

# بررسی عوامل موثر بر رانش مقاوم خاک، تحت اثر سربارهای سیکلی

مسعود شریف‌زاده اصلی<sup>i</sup>؛ سید مجدالدین میرمحمدحسینی<sup>ii</sup>

## چکیده

یکی از عوامل اصلی در طراحی و ساخت ایمن دیوارهای حائل، شناخت کمی و کیفی رانش‌های وارد به این دیوارها می‌باشد. مدل‌های آزمایشی و تحلیلی بسیاری جهت تخمین رانش خاک تحت شرایط استاتیکی و سیکلی ارائه شده است. نظرات و توصیه‌های مختلفی در خصوص نحوه توزیع و نقطه اثر رانش خاک وجود دارد اما استفاده از آنها نیازمند بررسی و ارزیابی شرایط خاصی است که این توصیه‌ها بر مبنای آنها بدست آمده باشد. در این مقاله ساخت یک مدل عددی به وسیله نرم‌افزار "FLAC 2D" جهت مطالعه رانش مقاوم خاک تحت اثر سربارهای استاتیکی و سیکلی تشریح شده است. در مقاله حاضر به کمک این مدل عددی، تحلیل‌های وسیعی در شرایط مختلف روی یک مدل دیوار حائل انجام گرفته و نتایج قابل ملاحظه‌ای پیرامون کم و کیف رانش خاک بر دیوارهای حائل بدست آمده است. به بخشی از نتایج مربوط به تعیین رانش خاک تحت اثر سربارهای استاتیکی و سیکلی ذیلاً اشاره شده است.

## کلمات کلیدی

رانش مقاوم خاک، دیوار حائل، سربار استاتیکی، سربار سیکلی، مدل عددی.

## *The Analysis of Passive Earth Pressure Under Cyclic Surcharges*

M. Sharifzadeh Asli; S. M. Mirmohammad Hosseini

### ABSTRACT

One of the most important factors in design of retaining walls has known as quantity and quality of earth Pressures acting on such walls. Many experimental and theoretical models were developed to estimate the lateral earth pressure under static and dynamic loadings. Nevertheless, most of them suffer from the fact that they can only be used under certain conditions, which they have been developed. A numerical model has been developed with "FLAC 2D"<sup>iii</sup> to investigate the passive earth pressure of a backfill under cyclic surcharges. Some results of the model are presented in this paper.

### KEYWORDS

Passive earth pressure, retaining wall, static surcharge, cyclic surcharge, numerical model.

<sup>i</sup> کارشناس ارشد خاک و پی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر: m\_sharifzadeh\_asli@yahoo.com

<sup>ii</sup> دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر: mirh53@yahoo.com

محیط در شرایطی که خاک بصورت مقاوم در آید، هنوز امکان دستیابی به یک شناخت کامل و همه جانبه که به راحتی بتوان رفتار دیوار حائل را تحت هر شرایط خاص با دقت تخمین زد، فراهم نشده است.

داشتن سربار سیکلی و ایجاد شرایط لازم در حالت رانش مقاوم دور از انتظار نمی‌باشد. به عنوان مثال در شرایطی که در دامنه کوه دیوار حائلی جهت احداث جاده اجرا شده است، با وقوع زلزله این احتمال وجود دارد که دیوار به سمت خاک حرکتی داشته باشد و شرایط رانش مقاوم ایجاد گردد. در چنین وضعیتی عبور و مرور در جاده بالای دیوار، باعث وارد آمدن سربار سیکلی می‌گردد.

با توجه به توضیحات بیان شده، جهت بررسی بیشتر موضوع، یک مدل عددی دیوار حائل بوسیله نرم‌افزار تخصصی FLAC ساخته شد و تاثیر عوامل مختلف موثر بر روی رانش مقاوم خاک در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش پژوهش

ابعاد و هندسه مدل به‌گونه‌ای انتخاب شده است که مرزها در نتایج تحلیلی مدل تأثیرگذار نباشند. به منظور بررسی صحت عملکرد مدل ابعاد مدل شامل توده خاک به ابعاد  $1/5 \times 0/6$  متر در نظر گرفته می‌شود تا مشابه شرایط آزمایش در آزمایشگاه باشد ولی با توجه به آنکه در حالت مقاوم سطح گسیختگی وسعت بیشتری نسبت به حالت محرک دارد، ابعاد مدل برای مطالعات بعدی (حالت مقاوم)  $2/0 \times 0/6$  متر در نظر گرفته می‌شود تا مرزهای مدل در نتایج بدست آمده تأثیری نداشته باشد. با فرض اینکه  $\phi = 45^\circ$  باشد و صفحه گسیختگی مسطح باشد طبق نظریه رانکین:

$$\phi = 45^\circ$$

$$L = H \times \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right), H = 50\text{cm} \Rightarrow L = 120\text{cm} \quad (1)$$

البته با توجه به اینکه سطح گسیختگی غیر خطی است و وجود سربار نواری نیز باعث تغییر در محدوده گسیختگی می‌شود، طول مدل ۲ متر در نظر گرفته می‌شود.

