

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران - گرایش مکانیک خاک و پی

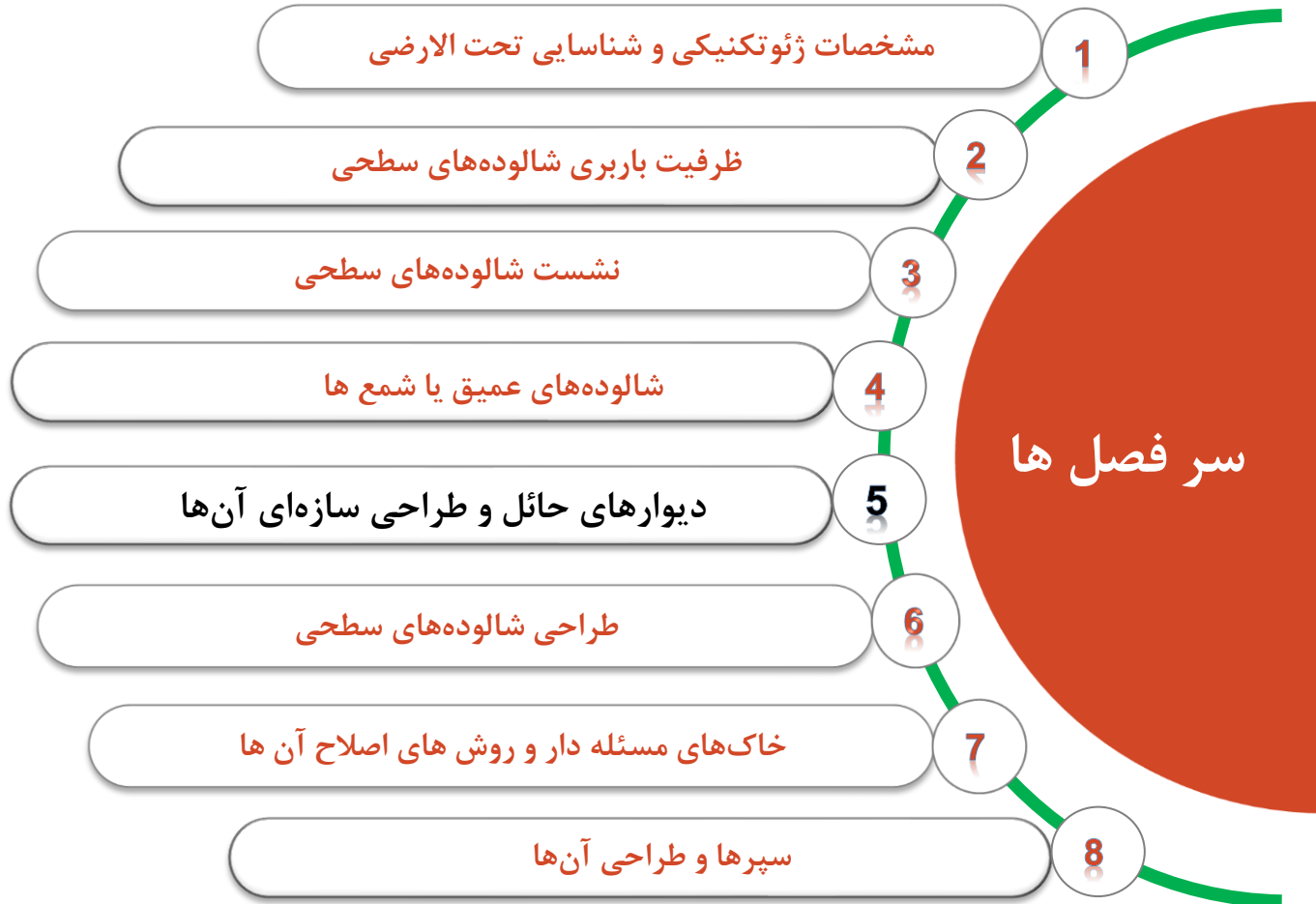
موضوع درس:

مهندسی پی (Foundation Engineering)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال دوم تحصیلی ۰۲-۰۱

مهندسی پی (Foundation Engineering)



دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

دیوارهای حائل

دیوار حائل، دیواری است که یک تکیه‌گاه جانبی برای جداره‌های قائم و یا نزدیک به قائم خاک به وجود می‌آورد. از دیوار حائل در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی نظیر راهسازی، پل‌سازی، محوطه‌سازی، ساختمان‌سازی و به‌طور کلی هر پروژه‌ای که احتیاج به تکیه‌گاه جانبی برای جدار قائم خاک برداری باشد، استفاده می‌شود. بر حسب مصالح تشکیل دهنده و هندسه دیوارهای حائل دارای انواع زیر می‌باشند (شکل ۱):

۱. دیوار حائل وزنی (Gravity retaining wall)

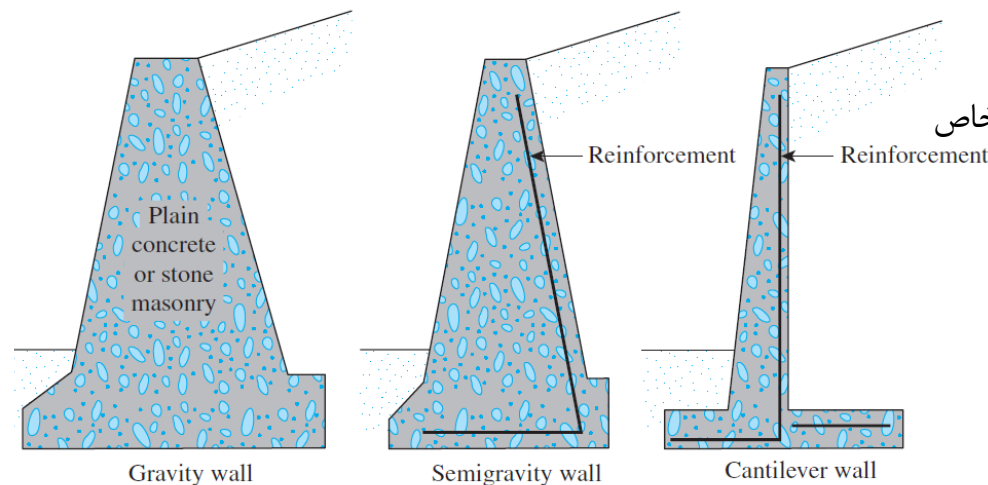
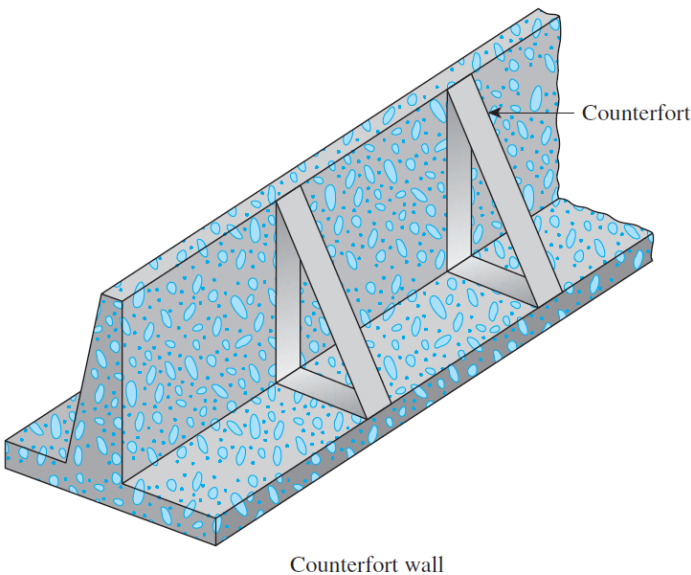
۲. دیوار حائل نیمه‌وزنی (Semigravity retaining wall)

۳. دیوار حائل طره‌ای (Cantilever retaining wall)

۴. دیوار حائل پشت‌بنددار (Counterfort retaining wall)

۵. کوله پل‌ها

۶. دیوارهای حائل خاص

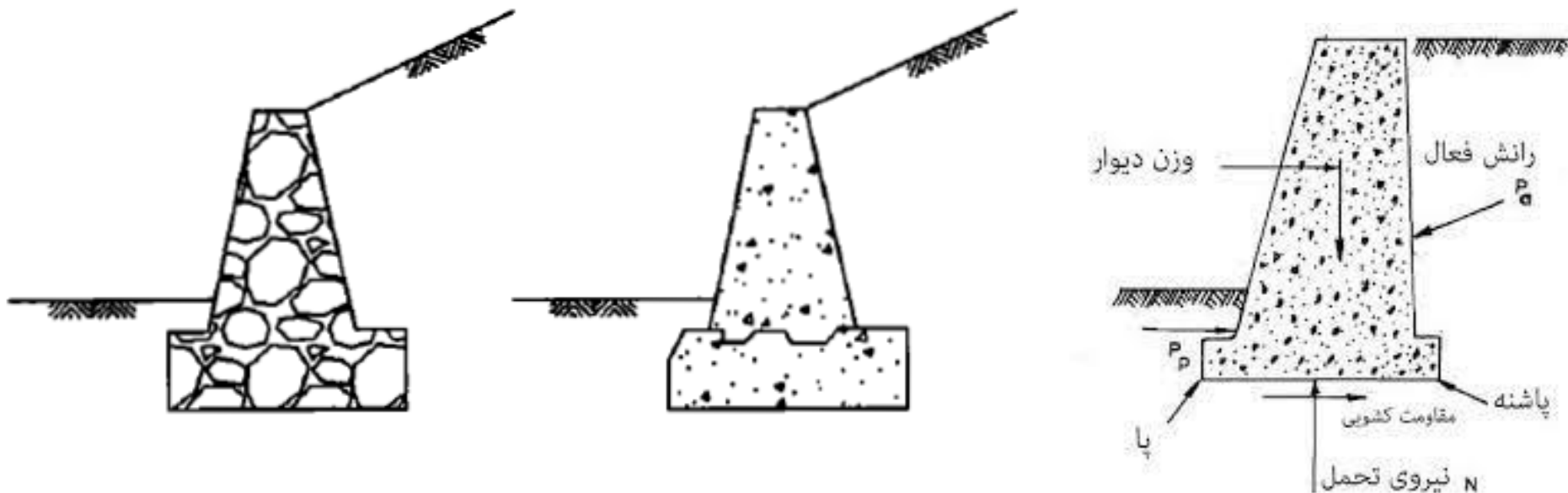


شکل ۱- انواع دیوار حائل

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

دیوارهای وزنی (ثقلی)

عامل اصلی پایداری این نوع از دیوارها وزن زیاد آنها می‌باشد. دیوارهای ثقلی را می‌توان به صورت سنگی، بتنی یا ترکیبی از آنها ساخت. در دیوارهای ثقلی معمولاً آرماتورگذاری نمی‌شود. دیوارهای ثقلی برای نگهداری خاکریزها با ارتفاع کم و متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرند.

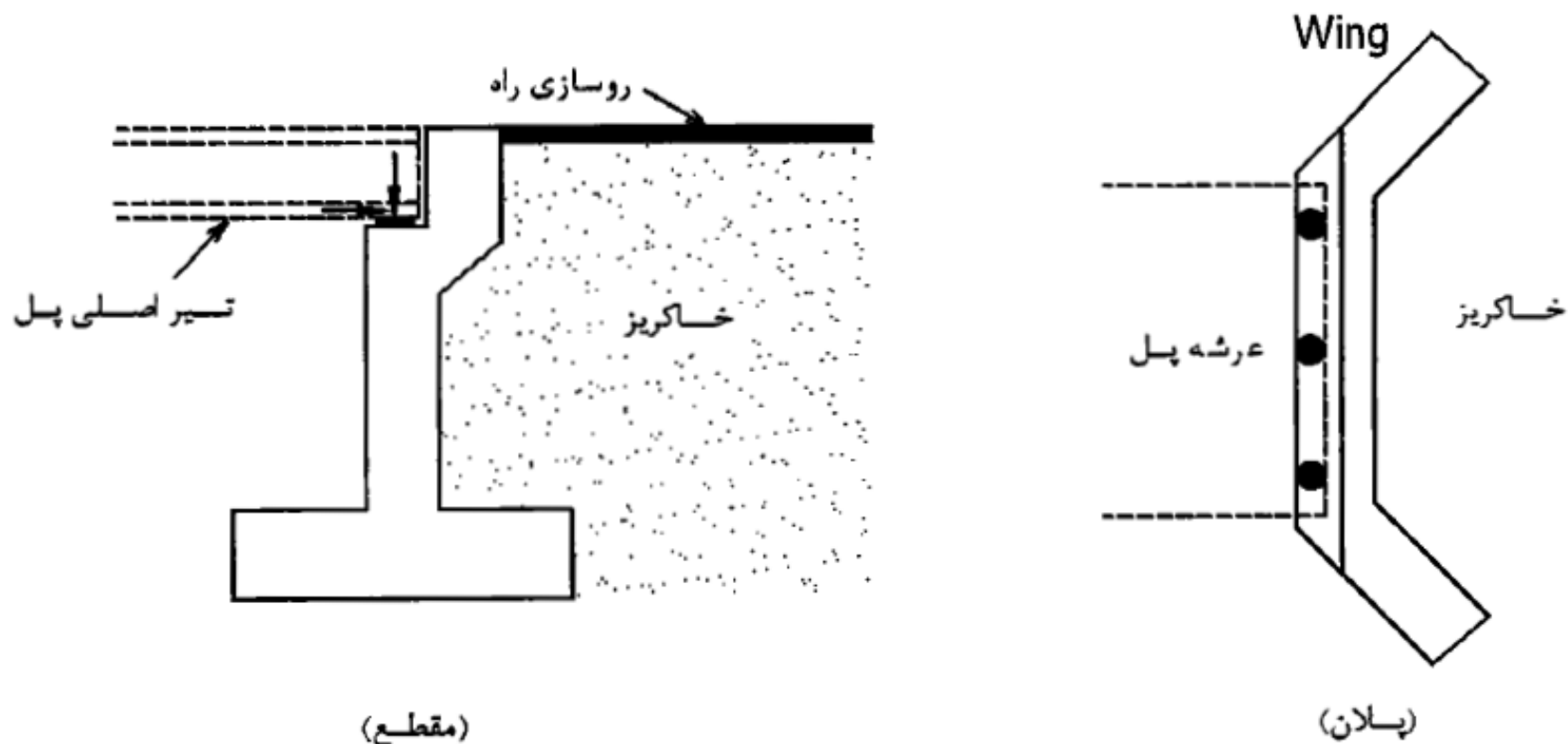


شکل ۲- دیوارهای حائل ثقلی

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

کوله‌ی پل

تکیه‌گاه‌های کناری پل‌ها دیوارهای حائلی هستند که علاوه بر تحمل بار شاه‌تیر پل، رانش جانبی خاکریزهای کناری پل‌ها را تحمل کرده و از ریزش آنها جلوگیری می‌کنند. شکل کوله‌های پل در مقطع و پلان به صورت شکل ۵ است.



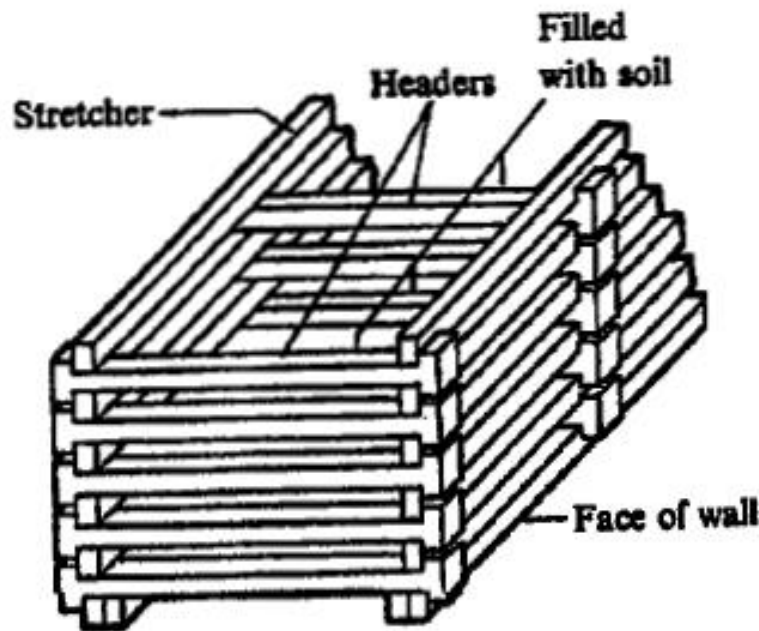
شکل ۵- پلان و مقطع کوله‌ی پل

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

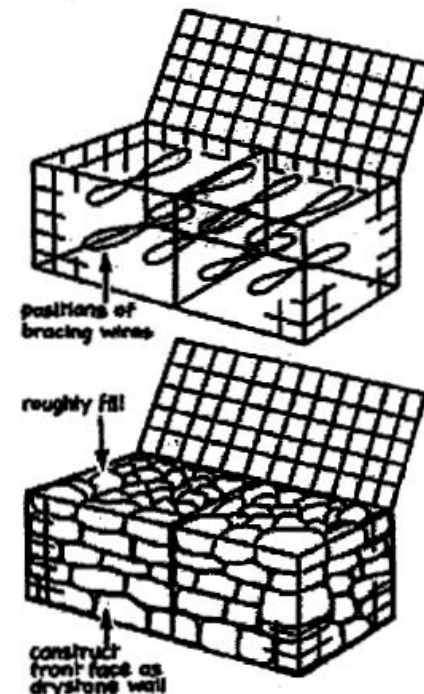
دیوارهای حائل خاص

تورسنگ (Gabion): نوعی دیوار حائل است که از توری‌های فلزی ضخیم به فرم مکعبی که داخل آنها با قلوه سنگ پر شده است، ساخته می‌شود. از این نوع دیوارها در کنار رودخانه‌ها و آبروها جهت جلوگیری از فرسایش و تثبیت سواحل آن استفاده می‌شود (شکل ۶).

Crib wall: نوعی دیوار حائل است که با اسکلتی از چوب ساخته شده و داخل آن با قلوه سنگ پر می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷- نمونه‌ای از دیوار حائل Crib wall

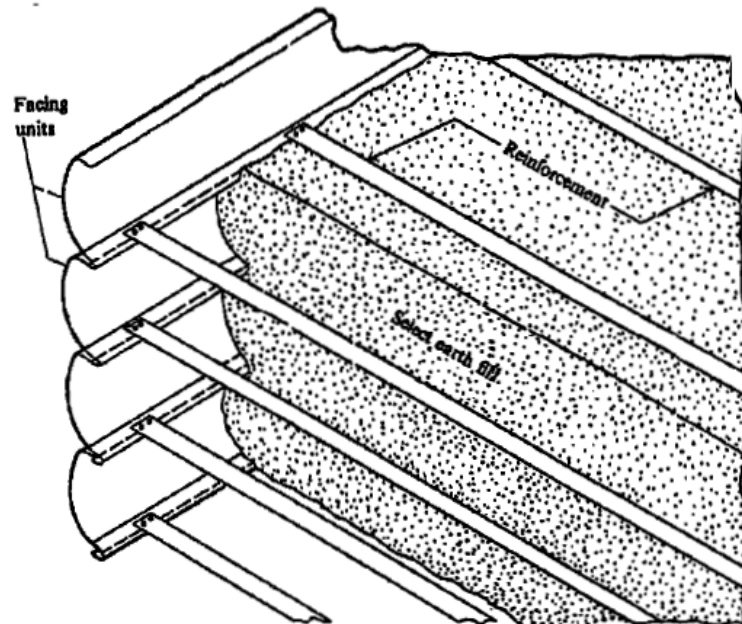


شکل ۶- نمونه‌ای از دیوار حائل Gabion

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

دیوارهای حائل خاص

دیوار با خاک مسلح (Reinforced soil wall): این تکنیک در ساخت دیوار حائل یا کوله که نخستین بار در فرانسه ابداع شد از همان ایده بتن مسلح در خاک استفاده می‌نماید. در این روش مطابق شکل ۸ از تسمه‌های فلزی در بین لایه‌های خاک استفاده می‌شود. رانش خاک پشت دیوار به تسمه‌های فلزی منتقل می‌گردد. ابعاد مقطع تسمه‌های فلزی و فاصله بین تسمه‌ها در طول دیوار با طراحی تعیین می‌شود. اگر عرض دیوار زیاد باشد کافی است تسمه‌ها را به اندازه طول مهارتی در کشش در خاک ادامه داده و سپس قطع نمود. نوع دیگری از دیوارهای خاک مسلح وجود دارد که برای تحمل تنش‌های کششی به جای تسمه‌های فلزی از نوعی مصالح پلیمری از خانواده‌ی ژئوسنتتیک‌ها به نام ژئوگرید (Geogrid) استفاده می‌شود.



شکل ۸- دیوارهای با خاک مسلح

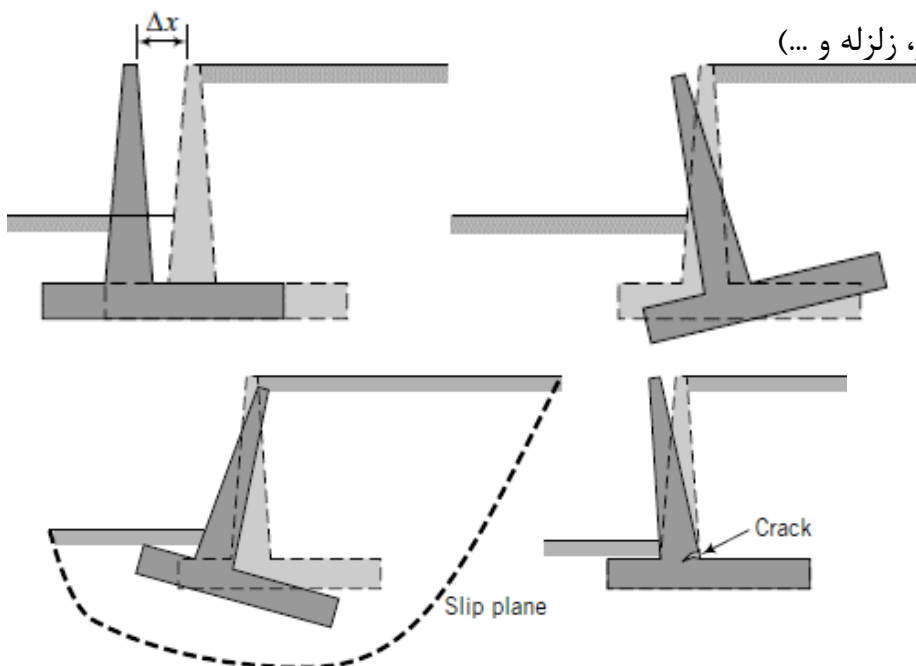
دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

مراحل طراحی دیوارهای حائل

مراحل طراحی دیوارهای حائل ثقلی و طره‌ای به شرح زیر است:

۱. طرح مقدماتی و تعیین ابعاد کلی دیوار با توجه به تناسب‌های هندسی ارائه شده

۲. تعیین نیروهای وارد بر دیوار (وزن دیوار، فشار جانبی خاک، فشار آب، سربار، زلزله و ...)



