



## Comparison between the two methods of Rankine and Coulomb in calculating the forces applied to the retaining wall

Rajab Ali Ahmadi<sup>1</sup>, Hadi Fasihi<sup>2</sup>, Sara Jafary<sup>3</sup>

### Abstract

The usual methods for analyzing the lateral pressure of soil on retaining walls are mainly based on the theory of plastic limit states of Rankine and Coulomb. The results obtained from these methods are based on the assumption of stress-strain behavior and rigid plastic failure for the soil behind the wall. If the goal is to determine the lateral pressure on the wall for a specific amount of displacement or as a function of the displacement, these methods cannot be used. In this research, an approximate method for lateral pressure analysis on retaining walls in active and resistant conditions was presented, which can be used to determine the pressure on the wall for different amounts of wall displacement. In this article, the forces acting on the retaining wall under  $\alpha$  (the angle of the wall with the horizontal surface) between 0 and 15 degrees for walls with a height of 7, 8, 9, and 10 meters, respectively, have been investigated using two methods. At the angle of the wall with the horizontal surface ( $\alpha$ ) of 0 degrees and 5 degrees, the active force created behind the wall in the Rankine method is slightly more than the Coulomb method, but with the increase of the value of  $\alpha$ , these two forces are equal to each other.

**Keywords:** Soil pressure, Columbus and Rankin method, soil angle behind the retaining wall

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Civil Department, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: ali.ahmadi@knu.edu.af Phone: +93786730540

<sup>2</sup> Assistant Professor, Civil Department, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: hadi.fasihi@kateb.edu.af Phone: +93729008317

<sup>3</sup> Civil Engineer, Civil Department, Faculty of Engineering, Khatam Al-Nabieen University, Kabul, Afghanistan.

Email: sarajafary86@gmail.com Phone: 078 020 3941



## مقایسه بین دو روش رانکین و کولمب در محاسبه قوه‌های وارد به دیوار استنادی

رجب‌علی احمدی<sup>۱</sup>، هادی فصیحی<sup>۲</sup>، ساره جعفری<sup>۳</sup>

چکیده:

روش‌های معمول برای تحلیل فشار جانبی خاک روی دیوارهای استنادی عمدتاً بر اساس تئوری حالات حدی خمیری رانکین با کولمب استوار است. نتایجی که از این روش‌ها حاصل می‌شود با فرض رفتار تنش-کرنش و گسیختگی صلب پلاستیک برای خاک پشت دیوار می‌باشد. در صورتی که هدف تعیین فشار جانبی روی دیوار برای یک میزان تغییر مکان مشخص یا بصورت تابعی از تغییر مکان باشد، از این روش‌ها نمی‌توان استفاده کرد. در این تحقیق روشی تقریبی برای تحلیل فشار جانبی روی دیوارهای استنادی در شرایط فعال و مقاوم ارائه شد که با استفاده از این روش می‌توان فشار وارده بر دیوار را برای مقادیر مختلف تغییر مکان دیوار تعیین کرد. در مقاله حاضر، قوه‌های وارد بر دیوار استنادی تحت آلفا (زاویه دیوار با سطح افقی) بین ۰ تا ۱۵ درجه به ترتیب برای دیوارهایی به ارتفاع ۷، ۸، ۹ و ۱۰ متر با استفاده از دو روش مورد بررسی قرار گرفته است. در زاویه دیوار با سطح افقی (الفاهای) صفر درجه و ۵ درجه قوه‌ی فعال ایجاد شده در پشت دیوار در روش رانکین کمی بیشتر از روش کولمب می‌باشد اما با افزایش مقدار الفا این دو قوه با یکدیگر برابر می‌شوند.

کلمات کلیدی: فشار خاک، روش کلمب و رانکین، زاویه خاک پشت دیوار.

<sup>۱</sup> پوهنیار، دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیرۍ، پوهنتون خاتم النبیین (ص)، کابل، افغانستان،  
ali.ahmadi@knu.edu.af ۰۷۸۶۷۳۰۵۴۰

<sup>۲</sup> پوهنیار، دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیرۍ، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان، hadi.fasihi@kateb.edu.af  
۰۷۲۹۰۰۸۳۱۷

<sup>۳</sup> دیپارتمنت سیول، پوهنځی انجنیرۍ، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان، sarajafary86@gmail.com  
۰۷۸۰۲۰۳۹۴۱

