به نام خدا



سایت گروه آموزشی آلم

ابتدایی، راهنمایی، دبیرستان، کنکور و دانشگاه

www.g-alm.ir	
www.g-alm.ir/ac	دانشگاه
www.g-alm.ir/forum	انجمن
www.g-alm.ir/azmoon	آزمون های آلم
www.g-alm.ir/shop	فروشگاه
www.film.g-alm.ir	فیلم های آموزشی



www.AMS.ir
عبدالمتین ستایش

فصل ۹:

فشار جانبی خاک

جزوه درس مکانیک خاک (کارشناسی مهندسی عمران)



Website: www.AMS.ir
Email1: a_matin_s@yahoo.com
Email2: Setayesh@outlook.com
Edition: 02, 08/1390
Copyright: Abdul Matin Setayesh
Filename: SoilMech_Ch9

نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق سایت شخصی و یا پست الکترونیک با مولف در میان بگذارید.

آخرین ویرایش: آبان نود (ویرایش دوم)

فهرست مطالب فصل نهم:

۹–۱	مقدمه
۹–۲	فشار خاک در حالت سکون
۹–۳	فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت محرک
۹–۴	فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت مقاوم **(Passive)**
–	منابع و مراجع

www.g-alm.ir

۹–۱ مقدمه

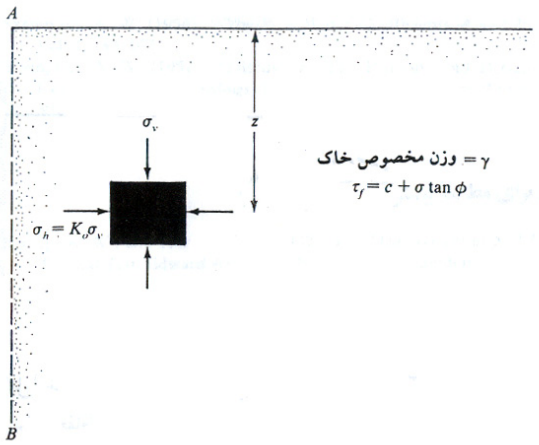
سازه های حائل خاک نظیر دیوارهای حائل، دیوارهای زیرزمین و دیوارهای ساحلی که در مهندسی پی برای حفاظت جداره شیروانی های خاکی مورد استفاده قرار می گیرند، تحت تاثیر فشارهای رانشی خاک قرار دارند. طرح صحیح این دیوارها ایجاب می کند که شناخت دقیقی از فشار جانبی ایجاد شده بین خاک و سازه داشته باشیم.

۹–۲ فشار خاک در حالت سکون

توده خاکی مطابق شکل ۹-۱ در نظر گرفته می شود. سمت چپ این توده خاک، محدود به دیوار بدون اصطکاک **AB** می باشد که تا عمق بینهایت ادامه دارد. یک جزء کوچک در عمق **z**، تحت فشار قائم σ_v و فشار افقی σ_h قرار دارد. برای حالت تحت مطالعه، σ_v و σ_h هم می توانند فشار موثر و هم می توانند فشار کل باشند. هیچگونه تنش برشی در صفحات قائم و افقی وجود ندارد.

اگر دیوار **AB** ساکن باشد، یعنی هیچگونه حرکتی به سمت چپ یا راست نسبت به وضعیت اولیه نداشته باشند، توده خاک در حالت تعادل الاستیک خواهد بود. در چنین حالتی، نسبت تنش افقی به تنش قائم، ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون نامیده شده و با K_o نشان داده می شود:

$$K_o = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \qquad (۹-۱)$$



شکل ۹–۱ فشار خاک در حالت سکون

چون $\sigma_v = \gamma \cdot z$ است، می توان نوشت:

$$\sigma_h = K_o(\gamma \cdot z) \qquad (۹-۲)$$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

ضریب فشار جانبی K_o به صورت زیر بدست می آید:

خاک چسبنده	خاک رسی عادی تحکیم یافته	$K_o = 0.95 - \sin\varphi$	(۳-۹)
	خاک رس پیش تحکیم یافته	$K_o = (0.95 - \sin\varphi) \times \sqrt{OCR}$	(۴-۹)
خاک دانه ای	ماسه شل و معمولی	$K_o = 1 - \sin\varphi$	(۵-۹)
	ماسه متراکم	$K_o = 1 - \sin\varphi + \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_{dmin}} - 1\right) \times 5.5$	(۶-۹)

که در این روابط:

φ = زاویه اصطکاک داخلی خاک

OCR = نسبت پیش تحکیم

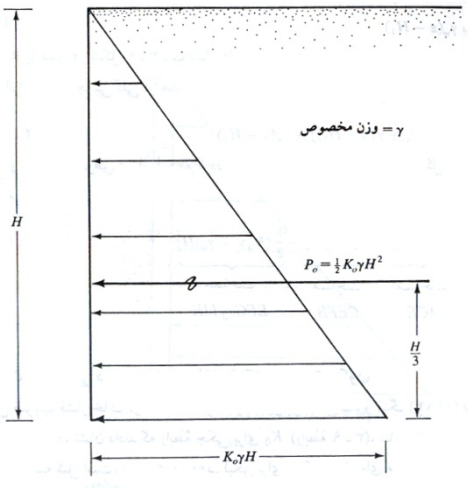
γ_d = وزن مخصوص خشک ماسه

γ_{dmin} = حداقل وزن مخصوص خشک ماسه

فشار جانبی در حالت سکون برای خاک خشک

شکل ۹-۲ توزیع فشار خاک در حالت سکون بر روی دیواری به ارتفاع **H** را نشان می دهد. نیروی کل بر واحد عرض دیوار P_o، مساوی سطح زیر نمودار فشار می باشد. بنابراین:

