# التدعيم بالجيوغريد لتحسين مواصفات تربة تأسيس السد الركامي

م. عماد زكريا * د. م. طلال عواد**


## الملخص

**تظهر الترب الضعيفة خصائص هندسية غير مرغوب بها. فهي تميل إلى مقاومة قص ضعيفة ويمكن أن تكون لدنة وانضغاطية ويمكن أن تتمدد بالترطيب وتتقلص بالتجفيف. إن تنفيذ الردميات والمنشآت الأخرى على مثل هذه الترب الضعيفة يعدُّ تحدياً في الهندسة الجيوتكنيكية. وفي الوقت نفسه فإن البناء على الترب الضعيفة أصبح أكثر أهمية نتيجة التوسع العمراني السريع كمناطق تمدن في جميع أنحاء العالم بسبب التزايد السكاني. ويهتم هذا البحث باستخدام التدعيم بالجيوغريد لتقوية التربة الضعيفة وتحسين مواصفاتها.**

**يتبين من خلال هذا البحث أن توضع التسليح بالجيوغريد بين ردمية السد وسطح تربة القاعدة الضعيفة يزيد من قساوة التربة الضعيفة. وسيكون التسليح بالجيوغريد إحدى وسائل زيادة قساوة الطبقة الضعيفة الموجودة في المنطقة المدروسة إلى جانب الحصول على مقاومة عالية للشد والانعطاف.**


**الكلمات المفتاحية : جيوغريد تربة ضعيفة قساوة التربة ردمية سد.**

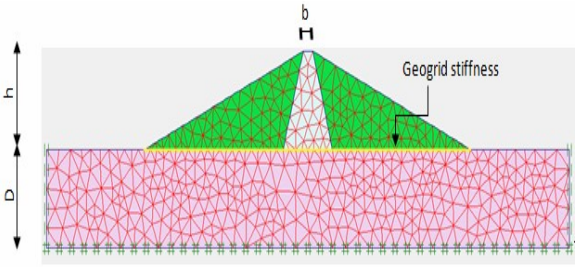
* أعد البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس عماد محمد زكريا بإشراف الدكتور طلال عواد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

** قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق.

## 1. مقدمة

تناقش هذه المقالة بعض البارمترات التي تؤثر في دور الجيوغريد في زيادة قساوة التربة القاعدية لردمية سد ركامي ، إن مصطلح قساوة التربة أينما ورد في هذا البحث يمثل نسبة إجهاد القص المطبق إلى إجهاد القص الحدي عند الانهيار بحسب موهر كولومب. سندرس في هذا البحث حالة وضع الجيوغريد في المنطقة الفاصلة بين جسم الردمية وتربة الأساس وسوف ندرس البارامترات التي يمكن أن يكون لها تأثير في توضيح دور الجيوغريد في زيادة قساوة التربة القاعدية وهي:

- ارتفاع جسم ردمية السد .
- عرض قمة ردمية السد .
- سماكة طبقة الأساس ذات المواصفات الضعيفة .
- قساوة الجيوغريد المستخدم للتدعيم .




**الشكل (1) البارامترات المدروسة**

وقد دُرِسَ تأثير كل بارامتر في قساوة التربة عند سطح تربة التأسيس بتغيير أحد البارامترات وتثبيت البارامترات الأخرى وذلك بطريقة العناصر المحدودة وباستخدام برنامج plaxis 2D Vr 8.1 .

ولتحليل هذا التأثير رُسِمَتْ منحنيات بيانية لتمثيل العلاقة بين البارامتر المتغيّر ومعامل تأثير القساوة $K_f$ الذي يمكن تعريفه بأنه النسبة بين قساوة التربة عند سطح التماس المدروس بوجود التدعيم إلى القساوة عند النقطة نفسها دون وجود التدعيم.

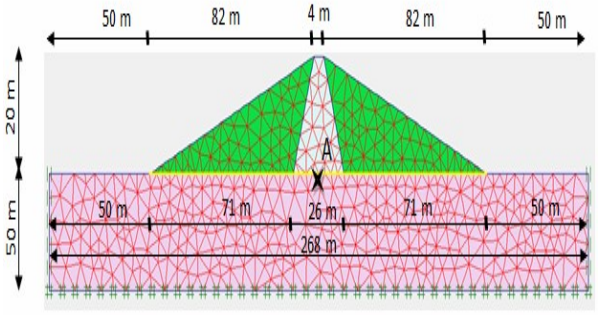
**هدف هذا البحث إلى:**

- دراسة تأثير البارمترات المذكورة أعلاه في قساوة التربة القاعدية .
- تحديد معامل تأثيرالقساوة $K_f$ .
- تحديد نسبة ارتباط البارامترات المدروسة بمعامل تأثير القساوة وبيان هل هذه البارامترات هي المتغيّرات الوحيدة التي تؤثر في معامل تأثير القساوة أم أنَّ هناك مؤثرات أخرى لم تؤخذ بالحسبان وذلك بإيجاد معامل التحديد المتعدد من خلال تحديد نسبة الارتباط .

