



## Design of a Gravity Dam on the Course of the Wadi Labda – Libya

Bashir Mohamed Abuflagha<sup>1\*</sup>, Mohamed Ahmed Meteeg<sup>2</sup>, Abdurrahman Abdallah Mayouf<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Department of Civil Engineering, Misrata University, Misrata, Libya

### تصميم سد تناقلي على مجري وادي لبدة - ليبيا

بشير محمد أبو فلحة<sup>1\*</sup>، محمد أحمد معيتيق<sup>2</sup>، عبدالرحمن عبدالله معيوف<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>الهندسة المدنية، الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا

\*Corresponding author: [bashir83rm@gmail.com](mailto:bashir83rm@gmail.com)

Received: February 22, 2026

Accepted: April 07, 2026

Published: April 18, 2026

**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### Abstract

In average years, the Wadi Labda floods four or five times a year, and all its water flows into the sea without being released. Since the city of Al-Khums, which relies on a network of wells for its drinking water, is located in the Wadi Labda, it considered the possibility of reclaiming the water currently lost to the sea to supply these wells. Therefore, the wadi was deemed suitable from hydrological, hydrogeological, and topographical perspectives by international consulting firms in 1972, and a suitable location for a dam was identified by studying the contour map of the area's elevation. The dam was designed based on a maximum water level of 25 meters in the valley, and a storage basin with a capacity of 5,200,000 cubic meters and a length of 1,056 meters. The necessary design data was obtained from the General Authority for Water, Central Region Branch. The design was meticulously planned for every linear meter of the dam structure to ensure its safety, starting from the dam base in section '1-1'.

**Keywords:** Wadi Labdah, hydrology (water studies), contour mapping, dam design, rainwater harvesting.

#### المخلص

يفيض وادي لبدة في السنين المتوسطة الامطار حوالي أربعة أو خمسة مرات في العام وتذهب مياهه جميعها الى البحر بدون الاستفادة بها على الاطلاق. ولما كانت مدينة الخمس تتغذى بمياه الشرب من مجموعة آبار تقع في وادي لبدة فقد اتجه التفكير لمحاولة الاستفادة من مياه هذا الوادي التي تضيع سنويا في البحر لتغذية هذه الآبار بالمياه العذبة. لذلك درس الوادي من النواحي الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية والطوبوغرافية من قبل شركات استشارية عالمية في عام 1972 وتم تحديد موقع مناسب لإقامة السد بدراسة الخريطة الكنتورية لمناسيب المنطقة. وتم تصميم السد اعتمادا على أقصى ارتفاع للمياه في مجرى الوادي وهو 25 متر، وحوض تخزين سعته التخزينية 5200000 متر مكعب وبطول 1056 متر وتحصلنا على البيانات اللازمة للتصميم من الهيئة العامة للمياه فرع المنطقة الوسطى. وتم التصميم لكل متر طولي لجسم السد للتأكد من أمان السد، ابتداء من قاع السد بقطاع '1-1'.

**الكلمات المفتاحية:** وادي لبدة، هيدرولوجيا (دراسات المائية)، الخريطة الكنتورية، تصميم السدود، تخزين مياه الامطار.

مقدمة:

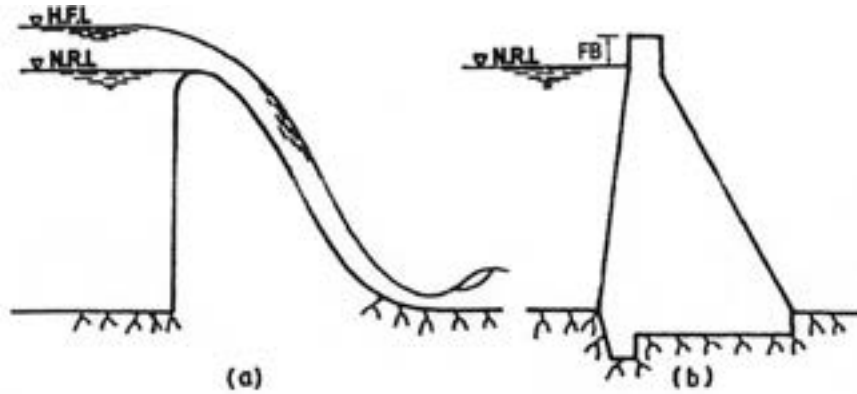
إن واحدة من أهم المشاكل التي تواجه العالم اليوم هي ضمان الحصول على المياه العذبة على المدى القريب والبعيد فالمياه هي عصب الحياة لاستخداماتها المتعددة في الصناعة وفي الزراعة وفي كل أنشطة الحياة. لذلك كان الاستغلال الأمثل لمياه المجاري المائية بمنع تدفقها إلى البحر وذلك بإنشاء السدود على مجاري الأودية لحجز المياه أمامها، وبذلك يتحقق غرضين مهمين أولهما هو تكون الخزانات السطحية والتي تتيح الاستخدام المباشر للمياه خاصة في الزراعة، والثاني هو شحن الخزان الجوفي بالمياه العذبة والتي يمكن استخراجها بإنشاء الآبار الضحلة أو العميقة. ومن ناحية أخرى فإن شحن الخزانات الجوفية يساعد على عدم توغل مياه البحر المالحة عند التقاء المياه العذبة مع مياه البحر المالحة أو ما يعرف بـ **Salt Water Intrusion**، ومن هنا تنبع أهمية السدود لحجز مياه الأمطار المتدفقة في مجاري الوديان والتي كانت تضيع هباءً دون الاستفادة منها. والسد هو منشأ هيدروليكي يقام بعرض مجرى الوادي لتخزين المياه أمامه، وهو حاجز غير منفذ يقوم بتخزين المياه المتدفقة في المجرى المائي مكونا خزانا سطحيا أمامه [1].

### 1. تصنيف السدود:

يمكن تقسيم السدود إلى ثلاث أقسام رئيسية وهي:

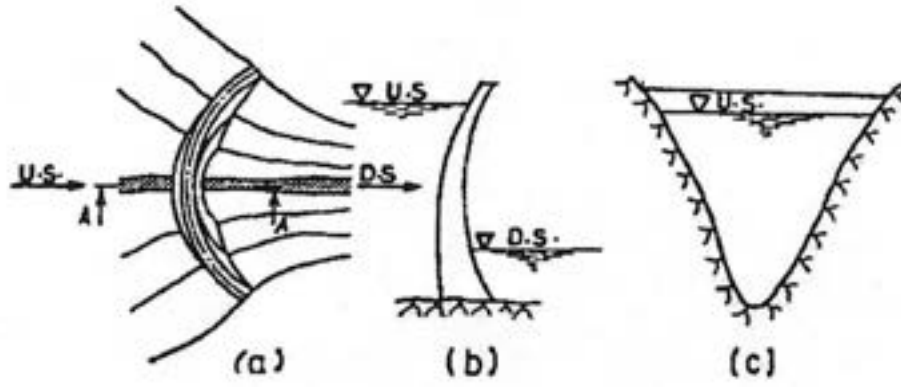
- \* **التصنيف طبقا للغرض طبقا للغرض** أو الوظيفة التي ينشأ من أجلها السد فإن السدود تصنف إلى أربع أنواع - سدود لغرض التخزين، سدود لغرض التحويل، سدود الحماية، سدود التغذية الجوفية.
- \* **التصنيف طبقا للتصميم الهيدروليكي:** طبقا للتصميم الهيدروليكي فإن السدود تنقسم إلى نوعين، كما هو موضح في الشكل 1.

