

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 9

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
 3. أهداف البحث و أسئلته.
 4. فرضيات البحث و حدوده.
 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
 7. منهج البحث و إجراءاته.
 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
 9. نتائج البحث.
 10. مقترحات البحث إن وجدت.
 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
- ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
- ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
- ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننأ دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
34-11	عبد الكافي شميظ د.نعيمة عجيب أ.د.م. محمود فطامة	دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلترة مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة سلمية
60- 43	عفرآء جببلى د. رامى العبده	تحديد عمق التحسين الناتج عن عملية الرص الديناميكى للترب الرملية
88-61	جمانة ضياء النجم د. ميرنا سعود	تأثير الفتحات على سلوك الجوانز العميقة البسيطة من الخرسانة المسلحة
122-89	صفا على مؤيد صبح	أثر كثافة وتوزيع الثقوب التاجية على سلوك البلاطات المختلطة المعرضة لحمولات شاقولية ساكنة
154-123	دارين أحمد د.على العبدالله د.محمد تقلا	دراسة تحليلية لسلوك الترب الغضارية المنفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلترة مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة سلمية

أ.د.م. محمود فظامة *

د.م. نعيمة عجيب **

م. عبد الكافي محمد شमित

ملخص البحث:

إن المياه الخارجة من محطات المعالجة التي تعمل بطريقة التثبيت في برك الأكسدة الطبيعية يكون تركيز المواد الصلبة المعلقة فيها مرتفع، نتيجة وجود الطحالب، ومن أجل إعادة استخدام هذه المياه في الزراعة لا بُدَّ من تخفيض تركيز هذه المواد المعلقة، وفي هذا البحث سنتناول إمكانية استخدام الترشيح السريع ومدى كفاءته في إزالة الجسيمات الصلبة العالقة في مياه الخرج النهائي لمحطة معالجة مجاري مدينة سلمية. ولتحقيق ذلك، تم انشاء وتشغيل محطة معالجة تجريبية في المحطة المذكورة، باستخدام حشوة رملية محلية تم مقارنة عمل الفلتر التجريبي خلال ثلاثة دورات ترشيح وتم الوصول إلى دورة الترشيح الأمثل عند معدل غزارة $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ، حيث كانت نسبة كفاءة إزالة العكارة 36.7%، ونسبة كفاءة إزالة TSS 68.8%. حيث تبين أن هذه المرشحات سهلة الاستثمار، وذات مردود عالي، مقارنة مع الترشيح بالطريقة التقليدية.

كلمات مفتاحية: فلتر رملي سريع، معالجة ثالثية، رمل محلي.

* أستاذ/ عضو هيئة تدريسية في جامعة حماة/ كلية الهندسة المدنية.

** أستاذ مساعد / عضو هيئة تدريسية في جامعة البعث / كلية الهندسة المدنية/ قسم الهندسة البيئية.

Efficiency of rapid sand filtration for filtering wastewater from Salamiah treatment station

Pro. Eng. Mahmoud Fattamah *

Dr. Eng. Naeima Ajib **

Eng. Abdul kafi Shmit ***

Research Summary:

Water exiting from treatment stations, which work by the fixing manner in natural oxidization ponds, has a high concentration of solid substances due to the existence of the algae, and for reusing this water for agriculture these substances must be reduced.

In this research, we will highlight the possibility of using the rapid filtration and how its efficiency to remove the solid particles suspended in terminal output water of Salamia station for treating wastewater.

To achieve that, an experimental treatment station has been done, and operated in the previous station, and by using a local sand bed, the action of the experimental filter has been compared over three cycles of filtration and the optimum filtration cycle has been reached at a plenty rate of 6 m³/m².h ,where the efficiency of removing the turbidity and TSS was 36% and 68.8% respectively.

It is discerned that these filters are easy to be invested and has a high output in comparison with filtrating by the traditional way.

Key words: Rapid sand filter, tertiary treatment, local sand.

* Professor / faculty member at the University of Hama / College of Civil Engineering

** Professor assistant/ faculty member at Al-Baath University / College of Civil Engineering / Department of Environmental Engineering

*** Postgraduate student (Master) / Al-Baath University / College of Civil Engineering / Department of Environmental Engineering

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلترية مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة سلمية

المقدمة

نظراً لمحدودية مصادر المياه الجوفية في المنطقة الشرقية في محافظة حماة لا بد من التفكير في إيجاد حلول للاستفادة من المياه المعالجة في محطة معالجة مجاري مدينة سلمية وإعادة استخدام هذه المياه لأغراض الزراعة (سقاية الأراضي الزراعية والمناطق الريفية).

إن المعالجة الثالثية لمياه الصرف قد تكون ضرورية لجعلها مطابقة للمواصفات القياسية السورية للري غير المقيد.

هناك عدة طرق للمعالجة الثالثية أكثرها استخداماً هو الترشيح الثلاثي الذي يعد أحد طرق المعالجة المتقدمة المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصحي بعد المعالجة الثانوية لإزالة المواد العالقة بغرض جعل المياه صالحة لإعادة الاستخدام ولا سيما لأغراض الري.

إن كفاءة وفعالية عملية الترشيح تعتمد على عدة عوامل أهمها:

✓ خصائص مياه الصرف المراد ترشيحها

✓ خصائص رمل الترشيح

✓ معدل الترشيح

التصميم يكون عادةً بناءً على تجارب حقلية على المياه المراد ترشيحها أو أداء المرشحات في محطات أخرى قائمة تعالج مياه مشابهة [3].

دراسة نظرية ومرجعية

قام الباحث د. وليد زاهد بتقييم أداء الرمل في ترشيح مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً بإجراء تجارب حقلية وتوصل إلى إمكانية استخدام رمل حائل لترشيح مياه الصرف الصحي المعالجة عند معدلات الترشيح 4-8-12 م³/م².سا حيث أمكن الوصول إلى

مياه مرشحة بجودة تحقق المقاييس السعودية لجودة المياه المعالجة لأغراض الري غير المقيد والأغراض الترفيهية حيث بلغت نسبة إزالة المواد العالقة عند معدلات 4-8-12 م/سا على التوالي 50-72-56 %، ونسبة إزالة العكارة عند المعدلات 4-8-12 م/سا على التوالي 70-85-45% [4].

قام الباحث سعود الشمري بتقييم أداء المرشح الرملي السريع الذي يعمل بالجاذبية في محطة في الكويت لمعالجة مياه الصرف الصحي والتي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة لتقييم مردود إزالة TSS, BOD حيث أمكن الوصول إلى مياه مرشحة بجودة تحقق المقاييس الكويتية لجودة المياه المعالجة لأغراض الري المقيد حيث كانت كفاءة إزالة TSS-BOD على التوالي (66-89) % علماً أن متوسط الدخل المياه الداخلة للفلتر على التوالي (23-25.6) mg/l [5].

في اليونان قام الباحث M. Petala بدراسة بغرض إعادة استخدام المياه لأغراض الري في أحد محطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة، تم استخدام مرشح رملي سريع ثم عمود كربون منشط ثم التعقيم باستخدام الأوزون ثم الوصول إلى نسبة إزالة لكل من BOD-TSS ، 45-80 % على التوالي [6].

أثبت الباحث إبراهيم الجدهي قدرة الترشيح الثلاثي السريع على إزالة المواد الصلبة العالقة حيث استخدم رمل محلي قطره الفعال 2.4 مم ومعامل الانتظام 1.21 وتدرج حبي 2~3.36 مم على ثلاثة سلاسل ترشيح بمعدل 4-8-18 م/سا حيث كان متوسط نسبة إزالة المواد الصلبة 83% على السلاسل الثلاثة ويحد أقصى 98%، متوسط كفاءة إزالة العكارة لثلاثة سلاسل 65% ويحد أقصى 94%، متوسط كفاءة إزالة COD لثلاثة سلاسل 32% ويحد أقصى 75% [7].

تم تقييم أداء المرشحات الرملية السريعة من قبل الباحث حمودة وآخرون في ثلاثة محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي في الكويت، حيث كانت كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة والمواد العضوية بين (95-99) %، واستوفت المياه المعالجة ثالثياً متطلبات جودة المياه التي تُستخدم لري المزروعات وفق المواصفات القياسية الكويتية

حيث كان متوسط قيم المواد الداخلة لكل من TSS-COD على التوالي mg/l (13.9-62.5)[8].

هدف البحث

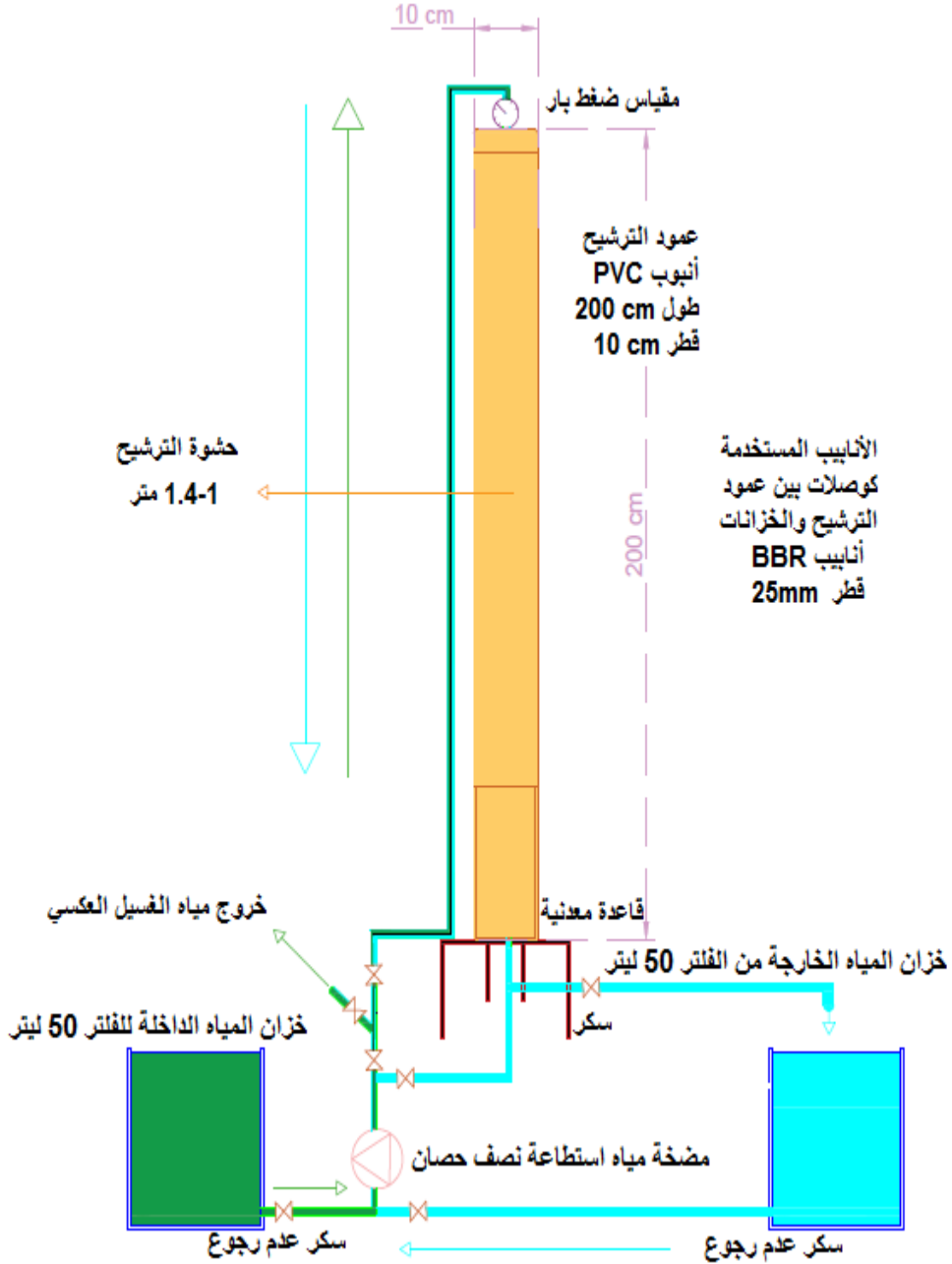
يهدف البحث إلى تقييم استخدام الرمل المحلي كحشوة ترشيح في الفلاتر الرملية السريعة من أجل زيادة مردود تخفيض مؤشرات TSS، العكارة، في مياه الخرج النهائي الناتجة عن محطة معالجة سلمية بغرض استخدامها في الزراعة، علماً أن طريقة المعالجة المتبعة في المحطة هي طريقة التثبيت في برك الأكسدة الطبيعية التي من بين مساوئها خروج نسبة عالية من الطحالب والأشنيات مع مياه الخرج النهائي، أي أن كمية المواد العالقة فيها تكون كبيرة.