## 2. النمذجة العددية وفق برنامج plaxis 2D

حُلِّلَ التشوه المستوي (plane strain analysis) وفق معيار المرونة وصممت شبكة العناصر المحدودة النموذجية باستخدام عناصر مثلثية بـ (6-nodes). وأُخذَتْ بالحسبان الشروط المحيطية الآتية: منع الانتقال الأفقي للحدود الجانبية الشاقولية للنموذج ومنع الانتقال الأفقي والشاقولي للحدود السفلى الأفقية. كما أُخذت بالحسبان النقاط الآتية:

- حُدِّدَتْ حدود النموذج الخارجية : أُخذتْ بالحسبان حدود النموذج حتى نقاط تتلاشى فيها التشوهات والإجهادات كما هو مبيّن بالشكل (3) .




**الشكل (3) شبكة العناصر المحدودة وخصائص النموذج لحالة محددة**

- حُدِّدَ الشكل الهندسي والأبعاد للنموذج مع الخطوط الأساسية لمكونات المسألة.
- أُسنِدَتْ خصائص المواد وتغيّرها بحسب البارامتر المدروس كما يوضّح الجدول (1).

| البارامتر | الرمز | تربة الأساس | تربة النواة | تربة الجوانب | الواحدة |
|---|---|---|---|---|---|
| الموديل المدروس | Mod | موهركولومب | موهركولومب | موهركولومب | - |
| سلوك المادة | Type | مصرفة | مصرفة | مصرفة | - |
| الوزن الحجمي غير المشبع | $\gamma_{usat}$ | 18 | 16 | 16 | $kN/m^3$ |
| الوزن الحجمي المشبع | $\gamma_{sat}$ | 21 | 20 | 20 | $kN/m^3$ |
| النفاذية الأفقية | $K_x$ | 0.02 | 0.0001 | 0.25 | m/day |
| النفاذية الشاقولية | $K_y$ | 0.02 | 0.0001 | 0.25 | m/day |
| معامل يونغ | $E_{ref}$ | 4400 | 8000 | 20000 | $kN/m^2$ |
| معامل بواسون | $\nu$ | 0.3 | 0.35 | 0.33 | - |
| التماسك | $C$ | 12.3 | 5 | 5 | $kN/m^2$ |
| زاوية الاحتكاك الداخلي | $\varphi$ | 7.7 | 25 | 30 | ° |

الجدول (1)

- وُلِّدَتْ شبكة العناصر المحدودة والمبيّنة في الشكل (3) .
- رُصِدَتْ الإجهادات عند نقطة أسفل ردمية السد (النقطة A).

**تأثير ارتفاع ردمية السد:**

نبين فيما يأتي طريقة التصميم المبسطة لتحديد متى نحتاج إلى تدعيم بشكل مبدئي (مقترح مخطط التصميم):

1 -تحديد ارتفاع الانهيار للردمية غير المدعمة Hc عن طريق تحليل دائرة الانزلاق الذي يقابل الارتفاع عند تساوي عزم الانقلاب مع العزم المقاوم .

ويستفاد من تحديد هذا الارتفاع في تقييم هل كان التدعيم مطلوباً أم لا فإذا وجدنا أن ارتفاع الانهيار المحسوب Hc للردمية غير المدعمة أكبر الردمية أو يساويها فإن التدعيم غير مطلوب وما عدا ذلك فإن التدعيم يعتبر ليسمح بارتفاع إضافي .

$Hc \geq h \rightarrow$ التدعيم غير مطلوب.

$Hc < h \rightarrow$ التدعيم مطلوب .

من أجل النموذج المدروس نجد أن $H_c$=27m ولما كان الارتفاع المطلوب للردمية هو h=30m فالتدعيم مطلوب إذاً.

2 - تحديد ارتفاع الانهيار لردمية مدعمة بشكل تام Hu (عدّ سلوك الردمية يماثل سلوك أساس صلد) إذا كان التدعيم مطلوباً نتيجة ما سبق فإن الخطوة التالية في التصميم هي حساب الارتفاع الأعظمي النظري Hu لردمية مدعمة بشكل تام أي نفترض وجود تدعيم كافٍ للردمية تسبب لها أن تسلك سلوك الأساس الصلد وذلك عن طريق تحليل قدرة التحمل لأساس صلد .

ويستفاد من تحديد هذا الارتفاع في تقييم هل كان التدعيم بمفرده كافياً للاستقرار أم لا بدَّ من بديل

$h < Hu$ and $h > Hc \rightarrow$

التدعيم بمفرده يؤمن الاستقرار الكافي

$h > Hu \rightarrow$

التدعيم بمفرده لا يؤمن الاستقرار الكافي

من أجل النموذج المدروس نجد أن $H_u$=33 m ولما كان الارتفاع المطلوب للردمية هو h=32 m فالتدعيم بمفرده إذاً يؤمن الاستقرار الكافي .

