مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (20) العدد (6+7) 1998
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (20) No (6+7) 1998

تأثير عامل الضغط الجانبي على الحالة الإجهادية وعلى توازن الشواطئ البحرية والنهرية المشبعة بالماء

د. المهندس رامي حنا*
د. المهندس بسام سلطان**

(قبل للنشر في 1998/1/7)

❐ ملخص ❐

يتلخص بحثنا هذا في تبيان التأثير الهام لعامل الضغط الجانبي ξ للتربة الرملية المشبعة بالماء على الحالة الإجهادية والتوازن الستاتيكي والديناميكي للمنحدرات الرملية الشاطئية، والتي قد تكون أو لا تكون جسوراً للطرق ولمسالك القطارات. استخدمنا في بحثنا طريقة العناصر المنتهية في تحليل الحالة الاجهادية ودراسة التوازن الديناميكي والستاتيكي لتلك المنحدرات. بينت نتائج الحساب على نماذج رياضية التأثير الملموس لـ ξ على الاجهادات العمودية الأفقية σ_x والاجهادات المماسية τ_{zx}، بينما لم يبد العامل المذكور أي تأثير على الاجهادات العمودية الرأسية σ_z. أظهرت نتائج الحساب مناطق اللاتوازن الستاتيكي والديناميكي في أجسام المنحدرات عندما كانت قيمة $\xi=0.3$ كما أظهرت مناطق اللاتوازن الستاتيكية والديناميكية وبمساحات متفاوتة عندما تراوحت قيمة ξ بين 0.4 إلى 0.5. مناطق اللاتوازن ديناميكياً أخذت شكل أشرطة موازية لميول سطوح المنحدرات.

* مدرس في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين– اللاذقية – سوريا.
** مدرس في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين. اللاذقية – سوريا

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (20) العدد (6+7) 1998
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (20) No (6+7) 1998

THE INFLUENCE OF LATERAL PRESSURE COEFFICIENT ON PRESSURE SITUATION AND ON STATIC AND DYNAMIC STABILITY OF SUBMERGED SANDY SLOPES

Dr. Eng. Rami HANNA*
Dr. Eng. Bassam SULTAN**

❐ ABSTRACT ❐

This work presents the effect of lateral pressure coefficient (ξ) on pressure situation and on static and dynamic stability of submerged sandy slopes, which may be or not be bridges for highways and railways.

We are used finite elements in studying stresses , deformations and static , dynamic stability of submerged sandy slopes.

The results indicated that the effect of coefficients (ξ) on σ_x and τ_{zx} is sensible, but negligible on σ_z.

Computing results shows, that there were zones with no stability when ξ=0.3 either in dynamic and static solution. Stability variable when ξ=0.4÷0.5.

The forms of non static and dynamic stabilization's were parallel to slopes.

* University of Tishreen, Faculty of Civil Engineering, Lattakia, Syria.

** University of Tishreen, Faculty of Civil Engineering, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعتبر مسألة التوازن الديناميكي للترب المشبعة بالماء من المسائل الهامة التي برزت على بساط البحث في الأعوام الأخيرة، وذلك نظراً لانتشار وتعدد مشاكلها في المناطق النشطة زلزالياً أو في المناطق الشاطئية المعرضة لدفع الأمواج البحرية (أو النهرية) الديناميكي أو لأي سبب من الأسباب المشابهة.

وكم هي ملحة ومهمة مشاكل التوازن الديناميكي للترب عند إنشاء الطرق والسكك الحديدية على منحدرات الشواطئ البحرية والنهرية الرملية منها تحديداً، والتي قد تتعرض لسبب أو لآخر لتأثيرات ديناميكية من قوافل السيارات ومن القاطرات، وتتعقد المشكلة عند إنشاء الطرق على منحدرات رملية مغمورة بالماء في المناطق النشطة زلزالياً. وحوادث انهيار المنحدرات الشاطئية الرملية المشبعة بالماء كثيرة بسبب التأثيرات المتنوعة والديناميكية لقوافل السيارات والقطارات كل حسب موقعه[1،2].