دیوارهای استنادی یکی از عناصر سترکچری اصلی پروژه‌های انجیری سیول و معدن هستند و امکان تثبیت خاک و توده سنگ را فراهم می‌کنند. دیوارهای استنادی باید از نظر سترکچری برای تحمل فشارهای جانبی خاک و توده‌های سنگی توانمند باشند. اثر فشار جانبی زمین و تعادل قوهی کل برای اولین بار با استفاده از نظریه کولمب [۱] برای دیوارهای استنادی لغزشی و اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفت. با فرض اینکه خاکریز مشابه گسیختگی اولیه است، تئوری فشار فعال بر روی خاک توسعه یافته است [۲]، که دلالت بر عمودی و صاف بودن خاکریز دارد. این موضوع دیزاین و تجزیه و تحلیل دیوارهای استنادی را نسبتاً ساده می‌کند، اما از نظر عملی، دیوارهای استنادی در معرض قوه‌های اصطکاک هستند و بنابراین، دیزاین آن نسبتاً پیچیده‌تر خواهد بود. برای در نظر گرفتن این موارد ضرورت می‌باشد که در بخش پیشینه تحقیق به آن پرداخته شده است.

## ۲. پیشینه تحقیق

ترزاقی [۳] یک نظریه کلی را با استفاده از ماریچ لگاریتمی قوس به عنوان سطح شکست پیشنهاد نموده است. عملکرد اصلی یک دیوارهای استنادی حفظ خاک طبیعی سست یا خاک پشت دیوار برای ایجاد فضا و فعال کردن فعالیت‌های ساختمانی است. دیوارهای استنادی همچنان می‌توانند از چوب، فولاد، گابیون ۱ یا حتی زمین تقویت شده ساخته شوند. طراحی مناسب دیوارهای استنادی مستلزم مقاومت در برابر قوه‌های طبیعی مانند زلزله، فشار جانبی زمین اضافی و فشارهای هیدرواستاتیکی است. پیش‌بینی پاسخ دیوارهای استنادی به چنین فشارهایی با استفاده از ابزارهای عددی مانند آنالیز اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفته است. روش تعادل حدی معمولاً برای پیش‌بینی شکست، با استفاده از صفحات شکست پیش‌بینی شده در شرایط مختلف مانند جابجایی دیوار یا نشست بیش از حد استفاده می‌شود. گوانگیون [۴] تحقیقی را با استفاده از نرم افزار ABAQUS انجام داد و گزارش داد که پیش‌بینی بر اساس مدل سازی عددی با مدل سازی فیزیکی مطابقت خوبی دارد. بررسی موارد آسیب دیوارهای استنادی و خرابی بدون هشدار [۵] منجر به توسعه مدل سازی عددی برای پیش‌بینی آسیب و بهبود دیزاین‌های دیوارهای استنادی شده است. به عنوان مثال، توزیع خطی فشار زمین فعال برای طراحی دیوارهای استنادی صلب استفاده شده است [۱، ۶] و توزیع مصنوعی، غیر خطی برای ارزیابی خرابی دیوارهای استنادی بنایی سنگی ۲ (SMRW) [۷-۱۱] استفاده شده است. با تعیین شدن حرکات سترکچر و زمین اطراف آن می‌توان اختلاف جابجائی‌ها را تعیین نمود. تغییر شکل سترکچر و جابجائی‌های خاک اطراف سترکچر باعث ایجاد تغییر شکل‌های جزئی در کتله خاک شده و موجب ایجاد فشار جانبی در خاک می‌گردد. بنابراین در دیزاین‌ها باید اثر اندرکنش خاک و سترکچر در نظر گرفته شود. این موضوع بصورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. بر اساس نحوه جابجائی دیوار، کولمب [۱] روابطی برای تعیین فشار خاک روی ساختار دیوار استنادی

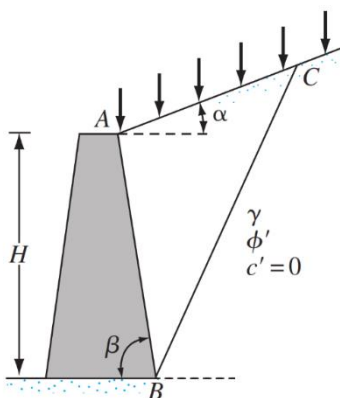
<sup>1</sup> Gabion

<sup>2</sup> Stone Masonry Retaining Walls (SMRW)



در سال ۱۷۷۶ پیشنهاد کرد که تئوری کولمب نامیده می‌شود. برطبق تئوری کولمب، فشار خاک در پشت دیوار استنادی ناشی از اعمال فشار بوسیله گوه لغزش خاک بین دیوار و سطحی که از پایه دیوار عبور کرده و با افق زاویه صفر را می‌سازد.

