453 \times 1000 \times 155 = 2372$ mm^2

$0.85\ (0.6 \times 20)\ 1000\ a = 2372\ (0.85 \times 400) \rightarrow a = 79$ mm

$M_{U\,max} = 2372\ (0.85 \times 400)\ (155 - 79/2) \times 10^{-6}$

$M_{U\,max} = 93.1$ kN.m /m

ممان فوق بزرگتر از تمام ممانهای موجود می باشد ، لذا نیازی به میلگرد فشاری نمی باشد .

فولاد حداقل نوار میانی

$A_{S\,MIN} = 0.0018 \times 1000 \times 180 = 324$ mm^2/m

الف) فولاد لازم در دهانه کوتاه (d = 155)

$$A_S = \frac{0.85 f_{Cd}.bd}{f_{yd}}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{0.85 f_{Cd}.bd^2}}\right] \qquad A_S = 30(1 - \sqrt{1 - \frac{196.1 M_U}{d^2}}$$

لبه پیوسته ⟶ $M^{-}_U = 32.5$ $A_S = 664$ mm^2/ m → Φ_{10} @ 10 cm c/c

لبه نا پیوسته ⟶ $M^{-}_U = 14$ $A_S = 274$ mm^2/m × A_S=324 Φ_{10} @ 20 cm c/c

⟶ $M^{+}_U = 118.6$ $A_S = 368$ mm^2/m × A_S=324 Φ_{10} @ 20 cm c/c

ب) فولاد لازم در دهانه بلند (d = 145)

$M^{-}_{U} = 32.5 \quad A_S = 664 \ mm^2/m \rightarrow \quad \Phi_{10} \ @ \ 10 \ cm \ c/c$

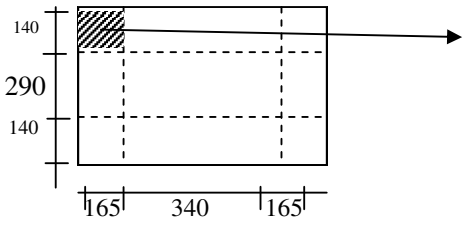
$M^{-}_{U} = 10.2 \quad A_S = 212 \ mm^2/m \times A_S = 324 \rightarrow \Phi_{10} @ 12 \ cm \ c/c$

$M^{+}_{U} = 13.6 \quad A_S = 285 \ mm^2/m \times A_S = 324 \rightarrow \Phi_{10} @ 12 \ cm \ c/c$

میزان فولاد لازم در نوارهای کناری

فاصله میلگردها 1.5 برابر فاصله میلگردها در نوار میانی. حداکثر فاصله 3h یا 350 mm هر کدام که کوچکتر باشد.

فولادگذاری گوشه



کنترل برش

بار کل نهایی دال = 14.5 (6.7 × 5.7) = 553 .8 kN

نیروی برشی برای نواری از دال به پهنای 1m در جهت کوتاه

$$V = \frac{0.66}{2} \times 553.8 \times \frac{1}{6.7} = 27.3 \quad kN/m$$

نیروی برشی در جهت بلند

$$V = \frac{0.34}{2} \times 553.8 \times \frac{1}{5.7} = 16.5 \quad kN/m$$

$V_C = 0.2 \ \phi \sqrt{fc} \ bd = 0.2 \times 0.6 \sqrt{20} \times 1000 \ (155) \times 10^{-3} = 83.2 > 27.3$

فولاد برشی لازم نمی باشد.

جدول ۱۰-۳

جدول ضرایب لنگر منفی برای دالها

$M_{a,neg} = C_{a,neg}\, W l_a^2$

$M_{b,neg} = C_{a,neg}\, W l_a^2$

w = بار یکنواخت مرده + زنده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.045 0.045	0.076	0.045 0.045	0.075	0.071	0.071	0.033 0.061	0.061 0.033
0.95 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.050 0.041	0.072	0.055 0.045	0.079	0.075	0.067	0.038 0.056	0.065 0.029
0.90 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.055 0.037	0.070	0.060 0.040	0.080	0.079	0.062	0.043 0.052	0.068 0.025
0.85 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.060 0.031	0.065	0.066 0.034	0.082	0.083	0.057	0.049 0.046	0.072 0.021
0.80 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.065 0.027	0.061	0.071 0.029	0.083	0.086	0.051	0.055 0.041	0.075 0.017
0.75 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.069 0.022	0.056	0.076 0.024	0.085	0.088	0.044	0.061 0.036	0.078 0.014
0.70 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.074 0.017	0.050	0.081 0.019	0.086	0.091	0.038	0.068 0.029	0.081 0.011
0.65 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.077 0.014	0.043	0.085 0.015	0.087	0.093	0.031	0.074 0.024	0.083 0.008
0.60 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.081 0.010	0.035	0.089 0.011	0.088	0.095	0.024	0.080 0.018	0.085 0.006
0.55 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.084 0.007	0.028	0.092 0.008	0.089	0.096	0.019	0.085 0.014	0.086 0.005
0.50 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.086 0.006	0.022	0.094 0.006	0.090	0.097	0.014	0.089 0.010	0.088 0.003

* علامت هاشور نماینده لبه پیوسته یا گیردار و خط ساده نماینده تکیه گاه ساده با مقاومت پیچشی ناچیز است.

جدول ۱۰- ۴

جدول ضرایب لنگر مثبت برای بار مرده

$M_{a,pos,dl} = C_{a,dl}\, w\, l_a^2$

$M_{b,pos,dl} = C_{b,dl}\, w\, l_b^2$

w = بار یکنواخت مرده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$	0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.020	0.023
$C_{b,neg}$	0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.020
0.95 $C_{a,neg}$	0.040	0.020	0.021	0.030	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
$C_{b,neg}$	0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.90 $C_{a,neg}$	0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
$C_{b,neg}$	0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85 $C_{a,neg}$	0.050	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.040	0.029	0.028
$C_{b,neg}$	0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013
0.80 $C_{a,neg}$	0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
$C_{b,neg}$	0.023	0.011	0.020	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.010
0.75 $C_{a,neg}$	0.061	0.028	0.040	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
$C_{b,neg}$	0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.020	0.013	0.007
0.70 $C_{a,neg}$	0.068	0.030	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.040	0.033
$C_{b,neg}$	0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006
0.65 $C_{a,neg}$	0.074	0.032	0.054	0.050	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
$C_{b,neg}$	0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.60 $C_{a,neg}$	0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
$C_{b,neg}$	0.010	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55 $C_{a,neg}$	0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
$C_{b,neg}$	0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.50 $C_{a,neg}$	0.095	0.037	0.080	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
$C_{b,neg}$	0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002

* علامت هاشور نماینده لبه پیوسته یا گیردار و خط ساده نماینده تکیه گاه ساده با مقاومت پیچشی ناچیز است.

جدول ۱۰-۵

جدول ضرایب لنگر مثبت برای بار زنده

$M_{a,pos,dl} = C_{a,ll}\ w\ l_a^2$

$M_{b,pos,dl} = C_{b,ll}\ w\ l_b^2$

w = بار یکنواخت زنده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00	$C_{a,neg}$	0.036	0.027	0.027	0.032	0.032	0.035	0.032	0.028	0.030
	$C_{b,neg}$	0.036	0.027	0.032	0.032	0.027	0.032	0.035	0.030	0.028
0.95	$C_{a,neg}$	0.040	0.030	0.031	0.035	0.034	0.038	0.036	0.031	0.032
	$C_{b,neg}$	0.033	0.025	0.029	0.029	0.024	0.029	0.032	0.027	0.025
0.90	$C_{a,neg}$	0.045	0.034	0.035	0.039	0.037	0.042	0.040	0.035	0.036
	$C_{b,neg}$	0.029	0.022	0.027	0.026	0.021	0.025	0.029	0.024	0.022
0.85	$C_{a,neg}$	0.050	0.037	0.040	0.043	0.041	0.046	0.045	0.040	0.039
	$C_{b,neg}$	0.026	0.019	0.024	0.023	0.019	0.022	0.026	0.022	0.020
0.80	$C_{a,neg}$	0.056	0.041	0.045	0.048	0.044	0.051	0.051	0.044	0.042
	$C_{b,neg}$	0.023	0.017	0.022	0.020	0.016	0.019	0.023	0.019	0.017
0.75	$C_{a,neg}$	0.061	0.045	0.051	0.052	0.047	0.055	0.056	0.049	0.046
	$C_{b,neg}$	0.019	0.014	0.019	0.016	0.013	0.016	0.020	0.016	0.013
0.70	$C_{a,neg}$	0.068	0.049	0.057	0.057	0.051	0.060	0.063	0.054	0.050
	$C_{b,neg}$	0.016	0.012	0.016	0.014	0.011	0.013	0.017	0.014	0.011
0.65	$C_{a,neg}$	0.074	0.053	0.064	0.062	0.055	0.064	0.070	0.059	0.054
	$C_{b,neg}$	0.013	0.010	0.014	0.011	0.009	0.010	0.014	0.011	0.009
0.60	$C_{a,neg}$	0.081	0.058	0.071	0.067	0.059	0.068	0.077	0.065	0.059
	$C_{b,neg}$	0.010	0.007	0.011	0.009	0.007	0.008	0.011	0.009	0.007
0.55	$C_{a,neg}$	0.088	0.062	0.080	0.072	0.063	0.073	0.085	0.070	0.063
	$C_{b,neg}$	0.008	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.007	0.006
0.50	$C_{a,neg}$	0.095	0.066	0.088	0.077	0.067	0.078	0.092	0.076	0.067
	$C_{b,neg}$	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004

* علامت هاشور نماینده لبه پیوسته یا گیردار و خط ساده نماینده تکیه گاه ساده با مقاومت پیچشی ناچیز است.

