

دراسة توزيع الدفع الجانبي للتربة على الجدران الاستنادية من أجل ردم خلفي محدود العرض

الدكتور منذر عمران الزاوي*

(تاريخ الإيداع 5 / 10 / 2009. قُبل للنشر في 2 / 6 / 2010)

□ ملخص □

يهتم هذا البحث بدراسة شكل توزيع دفع التربة المفككة ذات العرض المحدود على الحواجز والجدران الاستنادية نظراً إلى أن نظرية كولومب أو رانكين لاتصلحان لمثل هذه الحالات وتعطيان قيماً أكبر من الحقيقة، ومن أجل ذلك تم بناء صندوق اختبار خاص (موديل تجريبي) من أجل قياس دفع التربة على الحواجز، جريت فيه عدة أنواع من التربة المفككة الخشنة المأخوذة من مناطق مختلفة، وبينت نتائج الاختبارات أن نوع التربة المفككة لايؤثر كثيراً على شكل مخطط الضغط، بينما يلعب عرض المجال المحصور دوراً كبيراً في تحديد شكل وقيمة مخطط توزيع الضغط، وأمكن عن طريق رصد سطوح الانزلاق المنشكلة في أثناء التجربة وشكل المنحني الحقيقي للتربة اقتراح طريقة تقريبية لحساب ورسم مخطط توزيع ضغط التربة المحصورة على الحواجز بدلالة عرض المجال المحصور.

الكلمات المفتاحية: الدفع الجانبي للتربة، التربة المفككة، الجدران الاستنادية، الردم الخلفي المحصور.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying The Lateral Earth Pressure Distribution on Retaining Walls of Narrow Backfill Width

Dr. Mounzer Omran Alzawi *

(Received 5 / 10 / 2009. Accepted 2 / 6 / 2010)

□ ABSTRACT □

This research includes the study of the distribution form of the earth pressure with limited width backfill hinter retaining walls, whereas both Coloumb's and Rankin's theory is useless for such cases, and they give greater values than reality, so a special experimental box (an experimental model) was built in which various types of rough loose soil from different regions was experimented to measure the earth pressure on walls. The test results showed that the type of the loose soil doesn't affect the shape of the pressure diagram. However, the width of the limited range of backfill has a great role to define the value and shape of the real earth pressure distribution diagram and it was possible to propose an simplified method to calculate and draw a diagram of the limited earth pressure distribution on retaining walls by using the width of the limited range.

Key word : earth pressure , loose coarse soil , retaining walls , limited backfill

* Associate Professor, Department of Geotechnical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إنّ حمولة الدفع الجانبي على الجدران الاستنادية ذات الردم الخلفي المحصور هي حالة خاصة من حالات الدفع الجانبي الفعال يتعذر فيها بسبب ضيق المجال تشكل سطوح انزلاق حرة على كامل الارتفاع خلف الجدار الاستنادي بتأثير تجمع الدفع الفعال للتربة ، ويصادف هذا الوضع في الحالات الآتية:

• مناطق المنحدرات الصخرية والمناطق الجبلية التي تنشأ فيها الجدران الاستنادية قريبة جداً من الكتلة الصخرية غير ملتصقة بها ويكون الردم محصوراً بين الجدار والكتلة الصخرية . الشكل (1-أ) .

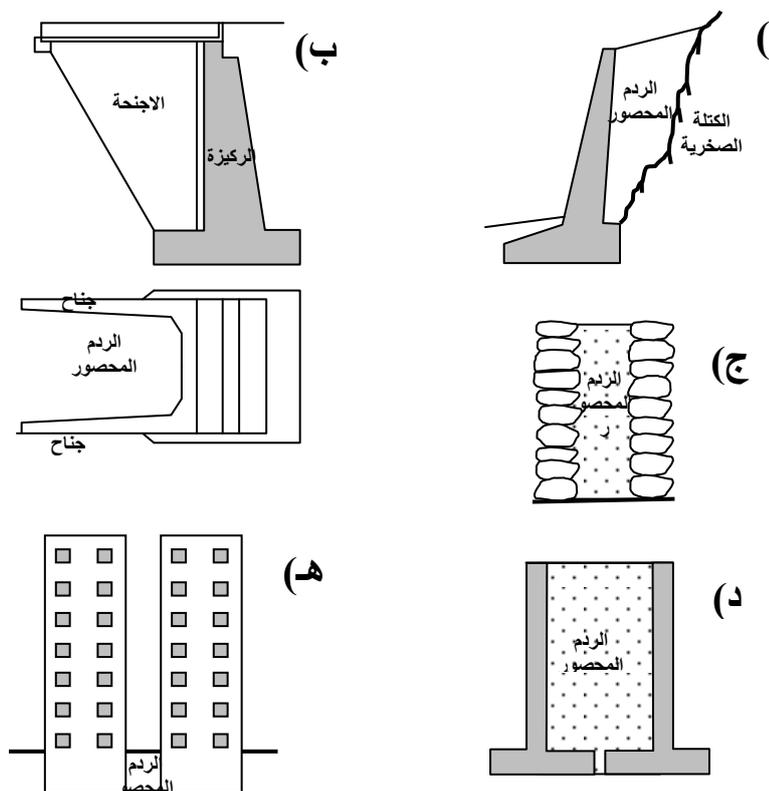
• ركائز الجسور الطرفية المرتفعة ذات الأجنحة التي يكون الردم فيها محصوراً بين الأجنحة وجسم الركيزة .

الشكل (1-ب)

• الجدران الحجرية المزدوجة . الشكل (1-ج) .

• خزانات مواد الردم و البحص المكسر . الشكل (1-د) .

• الردم المحصور بين جدران الأقبية للأبنية المتجاورة القريبة شبه المتلاصقة . الشكل (1-هـ) .



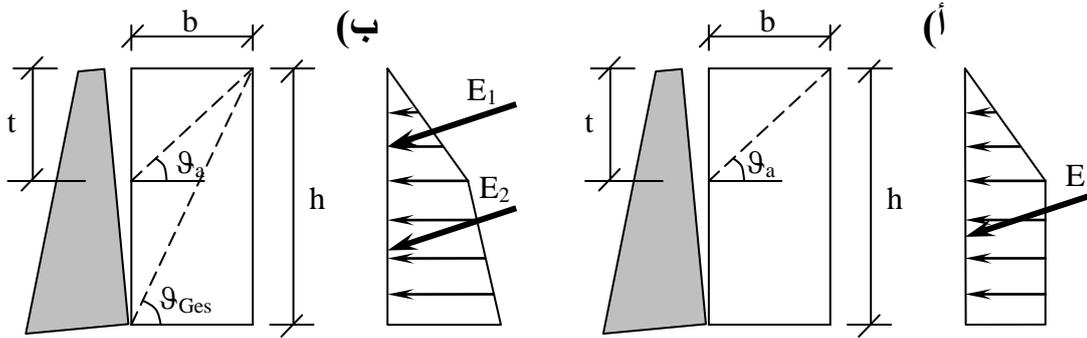
الشكل 1 : بعض الحالات التي يصادف فيها الردم المحصور