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 \qquad (۷-۹)$$



شکل ۹-۲ توزیع فشار خاک در حال سکون بر روی دیوار

فشار جانبی در حالت سکون برای خاک غوطه ور یا نیمه غوطه ور

شکل ۹-۳-الف یک دیوار به ارتفاع **H** را نشان می دهد. سطح آب زیرزمینی در عمق H_1 از سطح زمین قرار دارد. برای $z \le H_1$ فشار جانبی خاک در حالت سکون از رابطه $\sigma_h = K_o \gamma z$ به دست می آید. تغییرات σ_h با عمق توسط مثلث **ACE**

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

در شکل ۹-۳-الف نشان داده شده است. لیکن برای $z \geq H_1$ (یعنی زیر سطح آب زیرزمینی)، فشار جانبی وارد بر دیوار، با استفاده از مولفه های تنش موثر و فشار آب حفره ای به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{فشار قائم موثر} = \sigma'_v = \gamma H_1 + \gamma'(z - H_1) \qquad (۸-۹)$$

که در آن $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$، وزن مخصوص غوطه ور (موثر) خاک است. بنابراین فشار جانبی موثر در حالت سکون برابر است با:

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_v = K_o[\gamma H_1 + \gamma'(z - H_1)] \qquad (۹-۹)$$

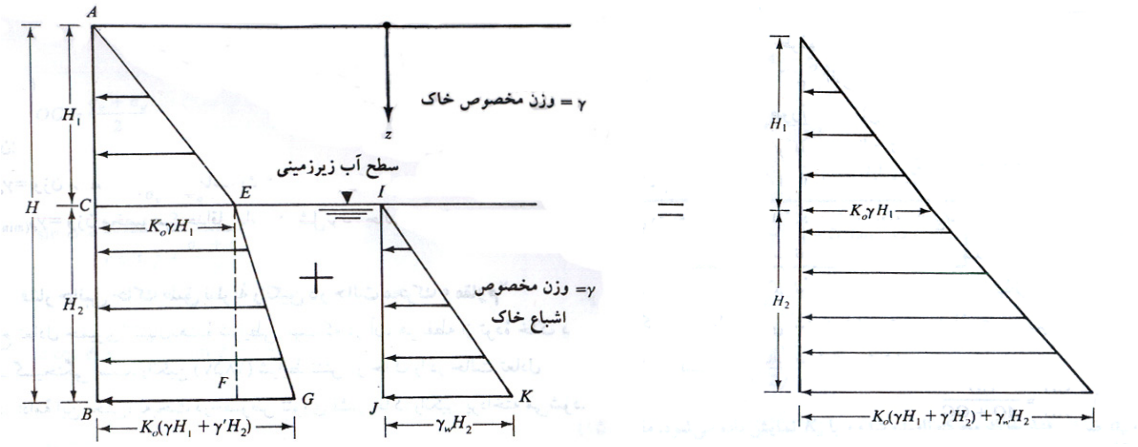
تغییرات σ'_h با عمق در شکل ۹-۳-الف توسط ذوزنقه **CEGB** نشان داده شده است. با استفاده از اصول استاتیک سیالات، فشار جانبی به علت فشار آب حفره ای برابر است با:

$$u = \gamma_w (z - H_1) \qquad (۱۰-۹)$$

تغییرات **u** با عمق در شکل ۹-۳-ب نشان داده شده است.

بنابراین فشار جانبی کلی در عمق $z \geq H_1$ برابر است با:

$$\sigma_h = \sigma'_h + u = K_o[\gamma H_1 + \gamma'(z - H_1)] + \gamma_w (z - H_1) \qquad (۱۱-۹)$$



(الف) **(ب)** **(پ)**

شکل ۹-۳ توزیع فشار جانبی خاک در حال سکون برای خاک نیمه غوطه ور

مثال:

برای دیوار حائل نشان داده شده در شکل، مطلوب است تعیین نیروی جانبی خاک در حالت سکون وارد بر واحد طول دیوار و همچنین تعیین محل برآیند این نیرو.

$$c = 0 \rightarrow K_o = 1 - \sin\varphi = 1 - \sin 30 = 0.5$$

$$0 \leq z \leq 2 \rightarrow \sigma_v = \gamma z = 17z$$

$$2 \leq z \leq 5 \rightarrow \sigma_v = q + \gamma' z = 17 \times 2 + (20 - 9.81)z = 34 + 10.19z$$

$$0 \leq z \leq 2 \rightarrow \sigma_a = \sigma'_a = 0.5(17z) = 8.5z$$

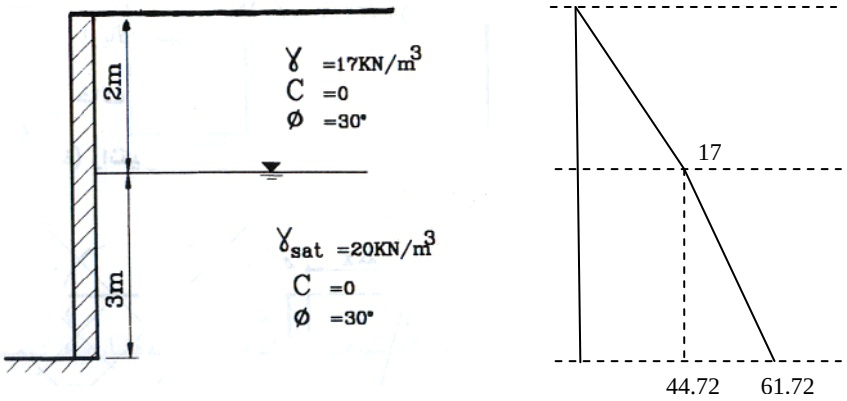
$$0 \leq z \leq 3 \rightarrow \sigma_a = 0.5[17 \times 2 + (20 - 9.81)z] = 34 + 10.19z = 17 + 5.1z$$

$$0 \leq z \leq 3 \rightarrow u_w = \gamma_w \cdot z = 9.81z \rightarrow \sigma_a = \sigma'_a + u = 17 + 14.91z$$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir



با جایگذاری مقدار ارتفاع z در معادلات فوق توزیع فشار جانبی در ارتفاع دیوار مطابق شکل فوق بدست می آید.

محاسبه نیروی وارد بر واحد طول دیوار:

$$P_o = (17\times2\times0.5)+(17+61.72)\times3\times0.5 = 135.05\text{kN/m}$$

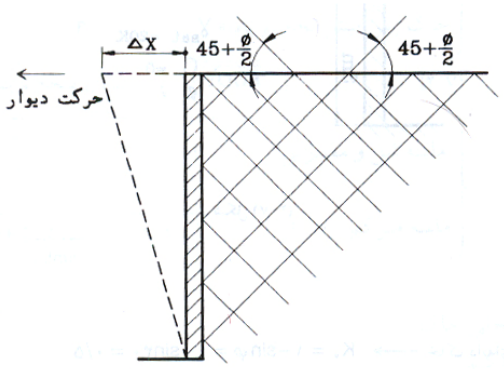
تعیین محل اثر برآیند نیرو (لنگر گیری نسبت به بالای دیوار):

$$\bar{z} = \frac{(17\times2\times0.5\times4/3)+(17\times3\times3.5)+(44.72\times3\times0.5\times4)}{(17\times2\times0.5)+(17\times3)+(44.72\times3\times0.5)} = 3.48\text{m}$$

۹-۳ فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت محرک

چنانچه مطابق شکل ۹-۴ دیوار حرکتی در جهت نیروی وارد از طرف خاک پشت آن داشته باشد، فشار محرک ایجاد می گردد. در این حالت دیوار از خاک پشتش دور شده و فشار در پشت دیوار نسبت به حالت سکون کاهش می یابد. برای دیوار با سطح تماس بدون اصطکاک (طبق تئوری رانکین) در صورتی که $\Delta x = 0$ (میزان حرکت رو به جلوی دیوار) باشد، فشار افقی σ_h در عمق z مساوی $K_o\sigma_v$ خواهد بود لیکن اگر $\Delta x > 0$ باشد σ_h کوچکتر از $K_o\sigma_v$ خواهد شد و سرانجام در فشار جانبی σ_a تودهٔ خاک گسیخته خواهد شد بطوریکه سطوح لغزش در خاک زاویه $\pm(45+\varphi/2)$ با افق می سازد. σ_a را فشار محرک رانکین می نامند و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_a = K_a\sigma_v - 2c\sqrt{K_a} \qquad (۹-۱۲)$$



شکل ۹-۴

در این رابطه

σ_v = فشار قائم در نقطه مورد نظر که در صورت وجود آب به σ'_v (تنش موثر) تبدیل خواهد شد.

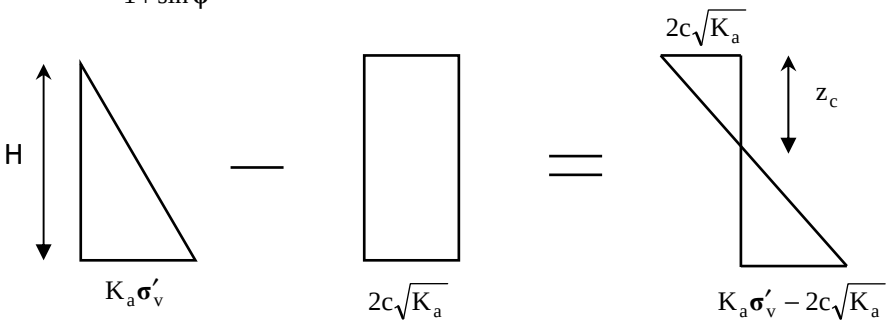
K_a = ضریب فشار محرک رانکین که از رابطه زیر تعیین می شود:

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

$$K_a = \tan^2(45-\varphi/2) = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \qquad (۹-۱۳)$$



شکل ۹-۵

همانطور که در نمودار شکل (۹-۵) مشاهده می شود در $z=0$ فشار محرک مساوی $-2c\sqrt{K_a}$ می باشد که یک تنش کششی است و این تنش کششی با عمق کاهش یافته در $z=z_c$ مساوی صفر می شود. z_c را عمق ترک کششی می گویند و به صورت زیر بدست می آید:

$$\sigma_a = 0 \rightarrow \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a = 0} \rightarrow z_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$$ وقتی خاک خشک است

حال اگر بخواهیم نیروی محرک رانکین وارد بر واحد طول دیوار را بدست آوریم، دو حالت قابل تشخیص است:

۱. قبل از وقوع ترک کششی:

$$P_a = \frac{1}{2}\sigma_v K_a H - 2cH\sqrt{K_a} \qquad (۹-۱۴)$$

۲. بعد از وقوع ترک کششی:

$$P_a = \frac{1}{2}(H-z_c)(\sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a}) \qquad (۹-۱۵)$$

لازم به توضیح است که در هر دو حالت فوق لایه خاک خشک در نظر گرفته شده است.