دیوار حائل در مرز سمت راست مدل به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر قرار گرفته است. ۱۰ سانتی‌متر خاک زیر دیوار به علت عدم تأثیرگذاری مرز پایینی مدل بر نتایج تحلیل در نظر گرفته شده است.

برای مش‌بندی مدل از شبکه‌های مربعی به ابعاد  $5 \times 5$  سانتی‌متر استفاده شد. به منظور مدل‌سازی رفتار تنش کرنش خاک، مدل ساختاری الاستو پلاستیک، به همراه معیار

در یک طرح ایمن و اقتصادی علاوه بر بررسی اثر خاک پشت دیوار، لازم است تاثیر سربارهای استاتیکی و دینامیکی بر بالای خاک نیز لحاظ شوند. برای کنترل پایداری دیوار علاوه بر تعیین نیروهای وارده، دانستن نقطه اثر آنها نیز لازم است. رانش جانبی ناشی از خاک پشت دیوار توسط تئوری‌های رانکین (Rankine, 1857) و کولمب (Coloumb, 1773) در حالات مختلف تغییر مکان دیوار بررسی شده است.

آزمایش‌های بسیاری روی مدل‌های کوچک دیوارهای حائل تحت اثر ارتعاش و بارهای دینامیکی انجام شده است تا رفتار فیزیکی آنها، توزیع رانش فعال خاک و همچنین نقطه اثر نیروی رانش پشت دیوار بدست آید. در اکثر این مدلها سعی بر این بوده است تا شرایط تغییر شکل در خاک پشت دیوار برقرار گردد بطوری که خاک پشت دیوار وارد حالت فعال شود.

Mackey, Sherif در سال ۱۹۷۷ رانش وارد به دیوار حائل تحت اثر بار خطی که در فواصل مختلفی از دیوار و تعداد تکرار گوناگون روی سطح خاکریز اثر می‌کرد را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به آزمایش‌های انجام شده تاثیر تعداد سیکل، شدت و فاصله سربار روی رانش وارد به دیوار در حالت ساکن مورد بررسی قرار گرفته است [۳].

Mir Hosseini در سال ۱۹۹۶ تغییرات رانش خاک تحت اثر سربارهای سیکلی را مورد مطالعه قرار داد. وی با استفاده از دستگاه SCTA تغییرات رانش خاک در حالت سکون تحت اثر بارهای قائم سیکلی را بررسی نمود. تغییرات فشار جانبی بر حسب تنش قائم و تعداد سیکل بارگذاری مورد مطالعه قرار گرفته شد [۴].

Mir Hosseini و Nikkhhah در سال ۲۰۰۳ بمنظور بررسی رفتار دیوارهای حائل در شرایط مختلف اقدام به طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی کردند تا بتوانند پارامترهای مهم و موثر در رفتار متقابل دیوار و خاک تحت شرایط کاملاً کنترل شده و مورد نظر را بصورت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار دهند [۲].

موارد اشاره شده در فوق نمونه‌هایی از مطالعات فیزیکی انجام شده جهت دسترسی به اندرکنش دیوار حائل و خاک در شرایط مختلف بوده است. گرچه مطالعات انجام شده بسیار می‌باشد و نتایج قابل ملاحظه‌ای در زمینه رانش فعال تحت شرایط مختلف بدست آمده است، لیکن در زمینه رانش مقاوم مطالعات بسیار کمی صورت گرفته است. از طرفی دیگر با توجه به تنوع و تعداد عوامل موثر در رفتار متقابل خاک و دیوار حائل و پیچیدگی خاص مسئله اندرکنش میان این دو

$$\begin{cases} A = 0.1 \text{ m}^2 \\ I = 0.000833 \text{ m}^4 \end{cases} \quad (4)$$

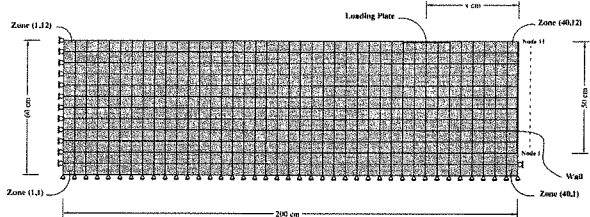
برای تعیین مدول الاستیسیته دیوار در شرایط کرنش مسطح باید از رابطه زیر استفاده کرد که با در نظر گرفتن مدول الاستیک و ضرایب پواسون  $E = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3$  برای فولاد مقدار این مدول برابر  $E_{PS} = 2.2 \times 10^{11} \text{ Pa}$  خواهد بود.

$$E_{PlaneStrain} = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (5)$$

از آنجایی که دیوار در شرایط صلب در نظر گرفته شده است؛ تمامی گره‌های این المان در برابر حرکت انتقالی در راستای افق، قائم، و نیز دوران مقید شده است. برای در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و دیوار از المان درز (Interface) استفاده شد. با توجه به پیشنهاد  $\delta = \frac{2}{3} \phi$  در اکثر کتب و مقالات:

$$\phi_{int} = \frac{2}{3} \phi_{soil} = 24.5^\circ \quad (6)$$

با توجه به صادق بودن شرایط کرنش مسطح (Plane Strain) در مسأله، بارگذاری نیز به صورت نواری در نظر گرفته شده است. بار قائم یکنواخت بصورت تنش قائم بر صفحه فلزی به عرض 20cm اعمال گردیده است. موقعیت بار و میزان آن در طول پروژه تغییر داده شده و اثرات آن بر روی مدل بررسی شده است. صفحه فلزی به صورت المان‌های تیر الاستیک مدل شده است. برای آنکه صفحه بارگذاری بصورت صلب عمل کند، حرکت گره‌های تیر (صفحه فلزی) در جهت Y تابع یکدیگر شده‌اند (Slave).