۳. پایداری و کنترل ژئوتکنیکی دیوار

• کنترل واژگونی دیوار

• کنترل لغزش دیوار

• کنترل ظرفیت باربری خاک و نشست در زیر پی دیوار

• کنترل پایداری کلی (در فصل پایداری شیروانی گفته شد)

۴. طرح سازه‌ای دیوار (کنترل خمش، برش - ابعاد دیوار در مقاطع بحرانی و آرماتورگذاری دیوار)

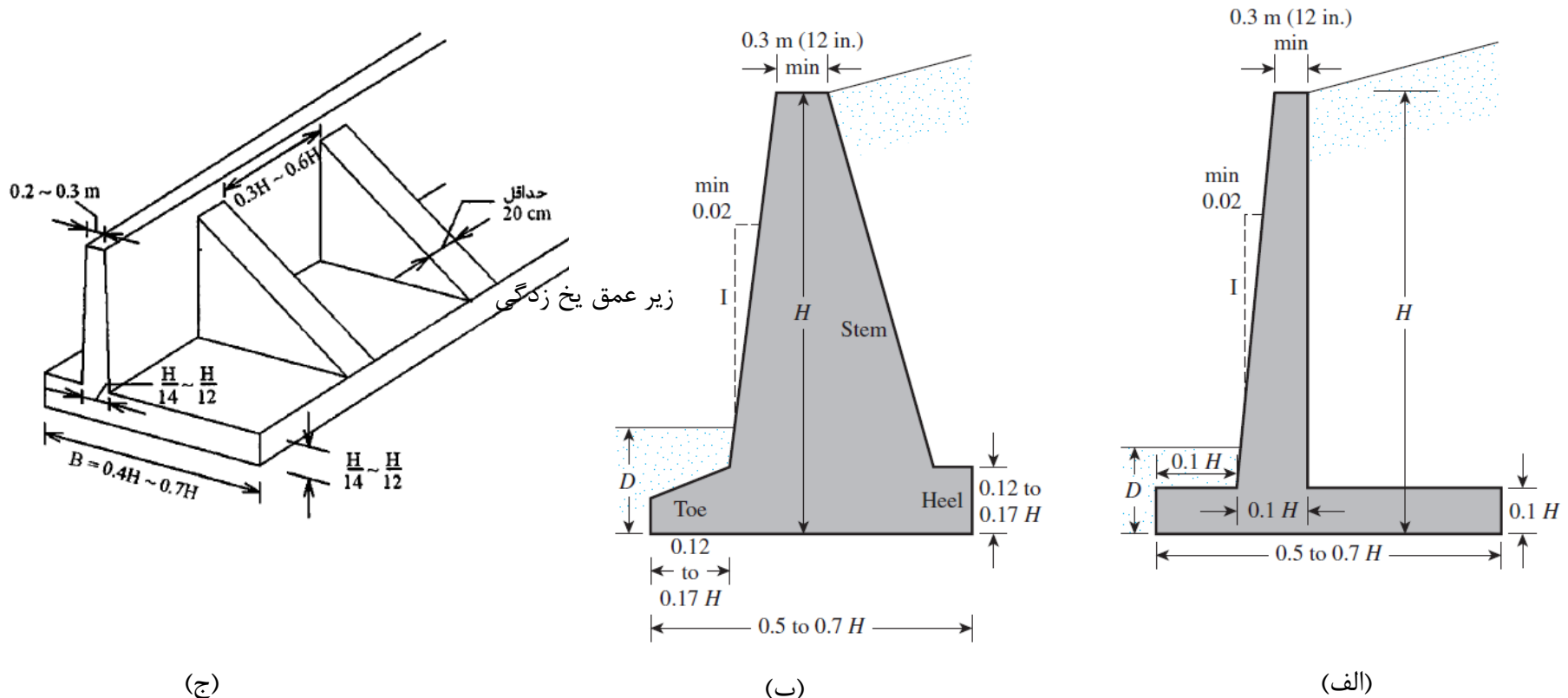
۵. طرح جزئیات اجرایی دیوار (آبروهای طولی و عرضی، مشخصات فنی خاکریز پشت دیوار، درزهای انبساط و درزهای اجرایی و ...)

۶. ترسیم کروکی‌ها جهت نقشه‌کشی و ارائه نقشه اجرایی

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

۱- طرح مقدماتی و تعیین ابعاد کلی دیوار

در هنگام طراحی دیوار حائل، باید ابعاد اولیه‌ای برای آن حدس زده شود. با انجام کنترل‌های پایداری، این ابعاد باید آن قدر تغییر یابند تا شرایط مناسب حاصل گردد. برای کمک به طراح در انتخاب ابعاد اولیه در شکل ۱۰، تناسبات منطقی دیوار حائل که با توجه به تجربیات گذشته به دست آمده، و ارائه شده است.



شکل ۱۰- تناسبات هندسی دیوارهای حائل (الف) طره‌ای، (ب) وزنی و (ج) پره‌دار (پشت‌بنددار)

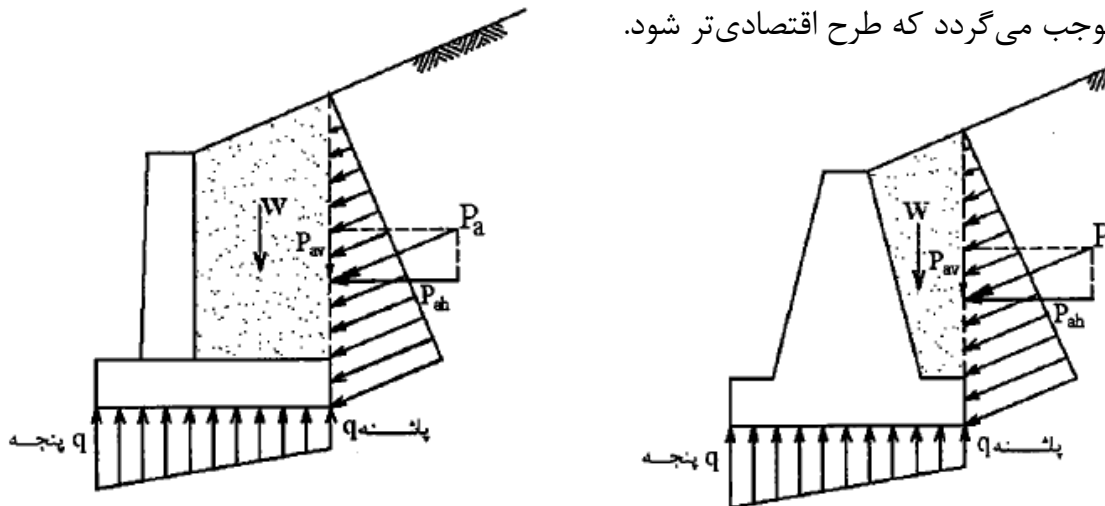
دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

۲- تعیین نیروهای وارد بر دیوار

از تئوری کولمب و رانکین نیروی P_a (Active Pressure) و P_p (Passive Pressure) وارد بر دیوار، در حالات حدی گسیختگی محرک و مقاوم و نیز نقطه اثر آنها تعیین می‌شود.

رانس خاک جهت طراحی دیوارهای حائلی که امکان جابه‌جا شدن برای آنها فراهم است، رانس فعال (P_a) می‌باشد. برای دیوارهای حائلی که امکان جابه‌جا شدن برای آنها محدود است یا اصولاً امکان جابه‌جایی و تغییرشکل برای آنها فراهم نیست از رانس خاک در حالت سکون (P_0) برای طراحی دیوارها استفاده می‌شود. رابطه‌ی رانکین اصطکاکی را برای دیوار در نظر نمی‌گیرد ($\delta = 0$) به همین دلیل نسبت به رابطه کولمب مقدیر نسبتاً زیادتری را برای P_a نتیجه می‌دهد که در جهت اطمینان است، لذا غالباً ترجیح داده می‌شود که از تئوری رانکین استفاده شود، خصوصاً زمانی که خاک پشت دیوار دانه‌ای باشد.

عموماً محاسبه فشار جانبی خاک بر مبنای رابطه رانکین در دیوارها تا ارتفاع ۵ متر، ساده‌تر و در جهت اطمینان بیشتری است ولی اگر ارتفاع دیوار از ۶ متر تجاوز نماید استفاده از رابطه کولمب موجب می‌گردد که طرح اقتصادی‌تر شود.



دیوار طره ای

دیوار ثقلی

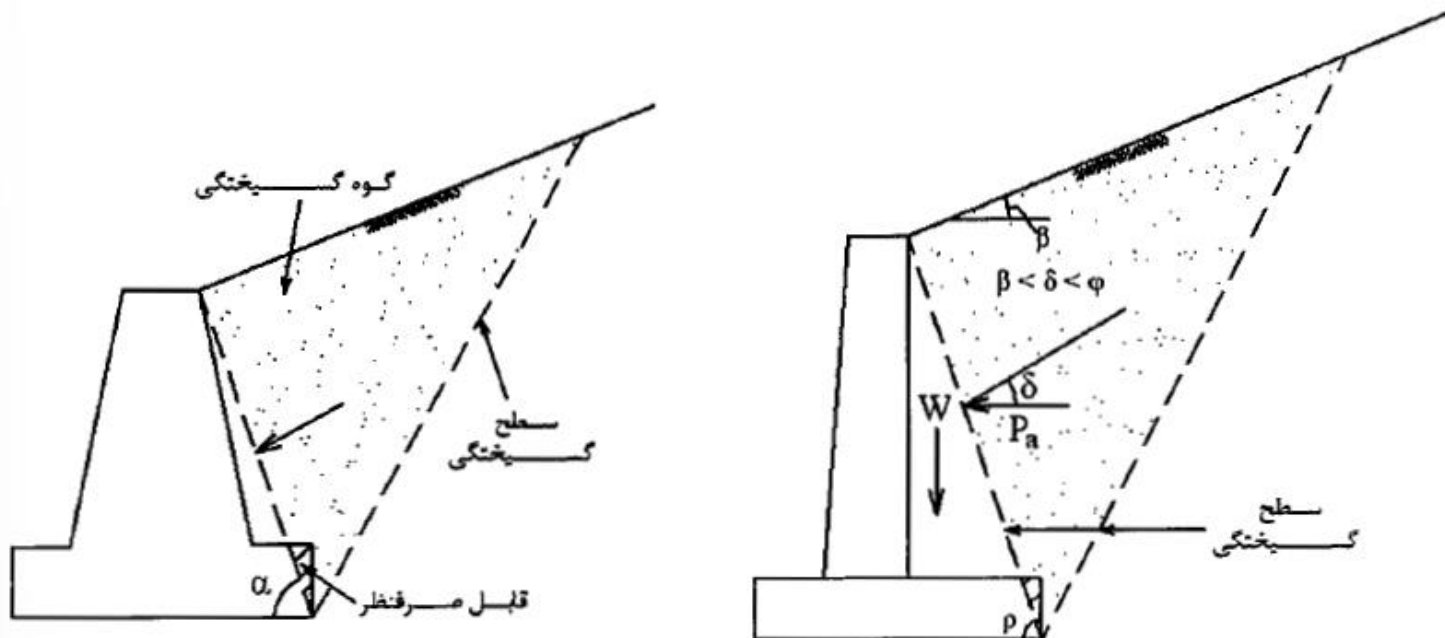
شکل ۱۱- رانس جانبی خاک بر سطح فرضی عبور کرده از پاشنه‌ی دیوار

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

۲- تعیین نیروهای وارد بر دیوار

در صورتی که شکل پی دیوار به نحوی باشد که در شکل‌گیری کامل گوه گسیختگی اشکال ایجاد نماید، تئوری رانکین را برای محاسبه رانش جانبی بر یک صفحه قائم فرضی که از پاشنه دیوار عبور می‌کند در نظر می‌گیرند. این مسئله در هر دو نوع دیوار ثقلی و طره‌ای صادق است.

قسمتی از خاک که بین این صفحه فرضی و دیوار قرار می‌گیرد به صورت یک جسم صلب که به دیوار چسبیده در نظر گرفته شده و فقط وزن آن در محاسبات دخالت داده می‌شود. موارد فوق در مورد استفاده از رابطه کولمب نیز صادق است ولی از آنجا که در رابطه کولمب حالت $\alpha \neq 90$ یعنی دیوار مایل را نیز می‌توان در نظر گرفت لذا در بعضی از حالات نیازی به در نظر گرفتن صفحه قائم نبوده و می‌توان رابطه کولمب را برای محاسبه رانش خاک وارد بر دیوار به کار برد.



شکل ۱۲- رانش جانبی خاک بر روی گوه‌های گسیختگی

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حائل در مقابل واژگونی حول پنجه:

نکته: ضریب اطمینان برای خاک‌های دانه‌ای حداقل ۱/۵ و برای خاک‌های چسبنده حداقل ۲/۰ توصیه می‌شود.

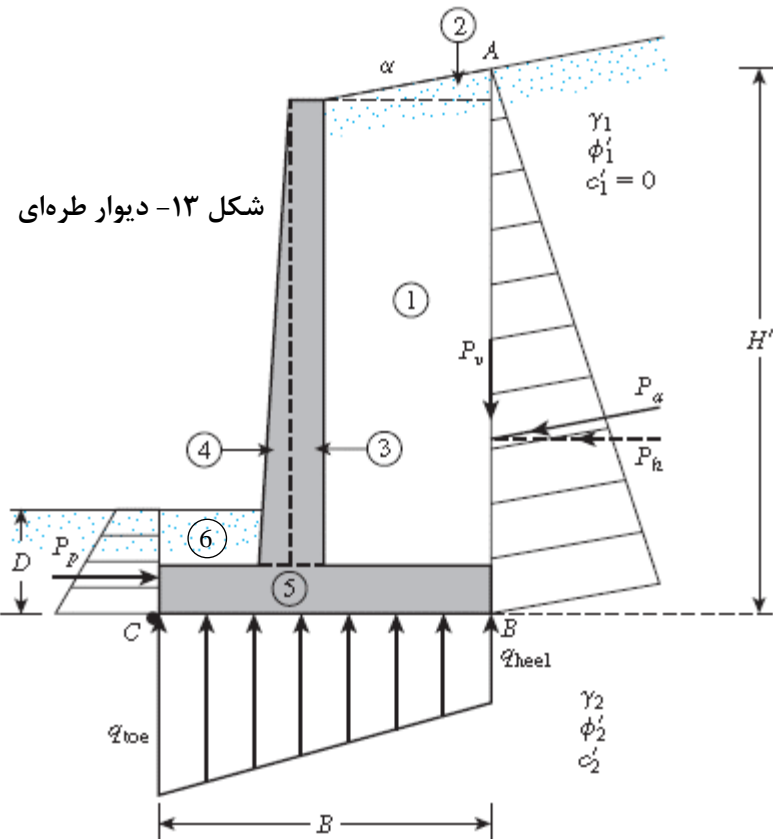
$$FS_{(Overturing)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq \{1.5 - 2\}$$

$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 - 2c'_1 \sqrt{K_{a1}} H' \\ P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_{p2}} D \end{cases}$$

$$\sum M_o = P_h \frac{H'}{3} = P_a \cos \alpha \frac{H'}{3}$$

$$M_v = P_v B = P_a \sin \alpha B$$

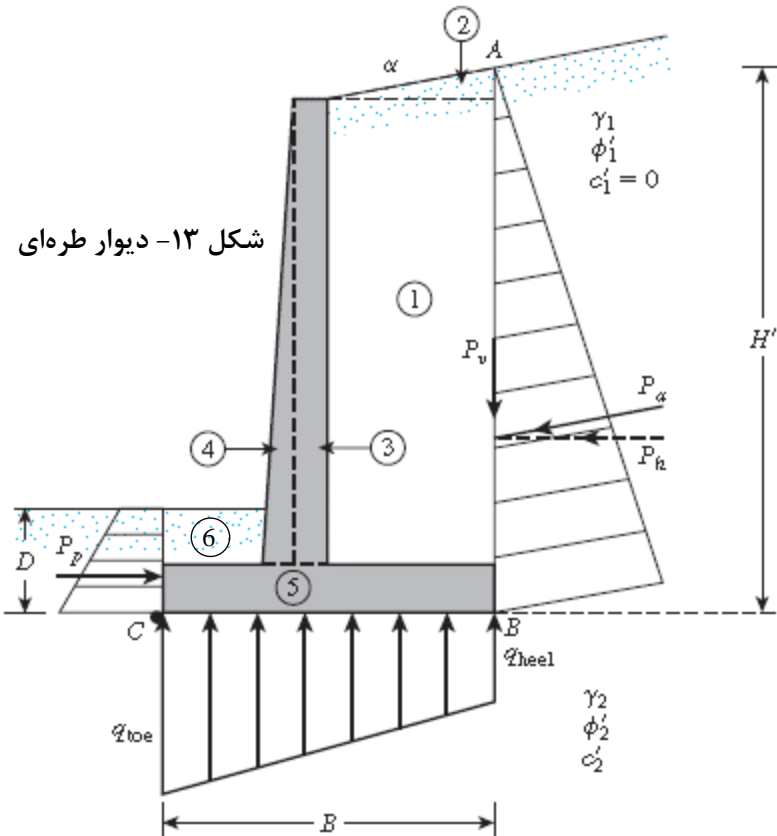
$$\begin{aligned} FS_{(Overturing)} &= \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \\ &= \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{P_a \cos \alpha H'/3} \end{aligned}$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حائل در مقابل واژگونی حول پنجه:

$$FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + P_a \sin \alpha B}{P_a \cos \alpha H' / 3}$$



شماره بخش	مساحت بخش	وزن واحد طول هر بخش	بازوی لنگر وزن هر بخش تا نقطه C	لنگر هر بخش در نقطه C
1	A_1	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	X_1	M_1
2	A_2	$W_2 = \gamma_1 \times A_2$	X_2	M_2
3	A_3	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	X_3	M_3
4	A_4	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	X_4	M_4
5	A_5	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	X_5	M_5
6	A_6	$W_6 = \gamma_2 \times A_6$	X_6	M_6
		P_v	B	M_v
		ΣV		ΣM_R

(Note: γ_i = unit weight of backfill
 γ_c = unit weight of concrete)

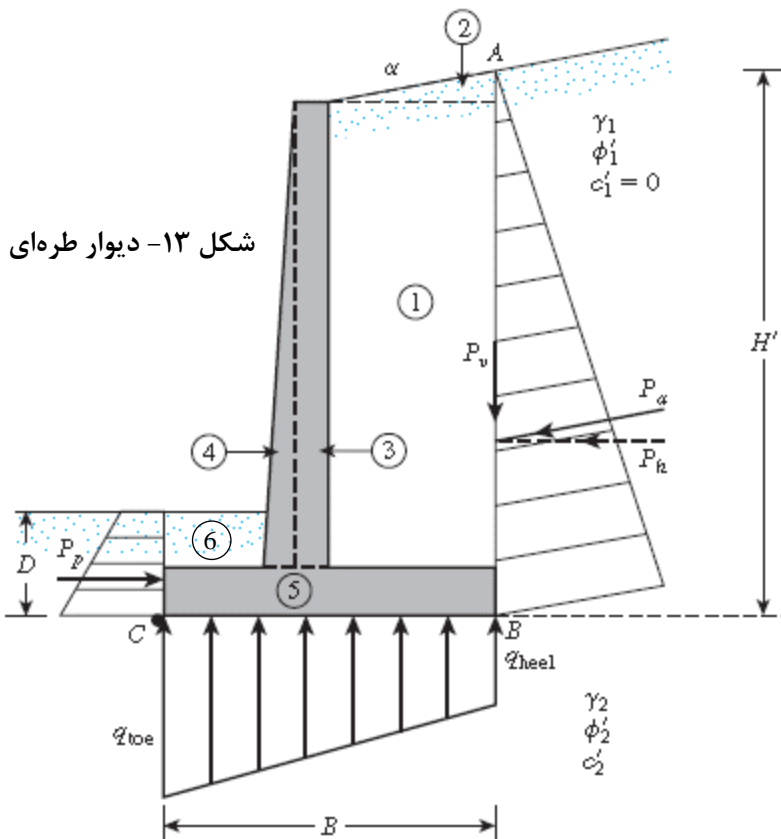
فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حائل در مقابل لغزش:

دیوار حائل باید پایداری کافی در مقابل لغزش داشته باشد. برای حصول اطمینان از عدم لغزش دیوار، ضریب اطمینان در مقابل لغزش را به صورت زیر تعیین می‌کنند:

$$FS_{(Sliding)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}} \geq 1.5 - 2$$

در حالتی که دیوار، نگهبان یک خاکریز دانه‌ای است حداقل ۱/۵ و در حالتی که دیوار، نگهبان یک خاک چسبنده است حداقل ۲/۰ توصیه می‌شود.



