



## تأثیر میزان دوران دیوارهای حایل بر فشار وارد بر دیوارها

مجتبی موحدی فر<sup>۱</sup>، جعفر بلوری بزاز<sup>۲</sup>، محمد کاظم جعفری<sup>۳</sup>

۱- مربی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد پژوهشگاه بین المللی زلزله

m.movahedi@iau-neyshabur.ac.ir

bolouri@um.ac.ir

Jafari@iies.ac.ir

### خلاصه

یکی از عوامل اصلی در طراحی و ساخت سازه‌هایی که در ارتباط با رانش خاک قرار دارند شناخت کمی و کیفی نیروی رانش وارد بر دیوارهای حایل می‌باشد. مدل‌های آزمایشی و تحلیلی بسیاری جهت تخمین نیروی رانش خاک تحت شرایط استاتیکی ارائه شده است. گرچه میزان نیروی وارد بر دیواره‌ها در شرایط استاتیکی تا حد زیادی مشخص شده است، اما نحوه توزیع نیروی رانش خاک و نقطه اثر و نیز میزان دوران لازم برای ایجاد شرایط مقاوم یا محرک هنوز کاملاً مشخص نمی‌باشد. به عبارتی اگر حرکت دیواره به حدی ضعیف باشد که مقاومت برشی قابل توجه در توده خاک ایجاد نشود، در این حالت فشار وارد بر دیواره بسیار نزدیک به حالت سکون می‌باشد ولی اگر تغییر مکان یا دوران دیواره قابل ملاحظه باشد در این شرایط نیروی وارد بر دیواره در حالت محرک یا مقاوم می‌باشد. در این تحقیق میزان تغییر مکان لازم که شرایط مقاوم و یا محرک را ایجاد نماید بررسی گردیده است. در این ارتباط اثر پارامترهای مقاومتی خاک و نیز اثر اصطکاک و صلیبیت دیوار بر مقدار فشار وارد بر دیوار مورد مطالعه قرار گرفته است. برای رسیدن به این هدف یک مدل عددی بر اساس روش اجزاء محدود در شرایط کرنش صفحه‌ای و با استفاده از نرم افزار Plaxis 8.2 ایجاد گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهند که نتایج بدست آمده از آزمایشات و تحلیل‌های عددی، با تئوری‌های کلاسیک تفاوت دارد. به عبارتی تئوری‌های کلاسیک هنگامی صادق است که میزان دوران دیواره به حدی باشد که گوه پشت دیواره به گسیختگی کامل برسد که این امر در شرایط اجرایی معمولاً ایجاد نمی‌گردد.

کلمات کلیدی: دیواره حایل، دوران، حالت مقاوم و محرک، اجزاء محدود.

### ۱. مقدمه

در دیواره‌های حایل حالت‌های مختلفی از جمله دوران دیوار حول پایه، حول راس، انتقال دیواره و یا دوران همراه با انتقال دیوار می‌توان متصور شد [۱]. در بررسی‌هایی که توسط محققین بر روی دیواره‌های دوران کننده حول پایه صورت گرفته، مشخص شده است که نیروی وارد بر دیواره‌ها در حالات بیان شده با نیروی وارد بر آنها در حالات مقاوم و محرک که بر اساس تئوری‌های کلاسیک موجود بیان می‌شود تفاوت دارد [۲]. به عبارتی بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان و نحوه توزیع فشار وارد بر دیواره‌ها بر خلاف تئوری‌های کلاسیک موجود (کولمب و رانکین) همواره خطی نبوده و میزان فشار وارد بر دیواره‌ها بستگی به میزان دوران دیواره‌ها دارد. بررسی‌های دیگری که با استفاده از نتایج فشار سنج‌های نصب شده بر روی دیواره‌های نگهدارنده انتهایی پل‌های یکپارچه که تحت دوران حول پایه قرار می‌گیرند بدست آمده است بیان کننده غیر خطی بودن فشار وارد بر این دیواره‌ها می‌باشد [۳]. تحقیقات دیگری نیز که با اندازه‌گیری فشار خاک پشت دیواره‌های دو پل که دارای طول عرشه ۱۱۰ و ۱۵۰ متر بودند بیان‌گر این نکته می‌باشند که فشار پشت دیوار در قسمتهای میانی ارتفاع دیوار بیشتر از قسمتهای دیگر دیوار است [۴، ۵ و ۶]. مطالعات دقیق تر نشان می‌دهد که در اثر دوران دیوار حول پایه در حالت مقاوم، توزیع فشار خاک پشت دیوار غیر خطی بوده و بیشترین میزان فشار خاک در محدوده بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ ناحیه بالایی دیوار رخ می‌دهد [۷ و ۸]. با توجه به مطالب بیان شده، جهت بررسی تأثیر میزان دوران بر فشار وارد بر دیواره‌ها، مناسب است که مدل دیوار حایل ساخته شود