وتكون الطرائق التقليدية لحساب الدفع الجانبي للتربة في جميع الحالات السابقة وفي كثير غيرها من الحالات المشابهة غير صحيحة، لأن الطرائق التقليدية تفترض في الحالة الحدية تشكل موشور انزلاق أساسي و سطوح انزلاق ثانوية ضمن الكتلة المنزقة نتيجة تحشد الدفع الجانبي الفعال خلف الجدار ، بينما يكون الوضع مغايراً تماماً في حالة

الردم المحصور خلف الجدران. إن قيمة الدفع الجانبي الناتج عن التربة المحصورة أقل من قيمته في الحالة التي لا تكون فيها التربة محصورة، لذلك تبقى الحالة الأسوأ للتحميل متعلقة بعرض المنطقة المحصورة المردومة خلف الجدار. إن معرفة التوزيع الحقيقي للضغط في حالات الردم المحصور ليس مهماً فقط من أجل التحقق من الاستقرار، بل يرضي في الأساس الفضول العلمي الذي يسعى إلى إيجاد نظرية حقيقية لدفع التربة الجانبي إضافة إلى الناحية الاقتصادية بطبيعة الحال .

2 - تمهيد نظري (الحالة العلمية الراهنة):

اعتمد أقدم حل لهذه المشكلة على افتراض سطح انزلاق يناسب الوضع المحصور للكتلة المردومة خلف الجدار، وبناء عليه اشتقت طريقة الحساب المطلوبة، وقام الافتراض على تشكل سطوح انزلاق مستوية وحدوث حالة الانهيار المستوي، وقد عرض STAVROS [1] في كتابه فرضيات WINKLER ، KEPPNER بأن سطح الانزلاق الحر لا يمكن أن يحدث على كامل الارتفاع المحصور h ، بل يحدث على أقل تقدير حتى عمق $t = b \cdot \tan(\theta_a)$ ، و تصلح عبارة الدفع الجانبي للحالة غير المحصورة في المجال من 0 إلى t فقط [1] ، أما ما تبقى من الارتفاع أي في المجال من t إلى h فتبقى قيمة الدفع الجانبي للتربة ثابتة. الشكل (2-أ) .



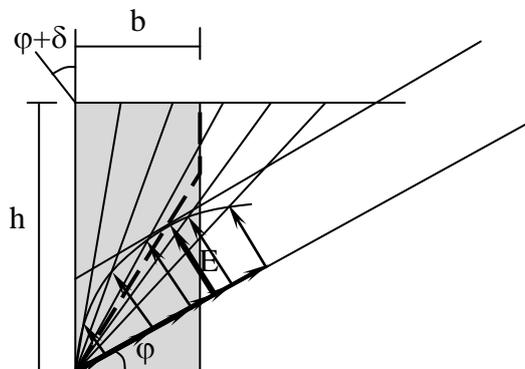
الشكل 2: الافتراضات القديمة لتوزيع دفع التربة (Winkler , Keppner , Buchwald) [1] و [2]

أما BUCHWALD [2] فقد عدّ أن توزيع الدفع في المجال من 0 إلى t مثلثي (محصلته E_1)، ثم افترض حدوث سطح انزلاق قسري يمتد من نقطة دوران الجدار الاستنادي حتى الطرف الخلفي للمنطقة المحصورة، وحسب قيمة محصلة كامل قوة الدفع الجانبي على الجدار ثم طرح منها قيمة E_1 وعدّ الفرق الحاصل يخص المجال من t إلى H وأمكنه بعد ذلك بسهولة حساب قيمة الدفع الجانبي أسفل الجدار بعد افتراض التوزيع الخطي في هذا المجال، وبذلك تم التوصل إلى توزيع أكثر منطقية للدفع الجانبي . الشكل (2-ب) .

حل CULMANN [3] هذه الحالة أيضاً فحسب ضغوط التربة من أجل سطوح انزلاق مختلفة ووزع القيمة العظمى مثلثياً على ارتفاع الجدار، وأهمل الاحتكاك بين الموشور المنزلق والحد الخلفي للمنطقة المحصورة، وذلك من أجل سطوح الانزلاق التي تتقاطع مع الحدود الخلفية للمنطقة المحصورة . شكل (3) .

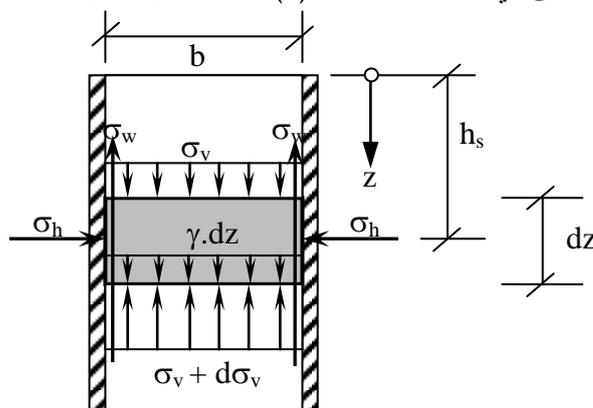
تتلخص ميزة هذه الطريقة في الحصول القيمة العظمى للدفع الجانبي للتربة لكن التوزيع المثلثي المفترض لا يتطابق نتائج التجارب ويعطي قيماً مغلوطة لقوى المقطع ، والإمكانية الأصوب هي حساب الدفع الجانبي بطريقة

CULMANN من أجل الارتفاع المتغير، ثم طرح قيمة دفع التربة على الارتفاع t من قيمة دفع التربة على الارتفاع $t+\Delta t$ وبحصل بالنتيجة على القيمة الوسطية لاجهاد دفع التربة في المجال من t الى $t+\Delta t$.



الشكل 3 : الحساب بطريقة CULMANN [3]

ولا تزال حتى الآن تستخدم من أجل حل هذه المسائل نظرية ضغط الصومعة (أو ضغط السيلو) التي اقترحها JANSSEN [4] في القرن التاسع عشر، وافترض فيها أن الإجهاد الشاقولي يتوزع بانتظام على كامل عرض الصومعة b ، وبإجراء توازن للقوى الشاقولية المؤثرة على شريحة عنصرية سماكتها dz تنتج معادلة تفاضلية بحلها تحسب قيمة الإجهاد الأفقي σ_h على أي عمق z . الشكل (4). وهذه الطريقة تقريبية وتعطي قيمة أكبر من الحقيقة.



الشكل 4: نظرية ضغط السيلو (ضغط الصومعة)

أخذ معامل احتكاك الجدار أو (نسبة الاجهادات الشاقولية الى الاجهادات الافقية) ثابتاً، وبينما كان JANSSEN قد حصل على معامل الاحتكاك من تجارب القص، فقد أدخل KOENEN [5] نسبة للإجهادات الأفقية هي نسبة رانكين للإجهادات الحدية الفعالة k_{ah} نفسها.

اقترح كل من OHDE ، CAQUOT ، NANNINGA ، JAKOBSON (انظر المرجع [6]) معادلات مختلفة لحساب نسبة الإجهادات الأفقية تحيط بشكل أدق بظروف السيلو الحقيقية، كما أن صيغة JANSSEN أيضاً قابلة للتكيف مع معامل الاحتكاك .

