Evaluation of the Current Situation of Road Embankments Carried out on the Latakia-Aryha Road Site

Raneem Younes [*]
Dr. Rami Hanna [**]

(Received 14 / 6 / 2025. Accepted 9 / 10 / 2025)

□ ABSTRACT □

Road fills are an important element in the road and transportation system and may not receive enough attention in design and implementation alike, but if we review the foundations of fill design, we find that they are traditional and depend on the relationships of construction mechanics. However, in recent years, the design has begun to rely on engineering programs based on mathematical methods such as differential equations, finite differences, and finite elements (adopted in our research), which have provided more accurate solutions in the design of fills and predicting their behavior in the long term under the influence of dynamic loads and dead loads alike. The aim of this study is to evaluate the current status of three road backfills implemented on the Lattakia-Aryha highway, taking into account the properties of the materials involved in the formation (natural soil layers and backfill materials), in addition to the backfill engineering and groundwater conditions, and thus activating the joint work of all structural elements using the Finite Element Method (FEM) using the Plaxis 2D program. The backfills achieved acceptable safety factors, which were met by the most dangerous sliding surfaces, respectively: the first backfill with a minimum safety factor of 1.4909, the second backfill with a minimum safety factor of 1.5712, and the third backfill with a minimum safety factor of 1.9181.

Keywords: Backfill - Slope stability - Finite element method - Plaxis program.

Copyright **:**Latakia University journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

[*] **Postgraduate Student (Master) - Engineering Department of Transportation - Faculty of Civil Engineering - Latakia University (Formerly Tishreen) - Latakia - Syria. Raneemy458@gmail.com**
[**] **Associate Professor – Department of Transportation Engineering – Faculty of Civil Engineering - Latakia University (Formerly Tishreen) - Latakia –Syria.**

تقييم الوضع الراهن للردميات الطرقية المنفذة بموقع طريق اللاذقية–أريحا

رنيم يونس*

الدكتور رامي حنا**

(تاريخ الإيداع 14 / 6 / 2025. قُبِل للنشر في 9/ 10 / 2025)

□ ملخّص □

تعتبر الردميات الطرقية عنصر هام في منظومة عمل الطرق والمواصلات وقد لا تحصل على الاهتمام الكافي عند التصميم والتنفيذ على السواء، لكن اذا ما استعرضنا اسس تصميم الردميات لوجدنا انها تقليدية وتعتمد على علاقات ميكانيك الانشاءات . الا انه في الاعوام الاخيرة بدا الاعتماد بالتصميم على البرامج الهندسية المستندة الى طرق رياضية كالمعادلات التفاضلية والفروق المحددة والعناصر المحددة (المعتمدة في بحثنا)التي اعطت حلولا اكثر دقة في تصميم الردميات والتنبؤ بسلوكها على المدى الطويل تحت تأثير الحمولات الديناميكية والحمولات الميتة على السواء.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الوضع الراهن لثلاث ردميات طرقية منفذه على طريق اللاذقية– أريحا السريع مع الأخذ بعين بالاعتبار خصائص المواد الداخلة في تكوينها(طبقات الأرض الطبيعية ومواد الردمية) بالإضافة الى هندسة الردمية وظروف المياه الجوفية وبالتالي تفعيل العمل المشترك لكافة العناصر الإنشائية وذلك باستخدام طريقة العناصر المحددة FEM (Finite Element Method) باستخدام برنامج ال Plaxis 2D .فقد حققت الردميات المدروسة عوامل أمان مقبولة والتي قابلها أخطر سطح انزلاق على التوالي: الردمية الأولى بعامل امان اصغري 1.4909، الردمية الثانية بعامل امان اصغري 1.5712 والردمية الثالثة بعامل امان اصغري 1.9181.

الكلمات المفتاحية: ردمية–استقرار منحدر– طريقة العنصر المحدد – برنامج Plaxis .

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **طالبة دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة المواصلات و النقل –كلية الهندسة المدنية–جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– اللاذقية– سورية** Raneemy458@gmail.com .

* ***أستاذ مساعد– قسم هندسة المواصلات و النقل –كلية الهندسة المدنية–جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

غالباً ماتحتاج الطرق السريعة أن تقع مقاطعها إما في الحفر أو في الردم وذلك للتغلب على اشتراطات الميول القصوى، والردميات تحديداً تحتاج لكميات لا بأس بها من مواد الإنشاء وهنا تكمن الأهمية الكبرى لإنشاء ردميات متوازنة بأقل تكاليف إنشائية.

من المفترض أن تؤمن الردميات استقرار هيكل الطريق والمنشآت التابعة له بشكل جيد خلال العمل التصميمي ، هذا يستدعي أن تصمم الردميات بالتوافق مع البيئة المحيطة بها ومع الغاية الهندسية الأساسية لتأمين التواصل المستمرمع أجزاء الطريق المختلفة في الردم والنقاط الصفرية والحفر. [2,4,5]

تحدث مشاكل الردميات الطرقية إما تقنياً (بسبب عيوب في التصميم أو البناء أو المواد أو تقادم الهيكل)، أو طبيعياً (بعد الزلزال، فيضانات استثنائية أو عاصفة أو غمر بحري أو انهيارات أرضية)، أو بشرياً (بسبب عدم كفاية التدابير الأولية للدراسات ومراقبة التنفيذ، وعن طريق الخطأ في الاستخدام والتحكم والصيانة). [12,6]

في سبعينيات القرن الماضي بدأت تظهر طرائق لتحليل سلوك الردميات بكافة عناصرها تعتمد على تحليل الإجهادات في كافة العناصر الإنشائية ودراسة تأثيرها المتبادل، ومن هذه الطرائق طريقة المعادلات التفاضلية والفروق المحددة وأخيراً طريقة العناصر المحددة.

هذا البحث يتطرق إلى طريقة العناصر المحددة في تحليل الردميات الترابية كآلية حساب لتدقيق بعض الردميات الترابية التي تعرضت لمشاكل تنفيذية وتقنية على طريق اللاذقية أريحا السريع باستخدام برنامج ال Plaxis 2D، علماً أن هناك برامج عديده تعتمد نفس أسلوب الحساب مثل (ANASYIS, GIO–STUDIO,..) إلا أننا اخترنا برنامج PLAXIS 2D لديناميكيته العالية في نمذجة الردميات.

أهمية البحث وأهدافه:

إشكالية البحث:

قصور الطريقة التقليدية في تصميم الردميات على تأمين استقرارها وتوازنها والتنبؤ بسلوكها في المستقبل، وخاصة عندا يتعقد الوضع الجيولوجي الهندسي للموقع، الأمر الذي يطلب صيانتها بشكل مستمر.

أهداف البحث وأهميته:

أولاً: وضع نماذج رياضية باستخدام طريقة العناصر المحددة لمعالجة كافة المشاكل التي تتعرض لها الردميات الترابية.

ثانياً: تفعيل العمل المشترك لكافة العناصر الإنشائية للردمية.

ثالثاً: تحديد الأسباب الكامنة وراء فشل الردميات انطلاقاً من عناصرها الإنشائية وصولاً إلى نوعية المواد المستخدمة في انشائها بما يتوافق مع نوعية القوى المؤثرة عليها.

رابعاً: تقديم منهجية تفيد في وضع الحلول المثلى للردميات الترابية مهما كانت قيمة أبعاد عناصرها الإنشائية ومهما كانت القوى المؤثرة عليها ومهما كانت ظروف تأسيسها.

الدراسات المرجعية:

1- قام لورينس وآخرون عام 1989 بإجراء دراسة بعنوان: تحليل انهيار ردمية عالية على أساس ضعيف وتأهيلها باستخدام طريقة العناصر المحددة.