**نلاحظ مما سبق أنه تم الوصول إلى الارتفاع المطلوب لردمية السد من خلال التدعيم بالجيوغريد.**

3 - تحديد القوى التصميمية لمادة التدعيم من أجل استقرار الردمية المدعمة إذا كان التدعيم مطلوباً وكافياً بمفرده لتأمين الاستقرار المطلوب ولا بدَّ من تحديد القوى التي سنصمم عليها مادة التدعيم T التي تعدُّ كعزم مقاوم إضافي تؤخذ الأصغر بين :

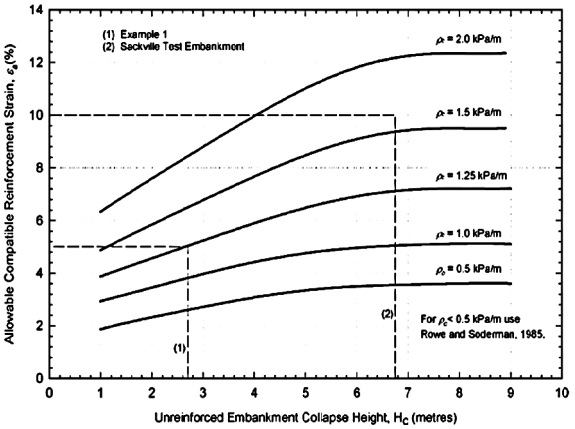
- ✓ القوة المطلوبة لسند إجهاد القص عند السطح الفاصل أساس - ردمية وقوة الدفع في جسم الردمية.
- ✓ قدرة الانسحاب للتدعيم ( التملص ) .
- ✓ القوة المسموحة $Ta = m.J.\varepsilon a$

إذْ :

m : عدد طبقات التدعيم m = 3

J: قساوة مادة التدعيم على مدى التشوه $\varepsilon a \rightarrow 0$

$\varepsilon_a$: تشوه مادة التدعيم المسموح الـذي يحـسب مـن مخطط التصميم الذي وُضِعَ من أجل تخمين تشوه مـادة التدعيم المسموح الشكل (2)




**الشكل (2) من أجل تخمين تشوه مادة التدعيم المسموح حسب Rowe and Soderman**

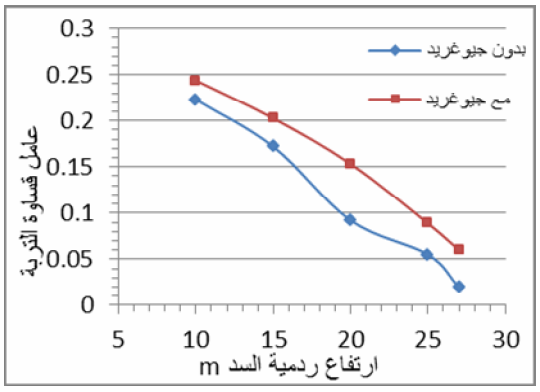
إن دراسـة تأثيرارتفـاع ردميـة الـسد h علـى دور الجيوغريد في زيادة قساوة التربـة لقواعـد ردميـات السدود في حال تأسيسها على الترب الـضعيفة أجـري بتثبيت البارامترات الآتية :

- مواصفات شبكة الجيوغريد: باستخدام ثلاث طبقات EA=500Kn/m' لكل طبقة.
- مواصفات جسم السد (أبعاد ومواصفات مكوناته).

وأمَّا البارامتر المتغيّر في دراسة هذا التأثير فهو ارتفاع ردمية السد h.

رُصِدَتِ الإجهادات عند النقطة (A) الواقعة عند السطح الفاصل بين جسم ردمية السد وتربة قاعدة التأسيس كما يظهر في الشكل (3) .

ولتقييم التأثير الناتج عن ارتفاع ردمية الـسد فـي دور الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميـات الـسدود رُسِمَ المنحنى البياني كما في الشكل (4) حيث المحـور الأفقي يمثل ارتفاع ردمية السد h والمحـور الـشاقولي يمثل قساوة التربة عند النقطة (A) .




**الشكل (4) العلاقة بين عامل قساوة التربة وارتفاع ردمية السد**

بدراسة المنحنى البياني في الشكل (4) نلاحظ ظهـور تأثير التسليح بالجيوغريد من خلال زيادة قساوة تربـة القاعدة بنسبة متزايدة تبدأ من 67% عند الارتفاع 20 م وتزداد بازدياد الارتفاع لتـصبح نحـو 100% عنـد الارتفاع 27 م حيـث تنهـار الردميـة دون التـدعيم الجيوغريد .

**تأثير عرض قمة ردمية السد**

إن دراسة تأثيرعرض قمة ردمية السد b في دور الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميات السدود في حالة تأسيسها على الترب الضعيفة أجري بتثبيت البارامترات الآتية :

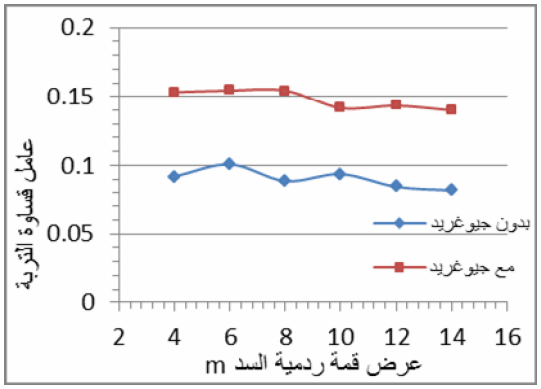
- مواصفات شبكة الجيوغريد: باستخدام ثلاث طبقـات EA=500Kn/m' لكل طبقة.
- مواصفات جسم السد (أبعاده ومواصـفاته ومكوناتـه) باستثناء عرض قمة السد.