وفي هذه المجال قام الكثير من الباحثين[1،2] بمناقشة هذه المشاكل ووضع الحلول المناسبة لها ومن أهمهم العالم الروسي (ن.ن.ماسلوف) الذي وضع نظرية التسرب لاستخدامها في دراسة التوازن الديناميكي للرمال المشبعة بالماء وذلك كان منذ عام 1958م ثم قام بتطوير هذه النظرية (نظرية التسرب) تلامذته من بعده وذلك من أجل دراسة التوازن الديناميكي للمنحدرات الرملية مع الأخذ بعين الاعتبار تطور الحالة الاجهادية – التشوهية المرافقة للمشكلة. وتبقى مشكلة تحليل الحالة الاجهادية – التشوهية لمثل هذه المسائل الصعبة والمعقدة على جانب كبير من الأهمية ويجب في كل الأحوال أن تكون على درجة كبيرة من الدقة، لأن معرفة السلوك الحقيقي لجملة تتعرض لتأثيرات ديناميكية ثبت أخيراً بأن لا يتحقق إلاّ عن طريق تحليل الحالة الاجهادية – التشوهية الفعلية ومن تأثير كافة القوى الستاتيكية والديناميكية معاً.

وعندما يصبح الوضع الجيولوجي – الهندسي معقداً، يجب اللجوء لاستخدام طرائق حديثة تعتمد على نمذجة الحالة الحقيقية للمشكلة (الشكل الهندسي والمقطع الجيولوجي والقوى الديناميكية والستاتيكية) وذلك عددياً على الحاسب، وأثبتت الطرائق التقليدية عجزاً في التعامل مع المسائل المعقدة جيولوجياً وهندسياً لذلك مع الاستخدام والانتشار الواسع للكمبيوتر الشخصي، أصبح بالإمكان تبسيط عمليات حساب الحالة الاجهادية في الجمل المتجانسة وغير المتجانسة عن طريق نمذجة المشكلة عددياً ومهما كانت معقدة باستخدام طرائق عددية كطريقة التشابه الهيدروديناميكي–الكهربائي وطريقة المعادلات التفاضلية والفروق المحددة.

I– العوالم المؤثرة على قيم عامل الضغط الجانبي:

قام العديد من الباحثين باستنتاج أهم العوامل المؤثرة على قيم عامل الضغط الجانبي في الترب الرملية ونذكر منهم م.ن. غالوتسفوي (1968) هذا وقد كانت كل الأبحاث تشير إلى أن قيم عامل الضغط الجانبي تتعلق بشكل أساسي (بالنسبة للترب الرملية) بحجم الحبيبات الرملية وبكثافة التربة وكذلك بمؤشرات المتانة على القص.

ووفقاً لمعطيات م.ن. غالوتسفوي فإن قيم عوامل الضغط الجانبي للترب الرملية تتراوح بين 0.3 إلى 0.52 جدول (1)[2،3].

جدول (1): قيم عامل الضغط الجانبي للترب الرملية وفقاً لـم.ن. غالوتسفوي.

عامل الضغط الجانبي ع		تربة رملية
في الحالة الكثيفة	في الحالة المفككة	
0.32	0.39	خشن الحبات
0.30	0.39	متوسط الخشونة
0.32	0.44	ناعم
0.32	0.52	سيلتي

فمن معطيات الجدول المذكور نجد أنه مع زيادة درجة تشتت الرمل، تتزايد قيم عوامل الضغط الجانبي ξ، أما فيما يتعلق بتأثير الكثافة على العامل ξ فإنه مع ازدياد الكثافة تتناقص قيم ξ.

وقد أثبتت تجارب العديد من الباحثين[2،3] أن لدرجة تحدب الجزئيات الرملية تأثيراً مهماً على قيم عامل الضغط الجانبي، فمن أجل الجزيئات المدورة تكون قيم ξ أقل منها وذلك من أجل الجزيئات الرملية الحادة الحواف. ويتجلى تأثير مؤشرات المتانة على القص، على قيم عوامل ξ من ملاحظة شروط التوازن الحدية وفق دائرة مور للاجهادات.

وكما نعلم هناك علاقة هامة تربط بين زاوية الاحتكاك الداخلي وعامل الضغط الجانبي يمكن أن نعبر عنها بالشكل التالي:

$$\xi = tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (1)$$

فهذا العامل ξ وفق العلاقة (1) يربط بين اجهادين عموديين متجاورين يؤثران على سطوح متعامدة مرتبطة بعضها ببعض[4].

