

# ارائه برنامه کامپیوتری جهت تحلیل و طراحی دیوار حائل

نیما نوعی<sup>1</sup> ، عبدالحسین حداد<sup>2</sup>

دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه سمنان

Inc.v.nm@gmail.com

## چکیده

دیوار حائل از جمله سازه های مهم در حفظ و نگهداری خاک و سایر مصالح ریزشی در مقابله با فشار با جانبی وارده می باشد. فشار جانبی ناشی از مصالح ریزشی در پشت دیوار حائل موجب پدید آمدن حالت های مختلفی از ناپایداری و گسیختگی در این نوع سازه ها می گردد. هر چند یک دیوار حائل ساختار سازه ای ساده ای دارد، اما طراحی آن به دلیل مراحل متعدد سعی و خطا جهت ارضا پایداری های سازه میتواند علاوه بر وقت گیر بودن به یک فرا پند پیچیده تبدیل گردد. تعیین ابعاد مناسب با توجه به محدودیتهای از قبل تعیین شده همچون محدودیت در عمق دیوار یا ابعاد فونداسیون به منظور پایداری سازه و همچنین یافتن بهینه ابعاد در این زمان از موارد حائز اهمیت است که با این نرم افزار قابل دستیابی است. قابل ذکر است که تحلیل سازه ای اجزا دیوار بحث جداگانه ای را می طلبد.

واژه های کلیدی: دیوار حائل، پایداری واژگونی، پایداری لغزش، ظرفیت باربری

## مقدمه

دیوار حائل، دیواری است که بعنوان یک تکیه گاه جانبی برای جداره های قائم و یا نزدیک به قائم خاکی و یا سنگی احداث می گردد. دیوار حائل به حالت های وزنی، نیمه وزنی، طره ای، پشت بند دار و بند دار تقسیم می شود. از دیوار حائل در بسیاری از پروژه های ساختمانی همچون ، راهسازی، محوطه سازی، سازه های هیدرولیکی و بطور کلی هر جا که نیاز به تکیه گاه جانبی برای جدار قائم خاکبرداری یا خاکریزی باشد مورد استفاده قرار می گیرد. احداث دیوار حائل سهم ریالی قابل توجهی در پروژه های ذکر شده را به خود اختصاص می - دهد. لذا تعیین ابعاد مناسب و بهینه کردن آنها به منظور در نظر گرفتن حداقل ابعاد میتواند اثر مطلوبی در طرح و هزینه این سازه داشته باشد. این سازه باید توانایی مقابله با فشارها از جمله فشار جانبی خاک، فشار آب، نیروی uplift و همچنین سر بار های موجود را داشته باشد که این مساله طراح را ملزم به کنترل سازه در مقابل پایداری در برابر ابعاد تعیین شده می نماید.

---

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی عمران، دانشکده عمران دانشگاه سمنان و کارشناس شرکت مهندسی مشاور آبکاووش سرزمین  
<sup>2</sup> استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه سمنان

## تعیین فشار جانبی خاک بر اساس نظریه رانکین

در صورتیکه دیوار حائل اجازه حرکت جانبی در سمت خلاف خاک را داشته باشد، مقدار فشار جانبی خاک از حالتی که تغییر مکان دیوار صفر باشد مقداری کمتر خواهد بود و به این علت ضریب فشار خاک کمتر از  $K_0$  خواهد شد. در این حالت  $K_a$ ، ضریب فشار محرک خاک را که عکس شیب سطح گسیختگی میباشد به صورت  $\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$  تعریف می کنیم. توزیع فشار محرک فرضی رانکین طبق معادله 1 تعریف می می گردد.

$$P_a(z=0)=0 \quad \& \quad P_a(z>0) = (q+\gamma z) k_a - 2C\sqrt{K_a} \quad (1)$$

که در کل نیروی کل محرک رانکین را میتوان به صورت  $\int P_a dz$  در بازه  $[0, H]$  بیان نمود. حال در صورتیکه دیوار تغییر مکان جانبی به سمت خاک داشته باشد آنگاه فشار قائم تغییری نخواهد داشت بلکه به علت تراکم فشار افقی یا به عبارتی ضریب فشار خاک از حالت سکون  $K_0$ ، بیشتر خواهد شد. ضریب فشار مقاوم خاک را در این حالت به صورت  $\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$  تعریف می کنیم. توزیع فشار مقاوم فرضی رانکین طبق معادله 2 تعریف می گردد.

$$P_p(z=0)=0 \quad \& \quad P_p(z>0) = (q+\gamma z) k_p + 2C\sqrt{K_p} \quad (2)$$