وجد الباحثون إلى أن التفاعل بين الطبقات(ردمية، أساس) غالباً ما يؤدي إلى حركات غير مرغوب بها وتشكيل شقوق وفشل مع الزمن، فقاموا بحساب ردمية طريق منفذه من نواتج الحمم البركانية الحمراء اللون ذات الحبيبات الدقيقة باستخدام طريقة العنصر المنتهي FEM (Finite Element Method) ، أظهرت نتائج الحساب قدرة طريقة العنصر المنتهي في تحديد الأسباب الرئيسية لعدم الاستقرار وتوجيه التصميم إلى حل ممكن اقتصادي وفعال.[1] .

2- قام كيبث وباتريك عام 2011 بإجراء دراسة بعنوان: شروط النمذجة للردميات المقواة بالجيوسنتتك باستخدام طريقة العنصر المنتهي.

تم التعامل مع نموذج ردمية وتحليله باستخدام برنامج (Plaxis)، تم تقسيم الجملة الحسابية للردمية مجموعة عناصر عقدية ومقارنتها بالحلول التقليدية، توصّل الباحثان إلى أن طريقة الحساب التقليدية تطلبت قوى اجهاد أكبر من تلك التي تم الوصول إليها وفق طريقة العناصر المنتهية وذلك بنفس الارتفاع للردمية.[9] .

3- قام رابي عام 2013 بإجراء دراسة بعنوان: مقارنة بين الطرق التقليدية وطريقة العنصر المنتهي للمنحدرات المعرضة لأمطار غزيرة.

قام الباحث بإجراء مقارنة بين طريقة العنصر المنتهي باستخدام برنامج الPlaxis وطرق التوازن الحدي (التقليدية) المعروفة وهي: طريقة بيشوب المبسطة(1955)، طريقة جنبو المبسطة(1954)، طريقة فيلينيوس (1927) لتقدير عامل الأمان للمنحدرات تحت تأثير هطول الأمطار، توصل الباحث إلى أن النتائج التي تم الحصول عليها من طريقة العنصر المنتهي أفضل من نتائج التي تم الحصول عليها من الطريقة التقليدية يعزى ذلك إلى أن طريقة العنصر المنتهي تقوم بحساب عامل الأمان للردمية والأساس ككل كنموذج واحد بينما الطريقة التقليدية لا تحسب عامل الأمان في الردمية ذاتها وإنما في الأساس فقط.[10] .

طرائق البحث ومواده:

منهجية البحث ومراحله:

أ-تقديم فكره عن طريقة العناصر المحددة FEM وبرنامج البحث:

طريقة العناصر المحددة: هي طريقة عددية عامة لحل المعادلات التفاضلية الجزئية في اثنين أو ثلاثة متغيرات من الفضاء (مثل بعض مشاكل القيمة الحدية). لحل مشكلة ما يقسم FEM النظام الكبير إلى أجزاء أصغر و أبسط تسمى العناصر المحددة. يتم تحقيق ذلك من خلال تعيين الموضع الخاص في الأبعاد الفضائية، والذي يتم تنفيذه من خلال بناء شبكة الكائن: المجال العددي للحل الذي له عدد محدد من النقاط. صياغة طريقة العناصر المحددة لمشكلة القيمة الحدية تؤدي أخيراً إلى نظام المعادلات الجبرية. يتم بعد ذلك تجميع المعادلات البسيطة التي تمثل هذه العناصر المحددة في نظام أكبر من المعادلات التي تمثل المشكلة برمتها. يقوم FEM بعد ذلك بتقريب الحل عن طريق تقليل وظيفة الخطأ المرتبط عبر حساب التفاضل و التكامل والإختلاف. غالباً مايشار إلى دراسة أو تحليل ظاهرة ما باستخدام FEM بتحليل العناصر المحددة.[3,7,8]

PLAXIS 2D هو عنصر محدود قوي وسهل الإستخدام (Finite-element (FE)) الحزمة مخصصة للتحليل ثنائي الأبعاد للتشوه والاستقرار في الهندسة الجيوتكنيكية وميكانيكية الصخور. يستخدم الPlaxis في جميع أنحاء العالم من قبل أفضل الشركات والمؤسسات الهندسية في صناعة الهندسة المدنية والجيوتكنيكية. تتراوح التطبيقات من الحفريات، الردميات، الأساسات إلى حفر الأنفاق، التعدين، النفط والغاز والميكانيكية الجيولوجية للخزان. تم تجهيز الPlaxis

بمجموعة واسعة من الميزات المتقدمة لنمذجة مجموعة متنوعة من المشاكل الجيوتقنية ،كل ذلك ضمن حزمة برمجية واحدة متكاملة، يستخدم من قبل: الطلاب الجيوتكنيكيين، المهنيين والجيوتكنيكيين الاستشاريين.[11,13,14] .

ب–النماذج الحسابية للردميات المقترح حسابها وتدقيق توازنها وفق طريقة العنصر المنتهي باستخدام برنامج PLAXIS 2D:

1"– تم انتقاء واقتراح ثلاثة نماذج حقيقية مصممة فعلياً في محافظة اللاذقية (طريق اللاذقية–أريحا السريع)، علماً أن البيانات الهندسية للردميات هي من المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية فرع اللاذقية سوريا، وهي:

- النموذج الأول: يقع ضمن القطاع (100Km+140m) من استراد اللاذقية–أريحا، ارتفاعه الأقصى15.290m، ميول الجوانب 1/1.5،عرضها من الأعلى 27.84m وعرضها من الأسفل 63.272m.
- النموذج الثاني: يقع ضمن القطاع(101Km+500m) من استراد اللاذقية–أريحا ارتفاعه الأقصى 11.1426m، ميول الجوانب1/1.5 ، عرضها من الأعلى 27.84m وعرضها من الأسفل 75.03m.
- النموذج الثالث: يقع ضمن القطاع(124Km+220m) من استراد اللاذقية–أريحا، ارتفاعه الأقصى 17.809m، ميول الجوانب1/2، عرضها من الأعلى 27.84m وعرضها من الأسفل 84.6m.

2"–تم تجميع كافة البيانات الجيوتكنيكية والهندسية لمواد الردميات وطبقات تأسيسها وعناصرها الإنشائية وأهم هذه البيانات: السماكة الحسابية،γunsat :وزن واحدة التربة الغير مشبعة،γsat :وزن واحدة التربة المشبعه، Kx, Ky: عامل النفاذية في الاتجاهين الأفقي والشاقولي، $Eref$: عامل يونغ، vعامل بواسون، $Cref$: التماسك، φ:زاوية الاحتكاك الداخلي، ψ: عامل التوزيع.

نبين بالجداول رقم (1) و (2) و(3) خصائص المواد المشكلة للردميات واساساتها.

جدول(1) خصائص المواد للنموذج الأول.

	الردمية	الطبقة السطحية	الطبقة العميقة
السماكة الحسابية (m)	15.290	56.272	56.272
$\gamma unsat$ KN/m^3	18	17.8	15
γsat KN/m^3	20	19.2	18
Kx m/day	0.01	0.009	0.008
Ky m/day	0.01	0.009	0.008
$Eref$ KN/m^2	600000	80000	70000
v	0.32	0.35	0.3
$Cref$ KN/m^2	10	29	30
φ	36	15.5	19.4
ψ	0.7	–	–

جدول (2) خصائص النموذج الثاني.