$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 - 2c_1' \sqrt{K_{p1}} H' \\ P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c_2' \sqrt{K_{p2}} D \end{cases}$$

$$\sum F_d = P_h = P_a \cos \alpha$$

$$\sum F_R = P_p + R', \quad R' = \sum V \tan \delta_2 + Bc_2'$$

$$\delta_2 = \frac{2}{3} \phi_2, \quad c_2' = \frac{2}{3} c_2$$

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc_2' + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

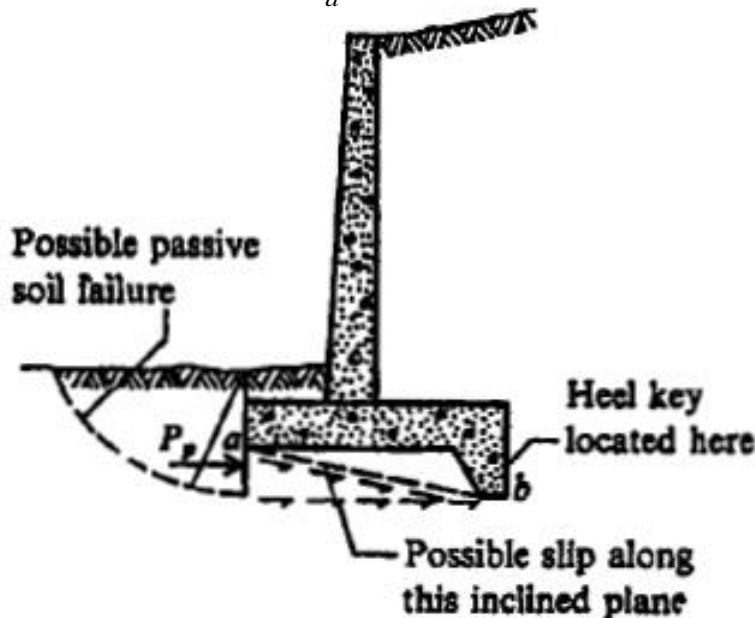
δ_2 و c_2' به ترتیب زاویه اصطکاک و ضریب چسبندگی بین خاک و دیوار است.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

پایداری دیوارهای حائل در مقابل لغزش:

نیروهای مقاوم در مقابل لغزش چند عامل می‌توانند داشته باشند. عامل اول فشار خاک در سمت دیگر دیوار است که مقدار آن برابر $P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_p^2 \cdot K_p$ می‌باشد. لازم به ذکر است که در صورتی که امکان فرسایش و یا خاک‌برداری این لایه در آینده وجود داشته باشد بهتر است از اثر آن صرف‌نظر شود. دوم اصطکاک خاک زیر پی است که مقدار آن R می‌باشد.

$$FS_{(\text{Sliding})} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

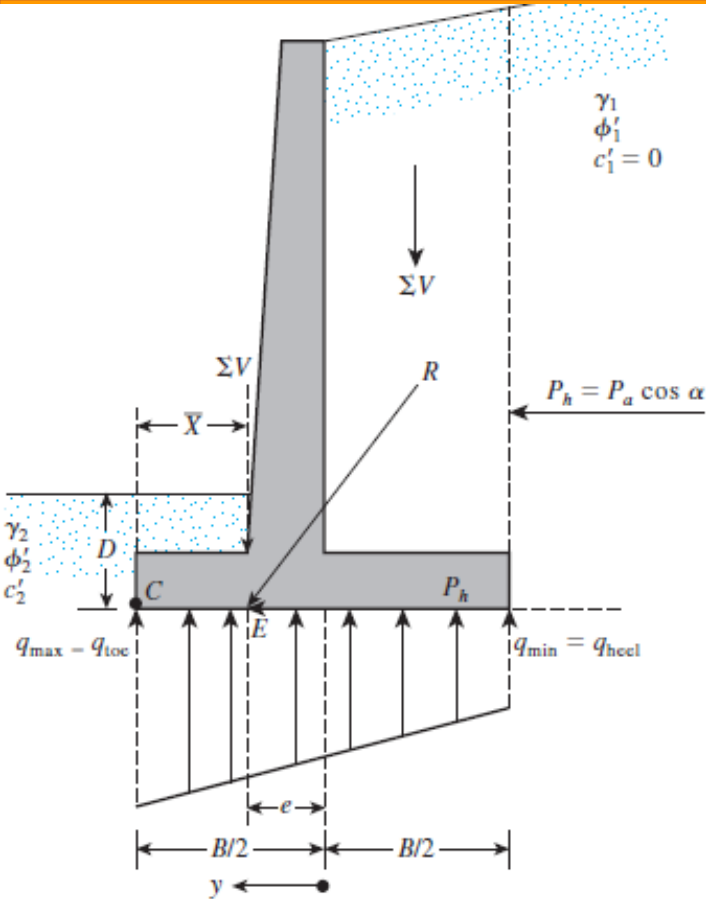


در صورتی که مقدار ضریب اطمینان ارائه شده کافی نباشد می‌توان عرض پی (B) را افزایش داد و یا زائده‌ای در زیر پی تعبیه نمود. بهتر است محل این زائده در انتهای پاشنه تعبیه شود. هر چه عمق پاشنه بیشتر باشد، کمک بیشتری به پایداری دیوار در مقابل لغزش می‌کند، در صورتی عمق پاشنه زیاد باشد، عملکردی همانند پی‌های عمیق (شمع‌ها و ...) خواهند داشت. زائده‌های کوتاه چندان موثر نیستند چرا که سطح گسیختگی در خاک ممکن است از زیر آنها عبور کند.

شکل ۱۴- ایجاد زائده برای بالا بردن ضریب اطمینان در برابر لغزش

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

شکل ۱۵- مولفه های ظرفیت باربری در دیوار طره‌ای



کنترل دیوارهای حایل از جهت ظرفیت باربری:

ابتدا ظرفیت باربری نهایی شالوده نواری دیوار را تحت بار قائم ΣV ، نیروی افقی H_B و لنگرخالص $P_h = \Sigma M_R - \Sigma M_O$ تعیین می‌کنیم و سپس تنش‌ها در پنجه و پاشنه دیوار را ناشی از همین بار و لنگر محاسبه نموده و با مقدار ظرفیت باربری نهایی مقایسه می‌کنیم:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_O}{\Sigma V} \leq \frac{B}{6}, \quad H_B = P_h = P_a \cos \alpha$$

$$q = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{e \Sigma V y}{I}, \quad I = \frac{1}{12} \times (1) \times B^3, \quad A = (1) \times B$$

$$q_{\max} = q_{\text{toe}} = \frac{\Sigma V}{(1) \times B} \pm \frac{e \Sigma V \frac{B}{2}}{\frac{1}{12} \times (1) \times B^3} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right), \quad q_{\min} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q} N_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

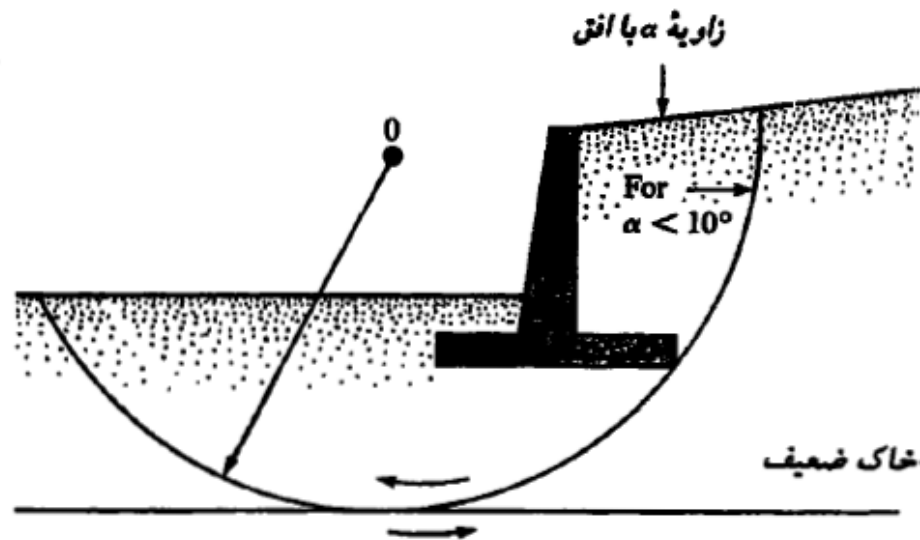
$$FS_{(\text{bearing capacity})} = \frac{q_{ult}}{q_{\max}}$$

اگر عرض پی دیوار برابر B باشد، لازم است $e \leq \frac{B}{6}$ بوده و در غیر این صورت باید ابعاد پی دیوار اصلاح شود. q_{\max} محاسبه شده از رابطه فوق نباید از بزرگ‌تر $\frac{q_{ult}}{F.S.}$ از یکی از روابط ترازایی، میرهوف یا هانسن محاسبه می‌شود. $F.S.$ برای خاک‌های دانهای معمولاً ۲ و برای خاک‌های چسبنده ۳ در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که باید نشست آنی در خاک‌های ماسه‌ای و نشست تحکیمی در خاک‌های رسی در زیر پی دیوار محاسبه شود. اگر نشست‌های محاسبه شده (الاستیک یا تحکیمی) خیلی زیاد باشد باید از شمع‌کوبی در زیر پی استفاده نمود.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

کنترل پایداری شیروانی

در صورتی که در فاصله کمی در زیر پی دیوار (مثلاً در عمق $1/5h$ تا $2h$) لایه خاک سستی وجود داشته باشد (نظیر رس نرم، لای یا پیت) احتمال گسیختگی کلی دیوار همراه با خاکریز آن وجود دارد. بررسی این موضوع با در نظر گرفتن مرکز دوران و شعاع دلخواهی که از نوک پاشنه و لایه خاک سست عبور کند انجام می‌شود. روش تحلیل، مشابه مسئله پایداری شیب‌ها در مکانیک خاک است که از روش‌های نواری فلینوس یا بیشاب قابل تحلیل می‌باشد (وزن دیوار به صورت سربار به وزن یک یا دو نوار خاک زیر آن اضافه می‌شود). ضریب اطمینان پایداری کل سیستم در این حالت باید در حد قابل قبول باشد.



شکل ۱۶- مکانیزم گسیختگی کلی دیوار حائل

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری (میرهوف) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرف نظر کنید.

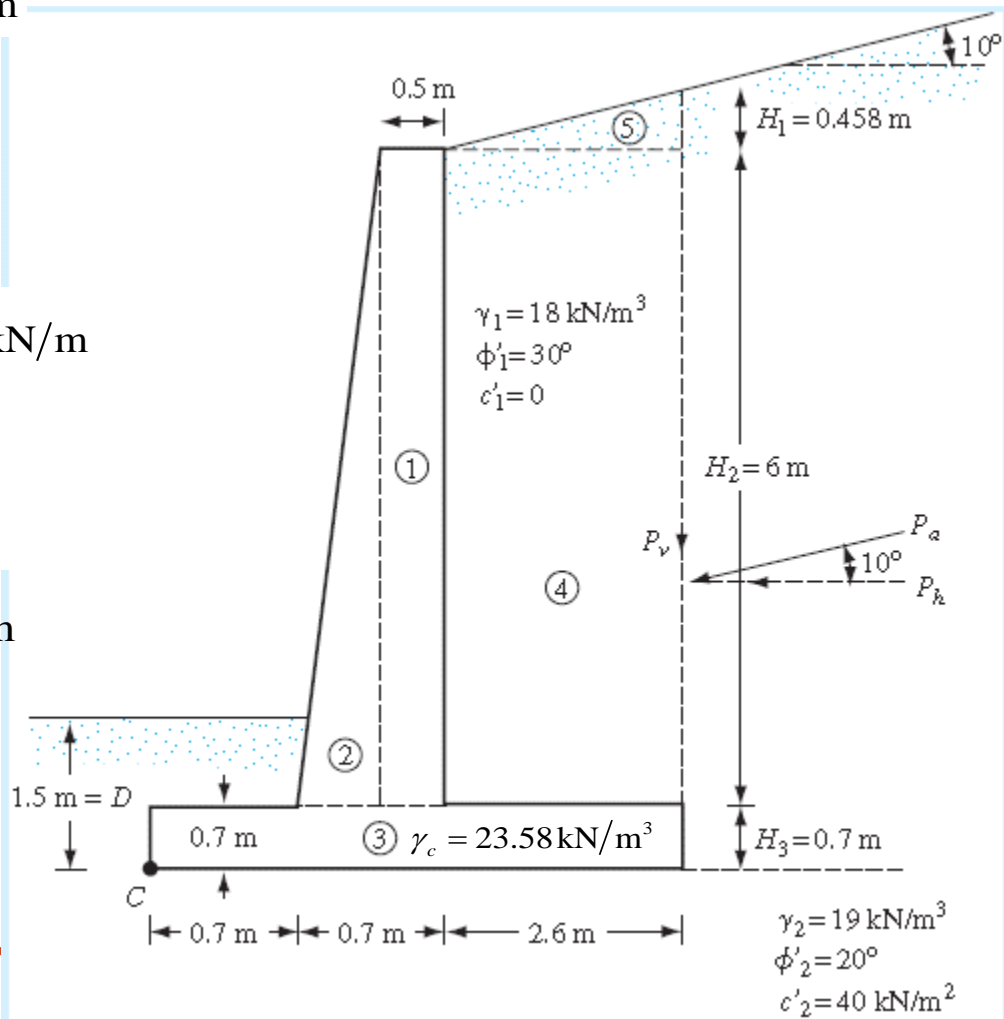
$$H' = H_1 + H_2 + H_3 = 2.6 \tan 10^\circ + 6 + 0.7 = 7.158 \text{ m}$$

$$\alpha = 10^\circ, \quad \phi'_1 = 30^\circ$$

$$K_{a1} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'_1}} = 0.3532$$

$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 = \frac{1}{2} 0.3532 \times 18 \times 7.158^2 = 162.87 \text{ kN/m} \\ P_v = P_a \sin \alpha = 162.9 (\sin 10^\circ) = 28.28 \text{ kN/m} \\ P_h = P_a \cos \alpha = 162.9 (\cos 10^\circ) = 160.40 \text{ kN/m} \end{cases}$$

$$\sum M_o = P_h \frac{H'}{3} = 160.40 \frac{7.158}{3} = 382.71 \text{ kN-m/m}$$



شکل ۱۷- مثالی از دیوار
طره‌ای

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری (میرهوف) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرف نظر کنید.

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha},$$

$$\delta_2 = \frac{2}{3} \varphi_2, \quad c'_2 = \frac{2}{3} c_2$$

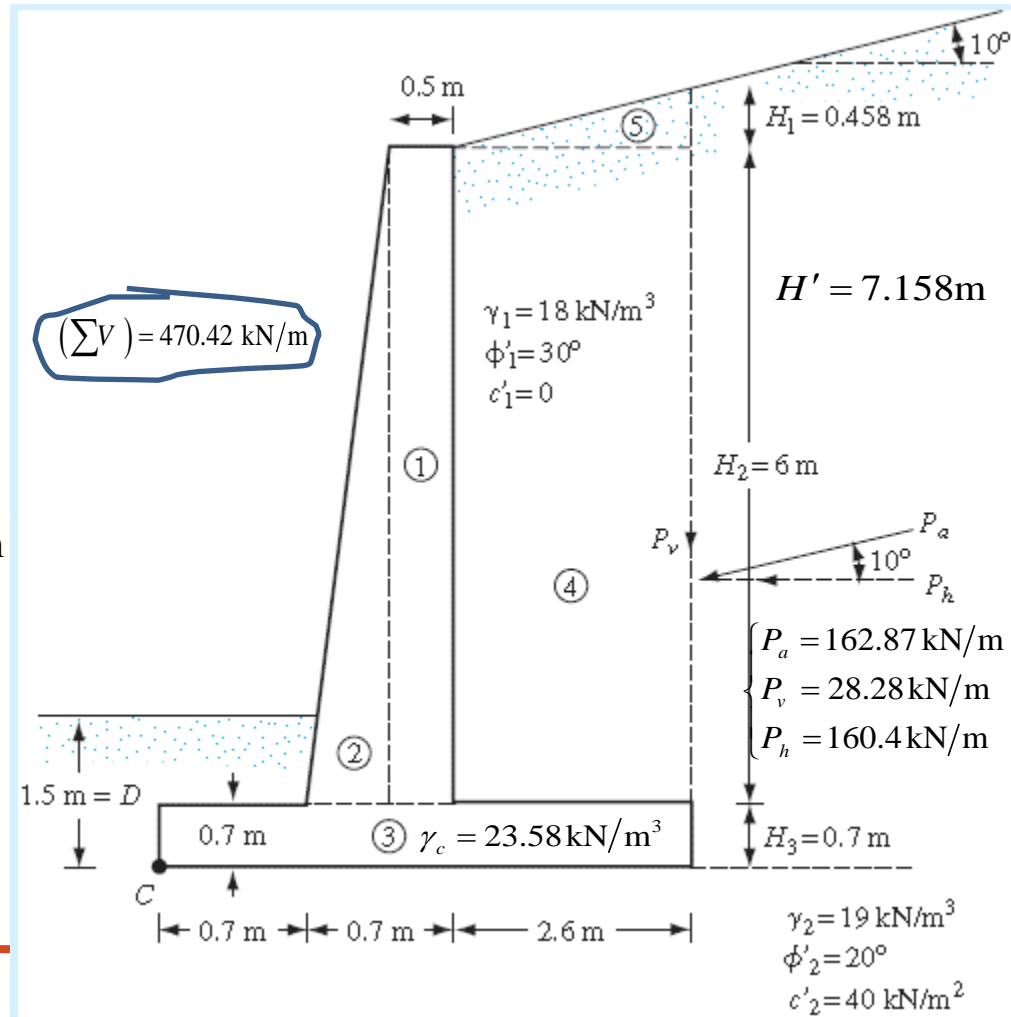
$$K_{p2} = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{20}{2} \right) = 2.04$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_{p2}} D$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.04 \times 19 \times 1.5^2 + 2 \times 40 \sqrt{2.04} \times 1.5 = 215 \text{ kN/m}$$

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(470.42) \tan \left(\frac{2 \times 20}{3} \right) + 4 \left(\frac{2}{3} \right) \times 40 + 215}{160.43}$$

$$FS_{(Sliding)} = 2.7 > 1.5, \quad \text{OK}$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری (میرهوف) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرف نظر کنید.

$$\sum M_o = 382.71 \text{ kN-m/m}, \quad \sum M_R = 1128.86 \text{ kN-m/m}$$

$$\sum V = 470.42 \text{ kN-/m}$$

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o = 1128.86 - 382.71 = 746.15 \text{ kN-m/m},$$

$$H_B = P_h = P_a \cos(\alpha) = 160.4 \text{ kN-/m}$$

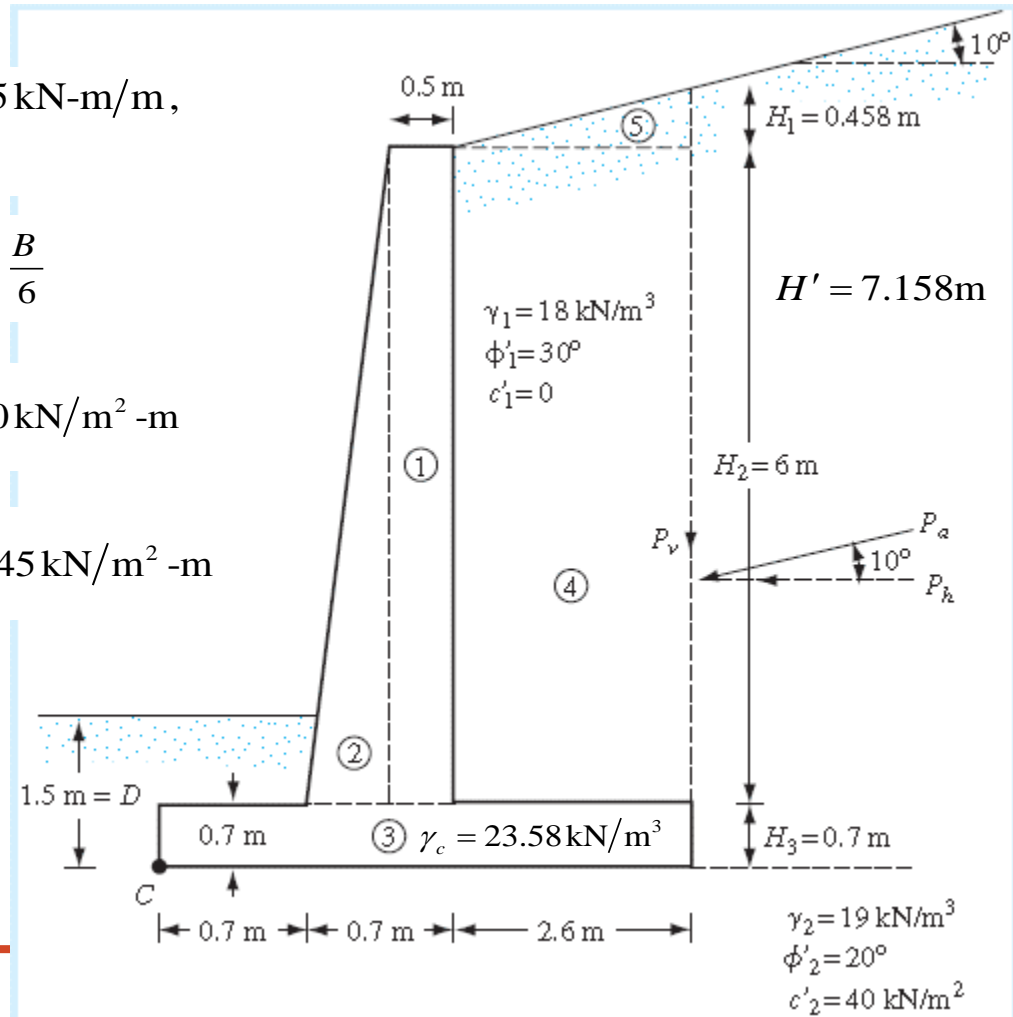
$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{4}{2} - \frac{1128.86 - 382.71}{470.42} = 0.41 \text{ m} < \frac{B}{6}$$

$$q_{max} = q_{toe} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{470.42}{4} \left(1 + \frac{6 \times 0.41}{4} \right) = 190 \text{ kN/m}^2 \text{-m}$$

$$q_{min} = q_{heel} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) = \frac{470.42}{4} \left(1 - \frac{6 \times 0.41}{4} \right) = 45 \text{ kN/m}^2 \text{-m}$$

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c + \bar{q}N_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$FS_{(\text{bearing capacity})} = \frac{q_{ult}}{q_{max}}$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری (میرهوف) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید.

$$\sum V = 470.42 \text{ kN-m}$$

$$M_{net} = 746.15 \text{ kN-m/m}, \quad H_B = P_h = 160.4 \text{ kN-m} \quad e = 0.41 \text{ m} \quad q_{max} = q_{toe} = 190 \text{ kN/m}^2 \text{-m}$$

$$q_{ult} = \left\{ cN_c S_c d_c i_c + \bar{q}N_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \right\} R_e \quad \text{حل از روش میرهوف:}$$

$$\varphi = 20^\circ \Rightarrow N_c = 14.835, N_q = 6.399, N_\gamma = 2.871$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{P_h}{\sum V} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{160.4}{470.41} \right] = 18.82^\circ = 0.328 \text{ rad} \Rightarrow \begin{cases} i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90} \right)^2 = 0.625 \\ i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\varphi} \right)^2 = 0.003 \end{cases}$$

$$\{ S_c = S_q = S_\gamma = 1$$

$$D = 1.5 \text{ m} \rightarrow \begin{cases} d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \frac{D}{B} = 1.107 \\ d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \frac{D}{B} = 1.054 \end{cases}$$

$$R_e = 1 - \frac{2e}{B} = 1 - \frac{2 \times 0.41}{4} = 0.795$$

$$q_{ult} = \left\{ 40 \times 14.835 \times 1 \times 1.107 \times 0.625 + 1.5 \times 19 \times 6.399 \times 1 \times 1.054 \times 0.625 + \frac{1}{2} \times 19 \times 4 \times 2.871 \times 1.054 \times 0.003 \right\} \times 0.795$$

$$= (410.56 + 120.14 + 0.345) \times 0.795 = 422.18 \text{ kPa}$$

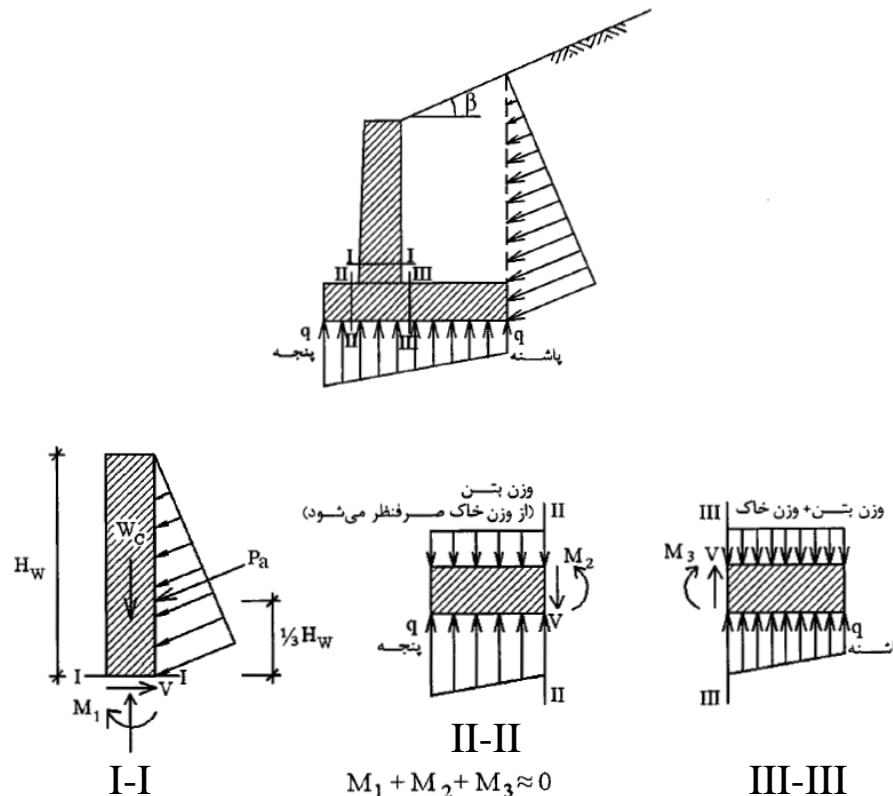
$$FS_{(\text{bearing capacity})} = \frac{q_{ult}}{q_{max}} = \frac{422.18}{190} = 2.22$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طرح سازه‌های دیوار

بر اساس نیروهای وارده بر دیوار، ابعاد فولاد لازم در دیوار در مقاطع بحرانی محاسبه می‌شود.

