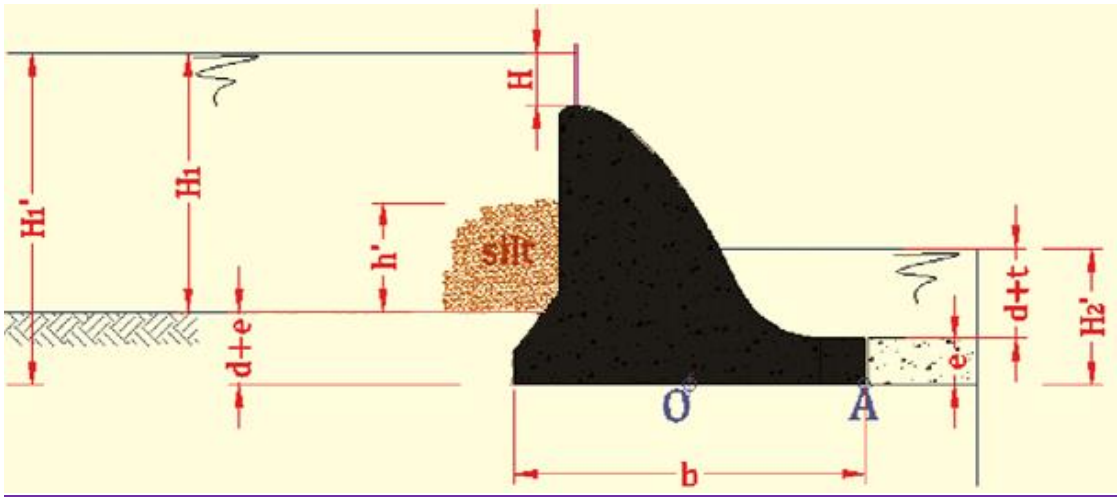
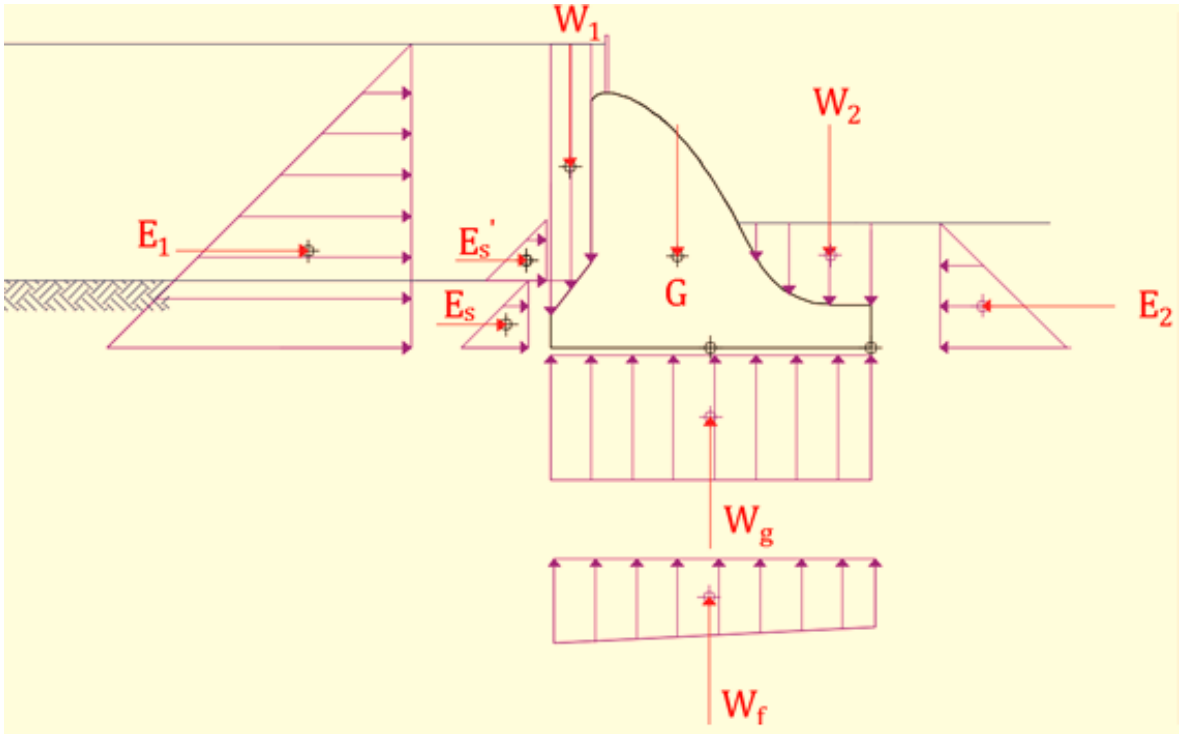
4-1- مقدمة: تقسم القوى المؤثرة على المنشآت المائية عادةً إلى:

- **قوى التوافق العادي (الطبيعي)**
- **قوى التوافق الاستثنائي (الطارئة)**

حيث يتم تحديد القوى المؤثرة على شريحة $1\ m$ من جسم المنشأة المائية.