- a- سد يسمح بمرور الماء فوقه: وهذا النوع من السدود ينشأ من الخرسانة حيث يشغل المفيض جزء من طول السد و يكون منسوب القمة في هذا الجزء منخفضا بالنسبة لباقي طول السد حتى يسمح بمرور التصريفات الزائدة عن الحاجة في حالة الفيضانات العالية و التي إن لم تصرف قد تسبب أضرار للسد نفسه.
- b- سد لا يسمح بمرور المياه فوقه: وهذا النوع من السدود إما أن يكون سد ترابي أو ركامي لأن مرور المياه فوق السد أو ما يسمى **Over Topping** قد يحدث انجراف لمادة إنشاء السد.



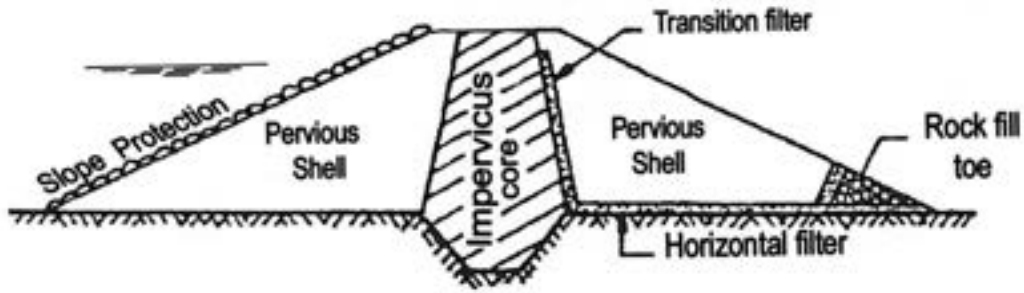
شكل (1): يوضح نوع السدود طبقا للتصميم الهيدروليكي.

- \* **التصنيف طبقا لمادة الإنشاء:** طبقا لنوع المادة التي يتكون منها جسم السد، فإن السدود تنقسم إلى ستة أنواع هي:
  - **السدود التثاقلية:** مادة إنشاؤها غالبا تكون الخرسانة العادية، وهذا النوع من السدود يعتمد في اتزانه على وزنه ضد قوى الانقلاب والانزلاق، كما هو موضح في شكل (2-b).
  - **السدود المقوسة:** تنشأ عند المواقع الضيقة في مجرى الوادي وله انحناء في المسقط الأفقي من ناحية الأمام كما هو موضح في شكل (2-a) ويجب أن تكون جوانب الوادي صخرية في موقع السد لكي تتحمل قوة رد الفعل الناشئ من ضغط المياه على قوس السد.



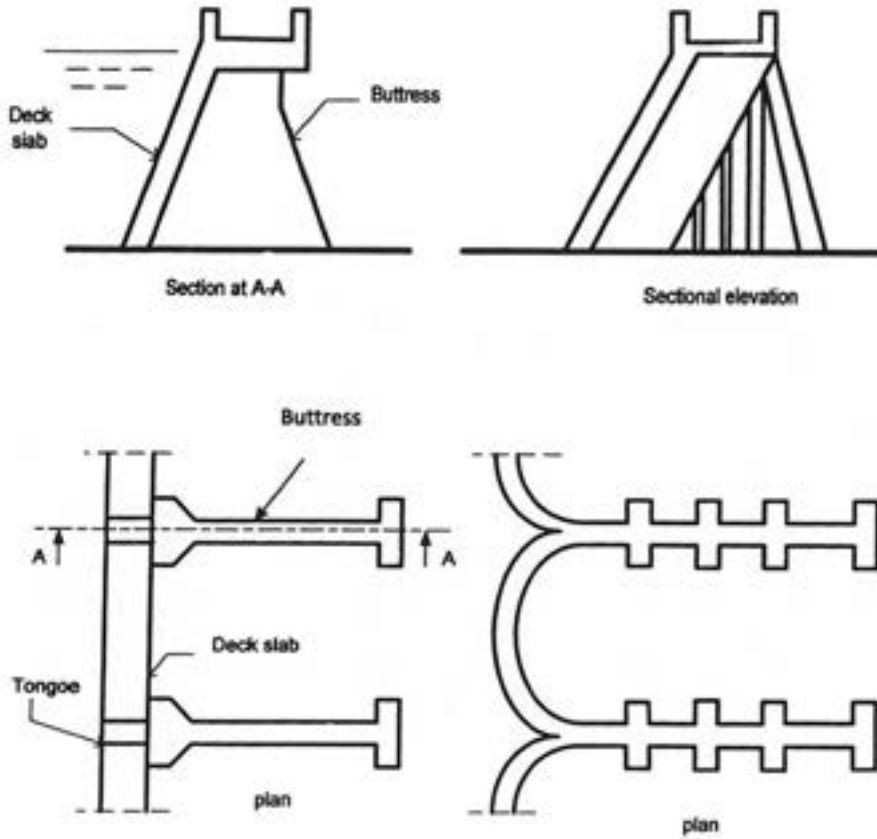
شكل (2): يوضح نوع السدود طبقاً لمادة الانشاء.

- السدود الترابية: هي أقدم السدود التي انشأت، حيث يتكون جسم السد من التربة الموجودة في الموقع، وهذا النوع هو الأكثر انتشاراً في ليبيا مثل سد كعام وزارت وغيرها. وشكل 3 يوضح قطاعاً عرضياً من سد ترابي.



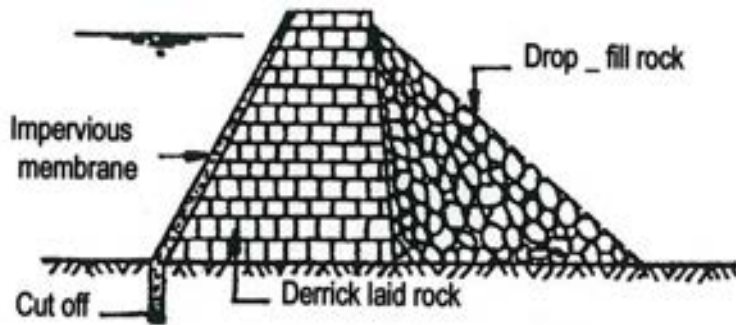
شكل (3): يوضح مقطعاً عرضياً لسد الترابي.

- السدود الخرسانية المسلحة: مادة إنشائها هي الخرسانة المسلحة وتتكون من أعصاب تتكرر على مسافات معينة تغطي ببلاطة خرسانية من ناحية الخزان كما هو في شكل 4.



