**دیوار حائل یکی از موضوعاتِ پرکاربرد در مهندسی است. در این مقاله به بررسی این مسائل در رابطه با دیوار حائل می پردازیم:**

- تعریف دیوار حائل
- ضرورت اجرای دیوار حائل و جایگاه آن در مقررات ملی ساختمان
- انواع فشار جانبی خاک وارد بر دیوار حائل و نحوه محاسبه آن
- آموزش یک روش ساده برای محاسبه مشخصات دیوارِ حائل بتنی برای زیر زمین ها
- مثال حل شده ای از طراحی دیوار حائل
- نمونه دیتایل های دیوار حائل بتنی

دیوار حائل یا Retaining wall یک مقطع سازه ای است که معمولاً با بتن مسلح ساخته می شود. طبق تعریف دانش نامه آزاد دیوار حائل دیواری است که ساختار دیوارهای حائل به گونه‌ای طراحی شده‌اند که مقاومت خاک را در برابر فشار جانبی که در اثر شیب‌های غیرطبیعیی پدید می‌آید افزایش دهند.

## کاربرد های دیوار حائل:

در بخش راهسازی، پل سازی و جاهایی که نیاز به بهسازی یا پایداری خاک هست، خیلی استفاده می شود. در ساخت و ساز شهری نیز، به خصوص در سال های اخیر و در گودبرداری های بیشتر از ۶–۷ متر، در زیر زمین ها اجرا می شود. دیوار حائل در واقع یک سازه نگهبان دائم، برای ساختمان در مقابل بار جانبی خاک است.

با افزایش عمق گودبرداری و افزایش فشارجانبی خاک، عملاً دیوارهای با مصالح بنایی، تابِ تحمل، این فشار را ندارند. در این صورت اجرای دیوار حائل سازه ای(بتنی) ضروری است.

## ضرورت اجرای دیوار حائل در ساخت و ساز شهری

در پروژه های فاز ۲ که سازمان نظام مهندسی کنترل میکند، طراحی و اجرای دیوار حائل برای زیر زمین ها (حداقل زیر زمین ۲– به پایین) را الزام میکند. معمولاً سازندگان نسبت به اجرای دیوار حائل ذهنیتی منفی دارند. به این بهانه که اجرای دیوار حائل هزینه بر و سخت است، زیر بار آن نمی روند. به همین دلیل، در بسیاری از پروژه ها، حتی با

داشتن ۲ یا ۳ طبقه زیر زمین، شاهد آن هستیم که دیوار حائل، اصلا طراحی نمی شود.

حوادثی داشتیم که بعد از اتمام ساختمان و ساکن شدن اهالی، دیوار ۱۰ یا ۲۰ سانتی زیر زمین، به دلیل فشار خاک، تخریب شده و خودروهای پارک شده در پارکینگ زیر آوار، تخریب شده اند. مطمئناً در خسارات وارده، طراح ساختمان ،مقصر شناخته خواهد شد. زیرا پیش بینیِ دیوار حائل سازه ای را نکرده است،

لذا توصیه میکنیم، اگر طراح سازه ای هستید، که بیشتر از یک زیر زمین دارد، حتماً در زیر زمین ها از دیوار حائل سازه ای استفاده کنید. ساختمان هایی نیز، که یک زیر زمین ولی ارتفاع آن از ۳ متر بیشتر است، بهتر است از دیوار بتنی استفاده کنیم.

در محصول آموزش نقشه خوانی و نکات اجرایی سازه بتنی نیز درباره دیوار حائل توضیح داده ایم.

## دیوار حائل در مقررات ملی ساختمان:

در مقررات ملی ساختمان، در مبحث هفتم و نهم به دیوار حائل پرداخته شده ولی در رابطه با الزام اجرای دیوار حائل سازه ای در زیر زمین ها، بندی نیامده است. این موضوع شاید یکی از نقص های قانون در این زمینه باشد. زیرا همانطور که گفتیم دیوار حائل یک سازه نگهبان دائم برای ساختمان محسوب می شود. چطور می شود که در مقررات ملی ساختمان برای سازه نگهبان های موقت الزام وجود داردد ولی برای دیوار حائل الزامی وجود ندارد.

## مزیت مهم اجرای دیوار حائل:

گفتیم دیوار حائل ، وظیفه تحمل فشار خاک را بر عهده دارد. یک مزیت مهم دیوار حائل، بالا آوردنِ ترازِ پایه است. طبق آیین نامه ۲۸۰۰ صفحه ۲۹، می توان تراز پایه، را از تراز روی دیوار حائل حساب کرد. البته به شرطی که دورتا دور سازه، دیوار حائل اجرا شده باشد نه به صورت منقطع. تراز پایه، در محاسبات ضریب زلزله تاثیر دارد. بالا آمدن تراز پایه، در کاهش ضریب زلزله و سبک شدن آن، موثر است.

## طراحی در نرم افزار یا طراحی دستی دیواز حائل؟

دیوار حائل را می توان در etabs مدل سازی و طراحی کرد، اما این کار سخت و زمان بر می باشد. ما برای طراحی پروژه های خود این کار را نمی کنیم.  ما فقط مدل سازی دیوار را در نرم افزار انجام می دهیم. پس از آن سازه را بارگذاری می کنیم تا تاثیر آن در کل سازه به وجود آید. سپس خود دیوار حائل را به صورت دستی طراحی می نماییم و مشخصات دیوار را در نقشه ها قید میکنیم.

