فصل دوازدهم : ۱۲

شالوده

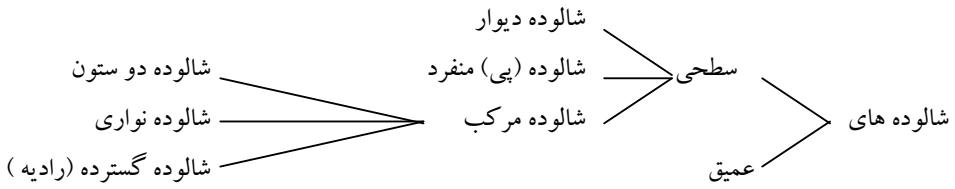
- ☑ تعریف
- ☑ انواع پی
- ☑ تعیین ابعاد سطح شالوده
- ☑ شالوده با بار خارج از مرکز
- ☑ برش
  - ☑ برش یکطرفه (برش خمشی)
  - ☑ برش دو طرفه (برش سوراخ کننده)
- ☑ ممان خمشی موثر بر شالوده و تعیین فولاد های لازم

« شالوده ها »

* شالوده یا پی واسطه انتقال بار از ساختمان به زمین می باشد .

* بار ساختمان از طریق دیوارها و یا ستونها به شالوده ها رسیده و سپس به زمین انتقال داده می شود

انواع شالوده ها



* در طراحی شالوده دو هدف باید مدنظر گرفته شود .

۱- کل نشست سازه باید به مقدار کم و قابل قبولی محدود شود .

۲- تا حد امکان قسمتهای مختلف سازه نباید دارای نشست های نا مساوی باشد .

* برای محدود کردن نشست های فوق الذکر باید بار سازه را به لایه ای از خاک با مقاومت کافی منتقل نمود و فشار ناشی از این بارها در خاک به حد قابل قبولی کاهش داد .

مقاومت خاک و چگونگی پخش بار

سطح شالوده بر روی خاک طوری انتخاب می شود که بار منتقل شده به زمین از مقاومت مجاز آن تجاوز ننماید .

در چگونگی انتقال بار از شالوده به زمین معمولا" شالوده بصورت صلب و تغییر شکل ناپذیر فرض می شود.

با این فرض در مورد ستونهاییکه در زیر بار محوری قرار دارند پخش فشار در زیر شالوده یکنواخت می باشد و در مواردیکه بار خارج از محور باشد بصورت غیر یکنواخت ولی خطی در نظر گرفته می شود .

* این فرض در مورد شالوده های دراز و باریک که طبعا" در زیر اثر فشار خاک مانند تیرها تغییر شکل می دهند . صحیح نمی باشد ، چرا که با بوجود آمدن تغییر شکل در شالوده وضع پخش خاک بر روی آن تغییر خواهد کرد .

❖ در هر صورت باید دانست که در نظر گرفتن پخش یکنواخت بار (یا غیر یکنواخت ولی خطی) بر روی خاک از نقطه نظر خاک تقریبی میباشد.

تعیین ابعاد سطح شالوده :

ابعاد سطح شالوده که بر روی خاک قرار دارد بر مبناء بارهای بهره برداری و تنش مجاز خاک تعیین می شود .

❖ ابعاد سطح شالوده باید طوری انتخاب شود که تنشهای ایجاد شده در خاک تحت اثر بار ستون ، وزن شالوده و خاک احتمالی در روی شالوده و یا هر سر بار دیگر رو ی پی از تنش مجاز خاک تجاوز نکند .