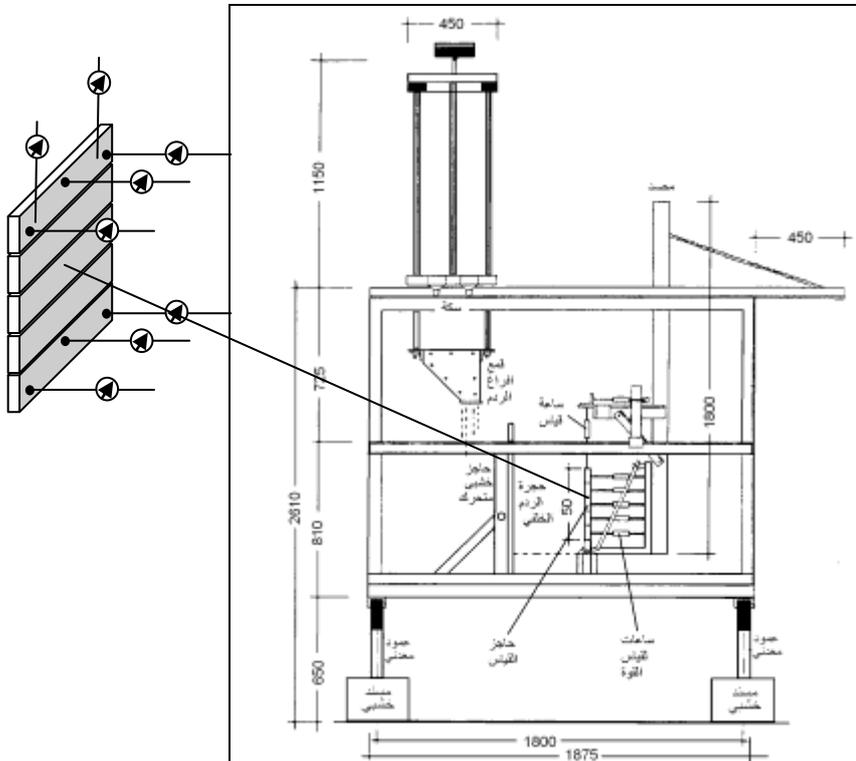
كما تستخدم الطرائق العددية لحل هذه المشكلة كطريقة العناصر المحددة والطرائق العددية الأخرى لكن هذه الطرائق لا تزال تواجه بعض الصعوبات من جهة النمذجة الصحيحة لحالات الانهيار واختيار قانون المادة المناسب واستنباط البارامترات المطلوبة للحل . [7] .

أهمية البحث وأهدافه:

للبحث أهمية علمية واقتصادية وأهميته العلمية تكمن في إيجاد بديل مناسب عن طرائق الدفع الجانبي التقليدية المستخدمة لحساب دفع التربة المفككة المحصورة خلف الجدران بسبب عدم صلاحيتها لمثل هذه الحالات، كما أن أهمية الحل البديل تكمن في الاستغناء عن الطرائق التقليدية لحساب الدفع الجانبي التي تعطي قيمة لدفع التربة أكبر بكثير من القيمة الفعلية والاستفادة منه في التصميم الاقتصادي الصحيح للجدران الاستنادية . لذلك كان هدف البحث أساساً وضع جملة مبسطة ودقيقة إلى حد مقبول من أجل حساب ورسم الدفع الجانبي الذي يطبقه الردم المحصور خلف الجدران الاستنادية .

طرائق البحث ومواده:

اقترحنا لحل مسألة الدفع المحصور خلف الجدران الاستنادية إجراء تجارب نموذجية مخبرية على (صندوق FRANKE) [8] ، وهو نموذج مخبري بسيط مصغر قمنا بتصنيعه مع بعض التعديلات التي وجدناها مناسبة ويتألف من صندوق أبعاده مبينة على الشكل (5) مزود بحاجز قياس ارتفاعه 0,50م وطوله 1,0م (الاتجاه المعامد للشكل) .

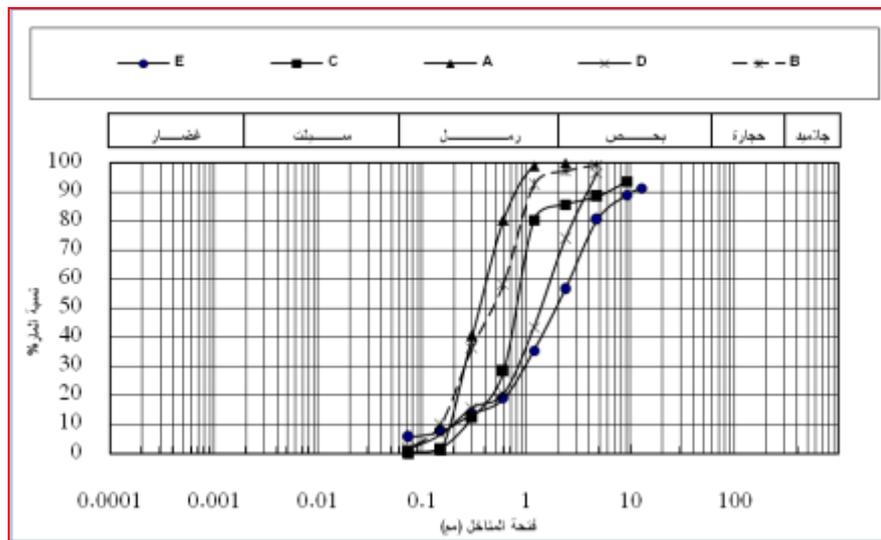


الشكل 5 : كروكي صندوق الاختبار

وتوجد خلف الحاجز حجرة الردم التي تملأ بالتربة المجربة ويتم التحكم بعرض الحجرة بتحريك الحاجز الخشبي الخلفي أما نحو الأمام أو نحو الخلف، وتفرش التربة المفككة في حجرة الردم بواسطة القمع بطريقة المطر الرملي لتأمين نوع من التجانس والانتظام. يتألف حاجز القياس شكل (5) الذي تقاس عليه الضغوط من خمس شرائح من الألمنيوم متراكبة ممتدة على كامل طول الحجرة المردومة (1,0م)، حيث ارتفاع كل منها 0,10م وسماكته 0,02م، وصنعت الشرائح بسماكة كافية، بحيث لا يؤدي الانزياح الحاصل في أثناء التحميل إلى خروجها من الصف، وعلى كل شريحة خمس نقاط لقياس القوة موصولة بخمس ساعات قياس شكل (5). ثلاث ساعات منها أفقية لقياس المركبة الأفقية لدفع التربة واثنان شاقوليتان لقياس المركبة الشاقولية للدفع.

بسبب عدم توفر تقنية قياس مربوطة بالكمبيوتر اقترحنا جملة لقياس القوة الأفقية في كل نقطة تتألف من نابض مرن معدني خواصه معلومة (مرونة السلك، قطر السلك، قطر لفة النابض) تلحم عليه صفيحتان معدنيتان من الجهتين إحداها تطبق على شريحة القياس والأخرى تربط بساعة لقياس الانضغاط في النابض ومن خلال معرفة قيمة الانضغاط يمكن بسهولة حساب قوة النابض و معرفة القوة المطبقة في النقطة المقاسة.

