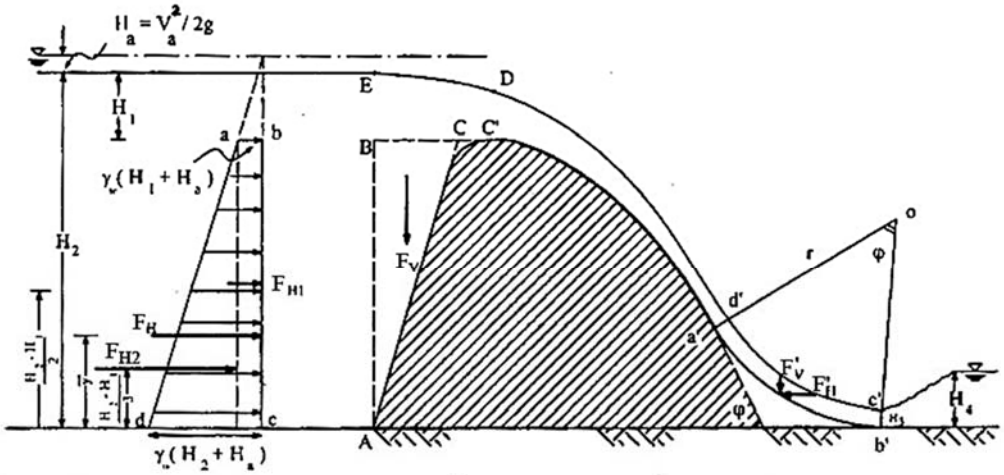


$h_a = \frac{V_a^2}{2g}$

$F_{h_1} = \gamma_w(h_1+h_a)(h_2-h_1)$ → محل برآیند از کف $\frac{1}{2}(h_2-h_1)$

$F_{h_2} = \frac{1}{2}\gamma_w(h_2-h_1)(h_2-h_1)$ → محل برآیند از کف $\frac{1}{3}(h_2-h_1)$

محاسبه نیروهای F'_h و F'_v بیاسکر

$\frac{kg}{m^3}\cdot\frac{m^3}{s}\cdot\frac{m}{s}$

$F'_h = \frac{\gamma_w}{g}\cdot q\cdot V(1-\cos\beta) + \frac{1}{2}\gamma_w h_3^2$

$F'_v = \frac{\gamma_w}{g}\cdot q\cdot V\sin\beta + W$

محل اثر: وسط

مرکز سطح

ضریب شدت جریان $q = c\,h_1^{\frac{3}{2}}$

q: دبی عبوری از واحد طول منطقی سد

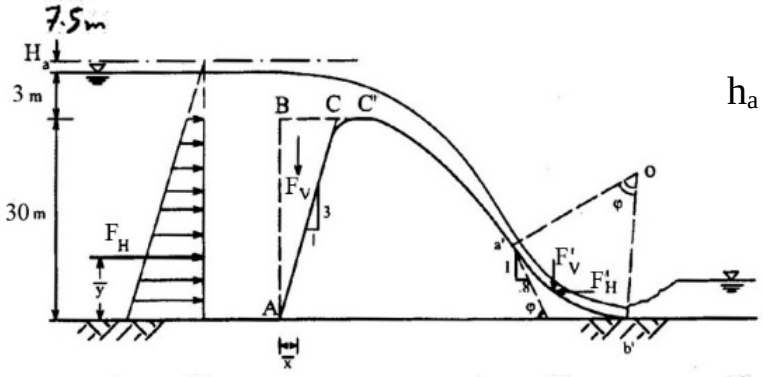
W: وزن آب محصور $a'b'c'd'$ $W = \gamma(r\theta^{rad})h_3$

V: سرعت متوسط آب در سد اخنی

$V = \sqrt{2g(h_2-h_1)}$

مثال: مطلوب است تعیین مولفه‌های افقی و عمودی ناشی از فشار هیدرودینامیکی بر واحد طول x متقطن از یک سرریز و هم چنین مولفه‌های قائم و افقی نیروی بیاسکر وارد بر پایین دست آن

سرعت نزدیک شدن آب به سرریز $2\frac{m}{s}$ ، ضریب شدت جریان روی سرریز 2.2 ، شعاع مرکز پایین دست