روابط کولمب بر اساس تعادل حدی قوه هادر تمام گوه لغزش بنیان نهاده شده است. همچنین رانکین در سال ۱۸۵۷ روابطی برای تعیین فشار جانبی خاک در دیوار استنادی ارائه داده است که به تئوری رانکین معروف بوده که در واقع ساده شده روش کولمب می باشد که از شیب سطح زمین، زاویه دیوار و اصطکاک بین خاک و دیوار صرف نظر شده است. بزرگی و نقطه اثر محصله فشار خاک دو کلید مسئله در بررسی پایداری ساختار دیوار استنادی می‌باشند. نقطه اثر محصله فشار خاک بستگی به توزیع فشار خاک در پشت دیوار دارد. توزیع فشار خاک در کاربرد های عملی تئوری کولمب بصورت خطی فرض شده و نقطه اثر محصله فشار خاک در یک سوم ارتفاع دیوار از سطح مبنا می‌باشد. آزمایشات مختلف نشان می‌دهد که بزرگی محصله فشار خاک به روش تئوری کولمب خیلی نزدیک است ولی نقطه اثر محصله فشار خاک بواسطه توزیع خطی فشار خاک متفاوت است. بسیاری از آزمایشات نشان می‌دهد که توزیع فشار خاک یا نقطه اثر محصله فشار خاک در دیوار استنادی تحت تاثیر جابجایی دیوار واقع شده است.



شکل ۱: اندرکنش خاک و سترکچر در دیوار استنادی (فونت اصلاح شود)

### ۳. روش تحقیق

برای انجام مقایسه بین دو روش رانکین و کولمب در محاسبه قوه‌های وارده به دیوار استنادی در این مقاله از روش کتابخانه ای و تحلیلی استفاده می‌گردد که با در نظر داشت فشار جانبی خاک پشت دیوار استنادی، فرضیات روش های رانکین و کولمب در حالت محرک و همچنان مقاوم بررسی و تحلیل گردیده و نتایج بدست آمده از آن توسط گراف مقایسه خواهد گردید.

### ۴. فشار جانبی خاک پشت دیوار استنادی

ستراکچرهایی نظیر دیوارهای استنادی که در انجینیری تهداب برای حفاظت شیروانی‌های خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند تحت تاثیر فشارهای رانشی خاک قرار دارند. معمولا برای تحلیل فشار جانبی خاک پشت دیوار استنادی از تئوری حالات حدی خمیری کولمب و

رانکین استفاده می‌شود. این تئوری‌ها فقط شرایط تنش در خاک را در حالت تعادل خمیری در شرایط محرک و مقاوم مورد مطالعه قرار دادند. این روش‌ها برای تعیین میزان تنش جانبی خاک متناظر با مقدار مشخص جابجایی دیوار نسبت به خاک قابل استفاده نمی‌باشند. در این مقاله روشی ارائه می‌شود که با تعریف یک تابع حالت درون یاب سعی در تعمیم تئوری رانکین و کولمب برای تعیین تنش جانبی موجود با توجه به میزان جابجایی نسبی دیوار و خاک می‌گردد. در این روش، تابعی براساس پارامترهای مقاومتی خاک و سختی آن ارائه شده است که با استفاده از آن می‌توان میزان ضریب فشار جانبی خاک را بصورت تابعی از جابجائی‌های آن تعیین کرد. با استفاده از روش ارائه شده می‌توان توزیع تنش پشت دیوار استنادی را قبل و بعد از رسیدن به حالت حدی تعیین نمود. در روش ارائه شده یک رابطه کلی برای ضریب فشار جانبی خاک ارائه شده است که مقدار آن با توجه به میزان جابجائی-های دیوار می‌تواند نشانگر حالت رانش فعال، سکون یا مقاوم باشد. صحت و دقت روش ارائه شده با استفاده از تحلیل‌های عددی نشان داده شده است. اثر فشار جانبی خاک باید در یکی از سه حالت زیر مورد توجه قرار گیرد:

#### ۴-۱. فشار فعال

وقتی که دیوار در مقابل فشار خاک به سمت جلو دوران (حرکت) نماید (دیوار از خاک دور شود)، کمترین فشار جانبی به دیوار وارد می‌شود.

#### ۴-۲. فشار مقاوم

در صورتی که دیوار به سمت خاک دوران (حرکت) نماید (دیوار به خاک نزدیک شود)، بیشتر-ین فشار جانبی به دیوار وارد می‌شود.

#### ۴-۳. فشار سکون

در صورتی که بین خاک و دیوار حرکتی موجود نباشد، حالت فشار سکون رخ می‌دهد که مقدار فشار ایجاد شده بین دو مقدار فشار شرایط فعال و شرایط مقاوم است. در این تحقیق دو حالت فعال و مقاوم مورد بررسی قرار گرفته شده است.

#### ۴-۴. ضریب فشار جانبی

در هر نقطه نسبت فشار جانبی به فشار قائم خاک، ضریب فشار جانبی نامیده می‌شود و با حرف  $K$  بیان می‌گردد. ضریب فشار جانبی در حالت فعال با  $K_a$ ، در حالت سکون با  $K_0$  و در حالت مقاوم با  $K_p$  نشان داده می‌شود مقدار  $K_0$  برای سیالات مساوی یک است، اما برای خاک در حالت فعال و سکون از ۱ کوچک‌تر و برای حالت مقاوم از ۱ بزرگ‌تر است.