شکل ۱- شکل کلی مدل ساخته شده

در این مسأله، بارگذاری دینامیکی به صورت تاریخچه زمانی تنش به عنوان شرایط مرزی خارجی مدل با دستور apply اعمال می‌گردد. تابع تاریخچه زمانی در دامنه بار دینامیکی (Amplitude) ضرب می‌گردد.

با توجه به اینکه منشأ بار سیکی منابعی چون عبور وسایل نقلیه در مجاورت دیوار حائل می‌باشد، در نظر گرفتن کشش در سطح خاک بی‌مورد می‌باشد و از موج یک طرفه استفاده شده است.

گسیختگی موهر-کولمب بکار رفته است. با توجه به اینکه معمولاً برای رسیدن رانش خاک به حداکثر میزان خود در حالت مقاوم تغییر شکل نسبی بیشتری نسبت به حالات سکون و محرک نیاز است و گوه گسیختگی در چنین حالتی به صورت کامل در خاک تشکیل می‌گردد، انتخاب مدل رفتاری موهر کولمب مبتنی بر بررسی مقاومت خاک در راستای یک صفحه در آستانه شکست، مناسب می‌باشد. پارامترهای اصلی این مدل  $\phi$  و  $C$  می‌باشند که از طریق آزمایش‌های معمول مکانیک خاک بدست می‌آیند.

در این برنامه پارامترهای دانسیته ( $\gamma$ )، مدول بالک ( $K$ )، مدول برشی ( $G$ )، ضریب چسبندگی ( $C$ )، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) و زاویه اتساع ( $\psi$ ) برای تعریف مدل خاک مورد نیاز می‌باشد.

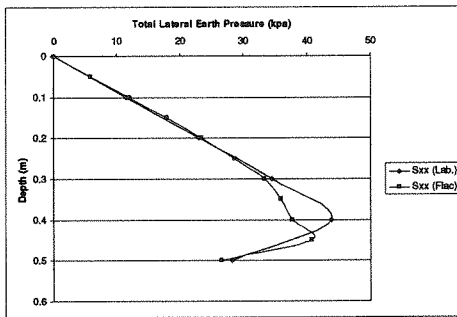
برای خاک پشت دیوار از مصالح ماسه‌ای خشک استفاده شده که وزن مخصوص آن برابر  $1530 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد که با توجه به دانسیته نسبی ۵۵٪ (تراکم متوسط) در آزمایشگاه بدست آمده است. پارامترهای الاستیک خاک عبارتند از:  $E = 4.1 \times 10^7 \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3$ . از آنجایی که در برنامه مقادیر مدول برشی و مدول بالک به عنوان ورودی گرفته می‌شود، با استفاده از روابط زیر می‌توان آنها را بدست آورد:

$$\begin{cases} K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \\ G = \frac{E}{2(1+\nu)} \end{cases} \quad (2)$$

لذا مقادیر  $K = 3.42 \times 10^7 \text{ Pa}$ ,  $G = 1.58 \times 10^7 \text{ Pa}$  برای پارامترهای الاستیک خاک حاصل می‌گردد. پارامترهای پلاستیک مدل موهر-کولمب شامل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت کششی و زاویه اتساع هستند که با توجه به دانه‌ای بودن خاک مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned} C &= 0, T = 0 \\ \phi &= 36.5^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

برای مدل‌سازی دینامیکی، میزان میرایی محلی متعارف و کاربردی مسائل مربوط به خاک ضریب  $D=5\%$  در نظر گرفته می‌شود. برای مدل‌سازی دیوار از المان‌های خمشی تیر (Beam Element) استفاده شد که در آن گره‌ها (Nodes) به شبکه محاسباتی متصل هستند. با توجه به لحاظ نمودن یک صفحه فولادی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به عنوان دیوار در مدل فیزیکی، پارامترهای هندسی این المان در واحد طول دیوار به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

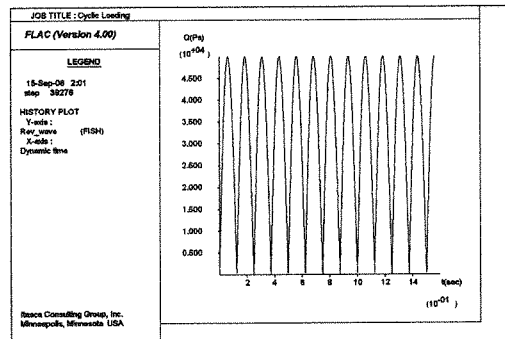


شکل ۳- مقایسه توزیع رانش مقاوم اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و بدست آمده از FLAC