الشكل (17)–القوى الأفقية والشاقولية المؤثرة على السد الهدّار

2-4- أولاً: قوى التوافق العادي: تشمل هذه القوى ما يلي:

1. **وزن المنشأة:** ويشمل الوزن الذاتي لمنشأة السد الهدار، وكذلك المعدات عليها:

$$\boldsymbol{G = \gamma . (A . 1)}$$

حيث A مساحة مقطع الهدّار، γ_b الوزن الحجمي للبيتون المسلح $(\gamma_b = 24 - 25 \frac{KN}{m^3})$

2. **ضغط الماء الهيدروستاتيكي:**

يحسب ضغط الماء على الوجه الأمامي من العلاقة: $\boldsymbol{E_1 = \frac{1}{2} . \gamma_w . (H_1'^2 - H^2)}$

حيث γ_w الوزن الحجمي للماء، $(\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3})$، H_1' فرق المنسوب بين مستوي التأسيس وسطح الماء في الحوز الأمامي: $H_1' = H + P + d + e$

كما يحسب ضغط الماء على الوجه الخلفي من العلاقة: $\boldsymbol{E_2 = \frac{1}{2} (\gamma_w . H_2'^2)}$

حيث H_2' فرق المنسوب بين مستوي التأسيس وسطح الماء في الحوز االخلفي: $H_2' = t + d + e$

3. **وزن الماء المؤثر على جسم المنشأة:**

من الأمام: $\boldsymbol{W_1 = \gamma_w . (A_1 . 1)}$، ومن الخلف $\boldsymbol{W_2 = \gamma_w . (A_2 . 1)}$

ويمكن إهمال قيمة A_2 لصالح الأمان.

4. **ضغط التسرب المعاكس:** W_f والذي سيتم تحديده في المحاضرة القادمة وفقاً لطريقتي بلاي ولين (يتم اعتماد طريقة بلاي).
5. **ضغط الرفع المعاكس (دافعة أرخميس):** W_g الناتج عن غمر جزء من المنشأة تحت منسوب الماء في الحوز السفلي. ويمثل مخطط ضغط دافعة أرخميدس تتمة مخطط ضغط التسرب حتى الخط الكتيم لمنشأة السد الهدّار، ولحالتنا (الخط الكتيم على نفس الاستقامة)، يُحسب كما يلي:

$$\boldsymbol{W_g = \gamma_w . (H_2' . b)}$$

حيث b طول قاعدة السد الهدار $(b = [1.6 \rightarrow 1.8] . H_{max})$

6. ضغط التربة الجانبي على السن الأمامي لمنشأة الهدار: E_s

وهو يمثل ضغط تربة الأساس على الوجه الأمامي للسد، ويتم حسابه وفق علاقة رانكين:

$$\boldsymbol{E_s = \frac{1}{2}.\gamma_{sub}.h_s^2.Ka - C.h_s.\sqrt{Ka}}$$

h_s : ارتفاع طبقة التربة أمام الهدار، $h_s = d + e$

γ_s : الوزن الحجمي المغمور للتربة، $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Ka : معامل الضغط الجانبي للتربة: $Ka = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$

φ : زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة

C : تماسك التربة

7. ضغط الرواسب النهرية (الطمي) المتوضعة أمام الهدار:

$$\boldsymbol{E'_s = \frac{1}{2}.\gamma'_{sub}.h'^2.Ka'}$$

h' : ارتفاع طبقة الطمي المتراكمة أمام الهدار، اعتباراً من منسوب سرير المجرى

γ'_{sub} : الوزن الحجمي المغمور للرواسب

Ka' : معامل الضغط الجانبي للطمي: $Ka' = \frac{1-\sin\varphi'}{1+\sin\varphi'}$

φ' : زاوية الاحتكاك الداخلي للطمي

ملاحظات:

- يؤخذ h' ارتفاع طبقة الطمي المتراكمة أمام الهدار وفقاً لما يلي:
  - في حال وجود فتحات لطرد الرواسب $\Leftarrow$ $h' = \frac{1}{3}.P$
  - في حال عدم وجود فتحات لطرد الرواسب $\Leftarrow$ $h' = \frac{2}{3}.P$

حيث P ارتفاع جسم الهدار من الأمام عن منسوب سرير المجرى المائي.