#### ۵. فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت محرک

چنانچه دیوار حرکتی در جهت تئوری وارد از طرف خاک پشت آن داشته باشد، فشار محرک ایجاد می‌گردد. در این حالت دیوار از خاک پشتش دور شده و فشار در پشت دیوار نسبت به حالت سکون کاهش می‌یابد.





#### ۱-۵. فرضیات رانکین در حالت محرک

- ۱) در تئوری رانکین دیوار صاف است یعنی اصطکاک بین دیوار و سطح تماس خاک در نظر گرفته نمی‌شود.
- ۲) قائم بودن دیوار و افقی بودن سطح خاک نیز جزء مفروضات می‌باشد.
- ۳) برای ایجاد فشار محرک دیوار باید تغییر مکان جانبی کافی به سمت خارج داشته باشد. مقدار این تغییر مکان لازم، برای خاکریز دانه ای بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۴ و برای خاک چسبنده بین ۰.۰۱ تا ۰.۰۴ ارتفاع دیوار می‌باشد.
- ۴) در حالت گسیختگی کل خاک پشت دیوار به حالت خمیری می‌رسد.
- ۵) چسبندگی باعث کاهش قوه‌ی وارده به دیوار می‌شود.
- ۶) فشار دیوار به سمت خاک باعث افزایش استرس افقی تا گسیختگی المان می‌گردد.

#### ۲-۵. فرضیات کولمب در حالت محرک

- ۱) در حالت گسیختگی کل خاک پشت دیوار به حالت خمیری می‌رسد.
- ۲) زاویه اصطکاک خاک و دیوار نیز  $\delta$  در نظر گرفته شده است.
- ۳) دور شدن دیوار از خاک باعث کاهش تشنج افقی تا گسیختگی المان می‌گردد.

#### ۶. فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت مقاوم (Passive)

چنانچه دیوار بر عکس حالت محرک، به سمت توده خاکی حرکت کند، فشار مقاوم در خاک ایجاد می‌شود. در این حالت با نزدیک شدن دیوار به توده خاک، فشار خاک در پشت دیوار نسبت به حالت سکون افزایش می‌یابد.

#### ۱-۶. فرضیات رانکین در حالت مقاوم

- ا) در تئوری رانکین دیوار صاف است یعنی اصطکاک بین دیوار و سطح تماس خاک در نظر گرفته نمی‌شود.
  - ب) قائم بودن دیوار و افقی بودن سطح خاک نیز جزء مفروضات می‌باشد.
  - ج) برای ایجاد فشار محرک دیوار باید تغییر مکان جانبی کافی به سمت خارج داشته باشد. مقدار این تغییر مکان لازم، برای خاکریز دانه ای بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۴ و برای خاک چسبنده بین ۰.۰۱ تا ۰.۰۴ ارتفاع دیوار می‌باشد.
  - د) در حالت گسیختگی کل خاک پشت دیوار به حالت خمیری می‌رسد.
  - ه) چسبندگی باعث کاهش قوه‌ی وارده به دیوار می‌شود.
- فشار دیوار به سمت خاک باعث افزایش تشنج افقی تا گسیختگی المان می‌گردد.

#### ۲-۶. فرضیات کولمب در حالت مقاوم

- ا) در حالت گسیختگی کل خاک پشت دیوار به حالت خمیری می‌رسد.
- ب) زاویه اصطکاک خاک و دیوار نیز  $\delta$  در نظر گرفته شده است.
- ج) دور شدن دیوار از خاک باعث کاهش تشنج افقی تا گسیختگی المان می‌گردد.

## ۷. آنالیزهای انجام شده در روش رانکین و روش کولمب

در این مقاله محاسبه قوه‌های وارد به دیوار با فرضیات دو روش رانکین و کولمب انجام شده است. ارتفاع دیوار ها ۷،۸،۹ و ۱۰ متر می باشد. همچنین زاویه خاگریز پشت دیوار از ۵ درجه تا ۱۵ درجه متغییر و خاک پشت دیوار به صورت دانه ای فرض شده است. زاویه اصطکاک داخلی خاک نیز بین ۱۵ تا ۴۵ درجه متغییر در نظر گرفته شده است. مقادیر در نظر گرفته شده برای محاسبه ضریب فشار وارده به دیوار در هر دو روش مانند جدول ۱ نشان داده شده است. در تمامی روابط ارائه شده پارامترها به صورت ذیل می باشد.

$\sigma_v$  فشار قائم در نقطه مورد نظر،  $K_p$  ضریب فشار مقاوم رانکین،  $\sigma_p$  فشار مقاوم رانکین،  $\emptyset$  زاویه اصطکاک داخلی خاک،  $C$  چسبندگی خاک،  $H$  ارتفاع دیوار،  $\alpha$  زاویه دیوار با سطح افقی،  $\delta$  عبارت از زاویه اصطکاک بین دیوار و خاک می باشد.