❖ برای شالوده هایی که تحت بار محوری و امتداد بار از مرکز هندسی شالوده می گذرد .

$$\text{لازم } A = \frac{D+L}{q_a}$$

q_a ← مقاومت مجاز خاک

در صورت وجود اثرات زلزله (E) و یا باد (W) تنش مجاز خاک را می توان 33% افزایش داد .

$$\text{لازم} \quad A = \frac{D+L+E(W)}{1.33\ q_a}$$

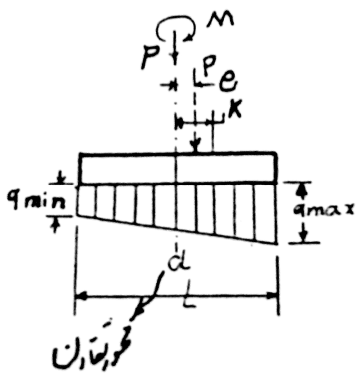
<u>شالوده با بار خارج از مرکز</u>

یک شالوده به دو صورت ممکن است خارج از مرکز بارگذاری شود .

- ستون تحت بار محوری هم مرکز با سطح شالوده نباشد
- ستون در محل اتصال با پی (شالوده) علاوه بر بار محوری یکسان را نیز منتقل کند .

در هر دو حالت اثر بارها را می توان به صورت اثر توام بارهای محوری و ممان خمشی در مرکز سطح شالوده در نظر گرفت .

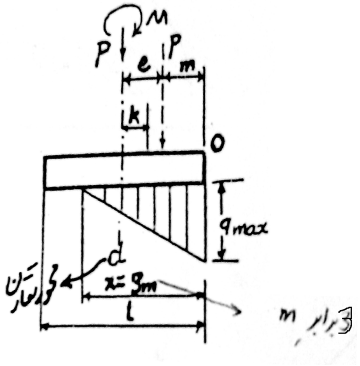
* اگر خروج از مرکز (e) [e = M / P] از هسته مرکزی مقطع تجاوز نکند ، تنش در تمام نقاط زیر شالوده فشاری است .



$$q_{\max,\min} = \frac{p}{A} + \frac{MC}{I}$$

* ابعاد پی باید طوری انتخاب شود که $q_{max} \leqslant q_a$ باشد .

*برای پی های مستطیلی هسته مرکزی عبارت است از 1/3 میانی طول پی در جهت خمشی می باشد لذا اگر $e \leqslant L/6$ باشد نیرو در داخل هسته مرکزی قرار دارد .



*در صورتی که برآیند نیروها خارج از هسته مرکزی قرار گیرد ، با استفاده از رابطه تنش در بالا منجر به مقداری منفی برای تنش در یک لبه می شود (یعنی کشش) . با توجه به اینکه تنشهای کششی نمی توانند بین پی و خاک ایجاد شوند (زیرا اتصالی بین آنها وجود ندارد) لذا رابطه تنش در بالا نمی تواند بکار گرفته شود در چنین حالتی با توجه به تصویر مقابل و توزیع تنش نشان داده شده برای یک پی مستطیلی به ابعاد $L \times b$ حداکثر تنش برابر است با

از رابطه تعادل نیروها $1/2\ q_{max}\ (x)\ b = p$

از رابطه ممان نسبت به نقطه o $X = 3 \times m$ $\longrightarrow$ $q_{MAX} = \dfrac{2P}{3 \times b \times m}$

ادامه طراحی شالوده را با درنظر گرفتن شالوده دیوار و شالوده منفرد دنبال می کنیم .

* حال باید ضخامت و آرماتور پی را تعیین نمود .

* طراحی شبیه به طراحی تیرها می باشد – برای برش و خمش طراحی می شود .

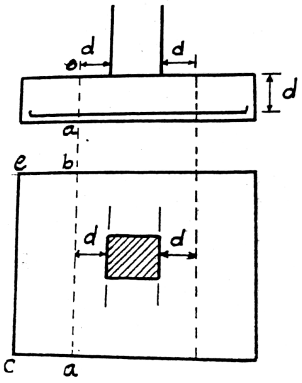
* در این حالت بارهای بهره برداری در ضرائب بار مربوطه ضرب می شود.

