

# محاسبه فشار فعال ناشی از سربار خطی بر دیوارهای صلب

محقق: احمدآبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه تربیت معلم تهران

Ahmadabadi.m@gmail.com

## خلاصه:

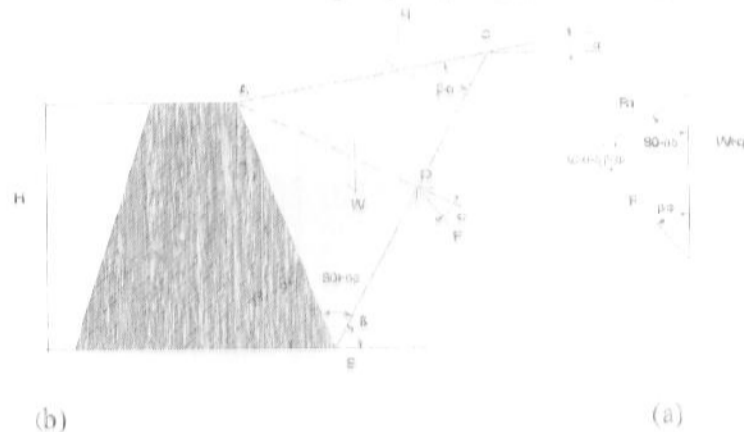
در محاسبات فشار فعال وارده بر دیوار تحت اثر سربار خطی، صورتی از فرض الاستیک استفاده می‌گردد. برای این امر از فرمول بوسینسک استفاده می‌شود. در این مقاله با فرض محیط الاستو پلاستیک فرمولاسیون جدیدی برای تاثیر سربار خطی روی دیوار ارائه گردیده است که فرضیات همان فرضیات کولمب می‌باشد. در نهایت فرمولاسیون نیروی کل وارده را بر روی دیوار را بدست می‌دهد. در ادامه بر نامه ای بر نرم افزار MATLAB ارائه گردیده است که به وسیله آن می‌توان بهینه‌ترین زاویه اصطکاک خاک و دیوار را تعیین کرد. با نیروی وارده بر دیوار حداقل کرده. در نهایت مصالح فصل مشترک خاک و دیوار را طوری تعیین کرد که با زاویه بون بودک گردیده‌ترین به این نتیجه رسیدیم که با افزایش زاویه اصطکاک خاک و دیوار تا مقدار مشخصی نیروی وارده روی دیوار کم می‌گردد. بعد از آن نیروی وارده دوباره شروع به افزایش می‌کند. همچنین فاصله ای که سربار می‌تواند روی دیوار تاثیر گذارد بصورت جدولی ارائه گردیده است. حالت فرض محیط الاستیک توزیع تنش توسط بوسینسک روی دیوار ارائه گردید ولی در این مقاله توزیع تنش وارد با وجود سربار خطی بصورت کلی در خاک پشت دیوار و هم‌اثر سربار با فرض محیط الاستو پلاستیک ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: فشار وارده بر دیوار، سربار خطی، محیط الاستو پلاستیک، محیط الاستیک

## مقدمه:

رابطه کولمب در حدود دو قرن پیش ارائه شد و بر مبنای نظریه سطح گسیختگی صفحه‌ای ارائه گردید. این رابطه برای خاکهای دانهای که مقاومت جرمی آنها در سطح گسیختگی از رابطه  $t = \sigma \tan \phi$  به دست می‌آید و خاک به عنوان یک محیط پلاستیک بررسی می‌گردد ارائه گردید. در رابطه حاصله از نظریه کولمب پارامترهای زیر دخیل می‌باشند: زاویه اصطکاک خاک  $\phi$ ، زاویه اصطکاک خاک با دیوار خاکریز  $\delta$ ، شیب سطح خاکریز  $\alpha$  - شیب پایین دست دیوار  $\theta$  در روش کولمب با سطح گسیختگی همان محیط مثلث تعادل تشکیل داده و برای هر گوه آزمایشی نیروی  $p_a(\beta)$  محاسبه کرده و بعد در دستگاه مختصات رسم کرده و ماکزیمم آنها انتخاب شد. به عنوان مثال وارد بر دیوار مورد نظر معرفی می‌گردد.