فالعلاقة (1) تشير إلى علاقة عامل الضغط الجانبي بزاوية الاحتكاك الداخلي φ، والتي بدورها تتعلق بعوامل عديدة لا مجال لذكرها هنا ولكن يمكن الرجوع إليها بالتفصيل(بالمرجع رقم [3]).

II- دراسة تأثير عامل الضغط الجانبي ξ على الحالة الاجهادية وعلى توازن المنحدرات الرملية الستاتيكي والديناميكي:

كما نوهنا سابقاً أصبح بالإمكان وضع الحلول الدقيقة لأعقد المسائل الهندسية وذلك باستخدام طرائق النمذجة العددية على الكمبيوتر. فهذه الطرائق تسمح بتحليل الحالة الاجهادية والتوازن انطلاقاً من نمذجة رياضية حقيقية للمشكلة ووفقاً للشروط الطرفية التي تحمها.

حيث أنه بإمكان هذه الطرائق (طريقة العناصر المحدودة، طريقة العناصر المنتهية، طريقة المعادلات التفاضلية وغيرها...) تحويل المعادلات التفاضلية التي تحول المسألة إلى معادلات مصفوفاتية سهلة الحل على الكمبيوتر.

وفي بحثنا هذا استخدمنا طريقة العناصر المنتهية لتحليل الحالة الاجهادية في المستوى للمنحدرات الرملية الشاطئية (نهرية أو بحرية) ومغمورة بالماء، لما تتمتع به هذه الطريقة وفقاً لاعتقادنا بديناميكية كبيرة في التعامل مع أصعب المشاكل ولسهولة استخدامها في تحليل الحالة الاجهادية والتوازن وبدرجة كبيرة من الدقة[6].

II-1: الأسس النظرية المعتمدة في تحليل الحالة الاجهادية والتوازن الستاتيكي والديناميكي للمنحدرات الرملية المغمورة بالماء:

تم تحليل الحالة الاجهادية للمنحدرات الرملية المغمورة بالماء باستخدام طريقة العناصر المنتهية (المحددة)، التي مبدؤها ومنطلقها الرياضي النظري يقود إلى حل جملة معادلات مصفوفاتية تنمذج الحالة الواقعية كما يل:

فالمعادلات المصفوفاتية للجملة الإنشائية (منحدر رملي مغمور) مهما كانت درجة تعقيدها الهندسي والجيولوجي والتي تقود إلى تحليل الحالة الاجهادية والتوازن عند وضع الحلول لها، تأخذ الشكل التالي:

$$\begin{aligned} \{R(H)\} &= [K(u)]\{U\} \\ \{Q\} &= [P(u)]\{H\} \end{aligned} \quad (2)$$

حيث أن: $\{R(H)\}$: شعاع القوة في العقد الزاوية للجملة الإنشائية المقسمة إلى عناصر مثلثية بالمستوي:

{K}: مصفوفة الصلابة للجملة الإنشائية.

{U}: شعاع الانتقالات للعقد الزاوية.

{Q}: مصفوفة التصريف.

فحل المشكلة باستخدام الحل المشترك للمعادلات (2) يقود إلى تحديد الانتقالات الفعلية في العقد الزاوية، وبعد معرفة الانتقالات أصبح بالإمكان التعرف على التشوهات في العقد، ومن التشوهات يمكن حساب الساحة الاجهادية بالمستوي.

أما حساب التوازن الستاتيكي للجملة الإنشائية فينطلق أساساً من تحديد التوازن الستاتيكي في كل نقطة من نقاط الجملة الإنشائية (في المستوي هنا بدراستنا) والمقسمة إلى عناصر مثلثية شكل (1). فبعد تحديد التوازن الستاتيكي في العقد يمكن رسم

خطوط تساوي عوامل الأمان الستاتيكي، ومنها نقرر فيما إذا كان المنحدر الرملي متوازناً أو غير متوازن استاتيكياً، كما سنرى عند حل بعض الجمل الإنشائية.

فعامل الأمان في كل نقطة من نقاط الجملة الإنشائية والذي يشير إلى التوازن في الظروف الستاتيكية، يمكن تحديده في المنحدرات الرملية المغمورة بالماء من العلاقة التالية المستنتجة من ظروف التوازن الحدية لدائرة مور للاجهادات:

$$K_{st}=\frac{\left[(P_1+P_2)+(P_1-P_2)\cos 2\left(45\mp\frac{\varphi}{2}\right)\right]tg\varphi+2C}{(P_1-P_2)\sin 2\left(45\mp\frac{\varphi}{2}\right)} \quad (3)$$

حيث أن: P_1، P_2: الاجهادات الرئيسية الأعظمية والأصغرية (Mpa).