در طراحی سازه‌های دیوارهای طره‌ای، مقطع I-I در پای دیوار، مقطع II-II در انتهای پنجه و مقطع III-III در انتهای پاشنه جهت طراحی بحرانی‌تر است. ضخامت این سه مقطع بر اساس حداکثر برش V ، و فولادهای مورد نیاز بر اساس حداکثر لنگر خمشی M در این مقاطع، طراحی می‌شوند.



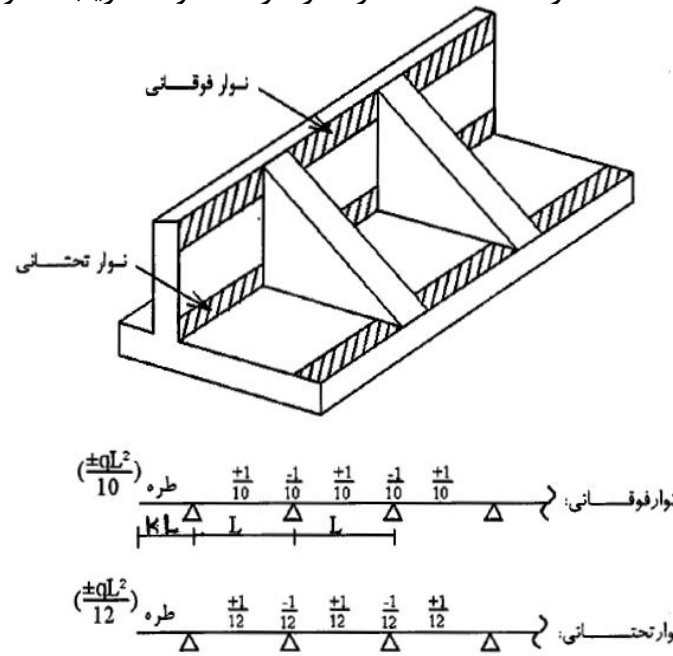
شکل ۱۸- مقاطع بحرانی در طراحی دیوارهای حائل طره‌ای

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طرح سازه‌های دیوار

نکاتی در مورد طراحی دیوارهای پره‌دار یا پشت‌بنددار (counterfort و buttress):

این دیوارها را می‌توان با استفاده از تئوری صفحات به صورت دال‌های سه طرف گیردار و یک طرف آزاد طراحی نمود. روش دیگر که ساده‌تر بوده ولی نتایج حاصل دست بالا است، تبدیل دیوار و پی به یک سری تیرهای معادل با عرض واحد است. در این روش در ارتفاع دیوار، یک تیر یکسره (نوار) فوقانی و یک تیر یکسره (نوار) تحتانی و دو تا سه تیر میانی در نظر گرفته شده و فشار خاک متوسط وارد بر هر یک تعیین می‌گردد. با طراحی و فولادگذاری این تیرها فولادگذاری از بالا تا پایین دیوار تنظیم می‌شود. به عبارت دیگر در این روش هر یک از تیرهای فرضی به صورت یک تیر سرتاسری تحلیل و طراحی می‌گردد. استفاده از ضرایب لنگر زیر نیز معمول است (اگر $K = 0.41$ در نظر گرفته شود، ضریب لنگر خمشی در محل طره مساوی سایر ضرایب خواهد بود).

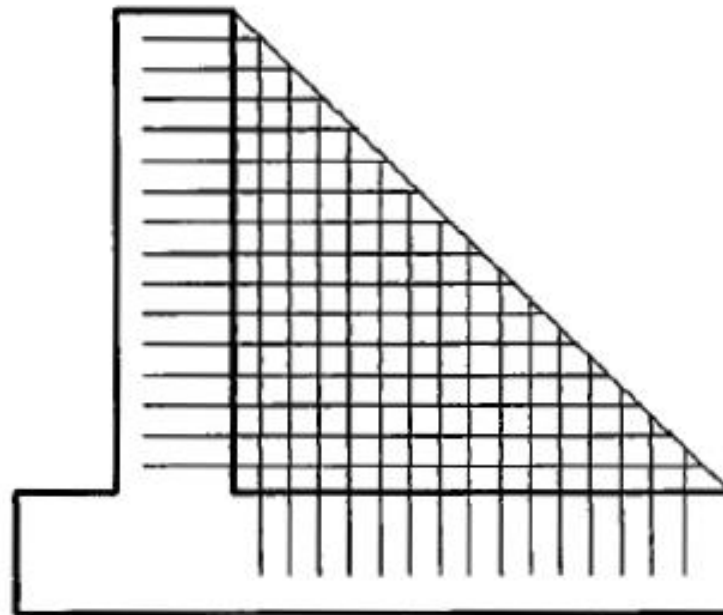


شکل ۱۹- تحلیل سازه‌های دیوارهای پره‌دار (پشت‌بنددار)

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طرح سازه‌های دیوار

پاشنه دیوار نیز به نوارهای مشابهی به عرض واحد تبدیل می‌شود. در مورد این نوارها از ضریب لنگر $\pm \frac{1}{10}$ استفاده می‌شود. پنجه دیوار مشابه دیوارهای معمولی به صورت تیر طره طراحی می‌گردد. پره‌ها به صورت قطعات کششی (یا فشاری) طرح شده و مطابق شکل ۲۰ دو شبکه فولاد قائم و افقی در دو طرف، آنها را به دیوار پی متصل می‌نماید.



شکل ۲۰- الگوی فولادگذاری در پره‌ها

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

جزئیات اجرایی دیوار

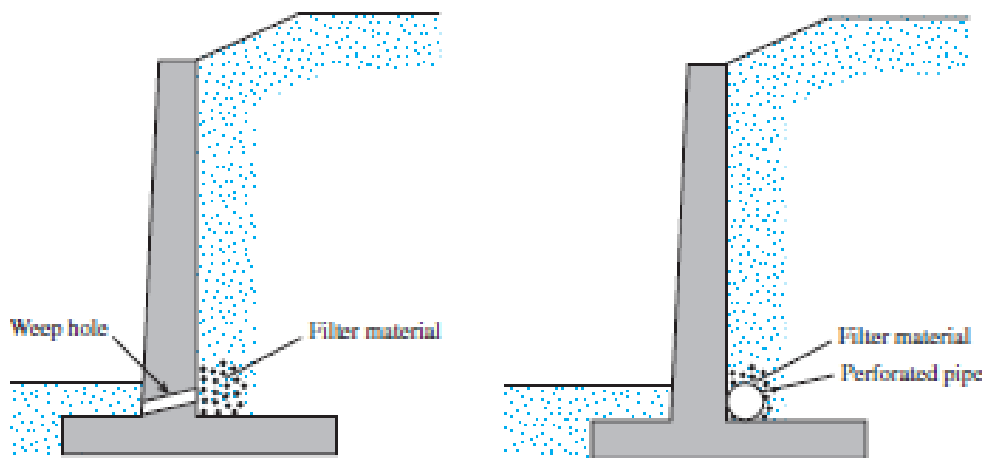
الف) جنس خاکریز پشت دیوار

توصیه می‌شود خاکریز پشت دیوار همواره از نوع دانه‌ای یا مخلوط شن و ماسه باشد. این توصیه به دلایل زیر است:

۱. خاک چسبنده آب را از خود عبور نمی‌دهد لذا فشار جانبی در پشت دیوار در اثر فشار هیدرواستاتیک آب افزایش زیادی می‌یابد.
۲. اگر خاک رس از نوع منبسط شونده باشد در اثر خیس شدن و انبساط یافتن فشارهای اضافی خیلی زیادی بر دیوار وارد می‌نماید.
۳. عدم تخلیه آب از خاکریز پشت دیوار و احتمال یخ زدن آب حفره‌ای در فصل سرما تولید فشار ناشی از یخ در پشت دیوار می‌نماید.
۴. همان‌طور که در طرح دیوارهای حائل گفته شد ضریب اطمینان لازم در طرح دیوار با وجود خاکریز چسبنده افزایش می‌یابد.

ب) تعبیه مسیرهای زهکشی در پشت دیوار

برای زهکشی خاک پشت دیوار به دو سری لوله‌های طولی (Longitudinal) و عرضی (Transverse) نیاز است. اطراف لوله‌ها باید فیلتر شن و ماسه قرار گیرد تا سوراخ لوله‌های زهکش پر نشود. لوله‌های زهکش عرضی در هر ۲ تا ۳ متر در طول دیوار تعبیه می‌شود. لوله‌های زهکش طولی یک لوله‌ی مجوف (سوراخ‌دار) می‌باشد که در تمام دیوار ادامه دارد. این لوله در جهت طولی باید طوری نصب شود که شیب کمی جهت خروج آب داشته باشد.

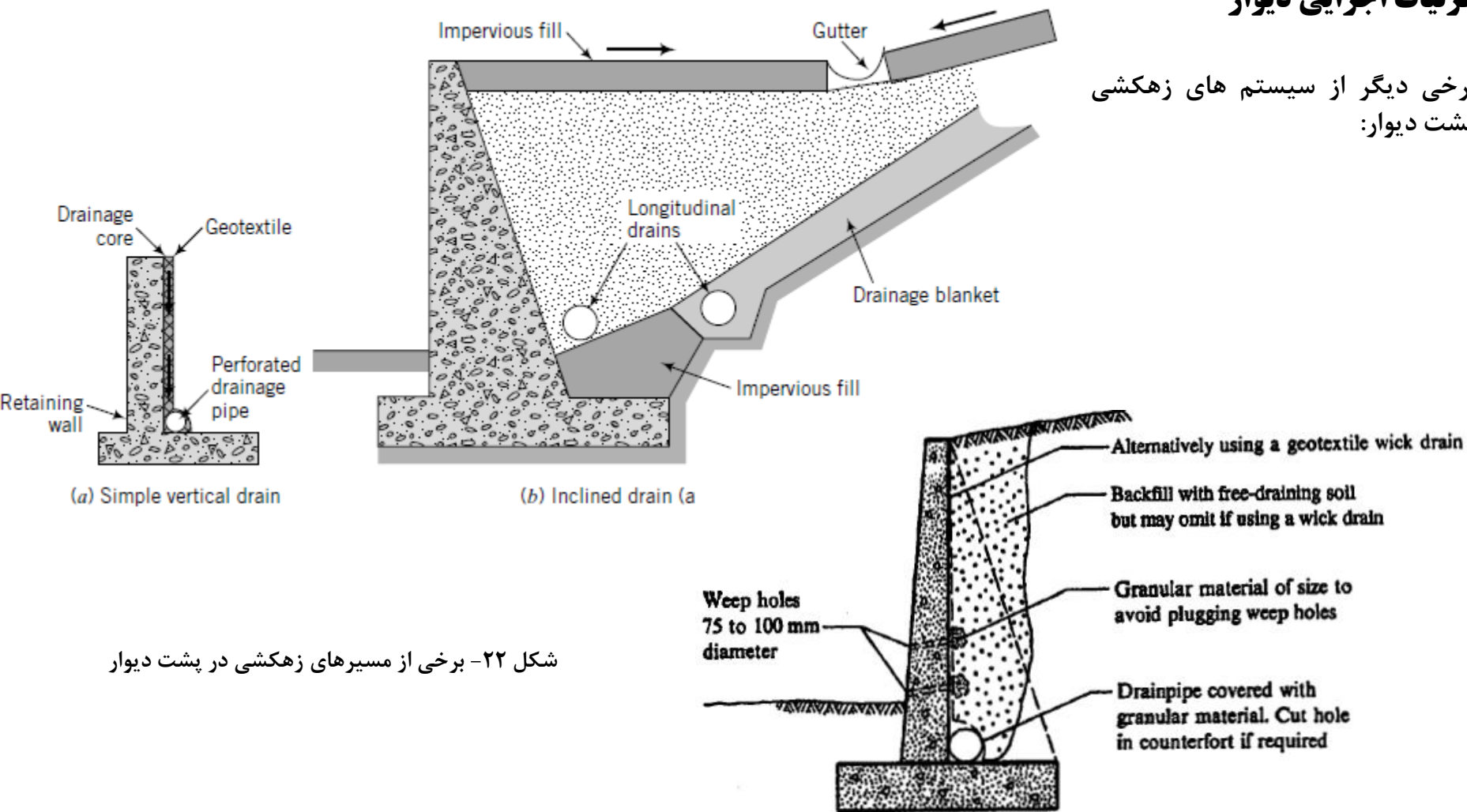


شکل ۲۱- تعبیه مسیرهای زهکشی در پشت دیوار

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

جزئیات اجرایی دیوار

برخی دیگر از سیستم های زهکشی پشت دیوار:



شکل ۲۲- برخی از مسیرهای زهکشی در پشت دیوار

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

جزئیات اجرایی دیوار

طراحی فیلترها:

برای جلوگیری شسته شدن ذرات خاک و ورود آن به درون این سوراخ ها و یا لوله های شیار دار نیاز به طراحی فیلتر و یا استفاده از ژئوتکستایل هاست. برای طراحی فیلترها دو نکته حائز اهمیت است:

الف- فیلترها طوری طراحی شوند که مانع شسته شدن ذرات خاک به داخل لوله ها و یا عبور از سوراخ شوند.
 ب- باعث خروج راحت آب از خاک به لوله بدون ایجاد اضافه فشار آب حفره ای شود.
 علاوه بر دو شرط قبلی، برای جلوگیری از گرفتگی سوراخ لوله ها شرط زیر نیز باید برقرار باشد:

$$\begin{cases} \frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \leq 5, & \frac{D_{50(F)}}{D_{50(B)}} \leq 25 \\ 4 \leq \frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} \leq 20 \end{cases}$$

$$\frac{D_{50(F)}}{\text{قطر سوراخ دایره ای}} > 1,$$

مثالی از طراحی فیلتر:

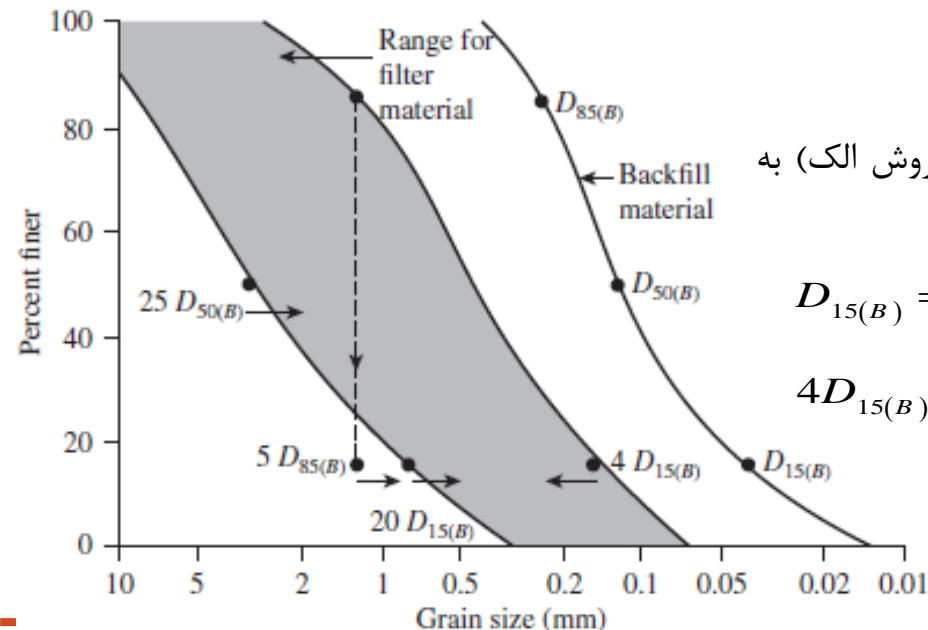
منحنی دانه بندی مصالح خاکریز پشت دیوار (از آزمایش دانه بندی به روش الک) به صورت شکل مقابل است. محدوده اندازه و دانه بندی فیلتر را تعیین کنید؟

$$D_{15(B)} = 0.04\text{mm}, \quad D_{85(B)} = 0.25\text{mm}, \quad D_{50(B)} = 0.13\text{mm},$$

$$4D_{15(B)} < D_{15(F)} < 5D_{85(B)} \Rightarrow 0.16 < D_{15(F)} < 1.25 \text{ mm}$$

$$D_{15(F)} < 20D_{15(B)} \Rightarrow D_{15(F)} < 0.8$$

$$D_{50(F)} < 25D_{50(B)} \Rightarrow D_{50(F)} < 3.25$$



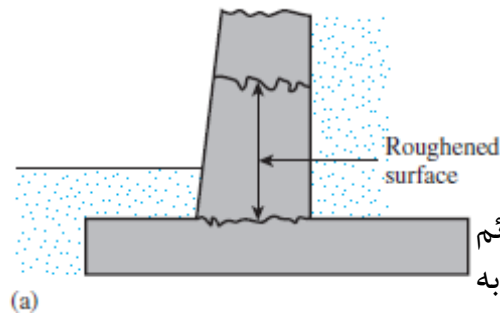
شکل ۲۳- منحنی دانه بندی

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

ج) انواع درزه ها را در دیوارها با رسم شکل:

در هنگام ساخت دیوار حایل، از چند و یا تمام درزه ها باید استفاده شود که این درزه ها عبارتند از:

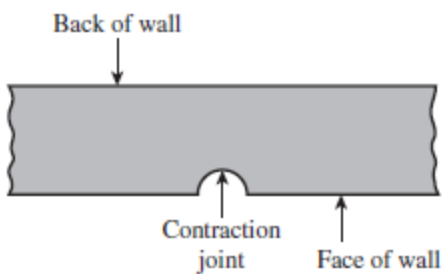
۱- درزه های اجرایی (مطابق با شکل a): این درزه ها، بصورت افقی و یا قائم هستند که در حد فاصل دو مرحله بتن ریزی مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور افزایش مقاومت برشی ممکن است در این درزه ها از زبانه برشی استفاده شود. اگر از زبانه برشی استفاده نشود، سطح بتن سخت شده باید ناهموار و داندانه ای و همچنین تمیز باشد تا درگیری با بتن تازه ایجاد شود.



(a)

شکل ۲۴- انواع درزه ها

۲- درزه های انقباضی (مطابق با شکل b): یک درز قائم است که از بالای دیوار تا بالای شالوده ادامه دارد و وظیفه آن کنترل جمع شدگی طولی دیوار بتنی است. عرض شیارها ۶ تا ۸ میلیمتر و عمق آنها ۱۲ تا ۱۶ میلیمتر است.