*** در محاسبه تنش فشاری نهایی qa نباید بارهای ناشی از وزن شالوده و خاکریز را در نظر گرفت زیرا دردیاگرام پیکر آزاد پی ، این نیروها با تنشهای نظیر که در زیر پی ایجاد می شوند خنثی می گردد .

برش : برش در شالوده ها شامل برش یکطرفه (برش خمشی) و برش دو طرفه (برش سوراخ کننده) می باشد .

* در شالوده خاموت گذاری معمول نیست عمق شالوده طوری تعیین می شود که تنش برشی از حد مقاومت برشی بتن تجاوز نکند .

برش یکطرفه (برش خمشی)



* مقدار نیروی برشی ماکزیمم در شالوده ها مانند تیرها در مقطعی به فاصله d از سطح جانبی ستون در نظر گرفته می شود

نیروی برشی نهایی در این مقطع برابر است با

$V_u = q_u\ (A_{abec})$

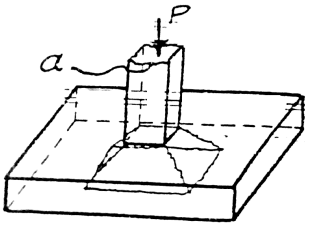
$V_U \leqslant V_C$

$V_C = 0.2\ \phi_C\ \sqrt{fc}\ bd$

b : عرض شالوده در مقطع بحرانی (mm)

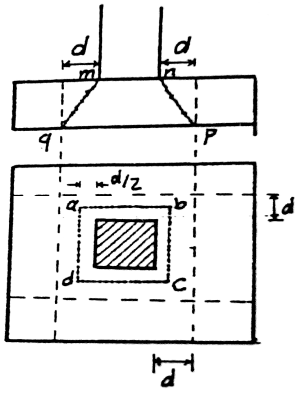
d : ارتفاع موثر (mm)

برش دو طرفه (برش سوراخ کننده)



عملکرد برش سوراخ کننده همانطور که در تصویر مقابل نشان داده شده است ، ستون تمایل به فرو رفتن در داخل شالوده را دارد .

* عمل فرو رفتن ستون در داخل شالوده از یک طرف ایجاد تنش برشی در اطراف محیط ستون و از طرف دیگر به لحاظ انتقال نیروی فشاری به شالوده ، موجب ، ایجاد تنشهای فشاری در شالوده می شود .



همانطور که در تصویر بالا یا تصویر مقابل دیده می شود شالوده در زیر اثر ستون با مقطع مربع واقع شده است . شالوده در ناحیه هرمی شکل به مقطع mnpq ممکن است بکلی از بقیه شالوده جدا گردد . تنش برشی ایجاد شده در این ناحیه از تقسیم نیروی برشی انتقال یافته از ستون به شالوده در ناحیه خارج از هرم mnpq به سطح جانبی این هرم بدست می آید . این هرم دارای قاعده فوقانی به ضلع a و قاعده تحتانی به ضلع $a + 2d$ می باشد . به جهت سهولت در امر محاسبه سطح جانبی این هرم را می توان معادل سطح جانبی منشوری به ارتفاع d و قاعده adcd که اضلاع آن به فاصله d/2 از سطح جانبی ستون واقع شده در نظر گرفت . با این فرض مقدار تنش برشی در این سطح برابر است با

$$v = \frac{V}{b_0\, d}$$

$b_0 = 4(a + d)$

a: بعد متوسط ستون

* حد مقاومت برش بتن α در برش سوراخ کننده بیش از مقاومت بتن در برش خمشی می باشد . بتن فشاری در شالوده زیر اثر خمش دو جانبه در دو جهت تحت فشار می باشد.

طبق آئین نامه آبا نیروی مقاوم برش سوراخ کننده برابر با کمترین مقادیر بدست آمده از ۳ رابطه زیر می باشد :

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

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

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

b_0 : محیط بحرانی در فاصله d/2 از محیط خارجی ستون (mm)

α_S: عددی است که برای ستونهای میانی برابر با ۲۰ ، برای ستون های کناری برابر با ۱۵ و برای ستون های گوشه ۱۰ در نظر گرفته می شود.