مواد وطرق البحث

تم إجراء البحث باستخدام محطة معالجة تجريبية صُممت ووضعت في محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة سلمية في محافظة حماة، موضحة في الشكل (1)



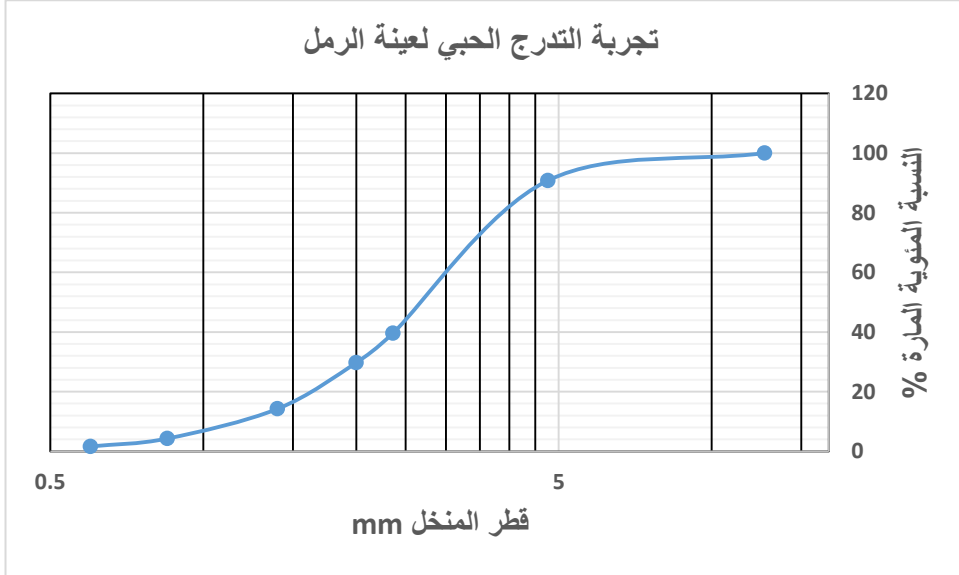
الشكل (1) المحطة التجريبية المصممة



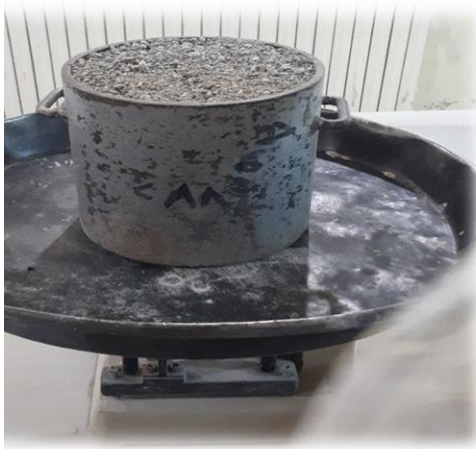
الشكل (2) كروكي للمحطة التجريبية المصممة

مواصفات عينة الرمل المستخدم في دورات الترشيح

تم إجراء تجربة التحليل الحبي على عينة الرمل في المخبر وكانت النتائج على الشكل التالي:



الشكل (3) المنحني الحبي لعينة الرمال



الشكل (4) المناخل المستخدمة لتجربة التحليل الحبي

بالإضافة إلى ذلك تم قياس نسبة الذوبان في الأحماض والوزن النوعي وفق
الجدول (1) المبين على الشكل التالي:

الجدول (1) المواصفات العامة لعينة الرمل المستخدمة في الترشيح

AWWA Standards (B 100-80)	النتيجة	الاختبار
5%>	1%	نسبة الذوبان في الأحماض
2.5<	2.52	الوزن النوعي
2%>	%0.8	المواد الأصغر من 75 ميكرو متر في المقاس
-	1.4	اختبار المناخل: القطر الفعال E.C d ₁₀
-	2.14	عامل عدم الانتظام U.C d ₆₀ /d ₁₀
-	0.6-4.76mm	مقاس الحبيبات

تشغيل المحطة التجريبية

تمت الدراسة بواسطة فلتر تجريبي مؤلف من:

- 1- أنبوب الترشيح (PVC) بطول (200 cm) وقطر (10 cm) مثبت على قاعدة معدنية مساحة مقطع الترشيح 0.00785 m².
- 2- مقياس ضغط بار مثبت في أعلى الأنبوب.
- 3- خزانين للمياه الداخلة إلى الفلتر والخارجة من الفلتر سعة كل منهما 50 ليتر.

4- مضخة مياه استطاعة نصف حصان وسكر عدم رجوع عند الخزانات وسكورة عادية للتحويل بين المياه المفلترة ومياه الغسيل العكسي.

5- أنابيب (BBR) قطر (25 mm) تستخدم كوصلات بين أنبوب الترشيح والخزانات. تم إجراء ثلاثة دورات ترشيح كان ارتفاع حشوة الترشيح 1 m تم استخدام الرمل المحلي كحشوة ترشيح ومعدلات ترشيح على التوالي $6-8-20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ، تم حساب

$$M = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} * 100$$

حيث أن: μ - مردود المعالجة %.

C_{in} - تركيز الملوثات الداخلة إلى الفلتر mg/l .

C_{out} - تركيز الملوثات الناتجة عن المعالجة mg/l .

مردود المياه المفلترة = كمية المياه المفلترة - كمية المياه المستهلكة خلال عملية

الغسيل

إن زمن دورات الترشيح تجريبي وهو من بين المعايير التي يتم تحديدها ضمن البحث من أجل اختيار دورة الترشيح الأمثل، يحدد زمن دورة الترشيح بعد إيقاف الفلتر وإجراء عملية الغسيل العكسي وذلك عند انسداد الفراغات بين حبيبات الرمل وانخفاض مردود الفلتر حيث ينصح باتباع الترتيب التالي عند عملية الغسيل العكسي للفلتر: لمدة دقيقة واحدة 6 l/sec.m^2 ولمدة 5 دقائق 3 l/sec.m^2 ولمدة دقيقتين 6 l/sec.m^2 [2].

أي أن غزارة الغسيل العكسي للفلتر (مساحة مقطعه تساوي 0.00785 m^2)

2.8 l/min لمدة دقيقة، & 1.4 l/min لمدة 5 دقائق، & 2.8 l/min لمدة دقيقتين.

تحليل نتائج البحث ومناقشتها

دورة الترشيح الأولى

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلتر مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة سلمية

يوضح الجدول (2) مواصفات ومردود المياه الناتجة عن الفلتر في دورة الترشيح الأولى حيث تم ضبط سكر التحكم بالمياه لتزويد الفلتر بتدفق قدره $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (3).

الجدول (2) مواصفات ومردود مياه فلتر دورة الترشيح الأولى

المردود L	مياه الغسيل العكسي L	كمية المياه المفلترة L	الزمن min	$Q_{in} = Q_{out}$		ارتفاع الحشوة m
				l/min	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$	
56.6	15.4	72	90	0.8	6	1

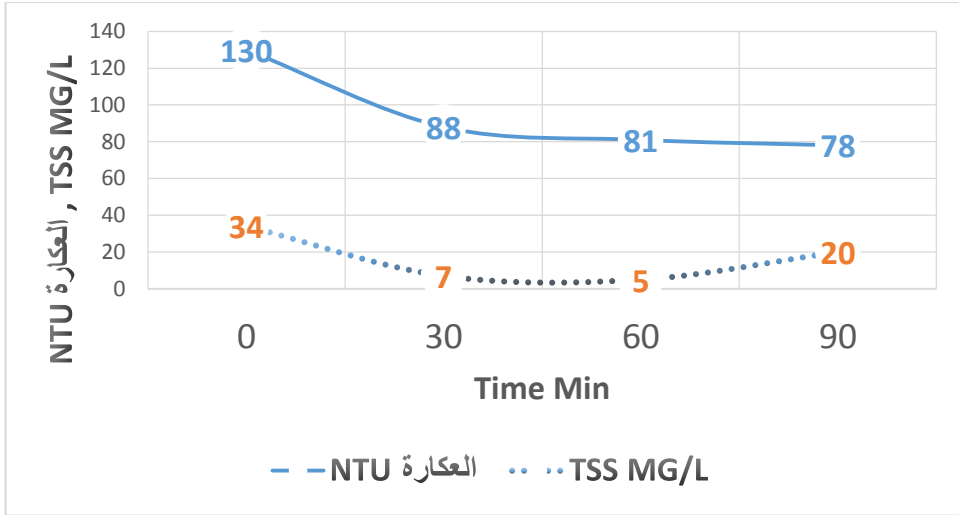
الجدول (3) نتائج تجارب دورة الترشيح الأولى عند معدل غزارة $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

TSS mg/l	العكارة NTU	رقم العينة
34	130	الدخل
7	88	1
5	81	2
20	78	3
10.6	82.3	متوسط الخرج
68.8	36.7	مردود المعالجة %

تم تسجيل الغزارة الخارجة من الفلتر كل نصف ساعة بالإضافة إلى أخذ عينة من المياه الخارجة من الفلتر لإجراء التحاليل المخبرية عليها في مخبر المحطة، تم إيقاف الفلتر بعد مرور ساعة ونصف من العمل لتغير مواصفات المياه الخارجة حيث بدت المياه الداخلة مقارنة إلى حد كبير المياه الخارجة من الفلتر، حيث كانت قيمة TSS قبل عملية الفلتر 34 mg/l وبعد تشغيل الفلتر انخفضت إلى 7 mg/l واستمرت عملية الفلتر حتى ارتفاع قيمتها لـ 20 mg/l ، وبالتالي انخفاض مردود المعالجة ولذلك تم إيقاف عمل الفلتر لإجراء عملية غسيل عكسي بعد ساعة ونصف من العمل، لم يتم

ملاحظة أي إشارة على مقياس الضغط لأن معدل الغزارة قليل وحشوة الترشيح ذات تدرج حبي كبير وذات مسامية مرتفعة نسبياً.

تم تمثيل نتائج دورة الترشيح الأولى بيانياً كما هو موضح في الشكل (5) حيث يبين العلاقة بين تغير تراكيز مؤشرات العكارة، TSS عبر الزمن.



الشكل (5) نتائج دورة الترشيح الأولى

دورة الترشيح الثانية

تم زيادة الغزارة لتصبح بمعدل $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ، تم تسجيل الغزارة الخارجة من الفلتر كل نصف ساعة بالإضافة إلى أخذ عينة من المياه الخارجة من الفلتر لإجراء التحاليل المخبرية عليها، تم إيقاف عملية الفلتر بعد مرور ساعتين من العمل، يوضح الجدول (4) مواصفات ومردود المياه الناتجة عن الفلتر في دورة الترشيح الثانية، وكانت النتائج وفق ما هو موضح في الجدول (5).