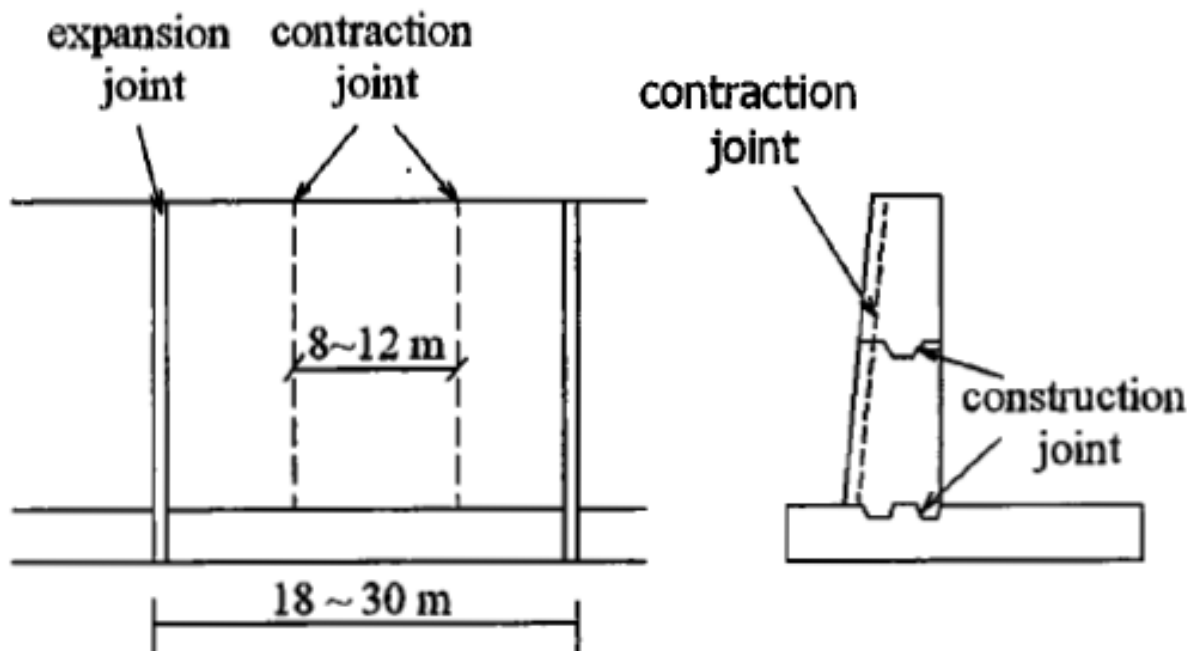
۳- درزه های انبساطی Expansion joint (مطابق با شکل c): جهت ایجاد فضای لازم برای انبساط و انقباض در دیوارها با طول زیاد لازم است. یک درز قائم با عرض شکاف حدودا ۳ تا ۵ سانتی متر است که از بالای دیوار تا پایین شالوده ادامه دارد و وظیفه آن کنترل تغییر طول های حرارتی دیوار است. معمولا میلگردهای طولی و بتن در این درزه ها قطع هستند و بین این درزه ها معمولا از بتن ضعیف یا یونولیت پر شده است. برای کنترل برش از میلگردهای کوتاه و گریسکاری شده استفاده می شود. عرض شکاف برای درز انبساط با توجه به رابطه زیر به دست می آید:

$$S = \alpha \cdot L \cdot T$$

α ضریب انبساط حرارتی بتن (0.000017°C), T حداکثر اختلاف درجه حرارت محل، L فاصله درزه های انبساط از یکدیگر

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

جزئیات اجرایی دیوار



شکل ۲۵- انواع درزهای موجود در دیوارهای حائل

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

مثالی از طراحی دیوار حائل ثقلی

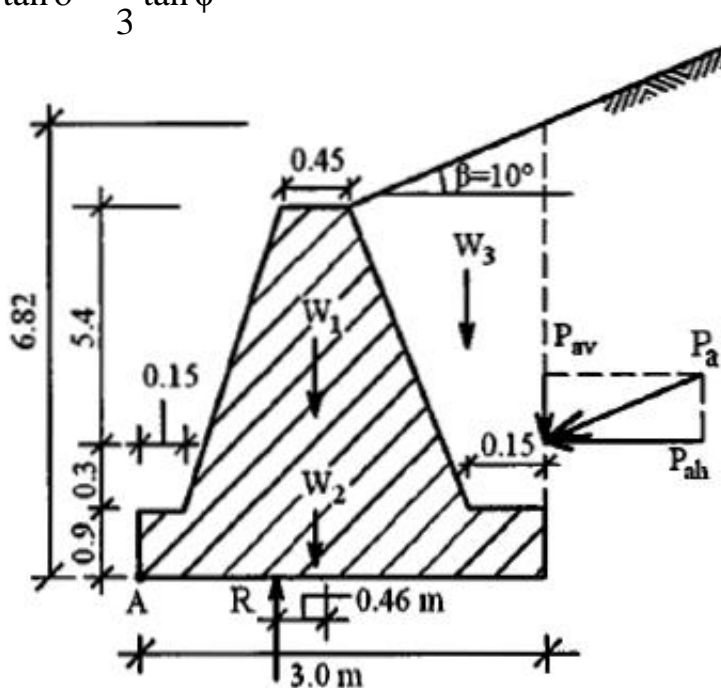
مطلوب است طراحی یک دیوار حائل ثقلی با مشخصات مقابل:
 با توجه به مشخص بودن ابعاد دیوار با توجه به تناسب ارائه شده، تعیین نیروهای وارد بر دیوار شروع می‌کنیم. از رابطه‌ی رانکین استفاده کرده و فشار جانبی خاک را بر روی سطح قائم فرضی که از پاشنه‌ی دیوار می‌گذرد به شرح زیر حساب می‌کنیم.

$$q_a = 25 \text{ ton/m}^2, \quad \gamma_{\text{concrete}} = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{soil under foundation: } \phi = 36^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1.8 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Embankment behind the wall: } \phi = 32^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1.7 \text{ ton/m}^3$$

$$\tan \delta = \frac{2}{3} \tan \phi$$



$$p_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

$$H = 0.9 + 0.3 + 5.4(1.275 \tan 10^\circ) = 6.82 \text{ m}$$

$$\beta = 10^\circ, \quad \phi = 32^\circ \rightarrow K_a = 0.321$$

$$p_a = \frac{1}{2} \times 1.7 \times 6.82^2 \times 0.321 = 12.7 \text{ ton}$$

این نیرو به موازات شیب زمین اثر می‌کند، بنابراین:

$$P_{ah} = p_a \cdot \cos 10^\circ = 12.3 \text{ ton}$$

$$P_{av} = p_a \cdot \sin 10^\circ = 2.2 \text{ ton}$$

$$W_1 = \frac{(0.45 + 2.7)}{2} \times 5.7 \times 2.4 = 21.5 \text{ ton}$$

$$W_2 = 3 \times 0.9 \times 2.4 = 6.5 \text{ ton}$$

$$W_3 = \left(\frac{(0.15 + 1.275)}{2} \times 5.7 + \frac{1.275 \times 0.22}{2} \right) \times 1.7 = 7.14 \text{ ton}$$

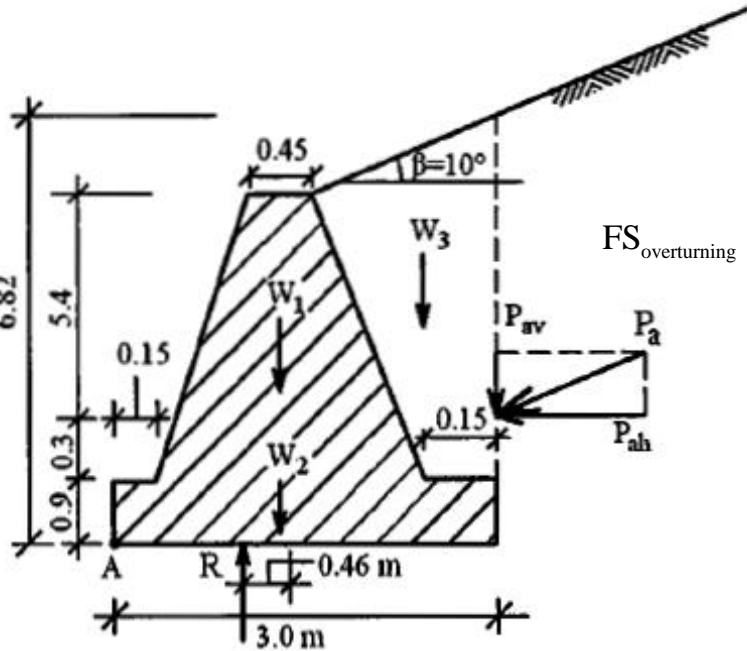
شکل ۲۵- مشخصات دیوار ثقلی

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل ثقیلی

الف) کنترل واژگونی لنگرها حول نقطه A در جلوی پنجه محاسبه می‌شود.

$$FS_{\text{overturning}} = \frac{\text{Passive Moments}}{\text{Active Moments}} \quad \text{Active Moments: } \sum M_o = 12.3 \times \frac{6.82}{3} = 27.96 \text{ t.m}$$



Section no.	Area(m ²)	weight/unit length	Arm(m)	Moment
1	8.9775	21.546	1.5	32.319
2	2.7	6.48	1.5	9.72
3--1	0.14025	0.238425	2.575	0.613944375
3--2	0.855	1.4535	2.925	4.2514875
3--3	3.20625	5.450625	2.475	13.49029688
	Pv	2.2	3	6.6
		V= 37.36855		M _R =66.99472875

$$FS_{\text{(Overturning)}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{66.99}{27.96} = 2.4 > 2 \quad \text{OK}$$

ب) کنترل لغزش: در محاسبه P_p از مشخصات خاک زیر پی استفاده می‌شود.

$$FS_{\text{(Sliding)}} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p = \frac{1}{2} \times 1.8 \times 1.2^2 \times 3.85 = 5 \text{ ton}, \quad \beta = 0^\circ, \quad \phi = 36^\circ \rightarrow K_p = 3.85$$

$$FS_{\text{(sliding)}} = \frac{5 + (37.3 \times 0.67 \tan 36^\circ) + (3 \times 0)}{12.3} = 1.9 > 1.5 \rightarrow O.K.$$

$$FS_{\text{(sliding)}} = \frac{37.7 \times 0.67 \tan 36^\circ}{12.3} = 1.48 \approx 1.5 \rightarrow O.K.$$

اگر احتمال برداشتن این خاک وجود داشته باشد $P_p = 0$ در نظر گرفته می‌شود.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل ثقلی

ج) کنترل ظرفیت باربری خاک: برای کنترل ظرفیت باربری باید حداکثر تنش در زیر پی مشخص باشد، لذا ابتدا باید برآیند نیروها یعنی R و نقطه اثر آن در زیر پی تعیین گردد.

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o = 66.99 - 27.96 = 39 \text{ ton-m/m},$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3}{2} - \frac{39.03}{37.37} = 0.456 \text{ m} < \frac{B}{6}$$

$$\sigma = \frac{R}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{37.37}{3} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.455}{3} \right) \rightarrow \begin{cases} q_{max} = 23.8 < q_a = 25 \frac{\text{T}}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{min} = 1.12 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$

اگر جواب q_{max} بیشتر از q_a به دست آید و یا تنش q_{min} در زیر پی منفی شود باید ابعاد پی را بزرگ‌تر کرده و کنترل‌ها را دوباره انجام داد.

د) کنترل سازه‌ای دیوار:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p = \frac{1}{2} \times 1.7 \times (5.7 + 0.22)^2 \times 0.32 = 9.56 \text{ ton} \rightarrow P_{ah} = 9.56 \cos 10^\circ = 9.42$$

$$M = 9.42 \times \left(\frac{6.82 - 0.9}{3} \right) = 21.13 \text{ t.m}$$

لنگر خمشی و تنش‌های وارده را در محل اتصال دیوار با پی محاسبه می‌کنیم.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{21.13 \times 1.35}{\frac{1(2.7)^3}{12}} = 17.4 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} = \pm 1.74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \begin{cases} \sigma < 80 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} & \text{Allowable compressive stress of concrete} \rightarrow O.K. \\ \sigma < 7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} & \text{Allowable tensional stress of concrete} \rightarrow O.K. \end{cases}$$

این مقدار تنش فشاری و کششی کاملاً به وسیله بتن غیر مسلح قابل تحمل است.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

مثالی از طراحی دیوار حائل طرفی

مطلوب است طراحی یک دیوار حائل طرفی با مشخصات زیر:

$$q_a = 25 \text{ ton/m}^2, \quad \gamma_{\text{concrete}} = 2.5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Soil under foundation: } \phi = 30^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1.77 \text{ ton/m}^3, \quad \delta = 20^\circ$$

$$\text{Embankment behind the wall: } \phi = 34^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1.84 \text{ ton/m}^3, \quad \delta = 17^\circ$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2, \quad f_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

با توجه به مشخص بودن ابعاد دیوار با توجه به تناسبات ارائه شده، تعیین نیروهای وارد بر دیوار شروع می‌کنیم. چون ارتفاع خاکریز زیاد است برای آن که طرح اقتصادی‌تر شود می‌توان از تئوری کولمب استفاده کرد. فشار جانبی خاک را بر روی سطح قائم فرضی که از پاشنه می‌گذرد، حساب می‌کنیم.

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

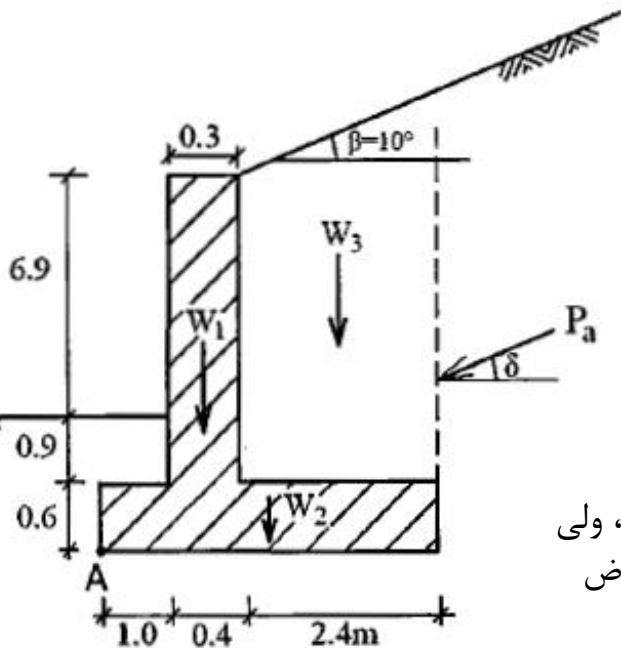
$$H = 0.6 + 7.8 + 2.4(1.275 \tan 10^\circ) = 8.8 \text{ m}$$

$$\beta = 10^\circ, \quad \phi = 34^\circ, \quad \alpha = 90^\circ, \quad \delta = 20^\circ \text{ (Assumption)} \rightarrow K_a = 0.287$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 1.84 \times 8.8^2 \times 0.287 = 20.5 \text{ ton}$$

نکته مهم: زاویه اثر نیروی محرک برابر با $30^\circ (\delta + \beta)$ درجه نسبت به افق تأثیر می‌کند، ولی زوایای کمتر در جهت اطمینان است. در اینجا طبق داده مساله زاویه را $20^\circ (\delta)$ درجه فرض می‌کنیم، بنابراین خواهیم داشت:

$$P_{ah} = P_a \cdot \cos 20^\circ = 19.3 \text{ ton}, \quad P_{av} = P_a \cdot \sin 20^\circ = 7.01 \text{ ton}$$



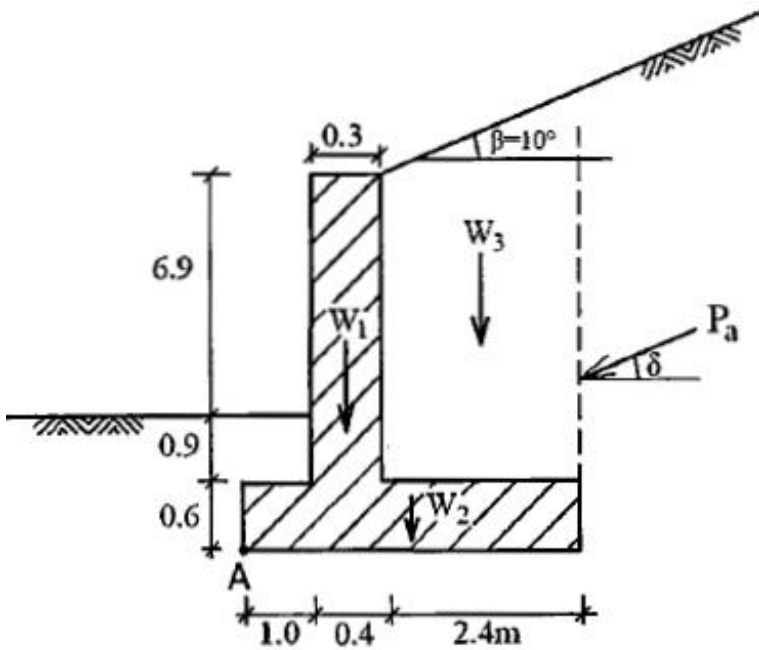
شکل ۲۶- مشخصات دیوار طرفی

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای مرحله سوم کنترل پایداری دیوار است. در این مرحله باید ۳ کنترل انجام گیرد.

الف) کنترل واژگونی

لنگرها حول نقطه A در جلوی پنجه محاسبه می‌شود.



Section no.	Area(m ²)	weight/unit length	Arm(m)	Moment
1	2.73	6.825	1.2	8.19
2	2.28	5.7	1.9	10.83
3--1	18.72	34.4448	2.575	88.69536
3--2	0.504	0.92736	2.925	2.712528
Pv		7.01	3.8	26.638
		V=54.90716		M _R =137.065888

$$W_1 = \frac{(0.3 + 0.4)}{2} \times 7.8 \times 2.5 = 6.825 \text{ ton ,}$$

$$W_2 = 3.8 \times 0.6 \times 2.5 = 5.7 \text{ ton ,}$$

$$W_3 = \left(\frac{(7.8 + 8.22)}{2} \times 2.4 \right) \times 1.84 = 35.4 \text{ ton}$$

$$P_E = 0.1P_{ah} = 0.1 \times 19.3 = 1.93 \text{ ton . نقطه اثر این نیرو } 0.6 \text{ ارتفاع دیوار است.}$$

$$FS_{\text{overturning}} = \frac{\text{Passive Moments}}{\text{Active Moments}}$$

$$\text{Active Moments: } \sum M_o = 19.3 \times \frac{8.8}{3} = 56.61 \text{ t.m} \rightarrow FS_{(\text{Overturning})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{137.07}{56.61} = 2.42 > 1.5 \rightarrow O.K.$$

$$\text{Active Moments: } \sum M_E = 19.3 \times \frac{8.8}{3} + 1.93 \times 8.8 \times 0.6 = 66.8 \text{ t.m} \rightarrow FS_{(\text{Overturning})} = \frac{137.07}{66.8} = 2.1 > 1.1 \rightarrow O.K. \text{ در حالت وقوع زلزله نیز خواهیم داشت:}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(ب) کنترل لغزش

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p = \frac{1}{2} \times 1.7 \times 1.5^2 \times 5.385 = 10.3 \text{ ton}$$

$$\beta = 0^\circ, \quad \phi = 30^\circ, \quad \alpha = 90^\circ, \quad \delta = 17^\circ \longrightarrow K_p = 5.385$$

$$F.S._{sliding} = \frac{10.3 + (54.91 \times 0.67 \tan 30^\circ)}{19.3} = 1.82 > 1.5 \rightarrow O.K.$$

در حالت وقوع زلزله نیز خواهیم داشت:

$$F.S._{sliding} = \frac{10.3 + (54.91 \times 0.67 \tan 30^\circ)}{19.3 + 1.93} = 1.65 > 1.1 \rightarrow O.K.$$

اگر احتمال برداشتن خاک جلوی دیوار وجود داشته باشد، در آن صورت فشار غیرفعال نباید در محاسبات در نظر گرفته شود و به جای آن باید در پاشنه دیوار زائد تعبیه گردد.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

ج) کنترل ظرفیت باربری خاک: برای کنترل ظرفیت باربری باید حداکثر تنش در زیر پی مشخص باشد، لذا ابتدا باید برابری نیروها یعنی R و نقطه اثر آن در زیر پی تعیین گردد.

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o = 137.07 - 56.61 = 80.46 \text{ ton-m/m},$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3.8}{2} - \frac{80.46}{54.91} = 0.435 \text{ m} < \frac{B}{6}$$

$$\sigma = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{54.91}{3.8} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.435}{3.8} \right) \rightarrow \begin{cases} q_{max} = 24.37 < q_a = 25 \frac{\text{T}}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{min} = 4.53 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$

اگر جواب q_{max} بیشتر از q_a به دست آید و یا تنش q_{min} در زیر پی منفی شود باید ابعاد پی را بزرگ‌تر کرده و کنترل‌ها را دوباره انجام داد.