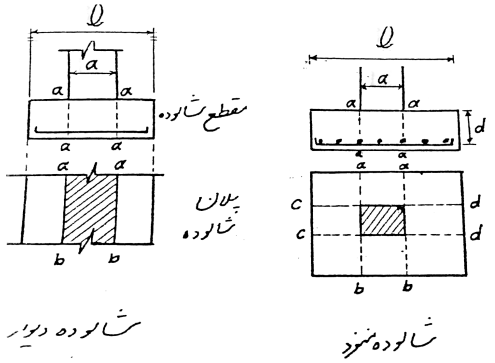
β_C : نسبت طول به عرض ستون

* حداقل ضخامت شالوده : طبق آبا ضخامت شالوده در مواردی که شالوده روی خاک قرار می گیرد . نباید کمتر از 250 mm و در مواردیکه شالوده روی شمع قرار میگیرد نباید کمتر از 400 mm باشد .

** برای شالوده های دیوارها که در تمامی طول تحت اثر بار قرار می گیرند و در اثر فشار خاک فقط در یک جهت خم می شود . بنابراین شالوده ها فقط برای برش یکطرفه طراحی می شوند .

ممان خمشی موثر به شالوده و تعیین فولادهای لازم

در شـالوده هـای مقابـل (شـالوده دیـوار و شـالوده منفـرد) قسمتهایی از شالوده که مـستقیماً در زیـر دیـوار یـا سـتون قـرار نگرفته اند ، در زیر اثر فشار خاک مانند یک تیرکنـسول تحـت خمش قرار می گیرد .



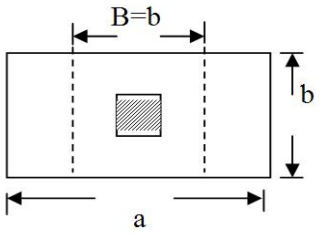
* در شالوده دیوار، شالوده در یک جهت تحت خمش قرار دارد و بنابراین فولادگذاری در یک جهت لازم است محاسبه شود (در جهت عرضی) در جهت طولی باید میلگردهای حرارتی (فولاد مینیمم) منظور شـود. در شـالوده منفـرد ، شـالوده در دو جهت تحت خمش قرار می گیرد و فولادگذاری دو طرفه می باشد .

مقدار ممان خمشی ماکزیمم در مقطع a-a برابر است با :

$$M_{a\text{-}a} = \frac{q_u}{8}(L - a)^2$$

* در مورد شالوده های مربع فولادها در هر دو جهت بطور یکنواخت در سطح شالوده قرار می گیرند.

* در شالوده های مستطیلی فولادگذاری در جهت طولی شالوده به طوریکنواخت در عرض شالوده قرار می گیرد اما فولاد گذاری در جهت عرضی در طول شالوده یکنواخت نخواهد بود . در ناحیه مرکزی شالوده که نزدیکتر به ستون مـی باشـد ، فولاد بیشتری قرار می گیرد.



آئین نامه(آبا) مقرر می دارد که مقدار فولاد بکار رفتـه در طـول $B = b$ مطـابق شـکل مقابل به نسبت $\frac{2}{\frac{a}{b}+1}$ برابرمقدار کل فولاد در طول a باشد . بـرای مثـال اگـر a=2b باشد ، مقدار 2/3 فولاد که در جهت عرضی در طول a باید بکار بـرده شـود ، در ناحیـه B= b بطور یکنواخت قرار داده شود و 1/3 بقیه در دو طرف خارج از ناحیه B =b بطور یکنواخت قرار می گیرد .