تم حساب كمية المياه المفلترة من خلال العلاقة:

كمية المياه المفلترة = متوسط المياه الخارجة من الفلتر $0.91/\text{min}$ (من الشكل 6) * الزمن

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلترية مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة سلمية

الجدول (4) مواصفات ومردود مياه فلترية دورة الترشيح الثانية

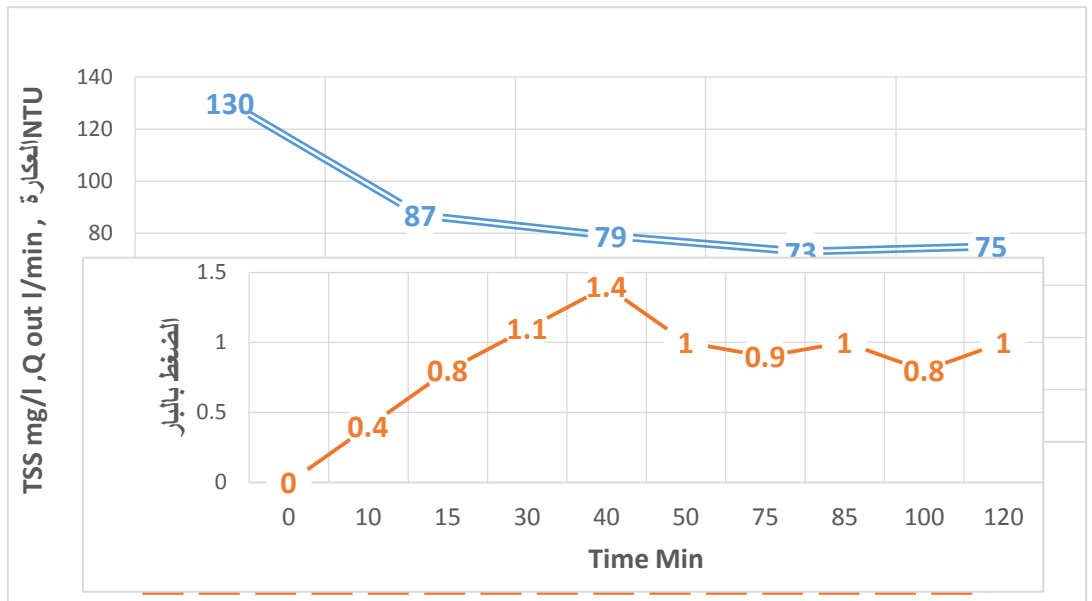
المردود I	كمية المياه المستهلكة خلال عملية الغسيل I	كمية المياه المفلترية I	الزمن min	Qin		ارتفاع الحشوة m
				l/min	m ³ /m ² .h	
92.6	15.4	108	120	1.1	8	1

الجدول (5) نتائج تجارب دورة الترشيح الثانية عند معدل غزارة 8m³/m².h

TSS mg/l	العكارة NTU	رقم العينة
34	130	الدخل
17	87	1
19	79	2
20	73	3
25	75	4
20.3	78.5	متوسط الخرج
40.29	39.62	مردود المعالجة %

في هذه الدورة لوحظ تأرجح قيم الضغط عند مرور الزمن وذلك لانقطاع التيار الكهربائي المتكرر أثناء عملية الفلترية، عند انقطاع التيار الكهربائي تأخذ المياه الموجودة في أنبوب الترشيح وضع الراحة بسبب توقف تدفق المياه خلال الفلتر مما يؤدي الى

انسياب المواد الصلبة العالقة لأسفل حشوة الترشيح، وجزء من هذه العوالق يرتص ويدخل ضمن الحشوة وتقل رطوبته مما يؤدي إلى زيادة مسامية الحشوة بشكل مؤقت وبالتالي بعد استمرار العمل بالمرشح أثناء عودة التيار الكهربائي يعود الفلتر إلى دورته الطبيعية، تم تمثيل نتائج دورة الترشيح الثانية بيانياً كما هو موضح في الشكل (6) حيث يبين العلاقة بين تغير تراكيز مؤشرات العكارة، TSS عبر الزمن، وفي الشكل (7) تم تمثيل تغيرات مؤشر الضغط مع الزمن في دورة الترشيح الثانية.



الشكل (6) نتائج دورة الترشيح الثانية

الشكل (7) قيم الضغط في دورة الترشيح الثانية

دورة الترشيح الثالثة

تم زيادة الغزارة لتصبح بمعدل $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ، تم تسجيل الغزارة الخارجة من الفلتر كل عشر دقائق بالإضافة إلى أخذ عينة من المياه الخارجة من الفلتر لإجراء التحاليل

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلترية مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة
سلمية

المخبرية عليها، يوضح الجدول (6) مواصفات ومردود المياه الناتجة عن الفلترية في دورة الترشيح الثانية، وكانت النتائج وفق ما هو موضح في الجدول (7).

الجدول (6) مواصفات ومردود مياه فلترية دورة الترشيح الثالثة

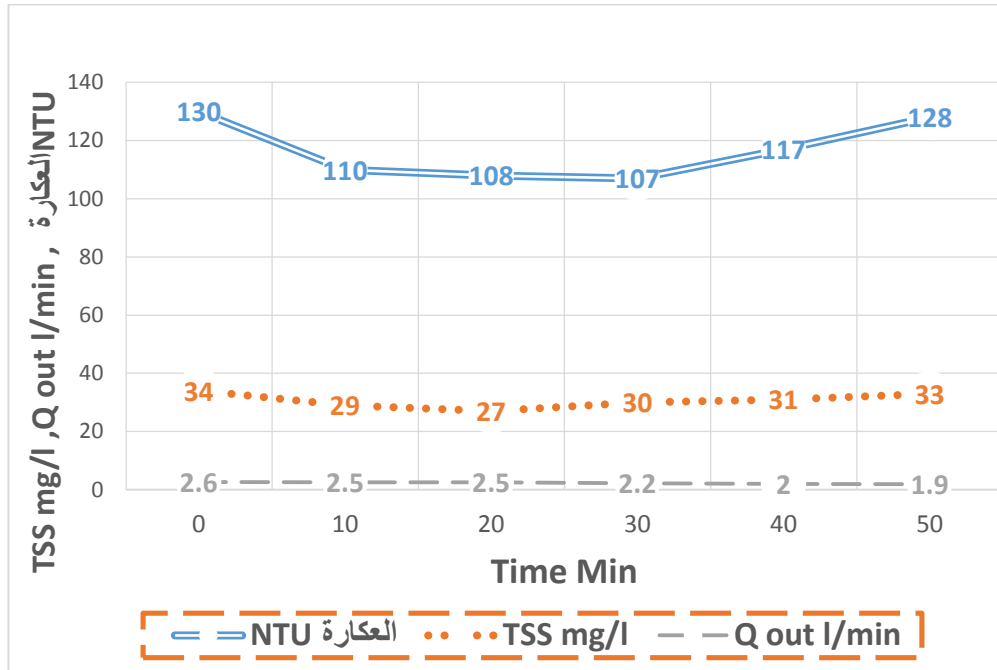
المردود I	كمية المياه المستهلكة خلال عملية الغسيل I	كمية المياه المفلترية I	الزمن min	Qin		ارتفاع الحشوة m
				l/min	m ³ /m ² .h	
95.6	15.4	111	50	2.6	20	1

الجدول (7) نتائج تجارب دورة الترشيح الثالثة عند معدل غزارة 20m³/m².h

TSS mg/l	العكارة NTU	رقم العينة
34	130	الدخل
29	110	1
27	108	2
30	107	3
31	117	4
33	128	5
30	114	متوسط الخرج
11.76	12.31	مردود المعالجة %

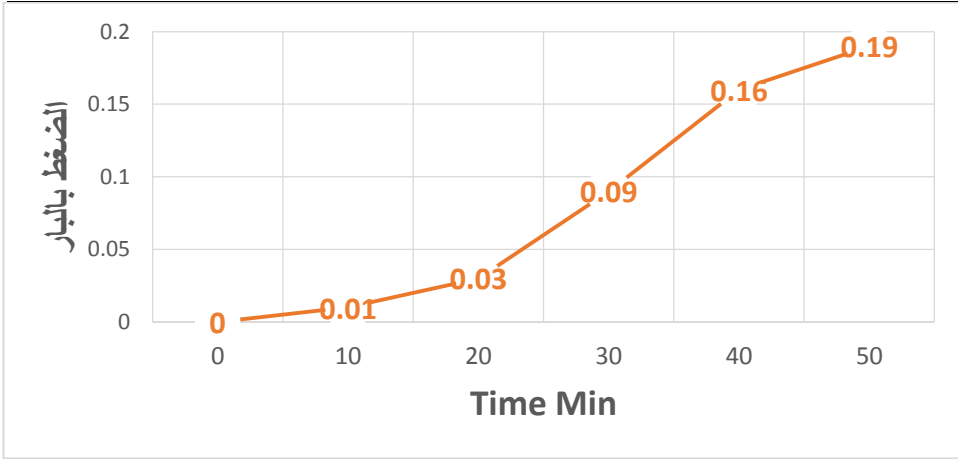
لوحظ تقارب كبير في قيم المؤشرات الداخلة والخارجة من الفلتر وذلك بسبب الخلطة الكبيرة لحبيبات الرمل وعدم قدرة المواد العالقة على الالتصاق بحبيبات الرمل، عند زيادة

الغزارة أكثر من استطاعة المرشح قد تكون النتائج سلبية ولا يمكن اعتماد النتائج، لذلك تم توقيف الفلتر بعد 50 دقيقة وإجراء عملية غسيل عكسي، تم تمثيل نتائج دورة الترشيح الثانية بيانياً كما هو موضح في الشكل (8) حيث يبين العلاقة بين تغير تراكيز مؤشرات العكارة، TSS عبر الزمن، وفي الشكل (9) تم تمثيل تغيرات مؤشر الضغط مع الزمن في دورة الترشيح الثانية.



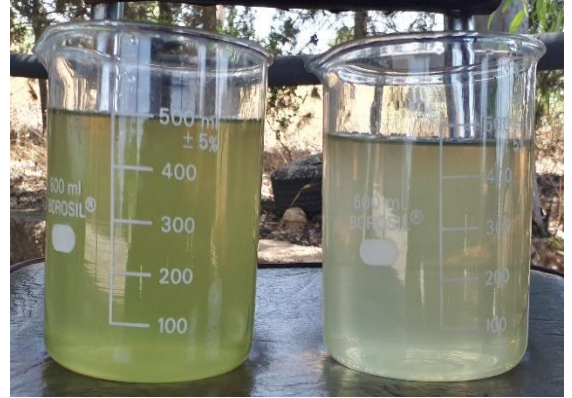
الشكل (8) نتائج دورة الترشيح الثالثة

دراسة كفاءة المرشحات الرملية السريعة لفلتره مياه الصرف الصحي الناتجة عن محطة معالجة
سلمية



الشكل (9) قيم الضغط في دورة الترشيح الثالثة

تم مقارنة مياه الصرف قبل وبعد عملية الفلتره موضحة في الشكل (10)، وفي الشكل (11) يوضح مياه الغسيل العكسي بعد خروجها من الفلتر حيث بدت محملة بالمواد الصلبة العالقة بين حبيبات الرمل.



الشكل (11) مياه الغسيل العكسي الخارجة من الفلتر

الشكل (10) مقارنة مياه الصرف قبل وبعد الفلتر

نتائج البحث والمقترحات والتوصيات

النتائج

✓ دلت النتائج أن كفاءة إزالة TSS باستخدام الرمل المحلي كحشوة ترشيح هي 11.76-40.29-68.8 % عند معدلات الترشيح $6-8-20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ على التوالي حيث يلعب معدل الترشيح مع ارتفاع الحشوة دوراً أساسياً في كفاءة المعالجة.

✓ مناسبة الرمل المحلي لترشيح مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً باستخدام برك الأكسدة الطبيعية في محطة معالجة مياه مجاري مدينة سلمية عند معدل الترشيح $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ في دورة الترشيح الأولى حيث كان مردود المعالجة بالنسبة لـ TSS: 68.8 %-العكارة: 36.7 % حيث أمكن الحصول على مياه راشحة تحقق المقاييس العربية السورية لجودة المياه لأغراض الري غير المقيد والأغراض الترفيهية م.ق.س. [1]2008/2752.

✓ استناداً إلى الخلاصة المرجعية تبين أن النتائج التي تم الحصول عليها ذات كفاءة ومردود أفضل مما توصل إليه الباحثين السابقين وهذا يعود إلى نوعية المعالجة ونوعية المياه التي قمنا بإجراء التجارب عليها ضمن مواصفات الفلتر وحشوة الترشيح الواردة في متن النص.

المقترحات والتوصيات

✓ استخدام مثل هذه المرشحات في فلترية مياه الصرف الصحي بعد المعالجات الثانوية من أجل تحسين مواصفات المياه قبل الاستخدام أو الرمي في الأحواض المائية.

✓ يمكن استخدام المياه المفلترية بالري للمحاصيل غير المقيدة بطرق الري الحديثة.

- ✓ يوصي البحث بدراسة أبحاث على نماذج فلاتر مختلفة ومتباينة حيث يمكن استخدام طبقة فلتر غير هذه الطبقة وبالتالي خصائص ومواصفات مختلفة للحشوة.
- ✓ يوصي البحث أيضاً بالتجريب على مرشحات بالجريان الحر تحت الضغط الجوي.
- ✓ من أجل أبحاث مستقبلية يمكن الأخذ بعين الاعتبار إزالة جزء من العوالق عن طريق معالجة كيميائية فيزيائية عن طريق الترسيب باستخدام الترويب قبل الفلتر.