تنش در زیر پی را در حالت وقوع زلزله نیز کنترل می‌کنیم. باید توجه داشت که در این حالت می‌توان q_a را در $1/3^3$ ضرب نمود.

$$\text{Active Moments: } \sum M_{oE} = 19.3 \times \frac{8.8}{3} + 1.93 \times 8.8 \times 0.6 = 66.8 \text{ t.m.}$$

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_{oE} = 137.07 - 66.8 = 70.27 \text{ ton-m/m},$$

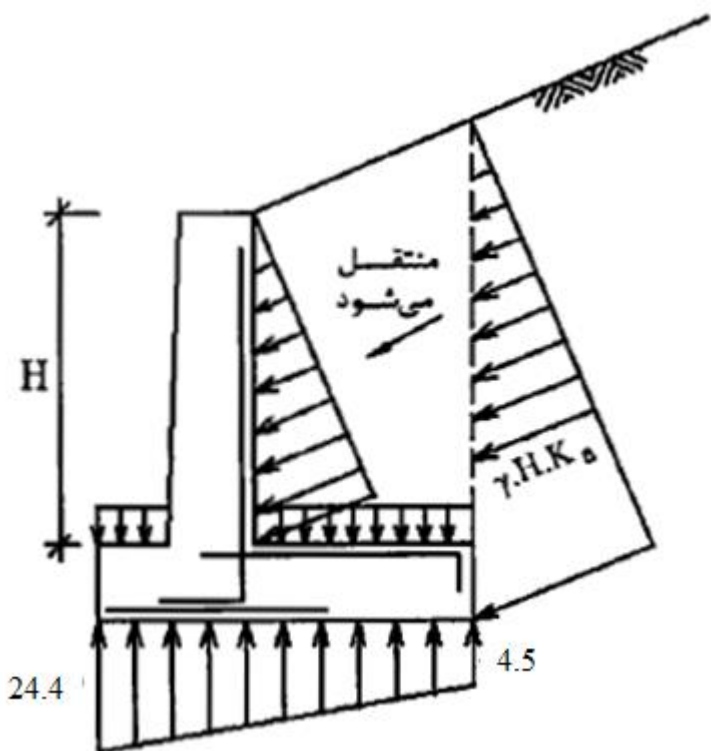
$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3.8}{2} - \frac{70.27}{54.91} = 0.62 \text{ m} < \frac{B}{6}$$

$$\sigma = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{54.91}{3.8} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.62}{3.8} \right) \rightarrow \begin{cases} q_{max} = 28.6 < 1.33 * 25 \frac{\text{T}}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{min} = 0.3 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$

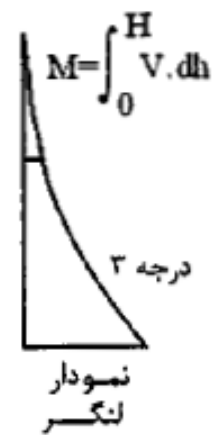
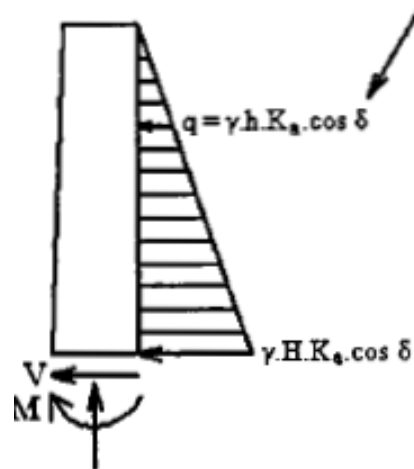
با توجه به موارد فوق نتیجه می‌گیریم که ابعاد دیوار مناسب طرح شده است.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای



اگر از تئوری رتکین استفاده می‌شود
در اینجا β قرار می‌گیرد



شکل ۲۷- طرح سازه‌ای دیوار طره

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

طراحی مقطع مستطیلی بتنی بر اساس برش و لنگر فقط بر اساس الگوی کششی

مقادیر اولیه: f'_c, f_y, M_u, ϕ

$$v_a = 0.2\phi_c\sqrt{f'_c}, \quad \phi_c = 0.6, \quad V_c = v_a b d$$

$$V_s = V_u - V_c, \quad \frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{\phi_s f_y d}, \quad \phi_s = 0.85$$

$$v_a = 0.1445\sqrt{f'_c} \quad \text{ACI318-02}$$

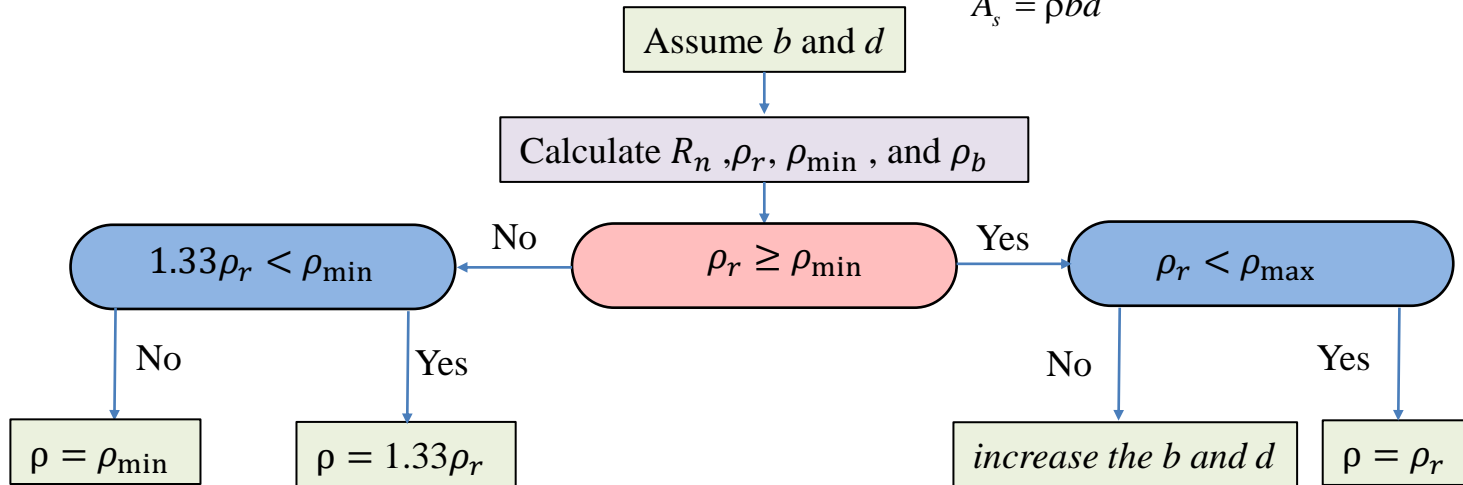
تنش مجاز برشی بتن

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}, \quad m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$\rho = \rho_r = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$\rho_{\min} = \max \left(0.25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right)$$

$$A_s = \rho b d$$



دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

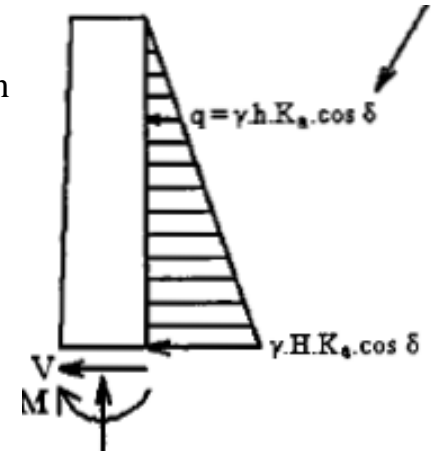
ابتدا ضخامت بتن در پای دیوار را برای تحمل برش به تنهایی کنترل می‌کنیم.

$$V = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \bar{H}^2 \cdot K_a \cos \delta = \frac{1}{2} \times 1.84 \times 7.8^2 \times 0.287 \times \cos 20^\circ = 15.1 \text{ ton} \rightarrow V_u = 1.7 \times 15.1 = 25.7 \text{ ton}$$

$$\bar{H} = 6.9 + 0.9 = 7.8 \text{ m}, \quad d = D - 10(\text{cm}) = 40 - 10 = 30(\text{cm})$$

$$v = \frac{V}{b \cdot d} = \frac{25.7 \times 10^3}{100 \times 30} = 8.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > v_a = 6.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow N.A.$$

$$v_a = 0.1445 \sqrt{f'_c} = 0.1445 \sqrt{21} \times \frac{100}{9.81} = 6.75 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{ACI318-02}$$



بنابراین، ضخامت ۴۰ سانتی‌متر برای تحمل برش کافی نیست و آن را به ۵۰ سانتی‌متر افزایش می‌دهیم.

$$D = 50 \text{ cm} \rightarrow d = 40 \text{ cm}$$

$$v = \frac{V}{b \cdot d} = \frac{25.7 \times 10^3}{100 \times 40} = 6.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < v_a = 6.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow O.K.$$

از آنجایی که وزن دیوار اندکی افزایش یافته است، لذا ضریب اطمینان در مقابل لغزش و واژگونی افزایش می‌یابد ولی تنش در زیر پی کمی بیشتر می‌شود که در اینجا از اضافه تنش احتمالی صرف‌نظر شده است.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

حداکثر لنگر در پای دیوار (انتهای طره) وجود دارد.

$$M_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \bar{H}^2 \cdot K_a (\cos \delta) \frac{H}{3}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{2} \times 1.84 \times 7.8^2 \times 0.287 \times \cos 20^\circ \times \frac{7.8}{3} = 39.25 \text{ t.m}$$

$$M_u = 1.7 \times 39.25 = 66.7 \text{ t.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{66.7(10^5)}{0.9 \times 100 \times 40^2} = 46.319, \quad m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1.7 f'_c R_n}{f_y^2}} \right) = \frac{0.85 \times 210}{3500} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 46.319}{0.85 \times 210}} \right) = 0.0156$$

$$\rho = 0.0156 < 0.75 \rho_b = 0.021 \rightarrow O.K.$$

$$A_s = 0.0156 \times 100 \times 40 = 62.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{use } 20\phi 20 @ 10 \text{ cm c/c } (A_s = 62.8 \text{ cm}^2)$$

از آنجا که این فولاد را می‌توان در ارتفاع در نقاط مناسب قطع نمود، لذا بهتر است از ابتدا نمودار برش و لنگر برای دیوار طره‌ای رسم شود و قطع فولاد در ارتفاع دیوار بر آن اساس صورت پذیرد.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

محاسبات مربوط به طراحی پاشنه دیوار:

$$W = W_{3-1} + W_{3-1} + 2.4 \times 0.6 \times 2.5 = 34.44 + 0.93 + 3.6 = 38.97 \frac{t}{m}$$

$$V = 38.97 - \left(\frac{17.07 + 4.5}{2} \times 2.4 \right) = 13.09 \text{ ton}$$

$$\rightarrow v = \frac{V_u}{b.d} = \frac{13.09 \times 1.7 \times 10^3}{100 \times 50} = 4.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < v_a = 6.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{OK}$$

$$M_{\max} = W_{3-1} \times 1.2 + W_{3-1} \times 1.6 + 2.4 \times 0.6 \times 2.5 \times 1.2 - \left(4.5 \times 2.4 \times 1.2 + \frac{(17.07 - 4.5) \times 2.4}{2} \times 0.8 \right)$$

$$= 41.33 + 1.49 + 4.32 - (12.96 + 12.07) = 22.11 \text{ t.m}$$

$$M_u = 37.59 \text{ t.m}$$

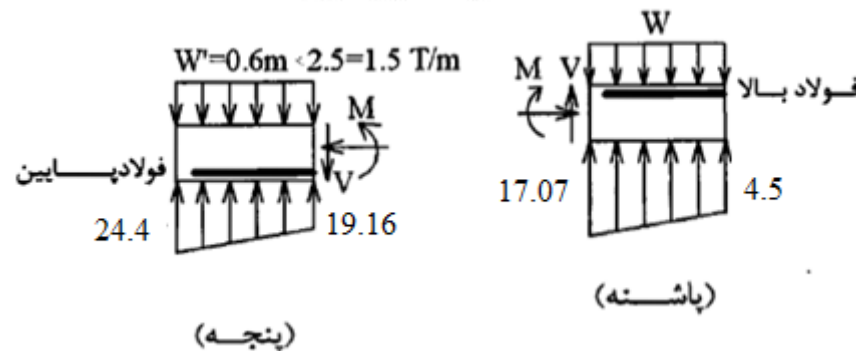
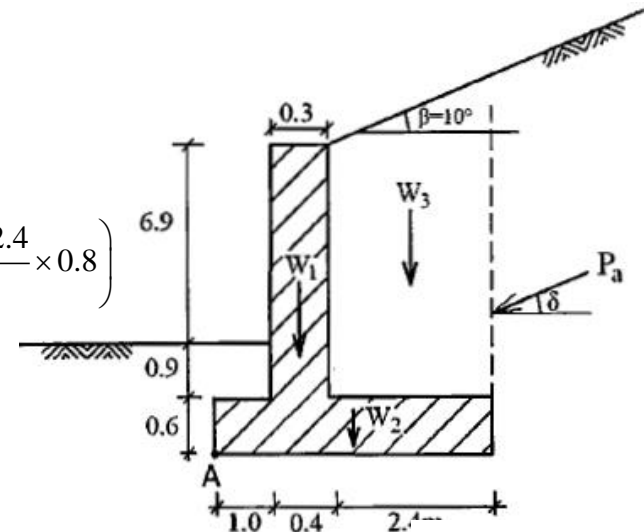
$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{37.59 (10^5)}{0.9 \times 100 \times 50^2} = 16.71, \quad m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0.85 \times 210}{3500} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.71}{0.85 \times 210}} \right) = 0.005 < 0.75 \rho_b = 0.021 \rightarrow \text{O.K.}$$

$$\rho_{\min} = \max \left(0.25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right) = 0.001$$

$$A_s = 0.005 \times 100 \times 50 = 25 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{use } \phi 18 @ 10 \text{ cm c/c}$$



شکل ۲۸- طراحی فولاد در پنجه و پاشنه دیوار

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

$$W' = 0.6 \times 1 \times 2.5 = 1.5 \text{ ton}$$

$$V = \left(\frac{24.4 + 19.16}{2} \times 1 \right) - 1.5 = 20.28 \text{ ton}$$

$$\rightarrow v = \frac{V_u}{b.d} = \frac{20.28 \times 1.7 \times 10^3}{100 \times 50} = 6.9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > v_a = 6.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad N.A.$$

$$M_{\max} = (19.16 \times 1 \times 0.5) + \left(\frac{(24.4 - 19.16)}{2} \times 1 \times \frac{2}{3} \right) - (0.6 \times 2.5 \times 1 \times 0.5)$$

$$= 9.58 + 1.75 - 0.75 = 10.58 \text{ t.m}$$

$$M_u = 17.99 \text{ t.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{17.99 (10^5)}{0.9 \times 100 \times 50^2} = 8.0 \quad m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

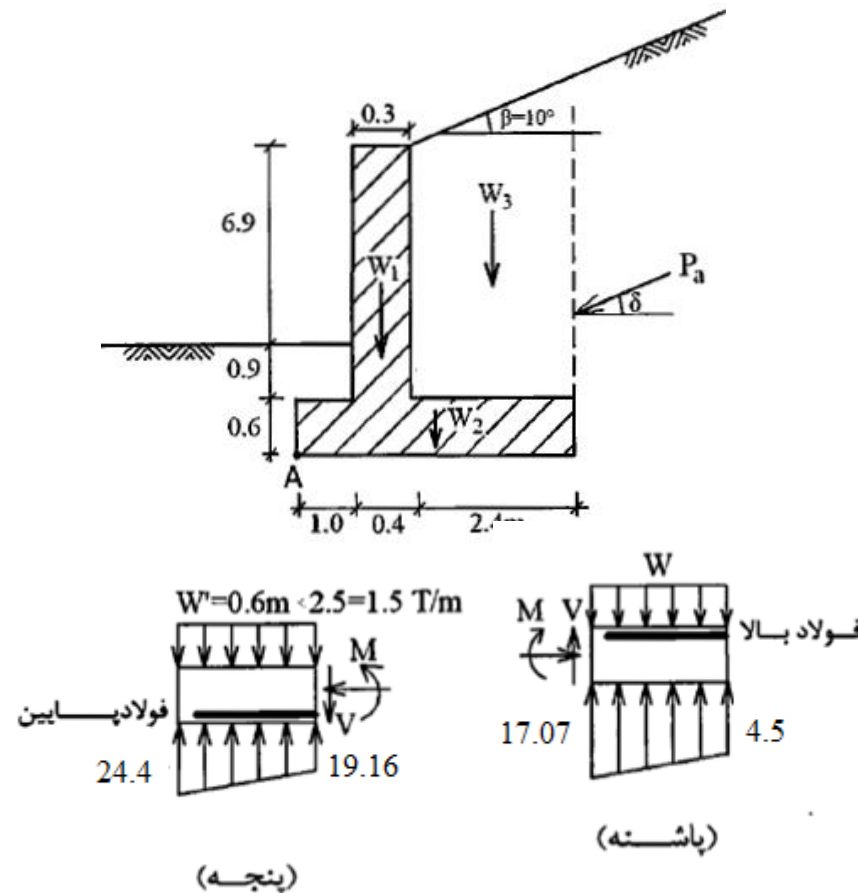
$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0.85 \times 210}{3500} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8}{0.85 \times 210}} \right) = 0.00234 < 0.75 \rho_b = 0.021 \quad \text{OK}$$

$$A_s = 0.00234 \times 100 \times 50 = 11.7 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{use } \phi 18 @ 20 \text{ cm c/c}$$

طراحی دیوار حائل طره‌ای

محاسبات مربوط به طراحی پنجه دیوار:



شکل ۲۸- طراحی فولاد در پنجه و پاشنه دیوار

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

مطلوب است طراحی یک دیوار حائل طره‌ای برای نگه داشتن یک خاکریز به ارتفاع ۴/۸ متر بالاتر از سطح تمام شده خاک (شکل (۲۸)). سطح خاکریز افقی بوده و قرار است ساختمانی روی آن ساخته شود. فشار یکنواخت ناشی از این ساختمان را معادل ۲/۴ متر ارتفاع خاک در نظر بگیرید. سایر معلومات به شرح زیر می‌باشد.

$$q_a = 24 \text{ ton/m}^2, \quad \gamma_{\text{concrete}} = 2400 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = \tan \delta = 0.4$$

$$\text{Soil under foundation: } \phi = 35^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1920 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Embankment behind the wall: } \phi = 35^\circ, \quad C = 0, \quad \gamma = 1920 \text{ kg/m}^3$$

حل: الف) تعیین وزن مخصوص مایع معادل: آیین‌نامه پل سازی آشتو توصیه می‌کند که وزن مخصوص مایع معادل هیچ وقت از ۴۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب کوچک‌تر در نظر گرفته نشود.

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right) = 0.271$$

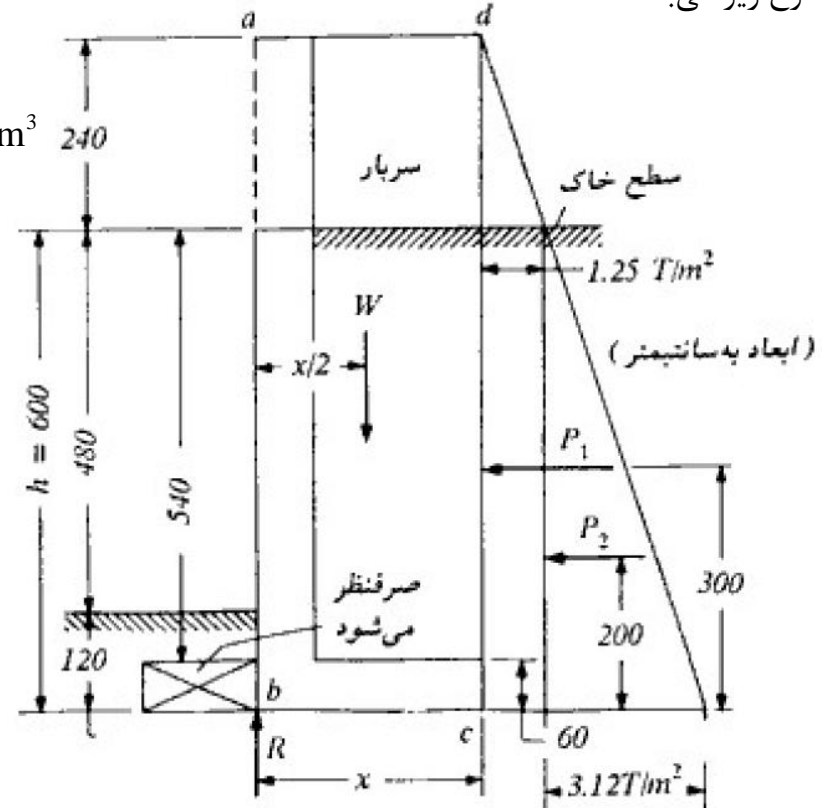
$$= 0.271 \times 1920 = 520 \text{ kg/m}^3$$

ب) ارتفاع دیوار: در صورتی که عمق نفوذ یخبندان ۱/۲ متر در نظر گرفته شود، ارتفاع دیوار از بالای تیغه تا زیر پایه به شرح زیر خواهد بود:

$$h = 4.8 + 1.2 = 6.00 \text{ m}$$

پ) ضخامت پایه

$$t = 0.1h = 0.1 \times 6 = 0.6 \text{ m}$$



شکل ۲۹- انتخاب ابعاد هندسی دیوار حائل

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

با در نظر گرفتن عرضی برابر ۱ متر برای دیوار حائل، نیروهای وارد بر دیوار به صورت زیر تعیین می‌گردند:

$$\text{سربار} = 2.4 \times 1.92 = 4.61 \text{ t/m}^2$$

$$\text{فشار افقی یکنواخت ناشی از سربار} = 0.271 \times 4.61 = 1.25 \text{ t/m}^2$$

$$\text{فشار حداکثر ناشی از خاک} = 0.520 \times 6 = 3.12 \text{ t/m}^2$$

$$(در وسط ارتفاع اثر می‌کند) = P_1 = 1.25 \times 6 = 7.5 \text{ t/m}$$

$$P = P_1 + P_2 = 7.5 + 9.36 = 16.86$$

$$(در ثلث ارتفاع اثر می‌کند) = P_2 = \frac{1}{2} \times 3.12 \times 6 = 9.36 \text{ t/m}$$

$$\bar{z} = \frac{P_1 \times \bar{z}_1 + P_2 \times \bar{z}_2}{P_1 + P_2} = \frac{7.5 \times 3 + 9.36 \times 2}{7.5 + 9.36} = 2.26 \text{ m}$$

محل اثر بار افقی ناشی از خاک و سربار:

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(ت) طول پایه: برای تعیین طول پایه از ناحیه پنجه صرف نظر شده و وزن مخصوص مصالح محصور در ناحیه $abcd$ برابر $1/92$ تن بر متر مکعب فرض می‌شود. با توجه به اینکه برای مصالح دانه‌ای، مطلوب این است که برآیند فشار زیر پایه، در لبه خارجی ثلث پایه قرار گیرد، بنابراین:

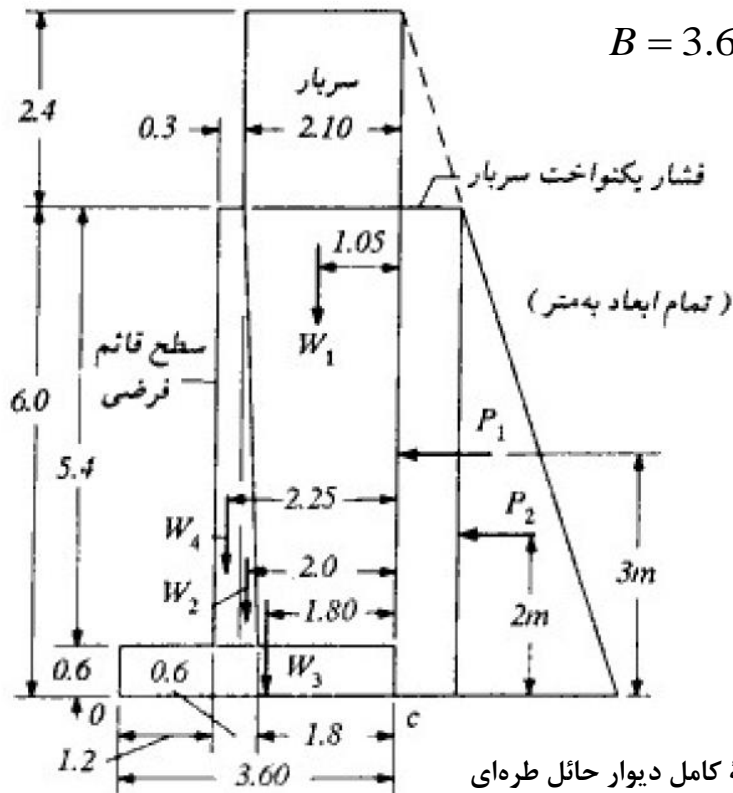
$$\text{طول پایه} = 1.5 \times 2.26 = 3.39 \text{ m}$$

طول پایه برابر $3/6$ متر در نظر گرفته می‌شود:

$$B = 3.6 \text{ m} \rightarrow B/h = 3.6/6 = 0.6$$

(ث) ضخامت تیغه (دیوار)

ضخامت پای تیغه مساوی ضخامت پایه یعنی $0/1$ ارتفاع (60 سانتی‌متر) و ضخامت بالای تیغه برابر 30 سانتی‌متر انتخاب می‌شود. در این مرحله می‌توان ضخامت 60 سانتی‌متر انتخاب شده در پای تیغه را با محاسبه لنگر خمشی و نیروی برشی تیغه در پای دیوار کنترل نمود، ولی تجربه نشان می‌دهد که ضخامتی در حدود $0/1$ ارتفاع در اکثر موارد جواب‌های مطمئنی به دست می‌دهد. هندسه کامل دیوار در شکل روبرو نشان داده شده است. در مورد این شکل تذکر یک نکته لازم است. همان‌طور که گفته شد برای جبران تغییرشکل به سمت جلوی دیوار، برای سطح جلوی آن شیبی به اندازه 1 افقی به 48 قائم در نظر می‌گیرند، ولی با توجه به اینکه این شیب به واسطه تغییرشکل به سمت جلوی دیوار عملاً از بین می‌رود، در محاسبات، سطح جلوی دیوار قائم فرض شده و شیب 1 به 48 فقط در نقشه‌های اجرایی نشان داده می‌شود.