فرمولاسیون محاسبه فشار ناشی از سربار خطی بر مبنای تعادل بندی:



شکل 1- معادل نیروها بر گوه گسیختگی با اثر سربار خطی در داخل گوه

با توجه به قانون سینوسها در شکل (a) 4 داریم:

$$\frac{W - q}{\sin(90 + \theta + \delta - \beta + \phi)} = \frac{P_{a2}}{\sin(\beta - \phi)} \quad 1$$

$$P_{a2} = \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(90 + \theta + \delta - \beta + \phi)} (W - q) \quad 2$$

با توجه به شکل (b) 4 داریم:

$$W = \frac{1}{2} (AD)(\bar{K}) \quad 3$$

با توجه به 1 و 2

$$AD = H \frac{\cos(\theta - \beta)}{\cos(\theta)} \quad 4$$

با توجه به 3 و 4

$$\bar{K} = \frac{H \cos(\theta - \alpha)}{\cos(\theta) \sin(\beta - \alpha)} \quad 5$$

با قراردادن 5 داریم:

$$W = \frac{1}{2} H^2 \frac{\cos(\theta - \beta) \cos(\theta - \alpha)}{\cos^2(\theta) \sin(\beta - \alpha)} \quad 6$$

$$P_{a2}(\beta) = \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(90 + \theta + \delta - \beta + \phi)} \left[ \frac{1}{2} H^2 \frac{\cos(\theta - \beta) \cos(\theta - \alpha)}{\cos^2(\theta) \sin(\beta - \alpha)} + q \right] \quad 7$$

8

$$f(\beta) = \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(90 + \theta + \delta - \beta + \phi)}$$

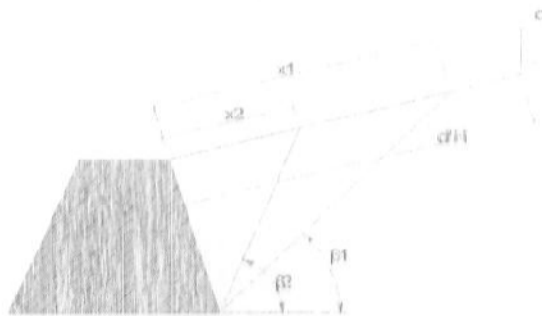
9

$$g(\beta) = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos(\theta - \alpha)}{\cos^2(\theta) \sin(\beta - \alpha)}$$

10

$$P_{a2}(\beta) = [f(\beta)] \left[ \frac{1}{2} H^2 g(\beta) + q \right]$$

در فرمول 10 مقادیر  $\delta, \phi, \theta, \alpha, h, q$  ثابت هستند و  $\beta$  تغییر می‌کند حال با بررسی  $\beta$  برای مختلف ماکزیمم  $P_{a2}(\beta)$  را محاسبه یا از طریق  $\frac{dP_{a2}(\beta)}{d\beta}$  را به دست آورده و با به دست آمدن  $\beta$  می‌توان فاصله AC و متناظرا مقدار عددی بدون بعد  $\frac{AC}{H}$  را به دست آورد.



شکل 1- گونه‌ها در حالت وجود سربار جزی

با وجود سربار، زاویه بحرانی  $\beta_2$  می‌باشد و بدون اثر سربار زاویه بحرانی  $\beta_1$  می‌باشد.