* تمرکز بیشتر فولاد در ناحیه مرکز شالوده بعلت آن است که عملاً" ناحیه مرکـزی شـالوده ممـان خمـشی بیـشتری از بقیـه قسمتهای شالوده حمل می کند و در نتیجه فولاد بیشتری نیز لازم میباشد .

انتقال نیرو در پای ستون : تمامی نیروها که در پای ستون عمل می کنند بایستی به شالوده انتقال یابند .

* انتقال بار محوری فشاری با ایجاد فشار در بتن و میلگردهای ریشه انجام می گیرد .

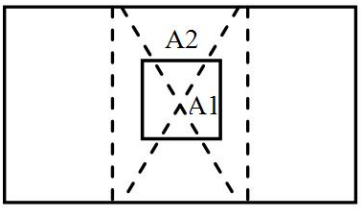
* مقدار بار فشاری در سطح تماس بین ستون و شالوده به مقاومت اتکایی نهایی (F_{br}) محدود می شود .

$$F_{br} = 0.85\ \phi_c\ f_c\ A_1 \left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}\right) \leqslant 1.7\ \phi_c\ f_c\ A_1$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leqslant 2$$

A_1 : سطح اتکا

A_2 : بزرگترین قسمت ممکن از سطح شالوده که هم مرکز و متشابه با A_1 باشد . (تصویر مقابل ملاحظه شود)



* اگر بار فشاری از F_{br} بیشتر باشد ، مقدار اضافی توسط میلگردهای ریشه تحمل می شود .

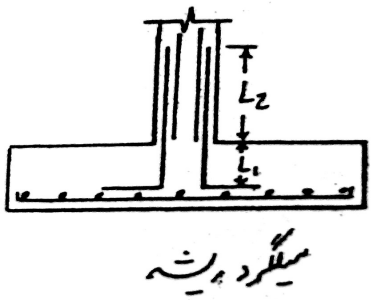
* در صورت وجود بار کششی در ستون ، تمامی نیرو باید توسط میلگردهای ریشه به شالوده انتقال یابد .

* برای انتقال ممان از ستون به شالوده در محل پای ستون مقدار فولاد لازم ممکن است با مقدار فولاد موجود در ستون بابر گردد به همین منظور میزان میلگردهای ریشه برابر میزان میلگردهای ستون اختیار می شود .

* این میلگردهای ریشه برای انتقال بار از ستون به شالوده باید دارای طول مهار کافی (فشاری) از هر دو سو باشد .

L_1 : طول مهاری در فشار

L_2 : طول وصله در کشش یا فشار



* مطابق آئین نامه هنگامی که انتقال بار از طریق تنشهای تکیه گاهی (اتکایی) صورت می گیرد . باید یک مقدار حداقل میلگرد برابر 0.5% سطح مقطع ستون در سطح تماس ستون و پی قرار داده شود .

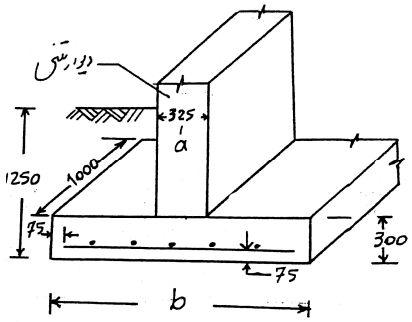
مثال : یک دیوار بتنی به ضخامت 325 mm در یک متر طول بار بدون ضریبی شامل 80 kN بار مرده و 220 kN را حمل می کند . فشار مجاز خاک در عمق 1.25 m از زیر سطح برابر 210 kN/m^2 است .شالوده را طراحی کنید . (عرض پی و فولاد گذاری)

F_c= 20 N/mm^2

F_y= 400 N/mm^2

خاک V = 16 kN /m^3

بتن V = 24 kN/m^3



ضخامت شالوده 30 cm فرض شود .