وأمَّا البارامتر المتغيّر في دراسة هذا التأثير فهو عرض قمة ردمية السد b

رُصِدَتِ الإجهادات عند النقطة (A) الواقعة عند السطح الفاصل بين جسم ردمية السد وتربة قاعدة التأسيس كما يظهر في الشكل ( 3 ) .

ولتقييم التأثير الناتج عن عرض قمة ردمية السد في دور الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميات

السدود رُسِمَ المنحنى البياني كما في الشكل (5) حيث المحور الأفقي يمثل عرض قمة ردمية السد b والمحور الشاقولي يمثل قساوة التربة عند النقطة (A) .




**الشكل (5) العلاقة بين عامل قساوة التربة وعرض قمة ردمية السد**

بدراسة المنحنى البياني في الشكل (5) نلاحظ ظهور دور الجيوغريد في رفع قساوة التربة بنسبة 67 % وتزداد هذه النسبة بزيادة عرض قمة الردمية .

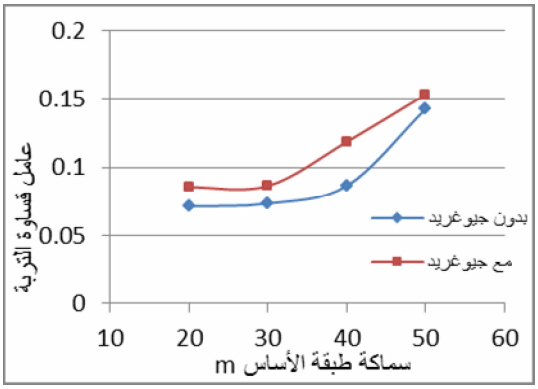
**تأثير سماكة طبقة الأساس**

إن دراسة تأثيرسماكة طبقة الأساس D (الذي يمثل سماكة طبقة القاعدة ذات المواصفات الضعيفة) في دور الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميات السدود في حال تأسيسها على الترب الضعيفة أجري بتثبيت البارامترات الآتية:

- مواصفات شبكة الجيوغريد: باستخدام ثلاث طبقات EA=500Kn/m' لكل طبقة.
- مواصفات جسم السد (أبعاده ومواصفاته ومكوناته).

وأمَّا البارامتر المتغيّر في دراسة هذا التأثير فهو سماكة طبقة الأساس ذات المواصفات الضعيفة D ورُصِدَت الإجهادات عند النقطة (A) الواقعة عند السطح الفاصل بين جسم ردمية السد وتربة قاعدة التأسيس كما يظهر في الشكل ( 3 ) .

ولتقييم التأثير الناتج عن سماكة طبقة الأساس في دور الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميات السدود تم رسم المنحني البياني كما في الشكل (6) حيث المحور الأفقي يمثل سماكة طبقة الأساس D والمحور الشاقولي يمثل قساوة التربة عند النقطة (A) .




**الشكل (6) العلاقة بين عامل قساوة التربة وسماكة طبقة الأساس**

رُسِمَ المنحنى البياني في الشكل (6) يمكننا ملاحظة زيادة قساوة التربة باستخدام شبكة الجيوغريد في تدعيم القاعدة بنسبة 18 % إلى 37 %، حإذْيث من أجل الأعماق بين 30 إلى 50 م تكون الاستفادة من التدعيم جيدة.

**تأثير قساوة الجيوغريد**

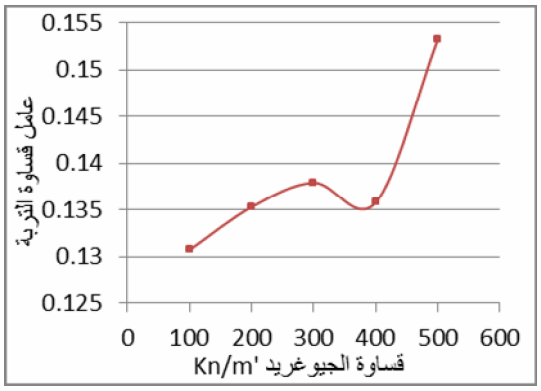
إن دراسة تأثير قساوة الجيوغريد EA في رفع قدرة التحمل وتحسين مواصفات الانضغاط لقواعد ردميات السدود في حالة تأسيسها على الترب الضعيفة أجري بتثبيت البارامترات الآتية:

- عمق طبقة التأسيس بحيث لا تؤثر في تشوه القاعدة.
- مواصفات جسم السد (أبعاده ومواصفاته ومكوناته).

وأمَّا البارامتر المتغيّر فهو قساوة الجيوغريد EA وهي قساوة خطية معرفة وفق البرنامج المدروس.

رُصِدَت الإجهادات عند النقطة ( A ) الواقعة عند السطح الفاصل بين جسم ردمية السد و تربة قاعدة التأسيس كما يظهر في الشكل ( 3 ) .

ولتقييم التأثير الناتج عن قساوة الجيوغريد في زيادة القساوة لقواعد ردميات السدود رُسِمَ المنحنى البياني كما في الشكل (7)، إذْ المحور الأفقي يمثل تغيّر قساوة الجيوغريد والمحور الشاقولي يمثل قساوة التربة عند النقطة (A) .