- في حال كانت هذه المواد المترسبة عبارة عن سائل ثقيل (طين)، أي لا يوجد احتكاك، عندئذٍ يمكن حساب قوة الضغط الجانبي لها كما يلي: $E'_S = \frac{1}{2}.\gamma'_{sub}.h'^2$
- يمكن أن أيضاً أن يدخل تأثير وزن الطمي الشاقولي على السن الأمامي: $W'_s = \gamma'_{sub}.A'_s.1$

3-4- ثانياً: قوى التوافق الاستثنائي: تشمل هذه القوى:

ضغط المياه الاستثنائي (مثلاً مرور غزارة أكبر من Q_{max})، القوى الحرارية، ضغط التسرب الاستثنائي، ضغط الرياح الإعصاري، ضغط الزلازل....الخ

لكن لا يتم الحساب على القوى الاستثنائية، وإنما **يتم التحقق منها**، (أي نسمح بانخفاض معامل الأمان K ضمن حدود معينة عند التحقق من تأثير القوى الاستثنائية).

مثلاً يتم الحساب أولاً على القوى الطبيعية ⇐ ينتج قيمة لـ K (مثلاً $K = 1.3$)، نقوم بالتحقق من الاستقرار بعد إضافة قوتين استثنائيتين بحيث يبقى $K > 1.05$.

4-4- حالات حساب منشأة السد - الهدّار:

حالة التحميل	القوى الداخلة في الحساب	الإجراءات
حالة البناء	الوزن الذاتي للمنشأة وجميع المعدّات المركبة عليها	التحقق من أن القاعدة، تتحمل الإجهادات المطبقة عليها
حالة الاستثمار	قوى التوافق الطبيعي	- يتم تصميم الشكل النهائي للمنشأة، (أي تحديد القيمة النهائية لـ b عرض قاعدة السد الهدار). - ثم التحقق من الاستقرار على الانزلاق والانقلاب وقيمة الإجهادات في نعل المنشأة.
الحالة الطارئة	قوى التوافق الطبيعي مضافاً إليها قوة أو قوتين من القوى الاستثنائية	التحقق من الاستقرار على الانزلاق والانقلاب والإجهادات. ويسمح بانخفاض قيمة معامل الأمان K ضمن حدود معينة.

4-5- حسابات الاستقرار:

نعتبر مستوي تأسيس المنشأة هو سطح الانزلاق وساحة الإجهادات:

- **الانزلاق:** يحسب معامل الأمان على الانزلاق كما يلي (تختلف قيمة معامل الأمان تبعاً لدرجة المنشأة وأهميتها):

$$K = \frac{(\Sigma V * f + C.F)}{\Sigma H} \geq (1.2 \rightarrow 1.5)$$

ΣV: مجموع القوى الشاقولية المؤثرة، ΣH : مجموع القوى الأفقية المؤثرة

f : معامل الاحتكاك لتربة الأساس $(f = tg\ \varphi)$، F: مساحة قاعدة الأساس، (شريحة بطول b وعرض $1m$).

C: معامل التماسك لتربة الأساس

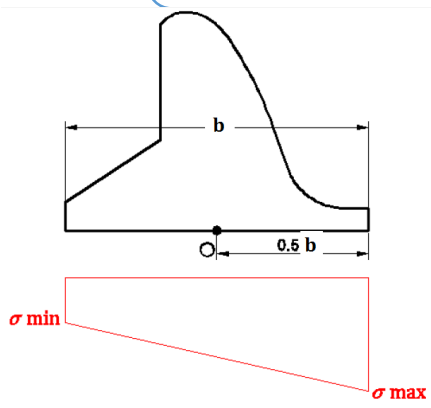
- **الانقلاب:** يحسب معامل الأمان على الانقلاب كما يلي، بحيث حيث تؤخذ العزوم حول النقطة A:

$$K = \frac{\Sigma M_{A_{\text{مثبتة}}}}{\Sigma M_{A_{\text{زالقة}}}} \geq (1.2 \rightarrow 1.5)$$

- **حساب الإجهادات تحت نعل الأساس لمنشأة السد – الهدار:**

$$\sigma_{max,mim} = \frac{\Sigma V}{(b.1)} \pm \frac{6.M_o}{b^2}$$

بحيث:



$$\sigma_{max} \geq P_s$$

P_s قدرة تحمل تربة الأساس المسموحة

و:

$$\sigma_{mim} > 0$$