جدول ۱ مقادیر در نظر گرفته شده برای محاسبه ضریب فشار محرک

پارامتر	C	$\gamma$	$\emptyset$	$\alpha$	H	$\delta$	$\beta$
واحد	kPa	kN/m <sup>3</sup>	درجه	درجه	m	درجه	درجه
مقادیر	0	18	15 - 40	0,5,10,15	7, 8, 9, 10	5, 10, 15	90°

### ۷-۱. دریافت قوه و فشار جانبی خاک

به منظور دریافت فشار جانبی خاک از پارامترهای جدول شماره ۱ استفاده شده است. محاسبه فشار و قوه‌ی وارده به دیوار نیز مطابق رابطه شماره (۱) و (۲) صورت گرفته است. قابل ذکر است که تفاوت در نتایج فشار و قوه‌ی وارده به دیوار ناشی از ضرایب فشار جانبی خاک است. در رابطه شماره (۱)،  $P$  نشان دهنده فشار جانبی خاک و در رابطه شماره (۲)،  $F$  نشان دهنده قوه‌ی وارده به دیوار استنادی می باشد. ضریب فشار جانبی خاک در حالت فعال در روش کولمب و رانکین مطابق فرمول رابطه (۳) و (۴) و همچنین ضریب فشار جانبی خاک در حالت مقاوم در روش کولمب و رانکین مطابق با رابطه شماره (۵) و (۶) محاسبه شده است.  $k_{ar}$  و  $k_{ac}$  به ترتیب ضریب فشار جانبی محرک خاک به روش کولمب و رانکین و  $k_{pr}$  و  $k_{pc}$  به ترتیب ضریب فشار جانبی مقاوم خاک به روش کولمب و رانکین می باشد.

$$P = K_a \times \gamma \times H - 2C \sqrt{K_a}$$

$$F = 0.5 \times K_a \times \gamma H^2$$

$$k_{ac} = \frac{\sin^2(\beta + \emptyset)}{\sin^2\beta \times \sin(\beta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \times \sin(\emptyset - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \alpha)}} \right]^2}$$

$$k_{ar} = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \emptyset}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \emptyset}}$$

$$k_{pc} = \frac{\sin^2(\beta - \emptyset)}{\sin^2\beta \times \sin(\beta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \times \sin(\emptyset + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta + \alpha)}} \right]^2}$$

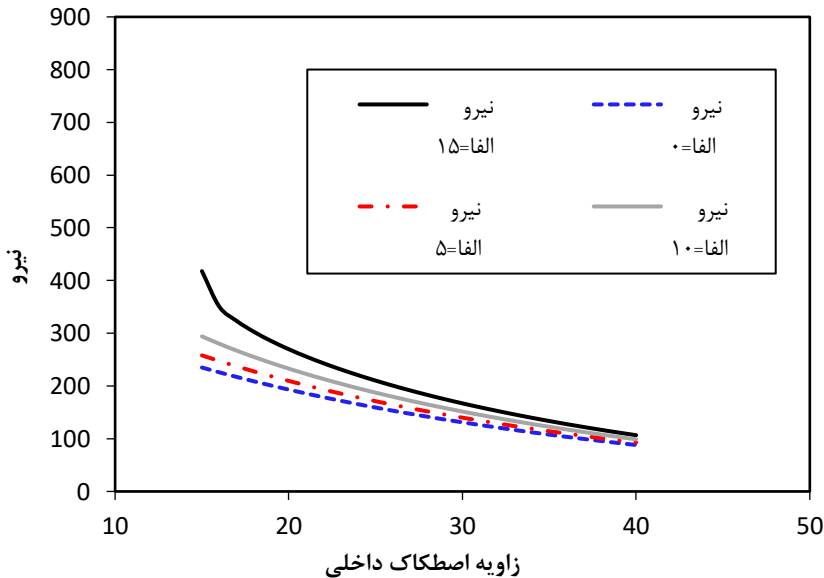


$$k_{pr} = \cos \alpha \times \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