**الشكل (7) العلاقة بين عامل قساوة التربة وقساوة الجيوغريد**

بدراسة المنحنى البياني في الشكل (7) نلاحظ التأثير الواضح لزيادة قساوة الجيوغريد في زيادة قساوة التربة يفسر هذا السلوك بأن الجيوغريد والردمية يعملان كأساس صلد عند وصول قساوة الجيوغريد إلى قيمة معينة .

**علاقة معامل تأثير القساوة $K_f$ بالبارامترات المؤثرة بها إحصائياً**

وجدنا في الفقرات أعلاه أن معامل تأثير القساوة $K_f$ تابع لكل من ارتفاع ردمية السد h وعرض قمة السد b وسماكة طبقة الأساس الضعيفة D وقساوة الجيوغريد EA أي إنَّ : $K_f = f(h,b,D,EA)$ .

وسنقوم الآن بتحديد $K_f$ وتابعيتها لكل من $h,b,D,EA$ إحصائياً باستخدام نماذج الانحدار الخطي المتعدد الذي يأخذ في الحسبان تأثير متغيّرين مستقلين أو أكثر في المتغيّر التابع ثم نقوم باختبار هذا النموذج لمعرفة مدى جودة معادلة الانحدار الخطي المتعدد للتعبير عن $K_f$ بدلالة كل من $h, b, D, EA$

يأخذ نموذج الانحدار الخطي المتعدد الشكل العام الآتي:

$$Y_k = \beta_0 + \beta_1 X_{1k} + \beta_2 X_{2k} + \cdots + \beta_L X_{Lk} + \zeta_k$$

حيث تمثل: $Y_k$ المتغيّر التابع

و $X_{1K}, X_{2K}, \ldots X_{LK}$ المتغيّرات المستقلة.

و $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots \beta_K$ معالم النموذج.

و $K = 1,2\ldots,n$ عدد المشاهدات.

ولدينا: المتغيّر التابع $Y$ هو معامل تأثير القساوة $K_f$

أي إنَّ: $(K_f)_K = Y_k$

المتغيّرات المستقلة $X_1, X_2, \ldots X_L$ ذات علاقة مع $h, b, D, EA$

أي إنَّ :

$$X_1 = f(h)$$
$$X_2 = f(b)$$
$$X_3 = f(D)$$
$$X_3 = f(EA)$$

ومن ميزات هذا الانحدار أن كلما كانت المتغيّرات المستقلة $X_1, X_2, \ldots X_L$ أكثر تعبيراً وارتباطاً بالمتغيّر التابع $(K_f)_K$ ولمَّا كنا معادلة الانحدار الخطي المتعدد أكثر جودة وبما أننا لا نعرف كيفية ارتباط معامل تأثير القساوة $K_f$ بالمتغيّرات $h, b, D, EA$ انطلقنا من متغيّرات مستقلة ذات توابع تتميّز بأن لها شكلاً يقارب شكل منحنى علاقة المتغيّر المستقل بالمتغيّر التابع ثم نوجد معالم النموذج $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots \beta_K$ التي تجعل توابع المتغيّرات المستقلة أكثر تعبيراً عن $(K_f)_K$

ومن ثمَّ فإن :

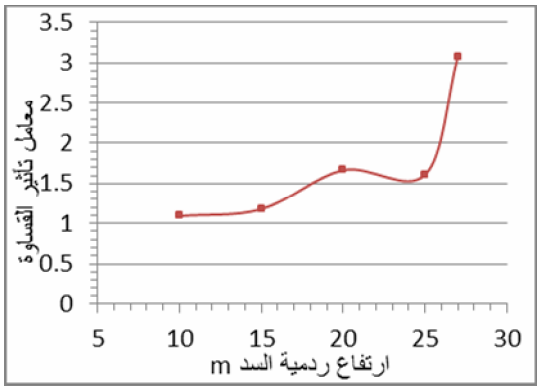
**المنحنى $X_1 = f(h)$** يجب أن يكون مشابهاً للشكل (8) الذي له الشروط الحدية الآتية:

- يكون هذا التابع $1 \le f(h) < \infty$ عندما $1 \le h < 30$
- أن هذا التابع له مستقيم مقارب إلى $h=30\ m$
- عندما $h \to 30$ فإن $f(h) \to \infty$

ونلاحظ أن

$$X_1=F(h) = 0.0017h^3 - 0.085h^2 + 1.3904h - 6.056$$

يقارب في شكله الشكل (8) ويحقق شروطه الحدية.



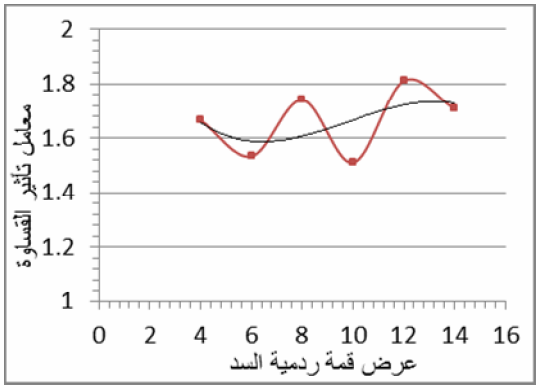

**الشكل (8) علاقة معامل تأثير القساوة مع ارتفاع ردمية السد**

**المنحنى $X_2 = f(b)$** يجب أن يكون مشابهاً للشكل (9) الذي له الشروط الحدية الآتية :

- نلاحظ أن هذا التابع يكون $1.50 \ge f(b) \ge 2$ عندما $4 < b \le 14$ ونظراً إلى أن قيم معامل تأثير القساوة ذات تغيّر بسيط بتغيّر عرض قمة ردمية السد ومن ثمَّ

$$X_2 = -0.0009b^3 + 0.0278b^2 - 0.2405b + 2.2352$$

يقارب في شكله الشكل (9) .