علت کاهش فشار در پائین دیوار، وجود شرایط مختلف برای خاک پشت دیوار است. در مدل عددی و فیزیکی موجود با توجه به اینکه بخشی از دیواره سمت راست مدل متحرک و بخش دیگر ثابت است، در قسمت پائین دیوار که مرز این دو بخش است، ناحیه از خاک در حالت سکون قرار می‌گیرد و باعث کاهش رانش در قسمت پائین دیوار می‌گردد. اختلاف‌های که بین توزیع در این دو مورد وجود دارد ناشی از خطاهای مدل‌سازی عددی می‌باشد. زیرا در مدل عددی به هیچ عنوان نمی‌توان رفتار را به طور صحیح و مطابق با واقعیت مدل کرد. زیرا مدل رفتاری موهر-کولومب به عنوان یک مدل الاستوپلاستیک کامل، نمی‌تواند دقیقاً بیانگر کامل رفتار خاک باشد. از طرف دیگر روش‌های عددی نیز خود تا حدی خطا دارند. ضمناً شرایط به صورت دو بعدی و کرنش مسطح در نظر گرفته شده که این خود یک ساده‌سازی است و در واقعیت چنین نیست. با وجود همه این خطاها، مدل عددی ساخته شده می‌تواند وسیله مناسبی برای پیش‌بینی رفتار باشد و با انجام مطالعات پارامتریک می‌توان نوع و میزان تأثیرگذاری پارامترهای مختلف بر رفتار را پیش‌بینی کرد که خود در زمینه مهندسی ژئوتکنیک مفید و حائز اهمیت است.

### ۳-۲- مقایسه با نتایج تحقیقات گذشته

نتایج مدل عددی برای حالت مقاوم با نتایج تحقیقات کولمب و شیلدنز و تولونی (Shields and Tolunay, 1973) مقایسه شد. برای این منظور مدل عددی ساخته شده را برای حالت بدون سربار حل کرده و از روی نمودار رانش مقاوم بدست آمده، مقدار  $K_p = 6.69$  بدست آمد. همچنین مقدار  $K_p$  برای مشخصات خاک و دیوار مدل شده ( $\phi = 36.5^\circ, \delta = 24.5^\circ$ ) از رابطه کولمب 12.42 و از نتایج حاصل از تحقیقات شیلدنز و تولونی تقریباً 6.85 بدست آمده است. علت اختلاف زیاد بین نتایج FLAC و رابطه کولمب آنست که رابطه کولمب با خطی در نظر گرفتن سطح لغزش بدست آمده، در حالیکه سطح لغزش



شکل ۲- بار سیکلی نیمه سینوسی با بزرگی 50 kpa و فرکانس 4 Hz

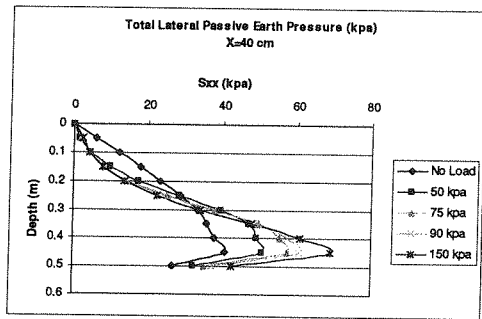
### ۳-۳- کالیبراسیون مدل و کنترل صحت عملکرد آن

یک مدل عددی، ساخته شده از زبان‌های برنامه‌نویسی و یا نرم‌افزارهای متداولی است که از روش‌های عددی متنوع مانند اجزاء محدود، تفاضل‌های محدود، اجزاء منفصل و غیره برای تحلیل عددی و حل معادلات استفاده می‌کنند. این مدل زمانی دارای نتایج ارزشمند و قابل قبولی خواهد بود که صحت عملکرد مدل ساخته شده با استفاده از نتایج واقعی صحرایی (Field)، نتایج مدل فیزیکی در آزمایشگاه و یا در بعضی موارد تئوری کنترل شده باشد؛ به عبارت دیگر مدل عددی با استفاده از موارد ذکر شده کالیبره شده باشد. در این قسمت با توجه به اینکه در آزمایشگاه خاک دانشگاه صنعتی امیرکبیر مدل فیزیکی خاک و دیوار جهت بررسی رانش وارده بر دیوار ساخته شده بود، توسط این مدل فیزیکی آزمایشاتی برای حالت مقاوم انجام شد. لذا از این داده‌ها به عنوان معیار کالیبراسیون در تحلیل‌های استاتیکی استفاده شده است.