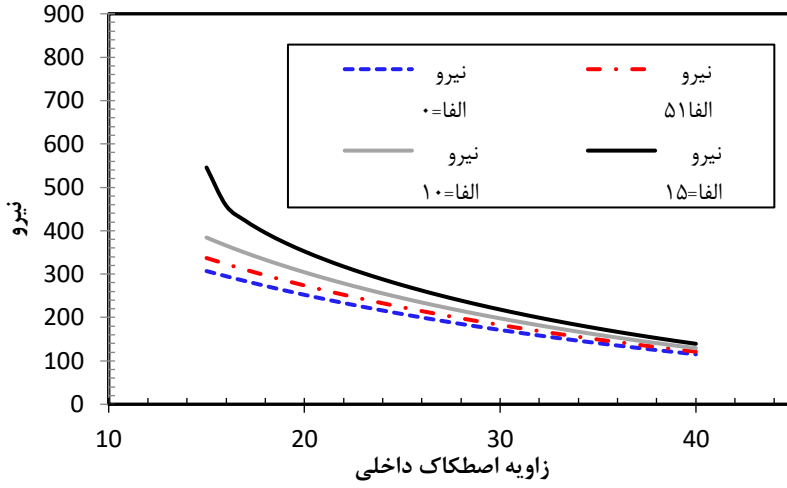
با استفاده از روابط و قیمت‌های فوق قوه‌ی فشار جانبی برای دو روش بدست آمده و اثر عوامل مختلف بر روی آن مورد بررسی قرار گرفته است، که در بخش بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۸. نتایج

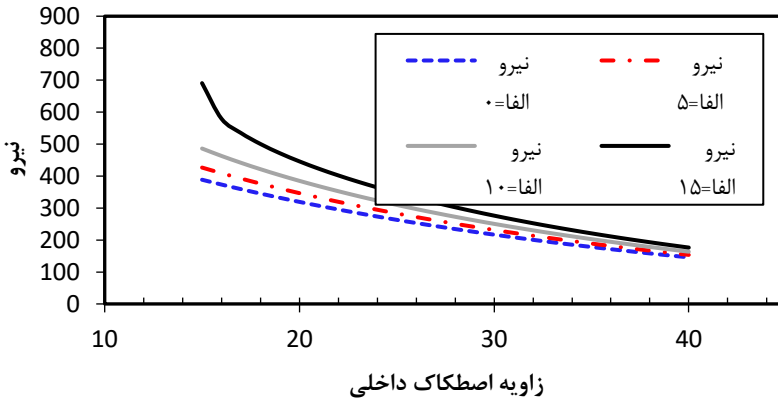
در این بخش به قوه‌های بدست آمده با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. شکل ۱ تا ۴ قوه‌های وارد بر دیوار استنادی تحت آلفا (زاویه دیوار با سطح افقی) بین ۰ تا ۱۵ درجه را به ترتیب برای دیوارهایی به ارتفاع ۷، ۸، ۹ و ۱۰ متر نشان می‌دهد. به منظور مقایسه بهتر بازه‌ی محور قائم و افقی همه‌ی نمودارها یکسان لحاظ شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زاویه دیوار با سطح افقی (آلفاهای) بیشتر، قوه‌های جانبی بیشتری ایجاد می‌کند و با افزایش زاویه‌ی اصطکاک داخلی این قوه‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش زاویه اصطکاک داخلی قوه‌ی افقی بدست آمده برای آلفاهای مختلف به یکدیگر نزدیک شده است به طوری که برای زاویه‌ی اصطکاک داخلی ۴۰ درجه، مقدار قوه‌های بدست آمده برای آلفاهای مختلف تقریباً برابر است. این روند برای همه‌ی ارتفاعات دیوار استنادی مورد بررسی در این تحقیق، قابل مشاهده است.



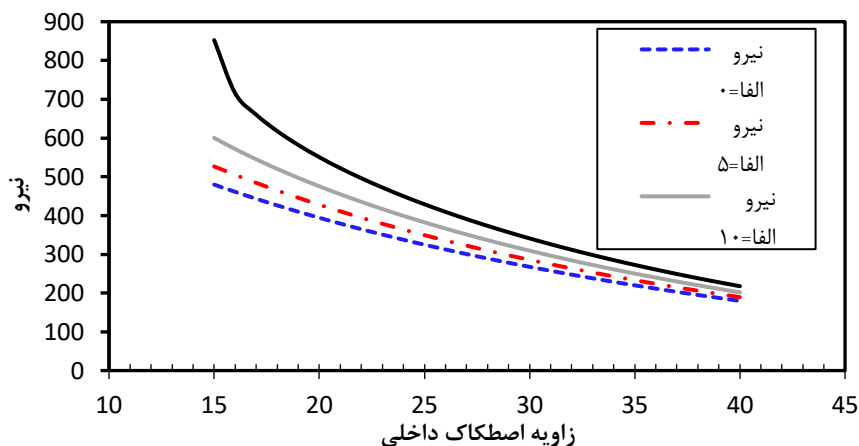
شکل ۲: مقایسه قوه کولمب برای آلفا = 0° تا آلفا = 15° و ارتفاع = ۷ متر



شکل ۳: مقایسه فشار کولمب برای الفای  $0^{\circ}$  تا الفای  $15^{\circ}$  و ارتفاع = ۸ متر