References

- 1- الزعبي، حسين وآخرون. استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة. سوريا: منشورات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي-الهيئة العامة للبحوث العلمية والزراعية.
- 2- د.قشير، أحمد(2004).الإمداد بمياه الشرب.2. سوريا: منشورات جامعة تشرين.
- 3- HUISMAN, I 2004-Rapid filtration. Delft University of Technology, Holland, 198 P.
- 4- ZAHID, W 2003 - Tertiary Filtration of Wastewater Using Local Sand. *1. King Saud Univ.*, Vol. 16, *Eng. Sei.* (1), pp. 23-36, Riyadh (1424/2003)
- 5- Saud B. Al-Shammari. Quality Evaluation of Tertiary Treatment Effluent in Jahra Sewage Plant, Environmental Health Departments, College of Health Science, The Public Authority for Applied Education and Training, P.O. Box 14281, Faiha 72853, Kuwait, 2018.
- 6- M. Petalaa, V. Tsiridisa, P. Samarasb, A. Zouboulisc, G.P. Sakellaropoulosa. Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents:Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece,2006.
- 7- AI-JADHAI, I 2003 - Pilot-Plant Study of the Tertiary Filtration of Wastewater Using Local Sand. *J. King Salld Univ.*, Vo!. 16, *Ellg. Sei.* (1), pp. 83-96, Riyadh (1424/2003).
- 8- HAMODA, M, A1-Ghusain,I, AL-Mutairi,N 2004-Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse.

Department of Civil Engineering, Kuwait University,
Desalination 164 (2004) 203-211.

Determination The Depth Of Improvement Using Dynamic Compaction On Sandy Soils

-Abstract-

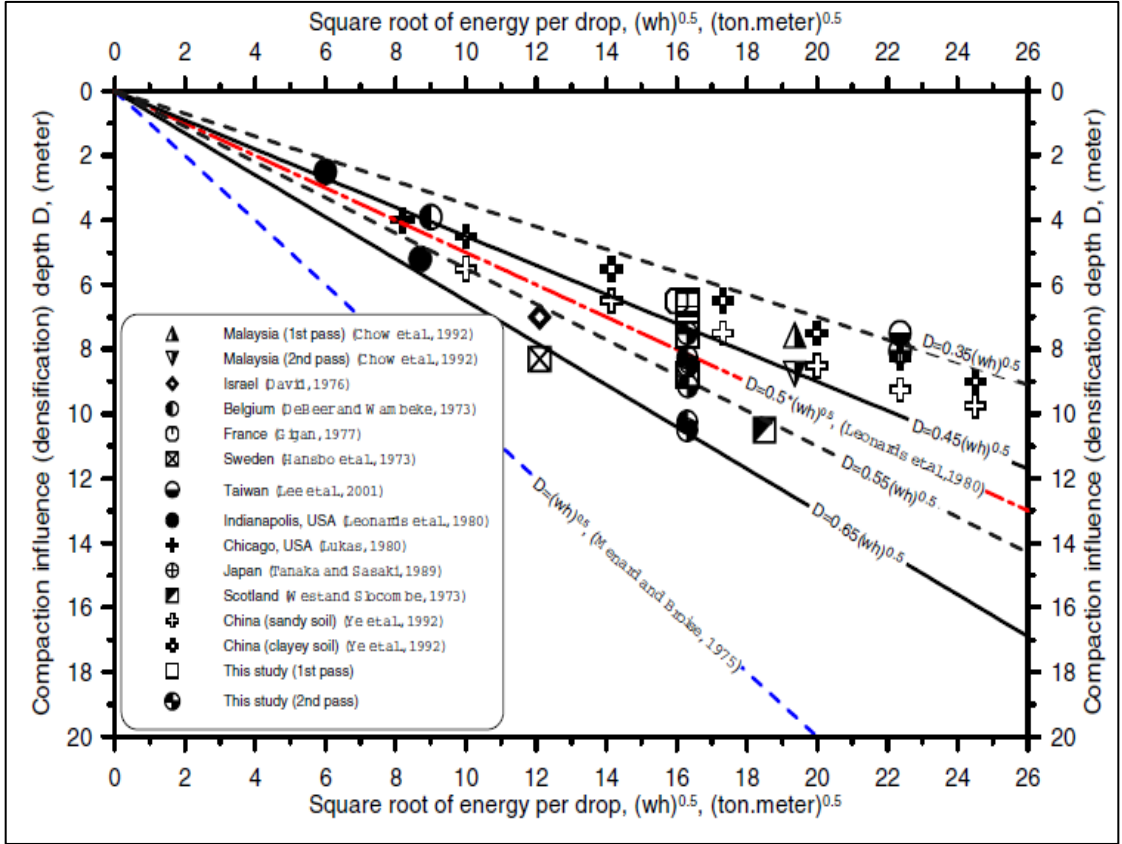
The dynamic compaction (DC) process by the method of falling weights is one of the most used techniques to improve sandy soils in particular, The problem of dynamic compaction is to determine its effectiveness before starting it on site to ensure the possibility of reaching the required level of compaction and depth of improvement using the only available compaction equipment.

In our research, we studied the dynamic compaction of dry sand soils numerically using the advanced calculation program by the finite element method ABAQUS, and we reached a numerical model that is relatively simple and effective at the same time with allows predicting the effectiveness of soil compaction of a specific site using specific compaction equipment and thus the optimal design of the dynamic compaction process.

Key words: Dynamic compaction, falling weight method, compaction efficiency, depth improvement, finite elements, ABAQUS.

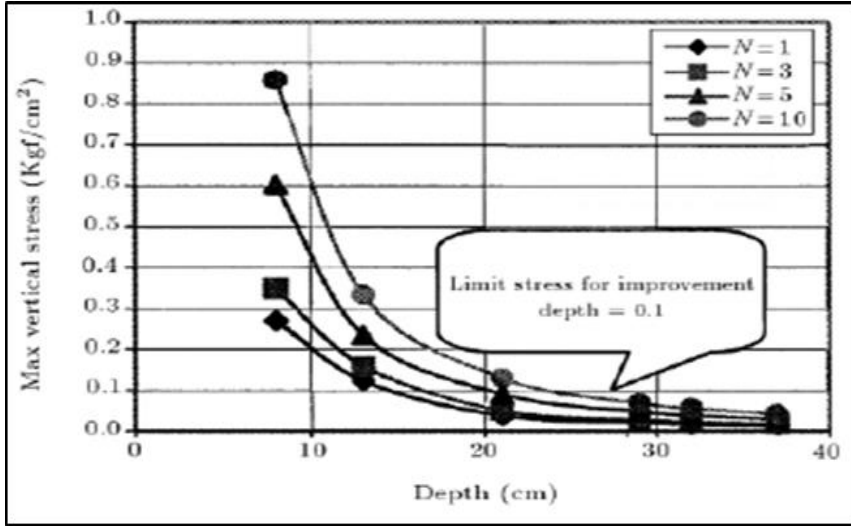
حيث: W كتلة الوزن الساقط مقدرة بـ ton، H ارتفاع السقوط مقدراً بـ m .

وجد الباحثون لاحقاً أن المعادلة السابقة تعطي قيمة أكبر من الواقع لعمق التحسين لذلك قاموا تعديلها بضربها بعامل ($n=0.3-0.8$) (n عامل تجريبي قيمته أقل من 1 يأخذ بالحسبان العوامل الأخرى المؤثرة في عمق التحسين غير الوزن الساقط وارتفاع السقوط)، من جهة أخرى، يبين الشكل (1) العلاقة بين الجذر التربيعي لطاقة الرص في الدقة الواحدة و بين العمق الفعال للتحسين [12].



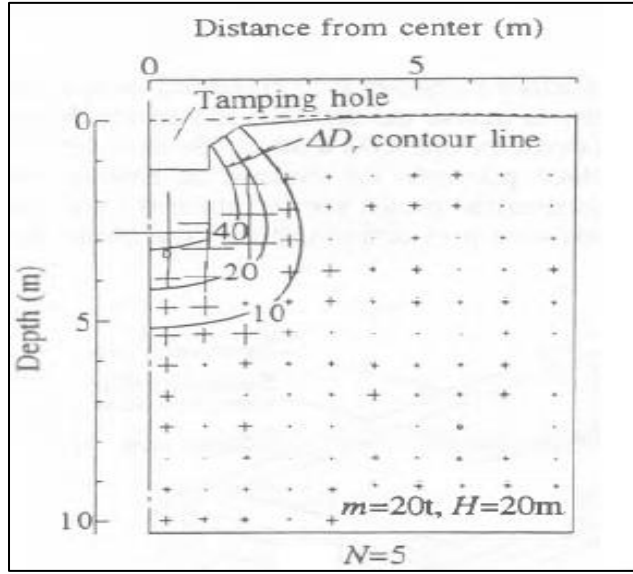
الشكل (1) العلاقة بين الجذر التربيعي لطاقة الرص في الدقة الواحدة و بين العمق الفعال للتحسين [12]

كما يمكن تحديد عمق التحسين D_{max} عن طريق تقدير طاقة الرص المتبددة مع العمق الشكل (2)، إن هذه الطاقة يمكن ربطها مع اجهاد الرص في كل نقطة حيث تم تسجيل سجل إجهاد-زمن على أعماق مختلفة ومن أجل دقائق مختلفة. ومن ثم حساب قيمة المطال وبالتالي تحديد عمق التحسين [6]



الشكل (2) تغير قيمة إجهاد الرص الشاقولي الأعظمي مع العمق [6]

وفي دراسة تجريبية هامة لتحديد فعالية الرص الديناميكي قام باحثون بتمثيل عملية الرص بطريقة الطرد المركزي [8]، حيث وجدوا أنه عند اسقاط وزن $w=20\text{ton}$ مساحة مسقطة 4.5m^2 من ارتفاع $H=20\text{m}$ (حيث تم تصحيح ارتفاع السقوط في تجربة الطرد المركزي لكي يكون له نفس السرعة كما في حقل جاذبية $1g$) على سطح التربة وذلك بعد خمس دقائق متتالية $N=5$ ، تزداد الكثافة النسبية بمقدار $10-20-40\%$ في الأعماق $5.2-4.2-3.2\text{m}$ على الترتيب كما هو موضح في الشكل (3)

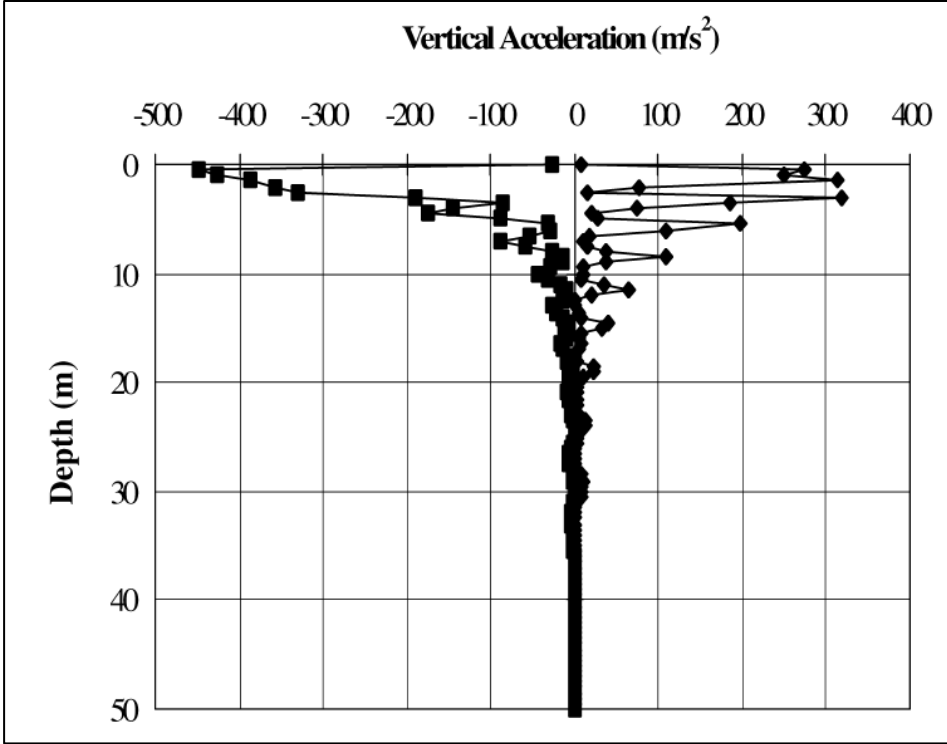


الشكل (3) خطوط الكنتور لتزايد الكثافة النسبية [8]

وقد أوصى الباحثون في هذه الدراسة إلى أن عمق الرص هو العمق الذي تزداد فيه الكثافة النسبية للتربة المدروسة بمقدار 10% [8].