در شکل 2 داریم:

$$x_1 = \frac{AC_1}{H}$$

$$x_2 = \frac{AC_2}{H}$$

با وجود سربار در محدوده های مختلف صورت گرفته به حالت زیر را داریم:

$$(1) \Rightarrow \frac{d}{H} \leq x_2$$

$$(2) \Rightarrow x_1 \leq \frac{d}{H} \leq x_2$$

$$(3) \Rightarrow \frac{d}{H} \geq x_1$$

اگر حالت یک رخ دهد آنگاه دو حالت اتفاق می افتد ابتدا  $P_{a_1}(\max)$  بدون سربار محاسب و در حالت دوم هم  $P_{a_2}(\beta)$  را با همانطور که گفته شد در حالت 3 مانند قبل عمل کرده و اول در حالت 1 چون گاملا در محدوده گره گسیختگی قرار دارد پس اثر سربار لحاظ نشده و باید  $P_{a_2}(\beta)$  از حالت با سربار محاسبه گردد و  $\max$  آن یعنی  $P_{a_1}$  به عنوان نیروی وارد بر دیوار لحاظ شود.

اما اگر حالت 2 رخ دهد یعنی بر محدوده  $x_1$  و  $x_2$  آنگاه باید زاویه  $\beta$  را محاسبه کرد که حاصل اثر نیرو می باشد و دیگر نمی توان مقدار  $\max$   $P_{a_2}(\beta)$  را لحاظ کرد چون در آن گره گسیختگی قرار نگرفته و بر یک گره گسیختگی دیگری در محدوده  $x_1$  و  $x_2$  قرار دارد که بهترین آن دقیقا گوه ای است که سربار در مرز آن واقع شده باشد یعنی زاویه ای که بصورت زیر محاسبه می شود.

$$\tan(\beta) = \frac{d \sin(\alpha) + H}{d \cos(\alpha) - H \tan(\theta)} \quad (11)$$

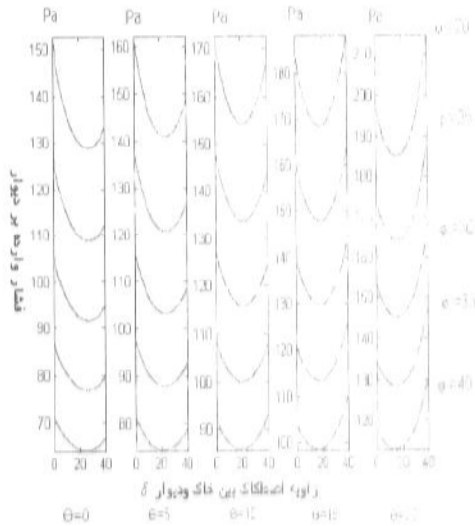
$$\beta = \text{Arc tan} \frac{d \sin(\alpha) + H}{d \cos(\alpha) - H \tan(\theta)} \quad (12)$$

بعد از محاسبه  $\beta$  زاویه گوه به دست آمده، در فرمول  $P_{a_2}(\beta)$  گذاشته و  $P_{a_1}$  محاسبه می گردد که مقدار آن بیشتر از حالت بدون سربار و کمتر از حالت با سربار می باشد چون گوه گسیختگی دیگری در نظر گرفته شده است.

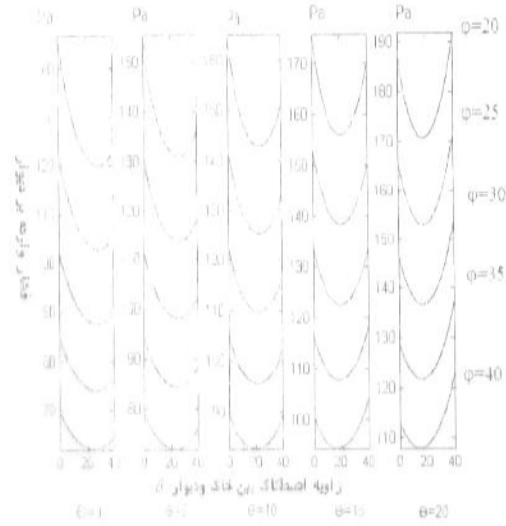
روش گام به گام حل فشار وارد بر دیوارها با وجود سربار خطی:

- 1- ابتدا مقدار بدون بعد  $\frac{AC}{H}$  را محاسبه کرده و با داشتن مقدار  $H$  مقدار عددی  $AC_1$  را به دست آورده.
- 2- یا در نظر گرفتن اثر سربار گوه مقدار  $P_{a_1}$  را که  $\max$   $P_{a_2}(\beta)$  می باشد را هم محاسبه کرده و  $P_2$  را به دست می آوریم و مقدار  $AC_2$  را به دست آورده.
- 3- بدون اثر سربار مقدار  $P_{a_1}$  را که  $\max$   $P_{a_2}(\beta)$  است را هم محاسبه کرده و  $\beta_1$  را بدست می کنیم.
- 4- اگر  $d < AC_2$  باشد، آنگاه از فرمول  $P_{a_2}$  محاسبه شده.
- 5- اگر  $d > AC_2$  باشد، آنگاه نیروی وارد بر این ماکزیمم دو مقدار  $P_{a_1}$  و  $P_{a_2}(\beta)$  محاسبه می گردد.

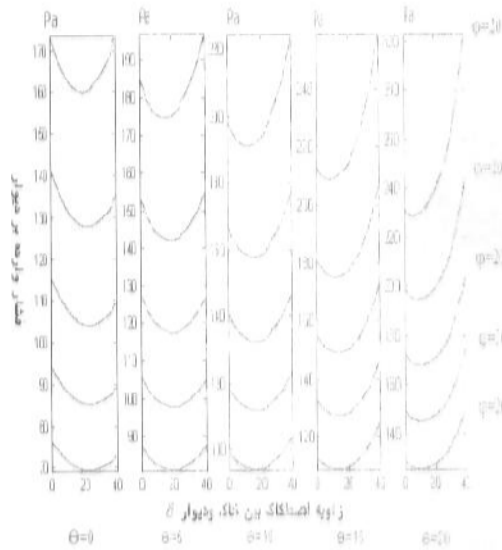
تأثیر  $\delta, \phi, \theta, \alpha$  بر نیروی وارد بر دیوار:



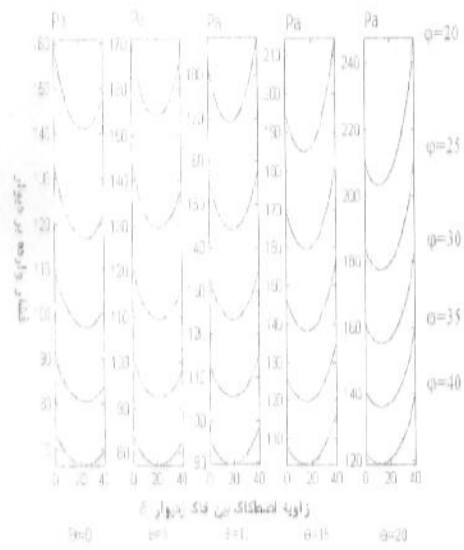
شکل 3- فشار وارد بر دیوار برای  $\alpha = 0$



شکل 4- فشار وارد بر دیوار برای  $\alpha = 25$



شکل 5- فشار وارد بر دیوار برای  $\alpha = 15$



شکل 6- فشار وارد بر دیوار برای  $\alpha = 10$

در گرافهای نشان داده شده در بالا، گرافهای در  $\alpha$  نمودار رسم شده است که در نمودار اول تغییرات  $\delta$  زاویه اصطکاک در مقابل  $p_a$  برای  $\theta = 0.20$  و در حالت  $\alpha = 0$  رسم شده و در نمودارهای 2 و 3 و 4 این گرافها برای  $\alpha$  های 5 و 10 و 15 ترسیم گردیده است. هدف از انجام این مرحله این است که بتوان مشخص کرد که تغییرات  $\theta, \delta, \alpha, \phi$  در مقدار  $p_a$  چه تاثیری دارد. حالت به نکات استخراج شده در زیر می پردازیم:

- 1- با افزایش مقدار  $\phi$  کاهش قابل ملاحظه ای در زاویه  $\alpha$  تاثیر چندانی در افزایش  $p_a$  ندارد ولی در کل با افزایش  $\alpha$  هم افزایش می یابد.
- 3- با افزایش  $\theta$  مقدار  $p_a$  هم افزایش می یابد.
- 4- با افزایش  $\delta$  مقدار  $p_a$  کاهش یافته با مرحله ای و بعد از آن دوباره افزایش پیدا می کند.