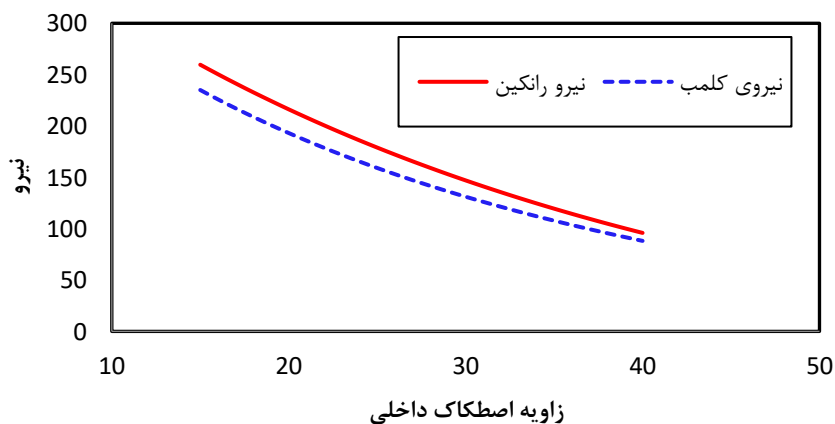


شکل ۴: مقایسه قوه کولمب الفای  $0^{\circ}$  تا الفای  $15^{\circ}$  و ارتفاع = ۹ متر



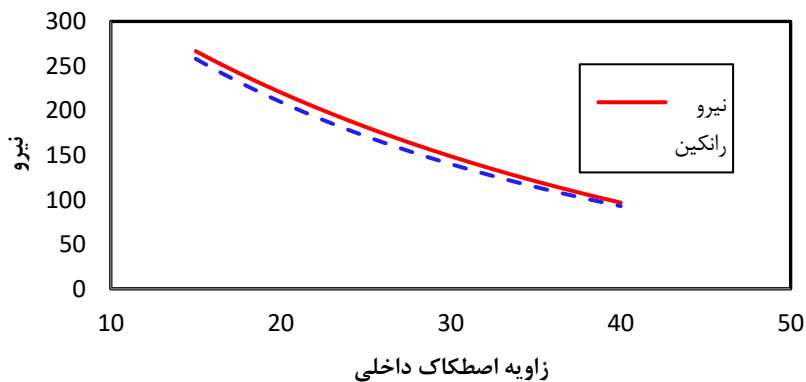
شکل ۵: مقایسه قوه کولمب الفَا=۰ تا الفَا=۱۵ و ارتفاع=۱۰ متر

۸-۱. مقایسه‌ی قوه‌ها و فشارهای بدست آمده از دو روش کولمب و رانکین در دیوار استنادی از بین دیوارهای با ارتفاع متفاوت در این قسمت دیوار ۷ متری برای مقایسه بین قوه‌های وارده به دیوار به روش رانکین و کولمب برای زاویه‌های متفاوت دیوار با سطح افقی (آلفا) انتخاب شده است. همانطور که در شکل های ۵ تا ۸ مشاهده می‌شود در الفاهای صفر درجه و ۵ درجه قوه‌ی ایجاد شده در پشت دیوار در حالت فعال در روش رانکین کمی بیشتر از روش کولمب می باشد، اما با افزایش مقدار الفَا این دو قوه بایکدیگر برابر می‌شوند.