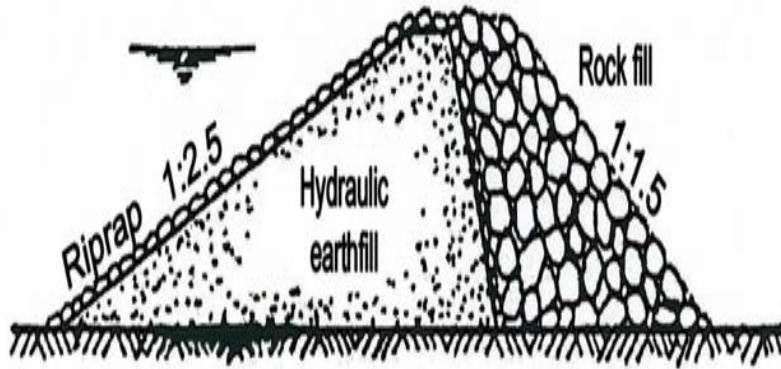
شكل (4): يوضح السد الخرساني المسلح.

- السدود الركامية: تتكون من الصخور وتتمتع بقدرة فائقة على مقاومة الزلازل وذلك لمرونتها وتشكلها بفعل الزلازل، وشكل 5 يوضح قطاعا عرضيا لسد ركامي.



شكل (5): يوضح مقطع عرضي لسد الركامي.

- السدود الترابية الركامية: جسم السد هنا مكون من جزئيين صخور وتربة كما هو موضح في شكل 6.



شكل (6): يوضح السد الترابي الركامي.

## 2. الأجزاء الرئيسية للسد:

يتألف السد أساسا من جسم السد Dam Wall والمفرغ السفلي Bottom Outlet والمأخذ المائي Water Intake والمفيض Spillway وينفذ جسم السد عادة في أضييق خائق توفره الطبيعة على مجرى الوادي، من أجل تقليص حجم أعمال السد وكلفتها إلى أدنى حد ممكن، شريطة أن يتسع مجرى الوادي قبل موقع السد لتشكيل الخزان المائي المناسب. ومن المفروض أن يوفر هذا المجرى موردا مائيا كافيا يسوغ إقامة السد، كما يمكن في بعض الحالات الخاصة جلب المياه إلى الخزان من مصدر مائي قريب بالضح إذا كان ذلك مجديا فنيا واقتصاديا. ومن المفروض أيضا أن يتوافر في موقع السد الشروط الجيولوجية الكفيلة بتحمل الإجهادات التي ستطبق عليه إضافة إلى توافر الشروط الهيدرو جيولوجية المناسبة لضمان كتامة أساسات السد وبحيرة التخزين لتقليل الفوائد المائية فيها إلى الحد المقبول اقتصاديا.

[2]

## 3. العوامل التي تحدد اختيار نوع السد:

إن اختيار نوع السد يتطلب عناية شديدة، حيث يتم عمل تقديرات وتصميمات مبدئية لعدة أنواع من السدود ثم يختار منها نوع السد المناسب والأقل تكلفة. ويتم ذلك من خلال فريق عمل مكون من الجيولوجيين، والهيدرولوجيين، والمخططين، ومهندسين إنشائيين، ومهندسي المياه، ومهندسين مختصين بعلم التربة والأساسات، حيث يقوم هذا الفريق بدراسة وتحليل العوامل المحددة لاختيار نوع السد، والتي نوجزها فيما يلي:

\* **الطبوغرافية:** طبوغرافية الموقع أساسا تحدد الاختيار الأول لنوع السد. فمن خلال الخرائط الكنتورية لموقع السد يمكن استنتاج شكل القطاع العرضي للوادي. فإذا كان الوادي عريض فيفضل السد ترابي وإذا كان الوادي على شكل حرف U فيفضل السد الركامي أو التتافلي، أما إذا كان الوادي على شكل حرف V فيفضل السد المقوس.

\* **نوع تربة الأساس:** في معظم الحالات فإن تربة الأساس هي التي تحدد نوع السد. وتوجد قاعدة مهمة جدا وهي أن نوع مادة السد يجب أن تكون مطابقة لنوع مادة الأساس. فيما يلي سنستعرض بعض أنواع تربة الأساس واختيار نوع السد المناسب لها.

- **الأساس الصخري القوي:** الأساس الصخري يناسب أي نوع من أنواع السدود خاصة السدود التتافلية ذات الوزن الكبير والذي يتطلب أساس قوي مثل الجرانيت والبازلت.

- **أساس صخري متوسط:** مثل الحجر الجيري وهو يناسب السدود الخرسانية المسلحة.

- **أساس زلطي:** إذا كانت تربة الأساس زلطية فهي تناسب السدود الترابية والركامية.

- **أساس من الطمي أو الرمل الناعم:** هذه التربة تناسب السدود الترابية أو السدود التتافلية المنخفضة الارتفاع ولا تناسب على الإطلاق السدود الركامية.

- **أساس من الطين:** نظرا لأن الطين يحدث له هبوط على المدى الطويل ولذلك فإن السد الترابي فقط هو الذي يناسب هذا الأساس.

\* **مادة الإنشاء:** إن أكثر السدود اقتصادية هو الذي تتوافر فيه مواد الإنشاء بكميات كبيرة على مسافة معقولة من الموقع. فإذا كانت كميات الصخور كبيرة فيفضل السد الركامي، أما إذا وجدت كميات كبيرة من الزلط والرمل وهي مكونات الخرسانة فيفضل السد التتافلي، وأما إذا كانت كميات كبيرة من التربة ذات الحبيبات الخشنة والناعمة متوافرة فيفضل السد الترابي.

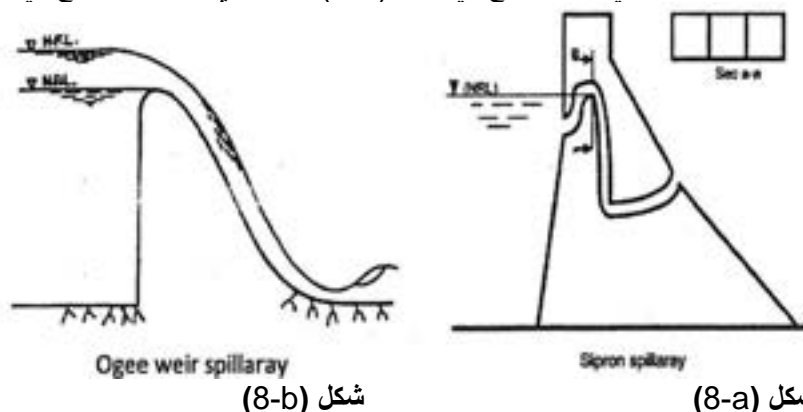
\* **الزلازل:** في المواقع التي تكون عرضة للهزات الأرضية يفضل إنشاء السدود الركامية لمرونتها العالية، حيث تتداخل قطع الصخور المكونة لجسم السد في بعضها البعض لتكون أكثر مقاومة.