C(Mpa): تماسك التربة واعتمدناه في بحثنا مساوياً للصفر.

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي (الجدول 2).

والتوازن الديناميكي للترب الرملية في المنحدرات يحدد على أساس قيم عوامل التوازن الديناميكي في العقد للجملة المقسمة إلى عناصر مثلثية مستوية والتي تعطى بالعلاقة:

$$K_{dyn}=\frac{\alpha_{Kr.\beta}}{\alpha_{earth}} \quad (4)$$

حيث أن: $\alpha_{Kr.\beta}(mm/\sec^2)$: التسارع الحدي للرمل وفق سماكة المنحدر والذي ميله β مع الأخذ بعين الاعتبار الحالة الاجهادية ويعطى بالعلاقة:

$$\alpha_{Kr.\beta}=\alpha_{K.r_0}\left(1-\tau_{\max}/S_{st}\right) \quad (5)$$

حيث أن: $\alpha_{K.r_0}$: التسارع الحدي للرمل في الحالة الأفقية والمشكلة لجسم المنحدر.

τ_{max}(Mpa): إجهاد القص الأعظمي في عقد الشبكة المقسمة للجملة الإنشائية إلى عناصر مثلثية شكل (1) والمعرض للحالة الاجهادية بطريقة العناصر المنتهية.

S_{st}(Mpa): مقاومة القص للترب الرملية في الحالة الستاتيكية بالمستوي وتعطى بالعلاقة:

$$S_{st}=P_{nst}.tg\varphi \quad (6)$$

حيث أن P_{nst}(Mpa): الإجهاد الشاقولي الناظمي والناتج من تأثير الوزن الذاتي ومن القوى الخارجية والمستنتجة من تحليل الحالة الاجهادية وفق طريقة العناصر المنتهية.

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي للترب المشكلة للمنحدر.

أما قيمة α_{earth} من العلاقة K_{dyn} فهي التسارع الحدي للمنحدر في المنطقة ذات شدة زلزالية معينة.

ويتم تحديد هذه القيمة كما قيمة $\alpha_{K.r_0}$ باستخدام مواد الباحث ت.ف. بافيشيفوي[7].

II-2: تحليل الحالة الاجهادية وتوازن المنحدرات الرملية الديناميكية والستاتيكي وفق نماذج رياضية:

II-2-1: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة المشكلة للمنحدرات الرملية والأبعاد الهندسية لها:

لتحليل الحالة الاجهادية والتوازن الستاتيكي والديناميكي للمنحدرات الرملية المغمورة بالماء، تم اعتماد أربعة نماذج حسابية لأربع منحدرات رملية مغمورة بالماء، ارتفاعات منحدراتها واحدة H=10m أما ميول جوانبها فاعتمدت كما يلي (1:5, 1:4, 1:3, 1:2) ولكل نموذج تم تثبيت الخواص الفيزيائية الميكانيكية جدول (2) للتربة المشكلة للمنحدر الرملي ولكن بدلنا فيها قيم عامل الضغط الجانبي ولكل نموذج على حدة من ξ=0.3 إلى ξ=0.4 وإلى ξ=0.5.

جدول (2): الخواص الفيزيائية-الميكانيكية للتربة الرملية المشكلة للمنحدر

عامل التشوه (E) Mpa	الوزن النوعي (P) KN/m^3	زاوية الاحتكاك (φ) deg	التماسك (C) Mpa	عامل الضغط الجانبي ξ	عامل التسرب K_f M/day
60	19	30	0.0	0.3÷0.5	1.0

والشكل رقم (1) يبين الجمل الإنشائية المعتمدة في الحساب لتحليل الحالة الاجهادية ودراسة التوازن الديناميكي والستاتيكي. ويبين على الشكل كذلك جزءاً من تقسيم المنطقة الحسابية إلى عناصر منتهية مثلثية مستوية انطلاقاً من جوهر طريقة العناصر المنتهية لتحليل الحالة الاجهادية، أما أبعاد المنطقة الحسابية فتم تحديدها بالتقريب المتتالي الذي سمح لنا بتحديد حدود المنطقة الحسابية التي تصبح فيها الاجهادات ذات قيم لا تؤثر على توازن الجملة الإنشائية ككل. وجدير بالذكر أنه لحساب عامل الأمان الديناميكي وفق العلاقة (5) وفي كل نقطة من نقاط الجملة الإنشائية المقسمة إلى عناصر مثلثية، تم اعتبار قيمة المخرج ثابتة في كل نقاط الجملة الإنشائية وله قيمة حسابية مقدارها $\alpha_{earth} = 1200mm/sec^2$ وهو يوافق وقوع المنحدرات الرملية المغمورة بالماء في مناطق زلزالية شدتها (7Ball).