و نتایج ارزیابی گردد ولی با توجه به پیشرفت روزافزون رایانه، این امکان به وجود آمده است که بسیاری از مدل‌های آزمایشگاهی را که ممکن است ساخت آنها هزینه بر و وقت گیر باشد مدل نمود و از نتایج آنها بهره جست. در این تحقیق سعی شده است با مدل نمودن یک دیوار نگهدارنده در شرایط کرنش صفحه‌ای، اثر تغییر مکانها را بر روی این دیوار مطالعه نماییم. در این راستا با استفاده از نرم‌افزار Plaxis یک مدل دیوار تعریف شده است که جزئیات مدل، شرایط بارگذاری و خواص مصالح در ادامه تشریح می‌گردد.

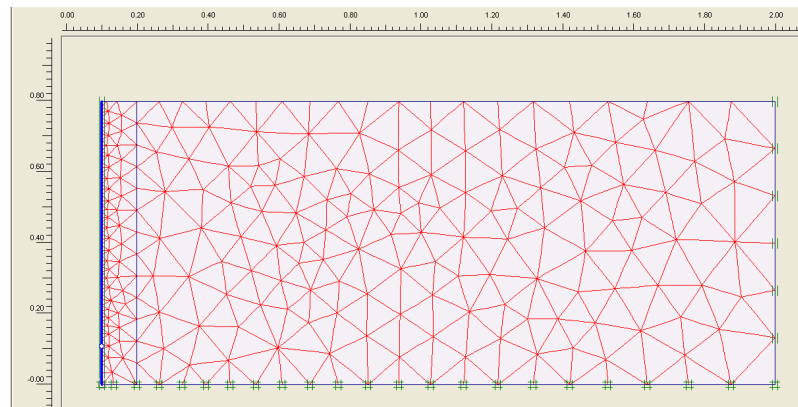
## ۲. خواص مصالح و شرایط مدل

در این تحقیق خاک پشت دیوار دانه‌ای و خشک در نظر گرفته شده است که خواص مکانیکی آن در جدول ۱ ارائه شده است. مدل رفتاری انتخابی برای این خاک، مدل خاک سخت شونده در نظر گرفته شده است که در این مدل تغییرات تنش-کرنش هیپربولیک (الاستو-پلاستیک) بوده و سطح سیلان وابسته به کرنش پلاستیک می‌باشد که به شکل همسان قابلیت گسترش داشته و قادر است حالت‌های سخت شونده‌گی برشی و سخت شونده‌گی فشاری را نیز در نظر بگیرد.