يمكن لحاجز القياس أيضاً أن يدور حول قاعدته بمساعدة ذراع تدوير، وتقاس الحركة الدورانية بواسطة ساعة موضوعة في مستوى رأس الحاجز لقياس انزياحه الأفقي، وجعلت جدران الصندوق الخارجية زجاجية شفافة ليتم مراقبة شكل موشور الانتهاء الحاصل، واستخدمت في الاختبارات عدة أنواع من الرمل والرمل المبحص منحنيات تحليلها الحبي مبينة على الشكل (6).



الشكل 6: منحنيات التحليل الحبي للترب المجربة

وقد أخذت هذه الترب من مناطق مختلفة كما يبين الجدول الآتي: وأجريت عليها المخبرية لتعيين خواصها الفيزيائية والميكانيكية:

اسم التربة	النوع	الوزن الحجمي $[kN/m^3]$	زاوية الاحتكاك الداخلي [درجة]
A	رمل بحري	17.00	35
B	رمل نهري	17.10	34
C	رمل صحراوي	16.67	36

D	رمل من نواتج الكسارات	16.80	36
E	رمل نهري + قليل من السيلت	17.30	33

ركزت خطة تجارب قياس الضغط على النموذج على نقطتين :

• تأثير عرض المجال المحصور (كتلة الردم الخلفي) على ضغط التربة، وصمم الصندوق بحيث يمكن التحكم بالبعد المطلوب (المجال) بين الجدار الخلفي للصندوق وحاجز الحماية، وذلك بجعل الجدار الخلفي للصندوق قابلاً للحركة على سكة، وقد أجريت الاختبارات على القيم التالية لعرض المجال b :

(4,5 – 7,5 – 8,5 – 15,0 – 35,0 – 60,0 cm) .

• تأثير تغير خشونة شرائح حاجز القياس على قيم الضغوط أي الاحتكاك بين التربة والجدار، ولذلك تم استخدام شرائح ذات خشونات مختلفة (ملبسة بورق صنفرة مختلف الخشونة)، وتم قياس الاحتكاك بينها وبين التربة بإجراء اختبارات الشد بالسحب لشرائح مختلفة الخشونة مطبورة بالكامل ضمن التربة المجربة ومعرضة لحمولة ناظرية واختيرت من أجل التجريب شرائح ذات احتكاك : (20% ، 40% ، 60% ، 80% ، 100%) من قيمة ϕ .

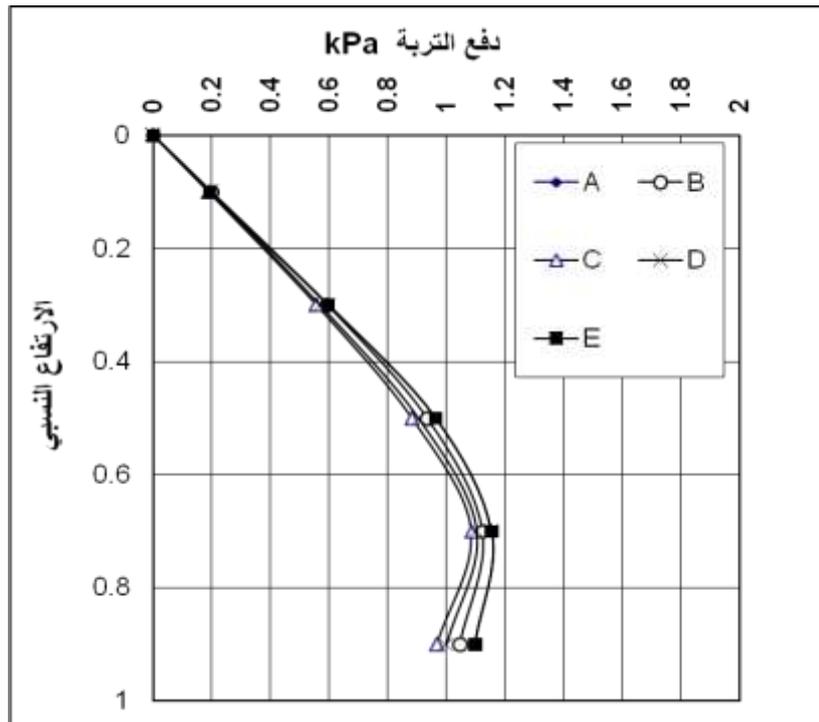
اعتمدت خطة البحث على دراسة تسلسل الحالات الآتية:

1. تأثير نوع التربة المفككة على نتائج القياسات .
2. توزيع الدفع الجانبي للتربة على الحاجز بدلالة عرض المجال المحصور .
3. دراسة علاقة الاحتكاك بين الجدار والتربة مع عرض المجال المحصور .
4. تأثير خشونة حاجز القياس على توزيع دفع التربة عليه .
5. حساب الدفع الجانبي للتربة على الموديل التجريبي بالطرائق التقليدية المختلفة ومقارنة نتائج الحسابات مع نتائج القياسات .
6. اقتراح طريقة تقريبية لحساب الدفع الجانبي للجدران ذات الردم الخلفي المحصور .

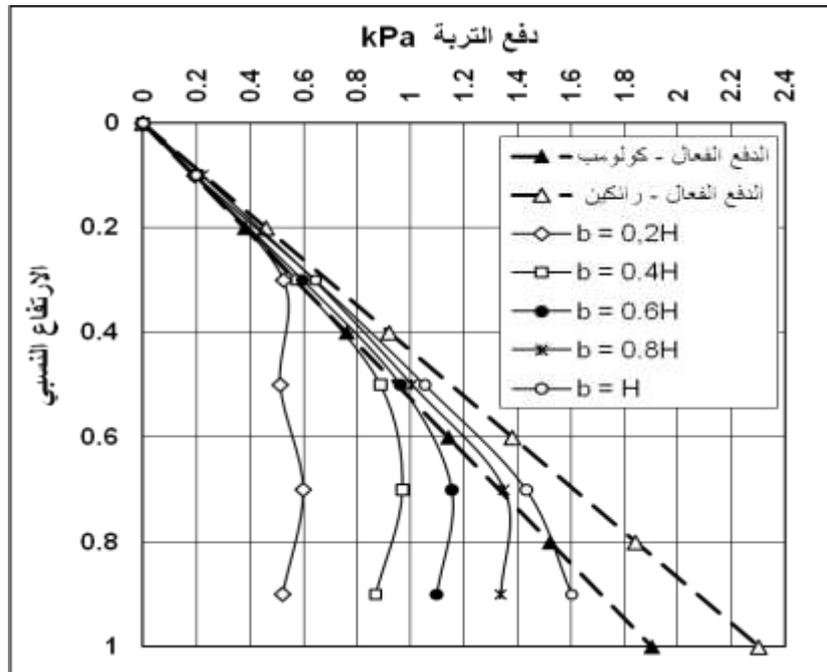
5 - تأثير نوع التربة المفككة على نتائج القياسات:

بينت الاختبارات الأولية أن نوع التربة المفككة لا يسبب فروقاً كبيرة في شكل توزيعات الدفع الجانبي خلف حاجز القياس، وقد استخدمت في التجارب المبدئية جميع أنواع الترب المفككة المبينة على الشكل (6) بعد ردمها بكثافات نسبية مختلفة، واستخدمت من أجل حاجز القياس شرائح بخشونات مختلفة كما تم التحكم بعرض المنطقة المحصورة خلف حاجز القياس، ودلت جميع النتائج في مجموعة الاختبارات الأولية أن الترب المفككة أعطت أشكالاً متشابهة لمخطط توزيع الضغط، وقيماً متقاربة، ويعني ذلك أن نوع التربة المفككة له تأثير طفيف في قيمة وشكل توزيع الدفع الجانبي للتربة المحصورة خلف الحواجز، أي أن سلوكية الترب المفككة في المناطق المحصورة متشابهة .