جدول ۱۰-۶

جدول نسبت بار کل w در امتداد l_b و l_a برای کنترل برش و توزیع بار روی تیرهای قاب

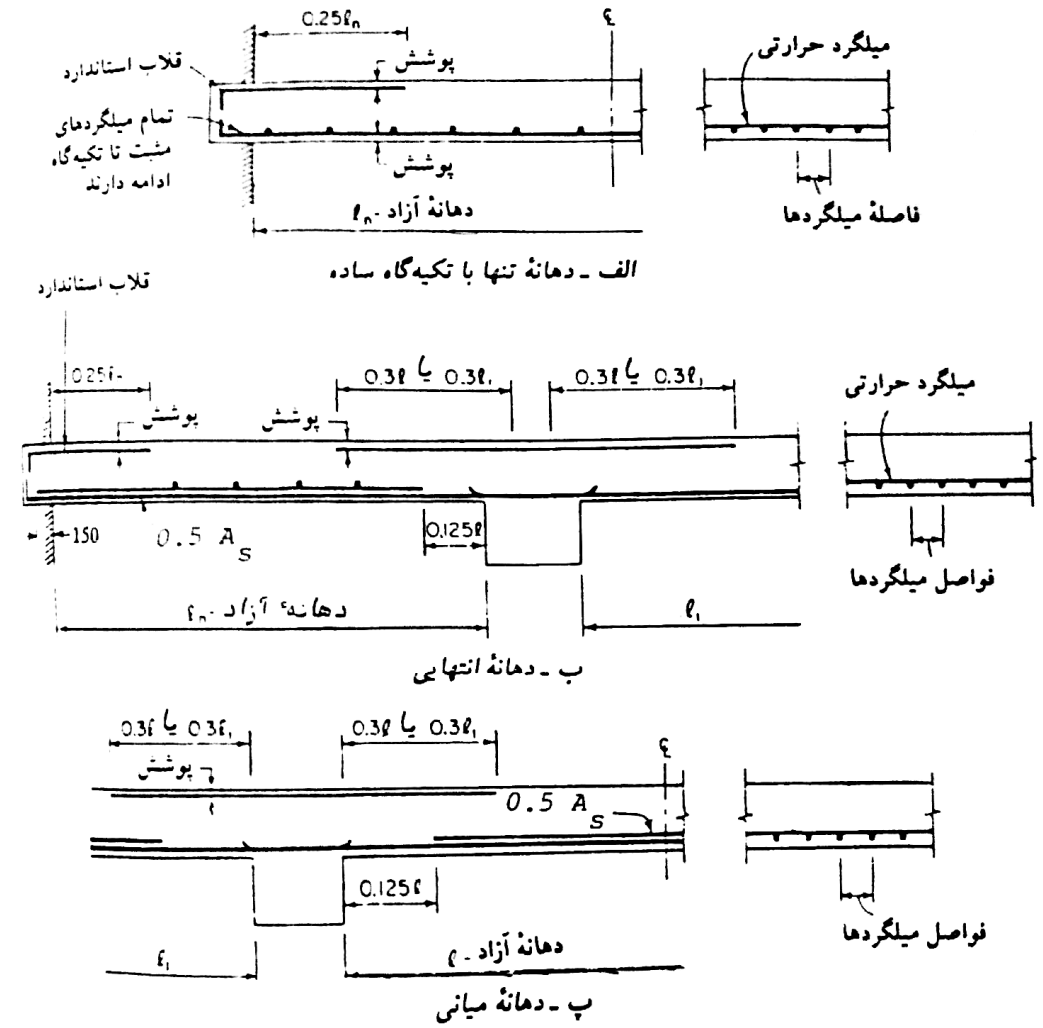
نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00	$C_{a,neg}$	0.50	0.50	0.17	0.50	0.83	0.71	0.29	0.33	0.67
	$C_{b,neg}$	0.50	0.50	0.83	0.50	0.17	0.29	0.71	0.67	0.33
0.95	$C_{a,neg}$	0.55	0.55	0.20	0.55	0.86	0.75	0.33	0.38	0.71
	$C_{b,neg}$	0.45	0.45	0.80	0.45	0.14	0.25	0.67	0.62	0.29
0.90	$C_{a,neg}$	0.60	0.60	0.23	0.60	0.88	0.79	0.38	0.43	0.75
	$C_{b,neg}$	0.40	0.40	0.77	0.40	0.12	0.21	0.62	0.57	0.25
0.85	$C_{a,neg}$	0.66	0.66	0.28	0.66	0.90	0.83	0.43	0.49	0.79
	$C_{b,neg}$	0.34	0.34	0.72	0.34	0.10	0.17	0.57	0.51	0.21
0.80	$C_{a,neg}$	0.71	0.71	0.33	0.71	0.92	0.86	0.49	0.55	0.83
	$C_{b,neg}$	0.29	0.29	0.67	0.29	0.08	0.14	0.51	0.45	0.17
0.75	$C_{a,neg}$	0.76	0.76	0.39	0.76	0.94	0.88	0.56	0.61	0.86
	$C_{b,neg}$	0.24	0.24	0.61	0.24	0.06	0.12	0.44	0.39	0.14
0.70	$C_{a,neg}$	0.81	0.81	0.45	0.81	0.95	0.91	0.62	0.68	0.89
	$C_{b,neg}$	0.19	0.19	0.55	0.19	0.05	0.09	0.38	0.32	0.11
0.65	$C_{a,neg}$	0.85	0.85	0.53	0.85	0.96	0.93	0.69	0.74	0.92
	$C_{b,neg}$	0.15	0.15	0.47	0.15	0.04	0.07	0.31	0.26	0.08
0.60	$C_{a,neg}$	0.89	0.89	0.61	0.89	0.97	0.95	0.76	0.80	0.94
	$C_{b,neg}$	0.11	0.11	0.39	0.11	0.03	0.05	0.24	0.20	0.06
0.55	$C_{a,neg}$	0.92	0.92	0.69	0.92	0.98	0.96	0.81	0.85	0.95
	$C_{b,neg}$	0.08	0.08	0.31	0.08	0.02	0.04	0.19	0.15	0.05
0.50	$C_{a,neg}$	0.94	0.94	0.76	0.94	0.99	0.97	0.86	0.89	0.97
	$C_{b,neg}$	0.06	0.06	0.24	0.06	0.01	0.03	0.14	0.11	0.03

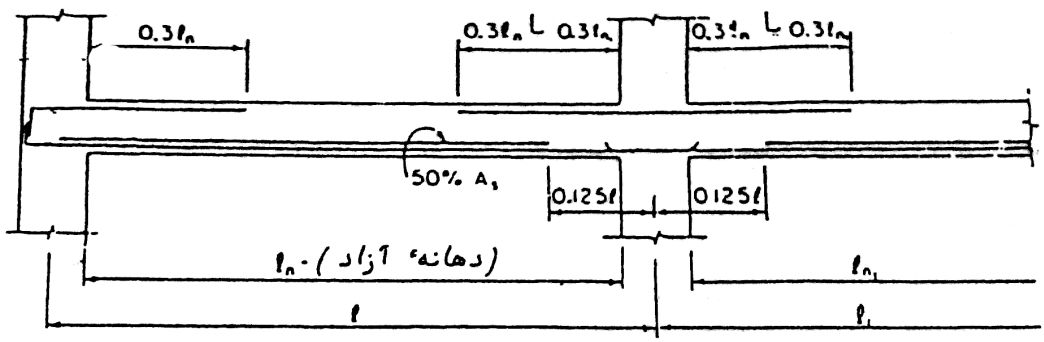
* علامت هاشور نماینده لبه پیوسته یا گیردار و خط ساده نماینده تکیه گاه ساده با مقاومت پیچشی ناچیز است.

مختص دال ها

سطح مقطع میله گردهای فولادی برای یک متر عرض کف بر حسب سانتی مترمربع

قطر mm	فاصله میلگردها بر حسب سانتی متر												
	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	28	30
6	3.53	2.083	2.36	2.02	1.88	1.77	1.57	1.41	1.29	1.18	1.13	1.01	0.94
8	6.28	5.03	4.10	3.59	3.35	3.14	2.79	2.51	2.28	2.09	2.01	1. 80	1.08
10	9.82	7.85	6.54	5.61	5.24	4.91	4.36	3.93	3.57	3.27	3.14	2.80	2.62
12	14.14	11.31	9.42	8.08	7.54	7.07	6.28	5.65	5.14	4.71	4.52	4.04	3.72
14	18.24	15.39	12.82	10.99	10.26	9.60	8.55	7.70	7.00	6.41	6.16	5.50	5.13
16	25.12	20.10	16.75	14.36	13.40	12.56	11.17	10.05	9.14	8.37	8.04	7.18	5.70
18	31.81	25.15	21.21	18.18	16.79	15.91	14.14	12.72	11.57	10.60	10.18	9.05	8.48
20	39.27	31.42	26.18	22.44	20.95	19.64	17.16	15.71	14.28	13.09	12.57	11.22	10.47
22	47.51	38.01	31.67	27.15	25.34	23.76	21.12	19.00	17.28	15.84	15.20	13.57	12.67
24	56.33	45.24	37.70	32.31	30.16	28.27	25.13	22.62	20.56	18.85	18.10	16.16	15.08
25	61.5	48.2	41.0	35.1	31.8	30.7	27.3	24.6	22.3	20.4	19.6	17.5	15.4
26	66.50	53.10	44.25	37.90	35.40	33.20	29.50	26.55	24.15	22.10	21.25	18.95	17.70
28	76.97	61.58	51.32	43.99	41.05	38.45	34.21	30.79	27.99	25.66	24.63	21.99	20.55
30	88.36	70.69	58.91	50.49	47.13	44.18	30.27	35.34	32.13	29.45	28.28	25.25	23.56