جدول ۱- پارامترهای مقاومتی خاک

$1.5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$	E، سختی مماسی
$15 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_{\text{dry}}$ وزن مخصوص خشک
0.8	$e_0$ تخلخل اولیه
0.5	$e_{\text{min}}$ تخلخل نهایی
30	$\phi$ زاویه اصطکاک اولیه
0	c چسبندگی
0	$\psi$ زاویه اتساع

برای مطالعه اثر تغییر مکانها بر اندرکنش بین خاک و دیوار صلب، یک مدل عددی با روش اجزاء محدود بوسیله برنامه Plaxis 8.2 مورد استفاده قرار گرفته است. در این برنامه که امکان استفاده از عناصر ۶ و ۱۵ گرهی وجود دارد، جهت معرفی دیوار نگهدارنده از عناصر عمومی تیر استفاده شده که دارای سختی محوری و خمشی می‌باشند. در این مطالعه پارامترهای دیوار به گونه‌ای تعریف شده است که دیوار حالت صلب داشته باشد. همچنین جهت در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و دیوار از عناصر میانی استفاده شده که خصوصیات مقاومتی این عناصر درصدهای از خصوصیات مقاومتی خاک در نظر گرفته می‌شود. در این مدل که دارای طول و ارتفاع به ترتیب ۱/۹ و ۰/۸ متر می‌باشد دیوار نگهدارنده قابلیت دوران حول نقطه‌ای واقع در ۱۰ سانتی‌متری نسبت به کف دیوار را دارد. شکل ۱ ابعاد هندسی و شرایط مرزی مدل را نشان می‌دهد



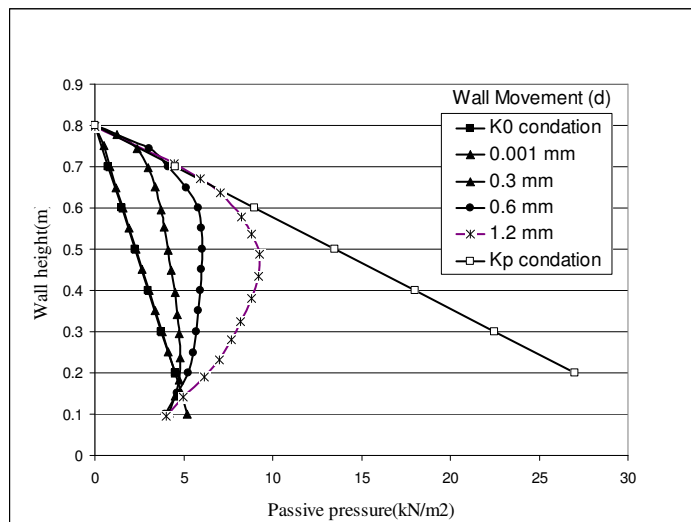
شکل ۱- ابعاد و نحوه مش‌بندی در نرم افزار



از آنجا که مش بندی در نرم افزار Plaxis به طور خودکار و به صورت عناصر مثلثی صورت می گیرد لذا جهت بدست آوردن نتایج دقیق تر در نواحی نزدیک به دیوار که تمرکز تنش بیشتر است از عناصر ریزتر استفاده شده تا جوابهای دقیق تری بدست آید. در ادامه اثر میزان تغییر مکانها (در شرایط مقاوم و محرک) و زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار بر میزان فشار وارد بر دیوارهای نگهدارنده مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳. تاثیر میزان دوران دیوار بر فشار مقاوم افقی

در این بررسی اثر میزان دوران دیوار (زاویه اصطکاک خاک و دیوار،  $\delta$  صفر در نظر گرفته شده است) بر فشار مقاوم افقی وارد بر آن، با استفاده از مدل دیوار نگهدارنده و با در نظر گرفتن تغییر مکانهای 0.001 mm، 0.3 mm، 0.6 mm و 1.2 mm (اندازه ها مربوط به تغییر مکان در بالای دیوار است) مورد بررسی قرار گرفته است. تغییر مکانهایی ذکر شده، با توجه به مطالعاتی که Card & Cardel انجام داده اند، به گونه ای انتخاب شده است که رفتار مصالح دانه ای در محدوده کرنش های کوچک، متوسط و بزرگ مورد ارزیابی قرار گیرد [۹]. شکل ۲ نشان دهنده فشار مقاوم افقی وارد بر دیوار در تغییر حالت از شرایط سکون به مقاوم حرکت دیوار را نشان می دهد.