II-2-2: نتائج الحساب:

1- بالنسبة لحساب الاجهادات الشاقولية العمودية σ_z تبين أنه عندما تتبدل قيم عامل الضغط الجانبي للتربة المشكلة للمنحدر من 0.3 إلى 0.5 لا تتغير قيم σ_z عملياً مهما اختلفت ميول المنحدرات الرملية، أي أنه عندما تكون قيم الخواص الفيزيائية الميكانيكية للمنحدر ثابتة ولميل واحد، لكن مع تبدل قيم عامل الضغط الجانبي ξ من 0.3 إلى 0.5 لا تتغير قيم σ_z وهذا ينطبق على الميول المختلفة كافة.

2- عندما تتبدل قيم عامل الضغط الجانبي من 0.3 إلى 0.5 فإن قيم الاجهادات الشاقولية الأفقية σ_x تتزايد بشكل منتظم مع ازدياد قيمها وذلك بغض النظر عن تبدل ميول جوانب المنحدرات الرملية.

إلا أنه عندما تصبح قيمة عامل الضغط الجانبي ξ=0.5 ثابتة لكل النماذج الحسابية ولكن مع تبدل ميولها من 1:2 إلى 1:3 إلى 1:4 إلى 1:5 لوحظ اقتراب تساوي قيم الاجهادات العامودية والأفقية على التوالي σ_z وσ_x، حتى أنه تصبح لـσ_x قيم أكبر من قيم σ_z في الإجزاء الطرفية للمنحدرات أي بالقرب من قدم المنحدر.

وقد بينا على الأشكال (2) و(3) طبيعة توزع الاجهادات الشاقولية σ_z وσ_x وفق قاعدة المنحدر ولميول مختلفة من 1:2 إلى 1:3 إلى 1:4 إلى 1:5 أشكال (2,a) و(3,a).

3- فيما يتعلق بالإجهادات القاصة الأعظمية τ_{max}، تبين بالحساب أن قيمها تتزايد مع انخفاض قيم عامل الضغط الجانبي ξ. أما عندما تصبح قيمة عامل الضغط الجانبي ξ=0.3 فقد لوحظ أن الاجهادات القاصة الأعظمية τ_{max} تملك قيماً أكبر من قيم الاجهادات σ_x في المناطق القريبة من محور المنحدر على مسافة 2/3 من ارتفاع المنحدر الذي ميله 1:2 وتبلغ هذه المسافة نصف ارتفاع المنحدر عندما تصبح قيمة ميله 1:5. وفي بقية الحالات لوحظ بأن قيم الاجهادات المماسية الأعظمية τ_{max} لا تزيد عن قيم الاجهادات σ_x.

4- عند تقييم التوازن الستاتيكي للمنحدرات تبين أنه تظهر مناطق غير متوازنة استاتيكياً بالقرب من محور المنحدر عندما تكون قيمة ξ=0.3 شكل (3,a) مع أنه يجب أن تكون المنحدرات متوازنة استاتيكياً وذلك لأن لميولها زوايا أقل من زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. ومن تحليل الحالة الاجهادية للمنحدرات استنتج بأن المناطق غير المتوازنة استاتيكياً توافق المناطق التي تتجاوز فيها قيم الاجهادات المماسية الأعظمية τ_{max} الاجهادات الأفقية σ_x.

أما عندما تصبح قيمة ξ=0.4÷0.5 فإن كل المنحدر يصبح متوازناً استاتيكياً شكل (1,b) و(2,b) و(3,b).