## 4. أهداف السدود: يتم عمل السدود للأغراض التالية:

- الري والاستخدامات الزراعية وتنمية الثروة الحيوانية والسمكية.



\* **سد مفيض:** وهو جزء من السد منسوب قمته أقل من بقية السد وذلك لتتناسب المياه من فوقه وفي هذه الحالة يعمل كمفيض ويمكن أن يكون المفيض سيفوني كما موضح في شكل (8-a) أو هداري كما هو موضح في شكل (8-b).

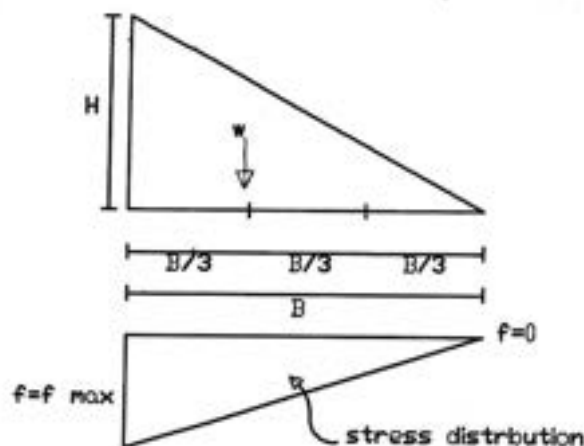


شكل (8-b)

شكل (8-a)

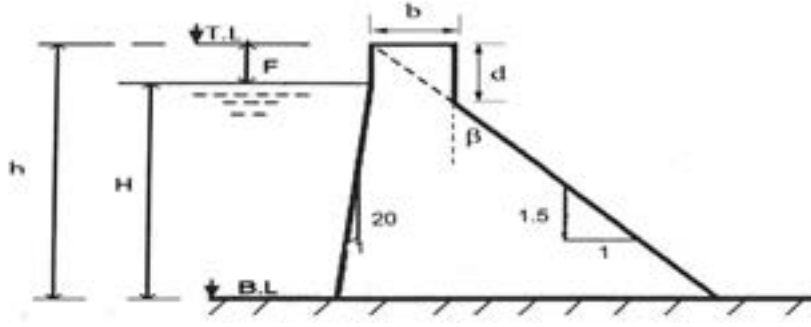
شكل (8): يوضح سد مفيض.

**9. قطاع السد المثلثي النظري:** لكي يكون قطاع السد اقتصاديا أي يلزمه أقل كمية مواد إنشاء يجب أن يكون عند أحد جانبي القطاع أكبر إجهاد ضغط وعند الجانب الآخر الإجهاد يساوي صفر وهذا لا يأتي إلا إذا كان قطاع السد على شكل مثلث كما هو موضح بالشكل 9.



شكل (9): يوضح قطاع السد المثلثي.

**10. قطاع السد العملي:** عمليا لا يمكن أن يكون عرض قمة السد مساويا صفر وذلك لوجود طريق على قمة السد ويلزم ذلك إضافة ميل خفيف لواجهة السد يتراوح من واحد أفقي إلى 20 رأسي كما هو موضح في شكل 10. أما الميل الخلفي فيتوقف على حالة الضغوط الرافعة أسفل السد.



شكل (10): يوضح قطاع السد العملي.

### 11. الأبعاد التجريبية للسدود التثاقلية:

عند تصميم السدود التثاقلية فإنه يلزم وضع أبعاد مبدئية لقطاع السد وكما هو موضح في شكل 10 فإن الأبعاد المبدئية للسد التثاقلي هي:

- الارتفاع الحر (F): وهو ارتفاع قمة السد مقاسا من سطح المياه في الخزان.

$$F = (4\% - 5\%)H \quad (1)$$

حيث:

H هو ارتفاع الماء أمام السد وبالتالي يكون ارتفاع السد (h).

$$h = H + F \quad (2)$$

- عرض قمة السد (b): يؤخذ عرض قمة السد كدالة من الارتفاع (h)، بحيث لا يقل عن عرض الطريق فوق السد.

$$b = 0.55 \sqrt{h} \quad (3)$$

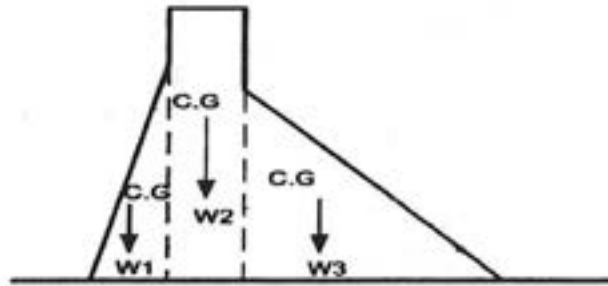
- ارتفاع الهامة الخلفية (d):

$$d = b / \tan \beta \quad (4)$$

### 12. القوى المؤثرة على السد التثاقلي: فيما يلي سوف نستعرض القوى المؤثرة على اتزان السد التثاقلي:

- وزن السد: إن مادة إنشاء السد هي الخرسانة العادية والتي تتراوح كثافتها ( $\gamma_m$ ) من  $2.2 - 2.3 \text{ t/m}^3$  او ما يعادل  $21.6 - 22.6 \text{ KN/m}^3$ .

ووزن السد هو الذي يعطي للسد اتزانه ضد الانزلاق أو الانقلاب، ويقسم قطاع السد العرضي إلى أشكال مميزة لسهولة حساب الوزن الكلي كما هو موضح بشكل [3]11.

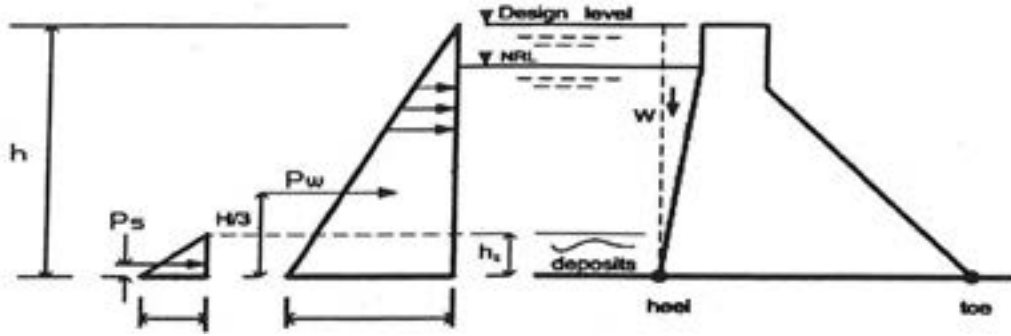


شكل (11): يوضح أقسام القطاع العرضي للسد.

- ضغط الماء الهيدروستاتيكي: شكل 12، يوضح الضغط الهيدروستاتيكي على السد.

$$P_w = 0.5 (\gamma_w H) \cdot H \quad (5)$$

ويؤخذ في الاعتبار الضغط الناشئ عن الرواسب الموجودة في الخزان على طول السد والذي يمكن حسابه كما يلي:



شكل (12): يوضح الضغط الماء الهيدروستاتيكي على السد.