شکل ۲ - تاثیر میزان دوران دیوار بر فشار مقاوم افقی

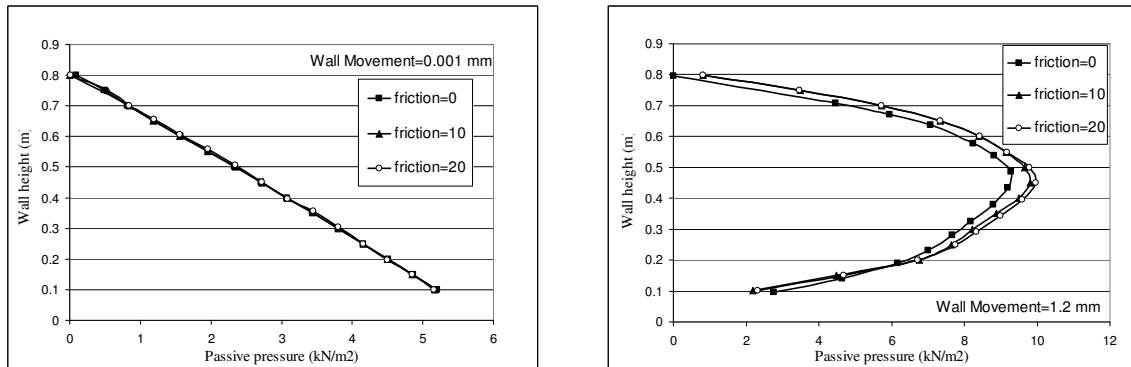
با توجه به شکل نکات زیر قابل استنباط است:

- در محدوده تغییر مکانهای کوچک (0.001 mm) میزان فشار وارد بر دیوار با فشار وارد بر دیوار در حالت سکون اختلاف بسیار کمی دارد.
- با افزایش میزان دوران دیوار، علاوه بر اینکه توزیع فشار وارد بر دیوار از حالت خطی به غیر خطی تبدیل شده، فشار وارده نیز افزایش یافته است.
- با افزایش میزان دوران دیوار، مکان بیشینه تنش به تدریج از بالای دیوار به قسمت میانی دیوار انتقال یافته است.
- با افزایش دوران دیوار در حالت مقاوم، فشار وارد بر دیوار افزایش یافته ولی این فشار از فشار بر اساس تئوری کولمب ( $K_p$ ) کمتر است.
- با توجه به شکل با افزایش دوران دیوار، فشار قسمتهای فوقانی دیوار به فشار حالت مقاوم کولمب نزدیک می شوند ولی با توجه به اینکه دیوار حول پایه دوران دارد لذا قسمتهای انتهایی دیوار دارای کرنش کمتری می باشند و لذا به فشار مقاوم کولمب نخواهند رسید.



#### ۴. تأثیر زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار بر فشار مقاوم افقی

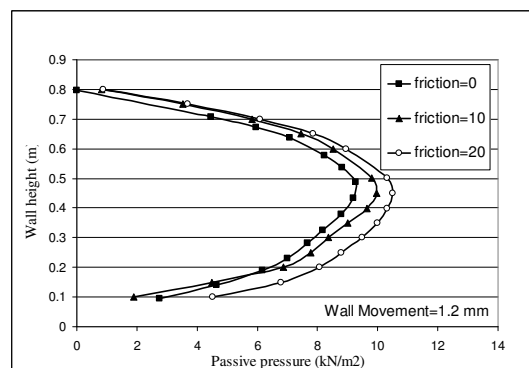
جهت بررسی تأثیر این عامل بر میزان فشار افقی وارده بر دیوار و با توجه به اینکه زاویه اصطکاک اولیه مصالح ماسه‌ای ( $\phi$ )، ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است، لذا زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار  $\delta = 0, 10, 20$  درجه در نظر گرفته شده است. شکل ۳ به عنوان نمونه اثر اصطکاک را بر میزان فشار افقی مقاوم در تغییر مکانهای (d)، ۰/۰۰۱ و ۱/۲ میلی متر نشان می‌دهد.