که در کل نیروی فشار مقاوم رانکین را میتوان به صورت  $\int P_p dz$  در بازه  $[0, H]$  بیان نمود

## محاسبه نیروی uplift از طریق روش لین

بر اساس این تئوری افت بار در جهت قائم بیش از افت بار در جهت افق است. مطابق این تئوری طول خط خزش به صورت  $L_W = L_V + 1/3(L_H)$  بیان میشود و شیب هیدرولیکی در تمام طول مسیر خزش مقداری ثابت و برابر  $i = H_s/L_W$  خواهد بود. لازم به توضیح است که برای محاسبه زیر فشار در هر نقطه دلخواه مثل  $M$  طبق معادله 3 عمل می کنیم.

$$H_M = (iL_M - \text{رقوم مورد نظر}) - (\text{رقوم سطح آب در سراب}) \quad (3)$$

## کنترل پایداری دیوار حائل

پس از بررسی نیروهای وارده بر دیوار حائل باید بتوانیم با توجه به فشارهای وارده، سازه ای پایدار طراحی می نمایم. برای دستیابی به این هدف 3 عامل، کنترل در مقابل واژگونی، کنترل در مقابل لغزش، کنترل برای ظرفیت باربری پایه را باید کنترل نمایم.

1- کنترل برای واژگونی در حول پنجه:

همانگونه که می دانیم گشتاور باعث چرخش و به عبارتی واژگونی میشود. حال برای آنکه سازه مورد نظر پایداری خارجی داشته باشد یک عامل عدم واژگونی میباشد. به این علت ضریب واژگونی طبق معادله 4 تعریف می می گردد

$$S.F.O = \sum M_R / \sum M_O = (C) / (\text{لنگر پاد ساعت گرد حول } C) \quad (4)$$

2- کنترل در مقابل لغزش در امتداد پایه:

همانگونه که می دانیم نیروی افقی باعث حرکت جسم یا به عبارتی لغزش به سمت افق میگردد. حال برای بررسی پایداری خارجی سازه عدم لغزش آنرا با بیان ضریب اطمینان لغزش طبق معادله 5 تعریف می می گردد

$$S.F.S = \sum F_R / \sum F_d = (\text{نیروی افقی در جهت پاشنه}) / (\text{نیروی افقی در جهت پنجه}) \quad (5)$$

3- کنترل برای ظرفیت باربری

فشارهای انتقال یافته از طرف پایه دیوار خاک اعم از وزن سازه، وزن خاک، فشار ناشی از سربار باید برای ظرفیت باربری خاک کنترل شود. با استفاده از رابطه ترکیب تنش ها طبق معادله 6 خواهیم داشت .

$$q = \sum v / B(1 \pm 6e/B) \quad ; \quad e = B/2 - X_{es} = B/2 - (MR - M_o) / \sum V \quad (6)$$

4- حداقل ظرائب اطمینان برای پایداری دیوار حائل را می توان طبق جدول شماره 1 بیان نمود. توجه شود که حداکثر فشار وارده بر خاک از طرف پایه دیوار باید از ثلث تنش مجاز کمتر باشد.

جدول 1 - حداقل ظرائب اطمینان برای پایداری دیوار حائل

S.F	بدون زلزله	با زلزله
S.F.O	1.5 - 2	1.5
S.F.S	1.5	1.13

### برنامه کامپیوتری Rwall

تهیه و تدوین یک مدل کامپیوتری علاوه بر بالا بردن دقت محاسبات، می تواند با سرعت بیشتری، طراحان را به یک جواب مناسب برساند. در ارائه این مدل اهداف زیر دنبال میشود: 1- بالا بردن سرعت و دقت محاسبات 2- طراحی بهینه دیوار بر مبنای تئوری رانکین 3- امکان طراحی بر مبنای تناسب دیوار 4- یافتن بهینه اجزا در صورت داشتن محدودیت در جانمایی دیوار.

مدل کامپیوتری Rwall در محیط MATLAB طرح ریزی و تدوین شده است که این امر امکان انتقال به محیط های از جمله Excel را خواهد داشت. روند کلی مدل بر این اساس می باشد که ابتدا دیوار حائلی با ابعاد متغیر در نظر گرفته میشود، سپس فشارهای وارده و در نهایت ضرایب واژگونی، لغزشی و تنش وارده بر خاک برای بررسی پایداری سازه مورد بحث قرار می گیرد.