يبين الشكل (7) نموذجاً لتوزيع دفع التربة من أجل الحالة : $b = 0.4H$ ، $\delta = 0.67\phi$ ، وهذا ما يسمح لنا بمتابعة الاختبارات على تربة نموذجية مثالية واعتبارها عموماً ممثلة للتربة المفككة المردومة خلف الجدران في المناطق ذات المجال المحدود (المحصور)، وقد اختيرت من أجل الاختبارات تربة الرمل البحري A لتوفرها وسهولة الحصول عليها، وحسبت من أجل المقارنة قيم ضغط السيلو بحسب ترزاكي وجانسن وفق الطريقة التي عرضها MARTENS [9].



الشكل 7 : توزيع دفع التربة لأنواع الترب المستخدمة من أجل (δ=0.6φ , b = 0.6H) (الاختبار التجريبي)



الشكل 8 : توزيع الدفع الجانبي لتربة المفككة بدلالة تغير عرض المنطقة المحصورة b

6 - توزيع الدفع الجانبي للتربة بدلالة عرض المجال المحصور:

أجريت الاختبارات من أجل عدة حالات لعرض المجال المحصور، حيث تم التحكم بعرض منطقة الردم (عرض المجال المحصور) بتحريك الحاجز الخشبي المتحرك، ثم قيست في كل حالة الضغوط المطبقة على الشرائح .
يبين الشكل (8) توزيع الضغط الجانبي للتربة على الحاجز .

يلاحظ على الشكل أن قيم الضغوط تتزايد كلما زاد عرض المجال المحصور وتقترب المنحنيات في النهاية من شكل القطع مع تناقص في القيمة عند قدم الجدار الحاجز .

7 - دراسة علاقة احتكاك التربة بالجدار مع عرض المجال المحصور:

قيست خلال مختلف التجارب قيم المركبات الأفقية والشاقولية لدفع التربة وحصلنا على قيم ميل محصلة الدفع الجانبي للتربة بتقسيم قيم المركبات الشاقولية على قيم المركبات الأفقية لكل نقطة ورسمت العلاقة بين زاوية ميل قوة الدفع على الحاجز وبين العمق النسبي بدلالة عرض المنطقة المحصورة b وقد أظهرت النتائج كما هو مبين على الشكل (9) أن أغلب القيم تجمعت وسطياً حول الزاوية 25، وهي قيمة قريبة من القيمة $(2/3.p)$ ، ويبرهن ذلك على أن اعتماد هذه القيمة عند حساب الدفع الجانبي للتربة المحصورة خلف الحواجز يوافق القيمة المعتمدة في تصميم الجدران الاستنادية .

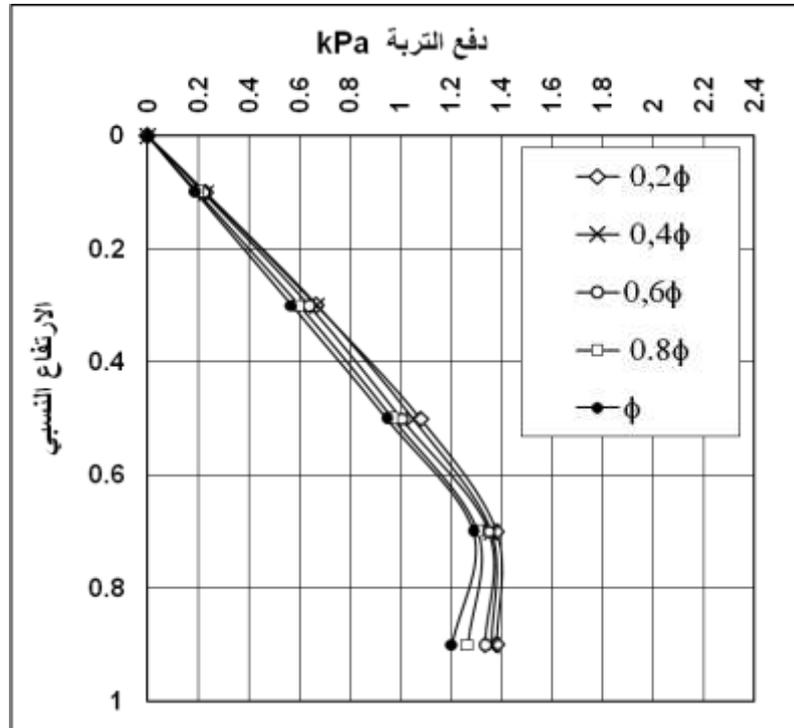


الشكل 9 : توزيع قيم زاوية ميل محصلة دفع التربة مع العمق النسبي بدلالة تغير عرض المنطقة المحصورة b

8 - تأثير خشونة حاجز القياس على توزيع دفع التربة على الحاجز

تفيدنا هذه التجربة في دراسة تأثير خشونة الجدار على قيمة الدفع المحصور الذي تطبقه التربة المحصورة بينه وبين الحاجز المتحرك، حيث يمكن اعتبار حجرة الردم المحصور بمنزلة موديل مخبري يحده من جهة أولى جدار القياس الذي تجري الاختبارات عليه ويحده من الجهة المقابلة الحاجز المتحرك الخلفي الذي يحصر التربة من الخلف ويتحكم بعرض المجال، أما من بقية الجهات (الجوانب) فهو محصور بالجوانب الأخرى للصندوق للصندوق، وتدرس هذه الحالة تأثير خشونة سطح الحاجز المتحرك على توزيع الضغط، ويبين الشكل (10) توزيع الدفع الجانبي للتربة

المحصورة على الحاجز بدلالة تغير خشونة سطح الجدار الذي يمس التربة، كما درس أيضاً تأثير خشونة الحاجز الخلفي على قيم الدفع ووجد أن تأثيره قليل جداً، وهكذا تبقى خشونة الجدار الاستنادي نفسه الذي يقاس الضغط عليه هي العامل الذي يجب اعتباره في دراسة شكل توزع الضغط .