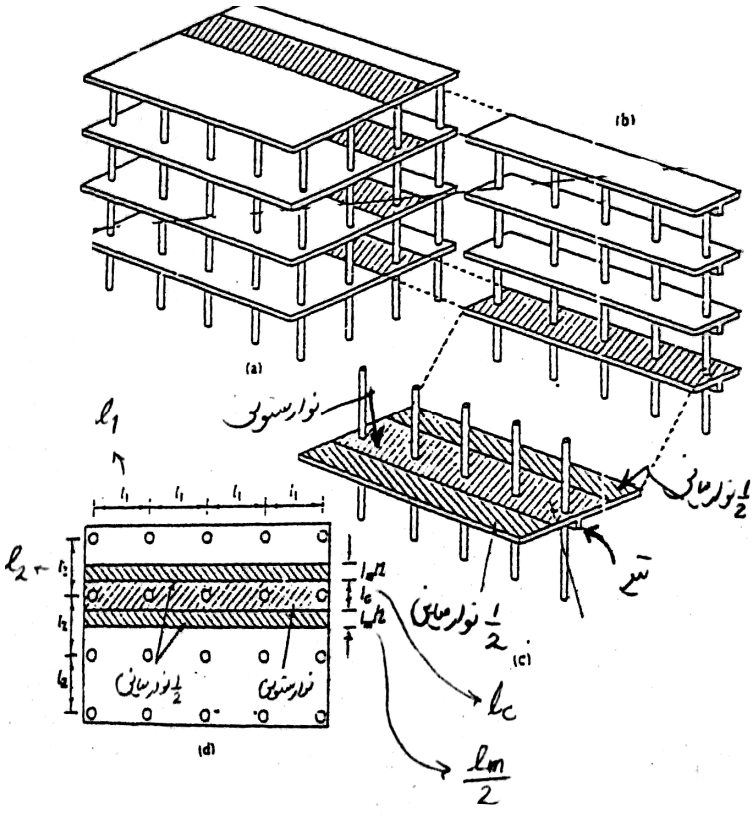




شکل ۱۰ ـ ۱۴ ـ نقاط قطع میلگردها در دالهای دوطرفه

روش طراحی مستقیم

روش ذکر شده در بخش قبلی در خصوص دالهای متکی بر تکیه گاه های سخت مانند دیوار ویا تیرهای سخت به کار برده می شود. برای دالهایی که بر روی تیرهای انعطاف پذیر و یا صرفاً بر ستونها تکیه دارند ، روش ضریب ممان مناسب نمی باشد . برای این موارد می توان از روش طراحی مستقیم که توسط آئین نامه های مختلف نظیر آبا ، CAN ، ACI و... توصیه شده ، استفاده نمود. ساختمان نشان داده شده در تصویر 1-a که دالهای کف بر سیستم تیر و ستون تکیه نموده است را در نظر می گیریم.



ابتدا بخشی از ساختمان به صورت یک قاب سطح که در شکل 1-b نشان داده شده را اختیار می کنیم. عضو افقی این قاب شامل یک تیر – دال نسبتاً پهن می باشد. به جای تحلیل به جای کار بروی تمامی قاب ، می توان یک قاب جزئی شامل صفحه دال (یا بدون تیر) و ستونهای بالا و پایین متصل به آن را در نظر گرفت (شکل 1 -c)

صفحه دال متشکل از نوار ستونی در امتداد خط ستونها و نوار میانی می باشد (شکل 1- d) طبق آیین نامه بتن ایران ، عرض نوار ستونی برابر با $L_1 / 2$ و $L_2 /2$ ، هر کدام که کوچکتر است ، می باشد .

عرض نوار ستونی $L_C = \min\ [\frac{L_1}{2}\ , \frac{L_2}{2}]$

بنابراین عرض نوار میانی برابر است با :

عرض نوار میانی (در دو طرف نوار ستونی) $L_m = L_2 - L_C$

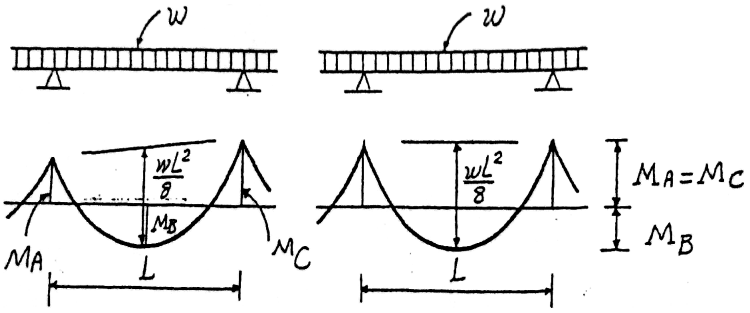
سازه نشان داده شده در تصویر C-1 به صورت یک قاب پیوسته آنالیز و طراحی می شود.

در صورتیکه تاثیر ستون نادیده گرفته شود ، بصورت یک تیر سرتاسری(با عرض L_2 و دهانه های L_1) دیده می شود.

تعیین ممانهای مثبت و منفی در مقاطع بحرانی عضو تیر – دال را می توان با اعمال ضرایب به ممان مربوط به دهانه ساده موسوم به ممان استاتیکی کل محاسبه نمود.

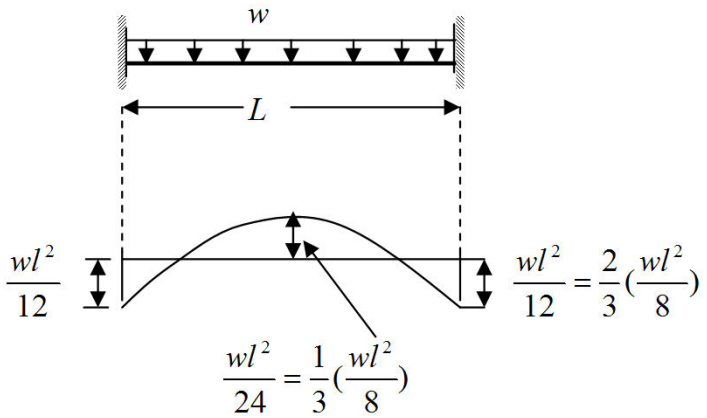
ممان ماکزیمم برای دهانه ساده $\frac{WL^2}{8}$ میباشد که در اینجا به ممان استاتیکی کل موسوم است و به ممان مثبت (میان دهانه) و میانگین دو ممان منفی (در تکیه گاه های کناری) تقسیم می شود.

$$\frac{M_A + M_C}{2} + M_B = \frac{WL^2}{8}$$



شکل ۲

در یک دهانه در شرایطی که دو انتهای آن کاملاً گیردار باشند ، نسبت بین ممانهای تکیه گاهی به میان دهانه ۲ به ۱ می باشد به عبارت دیگر ۲/۳ ممان استاتیکی کل اختصاص به ممان تکیه گاهی و بقیه مربوط به ممان میان دهانه می شود(تصویر ۳ را ببینید) . برای دیگر شرایط انتهایی با نسبت های مختلف مطرح می باشند.



(تصویر ۳)

پس از تعیین ممانهای مثبت و منفی ، توزیع این ممانها بین نوارهای ستونی و میانی مطرح میباشد. این توزیع بستگی به سختی نسبی اعضای سازه ای دارد . با تعیین این ممانها ، مقدار فولاد لازم برای همه پانلها و در کلیه طبقات سازه بدست می آید.

محدودیت های روش طراحی مستقیم

روش طراحی مستقیم تحت شرایط زیر صادق می باشد :

۱- سیستم دال باید در هر امتداد حداقل سه دهانه پیوسته داشته باشد.

۲- دالها باید مستطیلی شکل بوده و نسبت طول به عرض آنها ، محور تا محور تکیه گاهها بزرگتر از ۲ نباشد .

۳- دهانه های متوالی در هر امتداد نباید بیشتر از 1/3 دهانه بزرگتر با یکدیگر اختلاف طول داشته باشد.

۴- برون محوری هیچ یک از ستونها نسبت به صفحه قاب در هر امتداد نباید بیشتر از ده درصد دهانه عمود بر صفحه قاب در آن امتداد داشته باشد .

۵- بارهای قائم وارد بر سیستم دال باید بطور یکنواخت توزیع شده باشد ، بارهای زنده نباید بزرگتر از ۲ برابر بارهای مرده باشد.

۶- در دالهایی که در چهار طرف روی تیرهایی تکیه دارند و با آنها یکپارچه هستند ، نسبت سختی های تیرها در دو امتداد عمود برهم باید در رابطه زیر صدق کند .

$$0.2 \leqslant \frac{\alpha_1 L_2^2}{\alpha_2 L_1^2} \leqslant 5$$

L_1 : طول دهانه ، مرکز به مرکز تکیه گاه ، در امتدادی که ممانها برای آن محاسبه می شوند.

L_2 : طول دهانه ، مرکز به مرکز تکیه گاهها ، در امتداد عمود بر امتداد L_1

α_1 : α در امتداد L_1 $\qquad$ α_2 : α در امتداد L_2

که α از رابطه زیر به دست می آید.

$$\alpha = \frac{E_{Cb}\ I_b}{E_{CS}\ I_S}$$

E_{cb} : مدول الاستیسیته بتن تیر $\qquad$ E_{cs} : مدول الاستیسیته بتن دال

I_b : ممان اینرسی تیر (مقطع ترک نخورده) نسبت به محور مرکزی آن

I_S : ممان اینرسی کلی مقطع بتنی ترک نخورده دال ؛ $\qquad I_S = \frac{L_2 h^3}{12}$

❖ روش طراحی مستقیم شامل گامهای زیر می باشد.

گام اول : تعیین ممان استاتیکی کل برای پانل مورد نظر

به ازاء هر دهانه L_1 (L_1 = طول دهانه در جهتی که ممانها تعیین می شود) ، ممان کلی با ضریب برای دهانه ، M_0 برابر ممان دهانه ساده توسط رابطه $M_0=\frac{W_U L_{1n}^2}{8}$ بدست می آید .

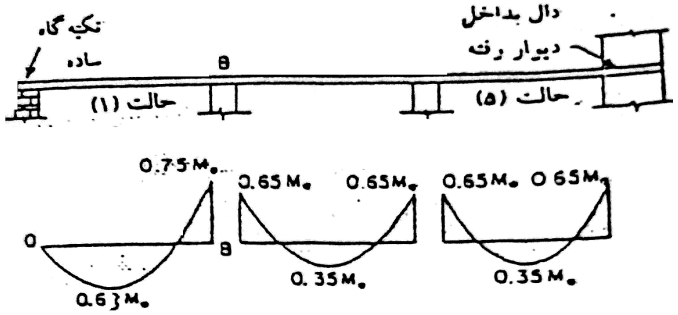
L_{1n}: دهانه آزاد در جهتی که ممانها تعیین می شود ، فاصله سرتاسر داخلی ستونها ، سر ستون ها یا کتیبه هاست . مقدار L_{1n} در هر حال نباید کمتر از $0.85\ L_1$ اختیار شود. در صورتیکه تکیه گاه ها دارای مقطع دایره ای یا چند ضلعی منظم باشند، برای آنها می توان یک مقطع مربع شکل با همان مساحت فرض نمود و L_{1n} را بر این مقطع در نظر گرفت.