\* إذا كانت المواد المترسبة ذات أحجام كبيرة تعامل كتربة ولكن بكثافة ( $\gamma_{sub}$ ) وبالتالي تكون قوة ضغط الرواسب ( $P_s$ ).

$$P_s = K_a \frac{\gamma_{sub} h_s^2}{2} \quad (6)$$

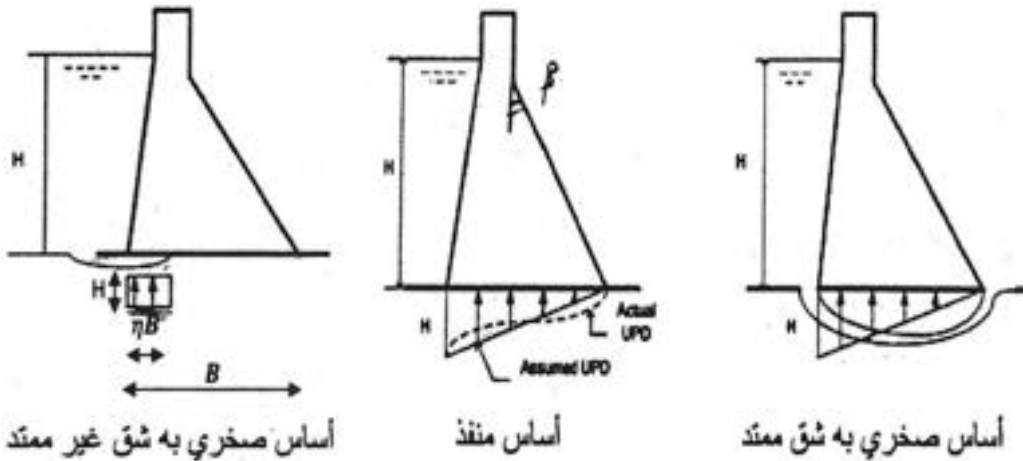
\* إذا كانت المواد المترسبة بأحجام دقيقة فإنها تعامل كسائل ثقيل كثافته ( $\gamma_s = 1.36 \text{ t/m}^3$ ) وبالتالي تكون قوة ضغط الرواسب ( $P_s$ ).

$$P_s = \frac{\gamma_s h_s^2}{2} \quad (7)$$

- الضغوط الرافعة: تختلف قيمة و شكل الضغوط الرافعة طبقاً لنوع تربة الأساس المنشأ عليها السد كما يلي:

\* في حالة التربة المنفذة فإن تركيز (كثافة) الضغوط الرافعة ( $\delta\%$ ) تعتمد على نفاذية التربة كما هو موضح في شكل (13-a).

\* في حالة التربة الصخرية فإنه قد يحدث شرخ في الصخر أسفل السد وقد يكون الشرخ ممتداً كما في شكل (13-b) أو غير ممتداً كما في شكل (13-c) [1].



أساس صخري به شق غير ممتد

شكل (13-a)

أساس منفذ

شكل (13-b)

أساس صخري به شق ممتد

شكل (13-c)

شكل (13): يوضح الضغوط الرافعة تبعا لنوع تربة الأساس.

في حالة التربة المنفذة فإن ميل السد الخلفي يتوقف على تركيز الضغوط الرافعة ( $\delta\%$ ) حيث تكون نسبة عرضه ( $B$ ) إلى ارتفاعه ( $H$ ) هي:

$$\frac{B}{H} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_r - \delta}} \quad (8)$$

أما في حالة التربة الصخرية فإن ميل السد الخلفي يتوقف على طول الشرخ الموجود في الأساس وبذلك تكون نسبة العرض ( B ) إلى الارتفاع ( H ) هي:

$$\frac{B}{H} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_r - \eta(4 - 3\eta)}} \quad (9)$$

حيث:

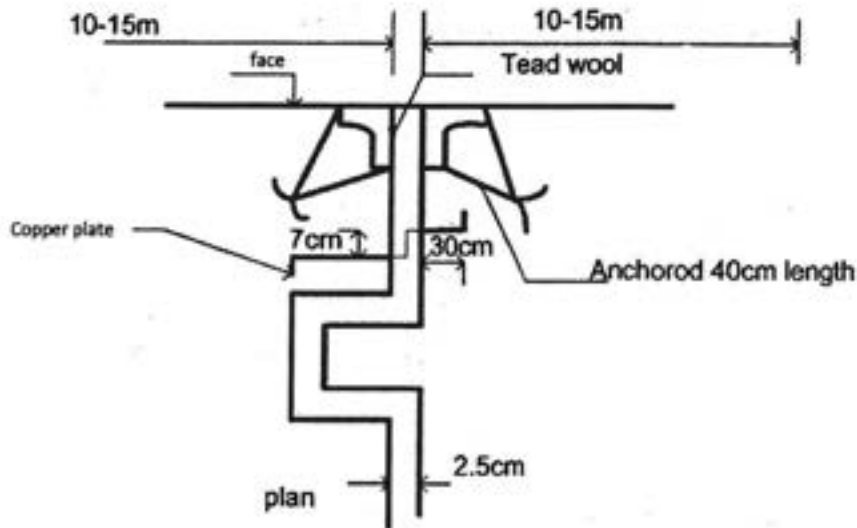
$\gamma_r$  هي الكثافة النسبية لمادة السد.

$$\gamma_r = \frac{\gamma_m}{\gamma_w} = 2.2 - 2.3 \quad (10)$$

$\eta$  هي نسبة طول الشرخ إلى عرض قاعدة السد ( B ).

- **الإجهادات الناتجة عن الحرارة:** الإجهادات الناتجة عن الحرارة ترجع لحد كبير إلى التفاعل الكيميائي أثناء صب الخرسانة وإلى حد قليل إلى درجة حرارة الجو، والحرارة الناتجة قد تؤدي إلى تشريح في الخرسانة وتلافي ذلك نتبع ما يلي:

\* بالنسبة للحرارة الناتجة عن التفاعل الكيماوي أثناء صب الخرسانة يجب عمل نظام للتبريد أثناء وبعد الصب.  
\* بالنسبة للحرارة الناتجة عن الجو نقوم بعمل وصلات وتمدد و انكماش على أبعاد من (10 - 15) متر كما هو موضح بشكل 14 [3].

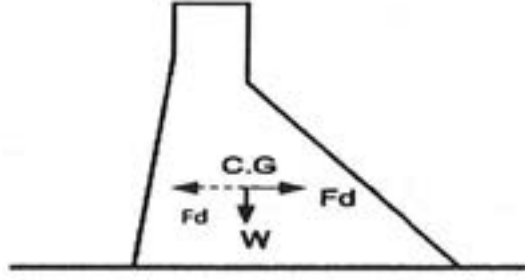


شكل (14): يوضح الاجهادات الناتجة عن حرارة الجو على السد.