شکل ۳ - تأثیر زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار بر فشار مقاوم افقی

از بررسی شکل ملاحظه می‌شود که:

- در تغییر مکانهای کم دیواره ( $d=0.001 \text{ mm}$ ) زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار، تأثیری در فشار مقاوم افقی وارد بر دیوار ندارد.
- در تغییر مکان ۱/۲ میلی متر در اثر افزایش  $\delta$  از صفر به ده درجه، میزان فشار افقی وارد بر دیوار افزایش یافته است اما هنگامی که  $\delta$  از ده به بیست درجه تغییر یافته، افزایش فشار قابل توجه نمی‌باشد (این روند در تغییر مکانهای ۰/۳ و ۰/۶ میلی متری نیز مشاهده شده است).
- دلیل اینکه میزان فشار افقی وارد بر دیوار در حالت تغییر مکانهای متوسط و بزرگ با افزایش زاویه اصطکاک از صفر به ده درجه افزایش داشته است ولی در تغییر از ده به بیست درجه تغییر فشار کمتر است را می‌توان افزایش زاویه اعمال بار به دیوار (که معادل زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار،  $\delta$  است) دانست که موجب کاهش مولفه افقی فشار مقاوم می‌گردد. در حالی که تغییرات فشار کلی وارد بر دیوار که زاویه اعمال آن با دیوار  $\delta$  می‌باشد ممکن است به گونه‌ای دیگر باشد. به منظور روشن شدن این موضوع میزان فشار کلی وارد بر دیوار برای یکی از حالات ( $d/2=1.2 \text{ mm}$ ) محاسبه شده و نتیجه در شکل ۴ نشان داده شده است



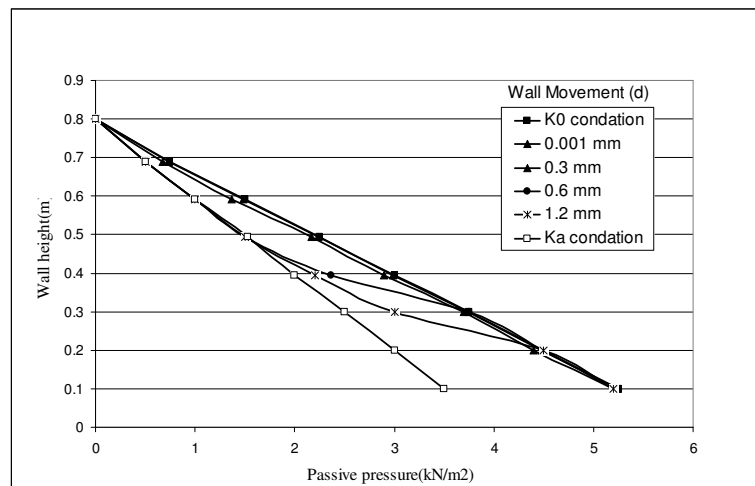
شکل ۴ - تأثیر زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار بر فشار مقاوم



همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد فشار کلی وارد بر دیوار با افزایش  $\delta$ ، افزایش یافته است. به عبارتی با افزایش  $\delta$ ، زاویه بین امتداد نیرو با افق افزایش می‌یابد و این امر سبب می‌شود که فشار افقی وارد بر دیوار که تصویر فشار کل وارد بر دیوار در راستای افقی است با رشد کمتری افزایش یابد. به عبارت دیگر مشخص می‌شود که با افزایش  $\delta$  فشار افقی وارد بر دیوار با نرخ کمتری افزایش خواهد یافت و در مقابل میزان نیروی برشی ایجاد شده بین خاک و دیوار با نرخ بیشتری افزایش می‌یابد.