الشكل 10 : تأثير خشونة الوجه الداخلي لحاجز القياس على توزع الدفع الجانبي عليه (الحالة $b=0,8H$)

10 - المقارنة مع الطرق التقليدية وطريقة العناصر المحددة :

من أجل المقارنة مع نتائج التجارب فقد استخدمت في حساب الدفع الجانبي على الحاجز الطرائق التقليدية المذكورة في الفقرة 2 ، كما حسب النموذج بطريقة العناصر المحددة FEM .

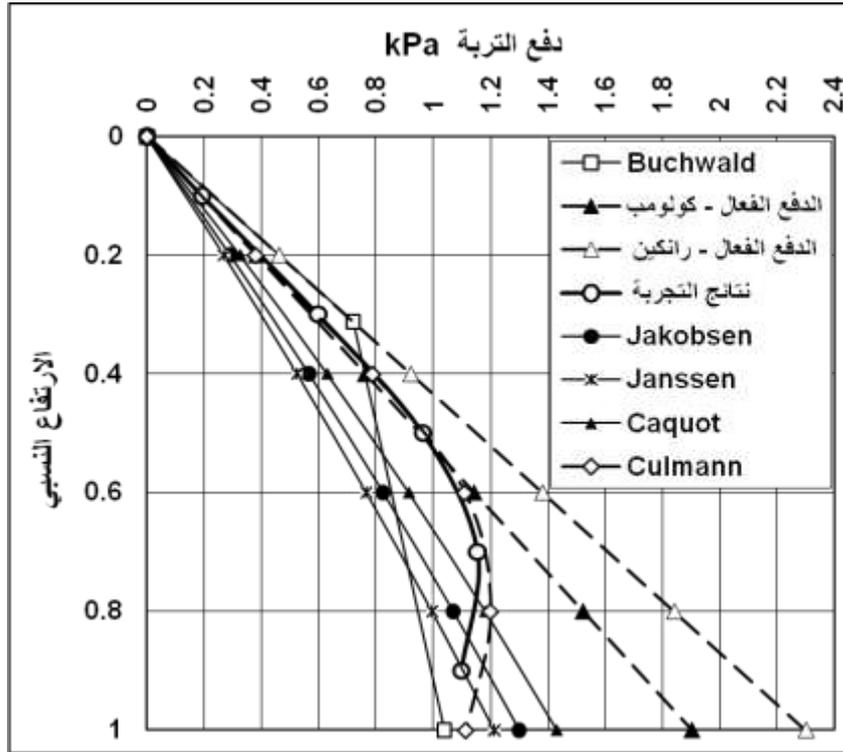
أولاً : المقارنة مع الطرق الحسابية التقليدية :

حسب الموديل التجريبي باستخدام الطرق الحسابية التالية :

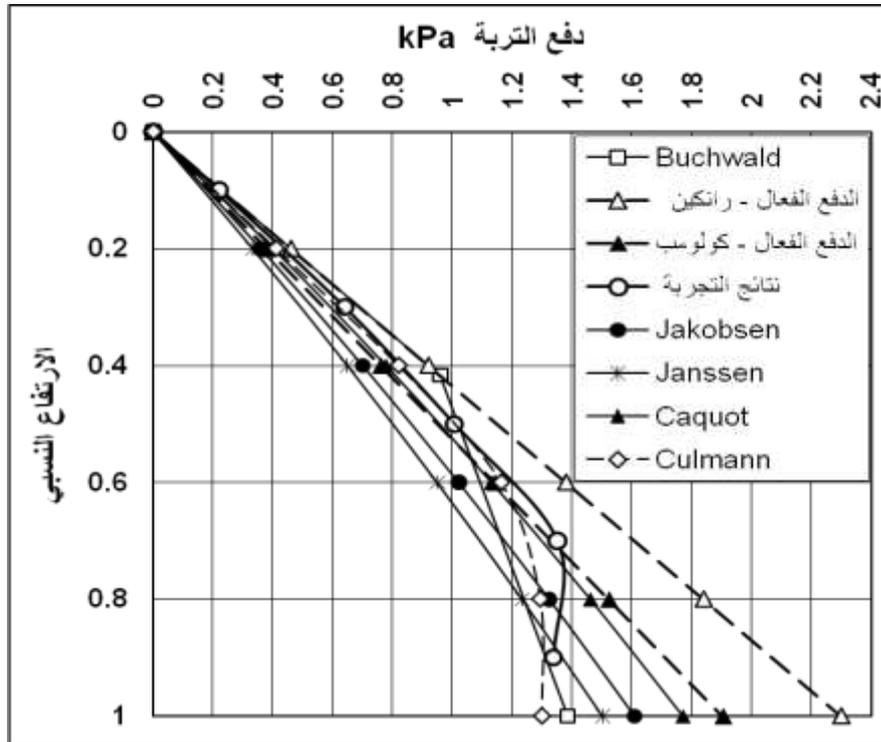
- طريقة Buchwald .
- طريقة Jacobson .
- طريقة Janssen .
- طريقة Caquot .
- طريقة Culmann .

وبين الشكلان (11) و (12) أن نتائج الاختبارات تقع قريبة من حلول Buchwald ، Caquot ،

Culmann .



الشكل 11 : توزيعات الدفع الجانبي للتربة المحصورة وفق التجربة والطرائق الحسابية المختلفة (من أجل $b = 0.6H$)



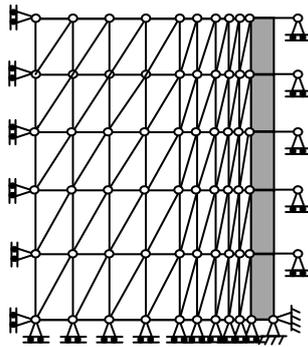
الشكل 12 : توزيعات الدفع الجانبي للتربة المحصورة وفق التجربة والطرائق الحسابية المختلفة (من أجل $b = 0.8H$)

ثانياً : المقارنة مع طريقة العناصر المحددة FEM :

حلت الجملة وفق برنامج حاسوبي تم إعداده في بيئة فيجوال بازيك يطبق طريقة العناصر المحددة التي تفترض بدورها أن المنشأ المدروس والوسط المحيط به قابلان للتجزئة إلى عناصر مرتبطة ببعضها بعضاً بعدد نهائي من العقد ويفترض أن الاجهادات المؤثرة على حواف العنصر تطبق اجهادات في عقد الاتصال بين العناصر المتجاورة ، وقد روعيت الشروط الآتية في الحساب بما ينسجم مع واقع الموديل التجريبي :