- **الضغوط الناتجة عن الزلازل:** ينتج عن الزلازل موجة مسببة عجلة على جسم السد وعلى المياه أمام السد ويمكن إيجاد القوى المؤثرة على جسم السد أو على المياه أمام السد كما يلي:

\* **تأثير العجلة الأفقية:** إن القوى المؤثرة في هذه الحالة ( $F_a$ ) كما هو موضح في الشكل 15. ومن خلال العلاقة رقم

11.



شكل (15): يوضح الضغوط الناتجة عن عجلة الجاذبية على جسم السد.

$$F_d = 1.5 w \lambda \quad (11)$$

حيث:

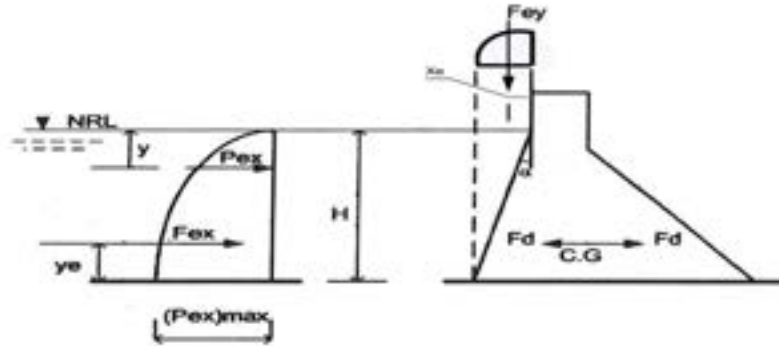
$W$  هو وزن السد

$\lambda$  هو معامل يتوقف على درجة الزلزال،  $K$  مقياس بمقياس ريختر.

جدول (1): يوضح قيمة معامل الزلازل مع مقياس ريختر [4]

K	7	8	9
$\lambda$	0.025	0.05	0.10

\* الضغط الهيدروديناميكي الناتج عن الزلازل: كما هو موضح بشكل 16، فإن موجة الزلزال تحدث ضغطاً ديناميكياً للمياه الموجودة أمام السد وتكون القوى الأفقية الناتجة ( $F_{ex}$ ) هي:



شكل (15): يوضح الضغوط الناتجة عن عجلة الجاذبية على جسم السد.

$$F_{ex} = 0.726 (P_{ex})_{max} H \quad (12)$$

حيث:

$$(P_{ex})_{max} = C \lambda \gamma_w H \quad (13)$$

$$C = \frac{C_m}{2} \left[ \frac{y}{H} \left( 2 - \frac{y}{H} \right) + \sqrt{\frac{y}{H} \left( 2 - \frac{y}{H} \right)} \right] \quad (14)$$

$$C_m = 0.735 \frac{(90^\circ - \alpha)}{90^\circ} \quad (15)$$

وبناء عليه فإن:

$$F_{ex} = 0.726 C \lambda \gamma_w H^2 \quad (16)$$

$$y_e = 0.424 H \quad (17)$$

أما القوى الرأسية ( $F_{ey}$ ) هي:

$$F_{ey} = F_{ex} \cdot \tan \alpha \quad (18)$$

حيث:

$\alpha$  هي زاوية ميل وجه السد الأمامي وتأثر على بعد  $X_e$

$$X_e = y_e \tan \alpha \quad (19)$$

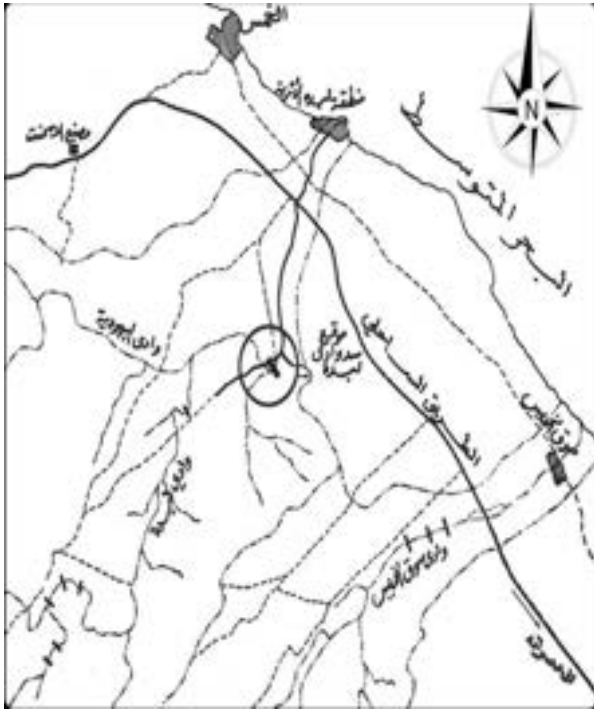
**13. شروط اتزان السد:** لكي نضمن اتزان السد ضد القوى المؤثرة يجب تحقيق الشروط الآتية [4]:

- غير مسموح بانزلاق قاعدة السد ويجب توفر معامل أمان ضد الانزلاق لا يقل عن 1.5.
- غير مسموح بالانقلاب حول إصبع السد (toe) مع وجود معامل أمان ضد الانقلاب لا يقل عن 2.
- غير مسموح بأي إجهادات شد أي أن محصلة القوى عند أي قطاع من السد يجب أن تقع ضمن الثلث الأوسط لكي تكون نقطة تأثيرها على بعد من منتصف القطاع لا يزيد عن (1/6) من عرض القطاع.
- إجهاد الضغط العمودي والأفقي أو الرأسي يجب ألا يزيد عن المسموح به وهو ( $40 \text{ kg/cm}^2$ ) للخرسانة العادية.
- إجهاد القص لا يزيد عن ( $6 \text{ kg/cm}^2$ ).
- الإجهاد الرأسي الأعظم (S) لا يزيد عن المسموح به حيث أن القيمة المسموحة هي (3/8) من إجهاد الضغط المسموح به، أي أن:

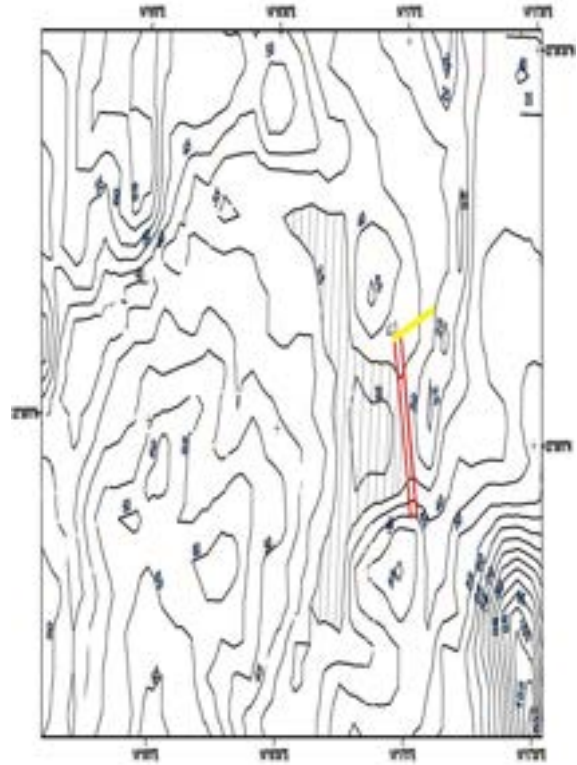
$$S_{all} = 40 \times \frac{3}{8} = 15 \text{ kg/cm}^2 = 150 \text{ t/m}^2$$