محاسبه  $\delta$  و  $\theta$  برای کمترین فشار فعال وارد بر دیوار :

با توجه به قسمت قبلی که مشخص شد  $\delta$  ای وجود دارد که کمترین نیروی وارد بر دیوار را پس دهد و بعد از آن  $\delta$  فشار وارده شروع به افزایش می کند می توان نتیجه گرفت که  $\delta$  بحرانی وجود دارد که کمترین فشار وارده را نتیجه می دهد حال برای بدست آوردن ای زاویه در یک پروژه که بتوانیم کمترین فشار وارده را بدست آوریم به فرار زیر عمل می کنیم:

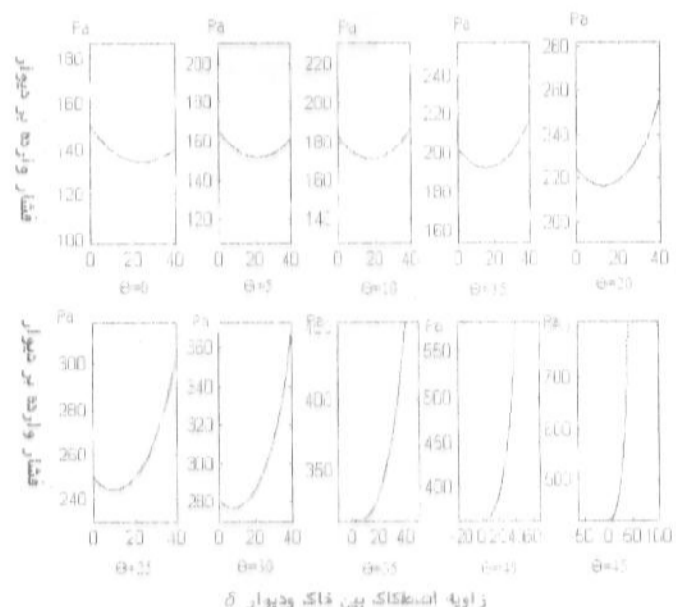
با رسم نمودارهای مرتبط برای زاویه اصطکاک  $\phi$  مسئله و وزن مخصوص خاک و ارتفاع دیوار  $H$  و مقدار تریبار خطی و زاویه شیب زمین  $\alpha$  نمودارهای مختلف را برای  $\delta$  از صفر تا 40 درجه قرار می دهیم و مد بدست به نوع  $\theta$  انتخابی بهترین زاویه اصطکاک خاک و دیوار را انتخاب می کنیم و از مصالحی استفاده کرده این زاویه اصطکاک را حاصل شده و بسته به آن کمترین نیروی وارد بر دیوار بدست می آید و بعد با استفاده از نمودار عمودی مقدار  $P_{0v}$  حاصل می شود به عنوان مثال داریم:

$$\gamma=30, \alpha=10, \phi=30, q=20 \text{ KN/m}, H=6 \text{ m}$$

```

clc
clear
h=6;
q=20;
o=30;
r=10;
m=0;
y=30;
for e=0:5:45
    m=m+1;
    for t=0:1:40
        for i=10:(90-e)
            p(i)=(q*5*(h^2)*gamma*(cos(i*(pi/180)-e-r*(pi/180)+o*(pi/180))*sin(i*(pi/180)-y*(pi/180)))/((cos(e*(pi/180)-r*(pi/180)+o*(pi/180))*sin((90+e-t-i)*(pi/180))+tan(i*(pi/180)-y*(pi/180))/sin((90+e+t-i)*(pi/180)));
        end
        l=0;
        max=p(10);
        for j=10:(90-e-1)
            if p(j+1)>p(j)
                max=p(j+1);
                l=j+1;
            end
        end
        axis equal
        subplot(2,5,m)
        plot(t,max)
        hold on
    end
end