گام دوم : توزیع طولی ممان خمشی استاتیکی در امتداد مورد نظر (ممانهای مثبت و منفی)

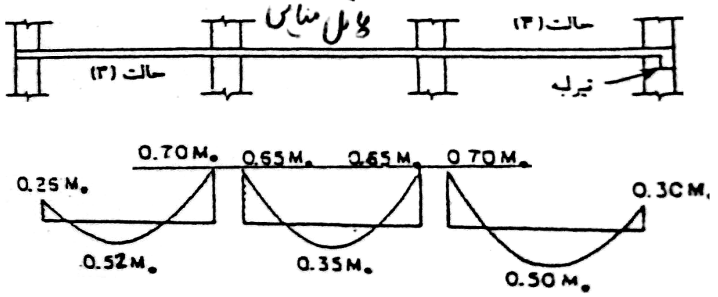
ممان خمشی استاتیکی با ضریب بین مقاطع بحرانی ممان منفی (در بر تکیه گاه ها) و مقاطع بحرانی ممان مثبت (در یا نزدیک به میان دهانه) توزیع می گردد.

در مورد دهانه های میانی ، توزیع ممان برابر است با :

الف – ممان خمشی منفی در هر تکیه گاه $0.65\ M_0$ ب- ممان خمشی مثبت وسط دهانه $0.35\ M_0$ در دهانه کناری ، ممان خمشی استاتیکی مطابق جدول ۱ بین ممان خمشی وسط دهانه و ممان خمشی منفی تکیه گاه تقسیم می شود.



(الف) دال متکی بر دیوارها



جدول ۱ : تقسیم ممان خمشی استاتیکی در دهانه کناری (فقط برای پانل های کناری)

حالت	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ممان خمشی	تکیه گاه کناری در حالت ساده	دال با تیر	دال تخت		تکیه گاه کناری در حالت گیردار
			بدون تیر لبه	باتیر لبه	
منفی در تکیه گاه میانی	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65
مثبت در وسط دهانه	0.63	0.57	0.52	0.5	0.35
منفی در تکیه گاه کناری	0	0.16	0.26	0.30	0.65

گام سوم : تقسیم ممانهای مثبت ومنفی بدست آمده از گام دوم در بین نوارهای ستونی و میانی و تیر دور صورت وجود

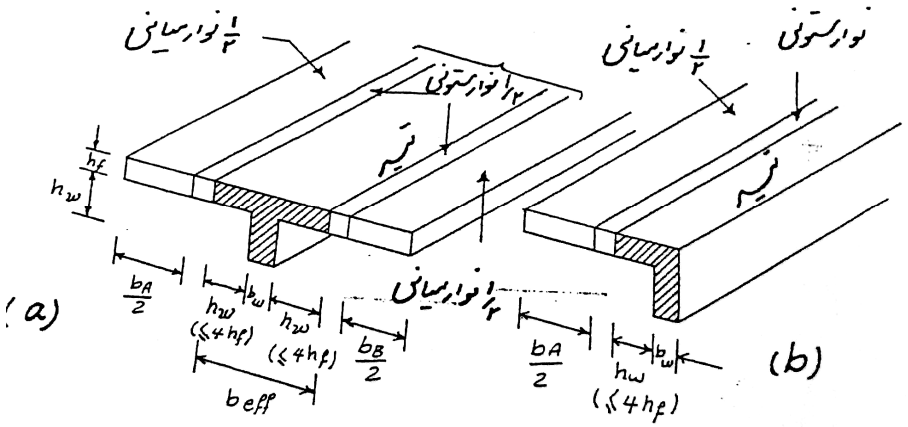
توزیع ممانهای مثبت و یا منفی در بین نوارهای ستونی و میانی ، از اینکه در امتداد و خط ستون ، تیر وجود داشته باشد یا خیر و یا نوار بعنوان نوار کناری یا میانی باشد، متفاوت است . بطور کلی توزیع ممانهای منفی و مثبت بین نوارهای ستونی (تیر در صورت وجود) و میانی بستگی به نسبت L_2 / L_1 ، سختی نسبی تیر و دال « α » و سختی پیچشی تیر لبه ای β_t دارد. سختی نسبی تیر و دال که قبلاً نیز اشاره شد بصورت $\alpha = \frac{E_{Cb}\ I_b}{E_{CS}\ I_S}$ می باشد .

در این رابطه در شرایطی که مدول الاستیسیته بتن و دال یکسان باشد. می توان نوشت که $\alpha = I_b\ / I_S$

$I_S = \frac{L_2\ h^3}{12}$ و I_b : ممان اینرسی تیر حول محور مرکزی است . عرض بال موثر تیر با توجه به تصویر زیر برابر است با

برای تیر داخلی $b_{ef} = b_w +$ حداقل$\{\ 2h_w\ ,\ 8\ h_f\ \}$

برای تیر لبه ای $b_{ef} = b_w +$ حداقل$\{\ h_w\ ,\ 4\ h_f\ \}$



❖ بطور تقریبی میتوان ممان اینرسی تیر T – شکل (تیر داخلی) را دو برابر ممان اینرسی سطح جان و برای مقطع L –شکل (تیر لبه ای) 1.5 برابر ممان اینرسی سطح جان اختیار نمود .

I_S : ممان اینرسی کل دال نسبت به محور مرکزی مقطع می باشد .

$$I_S = \frac{L_2\ h^3}{12}$$

علاوه بر تعیین « α » دومین پارامتری که عنوان شد تعیین سختی پیچشی تیر لبه ای در پانل های کناری می باشد .

β_t بصورت زیر تعریف می شود :

$$\beta_t = \frac{E_{Cb}\ C}{2\,E_{CS}\ I_S}$$

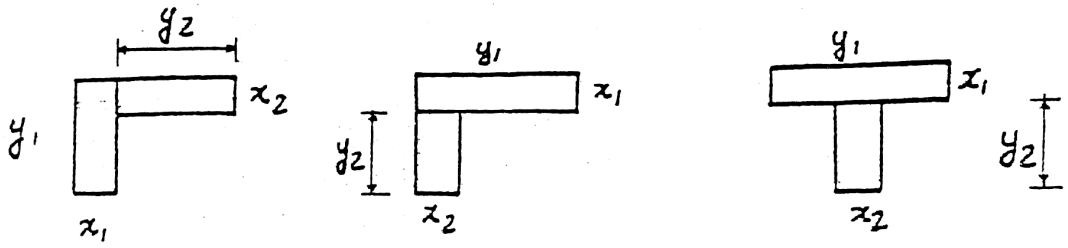
در صورت یکسان بودن مدول الاستیسیته بتن تیر و دال ، رابطه β_t به صورت زیر بدست می آید .

$$\beta_t = C\ /\ 2I_S$$

که C ضریب سختی پیچشی که با تقسیم مقطع به تعدادی مستطیل از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$C = \frac{1}{3}\sum (1-0.63\frac{x}{y})\ x^3 y$$

در این رابطه x و y به ترتیب عرض و طول هر مستطیل است . تقسیم مقطع باید طوری باشد که c بیشترین مقدار ممکن را نتیجه دهد.



با تعیین ضرایب ثابت α و β ، درصد ممانی که به نوار ستونی اختصاص پیدا می کند از جدول ۲ بدست می آید و طبعاً باقیمانده ممان به نوار میانی می رسد.

❖ اگر یک تیر بخشی از نوار ستونی باشد ، 85% آن به تیر اختصاص دارد و بقیه 15% به بخشی از دال نوار ستونی منظور می شود.

با استفاده از جدول و درون یابی خطی

جدول ۲ : سهم نوار ستونی از ممانهای خمشی

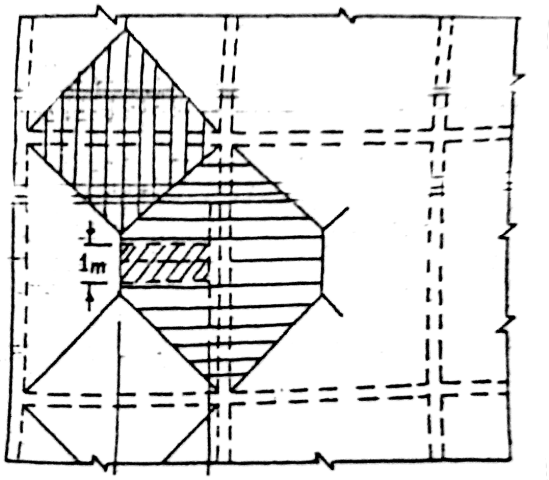
			L_2 / L_1		
			0.5	1	2
درصد ممان خمشی منفی در تکیه گاه ها ی میانی	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1}=0$		75	75	75
	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} \geqslant 1$		90	75	45
درصد ممان خمشی منفی در تکیه گاه های کناری	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
		$\beta_t > 2.5$	75	75	75
	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} \geqslant 1$	$\beta_t = 0$	100	100	100
		$\beta_t > 2.5$	90	75	45
درصد ممان خمشی مثبت در وسط دهانه	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} =0$		60	60	60
	$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} \geqslant 1$		90	75	45

با انجام این گام ، توزیع ممان کامل می شود.

گام چهارم : تکرار گامهای اول تا سوم برای جهت متعامد

گام پنجم : تعیین فولاد لازم برای نوارهای ستونی ، میانی و تیر بمنظور تحمل ممانهای ضریبدار بدست آمده در گامهای سوم و چهارم

گام ششم : تعیین برش در دال : در دالهای دارای تیر در امتداد لبه های پانل ها ، برش عمده در دال مربوط به رفتار یکطرفه است . توزیع مفروض بارها برای ملاحظات مربوط به مقاومت برشی همانند تصویر صفحه بعد می باشد. برا ی نواری از دال به پهنای یک متر ، نیروی برشی با ضریب در مقطع بحرانی به فاصله d از لبه تیر بدست می آید .



حداقل ضخامت دالهای دو طرفه برای کنترل خیز

در سیستم دالهای دوطرفه در صورتیکه ضخامت دال بیشتر از مقادیرداده شده در بندهای الف و ب در زیر (بندهای ۱۴-۲-۴-۵ و ۱۴-۲-۴-۶ از آیین نامه بتن ایران) باشد محاسبه خیز الزامی نیست .