ارتفاع خاک روی شالوده 0.95 m

حل مسئله :

پس از کسر تاثیر وزن خاک روی شالوده و وزن خود شالوده فشار مجاز موثر باقیمانده برای حمل بارهای ناشی از دیوار برابر است با :

$q_e = 210 - (0.3 \times 24) - (0.95 \times 16) = 188$ kN /m^2

$b = p / q_e = (80 + 220) / 188 = 1.6$ m

$p_u = 1.25\ (80) + 1.5\ (220) = 430$ kN

$q_e = 430 / (1 \times 1.6) = 269$ kN/m^2

کنترل برش

با در نظر گرفتن پوشش $d' = 75$ mm

$d = 0.3 - 0.07 = 0.225$ m

$V_u = q_u [(b - a / 2) - d] = 269 [(1.6 - 0.325 / 2) - 0.225]$

$V_u = 111$ kN/m

$V_c = 0.2\ \phi_c \sqrt{f_c}\ bd = 0.2\ (0.6)\ \sqrt{20}\ (1000)\ (225) \times 10^{-3}$

$V_c = 121$ kN/m > 111 kN/m ✓

نیاز به میلگرد برشی نمی باشد .

طراحی برای خمش : تعیین مقدار فولاد لازم

$$M_U = \frac{q_u}{8}(L - a)^2$$

$$M_U = \frac{269}{8}(1.6 - 0.325)^2 = 54.7 \quad kN.m/m$$

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

$$\Rightarrow As = 758 \ mm^2/m$$

$$A_S = \frac{0.85(0.6\times 20)1000(225)}{0.85\times 400}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\times 54.7\times 10^6}{0.85(0.6\times 20)(1000)(225)^2}}\right]$$

$$\rho = \frac{758}{1000\times 225} = 0.0034$$

$$\rho_{max} = 0.6\beta_1 \frac{f_C}{f_Y}\frac{600}{600 + f_Y} \quad \Rightarrow \quad \rho_{max} = 0.6(0.85)\frac{20}{400}\frac{600}{1000} = 0.0153$$

$$\rho_{min} = 0.0018$$

$$\Rightarrow \quad \rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

➔ $A_s = 758 \ mm^2/m$

Φ_{16} @ 25 cm c/c

تعیین میلگردهای حرارتی طول

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

$A_s = 0.0018\ (1000)\ (300) = 540 \ mm^2/m$

Use Φ_{12} @ 20 cm c/c

انتقال نیرو در پای ستون : تعیین مقاومت اتکایی

$$F_{br} = 0.85\ \phi_c\ f_c\ A_1\left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}\right) \ \le 1.7\ \phi_c\ f_c\ A_1$$

$$F_{br} = 0.85\ (0.6)\ (20)\ (1000\times 325)\times 10^{-3}$$

بدون ضریب $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ در نظر گرفته می شود .

$F_{br} = 3315 \ kN > P_u = 430 \ kN$ ✓

کنترل طول گیرایی :

از مقطع بحرانی خمش (لبه دیوار) تا انتهای میلگرد باید برابر یا مساوی طول گیرایی در کشش گردد .

$L_d = k_1 k_2 k_3 \ L_{db}$

$k_1 = 1 \qquad k_2 = 1.2 \qquad k_3 = 1$

$$L_{db} = \frac{d_b \ f_Y}{4 f_b}$$

$F_b = \lambda_1 \lambda_2 \ f_{bd}$

$F_{bd} = 0.65 \sqrt{fc} = 2.91$

$\lambda_1 = 1$ ⟵ اگر پوشش بتنی روی میلگرد بیشتر از $2d_b$ باشد .

$\lambda_2 = 0.85$ فاصله مرکز به مرکز میلگردها بزرگتر از $5d_b$ و فاصله میلگرد انتهایی از لبه قطعه بزرگتر از d_b 2.5 باشد .