شکل ۳۰- هندسه کامل دیوار حائل طره‌ای

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

ج) ضریب اطمینان واژگونی با توجه به شکل که در آن هم هندسه دیوار و هم محل نیروهای وارد بر دیوار نشان داده شده است. با در نظر گرفتن نیروهای بدون ضریب، با لنگرگیری نیروها نسبت به نقطه پنجه، مقدار و محل برآیند نیروهای قائم محاسبه می‌شود.

$$FS_{\text{overturning}} = \frac{\text{Passive Moments}}{\text{Active Moments}} = \frac{95.39}{41.22} = 2.31 > 2 \text{ OK}$$

Section no.	Area(m2)	whieht/unit length	arm(m)	Passive Moment
1	11.34	21.77	2.55	55.51
2 اضافه وزن ناحیه مثلثی دیوار	0.81	$(2.4-1.92)*0.81=0.389$	1.6	0.62
3 وزن پایه	2.16	5.184	1.8	9.33
4 وزن ناحیه مستطیل دیوار	1.62	3.888	1.35	5.25
q وزن سرپار	5.04	9.6768	2.55	24.68
	V=	40.91	M _R =	95.39
				Active Moment
	P1	7.5	3	22.5
	P2	9.36	2	18.72
			M _o =	41.22

اگر ضریب اطمینان در مقابل واژگونی بر مبنای فلسفه مقاومت نهایی و با بارهای با ضریب به دست آید، ترکیب بار $U = 0.9D + 1.7H$ در نظر گرفته شود، که D بار مرده و H نیروی رانش افقی ناشی از خاک می‌باشد. می‌توان نوشت:

$$0.9 \times 95.39 > 1.7 \times 41.222 \quad \text{OK}$$

اگر روش مقاومت نهایی با روش تنش‌های مجاز مقایسه شود، این‌طور می‌توان نتیجه گرفت که در روش مقاومت نهایی در واقع از ضریب اطمینان $1/89$ استفاده می‌شود که بسیار نزدیک به ۲ است.

$$1.7 / 0.9 = 1.89$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

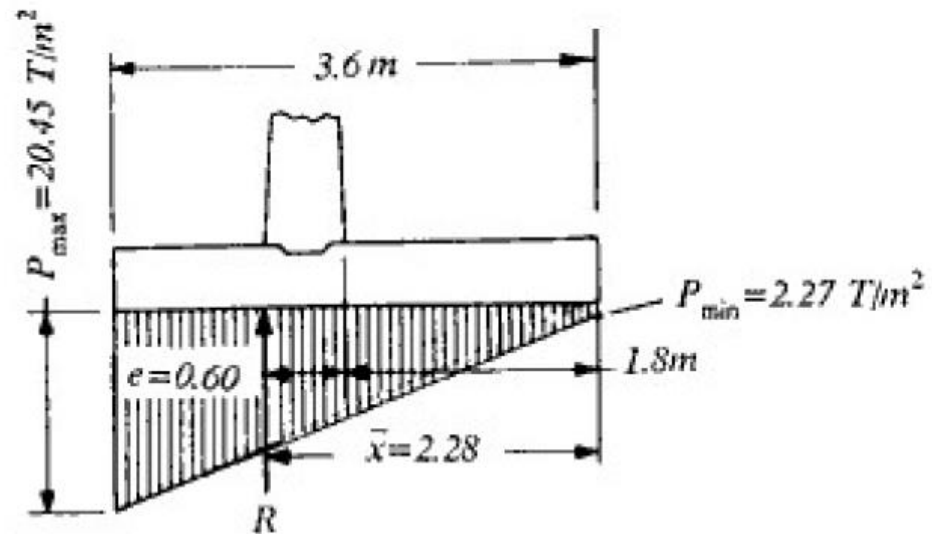
(چ) کنترل ظرفیت باربری خاک:

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o = 95.39 - 41.22 = 54.17 \text{ ton-m/m},$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3.6}{2} - \frac{54.17}{40.91} = 0.476 \text{ m} < \frac{B}{6}$$

$$\sigma = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{40.91}{3.6} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.48}{3.6} \right) \rightarrow \begin{cases} q_{max} = 20.45 < q_a = 24 \frac{\text{T}}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{min} = 2.27 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$

اگر جواب q_{max} بیشتر از q_a به دست آید و یا تنش q_{min} در زیر پی منفی شود باید ابعاد پی را بزرگ‌تر کرده و کنترل‌ها را دوباره انجام داد.



شکل ۳۱- محل برابند و توزیع فشار در زیر پایه

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

ح) محاسبه ضریب اطمینان در مقابل لغزش: در اینجا ما ضریب اطمینان در مقابل لغزش بدون صرف‌نظر از فشار مقاوم خاک در جلوی پنجه و با صرف‌نظر آن (در جهت اطمینان) به دست می‌آوریم:

$$\text{نیروی محرک} = P_1 + P_2 = 7.5 + 9.36 = 16.86 \text{ t/m}$$

$$\text{نیروی مقاوم اصطکاکی} = \mu R = 0.4(40.91) = 16.36 \text{ t/m} \quad (\mu = 0.4 < \tan \alpha = \tan 35 = 0.7)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p = \frac{1}{2} \times 1.92 \times 1.5^2 \times 3.69 = 7.97 \text{ ton}, \quad \beta = 0^\circ, \quad \phi = 35^\circ \rightarrow K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = 3.69$$

$$FS_{(\text{sliding})} = \frac{7.97 + (40.91 \times 0.4) + (3.6 \times 0)}{16.86} = \frac{7.97 + 16.36}{16.86} = 1.44 < 1.5 \quad \text{خوب نیست}$$

اگر احتمال برداشتن این خاک وجود داشته باشد $P_p = 0$ در نظر گرفته می‌شود.

$$\text{ضریب اطمینان در مقابل لغزش} = \frac{16.36}{16.86} = 0.97 < 1.5 \quad \text{خوب نیست}$$

بر مبنای فلسفه مقاومت نهایی نتیجه می‌شود:

$$\text{نیروی محرک} \times 1.7 > \text{نیروی مقاوم} \times 0.9$$

$$0.9 \times 16.36 < 1.7 \times 16.68$$

$$14.72 < 28.66 \quad \text{خوب نیست}$$

بنابراین لازم است یک زبانه برشی برای شالوده منظور شود. ارتفاع زبانه غالباً به اندازه دو سوم ضخامت پایه منظور می‌شود. همچنین برای اینکه میلگردهای کششی تیغه، به منظور مهار، مستقیماً وارد زبانه شوند، سطح جلوی زبانه، به اندازه ۱۵ سانتی‌متر جلوتر از سطح پشتی دیوار قرار داده می‌شود.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

شکل ۳۲- تعبیه زبانه برشی

طراحی دیوار حائل طره‌ای

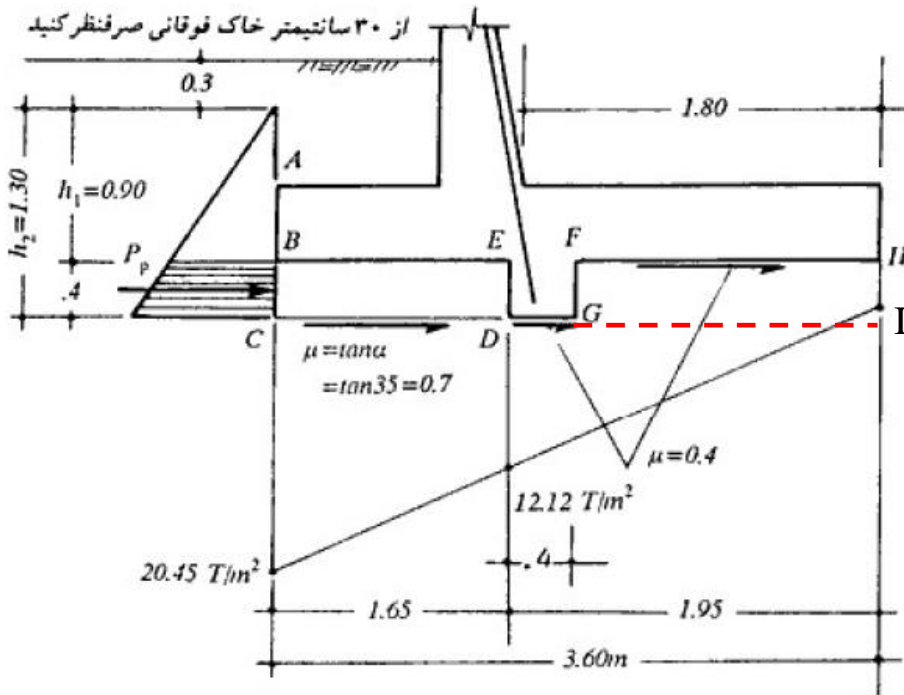
ح) محاسبه ضریب اطمینان در مقابل لغزش با در نظر گیری زبانه:

فرض مسئله بر این است که برای محاسبه فشار مقاوم زبانه از وزن ۳۰ سانتی متر خاک فوقانی در جهت اطمینان صرف نظر شود. همچنین ۱.۵ متر فوقانی هم هیچ فشار مقاومی را تحمل نمی‌کند.

برای محاسبه اصطکاک ناشی از لغزش دیوار و خاک باید در نظر داشت که در خط CD توجه شود که چون احتمال لغزش خاک بر روی خاک وجود دارد باید از زاویه اصطکاک داخلی خاک استفاده کرد و در نواحی DG از زاویه اصطکاک دیوار و خاک و همچنین در نواحی دیگر مثلاً FH از زاویه اصطکاک دیوار و خاک (در جهت اطمینان) و یا GI از زاویه اصطکاک داخلی خاک استفاده کرد. در این مسئله در جهت اطمینان فقط در نواحی CD از زاویه اصطکاک داخلی خاک استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \mu R &= \mu_1 R_1 + \mu_2 R_2 \\ &= 0.7 \left(\frac{12.12 + 20.45}{2} \times 1.65 \right) + 0.4 \left(\frac{12.12 + 2.7}{2} \times 1.95 \right) \\ &= 18.81 + 5.61 = 24.42 \text{ t} \\ &= 3.690 + 24.42 = 28.11 \end{aligned}$$

خوب است $= 28.11 / 16.86 = 1.67 > 1.5$ ضریب اطمینان در مقابل لغزش



$$\text{ارتفاع زبانه} = \frac{2}{3} \times 60 = 40 \text{ cm}$$

$$P_p = \frac{1}{2} k_p w (h_2^2 - h_1^2)$$

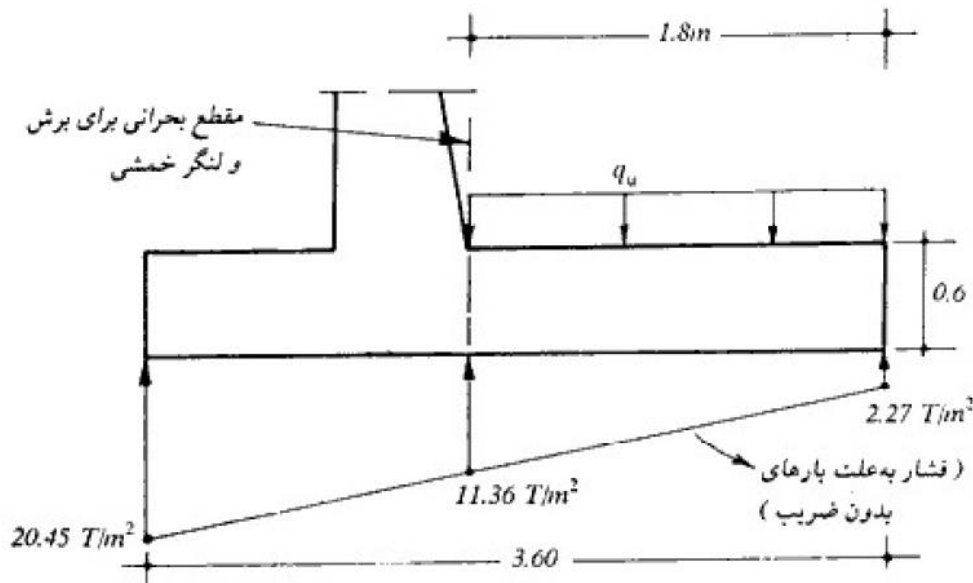
$$P = \frac{1}{2} \times 3.96 \times 1.92 (1.3^2 - 0.90^2) = 3.12 \text{ t}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(خ) طراحی پاشنه

شکل زیر نشان دهنده نمودار آزاد پاشنه بدون زبانه‌ی برشی می‌باشد. برای تعیین فشار یکنواخت وارد بر بالای پاشنه، برای وزن خاک و بتن از ضریب بار $1/4$ و برای سربار از ضریب بار $1/7$ استفاده شده است. بعضی از طراحان از فشار زیر پاشنه و در جهت اطمینان صرف نظر می‌نمایند. وجود این فشار آن هم با توزیع، خطی مورد شک و تردید می‌باشد. در این مثال طبق فلسفه طراحی به روش نهایی از فشار زیر با ضریب بار $0/9$ استفاده می‌شود. با کمی تقریب مقطع بحرانی برای نیروی برشی و لنگر خمشی منطبق بر سطح سمت خاک تیغه در نظر گرفته می‌شود، هر چند که ممکن است استدلال‌هایی برای در نظر گرفتن مقطع بحرانی لنگر خمشی منطبق بر محل میلگردهای کششی تیغه وجود داشته باشد. در طراحی مقطع، از وجود زبانه برشی صرف نظر می‌شود.



شکل ۳۳- نمودار آزاد پاشنه

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

کنترل برش پاشنه

$$q_w = 1.7 \times 2.4 \times 1.92 + 1.4(5.4 \times 1.92 + 0.6 \times 2.4) = 24.36 \text{ t/m}^2$$

$$V_u = 24.36 \times 1.8 - 0.9 \times \frac{2.27 + 11.36}{2} \times 1.8 = 32.81 \text{ t/m}$$

$$M_u = (24.36 - 0.9 \times 2.27) \times \frac{1.8^2}{2} - 0.9(11.36 - 2.27) \frac{1.8^2}{6} = 31.74 \text{ t.m/m}$$

$$V_n = V_u / 0.85 = 32.81 / 0.85 = 38.60 \text{ t/m}$$

$$d = 60 - (5 + 1.5) = 53.5 \text{ cm}$$

$$V_m = \frac{38.6 \times 10^3}{100 \times 53.5} = 7.21 < 0.53 \sqrt{200} = 7.50 \text{ kg/cm}^2$$

محاسبه میلگرد خمشی پاشنه:

$$\left. \begin{aligned} M_n &= M_u / \phi = 31.74 / 0.9 = 35.27 \text{ t.m} \\ (f_y &= 3000, f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2), (b = 100, d = 53.5 \text{ cm}) \end{aligned} \right\} \rightarrow A_s = 22.84 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

$$\text{حداقل } A_s \begin{cases} 1.33 \times 22.84 = 30.38 \text{ cm}^2 / \text{cm} \\ \frac{14}{3000} \times 100 \times 53.5 = 24.97 \text{ cm}^2 / \text{cm} \end{cases} \quad \text{کنترل می‌کند}$$

نسبت $14/f_y$ که مربوط به فولاد حداقل تیرها است، در اینجا برای مقطع پاشنه که اساساً یک دال یک‌طرفه می‌باشد، اعمال شده است. این تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن این موضوع که رفتار اجزای دال مختلف دیوار حائل اساساً معین بوده و هرگونه ضعف در هر یک از آنها باعث خرابی کلی دیوار می‌شود، قابل توجیه است.

$$\phi_{24} \text{ at } 20 A_s = 4.52 \times \frac{100}{20} = 22.60 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad \text{مقداری ضعیف است}$$

طول مهاری برای میلگرد ϕ_{24} برابر است با:

$$L_d = 1.4 \times \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 1.4 \times 0.0057 d_b f_y$$
$$L_d = 1.4 \times \frac{0.06 \times 4.52 \times 3000}{\sqrt{200}} = 80.54 \text{ cm} \geq 1.4 \times 0.0057 \times 2.4 \times 3000 = 57.46 \text{ cm}$$

میلگردهای محاسبه شده حداقل باید به طول ۸۰ سانتی‌متر از بر سطح پشتی تیغه به سمت انتهای پاشنه ادامه داشته باشند.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(د) طراحی پنجه: شکل ۳۴ نشان دهنده نمودار آزاد پنجه می‌باشد. مقطع بحرانی لنگر خمشی، سطح جلویی تیغه و مقطع بحرانی برای نیروی برشی به فاصله ۵۳/۵ سانتی‌متر از آن قرار دارد.

$$V_u = \left(1.7 \times \frac{20.45 + 17.092}{2} - 0.9 \times 1.44 \right) 0.665 = 20.36 \text{ t/m}$$

$$M_u = (1.7 \times 14.39 - 0.9 \times 1.44) \times \frac{1.2^2}{2} + 1.7 (20.45 - 14.39) \times \frac{1.2}{2} \times \frac{2}{3} \times 1.2 = 21.63 \text{ t.m}$$

ملاحظه می‌گردد که برای تعیین نیروهای داخلی یا ضریب، از ضریب ۱/۷ برای فشار زیر شالوده و ۰/۹ برای وزن شالوده استفاده شده است.

کنترل تنش برشی:

$$V_n = 20.36 / 0.85 = 23.95 \text{ t}$$

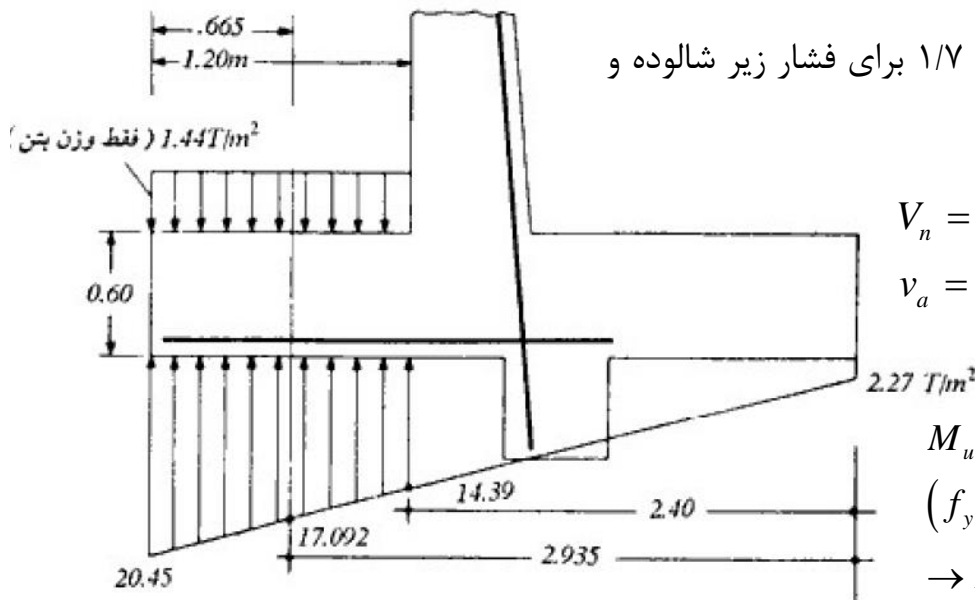
$$v_a = 23.95 \times 10^3 / (100 \times 53.5) = 4.48 \text{ kg/cm}^2 < 7.5$$

محاسبه میلگرد خمشی پنجه:

$$M_u = 21.63 / 0.9 = 24.03 \text{ t.m}$$

$$(f_y = 3000, f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2), (b = 100, d = 53.5 \text{ cm})$$

$$\rightarrow A_s = 15.36 \text{ cm}^2 / \text{m}$$



شکل ۳۴ - نمودار آزاد آزاد پنجه

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

$$\text{حداقل } A_s \begin{cases} 15.36 \times 1.33 = 20.43 \text{ cm}^2 / \text{m} & \text{کنترل می‌کند} \\ \frac{14}{3000} \times 100 \times 53.5 = 24.97 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$\phi 20 \text{ at } 15, A_s = 20.94 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

بنابراین، به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$L_d = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0.0057 d_b f_y$$

$$L_d = \frac{0.06 \times 3.14 \times 3000}{\sqrt{200}} = 39.97 \text{ cm} \geq 0.0057 \times 2 \times 3000 = 34.20 \text{ cm}$$

با توجه به طول ۱/۲ متری پنجه، طول مهارتی فوق قابل تأمین است.