**14. تخطيط وتصميم السد التثاقلي:**

في هذا البحث سوف نستعرض التصميم الهندسي للسد التثاقلي والمقترح إنشاءه في وادي لبدو والذي يقع على بعد 5 كم على مصعد الوادي من مصبه في البحر الابيض المتوسط، ويبعد مصب الوادي حوالي 3 كم من مدينة الخمس، للوصول الى السد عن طريق فرعي بطول حوالي 3.5 كم جنوب الطريق الساحلي طرابلس مصراته، وتقع مدينة لبدو الاثرية الرومانية على الجانب الغربي لوادي لبدو على بعد 1 كم من البحر، كما موضح في الخريطة بشكل 16، وطوبوغرافية الموقع موضحة في الخريطة الكنتورية كما في الشكل 17.



شكل (16): يوضح موقع الوادي.



شكل (17): يوضح خريطة كنتورية لطوبوغرافية الوادي

### 15. البيانات المتوفرة:

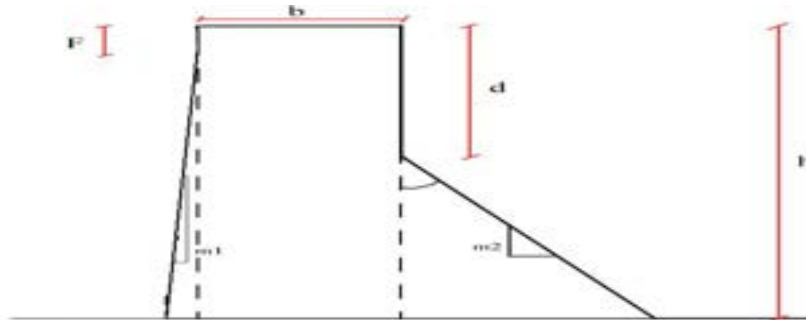
- منسوب التخزين  $NRL = 42.4$ .
- منسوب الارض 17.4 متر.
- القطاع العرضي للوادي كما هو موضح في الشكل 18، وقاع وجوانب الوادي هي تربة صخرية.



شكل (18): يوضح القطاع العرضي للوادي.

- عرض الطريق فوق السد 9متر، عدد 2 حارة مرور.
- نفترض وجود زلازل بدرجة 7 بمقياس ريختر.
- ارتفاع الرواسب 4 متر وهي حبيبات كبيرة وزاوية الاحتكاك الداخلي  $(\phi = 25^\circ)$ .

### 16. تصميم جسم السد:



شكل (19): يوضح ابعاد السد.

كما هو موضح في الشكل 19، فإن ابعاد السد هي:

- الارتفاع الحر (F).
- ارتفاع السد (h).
- عرض قمة السد (b).
- ارتفاع الهامة الخلفية (d).
- ميل الوجه الأمامي (m1).
- ميل الوجه الخلفي (m2).

الميل الامامي للسد سيؤخذ 20 رأسي: 1 أفقي أما الميل الخلفي فسيؤخذ 3 رأسي: 2 أفقي وذلك لأن قاع الوادي صخري فلا يوجد شروخ وبالتالي فإن:

$$\frac{B}{H} = \frac{1}{\sqrt{2.25}} = \frac{1}{1.5}$$

17. أبعاد السد:

بالتطبيق في المعادلات (1) و(2) و(4) نجد ان:

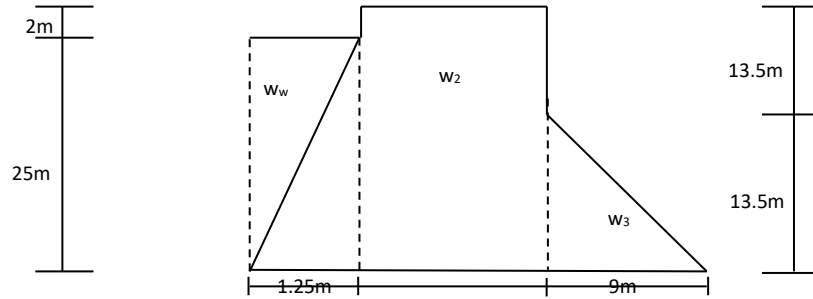
$$\begin{aligned} F &= 2\text{ m} \\ h &= 27\text{ m} \\ d &= 13.5\text{ m} \end{aligned}$$

18. أمان السد:

بالنظر إلى الشكل 19 سنعتبر أربعة قطاعات يتم عليها حساب الإجهاد العمودي الرأسي (f) والإجهاد العمودي الأفقي (n) وإجهاد القص (q) والإجهادات الرأسية (S<sub>1</sub> , S<sub>2</sub>).

- حساب الإجهادات للقطاع (1-1):

وهو يقع على قاعدة السد كما هو موضع بالشكل 20.



شكل (20): يوضح ابعاد السد.

- الإجهادات العمودية الرأسية (F):

جدول (2): يوضح حساب الاجهادات العمودية الرأسية للقطاع (1-1)

Forces (ton)	x <sub>i</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	(M <sub>a</sub> ) <sub>i</sub> (t.m)
w <sub>1</sub> = 35.156	18.427	-	+647.820
w <sub>2</sub> = 546.750	13.500	-	+7381.125
w <sub>3</sub> = 136.69	6.00	-	+820.14
w <sub>w</sub> = 15.625	18.833	-	+294.266
F <sub>ey</sub> = 0.404	18.530	-	+7.486
P <sub>w</sub> = 312.500	-	8.333	-2604.063
F <sub>ex</sub> = 8.077	-	10.600	-85.616
P <sub>s</sub> = 3.410	-	1.333	-4.546
F <sub>d1</sub> = 1.318	-	8.333	-10.983
F <sub>d2</sub> = 20.503	-	13.500	-276.791
F <sub>d3</sub> = 5.126	-	4.500	-23.067
-	-	-	∑ 6145.771

$$R = \sum_1^3 w + w_w + Fey$$

$$R = 35.156 + 546.750 + 136.69 + 15.625 + 0.404$$

$$R = 734.625 \text{ ton}$$

نأخذ العزوم حول النقطة (i)

$$\Sigma M_i = R(x) = N(x)$$

$$x = \frac{6145.771}{734.625} = 8.366 \text{ m}$$

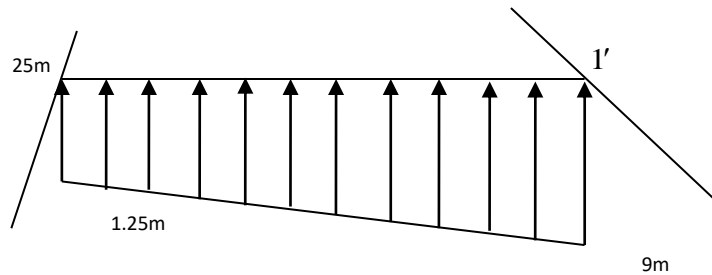
$$e = \frac{B}{2} - x = \frac{19.25}{2} - 8.366 = 1.259 \text{ m}$$

$$F_{11'} = \frac{-R}{B} \left[ 1 \pm \frac{6(e)}{B} \right]$$

$$= -\frac{734.625}{19.25} \left[ 1 \pm \frac{6(1.259)}{19.25} \right]$$

$$F_{11'} = -53.045 \text{ ton/m}^2 \text{ (comp)}$$

$$F_1 = -23.279 \text{ ton/m}^2 \text{ (comp)}$$



شكل (21): يوضح الاجهادات العمودية الراسية.