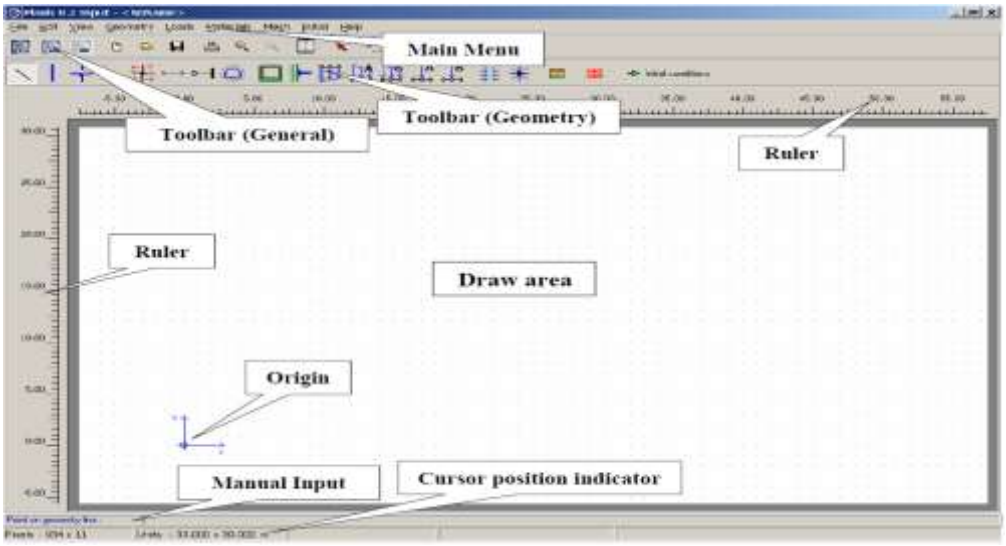
	الردمية	الطبقة السطحية	الطبقة العميقة
السماكة الحسابية (m)	11.1426	47.454	47.454
$\gamma unsat$ KN/m^3	18	17.8	15
γsat KN/m^3	20	19.2	18
Kx m/day	0.001	0.009	0.008
Ky m/day	0.001	0.009	0.008
$Eref$ KN/m^2	600000	80000	70000
v	0.32	0.35	0.3
$Cref$ KN/m^2	10	29	30
φ	36	15.5	19.4
ψ	0.7	-	-

جدول(3) خصائص المواد للنموذج الثالث.

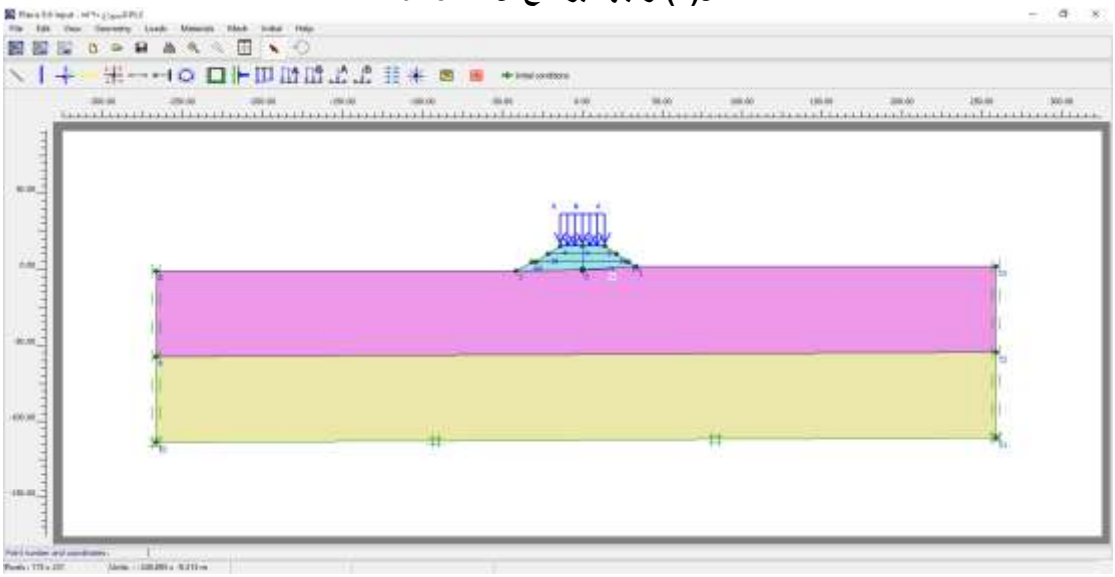
	الردمية	الطبقة السطحية	الطبقة العميقة
السماكة الحسابية (m)	17.809	60	60
$\gamma unsat$ KN/m^3	18	18.1	15
γsat KN/m^3	20	19.6	18
Kx m/day	0.01	0.01	0.008
Ky m/day	0.01	0.01	0.008
$Eref$ KN/m^2	60000	93000	70000
v	0.32	0.35	0.3
$Cref$ KN/m^2	10	26	29
φ	36	19.6	22.5
ψ	0.7	-	-

3"-رسم الردميات الثلاث باستخدام برنامج ال PLAXIS بالمستوي ثنائي الأبعاد 2D .

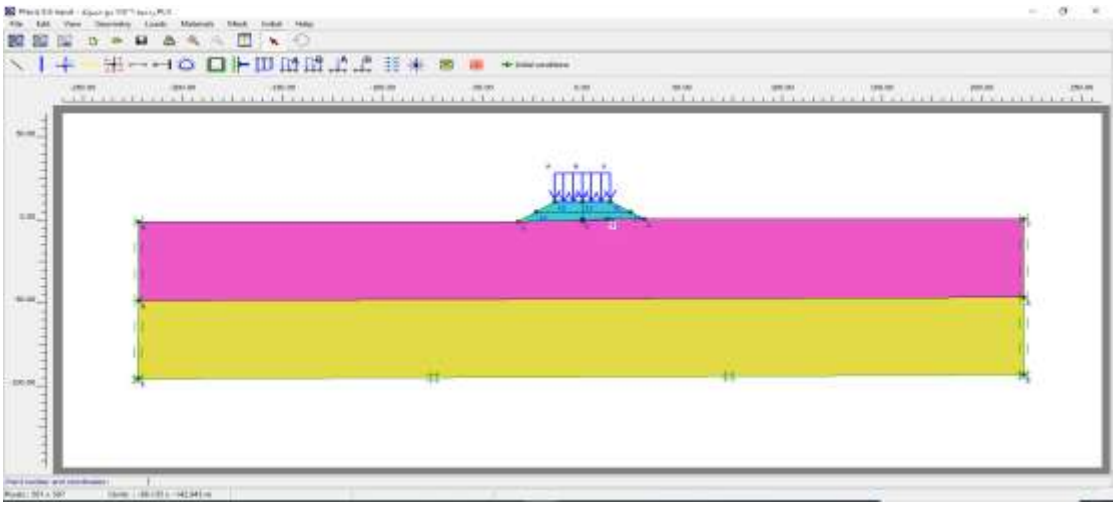
يبين الشكل رقم (1) واجهة البرنامج كما تبين الاشكال رقم (2) و(3) و(4) تحديد الابعاد الهندسية للردميات واساساتها التي حددت بالتجريب المتتالي حتى تلاشي الاجهادات على الحدود الطرفية، علما ان الحمولة الحسابية للشاحنات اعلى الردمية كانت حمولة 20 KN/m :