قابلیت های برنامه را می توان در 4 بخش زیر مطرح نمود:

1- هدف از اجرای برنامه محاسبه ضرایب اطمینان و تنش وارده بر خاک و صحت اندازه اجزاء دیوار حائل می باشد. در این صورت تنها با وارد کردن اجزا دیوار در برنامه می توانیم پایداری سازه را کنترل نماییم.

2- هدف از اجرای برنامه یافتن اجزاء دیوار از طریق تناسب هندسی و بطبع ارضاء حداقل مقدار ظرائب اطمینان می باشد. در این حالت کاربر تنها با وارد کردن سه پارامتر  $(H, \gamma, \phi)$  بهترین ابعاد دیوار به همراه ضرایب پایداری ناشی از المان های حاصل را مشاهده خواهد کرد.

3- هدف از اجرای برنامه تعیین بهینه ابعاد دیوار حائل با توجه به محدودیتهای تئوری و همچنین محدودیتهای اجرایی می باشد. برنامه در حالت عادی 6 قید تئوری مربوط به پایداری دیوار حائل را کنترل می نماید. اولین قید با تشکیل ضریب اطمینان واژگونی حول پنجه طبق رابطه 4 و بزرگتر قرار دادن آن از حداقل مقدار مفروض ضریب اطمینان واژگونی مطابق جدول شماره 1 می باشد. توجه شود که رابطه 4 با توجه به اینکه تمامی المان های دیوار وجود ندارند تابعی بر حسب المان مجهول را خواهد ساخت. بنابر این اولین قید به صورت رابطه 7 بیان می گردد.

$$\sum M_R / \sum M_O (\text{Variable}) > s.f.o_{min} \quad (7)$$

به همین صورت قید های مربوط به واژگونی و فشار وارده بر پایه دیوار به صورت جدول شماره 2 کنترل می گردند.

جدول 2 - قیود اجباری در نظر گرفته شده برای پایداری دیوار حائل

$F(\text{var}) > s.f.o_{min}$	$\text{var} > 0$	$\text{Sigma}(\text{toe}) < q_{max}$
$G(\text{var}) > s.f.s_{min}$	$B > 6e$	$\text{Sigma}(\text{heel}) < q_{max}$

از دیگر قید ها، محدودیت اجرائی یا محدودیت هائی علاوه بر قیود موجود در جدول شماره 1 می باشد. از آن جمله می توان به محدودیت های اجرائی همچون محدودیت در عمق دیوار یا ابعاد فونداسیون اشاره نمود. در نهایت برنامه با توجه به قیود موجود و تشکیل تابع هدف که مجموع جبری المان های مجهول در نظر گرفته می شود به یافتن بهینه ابعاد به منظور پایداری سازه می پردازد. لازم به ذکر است که برنامه از طریق روش محاسبات عددی غیر خطی Gauss-Newton method، Trust-Region Dogleg method به حل معادلات و قیود غیر خطی در محیط MATLAB پرداخته و جواب های بهینه را خواهد داد.

4- هدف از اجرای برنامه تعیین حساسیت هر یک از المان های سازه بر روی پایداری و تنش های وارده بر پایه دیوار حائل می باشد. در این حالت برنامه نمودار هائی را ترسیم می کند که افزایش و یا کاهش مقدار جبری المان مورد نظر را در ضرائب اطمینان و تنش های وارده را بررسی می کند.

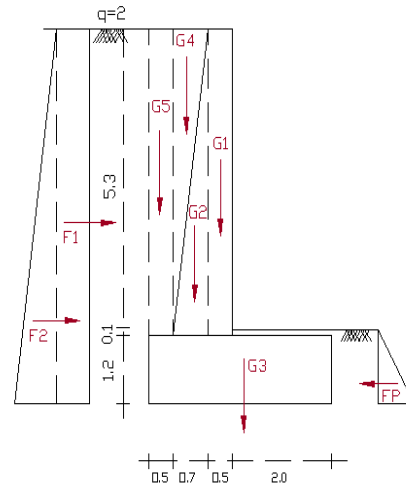
### بررسی امکانات نرم افزار بر روی یک مساله

اکنون دیوار حائل با ابعاد مفروض به صورت شکل 1 در نظر می گیریم. مساله را در 4 بخش زیر بررسی می نماییم.

1- در صورتیکه هدف از اجرای برنامه محاسبه ضرائب اطمینان و تنش وارده بر خاک باشد، با اجرای برنامه نیروهای وارده بر دیوار حائل طبق جدول شماره 3 بدست خواهد آمد.