## ۵. تاثیر میزان دوران دیوار بر فشار محرک افقی

در این بررسی اثر میزان دوران دیوار (زاویه اصطکاک خاک و دیوار،  $\delta$  صفر در نظر گرفته شده است) بر فشار محرک افقی وارد بر آن، با استفاده از مدل دیوار نگهدارنده و با در نظر گرفتن تغییر مکانهای 0.001 mm، 0.3 mm، 0.6 mm و 1.2 mm (اندازه‌ها مربوط به تغییر مکان در بالای دیوار است) مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۵ نشان دهنده فشار محرک افقی وارد بر دیوار در تغییر حالت از شرایط سکون به محرک حرکت دیوار را نشان می‌دهد.



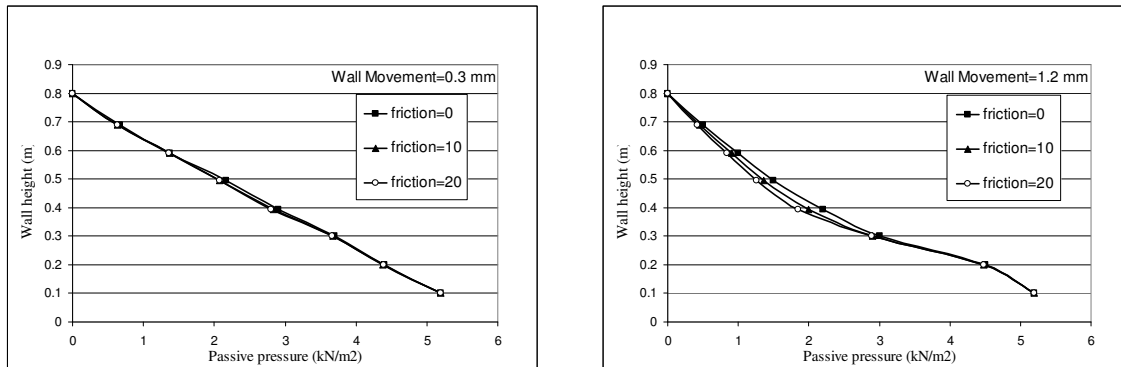
شکل ۵ - تاثیر میزان دوران دیوار بر فشار محرک افقی

- اگر نتایج حاصل از فشار وارد بر دیوار را با نتایج فشار وارد بر دیوار در حالت ساکن ( $k_0$ ) و محرک رانکین ( $k_a$ ) مقایسه نماییم ملاحظه می‌شود که:
  - در محدوده تغییر مکانهای کوچک ( $d=0.001$  mm) و متوسط ( $d=0.3$  mm)، میزان فشار وارد بر دیوار با فشار وارد بر دیوار در حالت ساکن، ( $k_0$ ) اختلاف بسیار کمی دارد.
  - با افزایش میزان دوران دیوار، علاوه بر اینکه توزیع فشار وارد بر دیوار از حالت خطی به غیر خطی تبدیل شده است، فشار وارد بر دیوار نیز کاهش یافته است.
  - با افزایش میزان دوران دیواره، محدوده بیشتری از ارتفاع خاک پشت دیوار وارد ناحیه فشار محرک می‌گردد.
  - فشار وارد بر دیواره بستگی به میزان دوران دیوار دارد و این فشار با فشار محرک رانکین تفاوت دارد.



## ۶. تأثیر زاویه اصطکاک خاک و دیوار بر فشار محرک افقی

جهت بررسی تاثیر این عامل بر میزان فشار افقی وارده بر دیوار، با در نظر گرفتن زوایای اصطکاک مختلف بین خاک و دیوار ( $\delta = 0, 10, 20$  درجه) این مورد بررسی شده است. در شکل ۶ به عنوان نمونه اثر اصطکاک بر میزان فشار وارد بر دیوار را در تغییر مکانهای ۰.۳ و ۱.۲ میلیمتر نشان می‌دهد.