## محاسبه فشار جانبی خاک

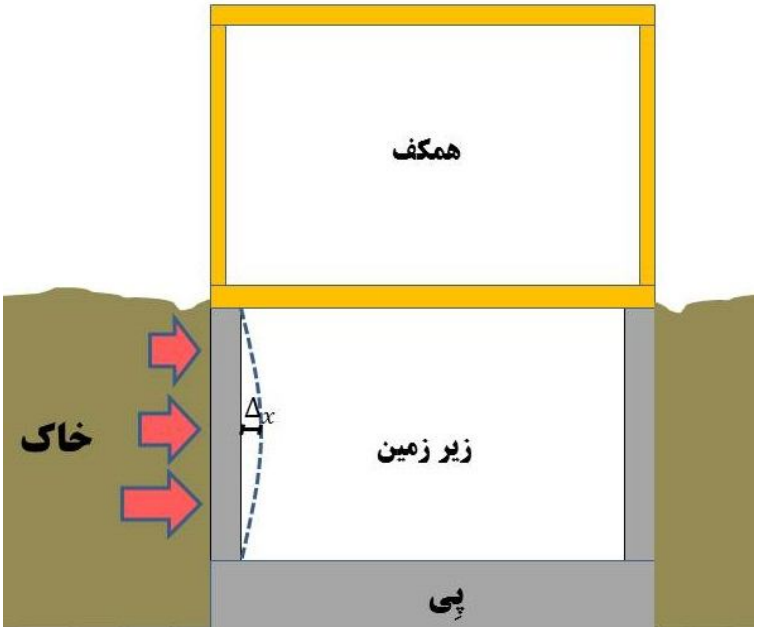
طبق مطالبی که در درس مکانیک خاک خواندیم، فشار خاک ناشی از دیوار حائل در سه حالت قابل محاسبه است.

- حالت سکون At rest
- حالت محرک یا فعال Active
- حالت مقاوم یا منفعل Passive

حالت اول زمانی رخ می دهد که تغییر شکل دیوار بسیار کم باشد.

فرض

کنید عمق گود، ۲۰ متر گود باشد. اگر ماکسیمم تغییر مکان (شکم دادن) حائل کمتر از ۱ میلی متر باشد خاک در حالت سکون است.



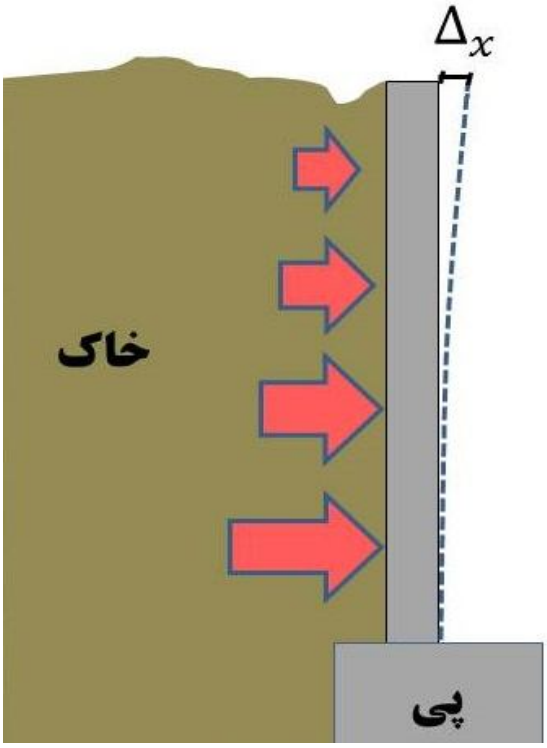

$$\frac{\Delta_x}{H} < 0.00005$$

مثلاً اگر $H = 20m$ :

$$\Delta_x < 20 \times 0.00005 = 0.001m = 1mm$$

طبق مبحث هفتم، برای دیوارهای زیر زمین که بین سقف ها، محصور است و تغییر مکان جانبی آن ناچیز است، می توانیم از این حالت استفاده کنیم.

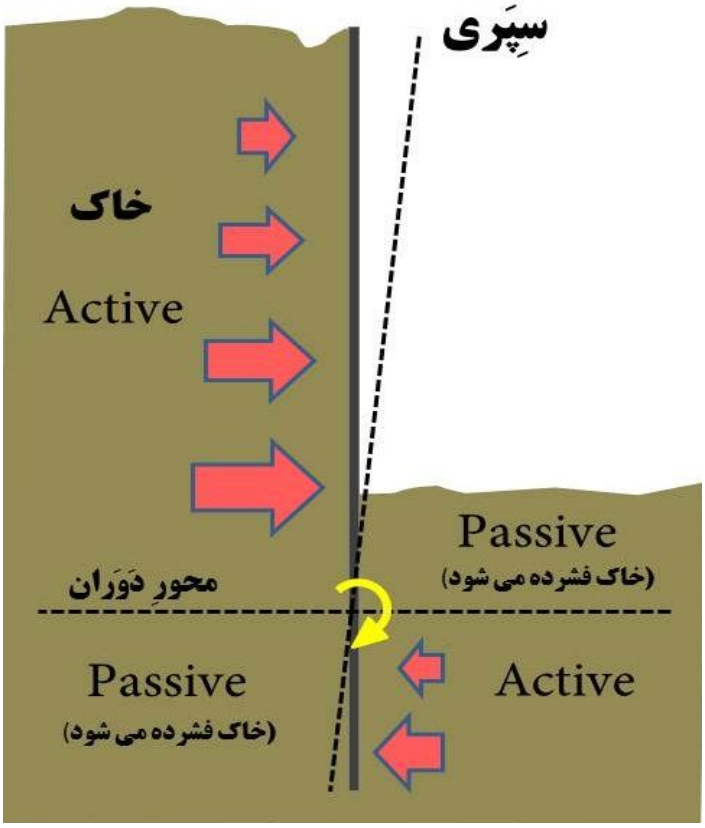
حالت دوم هم زمانی پیش می آید که دیوار حائل انعطاف پذیری نسبی داشته باشیم. اگر تغییر شکل خاک از اندازه معینی بیشتر باشد، خاک در حالت فعال یا Active قرار دارد.