جدول 3 - نیرو های وارده بر دیوار حائل

حل عددی	برنامه Rwall	مقادیر
	<b>Overtuning Pressure</b>	
<b>G1</b>	G4	6.48
<b>G2</b>	G5	4.54
<b>G3</b>	G6	10.66
<b>G4</b>	G2+G3	3.59
<b>G5</b>		5.13
<b>SURCH</b>	G1	2.4
	<b>Active Pressure</b>	
<b>F1</b>	R1	3.96
<b>F2</b>	R2	12.41
<b>PASSIVE</b>	F2	4.01



شکل 1 - دیوار حائل به همراه نیرو های وارده

که در نهایت نتایج طبق جدول شماره 4 بدست می آیند.

جدول 4 - ظرائب پایداری و تنش های وارده و نیروی برون محوری بر دیوار حائل

	S.F.O	S.F.S	e	Sigma(Toe)	Sigma(Heel)
مقادیر	2.09	1.34	0.51	16.48	1.45

2- در صورتیکه هدف از اجرای یافتن اجزاء دیوار از طریق تناسب هندسی باشد، تنها با وارد کردن 3 پارامتر ارتفاع دیوار (H)، وزن حجمی (γ) و زاویه اصطکاک خاک (φ) به ضرائب و فشارهای وارده مطابق جدول 5 خواهیم رسید.

جدول 5 - ظرفیت پایداری و تنش های وارده و نیروی برون محوری از طریق تناسب هندسی بر دیوار حائل

input data			output data				
	H	$\gamma$	$\phi$	S.F.O	S.FS	Sigma(Toe)	Sigma(Heel)
مقادیر	6.6	1.9	32	2.6898	2.1568	24.3067	1.0585

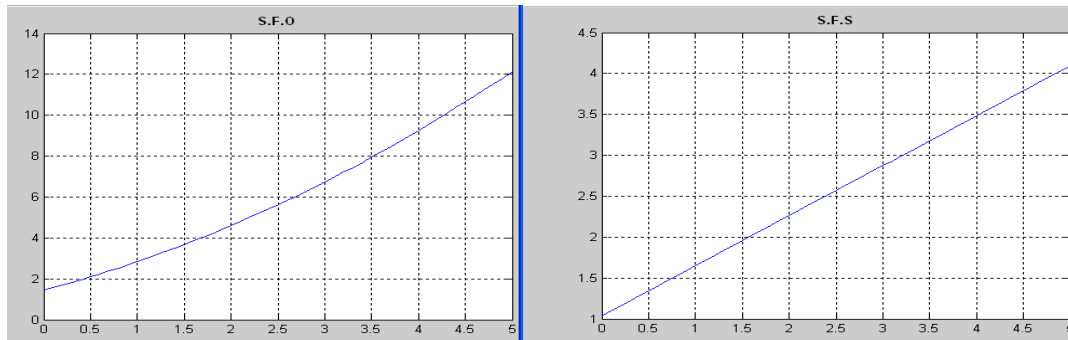
3- در صورتیکه هدف از اجرای برنامه تعیین ابعاد بهینه دیوار حائل با توجه به محدودیت‌های موجود باشد، فرض می‌کنیم که طول پاشنه و پنجه مجهول بوده و هدف یافتن المانهای مجهول سازه با فرض حداقل ضریب واژگونی 2.1 و ضریب لغزشی 1.4 و حداکثر تنش وارده بر خاک 17 تن بر متر مربع بوده اقدام می‌نماییم. اکنون با اجرا کردن برنامه به روش Quasi-Newton line search و با در نظر گرفتن قیود اجباری طبق جدول شماره 2 به همراه قیود اختیاری ستون آخر جدول شماره 6، به مقادیر طولی پاشنه و پنجه به همراه سایر مشخصات طبق جدول شماره 5 خواهیم رسید.