شکل ۶- تأثیر زاویه اصطکاک خاک و دیوار بر فشار محرک افقی

از بررسی اشکال مشخص می‌شود که:

- در تغییر مکانهای کم و متوسط دیواره (در شکل تغییر مکان ۰.۳ نشان داده شده است)، زاویه اصطکاک بین خاک و دیوار، تاثیری در فشار وارد بر دیوار ندارد به عبارتی از آنجایی که در تغییر مکانهای کم و متوسط دیواره، فشار وارد بر دیواره با فشار در حالت سکون ( $k_0$ ) تفاوت چندانی ندارد، لذا زاویه اصطکاک بین خاک و دیواره بر میزان فشار وارده تاثیر گذار نمی‌باشد.
- در تغییر مکانهای بیشتر (در شکل تغییر مکان ۱.۲ نشان داده شده است)، در اثر افزایش  $\delta$  میزان فشار افقی وارد بر دیوار کاهش داشته است.
- محاسبه فشار کلی وارد بر دیوار نشان می‌دهد که در تغییر مکانهای بیشتر از ۰.۳ میلیمتر، فشار کلی وارد بر دیواره نیز با افزایش زاویه اصطکاک، کاهش می‌یابد.

## ۷. نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نتایج زیر حاصل می‌گردد.

- در محدوده تغییر مکانهای کوچک، میزان فشار وارده در حالت مقاوم و محرک با فشار وارد بر دیوار در حالت سکون اختلاف بسیار کمی دارد.
- با افزایش میزان دوران دیوار، توزیع فشار وارد بر دیوار در حالت مقاوم و محرک از حالت خطی به غیر خطی تبدیل می‌شود.
- با افزایش میزان دوران دیوار در حالت مقاوم، مکان بیشینه تنش به تدریج از قسمت بالای دیوار به قسمت میانی دیوار انتقال می‌یابد.
- در حالت مقاوم، با افزایش میزان دوران، میزان نیروی وارد بر دیواره افزایش می‌یابد ولی این نیرو در هر حالت از نیروی مقاوم کولمب کمتر است.
- در حالت محرک با افزایش میزان دوران، میزان نیروی وارد بر دیوار کاهش می‌یابد ولی این نیرو در هر حالت از نیروی محرک رانکین بیشتر است.



- بررسی ها نشان می-دهد که با افزایش بیشتر دوران دیواره، باز هم قسمتهایی انتهایی دیواره به فشار مقاوم کولمب و فشار محرک رانکین نمی-رسند و جهت حصول به این فشارها، دیواره بایستی حتما دارای حرکت انتقالی نیز باشد.
- در صورت حرکت انتقالی دیواره، توزیع فشار تقریبا خطی بوده و در اینحالت توزیع فشار به تئوریهای کولمب و رانکین نزدیک است.
- دیوارهایی که فقط دارای دوران حول پایه می-باشند، نیروی وارد بر آنها از نیروی حالت مقاوم کولمب کمتر و از حالت محرک رانکین بیشتر است.

## ۸. مراجع

1. Fang Y. S., Chen T. J. and Wu B. F. (1994), "Passive Earth Pressures with various wall movements", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1270:1307-1323.
2. Broms B. B. and Ingleson I. (1971), "Earth pressure against the abutments of a rigid frame bridge", Geotechnique, Vol. 21, No.1, 1971, pp. 15-28.
3. Hoppe E. J. and Gomez J. P. (1996), "Field study of an Integral Back wall Bridge", Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Va, VTRC 97-R7.
4. Emerson, M. (1976), "Bridge temperatures estimated from the shade temperature", TRRL Report 696
5. Emerson, M. (1976), "Bridge temperatures estimated from the shade temperature", TRRL Report 696.
6. Emerson, M. (1977), "Temperatures Differences Basis of Design Requirements", TRRL Report 765.
7. Broms B. and Ingleson, I. (1972), "Lateral Earth pressure on a bridge abutment", Proceeding of the 5<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, Vol. 1, pp. 117-123.
8. Lock R. (2002), "Integral Bridge Abutment", M. Eng Project Reports, Soil/TR320, [www-civ.eng.cam.ac.uk/geotech\\_new](http://www-civ.eng.cam.ac.uk/geotech_new).
9. Card G. B. and Carder D. R. (1993), "A literature review of the geotechnical aspects of the design of integral bridge abutments", Project Report 52, Transport Research Laboratory, Crow Thorne, England