### ۳-۱- مقایسه با نتایج آزمایشگاه

وزن حجمی خاک استفاده شده در آزمایشگاه  $15.30 \text{ kN/m}^3$  و زاویه اصطکاک داخلی خاک  $\phi = 36.5^\circ$  در نظر گرفته شد. در شکل (۳) نمودار توزیع رانش محرک خاک در آزمایشگاه و نتایج حاصل از نرم‌افزار با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد، کلیات و روند توزیع رانش در هر دو مورد برابر است. مهم‌تر از آن، حداکثر مقدار رانش در مدل و آزمایشگاه اختلاف ناچیزی دارند و درصد خطا در حدود ۱۰ درصد است که در این مسأله قابل قبول خواهد بود.



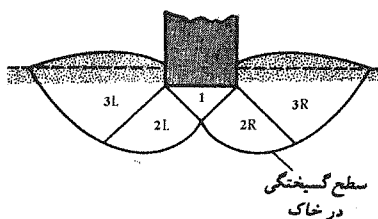
شکل ۵- تاثیر میزان سربار بر توزیع فشار مقاوم خاک بر دیوار در اعماق مختلف (حالت T)

همانطور که در اشکال فوق مشاهده می‌شود، با اعمال بارگذاری سیکی و افزایش میزان آن، در اعماق اولیه میزان رانش مقاوم نسبت به حالت بدون بارگذاری سیکی ابتدا کاهش می‌یابد ولی در اعماق پائین‌تر دیوار، بارگذاری سیکی باعث افزایش رانش می‌شود. با افزایش سربار نیروی مقاوم افزایش یافته و در عمق بیشتری از دیوار اثر می‌کند.

علت کاهش رانش خاک در اعماق اولیه خاک را می‌توان در بررسی ناحیه‌های گسیختگی ایجاد شده در زیر صفحه بارگذاری جستجو کرد.

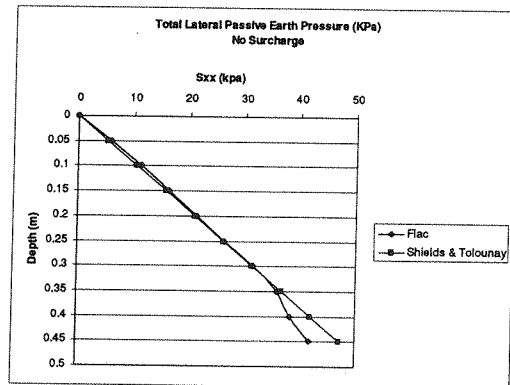
نواحی گسیختگی در زیر صفحه بارگذاری به صورت شکل (۶) می‌باشد. حال اگر شکل (۶) به همراه ناحیه گسیختگی خاک در حالت مقاوم در نظر گرفته شود شکلی مشابه شکل (۷) حاصل می‌گردد. در شکل (۷)، نواحی 3L و 3R نقش عمده‌ای در توزیع فشار قائم در عمق ندارند و صرفاً به منظور جلوگیری از ایجاد برش موضعی در نواحی ۲ می‌باشند، در صورتیکه اگر نواحی ۳ جهت مقاومت در برابر سربار قائم در نظر گرفته شود، بخشی از گوه گسیختگی مقاوم در نواحی فوقانی خاک کاسته می‌شود و به همین دلیل از رانش مقاوم وارده بر دیوار در قسمت فوقانی کاسته می‌شود.

از طرف دیگر اگر نحوه توزیع فشار قائم در عمق مورد بررسی قرار گیرد (مثلاً روش تقریبی ۲:۱)، ملاحظه می‌شود که تأثیر فشار قائم سربار در اعماق بیشتر، بدلیل امکان برخورد ناحیه متأثر شده از سربار با دیوار، بیشتر و محسوس‌تر شده و باعث افزایش رانش مقاوم در اعماق دیوار می‌شود.



شکل ۶- نواحی گسیختگی برشی در زیر پی

در حالت مقاوم غیرخطی می‌باشد. شیلدرز و تولونی سطح لغزش را اسپیرال لگاریتمی در نظر گرفتند و همین‌طور که ملاحظه می‌شود اختلاف بین نتایج مدل عددی و تحقیقات آنها در حدود ۷٪ می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه توزیع رانش مقاوم بدست آمده از مدل عددی در حالت بدون سربار و روش تولونی

## ۴- ارزیابی نتایج در حالت سربار سیکی

با توجه به اینکه حالت مقاوم بصورت طبیعی در طبیعت ایجاد نمی‌شود، ایجاد حالت مقاوم به یک عامل مستقل بارگذاری نظیر انفجار یا زلزله نیاز دارد. در مدل عددی مطالعه شده با توجه به اینکه زمان شروع حرکت دیوار به سمت خاک (از نظر تعداد سیکل بارگذاری قائم انجام شده تا آن لحظه) در نتایج حاصل شده تأثیرگذار است، تصمیم گرفته شد تا حرکت دیوار به سمت خاک تا رسیدن رانش به میزان حداکثر خود، هم‌زمان با بارگذاری سیکی باشد. همچنین برای بررسی تأثیر نوع تغییر مکان دیوار بر رانش مقاوم، سه حالت ممکن انتقال، دوران حول راس و دوران حول پایه در نظر گرفته شده است. در این مقاله تنها نتایج برای حالت انتقال (T) آورده شده است. مشخصات پیش‌فرض در نظر گرفته شده در مطالعات مطابق جدول (۱) بوده و در مطالعات پارامتری، پارامتر مورد نظر تغییر یافته است.