5- تقييم التوازن الديناميكي لكل المنحدرات عندما تكون قيمة عامل الضغط الجانبي ξ=0.3 تبين بأنها غير متوازنة في مناطق ذات شدات زلزالية (7Ball). ولكن مع ازدياد عامل الضغط الجانبي إلى القيمة ξ=0.4 أدى هذا إلى ظهور مناطق ذات توازن ديناميكي تتوضع في الجزء الوسطي من المنطقة القريبة من قاعدة المنحدر شكل (3,b). أما أبعاد هذه المناطق المتوازنة فتتزايد مع انخفاض قيمة الميل للمنحدر. شكل (1,b) و(2,b).

أما عندما تصبح قيمة ξ=0.5 فإن منطقة التوازن الديناميكي تتسع شكل (3,b) في كل الحالات وتحتل مكاناً واسعاً في جسم المنحدر وتتجه باتجاه محوره.

لكن منطقة اللاتوازن الديناميكي أو غير المتوازنة ديناميكياً لوحظت بشكل أساسي متوضعة بشكل شريط ضيق على طول سطح المنحدر شكل (3,b) وهذا دليل واضح على صحة النتائج، حيث أن أغلب ظواهر استثمار المنحدرات الرملية المغمورة بالماء تبدو في حالة اللاتوازن انهيارات بشكل أشرطة سطحية موازية للمنحدر[3،4].

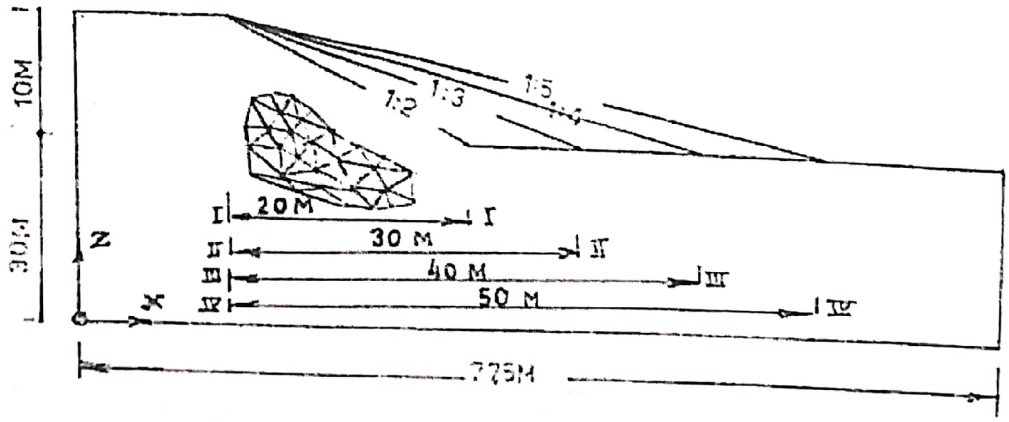
الاستنتاج:

1- بين لنا تحليل النتائج السابقة أن عامل الضغط الجانبي يؤثر تأثيراً هاماً على الحالة الاجهادية وعلى توازن المنحدرات الرملية المغمورة، ونتيجة لذلك يجب أن تحدد قيم عوامل الضغط الجانبي للترب الرملية بعناية ودقة كافية. حيث بينت تجارب استخدام المنحدرات الرملية الشاطئية والتي تمر فوقها طرق السيارات والسكك الحديدية، أنه مهما كانت دقة الطرائق الحسابية التي تقيّم التوازن الديناميكي والستاتيكي، قد تعطي تصوراً خاطئاً عن الحالة الاجهادية والتوازن الديناميكي والستاتيكي. لذلك يفضل دائماً تحديد عامل الضغط الجانبي تجريبياً دون الاعتماد على قيم وجداول جاهزة.