طبق مبحث هفتم، برای دیوارهای حائل طره ای می توانیم از این حالت استفاده کنیم.

حالت سوم هم به ندرت پیش می آید. مثلا در اجرای حائل های سپری، فشار خاک در قسمت هایی به این حالت حساب می شود.

به دلیل امکان دوران سپری حول محوری خنثی بالاتر از کف گود، قسمتی از فشار خاک (زیر محور خنثی و در طرفین سپری به حالت passive در می آید. زیرا دوران دیوار حائل باعث فشرده شدن آن می شود.



با توجه به هر یک از حالت های بالا، ضرایبی برای محاسبه فشار جانبی خاک وجود دارد که با حرف K نمایش داده می شود.

در این مقاله قصد داریم روش نسبتاً ساده ای از محاسبه دیوار حائل زیر زمین ها، در ساخت و ساز های متداول شهری، بیان کنیم. ما در پروژه های فاز دو شرکت، از همین روش استفاده میکنیم. مورد تایید سازمان نظام مهندسی نیز هست. در انتها نیز، برای فهمِ بهتر، یک مثال حل شده، آورده ایم.

این مقاله با مشارکت دوست عزیزم مهندس حسن صباحی

تهیه شده است.

**فرمول محاسبه بار وارد بر دیوار حائل:**

$$q = K_0 . \gamma . H$$

$K_0$ : ضریب فشار جانبی در حالت سکون

طبق رابطه رانکینگ در حالت سکون، K را، از فرمول زیر تعیین میکنیم.

$$K_0 = 1 - \sin \emptyset$$

$\emptyset$ : ضریب اصطکاک داخلی خاک

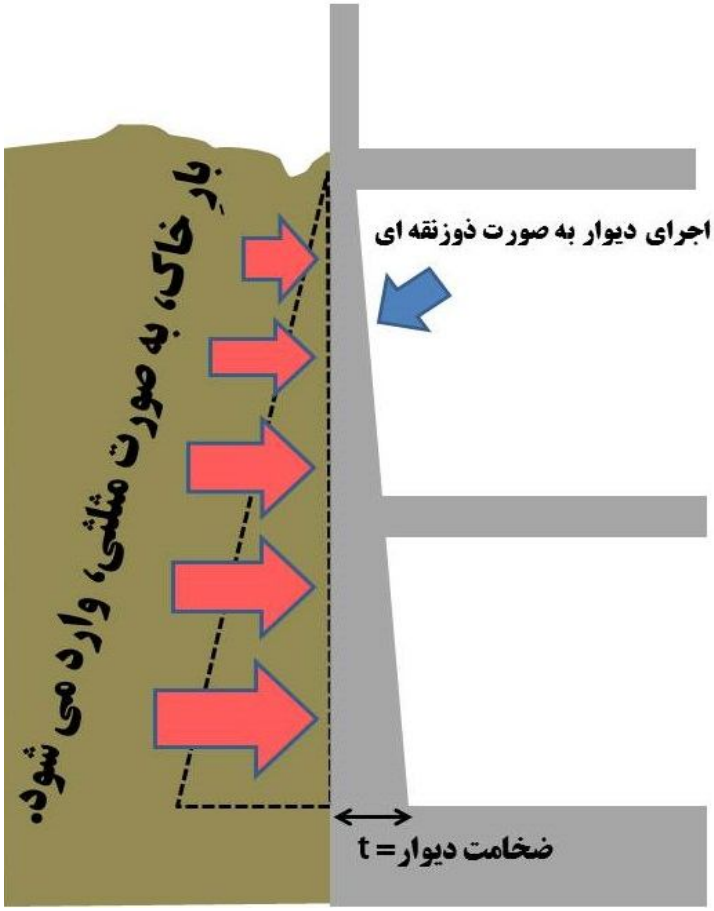
$\gamma$ : وزن مخصوص خاک

این ضرایب با توجه به نتایج آزمایش خاک باید تعیین شوند.

H : ارتفاع دیوار از سطح زمین، تا پایین دیوار، در طبقه یا تراز مورد نظر است.

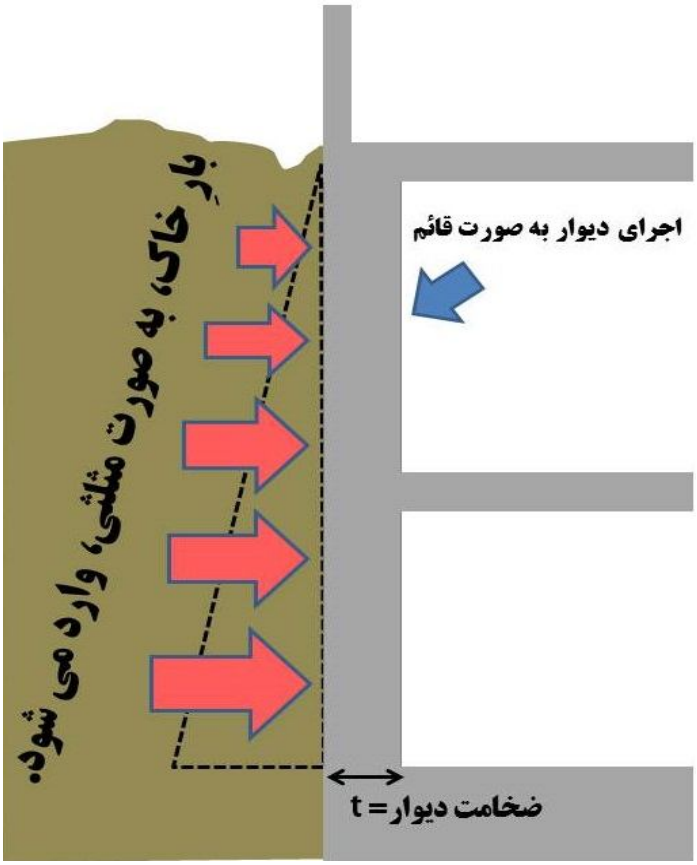
می دانیم، فشار خاک به صورت مثلثی به دیوار، اعمال می شود. هر چقدر عمق بیشتر می شود، فشار نیز افزایش می یابد.