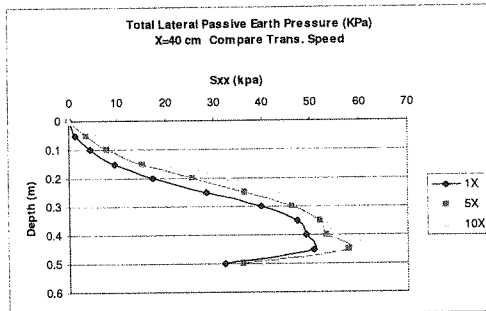
### ۴-۱- تأثیر شدت سربار (q)

با ازدیاد فشار سربار، توزیع رانش مقاوم کل نسبت به حالت بدون سربار ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. محل اثر نیروی برآیند کل در حالت مقاوم نیز با افزایش سربار به پائین دیوار نزدیک می‌شود. شکل (۵) نتایج بدست آمده را نشان می‌دهند.

همانطور که مشاهده می‌شود افزایش فرکانس باعث کاهش رانش مقاوم خاک می‌شود. در یک روند تغییر مکان ثابت برای دیوار، هرچه فرکانس بارگذاری افزایش یابد تعداد سیکل‌های بارگذاری و باربرداری انجام شده تا رسیدن رانش به حداکثر میزان خود افزایش می‌یابد. هرچه تعداد سیکل‌ها افزایش یابد، احتمال تشکیل ناحیه گسیختگی در زمان‌هایی که سربار روی خاک وجود ندارد و یا میزان آن ناچیز است، افزایش می‌یابد. لذا ناحیه گسیختگی در فرکانس‌های بالاتر، کوچکتر می‌شود.

#### ع-۴- تأثیر سرعت تغییر مکان دیوار

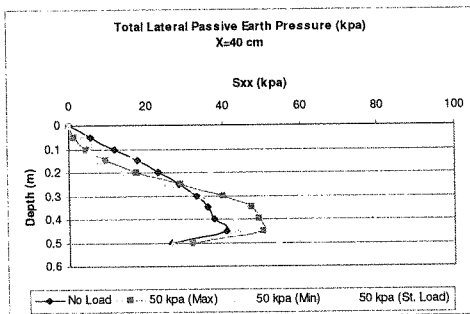
در این بخش تأثیر تغییر سرعت جابجائی دیوار بر رانش مقاوم بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت تغییر مکان دیوار بر میزان رانش مقاوم افزوده می‌شود. علت این امر، کاهش زمان لازم برای رسیدن رانش مقاوم به حداکثر میزان خود است. کاهش این بازه زمانی باعث کاهش تعداد سیکل‌های بارگذاری است. مقدار  $X$  در مدل عددی  $0.25 \times 10^{-3} m/sec$  می‌باشد.



شکل ۱۰- تأثیر سرعت تغییر مکان دیوار بر توزیع فشار مقاوم خاک بر دیوار در اعماق مختلف (حالت T)

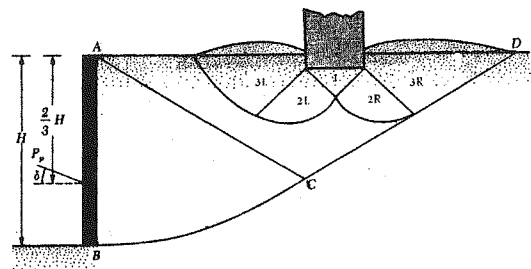
#### ع-۵- مقایسه مقادیر حداقل و حداکثر رانش

در این قسمت مقادیر حداکثر و حداقل رانش مقاوم برای مقایسه با حالت استاتیکی در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- مقایسه توزیع رانش مقاوم در حداقل و حداکثر سربار و سربار استاتیکی 50 kpa (حالت T)

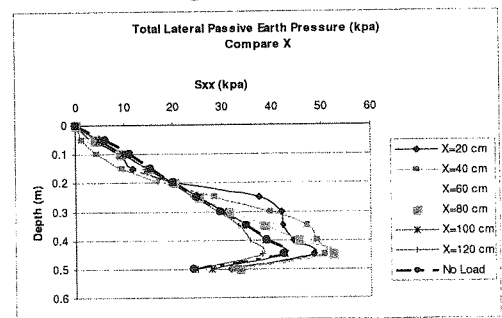
همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، اعمال



شکل ۷- نواحی گسیختگی برشی زیر پی و گوه گسیختگی برای حالت رانش مقاوم

#### ع-۲- تأثیر فاصله نوار بارگذاری

با زیاد شدن فاصله سربار از دیوار، مقدار نیروی رانش مقاوم کل کاهش می‌یابد. فاصله محل اثر نیروی برآیند نیز نسبت به قاعده دیوار ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد. شکل (۸) نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد.