الف : حداقل ضخامت دالهایی که در آنها تیرهای میانی بین تکیه گاه ها وجود ندارد ، می بایستی بر اساس جدول ۳اختیار شود .

جدول 3

نوع فولاد	بدون کتیبه			با کتیبه		
	پانل های بیرونی		پانل های درونی	پانل های بیرونی		پانل های درونی
	بدون تیر لبه	باتیرلبه	-----	بدون تیرلبه	با تیر لبه	----
S_{300}	$\frac{L_n}{33}$	$\frac{L_n}{36}$	$\frac{L_n}{36}$	$\frac{L_n}{36}$	$\frac{L_n}{40}$	$\frac{L_n}{40}$
S_{400}	$\frac{L_n}{30}$	$\frac{L_n}{33}$	$\frac{L_n}{33}$	$\frac{L_n}{33}$	$\frac{L_n}{36}$	$\frac{L_n}{36}$

این ضخامت در هر دال نباید کمتر از مقادیر زیر اختیار شود.

۱- ۱۲۵ میلی متر در دالهای بدون کتیبه

۲- ۱۰۰ میلی متر در دالهای با کتیبه یا سرستون

❖ تیرهای لبه ای باید دارای سختی « α » برابر حداقل 0.8 باشند.

ب: حداقل ضخامت دالهایی که در تمام اضلاع بر روی تیرها تکیه دارند و نسبت طول دهانه بزرگتر به طول دهانه کوچکتر درآنها کمتر از ۲ است باید باشرح زیر اختیار شود .

۱- در دا لهایی که $\alpha_M \leqslant 0.2$ حداقل ضخامت دال بر طبق ضوابط مندرج در بند الف تعیین می شود .

۲- در دالهایی که $0.2 < \alpha_M < 2$

$$h = \frac{L_n (800 + 0.6 f_y)}{36000 + 5000\beta\,(\alpha_m - 0.2)} \geq 125\ mm$$

L_n : طول دهانه آزاد در امتداد دهانه بزرگتر دالهای دو طرفه که برابر با فاصله برتابر تیرهای تکیه گاهی

β : نسبت طول دهانه آزاد بزرگتر به طول دهانه آزاد کوچکتر $\beta = L_B / L_A$

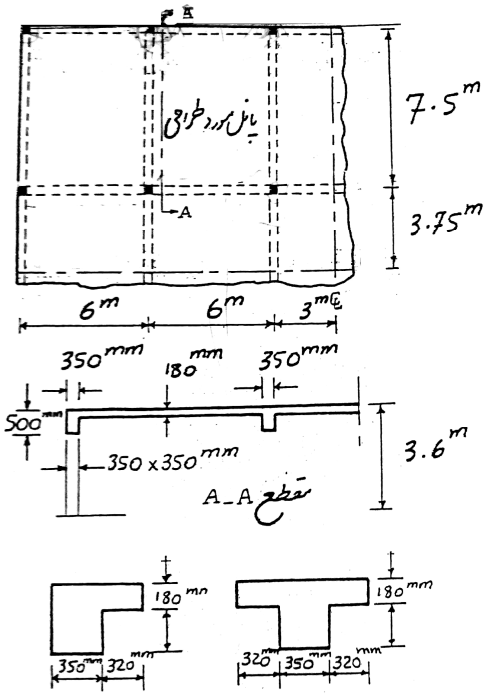
۳- در دالهایی که $\alpha_M \geqslant 2$

$$h = \frac{L_n (800 + 0.6 f_y)}{36000 + 4000\beta} \geq 90\ mm$$

مثال : پلان دو مقطع یک کف متشکل از دالهای دو طرفه با تعداد دهانه های ۳ و۵ در دو جهت و دارای تیرهایی در امتداد خط ستونها در شکل نشان داده شده اند . بار زنده در شرایطظ سرویس دهی برابر $6\ KN/M^2$ است . مطلوب است اولا" کنترل کفایت ضخامت دال به اندازه $18\ cm$ ثانیاً : طراحی فولاد لازم برای یک پانل کناری نشان داده شده با استفاده از روش طراحی مستقیم

$F_c = 28\ N/mm^2$ $F_y = 400\ N/mm^2$

$\gamma_C = 24\ kN/m^3$



ابتدا لازم است محدودیت های کاربرد روش طراحی مستقیم کنترل شود .

۱) حداقل سه دهانه پیوسته در هر امتداد وجود دارد.

۲) کنترل نسبت طول به عرض پانل $7.5 / 6 = 1.25 < 2$

۳) کنترل تفاوت طول دهانه متوالی $0 < 1/3$ (دهانه بلندتر)

۴) بیرون زدگی ستونها وجود ندارد .

۵) بارها به صورت گسترده یکنواخت می باشد و نسبت بار زنده به مرده برابر است با :

* با فرض اینکه ضخامت دال $18\ cm$ باشد .

بار مرده $= 24(0.18) = 4.32\ kN/m^2$

بار زنده $= 6\ kN/m^2$

بار مرده / بار زنده $=>$ $6 / 4.32 = 1.4 < 2$

۶- کنترل نسبت سختی تیرها :

$$\frac{\alpha_1 L_2^2}{\alpha_2 L_1^2} = ? \quad , \quad \alpha_2 = \frac{I_{b2}}{I_{S2}} \quad , \alpha_1 = \frac{I_{b1}}{I_{S1}}$$

چون ابعاد ساق تیرها در طول لبه های پانل ثابت است ، لذا می توان فرض کرد که $I_{b1} \approx I_{b2}$

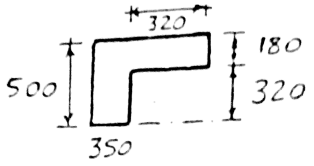
بنابراین $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{I_{S2}}{I_{S1}} = \frac{L_1}{L_2}$ خواهد بود و در نتیجه

$$\frac{\alpha_1 L_2^2}{\alpha_2 L_1^2} = \frac{L_1 L_2^2}{L_2 L_1^2} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{7.5}{6} = 1.25 < 5.0$$

حال کنترل کفایت ضخامت دال بمنظور محدود نمودن خیز دال :

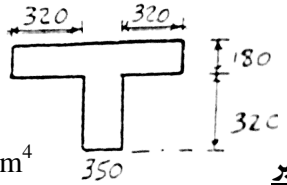
ابتدا تعیین سختی نسبی تیر و دال

الف) تیر لبه ای



$b_{ef} = 350 + 320 = 670$ mm

ب) تیر داخلی



$b_{ef} = 350 + 2(320) = 990$ mm

ممان اینرسی تیر

(لبه ای) $I_b = 1/12\ (350)\ (500)^3 \times 1.5 = 5.47 \times 10^9$ mm^4

(داخلی) $I_b = 1/12\ (350)\ (500)^3 \times 2 = 7.29 \times 10^9$ mm^4

ممان اینرسی برای ممانهای دال

برای عرض 7.5/2+ 0.35/2 =3.925m ← $I_S = 1/12\ (3925)(180)^3 = 1.91 \times 10^9$ mm^4

برای عرض 6 m ← $I_S = 1/12\ (6000)\ (180)^3 = 2.92 \times 10^9$ mm^4

برای عرض 7.5 m ← $I_S = 1/12(\ 7500)(180)^3 = 3.65 \times 10^9$ mm^4

سختی نسبی « α »

برای تیر لبه ← $\alpha = I_b / I_S = 5.47 \times 10^9 / 1.91 \times 10^9 = 2.86$

برای تیر ۶ متری ← $\alpha = 7.29 \times 10^9 / 3.65 \times 10^9 = 2.0$

برای تیر ۷/۵ متری ← $\alpha = 7.29 \times 10^9 / 2.92 \times 10^9 = 2.5$

میانگین سختی نسبی : $\alpha_M = 2.86 + 2(2.5) + 2.0 \ / 4 = 2.47$

کنترل برای مینیمم ضخامت دال

$\beta = L_B / L_A = 7.5 - 0.35 \ / 6 - 0.35 = 1.27$

$L_n = 7.5 - 0.35 = 7.15$ m

$$h = \frac{L_n (800 + 0.6 f_y)}{36000 + 4000\beta} \geq 90\ mm$$

$$h_{\min} = \frac{7150(800 + 0.6 \times 400)}{36000 + 4000(1.27)} = 156.78\ mm$$

$h = 180 > 156.78$ موجود ✓

تعیین ممان استاتیکی کل در امتداد طول کوتاه

بار مرده $= 24(0.18) = 4.32 \ kN/m^2$

$W_u = 1.25 (4.32) + 1.5 (6) = 14.40 \ kn/m^2$

طول آزاد $L_N = 6 - 0.35 = 5.65 \ m$

ممان نوار داخلی (شامل نوار ستونی و میانی) $M_0 = (14.40) (7.5) (5.62)^2 / 8$

$M_0 = 431 \ KN.M$

ممان نوار لبه ای (شامل نوار ستونی و میانی) $M_0 = 14.40 (7.5 / 2 + 0.35 / 2) (5.65)^2 / 8$

$M_0 = 226 \ KN.M$

تعیین ممانهای مثبت و منفی (دهانه، میانی است)

ممان منفی نوار داخلی $M^- = 0.65 (431) = 280 \ KN.M$

ممان مثبت نوار داخلی $M^+ = 0.35 (431) = 151 \ KN.M$

ممان منفی نوار لبه ای $M^- = 0.65 (226) = 147 \ KN.M$

ممان مثبت نوار لبه ای $M^+ = 0.35 (226) = 79 \ KN.M$

توزیع ممانهای مثبت و منفی در بین نوارهای ستونی و میانی :

$L_2 / L_1 = 7.5 / 6 = 1.25$

برای نوار داخلی : $\alpha \ (L_2 / L_1) = 2(1.25) = 2.5 > 1$

برای $L_2 / L_1 = 1.25$ از جدول ۲، سهم نوار ستونی از ممان خمشی منفی و مثبت در تکیه گاه های میانی بین 75% تا 45% می باشد که از طریق درونیابی خطی 67.5 % بدست می آید .