در حالت بهینه، باید ضخامت دیوار به صورت ذوزنقه ای با افزایش H بیشتر شود.

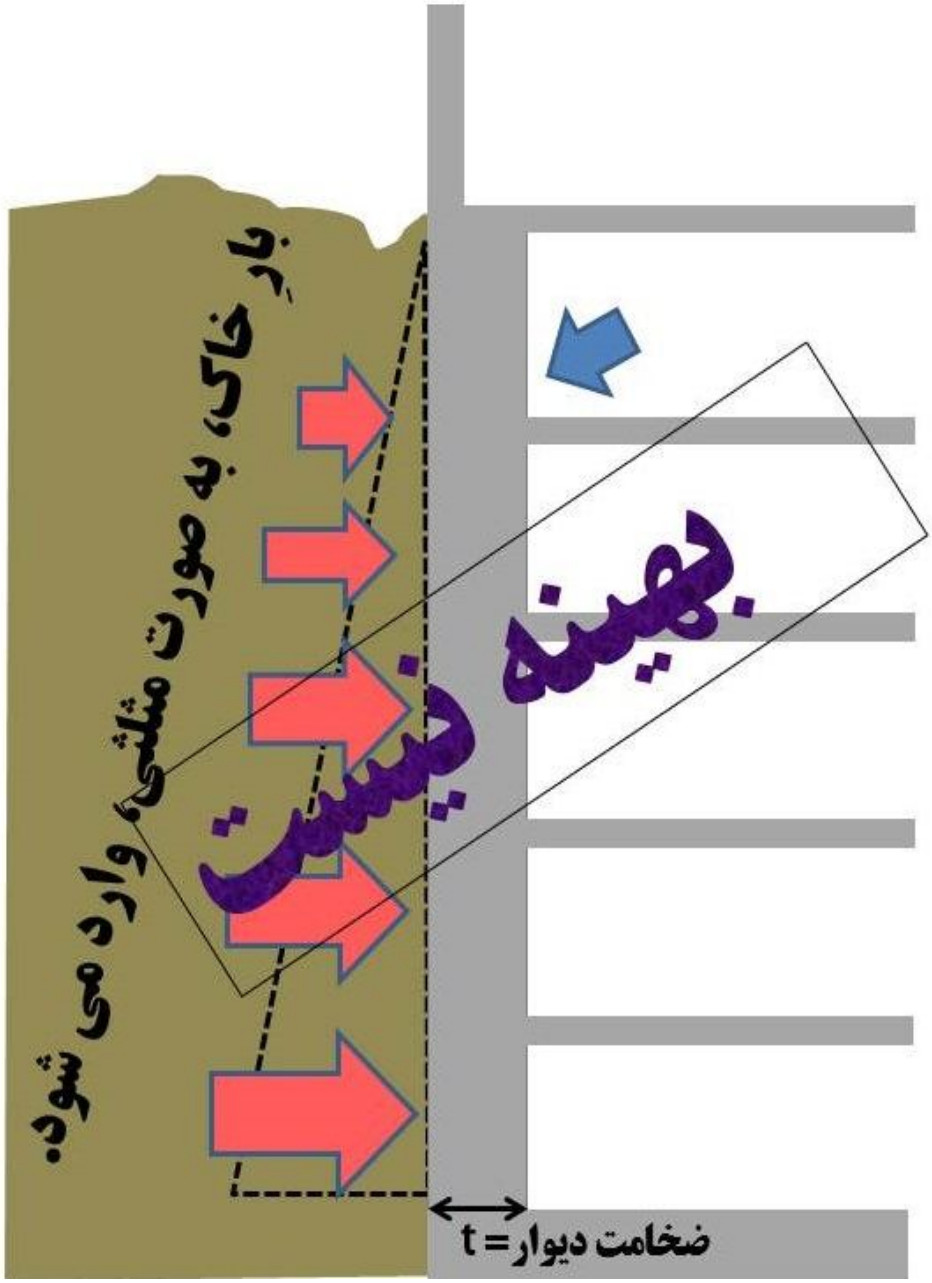


اما اجرای دیوار (آرماتور بندی، قالب بندی، مهاربندی) به این شیوه سخت است.