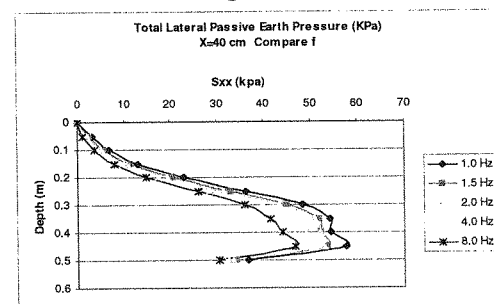


شکل ۸- تأثیر فاصله سربار بر توزیع فشار مقاوم خاک بر دیوار در اعماق مختلف (حالت T)

در حالتی که صفحه بارگذاری در فاصله ۲۰ سانتیمتری دیوار قرار گرفته باشد، به علت نزدیکی زیاد صفحه به دیوار و افزایش ناحیه تأثیر سربار بر دیوار، رانش مقاوم در ارتفاع بیشتری از دیوار اثر می‌کند.

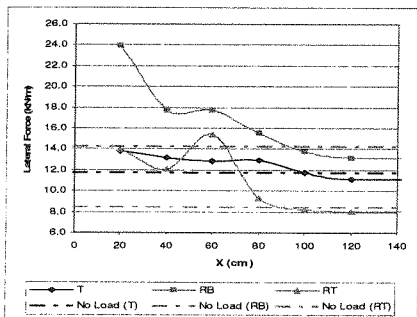
#### ع-۳- تأثیر فرکانس بارگذاری

در شکل (۹) تأثیر تغییر فرکانس بارگذاری بر رانش وارده بر دیوار و نقطه اثر آن مشاهده می‌شود.



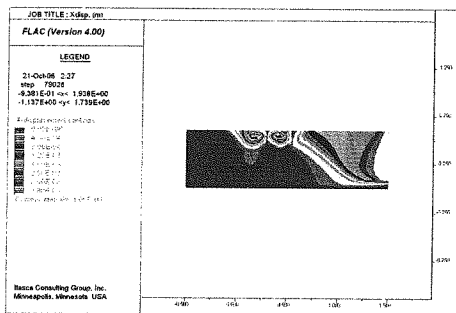
شکل ۹- تأثیر فرکانس بارگذاری بر توزیع فشار مقاوم خاک بر دیوار در اعماق مختلف (حالت T)

بارگذاری سیکلی باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار رانش مقاوم نسبت به حالت سربار استاتیکی می‌شود. علت این اختلاف زیاد در این است که به علت ماهیت سیکلی سربار، گوه گسیختگی برای زمانی که سربار به حداقل میزان خود می‌رسد تشکیل می‌شود و به همین دلیل گوه گسیختگی بسیار کوچکتر از زمانی است که بار به صورت ثابت اعمال می‌شود. شکل (۱۲) گویای تأثیر بارگذاری سیکلی بر روی ابعاد گوه گسیختگی است.



شکل ۱۴- تأثیر نوع تغییر مکان دیوار بر مقدار نیروی وارده بر دیوار

علت کاهش رانش در فاصله ۱۲۰ سانتیمتر از دیوار این است که نواحی گسیختگی ایجاد شده در زیر صفحه بارگذاری بر روی گوه گسیختگی خاک پشت دیوار تأثیر می‌گذارد. برای روشن شدن بیشتر موضوع در شکل (۱۵)، تغییر مکان افقی خاک را برای بارگذاری در فاصله  $X=120$  cm از دیوار ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فاصله  $X=120$  cm، همچنان گوه گسیختگی متأثر از صفحه بارگذاری است.

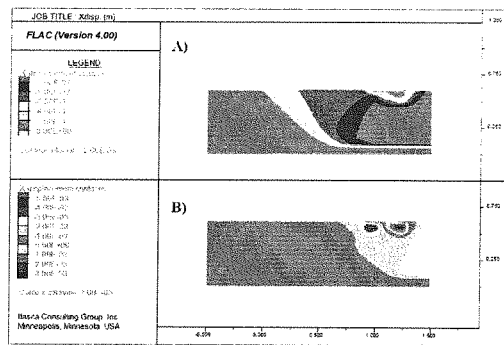


شکل ۱۵- بررسی تأثیر پذیری گوه گسیختگی از صفحه بارگذاری در فاصله  $X=120$  cm

### ۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اعمال سربار سیکلی قائم به سطح خاکریز باعث ایجاد رانش سیکلی روی دیوار حائل می‌شود. در صورتی که سربار قائم از مقدار حداقل تا حداکثر مقدار خود در سیکل‌های مختلف تغییر نماید، فشارهای جانبی بین حداقل و حداکثر در هر سیکل تغییر می‌کند. علیرغم اینکه مقادیر حداقل و حداکثر سربار قائم در سیکل‌های مختلف یکسان و ثابت می‌باشند، لیکن مقادیر حداقل و حداکثر رانش ثابت نبوده و در سیکل‌های مختلف تغییر می‌نماید. عواملی همچون فرکانس بارگذاری، سرعت بارگذاری و عمق مورد بررسی از دیوار بر رانش مقاوم مؤثر است. با افزایش تعداد سیکل بار، مقادیر حداقل و حداکثر فشار جانبی

بارگذاری سیکلی باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار رانش مقاوم نسبت به حالت سربار استاتیکی می‌شود. علت این اختلاف زیاد در این است که به علت ماهیت سیکلی سربار، گوه گسیختگی برای زمانی که سربار به حداقل میزان خود می‌رسد تشکیل می‌شود و به همین دلیل گوه گسیختگی بسیار کوچکتر از زمانی است که بار به صورت ثابت اعمال می‌شود. شکل (۱۲) گویای تأثیر بارگذاری سیکلی بر روی ابعاد گوه گسیختگی است.