```



شکل 7- فشار وارده بر دیوار برای  $\phi=30, \alpha=10, \gamma=30, q=20$

تأثیر فاصله سربار از دیوار در مقدار نیروی وارد بر دیوار:

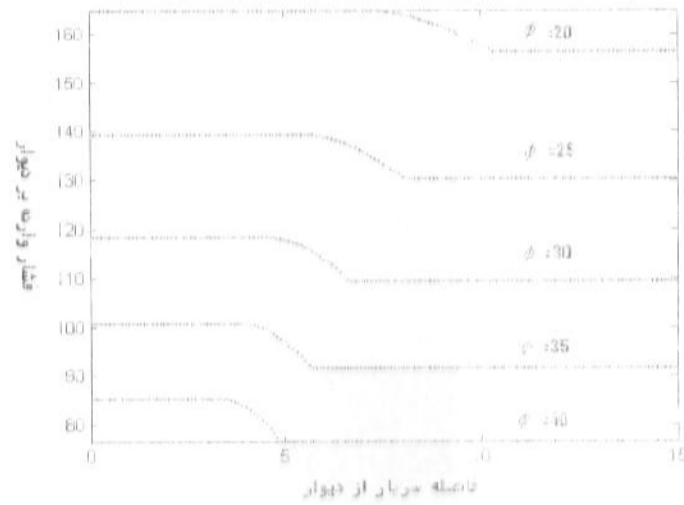
1- تأثیر سربار در فاصله  $l$  (فاصله سربار از دیوار) در مقادیر مختلف سربار ثابت است. هرچه  $\phi$  بیشتر گردد فاصله تأثیر سربار کمتر می‌شود و در پایین تأثیر  $\phi$  در سربار تا  $7.5H$  می‌رسد.

2- هرچه  $\phi$  بیشتر گردد فاصله تأثیر سربار بیشتر می‌گردد و تا حدود  $5H$  می‌رسد.

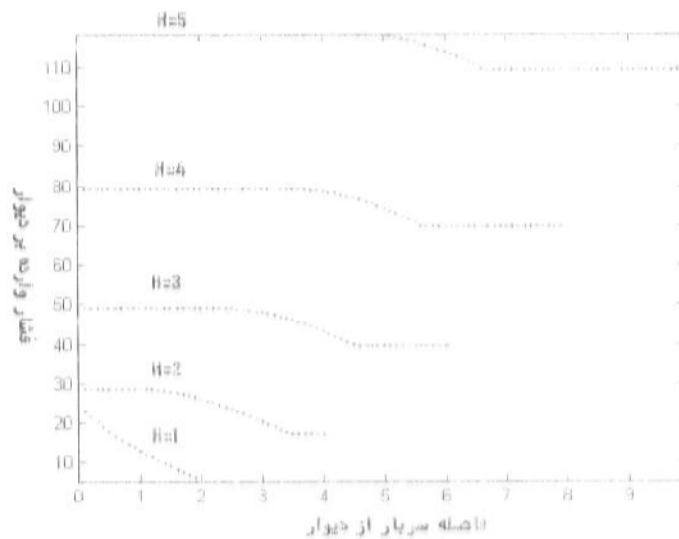
3- هرچه  $\alpha$  بیشتر گردد فاصله تأثیر سربار بیشتر می‌گردد و تا حدود  $1.8H$  هم می‌رسد.

4- هرچه  $h$  بیشتر گردد فاصله تأثیر سربار کمتر می‌گردد و تا حدود  $1.4H$  می‌رسد.

5- در جداول زیر در بازه‌های مختلف زاویه اصطکاک،  $\alpha$  و  $11$  و  $12$  بازه تأثیر سربار ارائه شده است.