ممان منفی تیر $0.85 (0.675) (280) = 161$

ممان منفی نوار ستونی $0.15 (0.675) (280) = 28.4$

ممان منفی نوار میانی $0.325 (280) = 91$

ممان مثبت تیر $0.85 (0.675)(151) = 86.6$ سهم تیر

ممان مثبت نوار ستونی $0.15(0.675) (151) = 15.3$ سهم دال

ممان مثبت نوار میانی $0.325 (151) = 49.1$

برای نوار لبه ای $\alpha \ L_2 / L_1 = 2.86 (1.25) = 3.58 > 1$

سهم ممان نوارهای ستونی و میانی مشابه نوار داخلی میباشد .

ممان منفی تیر $0.85\ (0.675)\ (147) = 84.3$

ممان منفی نوار ستونی $0.15\ (0.675)\ (147) = 15$

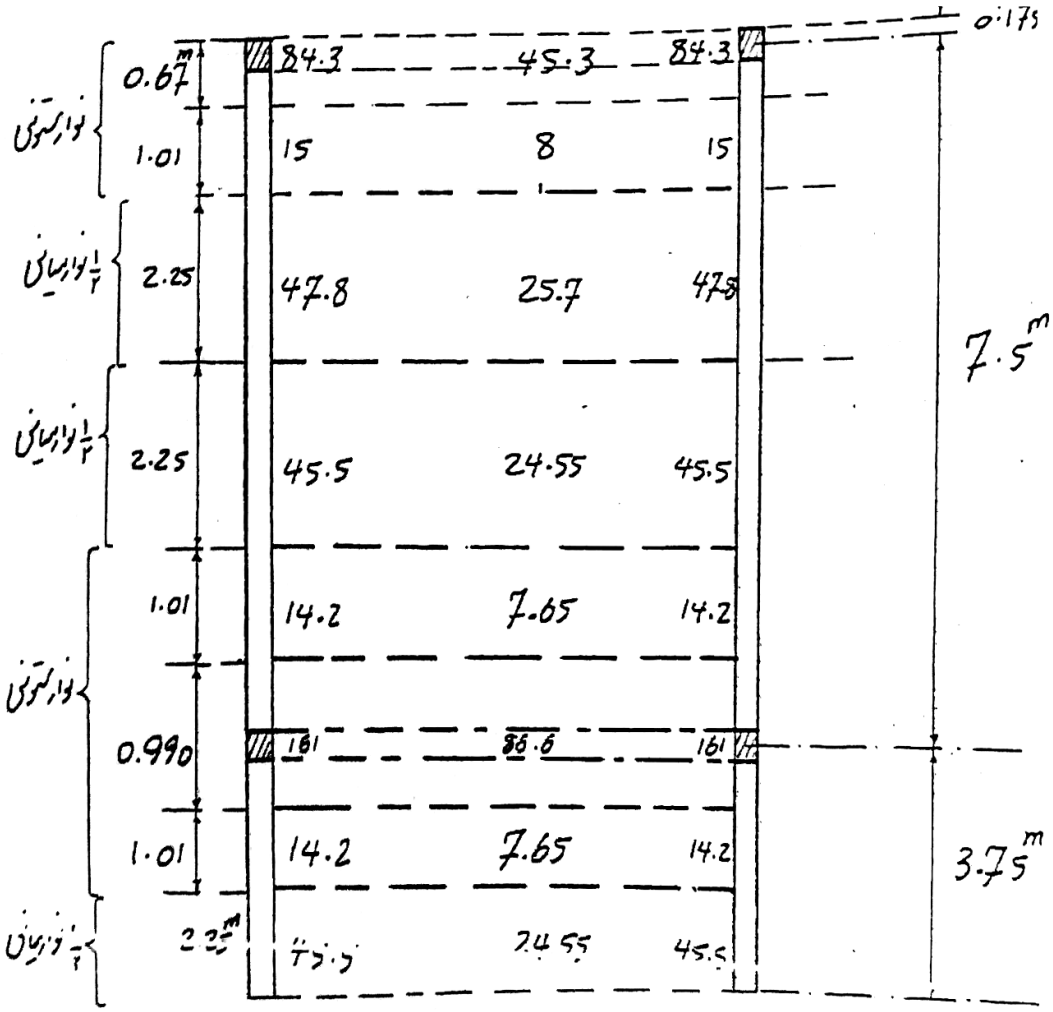
ممان منفی نوار میانی $0.325\ (147) = 47.8$

ممان مثبت تیر $0.85\ (0.675)\ (79) = 45.3$

ممان مثبت نوار ستونی $0.15\ (0.675)\ (79) = 8$

ممان مثبت نوار میانی $0.325\ (79) = 25.7$

این ممانهای طراحی در تصویر زیر نشان داده شده است .



حال تعیین ممان در جهت طول بلند

$L_N = 7.5 - 0.35 = 7.15$

ابتدا تعیین ممان استاتیکی کل $M_0 = 14.4\ (6)\ (7.15)^2 / 8 \qquad M_0 = 552\ \ KN.M$

تعیین ممانهای مثبت و منفی از جداول ۱

ممان منفی داخلی	$0.7\ (552) = 386$
ممان مثبت	$0.57\ (552) = 315$ (هر دو ، هم ستونی و هم میانی)
ممان منفی در تکیه گاه کناری	$0.16\ (552) = 88$

توزیع ممانهای مثبت و منفی در بین نوارهای ستونی و داخلی

سختی پیچشی تیر لبه

$$C = 1/3\ [\ 1 - 0.63\ (\ 350/\ 500)]\ (350)^3\ \ (500) + 1/3\ [1- 0.63\ \ (180\ /320)]\ (180)^3\ (320)$$

$$C = 4.4 \times 10^9\ mm^4$$

$$C = 1/3[\ 1-0.63\ (180\ /670)]\ (180)^3\ (670) + \ 1/3[\ (\ 1- 0.63\ (\ 320\ /350)]\ (\ 320)^3\ (350)$$

$$C = 2.71 \times 10^9$$

$$\beta_t = \frac{C}{2I_s} = \frac{4.40\times10^9}{2\,(\,2.91\times10^9\,)} = 1.15 \qquad , \ \alpha = 2.5$$

$L_2 / L_1 = 6 / 7.5 = 0.8 \qquad \alpha\ L_2 / L_1 = 2.5\ (\ 0.8) = 2 > 1$

تعیین ممان منفی در تکیه گاه میانی ، برای L_2 / L_1 از جدول ۲ ، از طریق درونیابی خطی بین 75% تا 90% ، 81% برای هر دو ممان منفی و مثبت بدست می آید .

ممان منفی تیر	$0.85\ (\ 0.81)\ (\ 386) = 266$
ممان منفی نوار ستونی	$0.15(\ 0.81)\ (386) = 47$
ممان منفی نوار میانی	$0.19\ (\ 386\ ) = 73.3$
ممان مثبت تیر	$0.85\ (\ 0.81)\ (315) = 217$
ممان مثبت نوار ستونی	$0.15\ (\ 0.81)\ (315) = 38.3$
ممان مثبت نوار میانی	$0.19\ (315\ ) = 60$

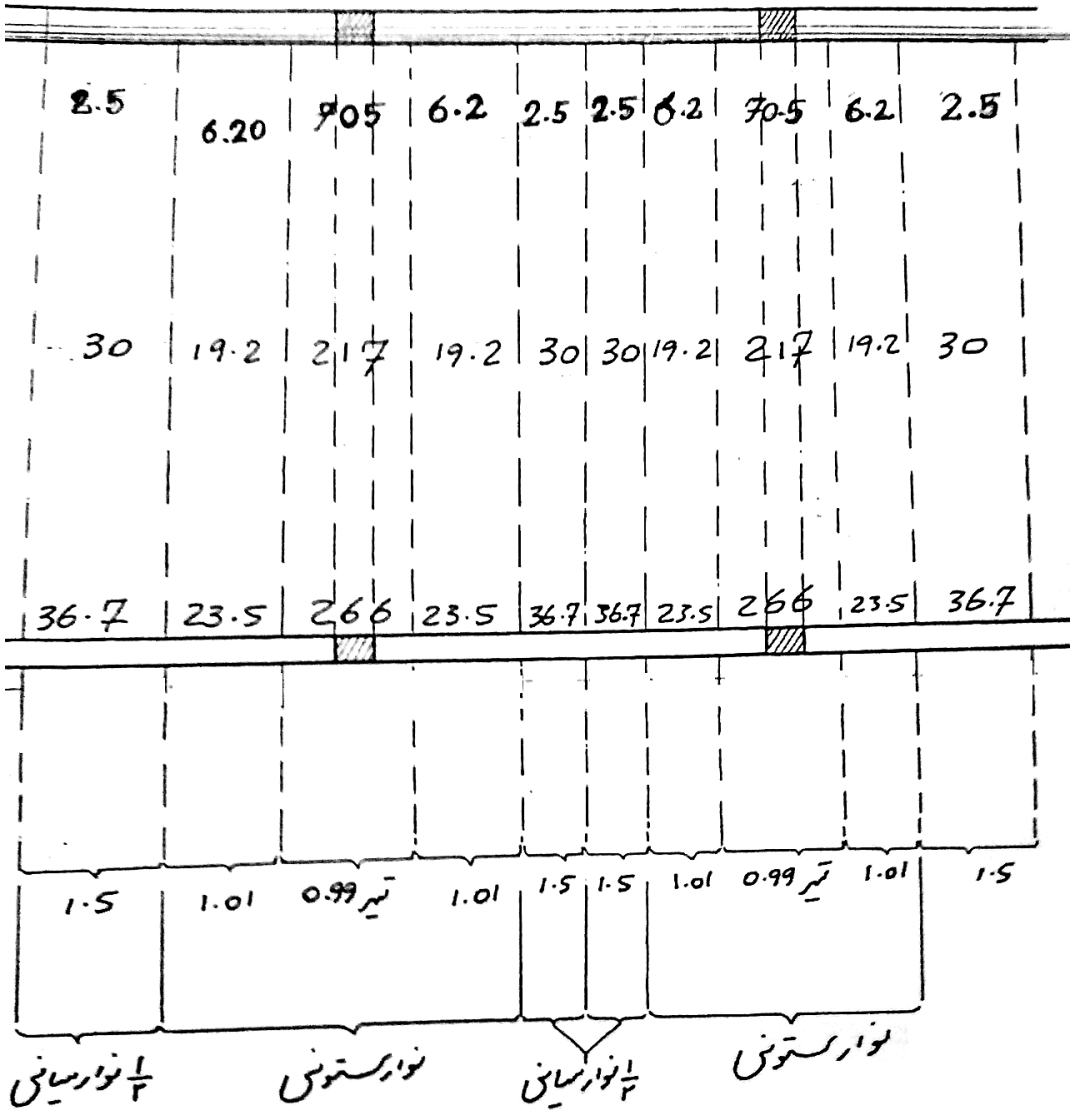
برای ممان منفی در تکیه گاه کناری ، با $L_2 / L_1 = 0.8$ و $\beta_t = 1.15$ از طریق درونیابی میزان 94.3% بدست می آید.