جدول 6- تعیین مقادیر بهینه پاشنه و پنجه دیوار حائل

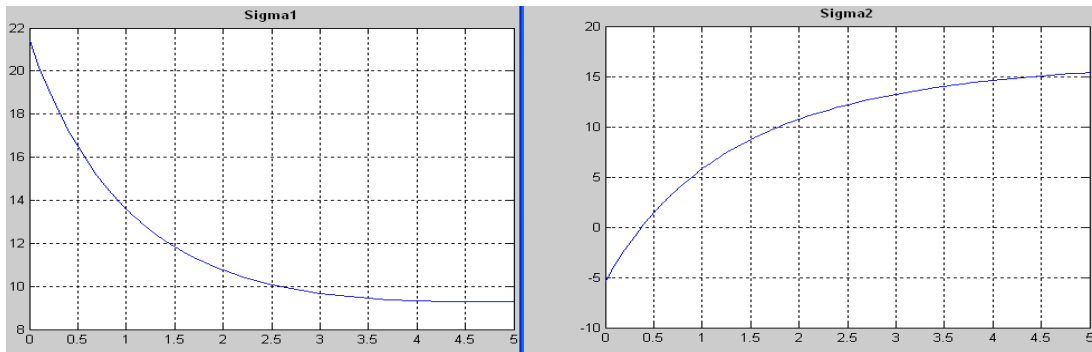
no	heel	toe	sfo	sfs	sigam1	sigam2	e	sup
1	0.6215	1.8687	2.1533	1.4	16.9996	1.7634	0.4995	nan
2	0.5	2.4678	2.4878	1.4	12.4672	4.1454	0.348	0.5>heel
3	1.2796	1.5	2.7432	1.7572	16.9998	4.8382	0.3694	1.5>toe
4	1.4309	1.4309	2.8952	1.8413	16.9999	5.4199	0.3497	heel>toe
5	1.0525	1.5525	2.4661	1.6247	17.6915	3.4257	0.4285	1.5>toe & 1>heel
6	0.5427	2.0427	2.1906	1.3734	15.7484	2.1945	0.4767	2>toe & 0.5>heel
7	0.5	2.4678	2.4878	1.4	12.4672	4.1454	0.348	2.5>toe & 0.5>heel
8	0.5645	1.8264	2.0398	1.3598	17.914	0.8148	0.5465	2.3>toe+heel & toe-heel>1

توجه شود که برنامه در صورتیکه همچون ردیف های 5، 6، 8 جوابی مطابق با شرایط پیدا نکند، قادر است که نزدیکترین جواب ممکن در محدوده مورد نظر را همچون جدول فوق ارائه نماید.

4- در صورتیکه هدف از اجرای برنامه تعیین حساسیت و سنجش اثر افزایش و یا کاهش طول پاشنه باشد، با اجرای برنامه نمودار هائی مبنی بر اثر افزایش پاشنه در دیوار حائل مورد نظر بر روی ضرائب اطمینان و تنش های وارده مطابق شکل شماره 2 و 3 ترسیم می‌نماید.



شکل 2 - اثر ازدیاد یا کاهش طول پاشنه بر روی ضرائب اطمینان



شکل 3 - اثر ازدیاد یا کاهش طول پاشنه بر روی تنش های وارده بر پایه دیوار

### نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی و مطالعه ی دیوار حائل به ارائه نرم افزاری تحت عنوان Rwall پرداخته شده است. این نرم افزاری قادر می باشد که طراحی دیوار حائل را با حداقل داده های ورودی و یافتن بهینه ابعاد اجزا به منظور پایداری کل سیستم سازه دیوار، مورد بحث قرار دهد. بطور کلی نتایج این تحقیق به صورت زیر میباشد :

- 1- استفاده از مدل کامپیوتری علاوه بر کوتاه نمودن زمان طراحی و انجام محاسبات پیچیده در کسری از ثانیه، دستیابی به نتایج دقیق تر و بهینه تر را میسر می سازد.
- 2- با بکارگیری از روش های محاسباتی غیر خطی عددی، برنامه قادر به تعیین ابعاد مناسب بهینه در زمان محدودیت های طراحی خواهد بود.
- 3- با بکارگیری از روش تناسبات دیوار حائل، مقدار قابل توجهی از حجم محاسبات و زمان طراحی کاسته میشود.
- 4- امکان طرح نمودار به منظور دید در مقابل افزایش یا کاهش المان های دیوار در برابر پایداری سازه و بحث روی آن و سنجیدن میزان حساسیت اجزا.
- 5- امکان تبادل اطلاعات خروجی مدل با دیگر نرم افزارها همچون Auto Cad, Excel برای بررسی بیشتر.

### مراجع

- 1- شاپور طاحونی، اصول مهندسی پی جلد دوم، انتشارات پارس آئین، 1383
- 2- شاپور طاحونی، سازه های بتن مسلح جلد دوم، انتشارات پارس آئین، 1379
- 3- محمد کریم بیرامی، سازه های انتقال آب، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، 1379
- 4- بهروز قلی زاده، روشهای محاسبات عددی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، 1385
- 5- Everard and Tanner, 1966, Reinforced Concrete Design, schaum's outline series
- 6- Thomas F. Coleman, researched and contributed the large-scale algorithms for constrained and unconstrained minimization, nonlinear least squares and curve fitting, constrained linear least squares, quadratic programming, and nonlinear equations, help of Matlab 7.02, Optimization Toolbox