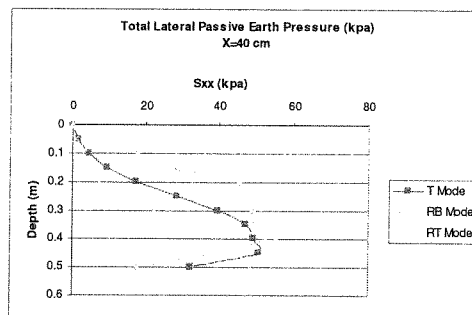
شکل ۱۲- تغییر مکان افقی خاک پشت دیوار با وجود

(a) سربار استاتیکی (b) ماکزیمم سربار سیکلی (حالت T)

### ۶-۴- مقایسه نتایج بدست آمده برای حالات مختلف

#### تغییر مکان دیوار

به منظور مقایسه نتایج بدست آمده در سه حالت انتقال (T)، دوران حول راس (RT)، دوران حول پایه (RB)، نتایج بدست آمده در یک گراف در کنار هم قرار داده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت RB رانش مقاوم بیشترین میزان را در بین سه حالت بررسی شده دارد ولی نقطه اثر آن نسبت به دو حالت دیگر در ارتفاع بیشتری اثر می‌کند.



شکل ۱۳- تأثیر نوع تغییر مکان دیوار بر توزیع فشار مقاوم خاک بر دیوار در اعماق مختلف

به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که اگر سربار سیکلی در فاصله‌ای بیشتر از دو برابر ارتفاع دیوار از دیوار بر روی خاک اعمال شود، رانش (نسبت به رانش مقاوم در حالت

بسته به عمق، افزایش یا کاهش می‌یابد. سرعت کاهش مقادیر حداقل و حداکثر رانش به تدریج با افزایش سیکل‌ها، کاهش یافته و همانطور که سیکل‌های بارگذاری ادامه می‌یابد، این تغییرات کند شده و رانش بوجود آمده به طرف مقادیر ثابت و یکسانی میل می‌نماید.

با ازدیاد شدت سربار قائم سیکلی، مقدار رانش نیز افزایش می‌یابد. شدت سربار تاثیر چندانی بر شکل توزیع رانش و همچنین محل اثر نیروی برآیند ندارد. هر چه سربار سیکلی به دیوار نزدیکتر شود، رانش سیکلی وارد به دیوار حائل نیز افزایش می‌یابد. محل اثر نیروی برآیند به فاصله سربار تا دیوار بستگی دارد. هر چه سربار به دیوار نزدیکتر شود، فاصله محل اثر نیروی برآیند تا پای دیوار حائل افزایش می‌یابد. با افزایش فاصله و دور شدن سربار از دیوار، مقدار فشار جانبی خاک در ابتدا به شدت کاهش یافته و در صورتی که فاصله سربار از دیوار بیشتر شود، شیب نمودار کاهش می‌یابد. چنانچه سربار به مقدار قابل ملاحظه‌ای از دیوار دور شود، رانش کل وارد به دیوار حائل برابر رانش حاصل از خاک در

جدول ۱- مشخصات در نظر گرفته شده برای مدل عددی

| فرکانس بارگذاری | فاصله صفحه تا دیوار (cm) | عرض صفحه بارگذاری (cm) | مقدار سربار (kpa) | وزن مخصوص (kN/m <sup>3</sup> ) | زاویه اصطکاک داخلی |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------|
| ۴               | ۴۰                       | ۲۰                     | ۵۰                | ۱۵/۳۰                          | ۲۶/۵               |

## ۷- مراجع

- [۱] شریفزاده اصلی، مسعود؛ مطالعه عددی رانش مقاوم خاک تحت اثر سربارهای سیکلی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۵.
- [۲] نیکخواه شه میرزادی، محمود؛ مطالعه رانش خاک بر دیوار حائل تحت اثر سربارهای سیکلی، پایان‌نامه دکتری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۲.
- [۳] Sherif, M. M. and R. D. Mackey (1977), "Pressure on Retaining Wall With Repeated Loading", J. Geot. Eng. ASCE, Vol. 103, No. 11, 1341-1343.
- [۴] Mir Mohammad Hosseini, S. M. (1996), "Earth Pressure Variations Under Cyclic Surcharges", Geotechnical and Strength of Material Journal, 73(10), 5-11.

## ۸- زیر نویس

<sup>1</sup> FLAC 2D-Fast Lagrangian Analysis of Continua  
v4.0.307 S/N: 213-001-0000