**الشكل (9) علاقة معامل تأثير القساوة مع عرض قمة ردمية السد**

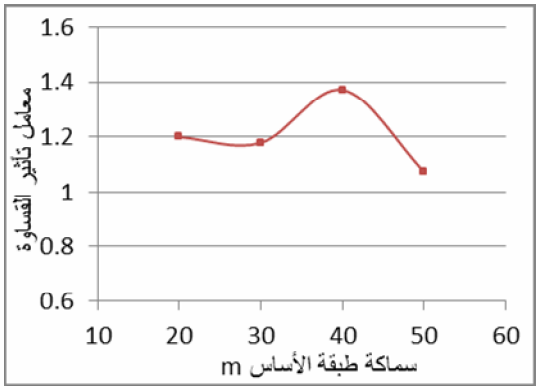
**المنحنى $X_3 = f(D)$** يجب أن يكون مشابهاً الشكل (10) الذي له الشروط الحدية التالية :

- أن هذا التابع يكون $f(D) \le 1.2$
- أن هذا التابع له مستقيم مقارب $f(D) = 1.37$
- أن هذا التابع يكون متزايد حتى القيمة $D=40m$

ونلاحظ أن

$$X_3= -0.0001D^3 + 0.0116D^2 - 0.3596D + 4.6884$$

يقارب في شكله الشكل (10) ويحقق شروطه الحدية.

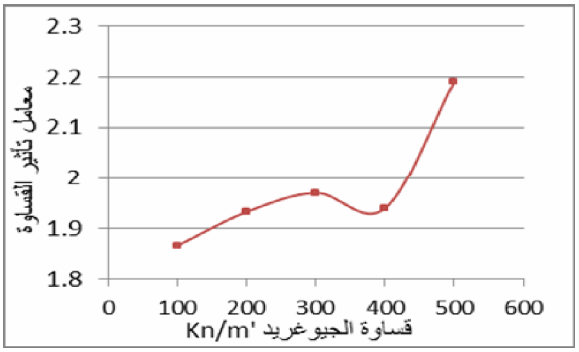



**الشكل (10) علاقة معامل تأثير القساوة مع سماكة طبقة الأساس**

**المنحنى $X_4 = f(EA)$** يجب أن يكون مشابه للشكل (11) الذي له الشروط الحدية الآتية:

- يكون هذا التابع متزايداً.
- ونلاحظ أن $X_4 = 0.0007EA + 1.7841$

يقارب في شكله الشكل (11) ويحقق شروطه الحدية.




**الشكل (11) علاقة معامل تأثير القساوة مع قساوة الجيوغريد**

ومن ثمَّ يصبح نموذج الانحدار الخطي المتعدد له الشكل الآتي:

$$(K_f)_k = \beta_0 + \beta_1 X_{1k} + \beta_2 X_{2k} + \beta_3 X_{3k} + \beta_4 X_{4k} + \zeta_k \qquad (1-1)$$

إذْ :

$X_1$=F(h) = 0.0017h$^3$ - 0.085h$^2$ + 1.3904h - 6.056

$X_2$ = -0.0009b$^3$ + 0.0278b$^2$ - 0.2405b + 2.2352

$X_3$= -0.0001D$^3$ + 0.0116D$^2$ - 0.3596D + 4.6884

$X_4$ = 0.0007EA + 1.7841

وتأخذ المعادلة المقدرة للعلاقة $(1-1)$ الصيغة الآتية :

$$(\widetilde{K_f})_k = b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k} \qquad (2-1)$$

إذْ : $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ معاملات الانحدار الجزئية (التي تسهم كل منها جزئياً في التغيّر الكلي $(\widetilde{K_f})_k$ الناتج عن تغيّر $X_1, X_2, X_3, X_4$

والآن سنحسب قيم مقدرات معالم نموذج الانحدار المتعدد بطريقة المربعات الصغرى العادية في هذه الطريقة يتم السعي إلى تخفيض مجموع مربعات الانحرافات بين القيم الفعلية والقيم المقدرة للمتغيّر التابع

$$\sum_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2$$

إلى أقل قيمة ممكنة وذلك بأخذ التفاضل الجزئي بالنسبة إلى المقدرات $b_0, b_1, b_2, b_3, \ldots$ ومساواته بالصفر فنحصل على المعادلات الآتية:

$$\sum_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2 = \sum_{k=1}^{n}\left[(K_f)_k - (b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})\right]^2$$

$$\Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2 = \Sigma_{k=1}^{n}\left[(K_f)_k - (b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})\right]^2$$

$$\Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2 = \Sigma_{k=1}^{n}(K_f)_k^{\,2} - \Sigma_{k=1}^{n} 2\,(K_f)_k(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k}) + \Sigma_{k=1}^{n}(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})^2$$

$$\frac{\delta \Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\delta b_0} = -\Sigma_{t=1}^{n} 2\,(K_f)_k + \Sigma_{t=1}^{n} 2\,(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})b_0 = 0$$