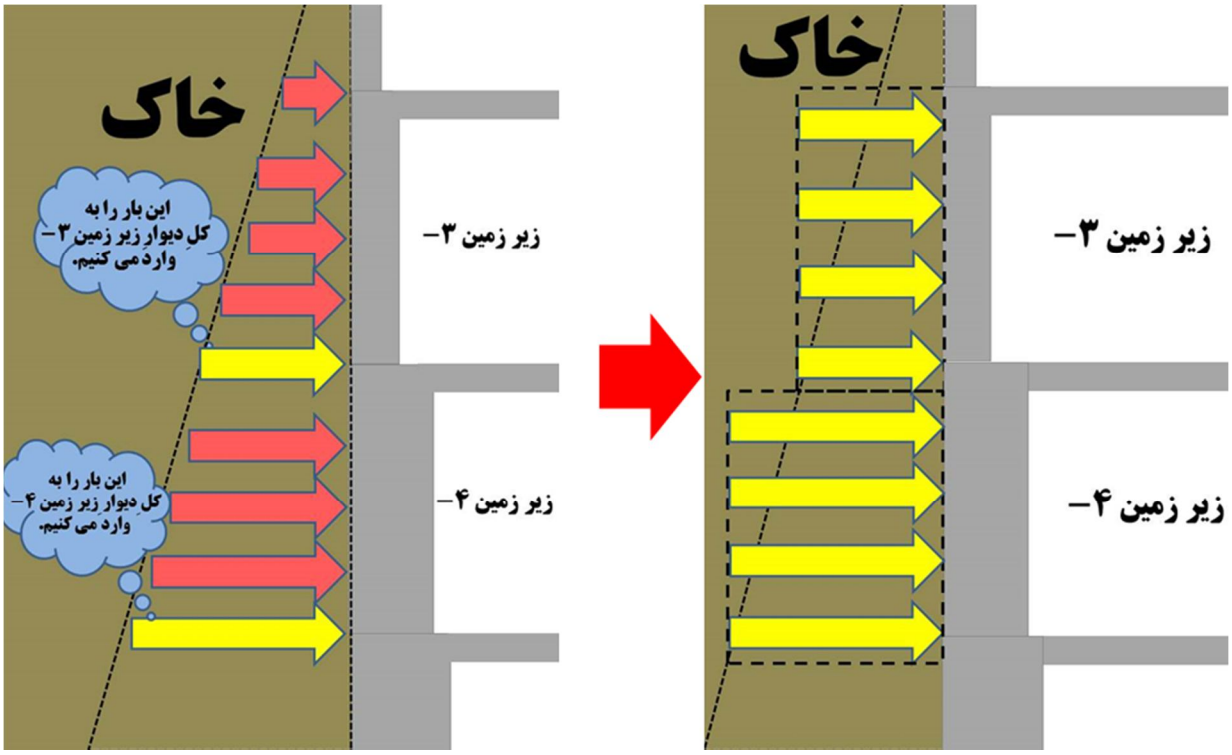
یک شیوه این است که، بیشترین بار وارد شده در واحد طول دیوار را محاسبه کنیم. سپس، آن را به کل مقطع به صورت گسترده و یکنواخت به کل طول دیوار وارد کنیم.



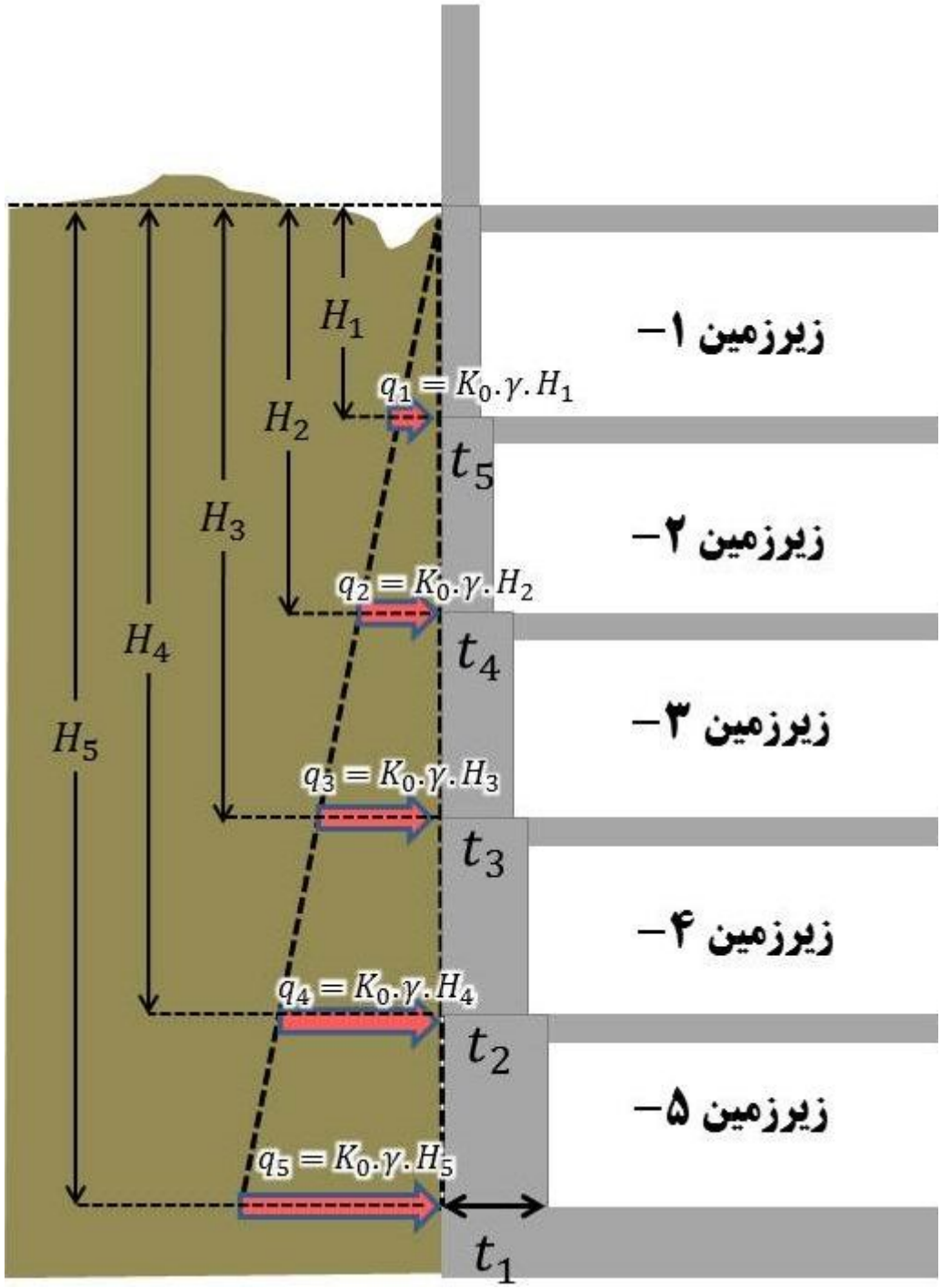

این کار برای یک یا دو طبقه خوب است. اما اگر تعداد طبقات زیر زمین زیاد باشد، این شیوه اجرا اصلاً بهینه، نخواهد بود.