- إجهاد القص (q):  
عند النقطة (1)

$$q_1 = (P - F_1) \tan \alpha$$

$$q_1 = (25 - 23.279) \frac{1}{20} = 0.086 \text{ t/m}^2$$

ملاحظة:

الإشارة السالبة تعني أن القص في الاتجاه المضاد.  
عند النقطة (1')

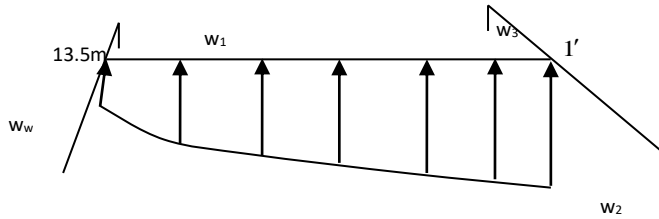
$$q_{1'} = F_{1'} \tan B$$

$$q_{1'} = 53.045 \left( \frac{1}{1.5} \right) = 35.363 \text{ t/m}^2 < 60 \text{ t/m}^2 \quad \text{safe}$$

$$\begin{aligned} Q_{25} &= \Sigma \text{ Hal.forces} = P_w + F_{ex} + \sum_1^3 Fd + P_s \\ &= 312.5 + 8.077 + 1.318 + 20.503 + 5.126 + 3.410 \\ &= 350.934 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{area of shear} = \frac{(35.363 + 0.086)}{2} \times (19.25) = 341.197 < 350.934$$

$$\begin{aligned} \frac{2}{3}(19.25)y &= 350.934 - 341.197 \\ y &= 0.759 \end{aligned}$$



شكل (22): يوضح الاجهادات القص.

- الإجهادات العمودية الأفقية (n):  
عند النقطة (1)

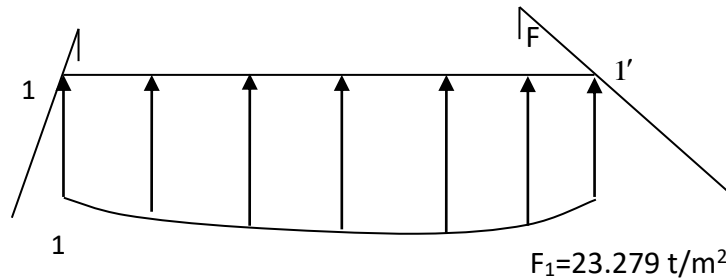
$$n_1 = P - q_1 \tan \alpha$$

$$n_1 = 25 - (0.086)(0.05) = 24.996 \text{ t/m}^2$$

عند النقطة (1')

$$n_{1'} = q_{1'} \tan \beta$$

$$= 35.363 (0.667) = 23.587 \text{ t/m}^2$$



$$n_{1'} = 23.587 \text{ t/m}^2$$

شكل (23): يوضح الاجهادات الافقية.

- الإجهادات الرئيسية ( $S_2$ ,  $S_1$ )  
على الوجه الأمامي للسد

$$S_2 = P \longrightarrow \therefore q_1 = -Ve$$

$$S_2 = 25 \text{ t / m}^2$$

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cos 2.86} = 1$$

$$S_1 = F_1 \sec^2 \alpha - P \tan^2 \alpha$$

$$S_1 = (23.279)(1)^2 - (25)(0.05)^2 = 23.217 \text{ t / m}^2$$

$$< 150 \text{ t / m}^2 \quad \text{safe}$$

على الوجه الخلفي للسد

$$S_1 = F_1, \sec^2 \beta$$

$$\tan \beta = 0.667 \Rightarrow \beta = 33.67$$

$$\sec \beta = \frac{1}{\cos \beta} = \frac{1}{\cos 33.67} = 1.2$$

$$S_1 = (53.045)(1.2)^2 = 76.385 \text{ t/m}^2 < 150 \text{ t/m}^2 \quad \text{safe}$$

∴ لا يوجد مياه خلف السد

$$S_2 = 0 \therefore$$

#### 19. الاستنتاجات

- يجب اجراء اختبارات حقلية ومعملية شاملة للأساسات، خاصة للسدود التي يزيد ارتفاعها عن 15 مترا، للتأكد من قدرة الصخر على التحمل والنفاذيته.
- الاستقرار والمقاومة حيث يعتمد السد في ثباته على وزنه، لذا يجب ان يكون التصميم امنا ضد الانزلاق والانقلاب، مع ضرورة اخذ ضغط المياه الرافع بعين الاعتبار.
- نوصي بحق ستارة مانعة للتسرب بعمق مناسب تحت السد (قد تصل الي 40 مترا) لتقليل نفاذية الصخور، بالإضافة الي حفر ابار لتخفيف ضغط المياه المتسربة.
- يجب ادخال القوي الافقية الناتجة عن الزلازل في حسابات التصميم، حيث تعتبر عاملا حاسما في استقرار السد.
- يفضل تصميم السد على شكل كتل منفصلة للتعامل مع التمدد والتقلص وتفاوت الهبوط.
- يجب دراسة الترسيب المتوقع خلف السد حيث يؤثر على عمره الافتراضي وقدرته التخزينية.

#### 20. التوصيات

- نوصي بعمل دراسات الجيولوجية والتكوينية لتحليل نشاط الزلزالي وتراكيب الأرض قبل البدء بالتصميم.
- اجراء فحص مستمر للستارة المانعة للتسرب ونظام التصريف لضمان سلامة السد الهيكلية.

#### 21. المراجع

- [1] أ.د. محمد أبورحيم وآخرون. تصميم المنشآت الهيدروليكية. نور الاسلام للطباعة – الاسكندرية (2012).
- [2] سمير محمد إسماعيل، 2001. هيدروليكا المضخات والقنوات المكشوفة، الناشر مكتبة بستان المعرفة لطبع ونشر وتوزيع الكتب، كفر الدوار – الحدائق، مصر.
- [3] د. محمد عبدالرحمن الجنائني (1987). المنشآت الهيدروليكية. دار الراتب الجامعية – بيروت.
- [4] أ.د. محمد أبورحيم محاضرات دراسات عاليا غير منشورة في تصميم السدود – جامعة المرقب (2013).