$F_b = (1)\ (0.85)\ 2.91 = 2.47$

$L_{db} = (\ 16\times 400) / (\ 4\times 2.47\ ) = 648$

$L_d = (1)\ (1)\ (1)\ (648) = 648$ mm

طول گیرایی موجود $\frac{1600 - 325}{2} = -\ 75 = 563$ mm < 648 ✘

با استفاده از قلاب $90°$ طول گیرایی را کنترل می کنیم .

$L_{dh} = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \ L_{dhb}$

$$L_{dhb} = \frac{d_b \ f_Y}{4 f_b}$$

$F_b = \sqrt{fc} = 4.5$

$$L_{dhb} = \frac{16\,(400)}{4\times 4.5} = 356$$

$\beta_1 = 0.7$

$\beta_2 = 1$

$\beta_3 = 3$

$L_{dh} = 0.7\ (356) = 249 < 563$ ✓

مثال : یک ستون تنگ دار مربع به ابعاد 450 mm به هشت میلگرد Φ35 ، بار مرده بدون ضریب 1300 kN و بار زنده بدون ضریب 1000 kN را حمل می کند . خاک مناسبی با فشار مجاز 300 kN /m^2 در عمق 1.5 m موجود است .یک شالوده مربعی را طراحی کنید . $f_y = 400$ N/mm^2

برای ستون مقاومت بتن 30 N / mm^2 و برای پی 20 N/mm^2 است .

خاکγ = 16 kN /m^3 , بتن γ= 24 kN/m^3

حل مسئله :

اگر وزن مخصوص مخلوط خاک و بتن را 20 kN / m^3 فرض نماییم فشار خالص مجاز برای حمل بار وارده برابر است با :

$$\lambda_{avg} = \frac{16+24}{2} = 20$$

q_e= 300 – 20 (1.5) = 270 kN /m^2

A = (1300 + 1000) / 270 = 8.52 m^2

$\sqrt{A}$ = 2.92 use $3^m \times 3^m$

P_u = 1.25 (1300) + 1.5 (1000) = 3125 kN

q_u= 3125 / 3 × 3 = 347 kn/m^2 = 0.347 N/mm^2

$V_u = 0.347 \ [9\times 10^6 – (450 + d)^2]$

تعیین ارتفاع شالوده براساس برش دو طرفه

$V_c = 0.4 \ \phi_c \sqrt{f_c} \ b_0 d$

$b_0 = 4 (a+ d)$ بر اساس مدلساز منشوری به جای هرمی بر اساس d/2 طراحی می شود.

$V_C = 0.4 \ (0.6) \sqrt{20} \ (4) (450 + d) \ d = 4.29 \ d (450 + d)$

$V_U = V_C$

$\rightarrow \quad 0.347 \ [9 \times 10^6 – (450 + d)^2] = 4.29 \ d (450 + d)$

از حل معادله نتیجه می شود که :

d= 605 mm

h = 605 + 75 + 20 = 700 mm

با فرض پوشش بتنی

با فرض میلگرد Φ20

کنترل برش خمشی

$V= 0.347 [3000 ((3000 - 450) / 2) – 605)] = 697470 \ N = 697 \ kN$

$V_c= 0.2 \ \phi_c \sqrt{fc} \ bd = \{ 0.2 (0.6) \sqrt{20} \ 3000 \ d \} \times 10^{-3}$

$V_c = 974031 \ N = 974 \ KN > 697$

طراحی برای خمش

$$M_U = \frac{q_u}{8} (L - a)^2$$

$$M_U = \frac{347}{8} (3 - 0.45)^2 = 282 \ kN.m/m$$

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

$$\Rightarrow As = 1427 \ mm^2/m$$

$$A_S = \frac{0.85(0.6\times 20)1000(605)}{0.85\times 400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\times 282\times 10^6}{0.85(0.6\times 20)(1000)(605)^2}} \right]$$

$$\rho = \frac{1427}{1000\times 605} = 0.00236$$

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

$$\Rightarrow \ \rho_{max} = 0.6(0.85) \frac{20}{400} \frac{600}{1000} = 0.0153$$