$$\frac{\delta \Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\delta b_1} = -\Sigma_{t=1}^{n} 2\,(K_f)_k X_{1k} + \Sigma_{t=1}^{n} 2\,(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})X_{1k} = 0$$

$$\frac{\delta \Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\delta b_2} = -\Sigma_{t=1}^{n} 2\,(K_f)_k X_{2k} + \Sigma_{t=1}^{n} 2\,(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})X_{2k} = 0$$

$$\frac{\delta \Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\delta b_3} = -\Sigma_{t=1}^{n} 2\,(K_f)_k X_{3k} + \Sigma_{t=1}^{n} 2\,(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})X_{3k} = 0$$

$$\frac{\delta \Sigma_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\delta b_4} = -\Sigma_{t=1}^{n} 2\,(K_f)_k X_{4k} + \Sigma_{t=1}^{n} 2\,(b_0 + b_1 X_{1k} + b_2 X_{2k} + b_3 X_{3k} + b_4 X_{4k})X_{4k} = 0$$

أي إنَّ:

$$\sum_{t=1}^{n}(K_f)_k = nb_0 + b_1\sum_{t=1}^{n}X_{1k} + b_2\sum_{t=1}^{n}X_{2k} + b_3\sum_{t=1}^{n}X_{3k} + b_4\sum_{t=1}^{n}X_{4k}$$

$$\sum_{t=1}^{n}X_{1k}(K_f)_k = b_0\sum_{t=1}^{n}X_{1k} + b_1\sum_{t=1}^{n}X_{1k}^2 + b_2\sum_{t=1}^{n}X_{1k}X_{2k} + b_3\sum_{t=1}^{n}X_{1k}X_{3k} + b_4\sum_{t=1}^{n}X_{1k}X_{4k}$$

$$\sum_{t=1}^{n}X_{2k}(K_f)_k = b_0\sum_{t=1}^{n}X_{2k} + b_1\sum_{t=1}^{n}X_{2k}X_{1k} + b_2\sum_{t=1}^{n}X_{2k}^2 + b_3\sum_{t=1}^{n}X_{2k}X_{3k} + b_4\sum_{t=1}^{n}X_{2k}X_{4k}$$

$$\sum_{t=1}^{n}X_{3k}(K_f)_k = b_0\sum_{t=1}^{n}X_{3k} + b_1\sum_{t=1}^{n}X_{3k}X_{1k} + b_2\sum_{t=1}^{n}X_{3k}X_{2k} + b_3\sum_{t=1}^{n}X_{3k}^2 + b_4\sum_{t=1}^{n}X_{3k}X_{4k}$$

ولإيجاد معادلة الانحدار المتعدد نوجد قيم :

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ وذلك بحل جملة المعادلات الخطية أعلاه التي تكتب على الشكل الآتي:

$33.311=20b_0+29.22\ b_1$

$33.489\ b_2+59.984\ b_3+$

$51.051=29.2149\ b_0+45.812\ b_4$

$48.888\ b_2+88.076\ b_3+60.401\ b_4$

$55.804=33.489\ b_0+48.888\ b_1$

$56.133\ b_2+100.5\ b_3+70.307\ b_4$

$101.76 =100.5\ b_3+70.307\ b_4$

$100.5\ b_2+185.55\ b_3+125.766\ b_4$

$69.749= 41982\ b_0+61A01b_1+$

$70.307\ b_2+125.77b_3+88.24\ b_4$

بحل جملة المعادلات الخطية أعلاه نجد :

$$A*b=C$$

$$\begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{1.9278238} \\ \mathbf{0.7833331} \\ \mathbf{0.957941} \\ \mathbf{0.2107901} \\ \mathbf{-1.7353776} \end{pmatrix}$$

ومن ثمَّ تصبح معادلة الانحدار الخطي المتعدد التي تعبّر عن معامل تأثير القساوة $(K_f)$ كما يأتي:

$$\begin{aligned}(\widetilde{K_f})_k = {} & \mathbf{1.9278238} + \mathbf{0.7833331}X_{1k} \\ & + \mathbf{0.957941}X_{2k} \\ & + \mathbf{0.2107901}X_{3k} \\ & - \mathbf{1.7353776}X_{4k} \quad (3-1)\end{aligned}$$

تقييم مدى جودة معادلة الانحدار الخطي المتعدد:

- الخطأ المعياري للتقدير $s$ :الذي يقيس مدى تشتت القيم الفعلية عن القيم المقدرة الذي يحسب من العلاقة الآتية:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{n-5}} = 0.064564$$

- معامل التحديد المتعدد $R^2$: الذي يقيس نسبة التغيّر في المتغيّر التابع $(K_f)_K$ التي تفسرها المتغيّرات $X_1, X_2, X_3, X_4$ بمعنى مدى ارتباط المتغيّرات $X_1, X_2, X_3, X_4$ بالمتغيّر التابع $(K_f)_K$ وأن هذه المتغيّرات هي المؤثرات الوحيدة التي تؤثر في $(K_f)_K$ أم هناك مؤثرات أخرى لم تؤخذ بعين الاعتبار. ويحسب معامل التحديد المتعدد بالعلاقة الآتية :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\widetilde{K_f})_k\right)^2}{\sum_{k=1}^{n}\left((K_f)_k - (\overline{K_f})_k\right)^2} \quad \Longrightarrow \quad R^2 = 0.81$$

إذْ : $(\overline{K}_f)_K$ المتوسط الحسابي .