شکل 8- تغییرات فشار وارد بر دیوار برای فواصل مختلف سربار تحت تأثیر تغییر بودن  $\phi$



شکل 9- تغییرات فشار وارد بر دیوار برای فواصل مختلف سربار تحت تأثیر تغییر بودن  $h$

جدول 1- فاصله تاثیر دربار خطی برای تغییرات  $\phi$

$\phi$	11-15	15-20	20-25	25-30
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-5)H	(0-2.5)H	(0-1.45)H	(0-1.15)H
بازه عدم تاثیر سربار	>7.5H	>3.1H	>2.05H	>1.6H

$\phi$	30-35	35-40	40-45	45-50
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-3.5)H	(3-8)H	(0-7)H	(0-6)H
بازه عدم تاثیر سربار	>4.3H	>1.15H	>H	>.85H

جدول 2- فاصله تاثیر سربار خطی برای تغییرات  $q$

$q$ شدت سربار خطی	0-20	20-40	40-60	60-80
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-8)H	(0-7.5)H	(0-7)H	(0-6)H
بازه عدم تاثیر سربار	>1.2H	>1.3H	>1.4H	>1.45H

$q$ شدت سربار خطی	80-100	100-120	120-140	140-160
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-5)H	(0-4)H	(0-3)H	(0-2)H
بازه عدم تاثیر سربار	>1.55H	>1.55H	>1.6H	>1.65H

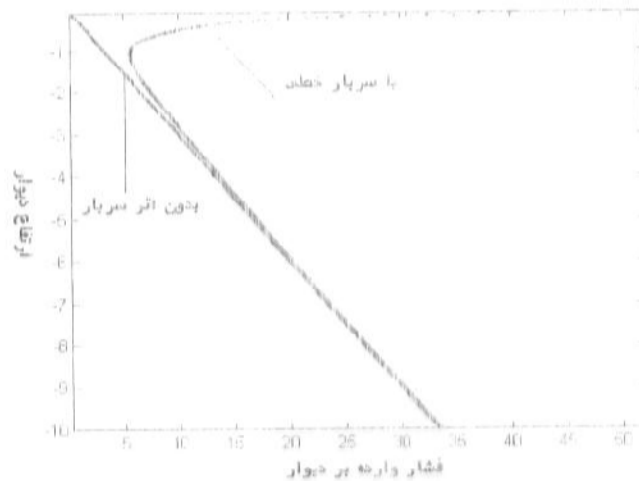
جدول 3- فاصله تاثیر سربار خطی برای تغییرات H

H ارتفاع دیوار	4m	5m	6m	7m	8m
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-9)H	(0-9)H	(0-9)H	(0-92)H	(0-92)H
بازه عدم تاثیر سربار	>1.43H	>1.4H	>1.37H	>1.34H	>1.3H

H ارتفاع دیوار	9m	10m	11m	12m	13m
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-93)H	(0-94)H	(0-95)H	(0-96)H	(0-96)H
بازه عدم تاثیر سربار	>1.29H	>1.26H	>1.23H	>1.2H	>1.17H
H ارتفاع دیوار	14m	15m	16m	17m	
بازه ماکزیمم تاثیر سربار	(0-97)H	(0-98)H	(0-98)H	(0-98)H	
بازه عدم تاثیر سربار	>1.15H	>1.12H	>1.12H	>1.12H	

### توزیع تنش با وجود سربار خطی:

توزیع تنش در حالت سربار خطی در فرمول بوسینیسک نشان داده شده است. اما در فرمول بوسینیسک خاک بصورت یک محیط الاستیک در نظر گرفته شد پس نتایج نمی تواند به واقعیت نزدیک باشد. اما در این مقاله خاک بصورت یک محیط الاستوپلاستیک در نظر گرفته شده است. پس نتایج میتواند بسیار نزدیک تر از حالت الاستیک باشد. توزیع تنش نشان داده شده در فرمول بوسینیسک فقط تحت اثر سربار خطی بود و توزیع تنش تحت فشار خاک در نظر گرفته نمی شد. اما در این قسمت توزیع تنش تحت اثر سربار و خاک پشت دیوار هر دو با هم حاصل میگردد. در شکل زیر فشار وارد بر دیوار بصورت دو گراف نشان داده شده که یکی مربوط به حالت بدون اثر سربار و دیگری مربوط به وجود اثر سربار و فشار خاک با هم میباشد.