بار خاک، به صورت مثلثی، وارد می شود.
بهینه نیست
ضخامت دیوار = t

در گودهای با عمق زیاد، بهتر است، دیوار حائل را برای هر یک طبقه یا دو طبقه، جداگانه محاسبه کنیم و یک مقطع در نظر بگیریم. در هر مقطع نیز بار وارد بر دیوار، در پایین ترین نقطه ( پای دیوار ) محاسبه خواهد شد. تصاویر زیر، بهتر گویای این موضوع است.




برای محاسبه بار دیوار در هر طبقه، H متناظر از تراز سطح زمین تا پای دیوار آن طبقه، در نظر گرفته می شود.


زیرزمین ۱–
زیرزمین ۲–
زیرزمین ۳–
زیرزمین ۴–
زیرزمین ۵–
$H_1$
$H_2$
$H_3$
$H_4$
$H_5$
$q_1 = K_0.\gamma.H_1$
$q_2 = K_0.\gamma.H_2$
$q_3 = K_0.\gamma.H_3$
$q_4 = K_0.\gamma.H_4$
$q_5 = K_0.\gamma.H_5$
$t_5$
$t_4$
$t_3$
$t_2$
$t_1$

## طراحی مشخصات دیوار حائل:

بار متناظر با هر طبقه را محاسبه کردیم. اکنون می رویم سراغ مشخصات مقطع دیوار.

### ضخامت دیوار:

برای ضخامت دیوار یک حدس مناسب می زنیم. طبق مبحث نهم، صفحه ۲۷۵ حداقل ضخامت دیوار حائل، در زیرزمینی که در تماس با خاک است، نباید کمتر از ۲۰ سانتی متر در نظر گرفت. ما در محاسبه ضخامت دیوار حائل در پروژه ها، از این الگو استفاده می کنیم.

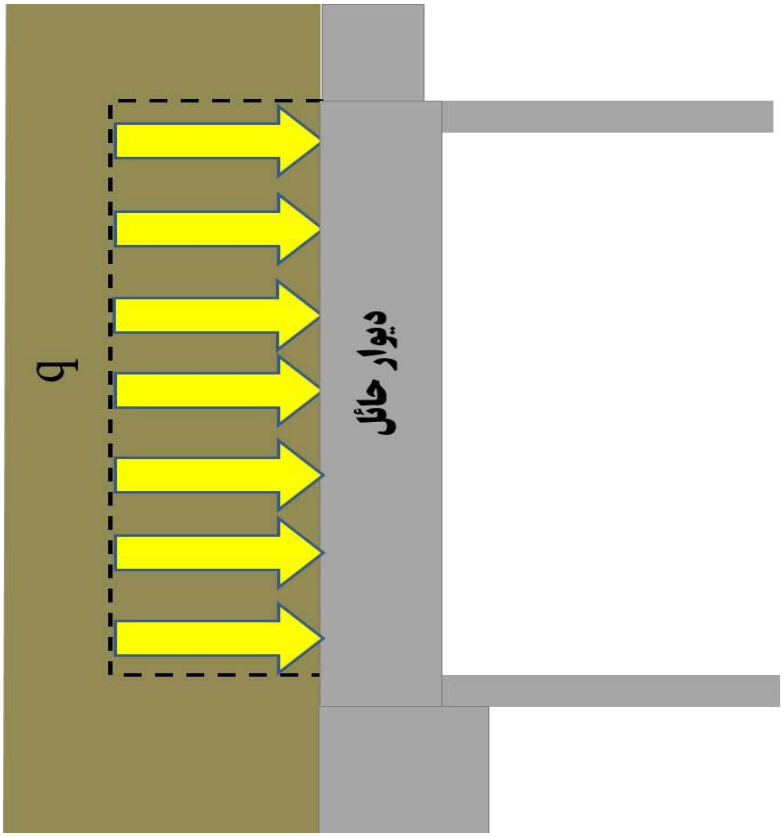
برای عمق تا ۸ متر، ضخامتِ ۲۵ تا ۳۰ سانتی متر ، مناسب است.

برای عمق ۸ تا ۱۵ متر، ضخامتِ ۳۰ تا ۳۵ سانتی متر مناسب است.

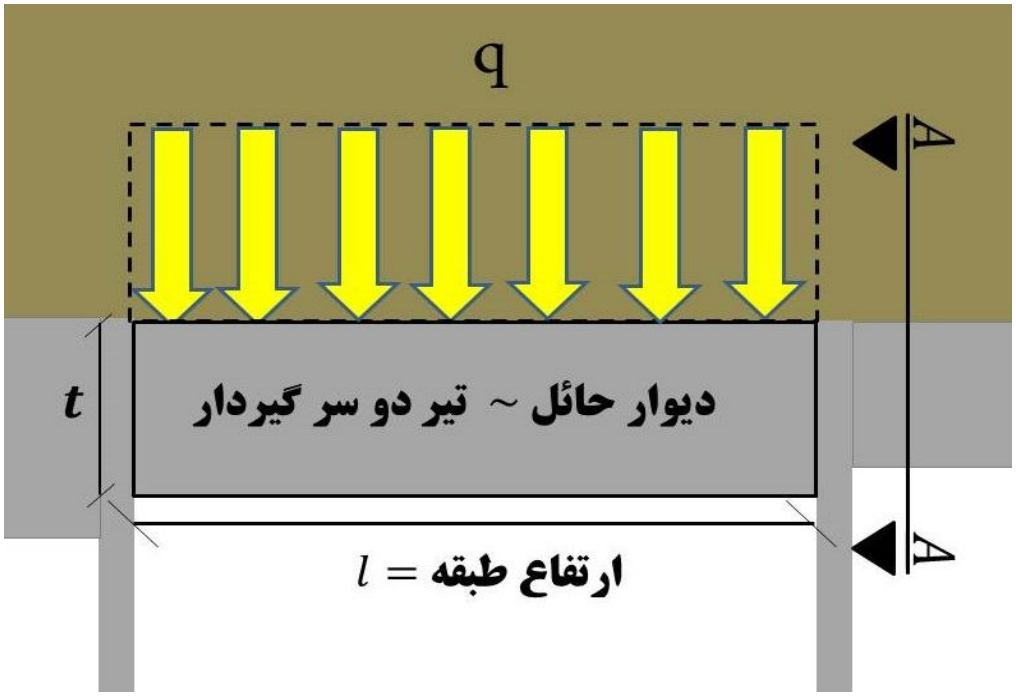
برای عمق بیشتر از ۱۵ متر، ضخامتِ ۴۰ سانتی متر به بالا مناسب است.