إن الطرق العددية تعتبر من أفضل الطرق لدراسة وتحليل عملية الرص الديناميكي بشكل دقيق و تفيد في التنبؤ بفعاليتها قبل البدء بتنفيذه حقلياً.

من أجل تقدير عمق التحسين بالطرق العددية فقد اقترح بعض الباحثين أن عمق التحسين بالرص هو العمق الذي يكون فيه التسارع الجزيئي الأعظمي مساوياً 2g كما هو موضح في الشكل (4) [9].

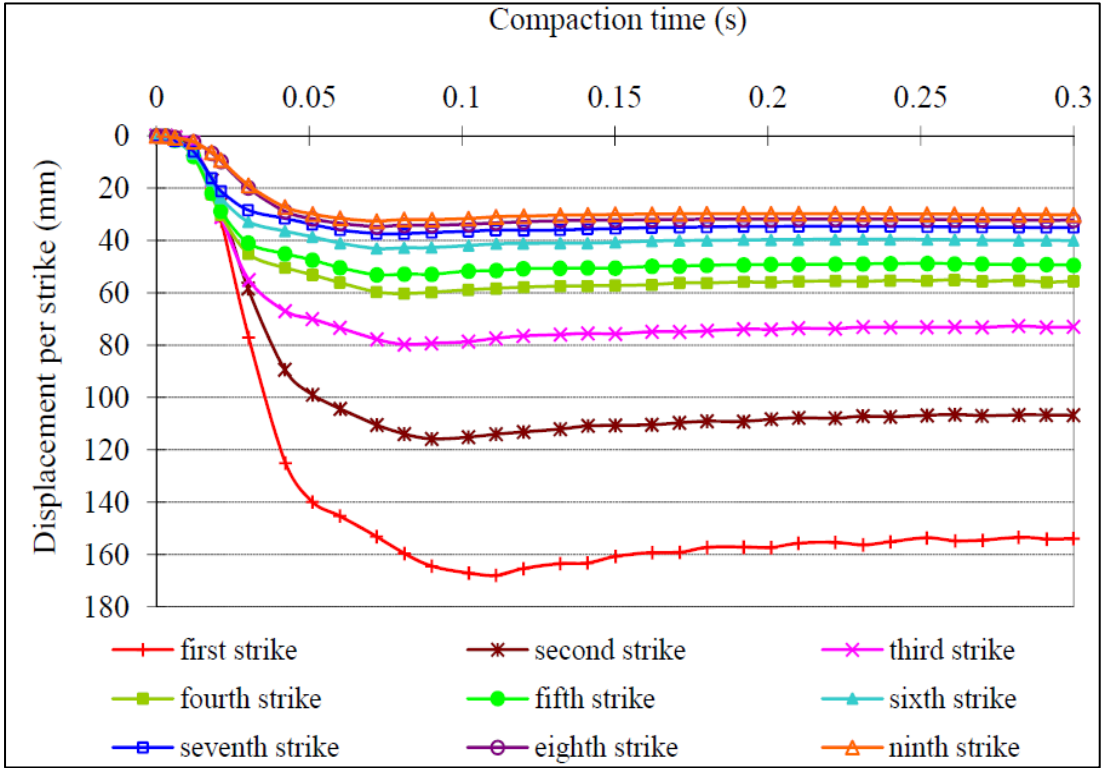


الشكل (4) التسارع الجزيئي الأعظمي مع العمق في مركز الوزن الساقط [9]

تجدر الإشارة إلى أن الباحثين في هذه الدراسة يفضلون استخدام معيار Mohr Coulomb بدلاً من معيار Drucker–Page، (يفترض معيار Mohr Coulomb بالمقارنة مع Drucker Page أن الانهيار (Failure) مستقل عن قيمة الإجهاد الرئيسي الوسطي (Intermediate Principal Stress) ، والذي يعتبر مناسباً لمعظم التطبيقات على الرغم من أن معظم المواد الجيوتكنيكية تتمتع بدرجة معينة من الاعتماد على الإجهاد الرئيسي الوسطي.) [9]

وفي دراسة عديدة أخرى أجريت على تأثير الرص الديناميكي في ردمية ترابية خواصها $E=22.9\text{MPa}$, $\rho=28.2\text{o}$, $\nu=0.30$, $c=5\text{KPa}$, $\rho=1800\text{Kg/m}^3$ وتطبيق تسع دقائق وجد أن الهبوط الناتج عن عملية الرص يكتمل بعد 1sec ويصل إلى قيمة ثابتة عند 0.25sec [10]، يوضح الشكل (5) تغير الانتقال الشاقولي مع الزمن الناتج عن

رص التربة بعدة دقائق متتالية حيث نلاحظ إن الدقة الأولى تنتج انتقالاً شاقولياً (هبوطاً) أعظماً مقداره 168mm عند 0.09sec وتصل لقيمة ثابتة 156mm عند 0.25sec حيث تقل القيمة بمقدار 12mm والتي هي أقل بكثير من القيمة النهائية 156. كما وجد أن الهبوطات تنتج بشكل أساسي عن الدقات الثلاث الأولى، وذلك مقارنة بالدقات (4-9). سنستفيد من هذه الدراسة أنه عند نمذجة الرص الديناميكي عددياً يمكن الاكتفاء بثلاث دقائق متتالية لأن زيادة الهبوط تصبح صغيرة جداً ويمكن إهمالها، كما يمكن اعتبار الزمن الفاصل بين كل دقتين متتاليتين [1-0.25]sec .



الشكل (5) منحنيات تغير الانتقال الشاقولي مع الزمن الناتجة عن رص التربة بعدة دقائق متتالية [10]

العددي لإجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على فعالية الرص الديناميكي للترب الرملية والتي تتضمن كل من كتلة الوزن الساقط وقطره وارتفاع السقوط

الموديل العددي:

تمت النمذجة باعتبار حالة التناظر الدوراني بالنسبة للمحور الشاقولي المار من مركز ثقل الوزن الساقط على سطح التربة حيث تعتبر التربة جسماً مرناً-لدناً يخضع لتشوهات كبيرة وتسلق سلوك مور-كولومب Mohr-Coulomb الذي يعبر عنه ببارامترات التربة تماسك التربة c ، زاوية الاحتكاك الداخلي ρ ، معامل المرونة E ، معامل بواسون ν وتخامد التربة لزج نوع ريليه يعبر عنه بنسبة التخامد ξ .

يتم صدم جسم التربة بوزن ساقط هو عبارة عن كتلة بيتونية كتلتها (W) مقدرة بالطن ذات مقطع دائري نصف قطرها r_0 تسقط من ارتفاع (H) يعتمد الموديل العددي على نمذجة قوة الرص والتربة عن طريق برنامج ABAQUS.

نمذجة قوة الرص:

إن الدراسة العددية للرص الديناميكي للتربة بطريقة الوزن الساقط تستلزم أولاً نمذجة قوة الرص المطبقة على سطح التربة، والتي تعرف بأنها القوة الديناميكية المطبقة في نقطة الرص الناتجة من سقوط البلاطة على سطح الأرض. وجد نتيجة قياسات حقلية متعددة أن الحمولة الديناميكية الناتجة عن سقوط الوزن على سطح التربة المراد رصها يمكن تمثيلها بتابع تحميل (قوة-زمن) بشكل نصف موجة جيبيية متخامدة (Damped Half Sine Wave) تؤثر خلال زمن قصير جداً (حوالي 0.05sec) [10] حيث وجد أنها تعطي قيماً قريبة من البيانات الحقلية المتوفرة من عمليات الرص الديناميكي كما هو موضح الشكل (6)، عند تمثيل عدة دقائق متتالية تم اختيار الدقة الواحدة بشكل موجة نصف جيبيية متخامدة تؤثر في جسم التربة المدروس بزمن قدره 0.05sec ويحيث يكون الزمن الفاصل بين كل دقتين متتاليتين 0.25sec وهي فترة زمنية كافية للتربة بأن يستقر فيها الهبوط [10].

اعتماداً على ما تقدم قمنا في دراستنا بتمثيل قوة الرص الديناميكي بمخطط (قوة - زمن) بشكل نصف موجة جيبيية تؤثر خلال زمن قصير يساوي 0.05sec ومطالها محسوب من العلاقة (3) كما هو موضح في الشكل (6).

التقسيم بطريقة العناصر المنتهية

إن التقسيم بطريقة العناصر المنتهية للعلاقات التي تحل مسألة التأثير المتبادل بين التربة والوزن الساقط يقود إلى جملة المعادلات الآتية:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (4)$$

حيث:

[M] , [C] , [K] , مصفوفة الكتلة، التخماد، الصلابة على الترتيب.

{F}: شعاع القوى الخارجية المؤثرة على شبكة العناصر المنتهية .

{u}, {u'}, {u''}: أشعة الانتقال والسرعة والتسارع في نقاط الشبكة .

يؤخذ تخامد التربة بعين الاعتبار باستخدام صيغة التخماد اللزج لريليه

(Rayleigh Viscous Damping) والتي يتم فيها تشكيل مصفوفة التخماد [c] بشكل

مركب من كل مصفوفة الصلابة [K] والكتلة [M] وفق الصيغة الآتية [4]:

$$[C] = a_M [M] + a_k [k] \quad (5)$$

حيث: a_M, a_k : عوامل تعتمد على خواص تخامد المادة .

يقود تركيب مصفوفة التخماد بهذا الشكل إلى تمثيل التخماد بنسبة التخماد ξ

(Damping Ratio) والتي هي مجموع حدين، الأول يتناسب طردياً مع التواتر

الزاوي (Angular Frequency) ω وللتهزاز ω والثاني يتناسب عكساً معه حسب العلاقة:

معييار التقسيم الزمني

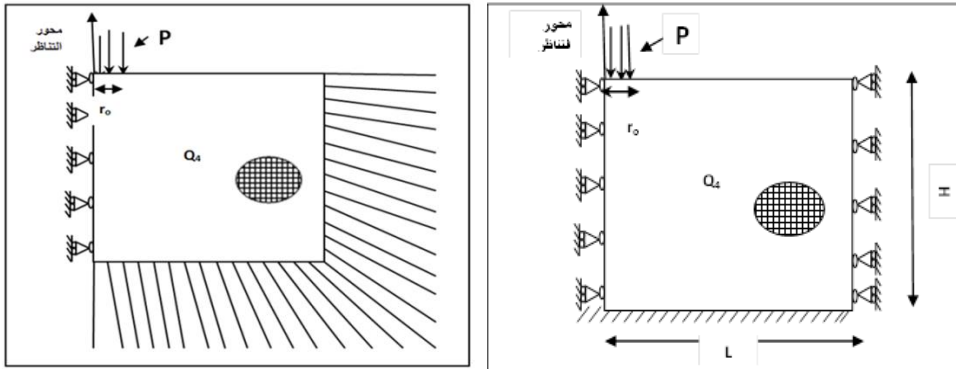
يجب اختيار الخطوة الزمنية للحساب Δt بعناية من أجل ضمان دقة الحل. أعطى [13] العلاقة العملية الآتية لحساب Δt :

$$\frac{\Delta x}{C_p} \frac{1}{10} \leq \Delta t \leq \frac{\Delta x}{C_p} \quad (8)$$

C_p : تمثل سرعة انتشار الموجة الأسرع (موجة الضغط P).