شکل 10- توزیع تنش در حالت وجود اثر سربار و بدون اثر سربار

#### نتیجه گیری:

فشار فعال خاک بر روی دیوار توسط محققین گذشته از جمله آولسب و رانگن مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله فرمولاسیون جدیدی برای حالت تاثیر سربار خطی که به فاصله  $d$  از بالای دیوار قرار گرفته ارائه شده است. سربار خطی را می توان سوارد کاربرد آن را بصورت دیوارهایی که در بالای یک دیوار حائل واقع شده اند یا بارگذاری هایی که برپای بصورت خطی عمل می آید و اثر آنها را بر دیوارهای وولها یا مترو های که در پائین دست واقع شده اند یا مقدمه ای برای سربار نواری که تنها نیاز به یک اشتغال گیری دارد را بررسی کرد. در ضمن خاک بصورت محیط الاستو پلاستیک در نظر گرفته شده است. در مرحله بعدی اثر سربار روی دیوار مورد نظر قرار گرفت و گونه بحرانی آن یا فرمولاسیون ارائه شد. به نسبت اند فرمول فوق نیروی برآیند وارد بر دیوار با اثر سربار خطی می باشد در قسمت دیگر به بررسی تغییرات  $\delta$  و  $\theta$  پرداخته شد و مشخص شد که هر چه  $\theta$  بیشتر گردد فشار وارد بیشتر میگردد ولی اگر  $\delta$  زیاد شود این فشار تا مقدار  $\delta$  مشخصی کاهش پیدا می کند. با افزایش  $\delta$  دوباره شروع به افزایش مقدار فشار وارد می کند. پس به این نتیجه می توان رسید که مقدار  $\delta$  ای وجود دارد که بهینه ترین مقدار میباشد. در قسمت دیگری به تاثیر فاصله سربار پرداخته شده است و به این نتیجه می رسد که در چه فاصله از بالای دیوار سربار واقع شود که هیچ تاثیری روی دیوار نداشته باشد که این فاصله ضریبی از ارتفاع دیوار می باشد و در نمودارهای این بخش مشخص شده است که در فاصله ای مشخص تاثیر سربار حداکثر و بعد از آن فاصله شروع به کم شدن می کند و در نهایت به یک مقدار ثابت می رسد که دیگر وجود سربار تاثیر پذیر نمی باشد و چنانچه نشان می دهد که در چه فاصله ای تاثیر سربار وجود دارد و حدود بالا و پایین آنها مشخص است. در انتها به بررسی توزیع تنش در طول دیوار پرداخته شده است که اگر سربار وجود نداشته باشد توزیع تنش بصورت خطی می باشد و با تاثیر سربار توزیع آن ابتدا بصورت منحنی و بعد از آن بصورت خطی نمایش داده می شود.

#### مراجع:

1-VEANAZIO R. GRECO

Departement of Structural Engineering, university of Calabria, 87036 Rende (Cs), Italy

(Received 21 September 2004 ; accepted 11 February 2005)

2-Arango, I. (1969) Personal communication to Seed and Whitman, reported in Seed, H. H. and Whitman, R. V., (1970) Design of earth retaining structures for dynamic loads. Proceedings of ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in Ground and Design of earth retaining Structures. Cornell University, Ithaca, NY, pp. 103-147.

3-Coulomb, C. A. (1773), Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques Problèmes de statique relatifs à l'architecture, Mémoires de savants étrangers de l'Académie des Sciences de Paris, V. 7.

4-Georgiadis, M. and Anagnostopoulos, C. (1998) Lateral Pressure on sheet pile walls due to Strip load, J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE, 124(1), 95-98.

5-Greco, V. R. (1999) Active earth thrust on cantilever walls in general conditions, Soils Found. 39(6), 65-78.

6-Greco, V. R. (2003) Pseudo-static analysis for earth thrust computations, Soils Found. 43(2), 122-140.