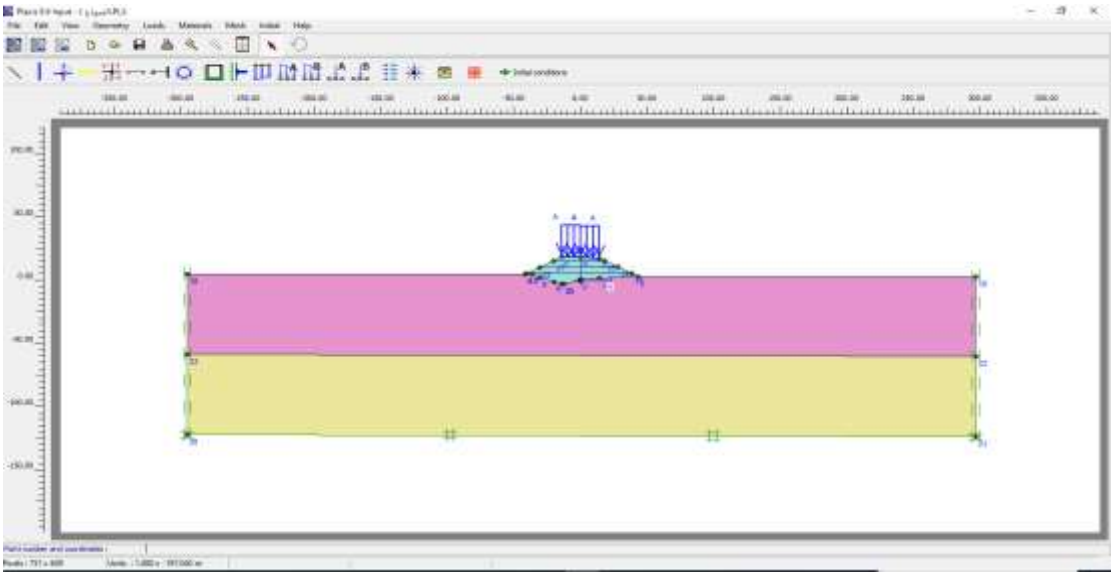
الشكل(1):واجهة برنامج ال Plaxis 2D .



الشكل(2): النموذج الأول المدروس.



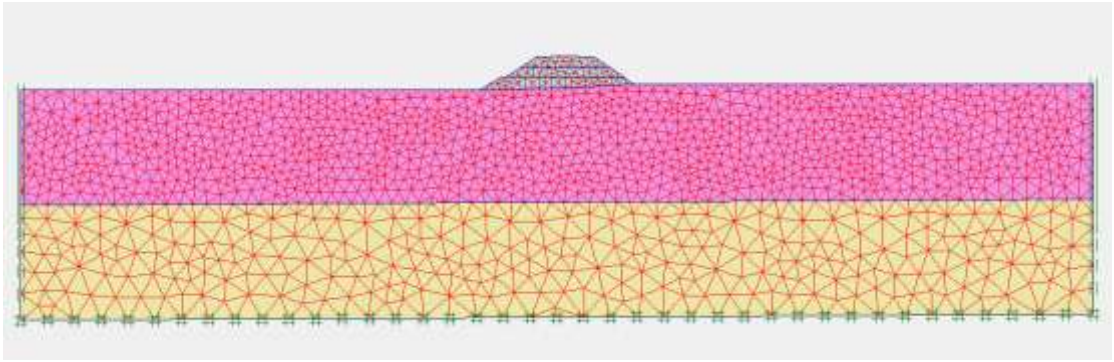
الشكل(3): النموذج الثاني المدروس.



الشكل(4) النموذج الثالث المدروس.

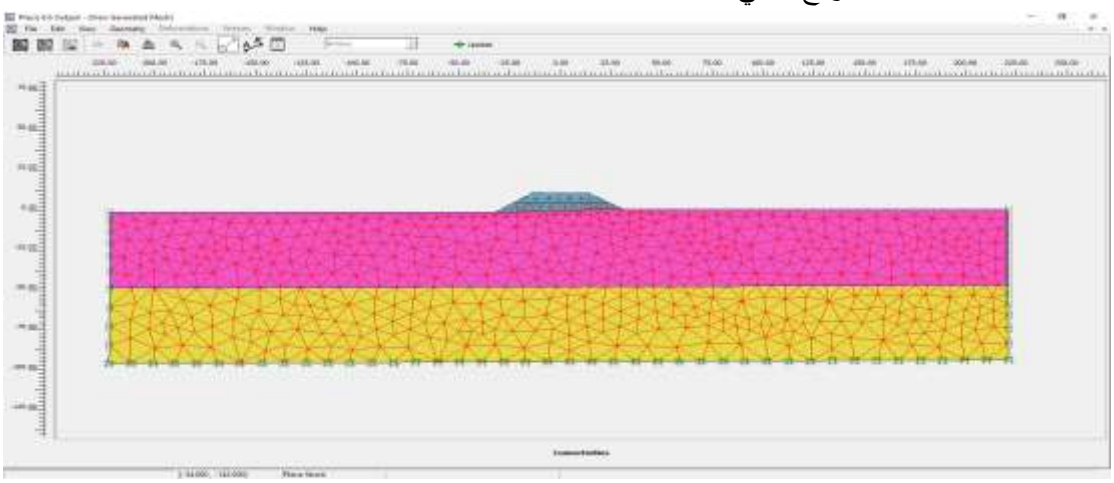
4"–نمذجة و توليد شبكة العناصر المحددة للردميات الثلاثة.

- النموذج الأول:



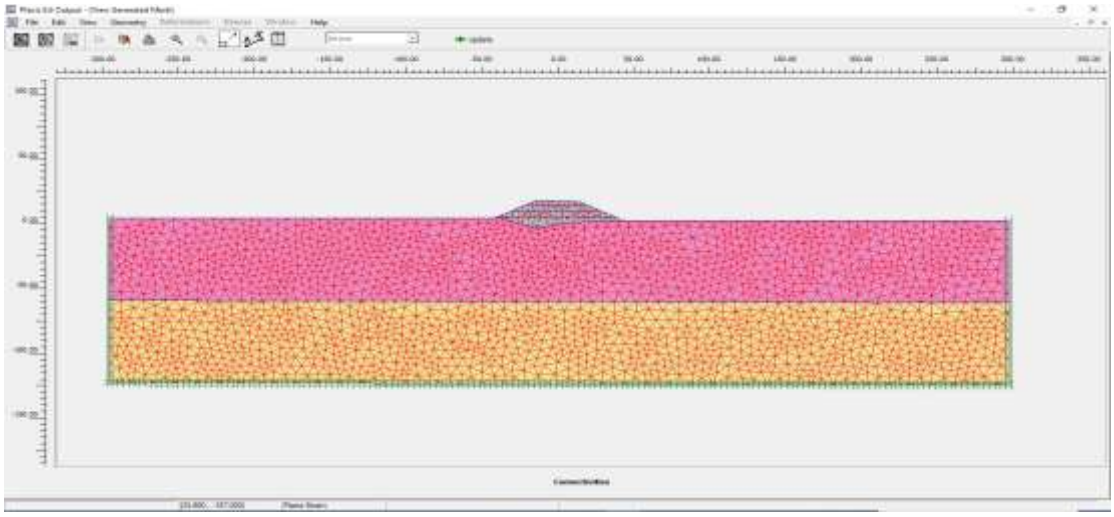
الشكل(5)شبكة العناصر المحددة للنموذج الأول

- النموذج الثاني:



الشكل(6) العناصر المحددة للنموذج الثاني

- النموذج الثالث:



الشكل(7) العناصر المحددة للنموذج الثالث

ضمن مرحلة النمذجة تم توقيع منسوب المياه الجوفية (استناداً إلى التحريات الجيولوجية الهندسية للموقع)على عمق 5م من سطح تأسيس الردمية مع إغلاق الحد السفلي (التدفق) والجوانب(التشديد) علما ان ضغط ماء المسام البدائي والإجهادات البدائية مبينة في الجدول رقم (4):