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(ذ) طراحی تیغه (دیوار)

با اعمال ضریب بار ۱/۷ بر فشار خاک، نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی تیغه رسم می‌گردد (شکل ۳۵).

$$\text{فشار یکنواخت} = 1.25 \times 1.7 = 2.13 \text{ t/m}^2$$

$$\text{حداکثر فشار مثلثی} = 3.12 \times 1.7 = 5.30 \text{ t/m}^2$$

نقطه	x (m)	t (cm)	d (cm)	V_u (T)	$V_u = \frac{V_n}{\phi bd}$	M_u (T.m)	$M_n = \frac{M_u}{\phi}$	A_s (cm ² / m)	$\frac{14}{F_y} bd$ (cm ² / m)	$1.33 A_s$ (cm ² / m)
0	0	30	23.5	0	0	0	0	0	0	
0.5H	2.7	45	38.5	9.32	2.85	10.95	12.17	10.80	17.97	14.36
0.8H	4.32	54	47.5	18.35	4.54	32.87	36.52	26.98	22.17	—
H	5.4	60	53.5	25.79	5.67	56.4	62.67	41.95	24.97	—

$$v_c = 0.53 \sqrt{200} = 7.5 > 5.67 \text{ kg/cm}^2$$

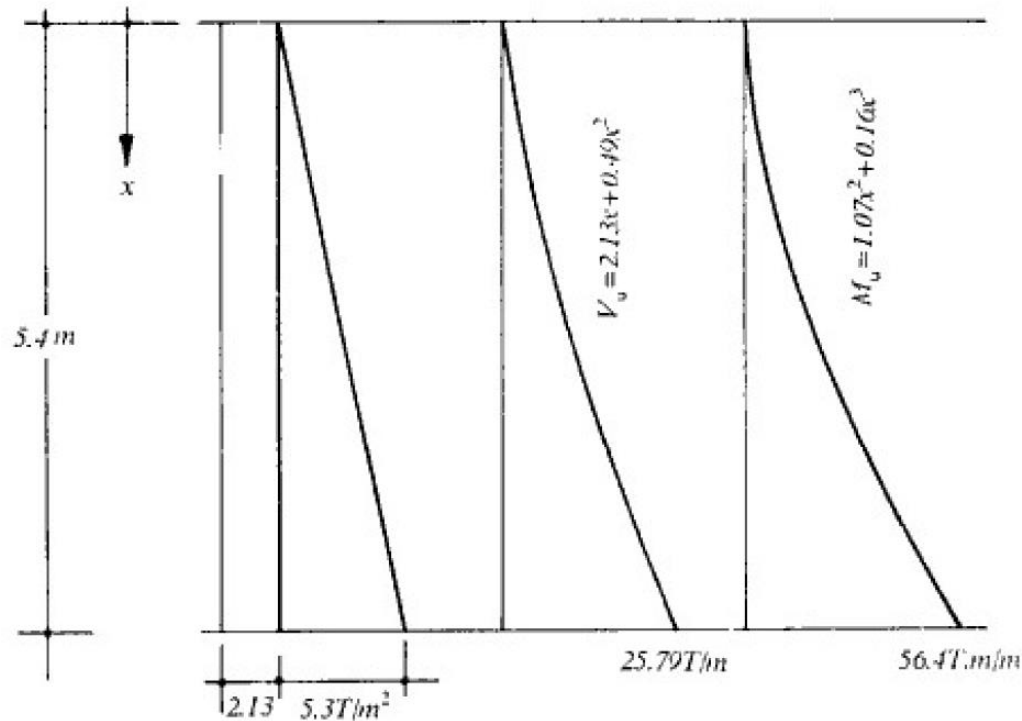
$$\text{میلگردهای ریشه} = \phi 26 \text{ at } 12.5 \text{ cm}, A_s = 42.47 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

طول مهاری برای میلگرد $\phi 26$ برابر است با:

$$L_d = \frac{0.06 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} = \frac{0.06 \times 5.31 \times 3000}{\sqrt{200}} = 67.59 \text{ cm} \# 68 \text{ cm}$$



نمودار فشار با ضریب خاک

شکل ۳۵

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

در صورتی که در محل ریشه لاقل ۵۰ درصد میلگردها وصله شود، وصله در کلاس B قرار می‌گیرد که طول وصله برای آن $L_d \geq 1/3$ می‌باشد.

$$\text{طول وصله} = 1.3 \times 67.59 = 87.87 \text{ \# } 90 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه در پای دیوار حدود ۱۵ سانتی‌متر رامکای دیوار به طور یکپارچه با فونداسیون ساخته می‌شود، طول حداقل ریشه‌ها از پای مساوی ۱۰۵ سانتی‌متر به دست می‌آید. تصمیم گرفته می‌شود که ۵۰ درصد ریشه‌ها تا ارتفاع ۳ و ۵۰ درصد مابقی تا ارتفاع ۱/۰۵ متر از پای دیوار ادامه یابد و به ریشه‌های اخیر، میلگرد $\phi 26$ at 25 وصله می‌شود. در شکل ۳۵ ظرفیت خمشی میلگردهای کششی به همراه نمودار لنگر خمشی نشان داده شده است. برای رسم نمودار ظرفیت خمشی میلگردها، محاسبات زیر لازم است:

I- ظرفیت خمشی $\phi 26$ at 12.5 در پایین و بالای دیوار

$$A_s = 42.47 \text{ cm}^2 / \text{cm} \quad b = 100$$

$$0.85 \times 200 \times 100 a = 42.47 \times 3000 \rightarrow a = 7.49 \text{ cm}$$

$$d = 53.5 \text{ cm}$$

پایین دیوار

$$M_u = 0.9 \times 42.47 \times 3000 (53.5 - 0.5 \times 7.49) 10^{-5} = 57.05 \text{ t.m/m}$$

$$d = 23.5 \text{ cm}$$

بالای دیوار

$$M_u = 0.9 \times 42.47 \times 3000 (23.5 - 0.5 \times 7.49) 10^{-5} = 22.65 \text{ t.m/m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

II- ظرفیت خمشی $\phi 26$ at 25 در پایین و بالای دیوار

$$A_s = 12.56 \text{ cm}^2 / \text{cm} \quad b = 100$$

$$0.85 \times 200 \times 100 a = 12.56 \times 3000 \rightarrow a = 2.22 \text{ cm}$$

$$d = 53.5 \text{ cm}$$

پایین دیوار

$$M_u = 0.9 \times 12.56 \times 3000 (53.5 - 0.5 \times 2.22) 10^{-5} = 17.77 \text{ t.m/m}$$

$$d = 23.5 \text{ cm}$$

بالای دیوار

$$M_u = 0.9 \times 12.56 \times 3000 (23.5 - 0.5 \times 2.22) 10^{-5} = 7.59 \text{ t.m/m}$$

III- ظرفیت خمشی $\phi 26$ at 25 + $\phi 20$ at 25

$$\text{پایین دیوار} \quad M_u = \frac{57.05}{2} + 17.77 = 46.30 \text{ t.m}$$

$$\text{بالای دیوار} \quad M_u = \frac{22.65}{2} + 7.59 = 18.92 \text{ t.m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

پس از رسم نمودار ظرفیت خمشی میلگردهای فوق، آنها را باید مطابق با اصول مربوطه به هم وصل نمود تا نمودار ظرفیت خمشی نیز به صورت خط سایه‌دار به دست آید.

در کنترل ارتفاع انتخاب شده برای قطع میلگردها، باید توجه داشت که پس از نقاط قطع تئوری، میلگرد باید به اندازه $\phi 12$ یا عمق موثر مقطع (d)، هر کدام که بزرگ‌تر باشد، ادامه داشته باشد. همچنین آیین‌نامه ACI برای جلوگیری از تمرکز تنش، مقرر می‌دارد، وقتی که میلگردها در ناحیه کششی قطع می‌شوند، یکی از سه شرط زیر باید برآورده گردد:

- ۱- میلگرد ادامه داده شده باید دارای دو برابر سطح مقطع لازم برای خمش در محل مقطع باشد، و برش نیز از سه چهارم ظرفیت برشی مقطع تجاوز نکند.
- ۲- خاموت اضافی در محل قطع قراردادده شود.
- ۳- برش در محل قطع، از دو سوم ظرفیت برشی مقطع تجاوز نکند.

با توجه به اینکه امکان اعمال شرط ۲ در اینجا وجود ندارد، یکی از شروط ۱ و ۳ باید اعمال گردد که شرط سه انتخاب می‌شود.

$$V_u = 2.13(2.4) + 0.49(2.4)^2 = 7.93 \text{ t} \quad \text{برای ارتفاع ۳ متر از پای دیوار می‌توان نوشت:}$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} bd$$

$$b = 100 \quad d = 36.83 \text{ cm}$$

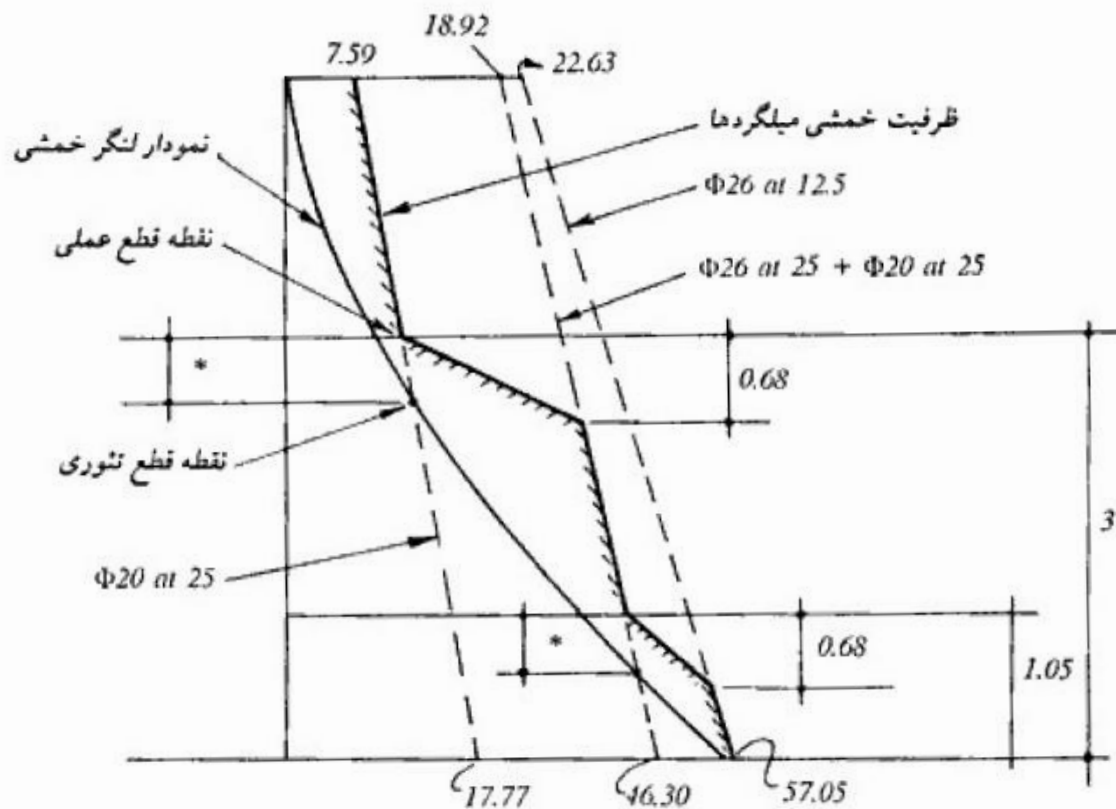
$$V_c = 0.53\sqrt{200} \times 100 \times 36.83 \times 10^{-3} = 27.61 \text{ t}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 27.61 = 23.47 \text{ t}$$

$$\frac{2}{3} \times 23.47 = 15.65 \text{ T} > 7.93$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

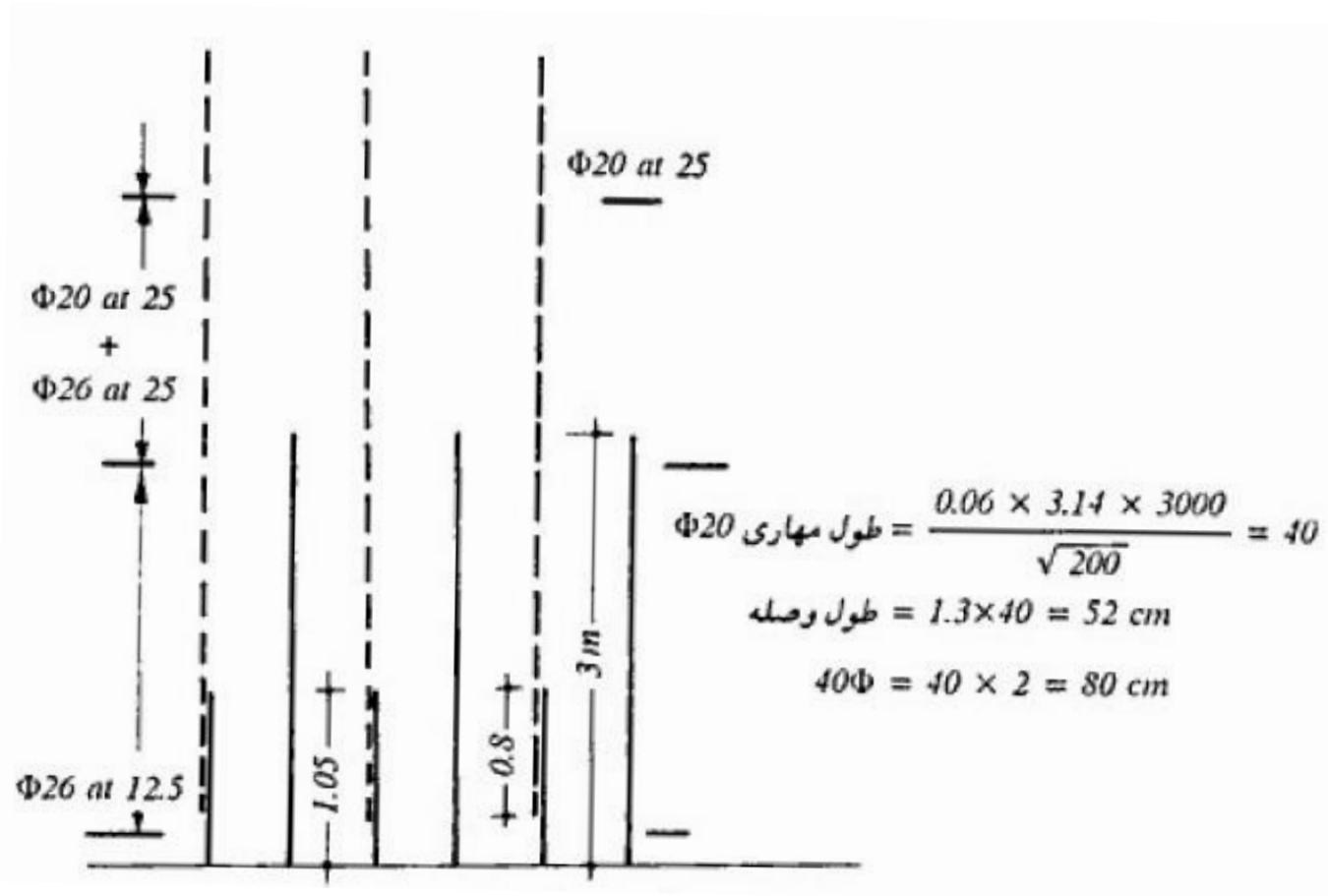


* فاصله نقطه قطع تئوری از نقطه قطع عملی که باید برابر یا بزرگترین دو مقدار، ۱۲ برابر قطر میلگرد قطع شده یا عمق مؤثر d باشد.

شکل ۳۶- ظرفیت خمشی میلگردهای تیغه

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای



شکل ۳۷- آرایش میلگردهای قائم

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

تذکر: همان‌طور که ملاحظه کردید، تیغه فقط برای نیروی برشی و لنگر خمشی طرح گردید. علاوه بر دو نیروی فوق، در تیغه همیشه مقداری نیروی محوری همراه دو نیروی فوق موجود است. با توجه به ناچیز بودن اثر نیروی محوری در مقابل لنگر خمشی، حتی اگر اثر متقابل آنها در نظر گرفته شود، طراحی در ناحیه کنترل کشش واقع شده و نیروی محوری باعث ازدیاد ظرفیت خمشی خواهد بود. بنابراین نادیده گرفتن اثر نیروی محوری در جهت اطمینان بوده و تأثیر نیروی محوری، باعث افزایش ظرفیت خمشی خواهد شد.

ر) میلگردهای حرارتی

علاوه بر میلگردهای محاسباتی، لازم است میلگردهایی به منظور کنترل آثار ناشی از حرارت و افت (جمع‌شدگی) بتن تعبیه شود.

I- میلگردهای افقی تیغه

مطابق آیین‌نامه ACI میلگردهای افقی مساوی ۰/۲۵ درصد سطح مقطع دیوار در نظر گرفته می‌شوند.

اگر مبنای محاسبات، متوسط تیغه در نظر گرفته شود، به شرح زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{ضخامت متوسط} = \frac{30 + 60}{2} = 45 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.0025bh = 0.0025 \times 100 \times 45 = 11.25 \text{ cm}^2$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

با توجه به اینکه سمت جلوی تیغه بیشتر در معرض تغییرات دما قرار دارد، دو سوم میلگردهای فوق در سمت جلو و یک سوم باقی‌مانده در سمت پشت (مجاور خاک) قرار می‌گیرند:

$$\frac{2}{3} A_s = \frac{2}{3} \times 11.25 = 7.5 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad (\phi 16 \text{ at } 25 \text{ cm}, A_s = 8.04 \text{ cm}^2 / \text{m})$$

$$\frac{1}{3} A_s = \frac{1}{3} \times 11.25 = 3.75 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad (\phi 12 \text{ at } 25 \text{ cm}, A_s = 4.52 \text{ cm}^2 / \text{m})$$

علاوه بر میلگردهای فوق، به منظور کنترل ترک‌های حرارتی، در امتداد طولی دیوار، در هر ۷ متر از یک درز انقباضی و در هر ۳۵ متر از یک درز انبساطی استفاده می‌شود.

II- میلگردهای حرارتی قائم تیغه

به طور کلی با توجه به انتهای آزاد تیغه، آثار حرارتی در امتداد قائم دیوار، به شدت امتداد طولی آن نیست. به همین دلیل، آیین‌نامه ACI مقدار میلگردهای حرارتی را برای امتداد قائم مساوی ۰/۱۵ درصد سطح مقطع مقرر می‌دارد. (در محاسبه میلگردهای حرارتی در صورتی که ضخامت دیوار از ۵۰ سانتی‌متر کمتر باشد، ضخامت موثر برای محاسبه میلگردهای هر طرف مساوی نصف ضخامت دیوار، و در صورتی که ضخامت دیوار از ۵۰ سانتی‌متر کمتر باشد، ضخامت موثر برای محاسبه میلگردهای هر طرف، حداکثر مساوی ۲۵ سانتی‌متر منظور می‌شود - آیین‌نامه BS5337 طراحی دیوارهای حائل در مخازن آب)

$$\text{میلگرد حداقل قائم برای ناحیه فوقانی تیغه} = \frac{0.15}{100} \times 15 \times 100 = 2.25 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\text{میلگرد حداقل قائم برای ناحیه تحتانی تیغه} = \frac{0.15}{100} \times 25 \times 100 = 3.75 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

به طور متوسط از $A_s = 3.77 \text{ cm}^2/\text{m}$ یا $\phi 12$ at 30 cm در سمت جلوی تیغه استفاده می‌شود. سمت مجاور خاک تیغه دارای میلگردهای محاسباتی قابل توجه است.

III- میلگردهای حرارتی طولی پایه

ضخامت موثر برای محاسبه میلگردهای حداقل فوقانی، در صورتی که ضخامت پایه کمتر از ۵۰ سانتی‌متر باشد، مساوی نصف ضخامت، و در صورتی که ضخامت پایه بزرگ‌تر از ۵۰ سانتی‌متر باشد، مساوی ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. برای میلگردهای تحتانی که در تماس با خاک قرار دارد، ضخامت موثر برابر ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد (آیین‌نامه BS5337).

$$\text{سطح مقطع میلگردهای حرارتی فوقانی} = \frac{0.25}{100} \times 25 \times 100 = 6.25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\phi 12 \text{ at } 20, A_s = 5.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{سطح مقطع میلگردهای حرارتی تحتانی} = \frac{0.25}{100} \times 10 \times 100 = 2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

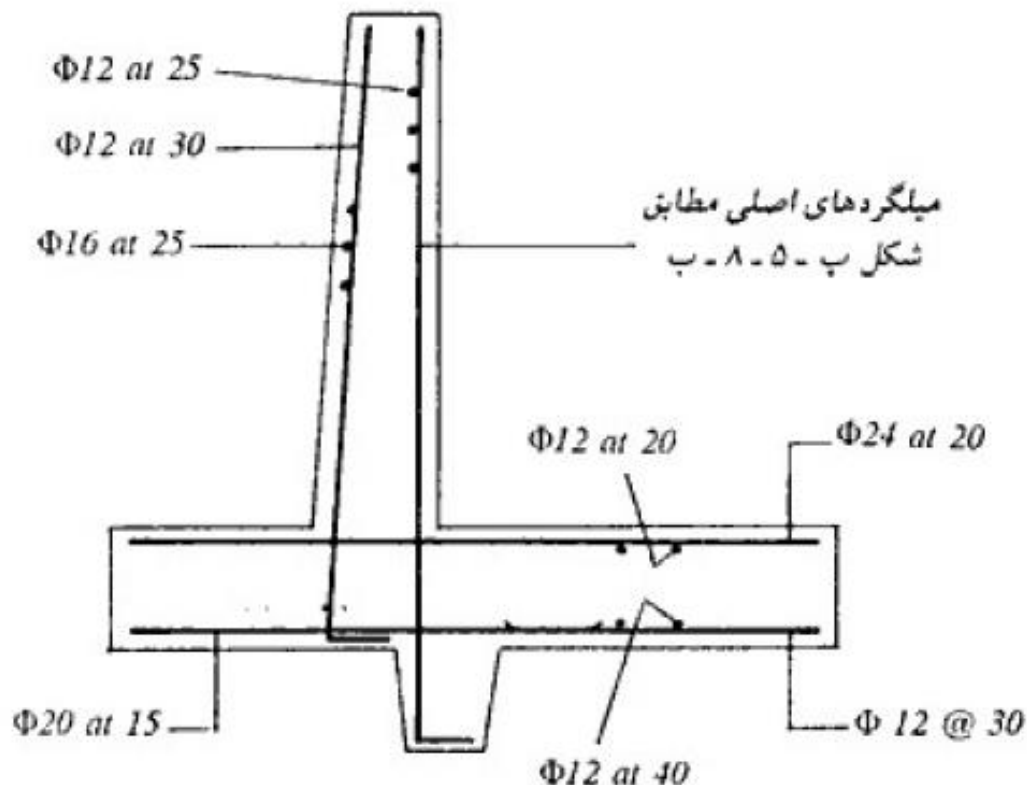
$$\phi 12 \text{ at } 40, A_s = 2.83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

دیوارهای حائل و طراحی سازه‌های آنها

طراحی دیوار حائل طره‌ای

(م) زهکشی

برای زهکشی آب‌های نفوذی پشت دیوار، در فواصل ۳ متری، لوله‌های زهکش به قطر ۱۵ سانتی‌متر در پای دیوار تعبیه نموده و پشت آن مصالح زهکش قرار می‌دهیم.



شکل ۳۸- آرماتوربندی نهایی دیوار

دیوارهای حائل و طراحی آنها

جهت طراحی انواع دیوار حائل به نشریه شماره ۳۰۸ رجوع کنید.

راهنمای طراحی دیوارهای حائل

نشریه شماره ۳۰۸

Thanks For Your Attention