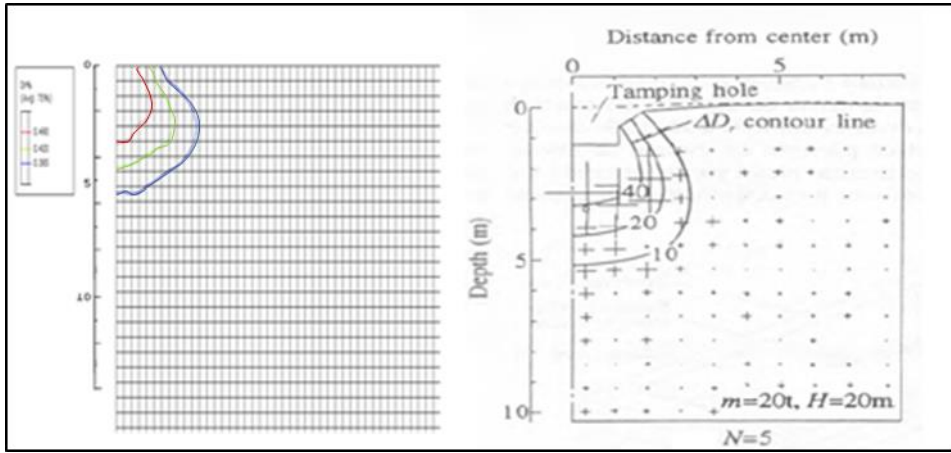
الشروط المستخدمة:

تم الحساب باعتبار سلوك التربة مرن لدن يتبع قانون سلوك مور- كولومب مع تخامد لزج نوع ريليه وتم تقسيم التربة في الموديل لشبكة من العناصر المنتهية الرباعية المتناظرة Q4. باعتبار أن الأمواج الناتجة عن عملية الرص والمنتشرة في التربة من أنواع مختلفة وذات أطوال مختلفة فلتجنب تداخل الأمواج المعتبرة تم استخدام العناصر غير المنتهية لتفادي تداخل الأمواج المنعكسة على حدود الموديل مع الأمواج المنتشرة ضمن النافذة الزمنية للحساب، وتم الحساب باعتبار حالة التناظر الدوراني حول المحور الشاقولي المار من مركز الوزن الساقط .



الشكل (7) الموديل العددي المستخدم

حيث قمنا بأخذ كتلة من التربة ذات مواصفات مماثلة لمواصفات التربة الرملية المذكورة في الدراسة المرجعية ومعرضة لنفس قوة الصدم، وباعتبار أن مخرجات البرنامج لا توفر قيم الكثافة النسبية، قمنا باستنتاج خطوط الكنتور الممثلة لزيادة الكثافة النسبية بمقدار % 10-20-40 تحت تأثير الوزن الساقط لمعايرة النتائج العددية مع تلك التي حصلنا عليها من الدراسة المرجعية.



(b) الطريقة العددية

(a) الطريقة التجريبية

الشكل (8) مقارنة بين فعالية الرص الديناميكي بالطريقة التجريبية و العددية.

نلاحظ وجود تقارب جيد جداً ما بين النتائج العددية باستخدام برنامج ABAQUS والنتائج التي تم الحصول عليها بالدراسة المرجعية. حيث أن الكثافة النسبية تزداد بمقدار % 10-20-40 عند الأعماق m (3.2-4.2-5.2) على المحور الشاقولي المار من محور الوزن الساقط حسب [8] بينما حسب الدراسة العددية المقترحة فتكون هذه الزيادة عند الأعماق m (3.3-4.2-5.4) على الترتيب.

كما نلاحظ وجود تقارب بين الدراسة التجريبية والعددية للمنطقة المرتصة حيث أن التحسين الجانبي حسب البحث المرجعي 2.9m في حين بلغ في الدراسة العددية المقترحة 3m.

النتائج ومناقشتها:

بعد تحقيق الموديل العددي قمنا بدراسة تأثير خواص التربة الرملية وبارامترات الوزن الساقط على فعالية الرص الديناميكي متمثلة بعمق التحسين، وفيما يلي أهم النتائج التي توصلنا إليها:

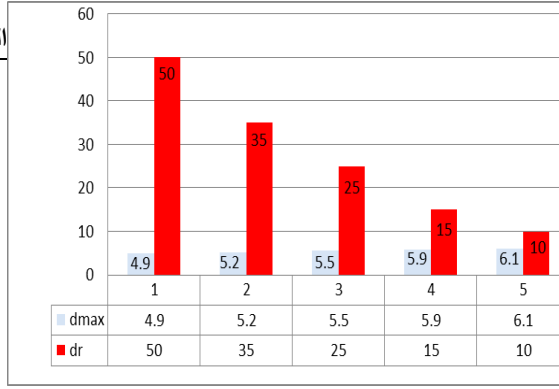
أولاً-تأثير خواص التربة على فعالية الرص:

يمكن ربط خواص الترب الرملية كافة بمفهوم الكثافة النسبية لها حيث يمكن استنتاج خواص التربة الرملية المختلفة (E, G, ν, ϕ, γ) انطلاقاً من معرفة قيمة الكثافة النسبية D_r وذلك باستخدام جملة المعادلات الآتية [2]:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{60000Dr}{100} [KN / m^2] \\
 G &= 60000 + \frac{68000Dr}{100} [KN / m^2] \\
 \gamma &= 15 + \frac{4Dr}{100} [KN / m^3] \\
 \phi &= 28 + \frac{12.5Dr}{100} [^\circ] \\
 \psi &= -2 + \frac{12.5Dr}{100} [^\circ]
 \end{aligned} \tag{9}$$

من أجل دراسة تأثير تغير الكثافة النسبية للتربة الرملية على عمق تحسينها قمنا بإجراء الحساب العددي من أجل خمس حالات للترب الرملية: المخلخلة جداً، المخلخلة، متوسطة الارتصاص (% $D_{r0}=10-15-25-35-50$) من أجل $w=20\text{ton}, H=20\text{m}$.
 دراسة العلاقة بين تغير عمق التحسين مع تغير الكثافة النسبية الأولية للتربة الرملية المدروسة، نجد أنه بزيادة الكثافة النسبية الأولية للتربة D_{r0} يقل عمق التحسين .

يبين الشكل (9) العلاقة بين الكثافة النسبية للتربة الرملية وعمق التحسين بالرص الديناميكي لها.



الشكل (9) العلاقة بين زيادة الكثافة النسبية و عمق التحسين بالرص الديناميكي لها.

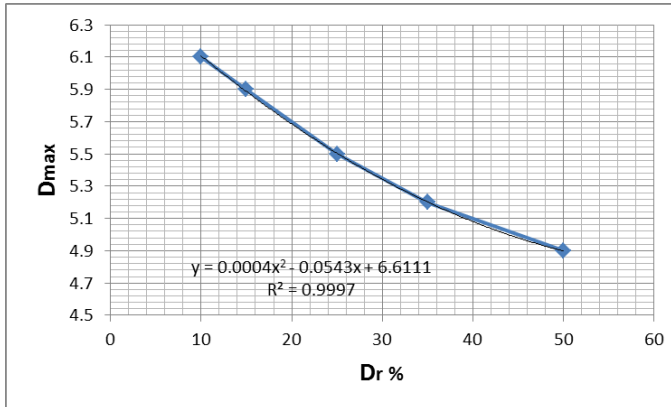
نلاحظ من الشكل أنه من أجل تربة ذات كثافة نسبية أولية 50% كان عمق التحسين الأعظمي 4.9m أما من أجل كثافة نسبية أولية 10% يكون عمق التحسين الأعظمي الناتج 6.1m .

أي أنه من أجل نفس معدات الرص المستخدمة وارتفاع السقوط يتناقص عمق التحسين الناتج مع زيادة الكثافة النسبية الأولية للتربة بسبب قلة الفراغات الموجودة في التربة.

يمكن القول إن عمق التحسين للترب المخلطة يكون أكبر منه للترب متوسطة الارتصاص. كما نجد أن الرص الديناميكي فعال حتى للترب المتوسطة الارتصاص $D_r=50\%$ حيث نصل إلى عمق تحسين فعال يساوي 4.9m تحت الوزن الساقط.

يمثل الشكل (10) العلاقة بين الكثافة النسبية D_r للتربة بعد عملية الرص وعمق

التحسين الناتج .



الشكل (10) العلاقة بين زيادة الكثافة النسبية و عمق التحسين.

نلاحظ من الشكل أنه كلما زادت الكثافة النسبية الأولية للتربة الرملية (زيادة ارتصاص التربة) يقل عمق التحسين الناتج، كما أن شكل العلاقة بينهما كثير حدود.

ثانياً-تأثير كتلة الوزن الساقط وارتفاع السقوط على فعالية الرص:

من أجل دراسة تأثير كل من كتلة الوزن الساقط W وارتفاع السقوط H على عمق التحسين بالرص الديناميكي قمنا بحساب عمق التحسين المتوقع لكل نوع من الترب حسب كثافته النسبية الأولية D_{r0} ، مع تغيير قيم كل من كتلة الوزن الساقط وارتفاع السقوط.

يوضح الجدول (1) الحالات المدروسة من أجل مختلف حالات الكثافة النسبية للتربة الرملية:

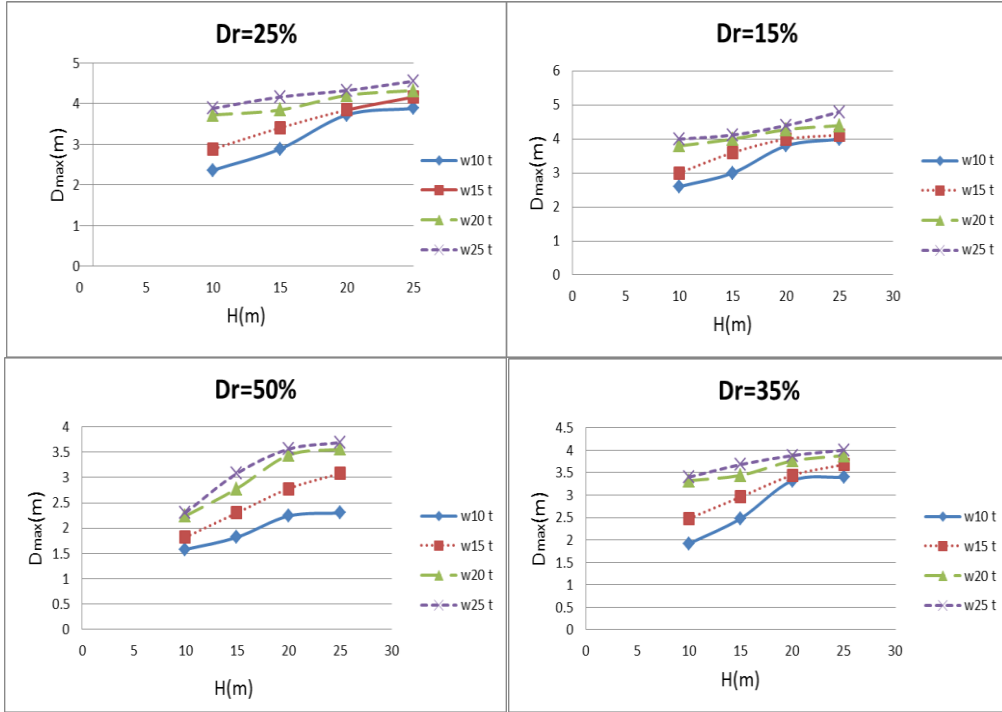
W(t)	10				15				20				25			
H(m)	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25

الجدول (1) كتل الوزن الساقط وارتفاع السقوط المدروسين في الدراسة البارامترية

تم حساب عمق التحسين من أجل كتلة ثابتة W وتغيير ارتفاع السقوط من أجل أربعة قيم مختلفة كما هو موضح في الجدول (1)، وذلك من أجل ثلاث حالات مختلفة للتربة الرملية:

- تربة رملية مخلخلة جداً
- تربة رملية مخلخلة
- تربة رملية متوسطة الارتصاص

يبين الشكل (11) تغيير عمق التحسين الناتج عن عملية الرص الديناميكي مع تغيير كل من W, H .



الشكل (11) تأثير كل من ارتفاع السقوط وكتلة الوزن الساقط على عمق التحسين بالرص الديناميكي وذلك من أجل قيم مختلفة للكثافة النسبية الأولية للتربة الرملية.

نلاحظ أن شكل العلاقة بين كل من ارتفاع السقوط وكتلة الوزن الساقط مع عمق التحسين هي (كثير حدود)، وإن الزيادة في كتلة الوزن الساقط من أجل نفس ارتفاع السقوط تملك تأثيراً كبيراً على عمق التحسين، وخاصة عندما يكون ارتفاع السقوط كبيراً.