نکته :

در تئوری رانکین علاوه بر اینکه اصطکاک بین دیوار و سطح تماس در نظر گرفته نمی شود، قائم بودن دیوار و افقی بودن سطح خاک نیز جزء مفروضات می باشد.

نکته :

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 می باشد.

مثال:

با توجه به شکل زیر با فرض امکان تغییر مکان جانبی کافی برای دیوار، نیروی وارد بر واحد طول دیوار، قبل و بعد از وقوع ترک را محاسبه نمایید.

$$K_{a[1]} = \tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2(45-15) = \frac{1}{3}$$

$$K_{a[2]} = \tan^2(45-18) = 0.26$$

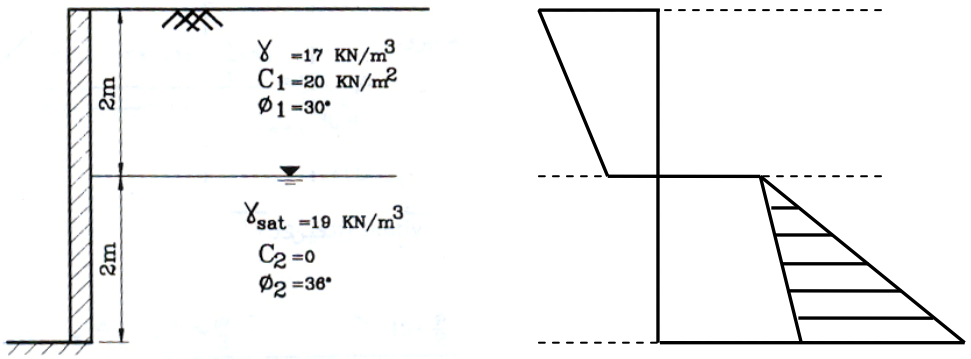
تنش موثر قائم در لایه ۱: $\sigma_v = \sigma'_v = 17z \qquad 0 \le z \le 2$

تنش موثر قائم در لایه ۲: $\sigma'_v = 17\times 2 + (19-9.81)z = 34 + 18.19z \qquad 0 \le z \le 3$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir



فشار محرک در لایه ۱:

$$\sigma_a = K_a\sigma'_v - 2c\sqrt{K_a} = 1/3\times 17z = 1/3\times(17z) - 2\times 20\times\sqrt{1/3} = 5.67z - 23.09$$

فشار محرک در لایه۲:

$$\sigma_a = K_a\sigma'_v = 0.26\times[34+18.19z] = 8.84 + 4.7294z$$

فشار آب حفره ای جانبی در لایه ۲:

$$u = \gamma_w \cdot z$$

با جایگذاری مقدار **z** در معادلات فوق توزیع فشار جانبی در ارتفاع دیوار بدست می آید.
محاسبه نیروی وارد بر واحد طول دیوار:

(الف) قبل از وقوع ترک کششی:

$$P_a = \left(\frac{-23.9-11.76}{2}\right)\times 2 + (8.84+33.24)\left(\frac{2}{2}\right) = 7.23\text{kN/m}$$

(ب) بعد از وقوع ترک کششی:

$$z_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{2\times 20}{17\times 0.577} = 4.075\text{m}$$

چون عمق لایه فوقانی ۲ متر است و ترک کششی فقط در این ناحیه رخ می دهد لذا عمق ترک کششی حداکثر می تواند ۲ متر باشد. بنابراین نمودار فشار تا عمق ۲ متر مساوی صفر و در عمق بزرگتر از ۲ متر مطابق شکل خواهد بود. در نتیجه:

$$P_a = (8.84+33.24)\left(\frac{2}{2}\right) = 42.08\text{kN/m}$$

۹-۴ فشار جانبی خاک طبق نظریه رانکین در حالت مقاوم (Passive)

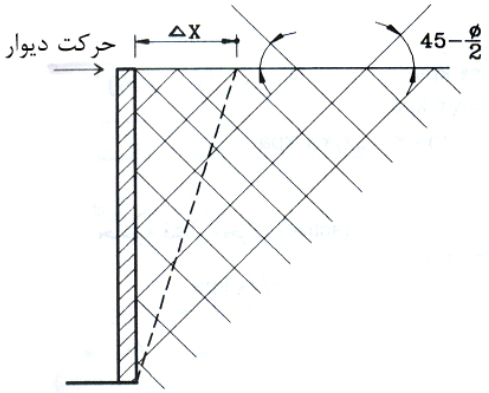
چنانچه دیوار بر عکس حالت محرک، به سمت توده خاکی حرکت کند، فشار مقاوم در خاک ایجاد می شود. در این حالت با نزدیک شدن دیوار به توده خاک، فشار خاک در پشت دیوار نسبت به حالت سکون افزایش می یابد و بیشتر از $K_o\sigma_v$ خواهد شد. با افزایش Δx (میزان حرکت دیواره به سمت توده خاک) فشار افقی σ_h همچنان افزایش می یابد تا بالاخره در σ_p خاک گسیخته شود به طوری که سطوح لغزش در خاک زاویه $\pm(45-\varphi/2)$ با افق می سازد. σ_p را فشار مقاوم رانکین می نامند و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \qquad (۹-۱۶)$$

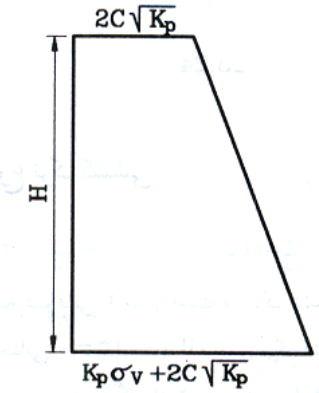
www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir



شکل ۹–۶



شکل ۹–۷

که در این رابطه:

σ_v = فشار قائم در نقطه مورد نظر که در صورت وجود آب به σ'_v (تنش موثر) تبدیل خواهد شد.