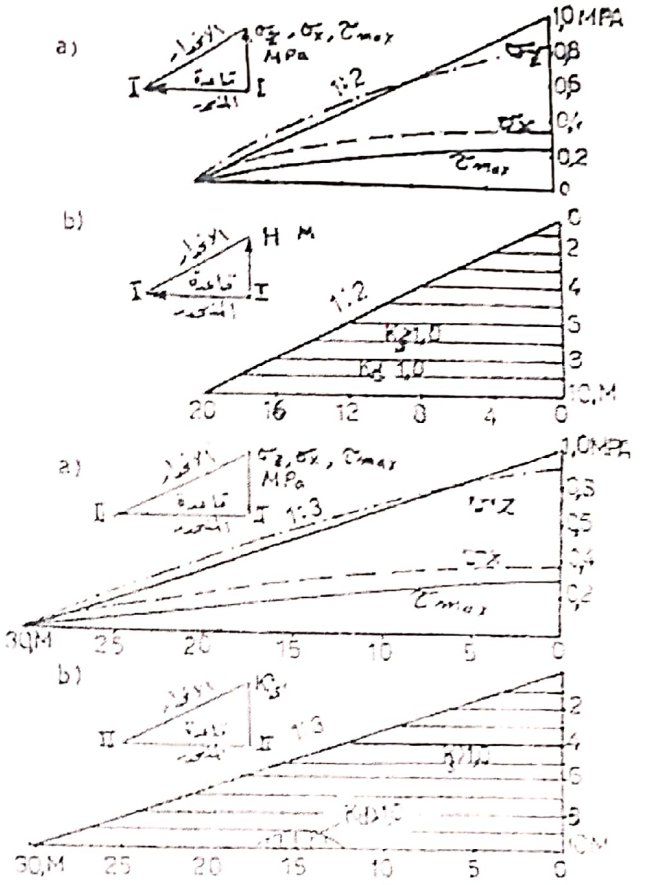
2- من جهة نظرنا يفضل دائماً عند تحديد عامل الضغط الجانبي للترب الرملية، استخدام جهاز الضغط الثلاثي المحاور الذي يعطينا أدق القيم المعبرة عنه، بالإضافة فمكانية تحديد خواص التربة الميكانيكية.

3- عند تحليل الحالة الاجهادية في الجملة الإنشائية يفضل استخدام عناصر مثلثية متشابهة المساحة تقريباً، لأن تجارب عديدة أثبتت أن هذا الإجراء يسمح بالحصول على حلول دقيقة لاسيما عند دراسة التوازن الديناميكي.

4- يجب الانتباه إلى تحديد الشروط الطرفية بشكل أقرب ما يكون إلى الواقع الفعلي للساحة الاجهادية التي سوف تتشكل من تأثيرات القوى الديناميكية والستاتيكية.

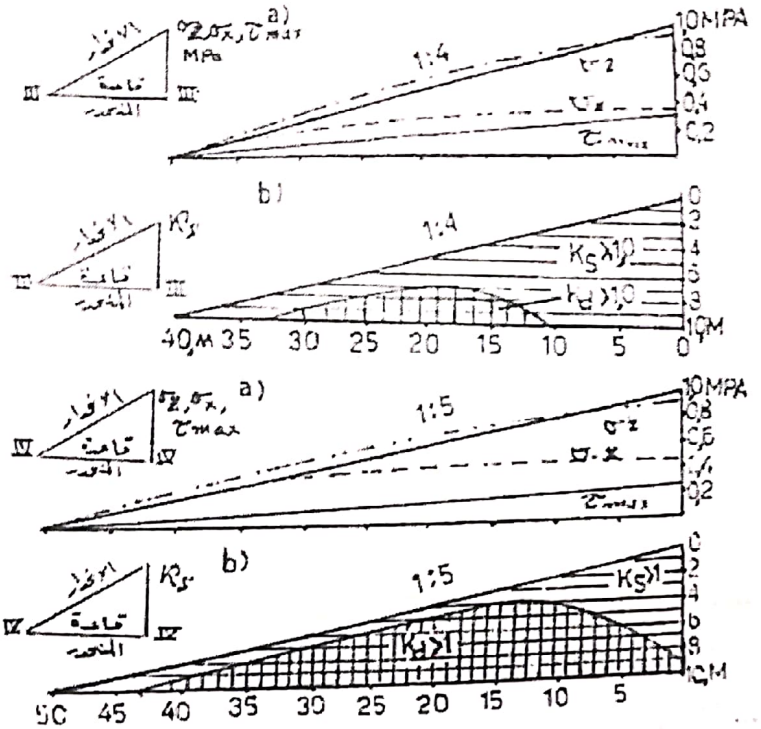


شكل (1): الجملة الإنشائية للمنحدرات الرملية ومخطط تقسيمها إلى عناصر مثلثية.