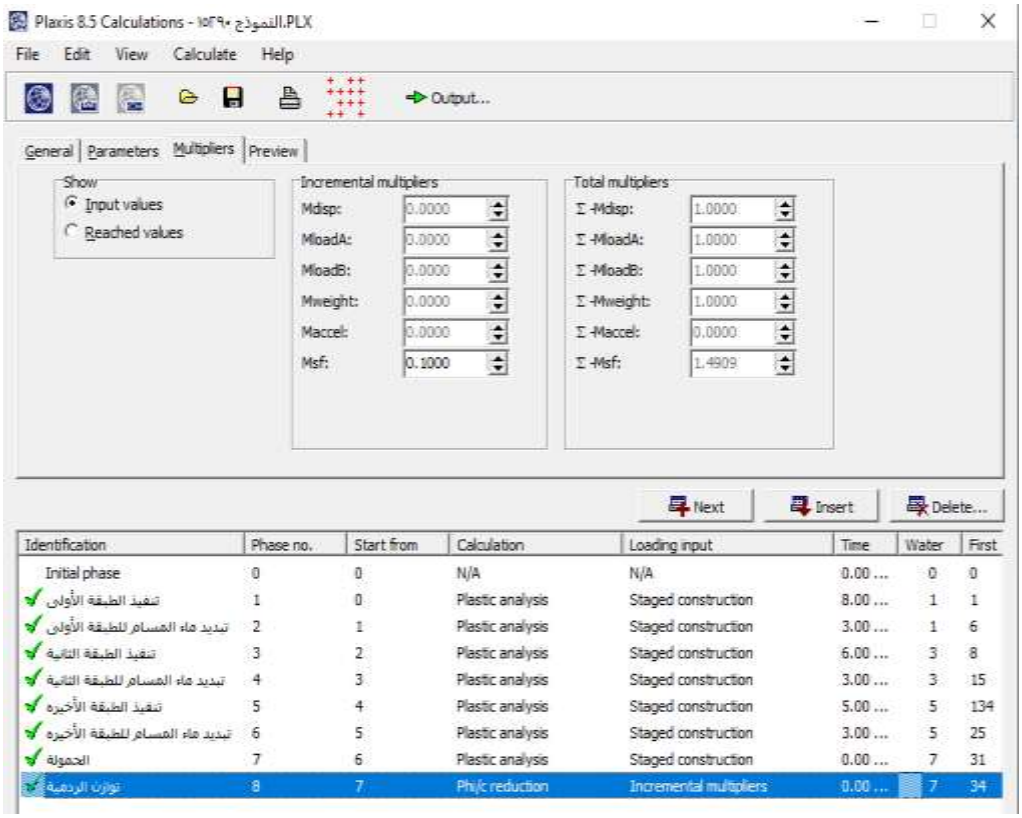
الجدول(4): ضغوط ماء المسام والإجهادات البدائية

	ضغط ماء المسام البدائي m/day	الإجهادات البدائية KN/m^2
النموذج الأول	8.67*10^-18	-1.04*10^3
النموذج الثاني	5.41*10^-18	-882.52
النموذج الثالث	12.39*10^-18	-1.23*10^3

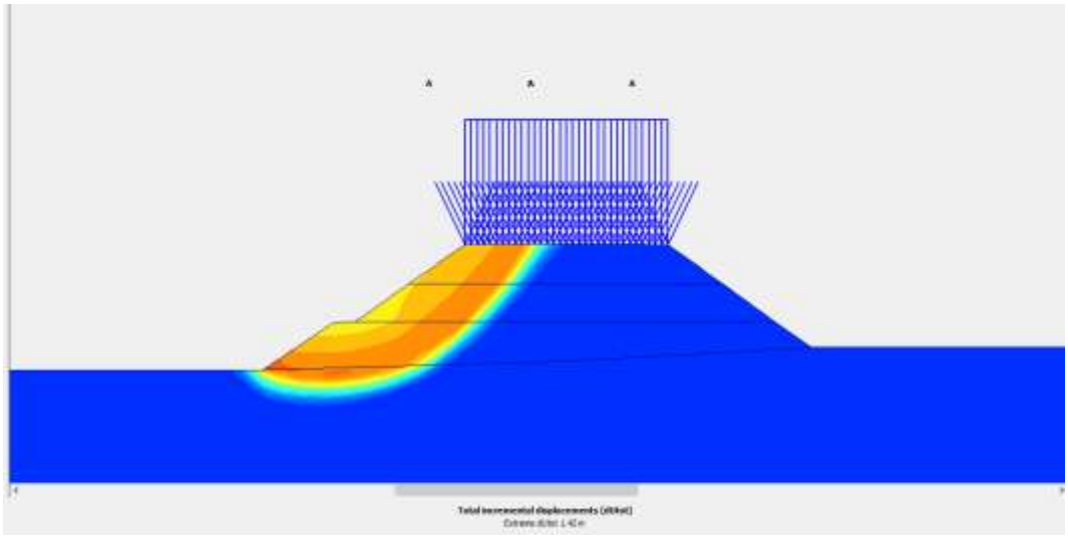
5"–مخرجات الحساب لنماذج للردميات الثلاثة.

تم في المرحلة الأخيرة تحليل الردميات المقسمة إلى طبقات (مرحلة تنفيذ ومرحلة تبديد ماء مسام) لكل طبقة واستنتاج عامل الأمان لكل ردمية وتحديد سطح الانزلاق المتوقع الحرج المقابل له .فيما يلي نستعرض مخرجات الحساب النهائية:

أ– النموذج الأول: عامل الأمان(1.4909) حسب مواصفات AASHTO [15]، وأخطر سطح انزلاق يقع على بعد(1.42)m من أساس الردمية. كما هو موضح بالشكل رقم(8)، والشكل رقم (9).



الشكل(8) مخرجات مراحل حساب النموذج الأول.



الشكل(9): سطح الانزلاق الحرج للنموذج الأول.

❖ ملاحظة: إن سطح الانزلاق الظاهر على الشكل(9) لا يدل على أن الردمية غير مستقرة و إنما مؤشر على احتمالية حدوث هذا السطح عندما تحدث حمولات استثنائية أو تغيرات في الجملة الإنشائية للردمية (تعتبر هذه الاحتمالية بعيدة طالما أن عامل الأمان وسلوك الردمية ضمن القيم المسموحة).

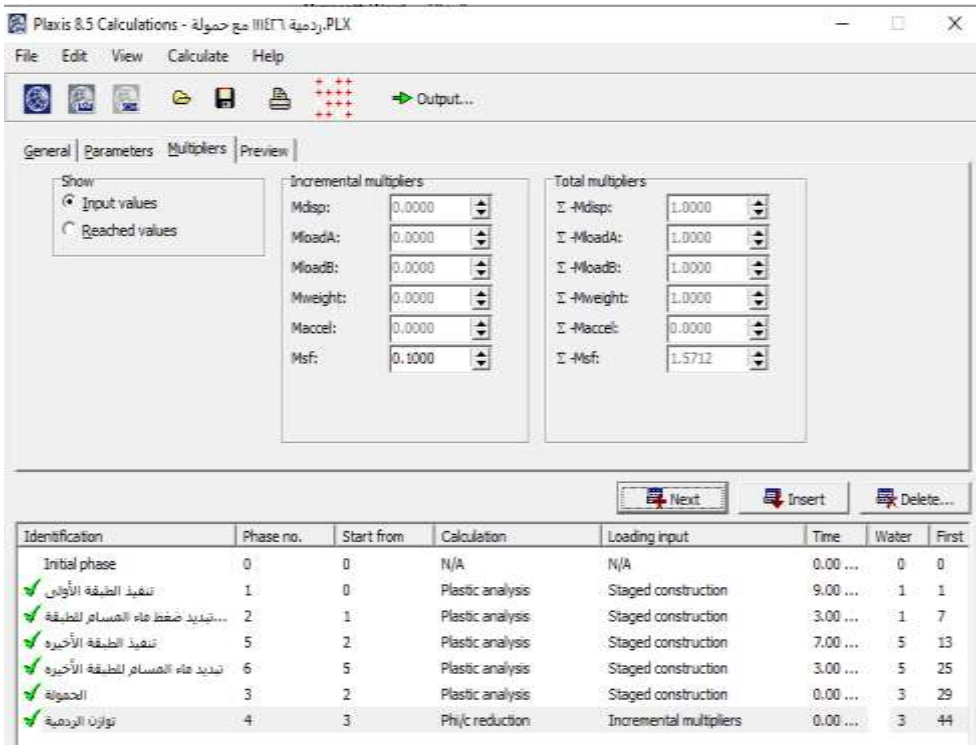
الجدول (5): قيم الإجهادات المؤثرة للنموذج الأول.