K_p = ضریب فشار مقاوم رانکین که از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$K_p = \tan^2(45+\varphi/2) \qquad (۹-۱۷)$$

برای بدست آوردن نیروی مقاوم رانکین وارد بر واحد طول دیوار با محاسبه سطح زیر نمودار ارتفاع-فشار خواهیم داشت:

$$P_p = \frac{1}{2}\sigma_v K_p H + 2cH\sqrt{K_p} \qquad (۹-۱۸)$$

نکته :

مقدار تغییرمکان جانبی کافی برای ایجاد فشار مقاوم رانکین به شرح زیر می باشد:

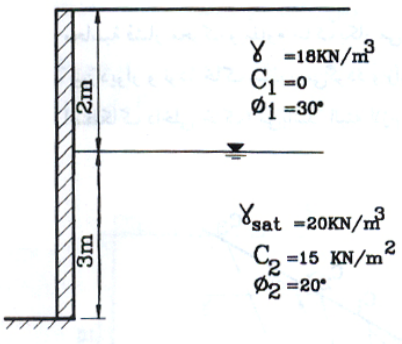
ماسه متراکم 0.005H ماسه شل 0.01H

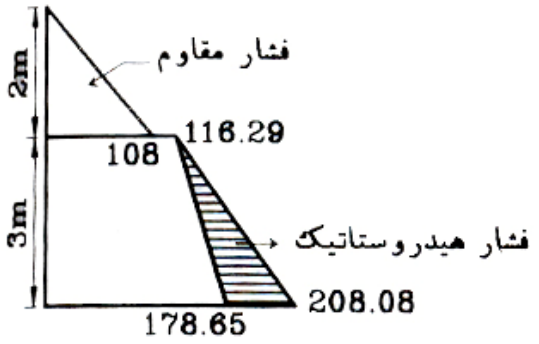
رس سفت 0.01H رس نرم 0.05H

در این روابط **H** ارتفاع دیوار حائل می باشد.

مثال:

در شکل زیر دیواری به ارتفاع ۵ متر نشان داده شده است. مطلوب است تعیین فشار مقاوم رانکین برای واحد طول دیوار.





محاسبه ضریب فشار مقاوم K_p:

$$K_{p[1]} = \tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2(45+15) = 3$$

$$K_{p[2]} = \tan^2(45+10) = \tan^2(45+10) = 2.04$$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

محاسبه فشار قائم:

$$0 \le z \le 2 \rightarrow \sigma_v = \gamma z = 18z$$

$$0 \le z \le 3 \rightarrow \sigma'_v = q + \gamma' z = 18 \times 2 + (20 - 9.81)z = 36 + 10.19z$$

محاسبه فشار مقاوم **(Passive)**

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

$$0 \le z \le 2 \rightarrow \sigma_p = 3 \times 18z = 54z$$

$$0 \le z \le 3 \rightarrow \sigma_p = 2.04(36 + 10.19z) + 2 \times 15\sqrt{2.04} \rightarrow 73.44 + 20.79z + 42.85 = 116.29 + 20.79z$$

$$0 \le z \le 3 \rightarrow u = \gamma_w z = 9.81z$$

با قرار دادن مقدار در معادلات فوق توزیع فشار مقاوم در ارتفاع دیوار بدست می آید.

مثال:

مطلوب است محاسبهٔ نیروی محرک رانکین بر واحد عرض دیوار نشان داده شده در شکل ۹-۸-الف. همچنین محل برآیند را نیز تعیین نمایید.

$$c = 0 \rightarrow \sigma_a = K_a \sigma_v = K_a \gamma z$$

$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45 + 15) = \frac{1}{3}$$

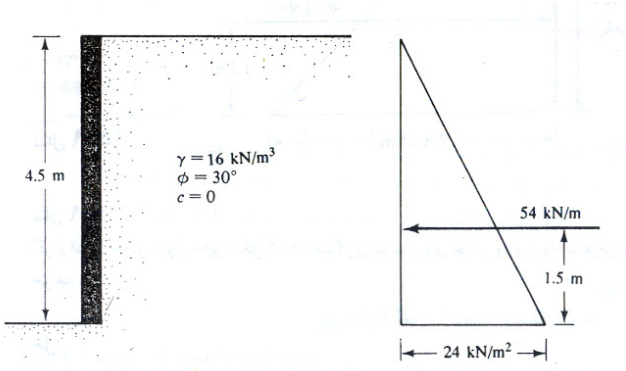
در عمق $z = 0$، $\sigma_a = 0$ و در عمق $z = 4.5$ داریم:

$$\sigma_a = \frac{1}{3} \times 16 \times 4.5 = 24 kN/m^2$$

توزیع فشار محرک در شکل ۹-۸-ب نشان داده شده است. فشار محرک کل برای واحد عرض دیوار برابر خواهد شد با:

$$P_a = \frac{1}{2} \times 4.5 \times 24 = 54 kN/m$$

با توجه به اینکه توزیع فشار خطی است، محل برآیند در یک سوم ارتفاع از پای دیوار یعنی ۱/۵ متری آن قرار خواهد داشت.