## محاسبه میلگردهای کششی دیوار:

هر مقطع طولی واحد از دیوار را می توان با تقریب مناسب معادل یک تیر دو سر گیردار، با بارِ گسترده در نظر گرفت.




اگر تصویر بالا را ۹۰ درجه به صورت فرضی به صورت، ساعتگرد بچرخانیم، خواهیم داشت:




به این دلیل، دو سر گیر دار در نظر گرفتیم که تکیه گاههای دیوار در دو طرف، بین فونداسیون و طبقه فوقانی و یا دو طبقه متوالی، محصور و گیردار می شود.

طول این تیر فرضی( $l$ ) ، برابر با ارتفاعِ دیوار، در هر طبقه است. (در بیشتر موارد ۳ متر)

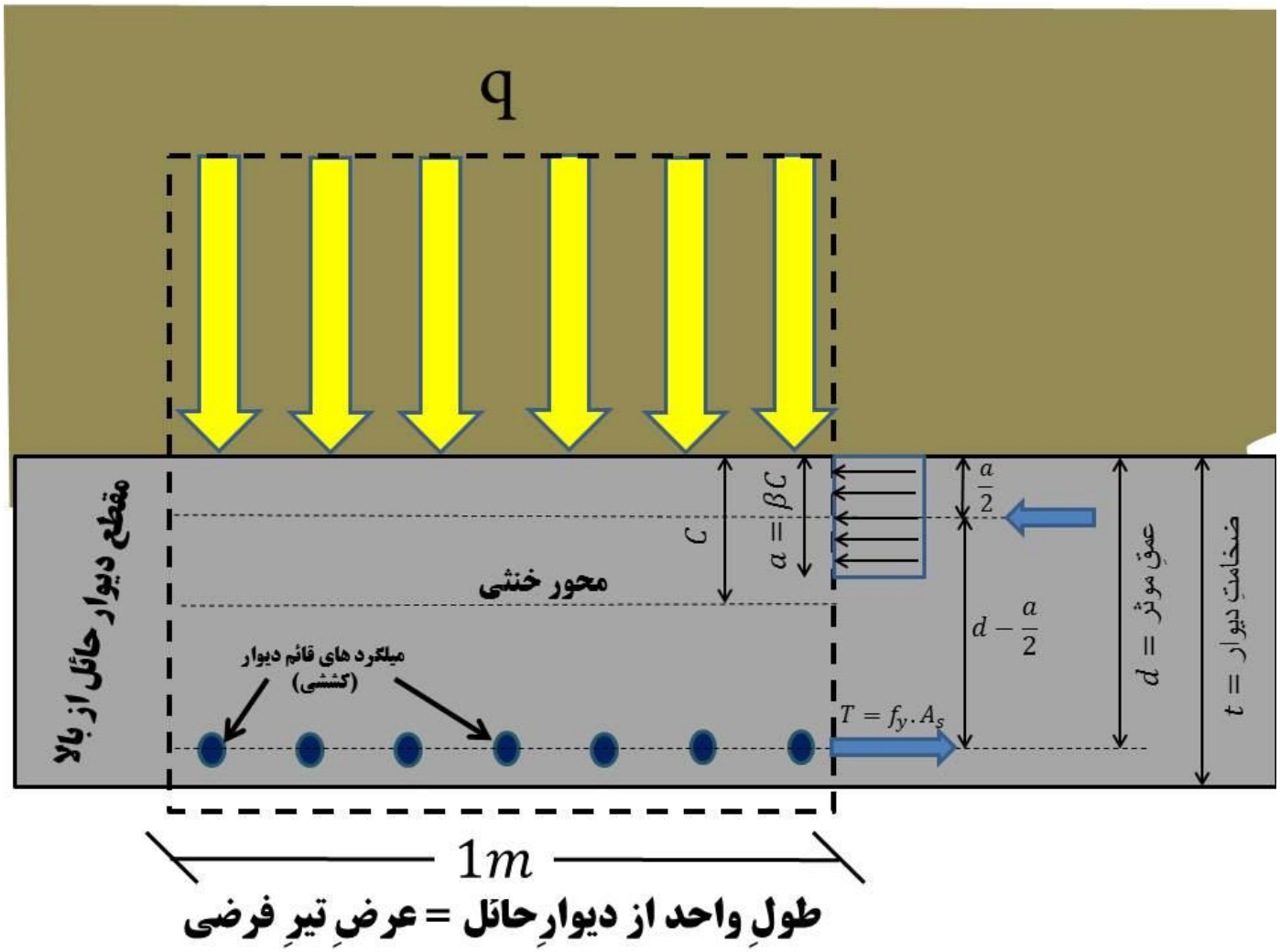
عرض تیر را هم طول واحد ( $1m$ ) در نظر میگیریم.