الإجهاد	قيمة الإجهاد KN/m^2
إجهاد القص XY	−76.42
الإجهادات الشاقولية الفعالةyy	−1.1*10^3
الإجهادات الأفقية الفعالة xx	−723.74
الإجهادات الفعالة	−1.1*10^3

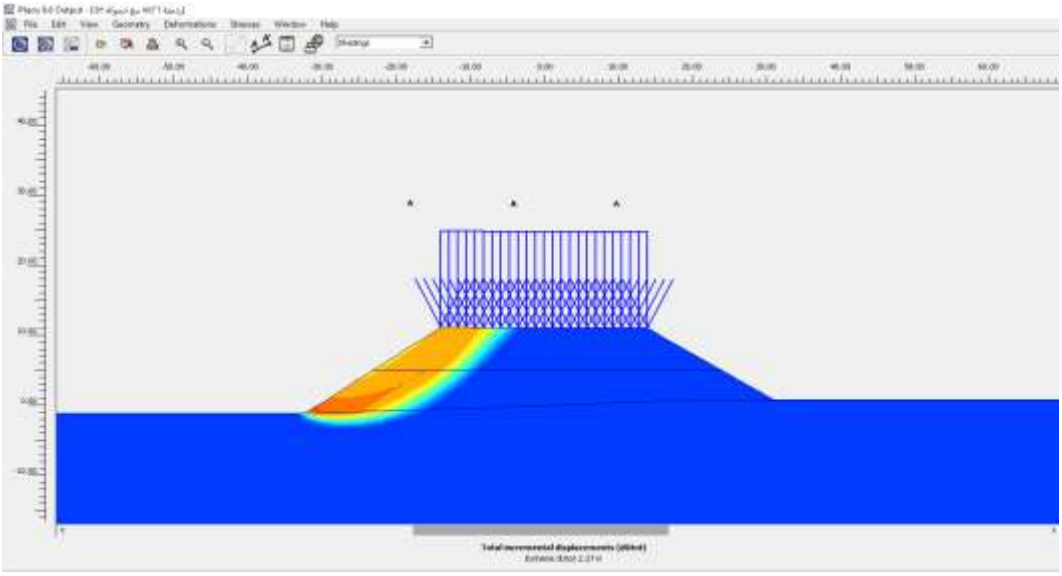
الجدول (6): سطوح الانزلاق الحرجة المتوقع حدوثها للنموذج الأول.

سطوح الانزلاق الحرجة	عمق أخطر نقطة عن أساس الردمية(m)
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الأفقية	−1.31
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الشاقولية	−1
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الكلية	1.42

ب– النموذج الثاني: عامل الأمان(1.5712) حسب مواصفات AASHTO [15]، وأخطر سطح انزلاق يقع على بعد (2.27)m من أساس الردمية. كما هو موضح بالشكل رقم(10)، والشكل رقم (11).



الشكل(10) مراحل حساب النموذج الثاني.



الشكل(11) سطح الانزلاق الحرج للنموذج الثاني.

❖ ملاحظة: إن سطح الانزلاق الظاهر على الشكل(11) لا يدل على أن الردمية غير مستقرة و إنما مؤشر على احتمالية حدوث هذا السطح عندما تحدث حمولات استثنائية أو تغيرات في الجملة الإنشائية للردمية (تعتبر هذه الاحتمالية بعيدة طالما أن عامل الأمان وسلوك الردمية ضمن القيم المسموحة).

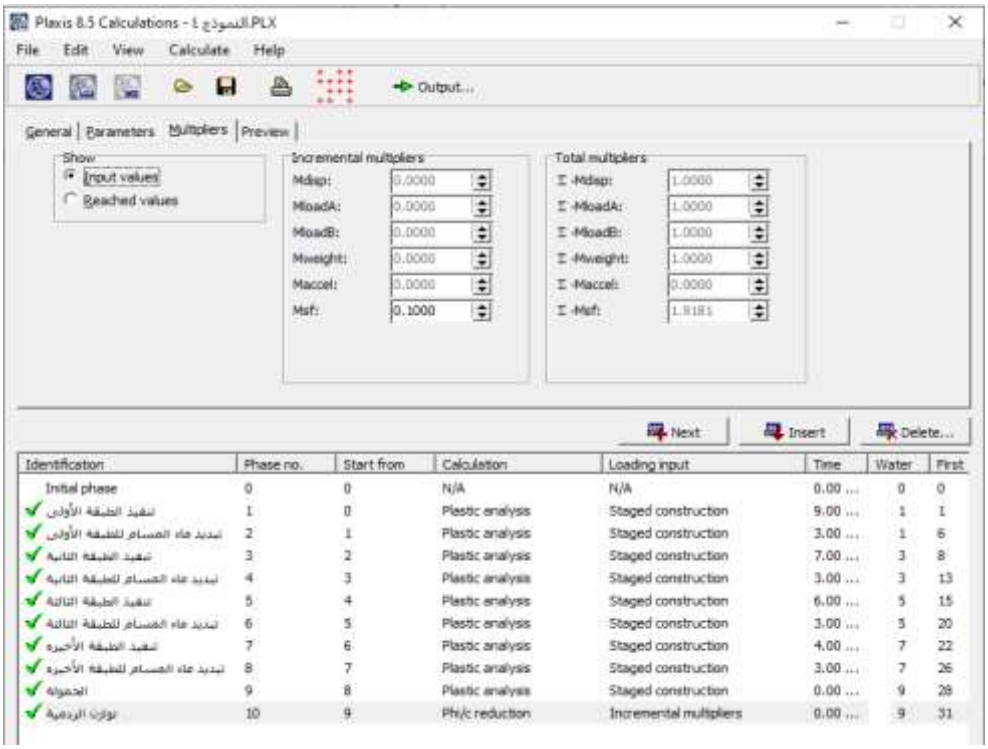
الجدول(7): قيم الإجهادات المؤثرة على النموذج الثاني.