شکل ۹-۸

مثال:

برای دیوار حائل شکل ۹-۸ فشار مقاوم رانکین بر واحد عرض دیوار چقدر خواهد بود؟

$$c = 0$$

$$\sigma_p = K_p \sigma_v = K_p \cdot \gamma z$$

$$K_p = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} = \frac{1 + 0.5}{1 - 0.5} = 3$$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

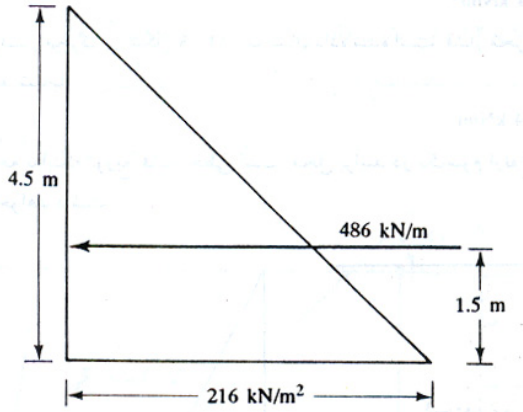
در عمق $z=0$، $\sigma_p=0$ و در عمق $z=4.5m$ داریم:

$$\sigma_p=3\times16\times4.5=216kN/m^2$$

در شکل زیر توزیع فشار مقاوم در پشت دیوار نشان داده شده است. با محاسبه مساحت زیر این نمودار، فشار کل برای واحد عرض دیوار به دست می آید:

$$P_p=\frac{1}{2}\times4.5\times216=486kN/m$$

محل تاثیر برآیند فوق در ثلث ارتفاع از قاعده دیوار یعنی ۱/۵ متری آن است.



مثال:

اگر از انتقال جانبی دیوار حائل شکل ۹-۸ جلوگیری شود. نیروی جانبی وارد بر واحد عرض دیوار چقدر خواهد بود؟

حل: چون از انتقال دیوار جلوگیری شده است، فشار خاکریز در حالت سکون خواهد بود بنابراین:

$$\sigma_h=K_o\sigma_v=K_o\gamma z$$

$$K_o=1-\sin\varphi$$

یا

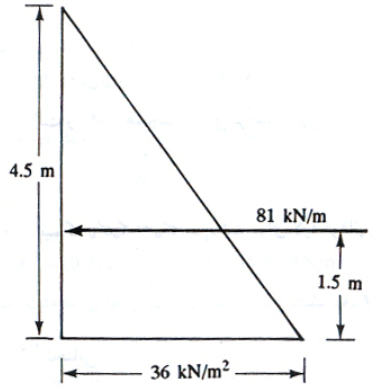
$$K_o=1-\sin30=0.5$$

در عمق $z=0$، $\sigma_h=0$ و در عمق $z=4.5m$ خواهیم داشت:

$$\sigma_h=0.5\times4.5\times16=36kN/m^2$$

نمودار توزیع فشار در شکل زیر نشان داده شده است. فشار برآیند برابر است با:

$$P_o=\frac{1}{2}\times4.5\times36=81kN/m$$



www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

مثال:

دیوار حائلی به ارتفاع ۴ متر با خاکریزی از ماسه خشک مفروض است. سطح خاکریز افقی و مشخصات آن به قرار زیر است:

$\varphi = 37^o$

$\gamma = 16.98 kN/m^3$

$\gamma_{d(min)} = 15.41 kN/m^3$

اگر از حرکت جانبی دیوار جلوگیری شده باشد، مطلوب است تعیین:

(الف) تعیین نیروی جانبی وارد بر واحد عرض دیوار با استفاده از رابطه $K_o = 1 - \sin\varphi$

(ب) تعیین نیروی جانبی وارد بر واحد عرض دیوار با استفاده از رابطه $K_o = (1-\sin\varphi) + [\gamma_d / \gamma_{d(min)} - 1] \times 5.5$

حل:

(الف) با استفاده از رابطه ۹-۳ داریم:

$$K_o = 1 - \sin\varphi = 1 - \sin 37 = 0.398$$

حال با استفاده از (الف) می توان نوشت:

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 = 0.5(0.398)(16.98)(4)^2 = 54.06 kN/m$$

(ب) با استفاده از رابطه (ب) داریم:

$$K_o = (1-\sin\varphi) + \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_{d(min)}} - 1\right] 5.5 = (1-\sin 37) + \left[\frac{16.98}{15.41} - 1\right] 5.5 = 0.398 + 0.56 = 0.958$$

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 = 0.5(0.958)(16.98)(4)^2 = 130.13 kN/m$$

مثال:

برای دیوار حائل نشان داده شده در شکل ۹-۱۰-الف مطلوب است تعیین نیروی محرک بر واحد عرض دیوار در حالت رانکین. همچنین محل برآیند را نیز بدست آورید.