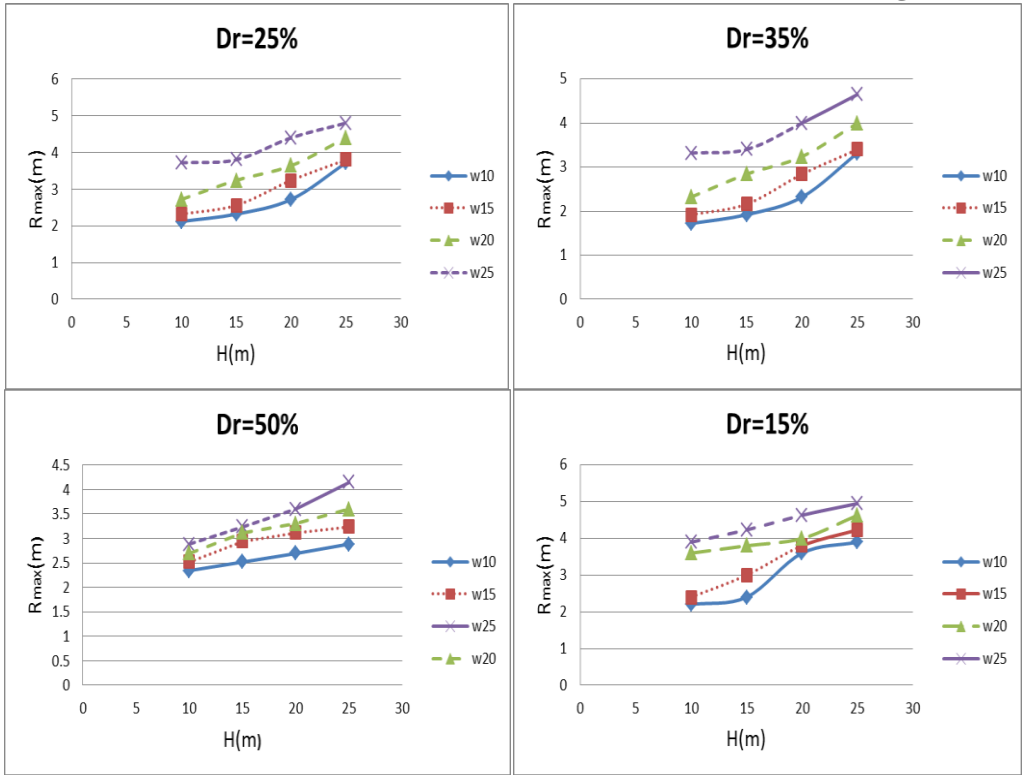
كما أن زيادة ارتفاع السقوط تسبب زيادة في عمق التحسين ويعود ذلك إلى زيادة طاقة الرص المطبقة والمتعلقة بجداء كتلة الوزن الساقط بارتفاع السقوط.

ثالثاً-تأثير كتلة الوزن الساقط وارتفاع السقوط على التحسين الجانبي:

من أجل دراسة تأثير كل من كتلة الوزن الساقط W وارتفاع السقوط H على التحسين الجانبي R_{max} بالرص الديناميكي قمنا بحساب التحسين الجانبي المتوقع لكل نوع من

الترب حسب كثافته النسبية الأولية D_{r0} ، مع تغيير قيم كل من كتلة الوزن الساقط وارتفاع السقوط.

يبين الشكل (12) تغير التحسين الجانبي الناتج عن عملية الرص الديناميكي مع تغير كل من W, H .



الشكل (12) تأثير كل من ارتفاع السقوط وكتلة الوزن الساقط على التحسين الجانبي بالرص الديناميكي وذلك من أجل قيم مختلفة للكثافة النسبية الأولية للتربة الرملية.

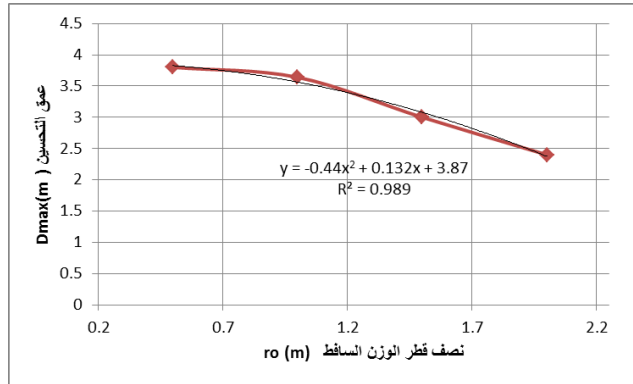
نلاحظ أيضاً بشكل مماثل للحالة السابقة أن شكل العلاقة بين كل من ارتفاع السقوط وكتلة الوزن الساقط مع التحسين الجانبي هي (كثير حدود)، وإن الزيادة في كتلة الوزن الساقط من أجل نفس ارتفاع السقوط تملك تأثيراً كبيراً على التحسين الجانبي، وخاصة عندما يكون ارتفاع السقوط كبيراً.

كما نجد أيضاً أن زيادة ارتفاع السقوط تسبب زيادة في التحسين الجانبي ويعود ذلك إلى زيادة طاقة الرص المطبقة والمتعلقة بجداء كتلة الوزن الساقط بارتفاع السقوط.

رابعاً-تأثير نصف قطر الوزن الساقط r_0 على فعالية الرص الديناميكي:

من أجل دراسة تأثير نصف قطر الوزن الساقط أجرينا الحساب العددي من أجل تربة ذات كثافة نسبية أولية $Dr=25\%$ وكتلة الوزن الساقط $w=20\text{ton}$ يسقط من ارتفاع $H=20\text{m}$. وتم حساب قيمة الإجهاد الناتج عن عملية الصدم مع زيادة نصف القطر وذلك من أجل قيم لنصف قطر الوزن الساقط $(r_0=0.5-1-1.5-2\text{m})$.

يبين الشكل (13) تغيير عمق التحسين مع تغيير نصف قطر الوزن الساقط حيث تم حساب قيمة الإجهاد الناتج عن عملية الصدم مع زيادة نصف القطر،



الشكل (13) تأثير نصف قطر الوزن الساقط على عمق التحسين مع تغيير قيمة الإجهاد الديناميكي.

نجد من الشكل تناقص عمق التحسين بزيادة نصف القطر. إن الوزن الساقط ذا نصف القطر الكبير، يقوم بتوزيع قوة الرص على مساحة أكبر، مما يقلل بشكل فعال من إجهاد الرص ويحد من عمق التحسين.

Reference:

- 1- Bowels, J.E 1983 *Foundation Analysis and Design*, 4th Edition, McGraw Hill, PP 278.
- 2- Brinkgreve, R. B. J., Harun Kürşat Engin.2010 *Validation of empirical formulas to derive model parameters for sands* Conference Paper
- 3- Chow, y Yong, D Yong, K & Lee, S 1994 *Dynamic Compaction OF Loose Granular Soils: Effect of Print Spacing* Journal of geotechnical Engineering ,Vol .120 . 1115-1133
- 4- Ehade, F and Shahrour, I 2004 *Analysis of clasclly twin tunneles in urban area* Acted u colloque international de Geotechnique Beyrouth, pp.221-226.
- 5- Gupta, N 1983 *Response Of Buried Piplines To Surface Impact Loads* Department Of civil Engineering, NC State University PP 1-4.
- 6- Jafarzadeh ,F 2006 *Dynamic Compaction Method in Physical Model Tests* Scientia Iranica, Sharif University of Technology, Vol. 13. 187-192
- 7- Massarsch, K. R 1993 *Man-made Vibrations and Solutions, State-of-the-Art Lecture*, Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Vol. 2. 1393 - 1405.
- 8- Oshima, A and Takada, N 1997 *Relation between compacted area and ram momentum by heavy tamping* Proc., 14th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3. 1641–1644.
- 9- Pan, j & Selby, A 2002 *Simulation of Dynamic Compaction of Loose Granular Soils* University of Durham ,vol. 33.631-640.
- 10- Ping, X 2012 *In-situ Tests and Three-dimensional FEM Analysis of Dynamic Compaction Effects of High Filled Embankment* EJGE, Vol. 17 . 3233- 3244.
- 11- SCOTT, B JAKSA, M and MITCHELL, P 2019 *Ground response to rolling dynamic compaction* Geotechnique letters , pp99-105.

- 12- Leonards, G. A Cutter, W. A and Holtz, R. D 1980 *Dynamic compaction of granular soils* Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol.106. 35-44.
- 13- Mayne,PW 1985 *Ground Vibrations During Dynamic Compaction* ASCE Soil Dynamics Committee Convention, 247-65.
- 14- Menard, L and Broise, Y 1975 *Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation* Geotechnique, Vol. 25. 3-17.

تأثير الفتحات على سلوك الجوائز العميقة البسيطة من الخرسانة المسلحة

طالبة ماجستير: جمانة ضياء النجم

في قسم الانشائي - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

بإشراف الدكتورة المهندسة: ميرنا سعود

الملخص:

يتضمن هذا البحث دراسة تحليلية للجوائز البيتونية المسلحة باستخدام طريقة العناصر المحدودة وبرنامج (14.Abaqus6)، حيث يتم وضع الفتحات بشكل متناظر ضمن الجوائز البيتونية المجربة بسيطة الاستناد ذات مقطع مستطيل ومن دون تسليح إضافي في منطقة الفتحة، الفتحة مربعة الشكل وذات أماكن توضع مختلفة ضمن الجوائز.

تضمنت المعلمات الأساسية في هذه الدراسة حجم الفتحة وأماكن توضع الفتحات ضمن الجوائز وتأثير تغيير العمق وتغيير طول المجاز الفعال وتغيير نسبة مجاز القص الى العمق بالإضافة الى تغيير نوع الفتحة.

تم توصل الى إن زيادة حجم الفتحة من (200*200) mm الى (250*250) mm الى تقليل متوسط مقاومة القص بحوالي 39% بالإضافة الى ذلك إن قدرة تحمل الحمولة تكون اقل عندما تكون في منتصف مجاز القص قد يكون السبب هو أن الحد الأقصى لاعتراض مسار الحمل يحدث عندما يتم توفير الفتحات في مركز مجاز القص. لذلك، نستنتج أن الجوائز التي لها فتحات في وسط مجاز القص قد تكون أقل تفضيلاً.

الكلمات المفتاحية: الجوائز العميقة، سلوك الجوائز العميقة، الفتحات، Abaqus.

The Influence of Openings On The Behaviour Of The Simple Deep Beam Of The Reinforced Concrete

Abstract:

This research includes an analytical study of the reinforced concrete beams using the finite element method and (Abaqus6.14) program, where the openings are symmetrically placed within the concrete beams. The tried-and-tested concrete beams are simple with a rectangular section and without additional reinforcement in the opening area. The opening is square in shape and has different places within the permissible.

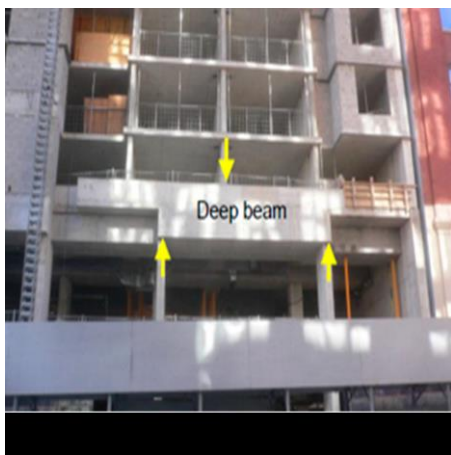
The main parameters in this study included the size and locations of the openings to be placed within the permissible, the effect of changing the depth, the effective span length, and the ratio of the shear to the depth, in addition to changing the type of opening.

We found that increasing the opening size from (200 * 200) mm to (250 * 250) mm reduces the average shear strength by about 39%. In addition, the load bearing capacity is less when it is in the middle of the shear path. The reason may be that the limit Maximum load path interception occurs when openings are provided in the centre of the shear. Therefore, we conclude that beams with openings in the centre of the shear may be less favourable.

Key words: Deep beams, Deep beams Behaviour, Openings, Abaqus

1-مقدمة البحث:

الجوائز العميقة من الخرسانة المسلحة (RC) هي أكثر العناصر الهيكلية شيوعاً في البناء الحديث ، خاصة في المباني الشاهقة. تستخدم بشكل شائع كعناصر توزيع حمولة ، مثل عوارض النقل في المباني الشاهقة ، وأغطية منحنية في الجسور وأغطية الركائز في الأساسات.....الخ [1،2].



الشكل (1): جائز عميق في مبنى متعدد الطوابق. [2]

الشكل (2): مجموعة طوابق محمولة على جائز عميق ظفري. [3]



الشكل (3): نقل العوارض في الجسور .