$\rho_{min} = 0.0018 \quad \leftarrow$ طبق آیین نامه بتن ایران برای پی همانند دال عمل می گردد

$$\Rightarrow \quad \rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

➔ $A_s = 0.00236 \times 1000 \times 605 = 1427 \ mm^2/m$

USE Φ_{16} @ 18 cm c/c

انتقال نیروی پای ستون

$$F_{br} = 0.85\ \phi_c\ f_c\ A_1\left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}\right) \leqslant 1.7\ \phi_c\ f_c\ A_1$$

$A_2 = 3000^2$ $\qquad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{3000^2}{450^2}} = 6.67 > 2$

$A_1 = 450^2$ $\qquad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$

تعیین مقاومت اتکایی برای وجه شالوده

$$F_{br} = 0.85\ (0.6)\ (20)\ (450)^2\ (2) \times 10^{-3} = 4131 \quad kN$$

$F_{br} = 4131\ kn > P_u = 3125\ kN$ ✓

مقاومت اتکایی برای وجه ستون

$F_{br} = 0.85\ \phi_c\ f_c\ A_1$

$F_{br} = 0.85 \times (0.6)\ (30)\ (450)^2 = 3098 < P_u = 3125$ ✗

مشاهده می شود که بار ستون نمی تواند تنها از طریق تنشهای تکیه گاهی (اتکایی) انتقال یابد . سطح مقطع میلگردهای انتظار برای کمبود مقاومت برابر است با

$$A_s = \frac{p_u\ F_{br}}{\varphi_C\ f_Y} = \frac{(3125 - 3098)10^3}{0.85(400)} = 79\ mm^2$$

$A_{s(min)} = (0.005)\ (450)^2 = 1013\ mm^2 \longrightarrow 4\Phi 20$: حداقل آرماتور ریشه برابر است با

البته همانگونه که قبلاً گفته شد میلگردهای ریشه به تعداد میلگردهای ستون بصورت میلگرد انتظار در پی قرار میگیرد.

کنترل طول گیرایی در کشش :

$L_d = k_1 k_2 k_3\ L_{db}$

$k_1 = 1$, $K_2 = 1.2$, $k_3 = 1$

$$L_{db} = \frac{d_b\ f_Y}{4\ f_b}$$

$F_b = \lambda_1 \lambda_2\ f_{bd}$

$\lambda_1 = 1$

$\lambda_2 = 1.25$

$F_{bd} = f_{bm} = 0.65\ \sqrt{fc} = 2.91$

$F_b = (1)(1.25)\ 2.91 = 3.64 > 2.91$

$$L_{db} = \frac{20\ (400)}{4 \times 2.91} = 687$$

$L_d = (1)\ (1.2)\ (1)\ 687 = 825\ mm$

موجود $L_d = (3000 - 450\ /\ 2) = 1275 > 825$ ✓

کنترل طول مهار لازم برای این میلگرد ها در فشار

$L_{dc} = \alpha_1 \alpha_2 \ L_{dcb}$

$$L_{dcb} = \frac{d_b \ f_Y}{4 f_{bc}}$$

$F_{bc} = \sqrt{fc} \leq 6.5$

$F_{bc} = \sqrt{20} = 4.47$

$$L_{dhb} = \frac{20(400)}{4(4.47)} = 447.4\,mm$$

α_1 = سطح مقطع میلگرد بکار رفته / سطح مقطع میلگرد لازم = 1

$\alpha_2 = 1$

$L_{dc} = (1)\ (1)\ (447.4) \times 10^{-3} = 0.45$ m

L_{dc} موجود $= 605 - 20 = 585$ mm $= 0.585$ m > 0.45 ✓

این میلگردها باید به طولی معادل طول مهار $L_d = 585$ بداخل ستون نیز ادامه یابد .