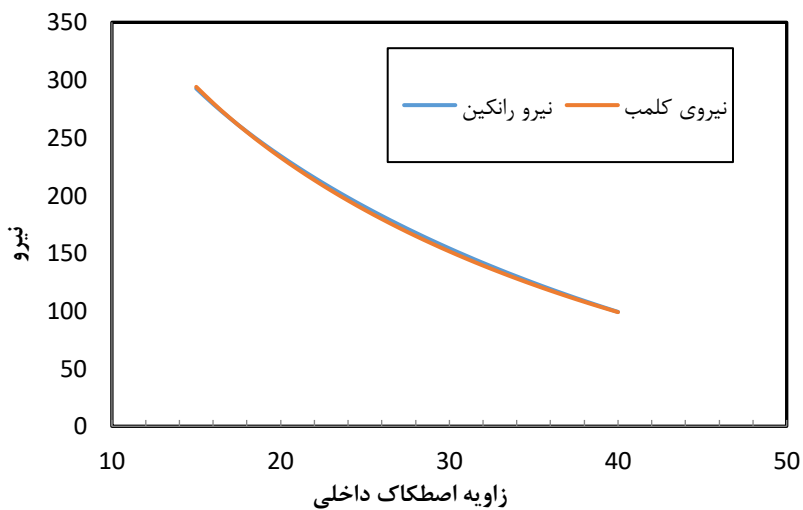


گراف ۶: مقایسه قوه کولمب و رانکین الفَا=۰ و ارتفاع=۷ متر

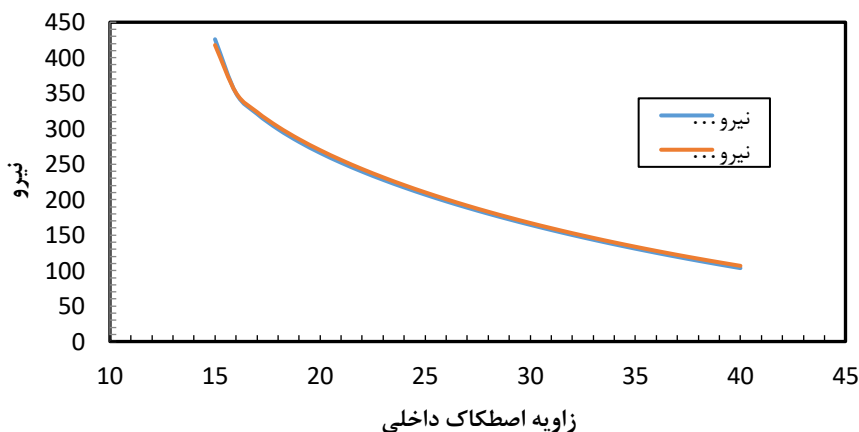




گراف ۷: مقایسه قوه کولمب و رانکین الفای  $5^0$  و ارتفاع  $7$  متر



گراف ۸: مقایسه قوه کولمب و رانکین الفای  $10^0$  و ارتفاع  $7$  متر



گراف ۹: مقایسه قوه کولمب و رانکین الفا =  $15^0$  و ارتفاع  $\gamma = 7$  متر

### ۹. جمع بندی

در تحقیق حاضر به مقایسه ی بین روش رانکین و کلمب در مقایسه قوه‌های وارد بر دیوار استنادی پرداخته شد. همچنین اثر ارتفاع دیوار، زاویه اصطکاک داخلی ۱۰ تا ۴۰ درجه و (زاویه دیوار با سطح افقی) آلفاهای مختلف ۰ تا ۱۵ درجه بر این قوه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به شرح زیر است:

- با افزایش زاویه دیوار با سطح افقی (آلفاهای) بیشتر، قوه‌های جانبی بیشتری ایجاد می‌کند و با افزایش زاویه ی اصطکاک داخلی این قوه‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش زاویه اصطکاک داخلی قوهی افقی بدست آمده برای آلفاهای مختلف به یکدیگر نزدیک شده است. به طوری که برای زاویه ی اصطکاک داخلی ۴۰ درجه، مقدار قوه‌های بدست آمده برای آلفاهای مختلف تقریباً برابر است.

در زاویه دیوار با سطح افقی (الفاهای) صفر درجه و ۵ درجه قوهی فعال ایجاد شده در پشت دیوار در حالت در روش رانکین کمی بیشتر از روش کولمب می‌باشد اما با افزایش مقدار الفا این دو قوه با یکدیگر برابر می‌شوند.



## ۱۰. منابع و موخذ

- 1) Coulomb CA (1776) "Essai sur une Application des Règles de Maximis et Minimis à Quelques Problèmes de Statique Relatifs à L'Architecture," *Mémoires de la Mathématique et de Phisique, présentés à l'Académie Royale des Sciences, par divers savans, et lûs dans sés Assemblées.* Annee 1793:343-382
- 2) Rankine WJM (1857) On the mathematical theory of the stability of earthwork and masonry. *J Franklin Inst* 63:84-85
- 3) Terzaghi K (1943) *Theoretical soil mechanics.* Wiley, New York 1 3 Engineering with Computers
- 4) 4. Yu G-Y, Bai Y-S, Sheng P, Guo R-P (2009) Mechanical perfor mance of a double-face reinforced retaining wall in an area dis turbed by mining. *Min Sci Technol* 19:36-39
- 5) Chan YC (1996) Study of old masonry retaining walls in Hong Kong. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong
- 6) Rankine WJM (1857) On the stability of loose earth. *Philos Trans R Soc Lond* 1:9-27
- 7) Tsagareli ZV (1965) Experimental investigation of the pres sure of a loose medium on retaining walls with a vertical back face and horizontal backfill surface. *Soil Mech Found Eng* 2:197-200
- 8) Chang M-F (1997) Lateral earth pressures behind rotating walls. *Can Geotech J* 34:498-509
- 9) O'Neal TS, Hagerty DJ (2011) Earth pressures in confined cohe sionless backfill against tall rigid walls—a case history. *Can Geo tech J* 48:1188-1197
- 10) Iskander M, Chen Z, Omidvar M et al (2013) Active static and seismic earth pressure for  $c-\phi$  soils. *Soils Found* 53:639-652
- 11) Gordan B, Koopialipoor M, Clementking A et al (2018) Esti mating and optimizing safety factors of retaining wall through neural network and bee colony techniques. *Eng Comput.* <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0642-2>