ممان منفی تیر $0.85\ (0.943)\ (88) = 7.05$

ممان منفی نوار ستونی $0.15\ (0.943)\ (88) = 12.4$

ممان منفی نوار میانی $0.052\ (88) = 5.0$

این ممانها در تصویر زیر خلاصه شده است .



محاسبه میزان فولاد لازم

$$A_S = \frac{0.85F_{Cd}\ bd}{F_{Yd}}\left[1-\sqrt{1-\frac{2M_U}{0.85F_{Cd}\ bd^2}}\right]$$

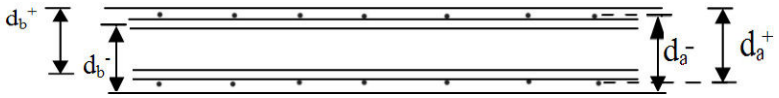
در جهت کوتاه

$d = 180 - 20 - 5 = 155$

در جهت بلند

$d = 180 - 5 - 10 - 20 = 145$

طراحی میلگرد



مقدار فولاد لازم در جهت کوتاه

$$A_S = \frac{0.85\,(0.6\times 28)\,(b)\,(155)}{0.85\times 400}\left[1-\sqrt{1-\frac{2M_U\times 10^6}{0.85\,(0.6\times 28)\,b(155)^2}}\right]$$

$$A_S = 6.51 \times b \times [\,1- \sqrt{1-\frac{5.83M_U}{b}}\,]$$

جزئیات فولادگذاری دال در جهت کوتاه (0.0018 bh)

مقطع	M (kN.m)	b (m)	A_S (mm^2)	A_{Smin} (mm^2)	میلگرد استفاده شده
1/2 نوار ستونی کناری	-15	1.01	291	327	$5\Phi10(@20^{cm})$
	+8	1.01	-	327	$5\Phi10(@20^{cm})$
نوار میانی	- 93.3	4.5	1828	1458	$24\Phi10(@18^{cm})$
	+50.25	4.5	970	1458	$20\Phi10(@22^{cm})$
1/2 نوار ستونی داخلی	-14.2	1.01	-	327	$5\Phi10(@20^{cm})$
	+ 7.65	1.01	-	327	$5\Phi10(@20^{cm})$

فولاد گذاری دال در جهت بلند مشابه جهت کوتاه صورت میگیرد.

در خصوص تیرها ، هر کدام از تیرها نیز بر اساس ممان موثر میباید فولادگذاری شود البته بایستی تاثیر وزن تیر و احتمالا" تاثیر نیروی زلزله نیز لحاظ شود.

برش در دال : با توجه به مطالب ارائه شده در صفحه ۹۴ ، برای نواری از دال به عرض 1^m ، نیروی برشی با ضریب در مقطع بحرانی به فاصله d از لبه تیر عبارت است از :

$$V_U = \frac{14.4\times(1)\times 6}{2} - 14.4(1)(\frac{0.35}{2}+0.155) = 14.4(3-\frac{0.35}{2}-0.155) = 38.4\ KN$$

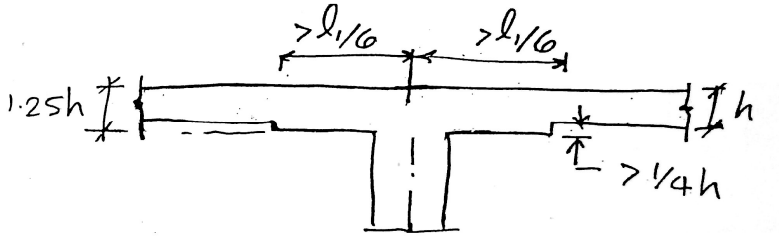
$$V_C = 0.2\ \phi_C \sqrt{fc}\ bd = 0.2\ (0.6)\ \sqrt{28}\times 1000\times 155\times 10^{-3} = 98.4\ \ kN$$

$V_U < V_C$ ✓

دال تخت

دال تخت Flat Plate بدون کتیبه و سر ستون

دال تخت قارچی Flat Slab دارای کتیبه و سر ستون



❖ مطابق شکل کتیبه ستون باید در هر امتداد از محور تکیه گاه به فاصله 1/6 طول دهانه در همان امتداد ادامه یابد.(طول دهانه فاصله محور به محور تکیه گاه لحاظ می شود .) برجستگی کتیبه از زیر دال باید حداقل 1/4 ضخامت کل دال باشد.

برش در دال های دو طرفه (بدون تیر)

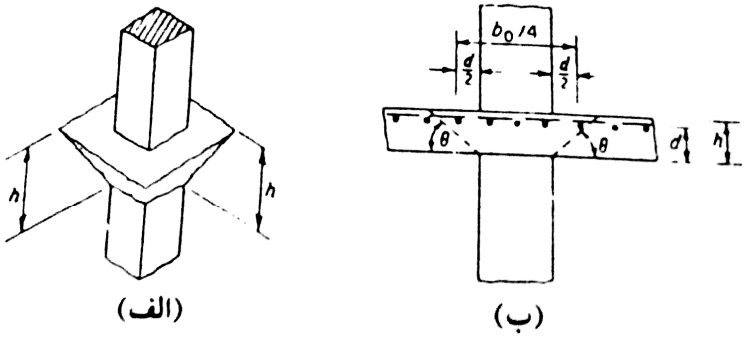
❖ برای دال های تخت یا دال های قارچی که مستقیماً به ستونها تکیه دارند، برش ممکن است عامل اصلی در طراحی باشد و این مسئله بویژه برای ستون های خارجی جدی است.

❖ دو نوع برش باید در طراحی دال های تخت یا دال های قارچی لحاظ شود :

۱- برش یک طرفه (برش یا برش خمشی)

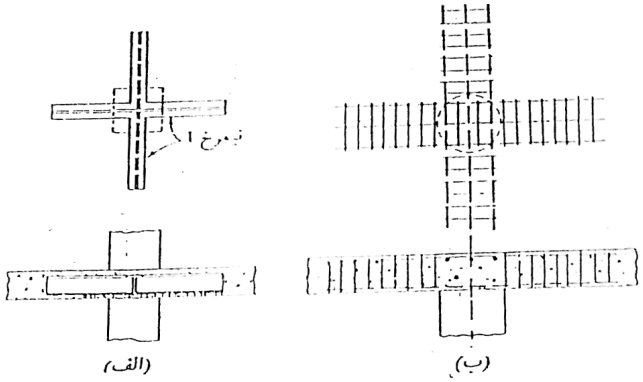
۲- برش دو طرفه (برش سوراخ کننده)

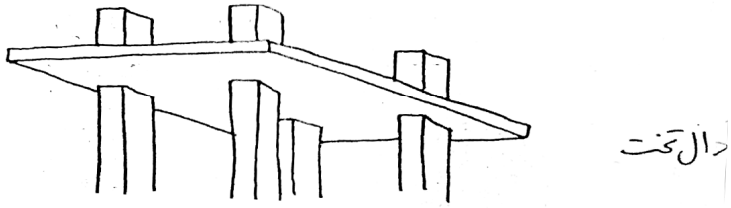
❖ برای آنالیز برش یکطرفه، دال به صورت یک تیر عریض که بین تکیه گاه قرار گرفته باشد، لحاظ می شود. مقطع بحرانی به فاصله d از سطح ستون یا سر ستون .



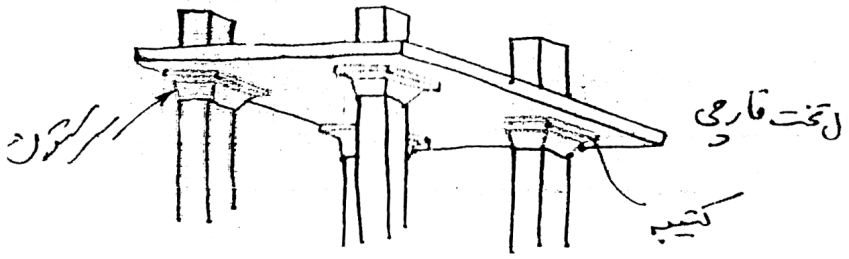
(الف) (ب)

سطح شکست در برش سوراخ‌کننده.





دال تخت



❖ برش دو طرفه (برش سوراخ کننده) : ترک های قطری در اطراف ستون، سر ستون و یا کتیبه به صورت یک مخروط یا هرم ناقص به وجود می آید. سطح شکست از زیر دال و چسبیده به سطح ستون شروع شده و به صورت مایل با زاویه بین ۲۰^0 تا ۴۵^0 درجه به سطح فوقانی دال امتداد پیدا می کند.

طبق آبا مقطع بحرانی برش دو طرفه را مقطعی عمود بر سطح دال و به فاصله d/2 از محیط خارجی تکیه گاه لحاظ می کنند.

❖ سطحی از دال که بار آن به صورت نیروی برشی سوراخ کننده V_U بر مقطع بحرانی وارد می شود مساوی سطح محصور بین محور های مرکزی چشمه های اطراف ستون، منهای سطح محصور در مقطع بحرانی می باشد.