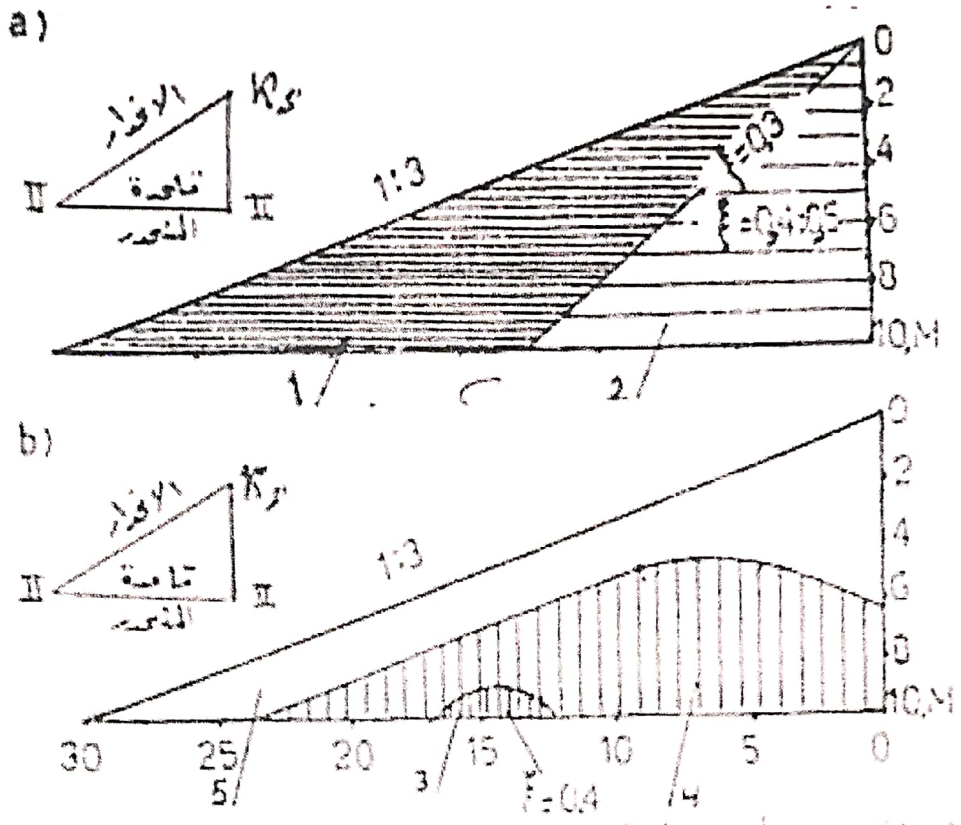
شكل (2): a- شكل توزع الاجهادات وفق قاعدة المنحدرات عندما تكون قيمة ξ=0.4.

b- مناطق التوازن الستاتيكي والديناميكي في المنحدرات عندما تكون ξ=0.4.



شكل (3): a- طبيعة توزع الاجهادات وفق قاعدة المنحدرات ميول جوانبها 1:4. و1:5 وعندما تكون ξ=0.4.

b- مناطق التوازن الستاتيكية والديناميكية في المنحدرات ميول جوانبها 1:4. و1:5.



شكل (4): a- تأثير عامل الضغط الجانبي ξ على التوازن الستاتيكي للمنحدرات الرملية.

b- تأثير عامل الضغط الجانبي ξ على التوازن الديناميكي للمنحدرات الرملية.

1،2،3،4 مناطق متوازنة استاتيكياً وديناميكياً عندما تكون قيمة ξ=0.3، ξ=0.4، ξ=0.5 على التوالي

5 مناطق غير متوازنة ديناميكياً.

المراجـــــــع

[1]- ن.ن. ماسلوف. ظروف توازن الترب الرملية المشبعة بالماء. لينينغراد غوسانيرغيا، 1958، 330p.

[2]- ن.ن. ماسلوف، وليد كنعان. حول مسألة التوازن الديناميكي للمنحدرات الرملية المغمورة بالماء غيدرتخنيكا، 1970، p. 26-29 No.1.

[3]- سرغييف إ.م. علم التربة موسكو /MG1، 1971 .596p.

[4]- ن.ن. ماسلوف. مبادئ الجيولوجيا الهندسية وميكانيك التربة. موسكو 1982. .511p.

[5]- فناريوف ب.أ. التوازن الهيدروديناميكي للمنحدرات القليلة الميل في الردميات الرملية //مسائل تأمين بنـــاء الطـــرق الجيوتكنيكي//. مجموعة أعمال MADI موسكو 1986 .65-77p.

[6]- مالتشانف إ.ن. نيكالينكو ل.د. مبادئ نظرية العناصر المنتهية. كييف 1989.