عمق تیر فرضی نیز، همان ضخامتِ دیوار است.

بنا بر روابط تحلیل سازه، لنگر بیشینه وارد بر تیر دو سر گیردار، تحت بار گسترده، از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$Mu = \frac{1.5\ q\ l^2}{12}$$

اگر از مقطع A-A به تیر نگاه کنیم. ( از بالا)



جزییات درج شده در تصویر، طبقِ درسِ سازه های بتنی، برای محاسبه میلگردهای متوازن کششی(بالانس) در تیر است. همان طور که مشخص است این میلگردها در وجه داخلی دیوار قرار دارند.

برای محاسبه مقطع میلگرد مورد نیاز، باید نیروی کششی(T)را داشته باشیم. برای بدست آوردنِT، یک مُمان حولِ محوری که در فاصله $\frac{a}{2}$ از وجه خارجی دیوار قرار گرفته است، میگیریم.

$$\sum M = 0$$

$$T \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = Mu$$

محاسبه a :

$$a = \beta C$$

محاسبه ضریب $\beta$ :

$$\beta = 0.97 - 0.0025 f_c$$

محاسبه C :

$$C = \frac{700}{700 + f_y} \times d$$

با بدست آوردن ضرایب $C$ و $\beta$ ، مقدار $a$ بدست می آید.

با داشتن $a$ ، مقدارِ $T$، ظرفیت کششی میلگرد ها بدست می آید. ( از تنش کششی بتن صرف نظر می شود.) :

$$T = \frac{Mu}{\left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

در نتیجه سطح مقطع میلگرد کششیِ لازم برای دیوار محاسبه می شود:

$$T = A_s \times f_{yd}$$

$$f_{yd=} 0.85 \times fy$$

$$A_s = \frac{T}{0.85 \times f_y}$$

## محاسبه میلگردهای وجهِ مقابلِ دیوار حائل:

آرایش قرار گیری میلگرد ها در دیوارهای بتنی بسته به ضخامت می تواند در دو ردیف یا یک ردیف در نظر گرفته باشد. اما در دیوارهای حائل که مجاورت خاک قرار دارند، حتماً باید دو شبکه باشند.

As بدست آمده در رابطه بالا، درصدِ آرماتور قائم کششی را تعیین میکند. این آرماتور باید در رویه داخلیِ دیوار، باشد. چون این دیوار حائل است و در زیر زمین نیز قرار گرفته، حتما باید دارای دو شبکه آرماتور قائم باشد. پس یک شبکه آرماتور قائم دیگر نیز نزدیک به سطح دیگر دیوار در نظر میگیریم. میزان این آرماتور می تواند حداکثر برابر با آرماتور های کششی و حداقل نصف آرماتور های کششی باشد.

## درصد آرماتور های قائم و افقی دیوار:

با در نظر گرفتن نیروی برشی، مطابق مبحث نهم صفحه ۲۳۱، حداقل درصد آرماتور قائم، نباید از ۰,۲۵% سطحِ مقطعِ دیوار کمتر باشد. همین درصد برای آرماتور های افقی دیوار نیز باید رعایت گردد.

## فاصله آرماتور های افقی و قائم:

فاصله آرماتور های قائم و افقی دیوار نیز، طبق این مبحث نباید از ۳۵ cmکمتر باشد.

## یک مثال حل شده

**میلگرد های اصلی یک دیوار حائل در طبقه ۵- یک پارکینگ طبقاتی به ارتفاع ۳ متر که در عمق ۲۰- متری سطح زمین قرار دارد با مشخصات مکانیک خاک زیر بدست آورید.**

$$(fc = 25N/mm2 \ \ , fy = 400N/mm2)$$

$$(\emptyset = 30 \ \ , \gamma = 18KN/m3)$$

حل:

با توجه به عمق ۲۰- ضخامت ۴۰ سانتی متر برای دیوار در نظر می گیریم.

$$K = 1 - \sin\emptyset = 0.5$$

$$q = \ K\,\gamma\,H = 180$$

$$Mu = \frac{1.5\ q\ l^2}{12} = 202.5$$

$$\beta = 0.97 - 0.0025 f_c = 0.9075$$

با توجه به ضخامت انتخابی که ۴۰۰ میلی متر می باشد $d = 360$ می شود.

$$C = \frac{700}{700 + f_y} \times d = 237.7$$

$$a = \beta C = 215.7$$

$$T = \frac{Mu}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{202.5 * 1000 * 1000}{360 - \left(\frac{215.7}{2}\right)} = 803093.4\ N$$

$$A_s = \frac{T}{0.85 \times\ f_y} = 2624.5\ mm2$$

برای تامین ۲۶۲۴٫۵ میلی متر مربع فولاد کششی در یک متر عرض برای تیر مد نظر (دیوار حائل) ۵ عدد میلگرد شماره ۲۸ نیاز داریم که در فواصل ۲۰ سانتی متری قرار می گیرند. برای میلگرد های وجه خارجی نیز حداقل بنا به آنچه گفته شد، حداقل میلگرد شماره ۲۰ در فواصل ۲۰ سانتی متر باید استفاده گردد.

برای تامین میلگرد های عرضی دیوار نیز می توان از میلگرد شماره ۱۸ یا ۲۰ با فاصله ۲۵ سانتی متری استفاده نمود.

در انتها نیز چند نمونه دیتایل دیوار حائل قرار داده ایم که از لینک زیر می توانید دانلود کنید.

دیوار های حائل استفاده گسترده ای در پروژه های عمرانی و راهسازی دارد. اگر به این موضوع علاقمند هستید ، نشریه شماره ۳۰۸ سازمان برنامه، به موضوع دیوار حائل اختصاص یافته است.

موفق باشید.

مهندس علی قربانی

نگین عمران