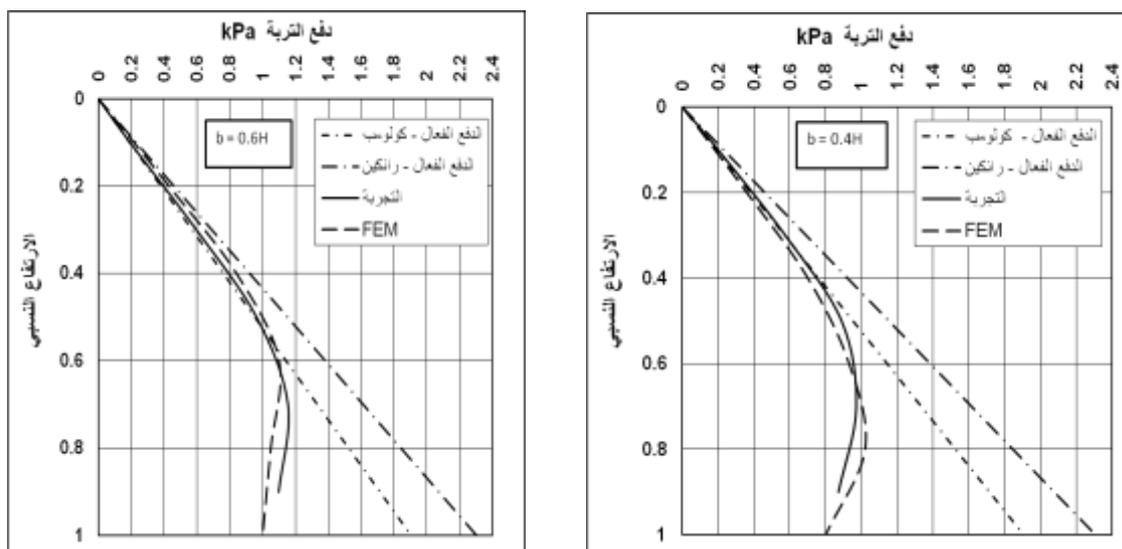
- الحاجز صلب قابل للدوران حول القاعدة والتربة المردومة خلفه هي تربة رملية مفككة .
- سطح التربة المردومة خلف الحاجز أفقي أي $(\beta = 0)$ ، والجدار شاقولي أي $(\alpha = 0)$.
- زاوية الاحتكاك بين التربة والجدار δ هي 0 عندما يكون سطحه املسا و $(0,67.\phi)$ عند كون الجدار خشن السطح وجميع الحالات الأخرى بين هاتين القيمتين .
- استخدم من أجل عناصر التربة قانون المادة المرن الخطي وفرضية انهيار مور كولومب لأنها تناسب الحالة المدروسة طالما أن الدراسة لا تتطرق الى تشوهات كتلة التربة .
- قسمت جملة التربة خلف الجدار الى عناصر مثلثية وروعت الشروط الطرفية للحركة وفق ما هو مبين على

الشكل (13).



الشكل 13 : شبكة العناصر المحددة مبينا عليها الشروط الطرفية

وقد بينت نتائج الحساب بالعناصر المحددة قريبة تقارباً مقبولاً مع نتائج القياسات التجريبية .شكل (14) .

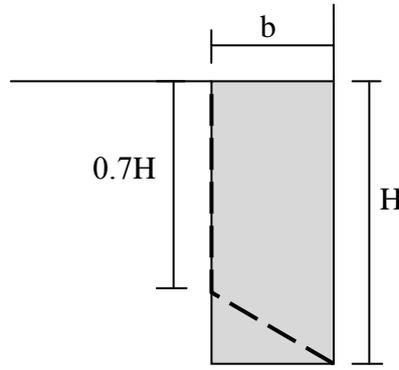


الشكل 14 : المقارنة بين نتائج التجربة وطريقة العناصر المحددة FEM (من أجل $b = 0.4H$, $b = 0.6H$)

النتائج والمناقشة:

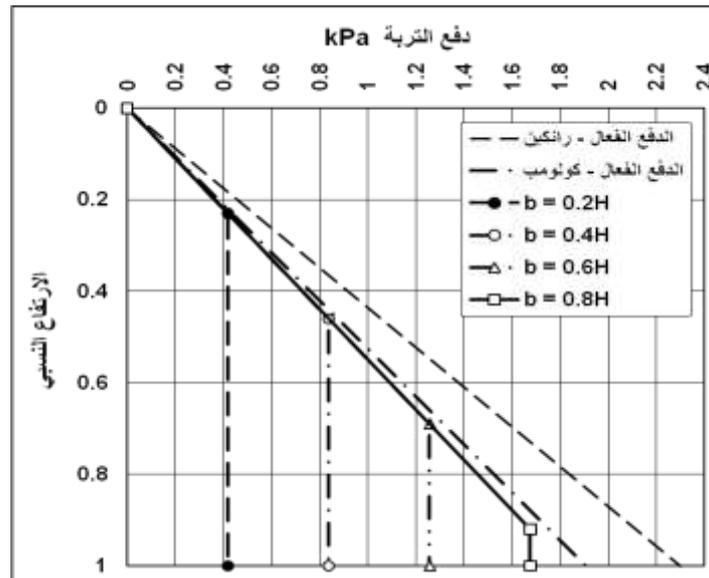
تدل النتائج أعلاه أن توزيع الضغط . بحسب التجربة . يستمر بشكل شبه خطي إلى عمق يساوي 1,15.b (عرض المنطقة المحصورة) ، ويبلغ عنده قيمة تساوي تقريباً إلى 110% من قيمة كولومب للدفع الفعال أو 90% من قيمة رانكين للدفع الفعال للتربة غير المحصورة ثم يبدأ بعدها بتزايد طفيف غير خطي ، وقد لوحظت هذه الحالة في جميع الاختبارات التي أجريت .

لدى تقييم النتائج وملاحظة حركة حاجز القياس ومراقبة سطوح الانزلاق خلفه تبين أن سطوح الانزلاق في أغلب الاختبارات تركزت في الجزء السفلي لكتلة الردم المحصور وفق الشكل (15)، ويمتد سطح الانزلاق من قاعدة الحاجز حيث يتقاطع مع الحد الخلفي للكتلة المردومة وعلى عمق 70% من الارتفاع .



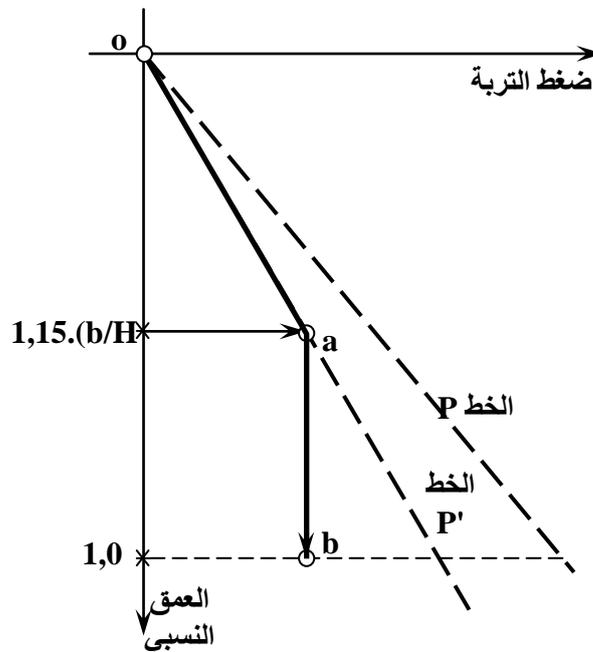
الشكل 15: شكل وموضع سطح الانزلاق الحاصل خلف الحاجز

ويمكن اعتماداً على ذلك رسم التوزيع التقريبي لدفع التربة المحصورة في كل حالة بدلالة عرض المجال وفق ما هو مبين على الشكل (16) .