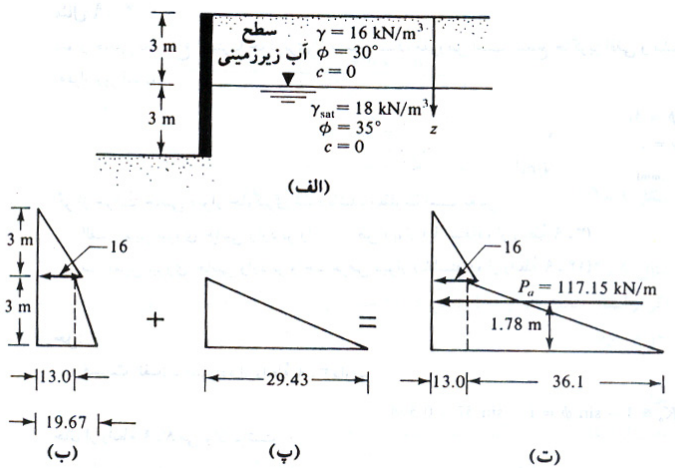
حل:

با $c = 0$ می دانیم که $\sigma'_a = K_a \sigma'_v$ می باشد. برای لایه فوقانی خاک، ضریب فشار محرک رانکین برابر است با:

$$K_a = K_{a(1)} = \frac{1-\sin 30}{1+\sin 30} = \frac{1}{3}$$

برای لایه تحتانی:

$$K_a = K_{a(2)} = \frac{1-\sin 35}{1+\sin 35} = \frac{0.4264}{1.5736} = 0.271$$



شکل ۹-۱۰

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

در $z=0$، $\sigma_v=\sigma'_v$ و در $z=3$ (بلافاصله بالای سطح آب زیرزمینی) خواهیم داشت:

$$\sigma'_v=3\times16=48kN/m^2$$

بنابراین:

$$\sigma_a=\sigma'_a=K_{a(1)}\sigma'_v=\frac{1}{3}\times48=16kN/m^2$$

در $z=3$ (بلافاصله در زیر سطح آب زیرزمینی)

$$\sigma_v=\sigma'_v=3\times16=48kN/m^2$$

و

$$\sigma_a=\sigma'_a=K_{a(2)}\sigma'_v=0.271\times48=13kN/m^2$$

در عمق $z=6m$

$$\sigma'_v=3\times16+3(19-9.81)=72.57kN/m^2$$

و

$$\sigma'_a=K_{a(2)}\sigma'_v=0.271\times72.57=19.67kN/m^2$$

تغییرات σ'_a با عمق در شکل ۹-۱۰-ب نشان داده شده است. فشار جانبی به علت آب حفره ای به صورت زیر محاسبه می شود:

در عمق $z=0,u=0$

در عمق $z=3m,u=0$

در عمق $z=6m,u=3\times\gamma_w=3\times9.81=29.43kN/m^2$

تغییرات u با عمق در شکل ۹-۱۰-پ و تغییرات σ_a (تنش محرک کل) در شکل ۹-۱۰-ت نشان داده شده است. بنابراین:

$$P_a=\frac{1}{2}\times3\times16+3\times13+\frac{1}{2}\times3\times36.1=24+39+54.15=117.15kN/m$$

با لنگر گیری حول پای دیوار، محل برآیند به دست می آید:

$$\bar{z}=\frac{24\left(3+\frac{3}{5}\right)+39\left(\frac{3}{2}\right)+54\left(\frac{3}{3}\right)}{117.15}=1.78m$$

مثال:

یک دیوار حائل با خاکریزی از رس اشباع نرم در شکل ۹-۱۱-الف نشان داده شده است. برای شرایط زهکشی نشده خاکریز $(\varphi=0)$ مطلوب است:

(الف) حداکثر عمق ترک کششی

(ب) P_a قبل از وقوع ترک کششی

(پ) P_a بعد از وقوع ترک کششی

حل: چون $\varphi=0$ است، $K_a=\tan^2(45)=1$ و $c=c_u$ خواهد بود. بنابراین می توان نوشت:

$$\sigma_a=\gamma z-2c_u$$

در عمق $z=0,\quad \sigma_a=-2(16.77)=-33.54kN/m^2$

در عمق $z=6m,\quad \sigma_a=15.72\times6-2(16.77)=60.78kN/m^2$

(الف) عمق ترک کششی برابر است با:

$$z_c=\frac{2c_u}{\gamma}=\frac{2\times16.77}{15.72}=2.13m$$

(ب) قبل از وقوع ترک کششی:

$$P_a=\frac{1}{2}\gamma H^2-2c_uH=\frac{1}{2}(15.77)6^2-2(16.77)\times6=282.96-201.24=81.72kN/m$$

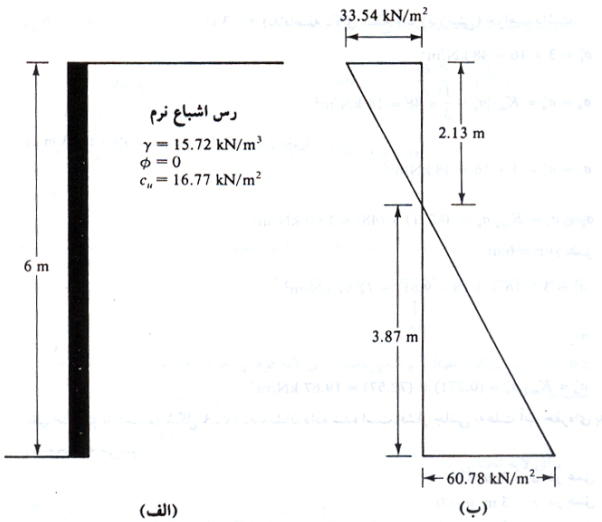
www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

(پ) بعد از وقوع ترک کششی:

$$P_a = \frac{1}{2}(6-2.13)(60.78) = 117.6 kN/m$$



شکل ۹–۱۱

مثال:

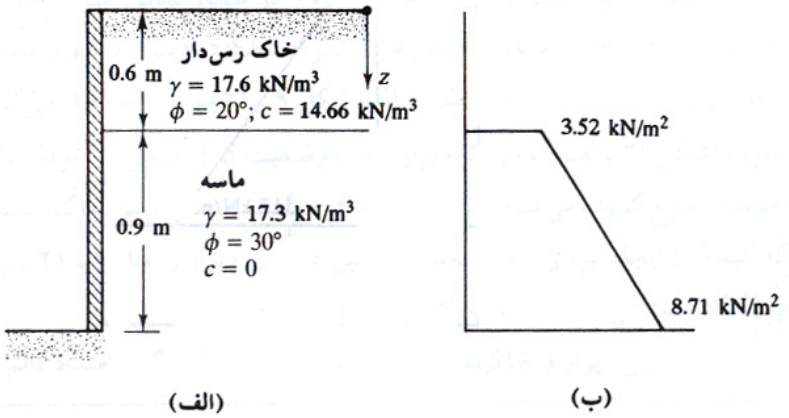
برای دیوار حائل نشان داده شده در شکل ۹-۱۲ مطلوب است تعیین P_a بعد از تشکیل ترک کششی.

حل:

برای لایه فوقانی:

$$K_a = K_{a(1)} = \tan^2(45-\frac{20}{2}) = 0.49$$

$$z_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{2\times14.66}{17.6\sqrt{0.49}} = 2.83$$



شکل ۹–۱۲

با توجه به اینکه عمق لایه رسی ۰/۶ متر می باشد، ترک کششی در تمام ضخامت آن به وجود می آید.

$$K_a = K_{a(2)} = \tan^2\left(45-\frac{30}{2}\right) = \frac{1}{3}$$

$$z = 0.6m$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 0.6\times17.6 = 10.56 kN/m^2$$

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

در نتیجه:

$$\sigma_a = \sigma'_a = \sigma'_v K_{a(2)} = 10.56 \times \frac{1}{3} = 3.52 kN/m^2$$

$$z = 1.5m$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 0.6 \times 17.6 + 0.9 \times 17.3 = 26.13 kN/m^2$$

$$\sigma_a = \sigma'_a = \sigma'_v K_{a(2)} = 26.13 \times \frac{1}{3} = 8.71 kN/m^2$$

در شکل ۹-۱۲-ب، نمودار توزیع فشار بعد از وقوع ترک نشان داده شده است. از این نمودار داریم:

$$P_a = \left(\frac{1}{2}\right)(3.52 + 8.71)(0.9) = 5.504 kN/m$$

مثال:

در شکل ۹-۱۳-الف یک دیوار حائل بدون اصطکاک نشان داده شده است. مطلوب است تعیین فشار مقاوم P_p در روی خاکریز و محل برآیند نیروی مقاوم.

حل:

$$\varphi = 26^o$$

$$K_p = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = \frac{1+\sin 26}{1-\sin 26} = \frac{1.4384}{0.5616} = 2.56$$

$$\sigma_p = K_p \sigma_v + 2c\sqrt{K_p}$$

در عمق $z = 0$ ، $\sigma_v = 10 kN/m^2$

$$\sigma_p = 2.56 \times 10 + 2 \times 8 \times \sqrt{2.56} = 25.6 + 25.6 = 51.2 kN/m^2$$

در عمق $z = 4m$ ، $\sigma_v = (10 + 4 \times 15) = 70 kN/m^2$

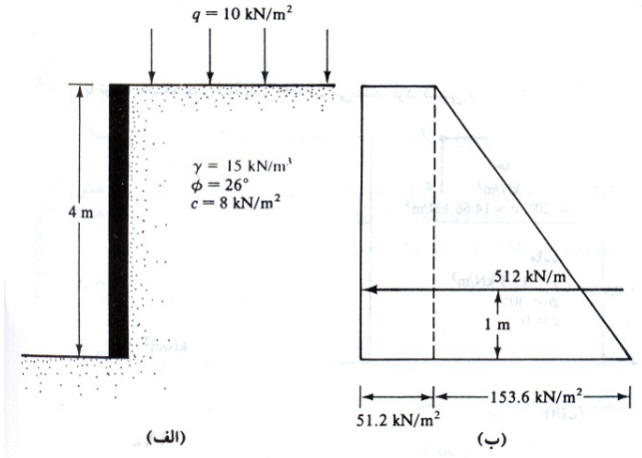
$$\sigma_p = 2.56 \times 70 + 2 \times 8 \times \sqrt{2.56} = 204.8 kN/m^2$$

توزیع فشار در شکل ۹-۱۳-ب نشان داده شده است. نیروی مقاوم بر واحد عرض دیوار برابر است با:

$$P_p = 51.2 \times 2 + 0.5 \times 4 \times 153.6 = 204.8 + 307.2 = 512 kN/m$$

محل برآیند با لنگرگیری نمودار فشار در حول پای دیوار به دست می آید:

$$\bar{z} = \frac{(25.6 + 25.6)\left(\frac{4}{2}\right) + \frac{1}{2} \times 153.6 \times \frac{4}{3}}{512.18} = \frac{102.4 + 409.6}{512} = 1m$$



شکل ۹–۱۳

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir

www.g-alm.ir

منابع و مراجع



۱. **اصول مهندسی ژئوتکنیک**، جلد اول: مکانیک خاک.، ترجمه شاپور طاحونی.، چاپ هفتم ۱۳۸۰، ویرایش دوم.

۲. **مجموعه سوالات طبقه بندی شده آزمون کارشناسی ارشد مکانیک خاک.**، تالیف: ساسان امیر افشاری.، چاپ سوم ۱۳۸۲.

www.AMS.ir

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac www.film.g-alm.ir



نکات و یادداشت ها