مقاومت برشی دال در برش سوراخ کننده

$$V_C = (1+\frac{2}{\beta_C})\times 0.2\varphi_C \sqrt{F_C}\, b_0 d$$

$$V_C = (\frac{\alpha_S d}{b_0}+1)\times 0.2\varphi_C \sqrt{F_C}\, b_0 d$$

$$V_C = 0.4\varphi_C \sqrt{F_C}\, b_0 d \quad \Leftarrow$$

b_0 : محیط بحرانی

α_S: عددی است که برای ستونهای میانی برابر با ۲۰ ، برای ستون های کناری برابر با ۱۵ و برای ستون های گوشه ۱۰

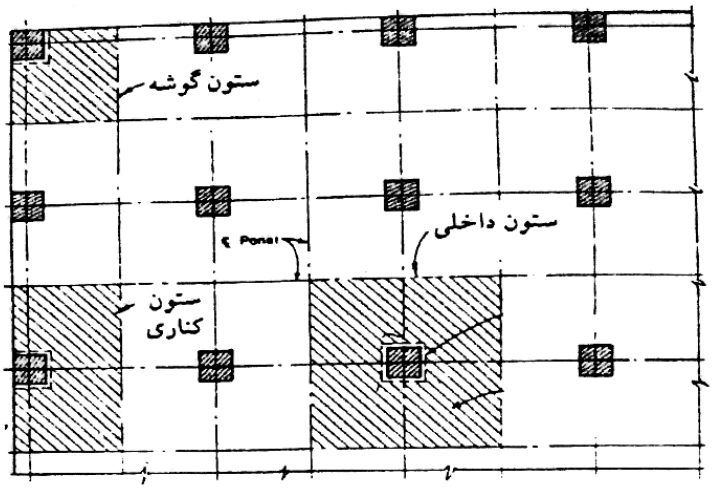
β_C : نسبت ضلع بزرگ به ضلع کوچک سطح تکیه گاهی

❖ وقتی V_u بزرگتر از V_C باشد، باید تدابیر زیر به کار رود :

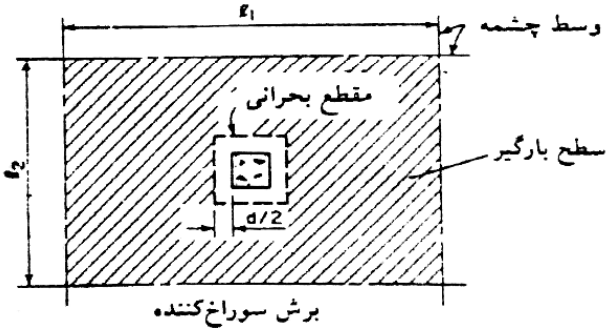
۱- افزایش ضخامت کل دال یا افزایش ضخامت دال بصورت موضعی در اطراف ستون یا ایجاد کتیبه

۲- افزایش محیط تکیه گاهی با در نظر گرفتن سر ستون

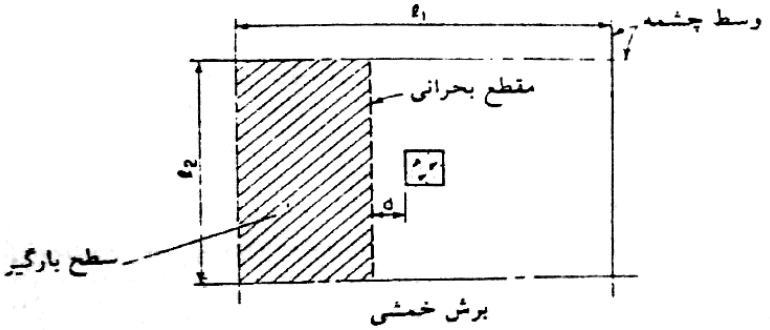
۳- استفاده از کلاهک برشی بصورت استفاده از آرماتور های مخصوص و یا پروفیل های فولادی



سطوح بارگیر برش سوراخ‌کننده

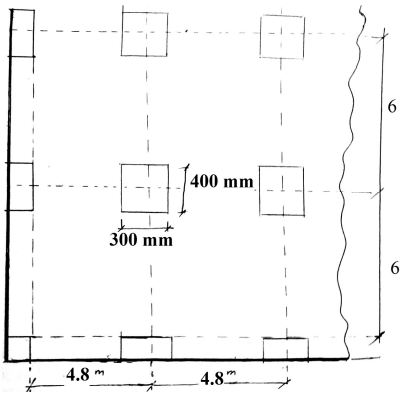


برش سوراخ‌کننده



برش خمشی

مسئله : مطلوب است طراحی پانل داخلی یک دال تخت مطابق شکل . بار مرده در مرحله سرویس دهی (با لحاظ کردن وزن دال) $5.3\ kN/m^2$ و بار زنده در مرحله سرویس دهی $3.8kN/m^2$



$f_C = 21\ MPa$
$f_Y = 400\ MPa$

$L_n = 6 - 0.4 = 5.6\ m$

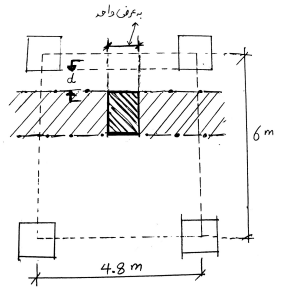
$h_{min} = L_n/33 = (5600)/33 = 170 > 125\ mm$ ✓

USE $h = 200\ mm$

$d_{AV} = 200 - 20 - 10 = 170\ mm$

$W_u = 1.25\ (5.3) + 1.5\ (3.8) = 12.33\ \ KN/m^2$

کنترل برش خمشی



$V_{U1} = (\ 6/2 - 0.2 - 0.17)\ (1)(12.33)$

$V_{U1} = 32.43\ KN$

$V_C = 0.2\varphi_C\sqrt{F_C}\ b\ d$

$V_C = 0.2 \times 0.6\ \sqrt{21}\ (\ 1000)\ (170) \times 10^{-3}\ \ \Rightarrow\ \ V_C = 93.5\ kN$

کنترل برش دو طرفه

$V_{U2} = [\ 6 \times 4.8 - (\ 0.4 + 0.17)\ (\ 0.3 + 0.17\ )\ ]\ 12.33$

$V_{U2} = 351.8\ kN$

$V_C = 0.4\ \varphi_C\ \sqrt{F_C}\ b_0\ d$

$b_0 = 2\ [\ (0.3+0.17) + (\ 0.4 + 0.17)\ ] = 2.08$

$V_C = 0.4 \times 0.6\sqrt{21}\ (\ 2.08 \times 1000\ )\ (\ 170\ ) \times 10^{-3} = 388.9\ kN$

تعیین ممان استاتیکی

- توزیع ممان استاتیکی به صورت زیر است :

  ممان منفی = ۶۵٪

  ممان مثبت = ۳۵٪

- توزیع ممان های مثبت و منفی بین نوارهای ستونی و میانی

  برای ممان منفی ۷۵٪ برای نوار ستونی

  و برای ممان مثبت ۶۰٪ برای نوار ستونی

مسئله : اگر $DL = 8\ kN/m^2$ و $LL = 6\ kN/m^2$ مسئله قبلی را تکرار کنید.

$W_U = 1.25\ (\ 8\ ) + 1.5\ (\ 6\ ) = 19\ \ kN/m^2$

$V_{U2} = [\ 6 \times 4.8 - (\ 0.4 + 0.17)\ (\ 0.3 + 0.17)\ ]\ 19$ ➔ $V_{U2} = 542\ kN$

دال از لحاظ برش سوراخ کننده ضعیف می باشد $V_U > V_C$ =>

مقاومت برشی سوراخ کننده را می توان به طریق زیر افزایش داد

۱- افزایش مقاومت بتن

$V_C = 0.4\ (\ 0.6\ )\ \sqrt{F_C} \times 2.08 \times 10^3\ (\ 170\ ) = 542 \times 10^3$

$F_C = 41\ MPa \quad \sqrt{F_C} = 6.39$

$Use = 300\ mm$

$d = 300 - 20 - 10 = 270\ mm$

$V_C = 0.4\ \varphi_C\ \sqrt{F_C}\ b_0\ d$

$b_0 = 2\ [\ (0.3+0.27) + (\ 0.4 + 0.27)\ ] = 2.48$

$V_C = 0.4 \times 0.6\sqrt{41}\ (\ 2.08 \times 1000\ )\ (\ 270\ ) \times 10^{-3} = 736\ kN$

$V_{U2} = [\ 6 \times 4.8 - (\ 0.4 + 0.27)\ (\ 0.3 + 0.27)\ ]\ 19$ => $V_{U2} = 540\ kN$

$540 < 736$ => $V_U < V_C$ ✓

سطح مقطع میلگردهای فولادی بر حسب سانتی متر مربع

قطر mm	وزن در طول Kg/m	محیط Cm	تعداد میلگرد ها									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0.154	1.57	0.20	0.39	0.59	0.79	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96
6	0.222	1.89	0.28	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83
7	0.302	2.20	0.38	0.77	1.15	1.54	1.92	2.31	2.69	3.08	3.46	3.85
8	0.395	2.51	0.50	1.01	1.51	2.01	2.51	3.02	3.52	4.02	4.54	5.03
10	0.617	3.14	0.79	1.57	2.36	3.14	3.39	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85
12	0.888	3.77	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.20	11.30
14	1.210	4.40	1.54	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.80	12.50	13.90	15.40
16	1.580	5.03	2.01	4.02	6.03	8.04	10.10	12.10	14.10	16.10	18.10	20.10
18	2.000	5.65	2.54	5.08	7.63	10.20	12.70	15.30	17.80	20.40	22.90	25.40
20	2.470	6.27	3.14	6.28	8.42	12.60	15.70	18.80	22.00	25.10	28.30	31.40
22	2.980	6.91	3.80	7.60	11.40	15.20	19.00	22.80	26.60	30.40	34.20	38.00
24	3.550	7.54	4.52	9.05	13.60	18.10	22.60	27.10	31.70	36.20	40.70	45.20
26	4.170	8.17	5.31	10.60	15.90	21.20	26.50	31.90	32.70	42.50	47.80	53.10
28	4.830	8.80	6.16	12.30	18.50	24.60	30.80	36.90	43.10	49.30	55.40	61.60
30	5.550	9.42	7.07	14.10	21.20	28.30	35.30	42.40	49.50	56.50	63.60	70.70
32	6.310	10.05	8.04	16.10	24.10	32.20	40.20	48.30	56.30	64.30	72.40	80.40
34	7.130	10.68	9.08	18.20	27.20	36.30	45.40	54.50	63.60	72.60	81.70	90.80
36	7.990	11.31	10.20	20.40	30.50	40.70	50.90	61.10	71.30	81.40	91.60	102.00
38	8.900	11.94	11.30	22.70	34.00	45.40	56.70	68.00	79.40	90.70	102.00	113.00
40	9.870	12.57	12.60	25.10	37.70	50.30	62.80	75.40	88.00	101.00	113.00	128.00