$h_a = \frac{2^2}{2(9.81)} = 0.204\,m$

$\gamma = \tan^{-1}\frac{1}{0.8} = 51^\circ 20' 35''$ $\begin{cases}\sin\beta = 0.78087\\ \cos\beta = 0.6247\end{cases}$

$F_{h_1} = \gamma_w(3+h_a)(30)$, $\gamma = 1\,\frac{ton}{m^3}$ $F_{h_1} = (3.204)(30) = 96.120\,ton$ → محل اثر 15m از کف

$F_{h_2} = \frac{1}{2}\gamma_w\left(33+\frac{h_a}{30}-(3+\frac{h_a}{30})\right)(30m) = 450\gamma = 450\,ton$

$F_v = \gamma_w\cdot V = 1\left[\frac{30\times 10}{2}\right] = 150\,ton$ $\bar{x} = \frac{BC}{3} = \frac{10}{3} = 3.33\,m$

$$q = c h_1^{\frac{3}{2}} = 2.2(3)^{\frac{3}{2}} = 11.43 \ \frac{m^3}{s.m}$$

$$V = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} = \sqrt{2g(30\,m)} = 24.26 \ \frac{m}{s}$$

$$w = \gamma_w \cdot V_{a'b'c'd'} = \gamma_w (r\varphi^{rad})(d)_{h_3} \qquad d_{h_3} = \frac{q}{V} = \frac{11.43 \ \frac{m^2}{s}}{24.26 \ \frac{m}{s}} = 0.47\,m$$

$$w = 1\left[7.5\left(6 \times \frac{\pi}{180}\right)\right](0.47) = 3.159 \ ton$$

$$F'_h = \frac{\gamma_w}{g} \cdot q \cdot V(1 - \cos\beta) + \frac{\gamma_w H_3^2}{2} = \frac{1}{9.81}(11.43)(24.26)(1 - 0.6247)$$

$$= \frac{1}{9.81}(11.43)(24.26)(1 - 0.6247) + \frac{1(0.47)^2}{2} = 10.72 \ ton$$

$$F'_u = \frac{\gamma_w}{g} \cdot q \cdot V \cdot \sin\beta + w = \frac{1}{9.81}(11.43)(24.26)(0.78087) + 3.159 = 20.82 \ t$$

نیروی ناشی از فشار خاک رسوبی

تقسیم طراح { نیروی رسوب ملاحظه شود ← برای رودخانه‌ای گل‌آلود و سیلابی
اثر ، صرفنظر شود. } کدام این کار

۱- در ابتدای ساخت و کمبود برداری سد حجم رسوب پشت سد صفر است

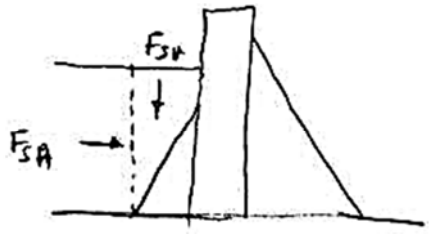
۲- با اضافه شدن تدریجی رسوبات، تراکم رسوب تحت اثر وزن خود انجام می‌شود و رفتاری مثل جسم جامد از خود نشان می‌دهد.

۳- رسوبات تا حد زیادی نفوذ ناپذیر هستند که به کاهش و یا حذف فشار بالابرنده در پی سد می‌شود منجر

روش تقریبی محاسبه نیروی رسوب

در روش تقریبی، رسوب مانند یک مایع فرض می‌شود

وزن مخصوص این مایع در دو جهت افقی و عمودی مقادیر فرض می‌شود.



در جهت افقی (F_{SH}) $\gamma = 0.36 \ \frac{t}{m^3}$ (برای رسوب) و $\gamma = 1.36 \ \frac{t}{m^3}$ (برای رسوب + آب)

در جهت عمودی (F_{SV}) $\gamma = 0.925 \ \frac{t}{m^3}$ (برای رسوب) ، $\gamma = 1.925 \ \frac{t}{m^3}$ (برای رسوب + آب)

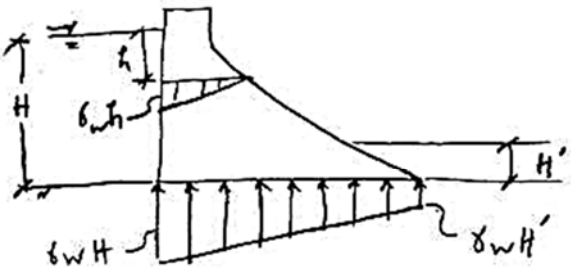
جهت مراحل محاسبه نیروی رسوبی و مرکز اثر آن مشابه محاسبه نیروی آب خواهد بود.