نلاحظ أن $0.8 \le R^2 = 0.89 \le 0.9$ ومن ثمَّ فإن جودة معادلة الانحدار جيدة

إذْ نعدُّ إحصائياً $0.9 \le R^2 \le 1$ ومن ثمَّ فإن جودة معادلة الانحدار جيدة جداً

$0.9 \le R^2 \le 0.8$ ومن ثمَّ فإن جودة معادلة الانحدار جيدة

$0.8 \le R^2 \le 0.7$ ومن ثمَّ فإن جودة معادلة الانحدار مقبولة

$0.7 \le R^2 \le 0$ ومن ثمَّ فإن جودة معادلة الانحدار ضعيفة

وهذا يعني أن $h, b, D, EA$ تؤثر في $(K_f)$ بمقدار 81% ومع أن هذه النسبة تعدُّ جيدة (بحسب المرجع - المدخل إلى علم الإحصاء) إلا أنه يمكن عدُّ هذه البارامترات ليست الوحيدة المؤثرة في معامل تأثير القساوة وتوجد بارامترات أخرى يمكن أن تؤثر في $(K_f)$ ويمكن دراستها في بحوث لاحقة .

### 3. النتائج والاستنتاجات

- إن ارتفاع ردمية السد له الأثر الأهم والأساسي في إظهار دور الجيوغريد كمادة للتدعيم، في حين تؤدي البارامترات الأخرى دوراً في أن يظهر هذا الأثر بشكل كامل أو بشكل جزئي.
- إن تغيّر عرض قمة ردمية السد ذو تأثير بسيط وغير مهم في قساوة التربة.
- كلما ازدادت قساوة الجيوغرد المستخدم للتدعيم تزداد قساوة التربة ومن ثمَّ قدرة تحملها
- إن معامل تأثير القساوة $(K_f)_K$ مرتبط بكل من : ارتفاع ردمية السد $(X_1)$ وعرض قمة ردمية السد $(X_2)$وسماكة طبقة الأساس الضعيفة المواصفات $(X_3)$ وقساوة الجيوغريد $(X_4)$ وفق المعادلة الآتية:

$$(\overline{K_f}) = 1.9278238 + 0.7833331X_{1K}$$
$$0.957941X_{2K} + 0.2107901X_{3K}$$
$$1.7353776X_{4K} \ldots\ldots (3\text{-}1)$$

وإن مدى الارتباط وفق الدراسة الإحصائية $R^2 = 0.81$

•أظهرت الدراسة الإحصائية لنتائج حساب معامل تأثير القساوة $(K_f)$ وفق المعادلة (3-1) المقترحة في هذه المقالة قد أن النتيجة الحسابية تمثل 99% ~81 من الحالات .

**الجدول ( 2 )**

| مدى جدوى استخدام الجيوغريد للحالات المدروسة | | |
|---|---|---|
| **البارامترات** | X | القساوة |
| h<br>ارتفاع الردمية<br>( m ) | 20 | 67% |
| | 25 | 61% |
| | *27 | 100% |
| D<br>سماكة الطبقة القاعدية<br>( m ) | 20 | 20% |
| | 30 | 18% |
| | 40 | 37% |
| b<br>عرض قمة ردمية السد<br>( m ) | 4 | 67% |
| | 8 | 74% |
| | 12 | 81% |
| EA<br>قساوة الجيوغريد<br>( Kn/m` ) | 100 | 87% |
| | 200 | 93% |
| | 300 | 97% |
| | 400 | 98% |
| | 500 | 100% |

(*)عند هذا الارتفاع h=27 m تشكلت حالة انهيار تامة في حالة عدم وجود الجيوغريد

**المراجع :**


1. العبيد عبد الرحمن.مبادئ التنبؤ الإداري.الريـــاض جامعة الملك سعود:النشر العلمي والمطابع 2004م.
2. قاسم أحمد رفيق؛حلاق عمر.المـــدخل إلـــى علـــم الإحـــصاء.حلـــب:مديريـــة الكتـــب والمطبوعـــات الجامعية جامعة حلب 1412هـــ.
3. Braja M,Das.Advanced Soil Mechanics.London and New york:Taylor &Francis,Third edition,2008.
4. Helwany, Sam.Applied Soil Mechanics Hoboken, New Jersy: John Wiley & Sons,Inc:2007.
5. J.S. Sharma & M.D. Bolton (Centrifuge Modelling of an Embankment on Soft Clay Reinforced with a Geogrid).Ireland: Geotextiles and Geomembranes 14 (1996) 1-17
6. R.B.J Brinkgreve.Plaxis 2D-V8. Netherlands.Delft University of Technology and Plaxis b.v :A.A. Balkema Publishers,a member of Swets&Zeitlinger Publishers,2002.
7. Al-Obayd,Abdul Rahman. managerial prediction basics, University of Soud King : 2004 A.D.
8. Kassim Ahmad Rafeek Hallak Ommar Entier to statistics . Alippo : University of Alippo , 1412 A.H.


تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/6/30.