الإجهاد	قيمة الإجهاد KN/m^2
إجهاد القص XY	-68.26
الإجهادات الشاقولية الفعالةyy	-930.24
الإجهادات الأفقية الفعالة xx	-590.97
الإجهادات الفعالة	-935

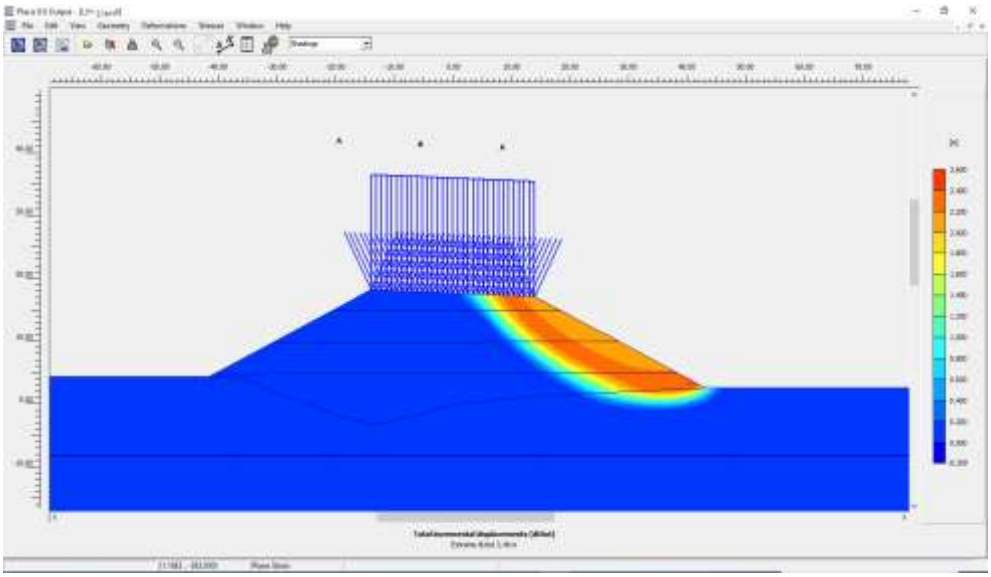
الجدول (8): سطوح الانزلاق الحرجة المتوقع حدوثها للنموذج الثاني.

سطوح الانزلاق الحرجة	عمق أخطر نقطة عن أساس الردمية(m)
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الأفقية	-2.17
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الشاقولية	-1.52
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الكلية	2.27

ت-النموذج الثالث: عامل الأمان(1.9181) حسب مواصفات AASHTO [15]، وأخطر سطح انزلاق يقع على بعد(2.46)m من أساس الردمية. كما هو موضح بالشكل رقم(12)، والشكل رقم (13).



الشكل(12) مخرجات مراحل حساب النموذج الثالث.



الشكل(13) سطح الانزلاق الخطر للنموذج الثالث.

❖ ملاحظة: إن سطح الانزلاق الظاهر على الشكل(13) لا يدل على أن الردمية غير مستقرة و إنما مؤشر على احتمالية حدوث هذا السطح عندما تحدث حمولات استثنائية أو تغيرات في الجملة الإنشائية للردمية وهنا يجب أن ننوه أن التنبؤ بشدة الانزلاق وخروجه عن القيم المسموحة يتطلب محاولات عديده منها تغير خواص مواد الردمية وارتفاع

منسوب المياه الجوفية إلى حدود تغطي منطقة الأساس بشكل كامل أو حدوث غمر جزئي لجوانب الردمية (تعتبر هذه الاحتمالية بعيدة طالما أن عامل الأمان وسلوك الردمية ضمن القيم المسموحة).

الجدول(9): قيم الإجهادات المؤثرة.

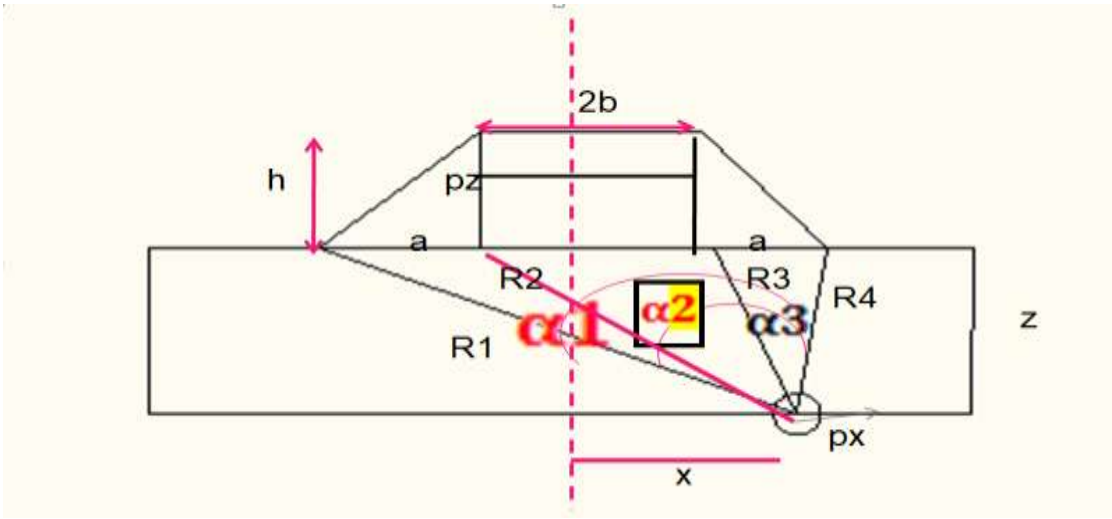
الإجهاد	قيمة الإجهاد KN/m^2
إجهاد القص XY	80.37
الإجهادات الشاقولية الفعالةyy	-1.28*10^3
الإجهادات الأفقية الفعالة xx	-908
الإجهادات الفعالة	-1.29*10^3

الجدول (10): سطوح الانزلاق الحرجة المتوقع حدوثها للنموذج الثالث.

سطوح الانزلاق الحرجة	عمق أخطر نقطة عن أساس الردمية(m)
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الأفقية	2.38
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الشاقولية	-1.62
سطح الانزلاق الخطر للانتقالات الكلية	2.46

ج)- الطريقة التقليدية لحساب توازن الردميات:

بعد الانتهاء من عملية النمذجة قمنا بحساب عامل الأمان باستخدام المعادلات وفق الطريقة التقليدية.



الشكل(14): نموذج الردمية ودلالات المعادلات وفق الطريقة التقليدية لحساب الرميات.

معادلات الطريقة الحسابية لحساب الإجهادات في النقطة:

$$PZ = \frac{P}{\pi a}[a(\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3) + b(\alpha 1 + \alpha 3) + x(\alpha 1 - \alpha 3)]$$

$$Tmax = \frac{PZ}{\pi a}\sqrt{ln2\frac{R1\ R4}{R2\ R3} + (\alpha 1 - \alpha 2)^2}$$

$$P1=\frac{P0}{\pi a}\left[a(\alpha1+\alpha2+\alpha3)+b(\alpha3+\alpha1)-y(\alpha3-\alpha1)-Z\ ln\frac{R1\ R4}{R2\ R3}\right.$$
$$\left.-Z\sqrt{ln2\frac{R1\ R4}{R2\ R3}+(\alpha3-\alpha1)^2}\right]$$

$$P2=\frac{P0}{\pi a}\left[a(\alpha1+\alpha2+\alpha3)+b(\alpha3+\alpha1)-y(\alpha3-\alpha1)-Z\ ln\frac{R1\ R4}{R2\ R3}\right.$$
$$\left.+Z\sqrt{ln2\frac{R1\ R4}{R2\ R3}+(\alpha3-\alpha1)^2}\right]$$

يحسب عامل الأمان في أي نقطة من أساس الردمية يعطى بالعلاقة:

$$FS=\frac{\sigma n\ tg\emptyset+c}{\tau i}$$

حيث أن:

- PZ: الإجهادات الشاقولية عند النقطة الحسابية $(\mathrm{KN.m^2})$.
- $P0$:الضغط من حمولة الردمية $(\mathrm{KN.m^2})$.
- τmax: إجهاد القص الأعظمي من النقطة الحسابية$\mathrm{KN.m^2}$.
- $P1$: الإجهاد الرئيسي$\mathrm{KN.m^2}$.
- $P2$: الإجهاد الثانوي$\mathrm{KN.m^2}$.
- Z : عمق النقطة الحسابية m.
- $F.S$: عامل الأمان.
- σn : الإجهاد الناظمي في النقطة الحسابية$\mathrm{KN.m^2}$
- τi: إجهاد القص الفعلي في النقطة الحسابية $\mathrm{KN.m^2}$
- φ: زاوية الاحتكاك الداخلي.
- c: التماسك $\mathrm{KN.m^2}$

نتائج حساب عامل الأمان في أساس الردمية:

أ) النموذج الأول:

الجدول(11): عامل الأمان في أساس الردمية للنموذج الأول وفق الطريقة التقليدية.