فشار بالابرنده (Uplift)

راه دفع فشار بالابرنده: ایجاد زهکشی در داخل پی سد

- هر سوراخ زهکشی را به زهکش اصلی وصل کنید

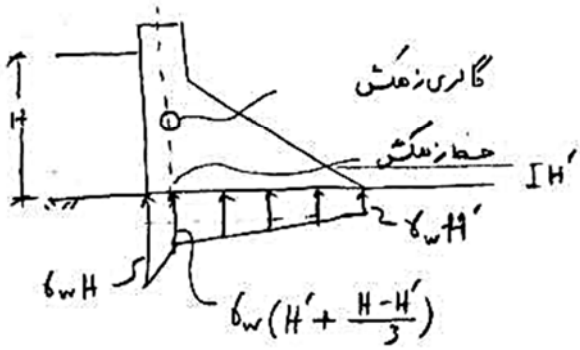
ضابطه USBR برای تصحیح فشار بالابرنده ناشی از زهکش



۱- وجود زهکش، فشار بالابرنده را بطور قابل ملاحظه‌ای کم می‌کند

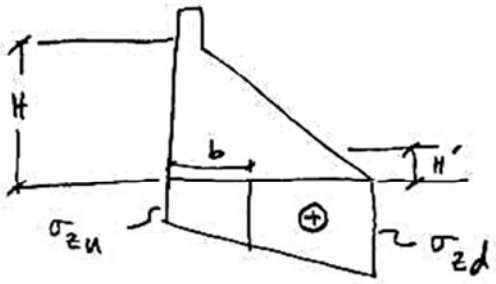
۲- وجود پرده آب‌بند، فشار بالابرنده را کم می‌کند.

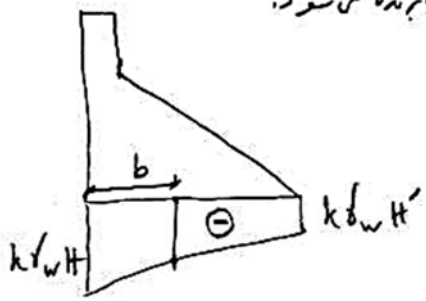
برای مقادیر متعارف آن ضریب کاهش k را در H ضرب می‌کنند.



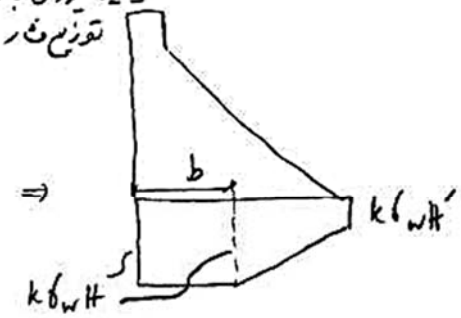
تقریبی

۳- اگر مقدار فشار بالابرنده زیاد باشد سد (عامل تنش کشش) از برآیند تنش‌های فشاری در آن منطقه بیشتر شود، ایجاد ترک می‌کند که ترک باعث تغییر شیروی بالابرنده می‌شود.



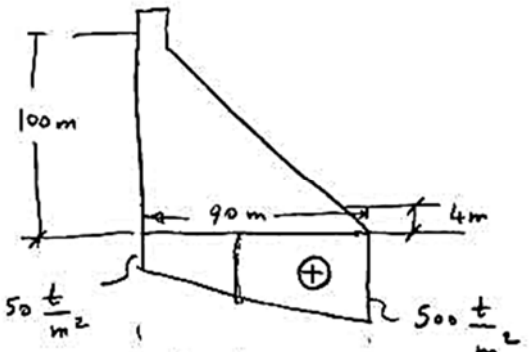


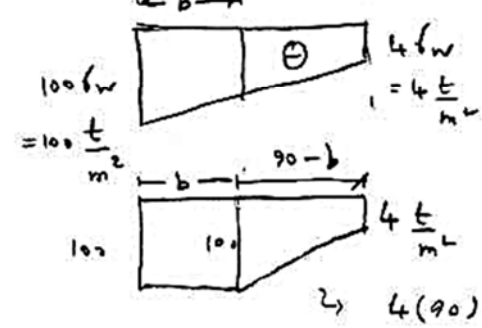
توزیع فشار



فاصله b، محلی است که تنش کشش ناشی از نیروی بالابرنده برابر است با تنش فشاری بدون تاثیر نیروی بالابرنده