الشكل 16 : الاقتراح التقريبي لتوزيع دفع التربة المحصورة بدلالة عرض المجال المحصور b

- وتطبيقاً لذلك ومن أجل حاجز أو جدار ارتفاعه H يحجز خلفه كتلة من التربة المفككة المحصورة عرضها b و $H <$ نقترح التسلسل التالي من أجل رسم مخطط الدفع الجانبي :
1. رسم مخطط الدفع الفعال للتربة بحسب كولومب أو بحسب رانكين، وكأن التربة خلف الحاجز أو الجدار غير محصورة (الخط P).
 2. رسم الخط الموافق لـ $0,9.P$ في حالة رانكين، والخط الموافق لـ $1,10.P$ في حالة كولومب (الخط P').
 3. رسم المستقيم الافقي الموافق $1,15$ من العمق النسبي المطلوب أي $(1,15.b/H)$ فينقطع مع الخط P' في نقطة a .
 4. يرسم من النقطة a خط شاقولي يتقاطع مع مستوى أسفل الجدار أو الحاجز في النقطة b .
 5. الخط $o-a-b$ هو مخطط الدفع الجانبي المقترح للتربة المحصورة .
- ويبين الشكل (17) طريقة الإنشاء المقترحة .



الشكل 17 : طريقة الإنشاء التقريبية المقترحة لرسم مخطط الدفع الجانبي للتربة المحصورة خلف الحاجز

الاستنتاجات والتوصيات:

- اعتماداً على ما سبق واستناداً إلى النتائج التي حصلنا عليها من عدد كبير من الاختبارات التي أجريت وبحالات مختلفة يمكن استنتاج ما يأتي:
- لا يمكن اعتماد صيغة كولومب أو صيغة رانكين في حساب دفع التربة المحصورة على الحواجز، لأن القيمة الحقيقية أقل منهما .
 - يُعدُّ تأثير نوع التربة الرملية المردومة على توزيع الدفع الجانبي المحصور قليلاً نسبياً حيث تبقى الفروقات صغيرة لا يعتد بها .
 - يتأثر توزيع الدفع الجانبي للتربة المحصورة بعرض المجال المحصور b ويزداد بازياده.

- تميل المحصلة الكلية لدفع التربة المحصورة عن الناظم بزواوية قريبة من القيمة $(2/3.p)$ ، وأن اعتماد هذه القيمة عند حساب الدفع الجانبي للتربة المحصورة خلف الحواجز لا يبتعد عن الحقيقة .
 - تقل قيمة الدفع الجانبي للتربة المحصورة بزيادة خشونة وجه الجدار الماس للتربة لكن تغير خشونة خشونة السطح الذي يحصر الردم المحصور من الخلف ليس له تأثير يذكر على قيم الضغوط وتبقى خشونة الجدار الاستنادي نفسه الذي يقاس الضغط عليه هي الحاسمة في تغير توزيع الضغط .
 - تحصل سطوح الانزلاق في الجزء السفلي من كتلة التربة المحصورة
 - لدى مقارنة نتائج القياسات في الاختبارات مع نتائج الحساب بالطرائق التقليدية المعروفة وبطريقة العناصر المحدودة FEM تبين أنّ نتائج الاختبارات مقارنة للحلول التي اقترحها Culmann ، Caquot ، Buchwald ، ومتقاربة مع الحل بطريقة العناصر المحدودة، وأنّ توزيع ضغط التربة يأخذ شكلاً شبه خطي بدءاً من سطح الردم وحتى عمق يساوي $(1,15.b)$ حيث (b) عرض المنطقة المحصورة) ، ويبلغ هناك قيمة تساوي تقريباً إلى 110% من قيمة كولومب للدفع الفعال أو 90% من قيمة رانكين للدفع الفعال للتربة غير المحصورة، ويتزايد بعضها بشكل طفيف غير خطي ليعود إلى التناقص .
 - بالاستفادة من الاستنتاج السابق أمكن اقتراح طريقة تقريبية لتوزيع الضغط المحصور للتربة المفككة، وعُدّ توزيع الضغط خطياً من الصفر إلى عمق يساوي 1,15 من عرض المجال المحصور، حيث تبلغ قيمة الضغط هناك 110% من قيمة كولومب للدفع الفعال أو 90% من قيمة رانكين للدفع الفعال للتربة غير المحصورة، ثم يتابع بعدها بشكل ثابت إلى الأسفل .
- يقدم البحث فكرة واضحة عن شكل مخطط الدفع الجانبي للتربة المحصورة خلف الحواجز ويبيّن أنّ طريقة كولومب أو رانكين غير دقيقتين لمثل هذه الحالات لأنّ قيم ضغوط التربة في كلتا الطريقتين أكبر من الحقيقة، ويمكن الاستفادة من الطريقة التقريبية المقترحة في الحساب السريع والعملي لضغط التربة المفككة المحصورة على الحواجز والاستعاضة عن الطرائق التقليدية الرياضية المعقدة التي تعتمد نظرية ضغط السيلو، كما أنّ البحث يفتح آفاقاً أخرى من أجل تطوير البحث ومتابعته على التربة المتماسكة .

المراجع:

- 1- STAVROS, M. "*Erddrucktheorie in begrenzten Gebieten*" 3. Auflage, Verlag für Bauwesen ,Berlin , 1987, 32-49.
- 2- METZNER, Th : "*Beitrag zur Erddruckermittlung bei Stützwänden mit begrenzter Hinterfüllung*" . Dissertation TH-Wismar 1989 , 17-27.
- 3- FRANKE,D. "*Unterlagen zur Vorlesung Bodenmechanik*" . Institut für Geotechnik. Dresden 1999, 58 – 59 .
- 4- JANSSEN, E. "*Versuche über Getreidedruck in Silozellen*" .zit. aus Vogt,L. "*Belastender Erddruck auf Stützwände mit begrenzter Hinterfüllung*" .Mitteilung Heft 4 , Institut für Geotechnik . Dresden 1997 , 209-221 .
- 5- KOENEN, M. "*Berechnung des Seiten-u.Bodendrucks in Siloyellen*" . .zit. aus Vogt,L. "*Belastender Erddruck auf Stützwände mit begrenzter Hinterfüllung*" .Mitteilung Heft 4 , Institut für Geotechnik . Dresden 1997 , 209-221 .
- 6- PIEPER, K.; WENZEL, F. "*Druckverhältnisse in Silozellen*" . Verlag Ernst & Sohn , Berlin ,1964, 8-13.
- 7- WOLFFERSDORF, p. "*Hypoplastischer Zusammenhang für körnige Materialien mit einem vorigen Feststellen einer Grenzzustandsgleitfläche*" .Übersetz. von Mechanical of cohesive-frictional Materials, 1 ,1996 , 251-257.
- 8- FRANKE, D. "*die Berechnung der Erddruckbeiwerte ,wenn die Coloumsche Theorie versagt*" . Bauplanung-Bautechnik , Heft 4.1987, S168-172.
- 9- MARTENS, P. (Hrsg) : "*Silo-handbuch*" . Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1988,54-74.