$F.S$	العمق
1.50938	60
1.510405	65
1.513975	70

العمق	$F.S$
5	**16.3161**
10	**7.57694**
15	**4.95164**
20	**3.76521**
25	**3.11695**
30	**2.72085**
35	**2.46003**
40	**2.27852**
45	**2.14646**
50	**2.046662**
56	**1.9512**
75	**1.519192**
80	**1.52542**
85	**1.532204**
90	**1.539219**
95	**1.546232**
100	**1.553077**
105	**1.55964**
110	**1.565843**

عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية هو 1.50938.

ب) النموذج الثاني:

الجدول (12) : عامل الأمان في أساس الردمية للنموذج الثاني وفق الطريقة التقليدية.

العمق	$F.S$
5	**12.857**
10	**5.84422**
15	**3.77902**
20	**2.87472**
25	**2.40314**
30	**2.13373**
35	**1.97261**
40	**1.87508**
45	**1.81744**
47.84	**1.79704**
50	**1.570981**
55	**1.601993**
60	**1.63885**
65	**1.679998**
70	**1.724355**
75	**1.771151**
80	**1.81982**
85	**1.869938**
90	**1.921184**
95.105	**1.974409**

عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية هو1.570981.

ت) النموذج الثالث:

الجدول (13) : عامل الأمان في أساس الردمية للنموذج الثالث وفق الطريقة التقليدية.

العمق	$F.S$
5	10.23328
10	4.964256
15	3.37222
20	2.651013
25	2.25898
30	2.023566
35	1.873883
40	1.775732
45	1.710681
50	1.667965
55	1.640906
60	1.625164
65	1.258902

العمق	$F.S$
70	1.270433
75	1.284761
80	1.301288
85	1.319568
90	1.339258
95	1.360096
100	1.381874
105	1.404428
110	1.427626
115	1.45136
120	1.475542
124	1.495162

عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية هو1.258902.

د) نتائج البحث:

1) النموذج الأول: حققت هذه الردمية شروط الأمان والتوازن حيث بلغت قيمة عامل الأمان الأصغري وفق طريقة النمذجة الحاسوبية باستخدام برنامج PLAXIS 2D (1.4909) وهي بالنتيجة أكبر من القيمة الدنيا المسموح بها (1.3)، وهي تتوافق مع قيمة عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية (1.50938).

2) النموذج الثاني: حققت هذه الردمية شروط الأمان والتوازن حيث بلغت قيمة عامل الأمان الأصغري وفق طريقة النمذجة الحاسوبية باستخدام برنامج PLAXIS 2D (1.5712) وهي بالنتيجة أكبر من القيمة الدنيا المسموح بها (1.3)، وهي تتوافق مع قيمة عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية (1.570981).

3) النموذج الثالث: حققت هذه الردمية شروط الأمان والتوازن حيث بلغت قيمة عامل الأمان الأصغري وفق طريقة النمذجة الحاسوبية باستخدام برنامج PLAXIS 2D (1.9181) وهي بالنتيجة أكبر من القيمة الدنيا المسموح بها (1.3)، بينما قيمة عامل الأمان الأصغري وفق الطريقة التقليدية (1.2589902)، إن الخلاف بين عوامل الأمان يعود إلى أن الطرائق التقليدية لا تعكس حقيقة السلوك المتبادل بين الطبقات الجيولوجية المشكلة لأساس الردمية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

بمراجعة سجل الاجهادات بمخرجات الحساب للنماذج الثلاثة تبين أن كل الإجهادات والتشوهات الحاصلة في الردمية وتربة تأسيسها أقل من الإجهادات المسموحة لتربة ردمية وأساساتها والتي حددتها مخرجات الحساب وفقاً للمعطيات المتعلقة بزوايا الاحتكاك الداخلي والتماسك والكثافة الجافة والمشبعة وعوامل الصلابة وعوامل بواسون، مع ملاحظة انسيابية الإجهادات وتناظرها على جانبي محور الردمية والخلاف البسيط بين قسمي الردمية هو عدم التناظر الكامل للأبعاد الهندسية للردمية لكن كل ذلك لم يؤثر على توازن الردمية وعامل أمانها.

أبدى برنامج PLAXIS 2D ديناميكية عالية في تحليل الردميات المدروسة وتحديد سلوكها في المستقبل إذ أنه يعطي مؤشرات لإمكانية حدوث عدم استقرار في أحد العناصر الإنشائية المشكلة لها.

يمكن تدعيم استخدام برنامج ال PLAXIS 2D بإعادة حساب ردميات باستخدام الطرائق التقليدية للتحقق من جدوى استخدامها.

التوصيات:

يجب مراقبة الردميات الطرقية مع الزمن وتحديد سلوكها قبل حدوث أي خلل من خلال الحساب الدقيق لها.

يفضل تطبيق البرنامج لحساب الردميات على السفوح الجبلية مع وجود حركة للمياه الجوفية باتجاه الأسفل.

يفضل استخدام الجوانب الأخرى من هذا البرنامج (PLAXIS 3D) للتحقق من سلوك الردميات في الفراغ وخاصة في المسارات القصيرة من استراد اللاذقية–أريحا.

References:

[1] P LOUR ENS (Member), H CZAPLA and A L PAR ROCK (Member). Finite element analysis of failure and structural rehabilitation of a high embankment on a soft foundation. THE CIVIL ENGINEER in South Africa -July 1989.

[2] Ch.Kliche, Rock Slope Stability, Colorado ,USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1999.

[3] K.Huebner, D.Dewhirst ,D.Smith, The Finite Element Method for Engineers, Wiley, 2001.

[4] L.Abramson, Th.Lee, S.Sharam, G.Boyce, Slope Stability and Stabilization Methods, USA: John Wiley & Sons, (2002).

[5] E.Eberhardt, Rock Slope Stability Analysis - Utilization of Advanced Numerical Techniques, Vancouver, Canada: Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, (2003).

[6] M.Walsh, Engineering and Design - Slope Stability, USA: US Army Corps of Engineers Washington, (2003).

[7] J.N.Reddy, An Introduction to the Finite Element Method (Third ed.), McGraw-Hill, (2006).

[8] D.L.Logan, A first course in the finite element method, Cengage Learning. ISBN, (2011). Similitude Conditions Modeling Geosynthetic

[9] Keith Jennings1 and Patrick J. Naughton 2. Reinforced Piled Embankments Using FEM and FDM Techniques. Advances in Civil Engineering.2011

[10] M. Rabie. Comparison study between traditional and finite element methods for slopes under heavy rainfall. HBRC Journal. 2013

[11] Ch.Juraj, Zaklady matematického modelovani v geotechnice s využitim programu Plaxis (in Czech). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, (2014).

[12] T.Ayadat, Review Article, Journal of Scientific and Research, (2019).

[13] Bentley. PLAXIS® 2D-Trusted Geotechnical Finite Element Analysis Software. Advancing infrastructure. 2021.
[14] M.Panchal, PLAXIS Software: The Complete Guide for Beginner - PIGSO LEARNING, (2024).
[15] Standard Specification for Highway and Structure Construction. Road Standard. Section 207(AASHTO), Embankment. Publisher: Wisconsin Department of transportation, 2014-2021.