مثال ۳-۳ چنانچه نمودار تنش فشاری یک سد بتنی حاصل از همه نیروهای (بجز نیروی بالابرنده) مطابق شکل زیر باشد، مطلوب است محل و طول ترک احتمالی و مقدار حداکثر فشار بالابرنده.





معادله خط $\sigma = 50 + \frac{500-50}{90} x = 50 + 5x$

معادله خط $100 - \frac{100-4}{90} x = 100 - \frac{96}{90} x = 100 - \frac{16}{15} x$

یافتن فاصله b $50 + 5x = 100 - \frac{16}{15} x \Rightarrow (5 + \frac{16}{15}) x = 100 - 50$

$$b = \frac{50}{5 + \frac{16}{15}} = 8.24 \text{ m}$$

$\hookrightarrow 4(90) + 96b + \frac{1}{2}(96)(90-b)$

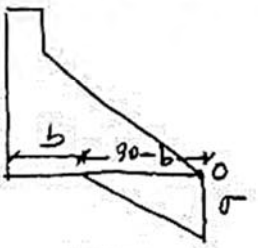
مسئله ۲

$$\Sigma F = \overbrace{50(90)}^{4500} + \overbrace{\tfrac{1}{2}(450\times 90)}^{20250} \overbrace{-4(90)}^{-360} - 96b - \tfrac{1}{2}(96)(90-b) = \tfrac{1}{2}\sigma(90-b)$$

$$-4320 + \tfrac{48}{2}b$$

$$\Sigma M_0 = \overbrace{50(90)(45)}^{202500} + \overbrace{\tfrac{1}{2}(450)(90)(\tfrac{90}{3})}^{607500} - \underbrace{4(90)(45)}_{-16200} - (96)(b)(90-\tfrac{b}{2}) - \tfrac{1}{2}(96)(90-b)(\tfrac{2}{3})(90-b) = \tfrac{1}{2}\sigma(90-b)(\tfrac{90-b}{3})$$

$$-32(90-b)^2$$



توزیع تنش برآیند

از رابطه ΣF:

$$\sigma = \frac{2}{90-b}\left[20070 - 48b\right]$$

از رابطه ΣM_0:

$$793800 - 96b(90-\tfrac{b}{2}) - 32(90-b)^2 = \frac{1}{6}\sigma(90-b)^2$$

$$\Rightarrow b = 12.857$$

نیروهای زلزله

سد باید بتواند شدیدترین زلزله محتمل را در طول عمر خود تحمل نماید

MCE = Maximum Credible Earthquake

$m(\alpha g) = \alpha(mg) = \alpha W$ ($W = mg$)

$F_e = ma =$ با ترجمه

α ضریب زلزله نام دارد

$$\alpha = \begin{cases} 0.02 - 0.3 \text{ و معمولاً } 0.1 - 0.15 & \text{جهت افقی} \\ (\frac{1}{2} \text{ تا } \frac{2}{3}) \times (\text{ضریب افقی}) & \text{جهت عمودی} \end{cases}$$

شتاب زلزله و برشتیجه

نیروی زلزله دارای سه واقعه قائم و افقی است

① نیروی زلزله می تواند به جسم سد اثر کند یا ② بر آب اثر کند و آب به سد نیرو وارد کند

محاسبه نیروی زلزله ناشی از وزن سد

۱- ۱- روش معمولی ۱- ۲- روش ضریب لرزه‌ای ۱- ۳- روش طیف پاسخ ۱- محور روش دینامیکی

۱- ۱- روش معمولی

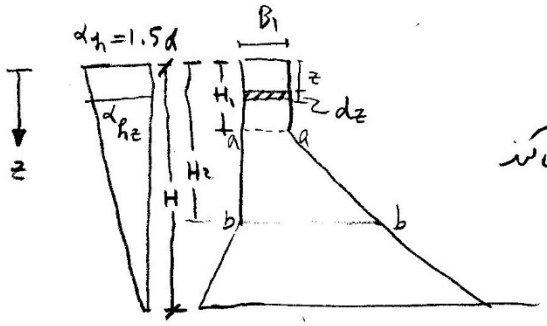
$F_{eh} = \alpha_h W$ ضریب شتاب افقی زلزله

$\alpha_h = \alpha$ شتاب زلزله

محل اثر نیرو در این حالت در مرکز جرم هر قطعه از سد است.

وزن سد (یا قطعه‌ای از سد)

نیروی افقی نیروی اینرسی ناشی از زلزله



۱- ۲- روش ضریب لرزه‌ای (مناسب برای سد تا ارتفاع 100 m)

در این روش مقدار ضریب زلزله (α_h) به صورت خطی تقسیم می‌کند

(اطلاعات شکل)

نیروی وارد بر هر قطعه از سد با انتگرال گیری به راحتی به دست می‌آید

به این شکل، می‌توان سد را به سه ارتفاع H_1، $H_2 - H_1$، $H - H_2$ تقسیم و برای هر قسمت با انتگرال‌گیری مقدار نیرو و لنگر را حساب کرد. برای این سطح $B_1\,dz$، نیروی ناشی از شتاب افقی زلزله برای 1m عرض سد را می‌نویسیم:

$$dF_1 = [1 \times B_1\,dz]\,\gamma_c \cdot \alpha_{hz}$$

$$\alpha_{hz} = 1.5\alpha\left[1 - \frac{z}{H}\right] \Rightarrow dF_1 = B_1\gamma_c(1.5\alpha)\left[1 - \frac{z}{H}\right]dz$$

کل نیروی قطعه H_1 از انتگرال‌گیری به دست می‌آید:

$$F_{h_1} = \int_0^{H_1} dF_1 = 1.5B_1\gamma_c\alpha\int_0^{H_1}\left(1 - \frac{z}{H}\right)dz = 1.5B_1\gamma_c\alpha\left[z - \frac{z^2}{2H}\right]_0^{H_1}$$

$$F_{h_1} = 1.5B_1\gamma_c\alpha H_1\left[1 - \frac{H_1}{2H}\right]$$

لنگر ناشی از dF_1 حول محور a–a

$$dM_1 = (dF_1)(H_1 - z) = 1.5B_1\gamma_c\alpha\left(1 - \frac{z}{H}\right)(H_1 - z)\,dz$$

$$M_1 = \int_0^{H_1} dM_1 = 1.5B_1\gamma_c\alpha\int_0^{H_1}\left(H_1 - z - \frac{H_1}{H}z + \frac{z^2}{H}\right)dz$$

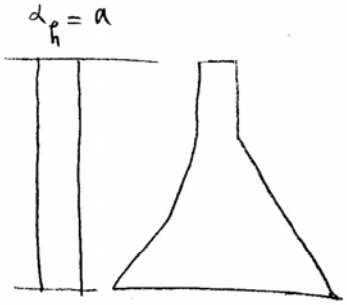
$$M_1 = 1.5B_1\gamma_c\alpha\left[H_1(H_1 - 0) - \left(1 + \frac{H_1}{H}\right)\left(\frac{1}{2}\right)(H_1^2 - 0) + \frac{1}{3H}(H_1^3 - 0)\right]$$

$$-\frac{1}{2}H_1^2 - \frac{H_1^3}{2H}$$

$$M_1 = 1.5B_1\gamma_c\alpha\left[\frac{1}{2}H_1^2 - \frac{H_1^3}{H}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right)\right] = 1.5B_1\gamma_c\alpha\left(\frac{H_1^2}{2}\right)\left(1 - \frac{H_1}{3H}\right)$$

$\frac{1}{6}$

برای سایر قطعات هم به روش مشابه نیرو و لنگر محاسبه می‌گردد.



۴-۳- روش طیف پاسخ (مناسب برای سدهای با ارتفاع بالای 100 m)

$$F_{hz} = 0.6\,C_F\,\alpha_h\,W$$

طیف پاسخ

C_F و C_M از نمودار به دست می‌آیند

$$M_z = 0.9\,C_M\,\alpha_h\,\bar{z}\,W$$

برای بدنه سد، $C_F = C_M = 1$

۴-۴- روش دینامیکی که برخلاف سه روش قبل از روش‌های دینامیکی استفاده می‌گردد.