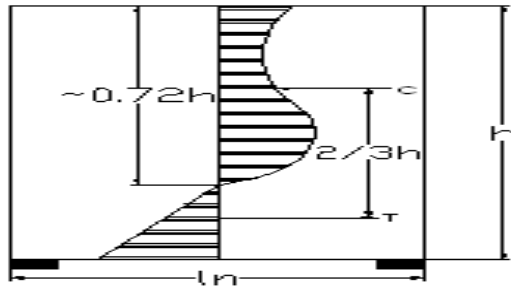
يعتبر الجائز العميق ظاهرة معقدة، حيث تم إجراء العديد من الأبحاث التجريبية سابقاً، لكن سلوكه الإنشائي لا يزال غير موثوق به، استنتج معظم الباحثين أن الفشل يتأثر

بشكل كبير بقدرته على القص، وبالتالي، فإن سلوك القص هو أحد العوامل الرئيسية في تحليل السلوك الهيكلي للجوائز العميق [4].



الشكل (4): انهيار جسر لافال بسبب فشل القص [5].

عندما تقل النسبة L/h عن 5 نجد أن افتراض السلوك الخطي يصبح غير دقيق، ولا يمثل السلوك الفعلي للجوائز، وتتحرف الإجهادات في المقاطع عن التوزيع الخطي وتتحول إلى التوزيع المنحني، ويزداد هذا الانحناء مع نقصان النسبة L/h حتى تصل إلى الواحد ويصبح $L=h$ حيث نجد في الجوائز التي يزيد ارتفاعها عن مجازها أن



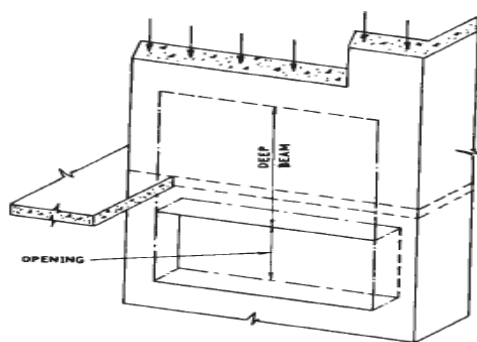
الجزء العلوي من الجوائز الذي يزيد ارتفاعه عن L يصبح غير فعال وتنتشأ فيه إجهادات بسيطة يمكن إهمالها كما هو مبين في الشكل التالي [6].

إن السلوك اللاخطي للجوائز العميقة يجعل المقاطع المستوية قبل التشوه غير مستوية بعد التشوه، كما لا يكون توزع التشوهات خطياً، وتصبح التشوهات الناتجة عن القص (والتي كانت مهملة في الجوائز العادية) مهمة مقارنة مع حالة الانعطاف الصافي،

ويصبح مخطط الإجهادات غير خطي حتى في المنطقة المرنة [7].

مع نمو صناعة البناء والتشييد، يتم توفير فتحات بأشكال مختلفة من خلال أرضية الجائز لتميرر أنابيب المرافق والقنوات لذلك من الضروري أن يتم تمرير هذه الأنابيب والقنوات من خلال فتحة في أرضية الجائز لتقليل الارتفاع وتوفير هيكل أكثر إحكاما وفعالية من حيث التكلفة.

يختلف شكل الفتحات المستخدمة، عادة ما يتم استخدام الفتحة الدائرية في الأسلاك الكهربائية، خطوط الهاتف وشبكات الكمبيوتر، بينما تستخدم خدمات تكييف الهواء فتحات مربعة أو مستطيلة [9,10].



الشكل (6): جائز عميق يحوي على فتحة في الجسد [3]

تخترق هذه الفتحات الجوائز إما بشكل مواز لمحور الجائز أو بشكل متعامد مع مستوى الجائز ويمكن أن تقع في مناطق القص الأعظمي أو في أي منطقة أخرى. ويمكن أن تكون في مناطق الشد من المقطع أو في مناطق الضغط . [6]

تبعاً لموقع الفتحة في الجائز وأبعادها النسبية، يمكن أن يكون تأثيرها على سلوك الجائز رئيسياً أو ثانوياً. وفي كل الحالات يتوجب على المهندس أن يدرس تأثير هذه الفتحة على الجائز ويقوم بالتدابير الفنية اللازمة لتأمين المقاومة المطلوبة للجائز. [6]

إن أحداث الفتحات في الجائز هذا يجعل عملية الجائز البسيطة أكثر تعقيداً [10,11]، نظراً لتغير أحجام المقطع العرضي للجائز فجأة، فإن زوايا الفتحة تخضع لمستويات مرتفعة من الإجهاد، مما قد يساهم في حدوث شقوق واسعة غير مسموح بها من الناحية الجمالية والمتانة. [9,11]

سلوك القص هو السبب الرئيسي الذي يمكن أن يولد اضطرابات في الضغوط الداخلية لهيكل الجائز العميق. [2,12]

في سلوك القص، ينمو الضغط في اتجاه واحد، بينما ينمو الشد في اتجاه عمودي. [12] مع زيادة عمق الجائز، ينتج عن سلوك القص فشل مفاجئ [13,14].

بسبب الطبيعة الهشة، ينتشر الشق في عمق أكبر الحزم أعلى بكثير من الحزم العميقة الأصغر حجماً. [15]

يحدث فشل الجوائز العميقة بسبب تكسير الخرسانة في منطقة الانضغاط للدعامات القريبة أو مباشرة على طول تشكيل شق الشق. [13,16].

2-مشكلة البحث:

نحتاج كثيراً في حياتنا الهندسية الى استخدام جوائز عميقة ونضطر في كثير من الأحيان الى أحداث فتحات في هذه الجوائز لضرورة الاستخدام، تؤثر هذه الفتحات في توزع إجهادات القص والإجهادات النازمية لذلك لابد من دراسة تغير هذه الإجهادات.

3-الغاية:

هي مدى انخفاض تحمل الجائز العميق بوجود فتحات ضمن الجائز باختلاف شكل هذه الفتحات وأماكن توزيعها.

4-الهدف الرئيسي للبحث:

هو دراسة سلوك الجوائز العميقة تحت تأثير الحمولات الشاقولية بوجود فتحات ضمن الجوائز بتغير شكل الفتحة (مستطيلة -دائرية) وتغير مكان هذه الفتحات .

5-الدراسات السابقة:

قام الباحث Waleed A.Jasim [17] واخرون بدراسة تجريبية على (5) جوائز عميقة من الخرسانة المسلحة المدعومة ببساطة مع اثنين من فتحات كبيرة في الجسد في مناطق القص. حيث شملت الدراسة التجريبية على جائز مرجعي بدون فتحات بينما كانت الجوائز الأربعة الأخرى ذات فتحات مربعة تقع إما في الوسط أو عند الحافة الداخلية لمجاز القص. وضعت هذه الفتحتين متناظرة بالنسبة إلى القسم الأوسط من الجائز العميق. تضمنت المعلمات التي تمت دراستها حجم ومواضع الفتحات في مدى القص. تم النظر في بعدين جانبيين مختلفين للفتحات المربعة، أساساً، (200) ملم و (230) ملم.

تم استخدام مدى القص إلى نسبة العمق الإجمالي (1.1). تم اعتماد نسبة بُعد الفتحة إلى عمق الجائز لتكون (40%) و (46%) للعينات ذات الفتحة المربعة (200*200) (230*230) ملم على التوالي.

في هذه الدراسة تم التعامل مع كلتا الفتحتين المربعيتين كفتحة كبيرة لأن أبعاده كانت كافية لإدخال انخفاض كبير في قوة القص.

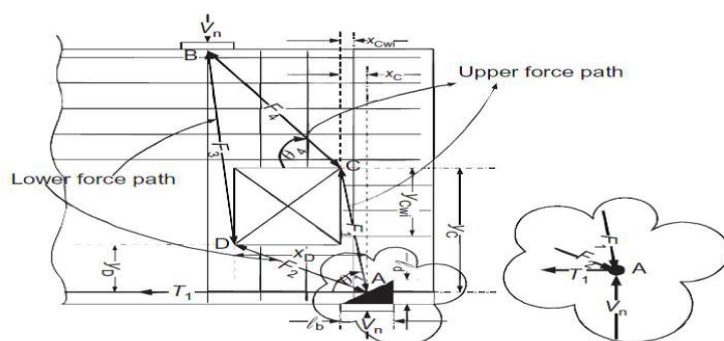
وتوصل الى إن بالمقارنة مع الجائز العميق الصلب، من الواضح أنه مع زيادة حجم الفتحة من (200 × 200) مم إلى (230 × 230) مم، زاد الانخفاض في سعة الحمولة من (58 %) إلى (66 %)، على التوالي. أيضا، أدت هذه الزيادة إلى انخفاض كبير في الصلابة الكلية للجوائز العميقة من الخرسانية المسلحة، ونتيجة لذلك، انخفاض كبير في أحمال التكسير الأولى والثانية الانثناء في حدود (46-58) % و (41-56) %، على التوالي.

أثبتت نتائج القوة أن قدرة القص للحزمة العميقة محكمة بحجم وموقع فتحات في الجسد. أشارت النتائج التجريبية إلى أن الحد من سعة القص قد يصل إلى (66%). تم استخدام برنامج ABAQUS العناصر المحدودة للمحاكاة والتحليل. قدمت التحليلات العددية تقديرات غير متحفظة لقدرة حمل الحمولة العميقة في حدود تتراوح بين (5-21) %. ومع ذلك، لم يكن الحد الأقصى لتشتت تنبؤات طريقة العناصر المحددة لأحمال التكسير الأولى والثانية الأولى (17%). أيضا، في الحمل تحميل العددية من انحراف منتصف المجاز كان أكبر من القيم التجريبية بنسبة (9-18) %.

نتج عن تحويل فتحات في الجسد من نقطة المنتصف إلى الحدود الداخلية لمناطق القص سلوكًا أكثر صلابة يؤدي إلى تقليل انحراف منتصف الجزء الأوسط عند تحميل خدمة الحزمة العميقة مع وجود فتحة في الجسد تقع عند نقطة المنتصف في مناطق القص بنسبة (27-29) % اعتمادا على حجم الفتحات. أدى هذا التحول إلى تغيير أول

حمل تكسير قطري بنسبة (8-9 %) ، وزيادة حمل التكسير الانحناء الأول بنسبة (17-23 %) وتغيير الحمل الفشل بنسبة (3-11 %).

✓ تم إجراء العديد من التحقيقات لدراسة سلوك الجوائز العميقة من الخرسانة المسلح مع فتحات من قبل العديد من الباحثين [18,19, 20, 21, 22] أن وجود فتحة في الجسد يقلل من القوة القصوى للجوائز العميق الكبير بشكل كبير، إذا كان وجود الفتحة في الجسد يتقاطع مع مسار القوة بين نقطة التحميل والدعم كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل (7): تحميل مسارات الجوائز العميقة مع فتحات في الجسد [18,22]

✓ اختبرت 32 عينة من الجوائز العميقة لها فتحات مستطيلة [23]. كان للعينات أحجام مختلفة من الفتحة، ونقاط قوة خرسانية مختلفة، وتراوحت نسبة مجاز القص الى العمق بين 1 و 0.5. وخلص الباحثون إلى أن تأثير قوة الضغط ملموسة انخفضت بشكل ملحوظ في الجوائز العميقة مع فتحات بالمقارنة مع الجوائز المرجعية بدون فتحات.

6- مواد وطرائق البحث:

6-1- التحليل الانشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

تحليل العناصر المحدودة (FEA) له قابلية تطبيق واسعة في مجال الهندسة الإنشائية، ويمكنه التعامل مع نماذج من الظروف الحدودية المختلفة، وحالات التحميل المختلفة.

يجب أخذ توزيع الإجهاد غير الخطي على عمق الجائز العميق في الاعتبار لفهم سلوك الجوائز العميقة مع فتحات. إن استخدام FEA في دراسة تأثير الفتحات في الجسد على سعة التحميل وسلوك الجوائز الخرسانية العميقة المسلحة يتغلب على هذه المشكلة.

حيث تم استخدام برنامج (Abaqus 6.14)، لتحليل الجوائز بطريقة العناصر المحدودة.

تم تحليل النماذج المدروسة تجريبياً في دراسة (Maaddawy and Sherif (2009))

[24]، حيث أجرى الباحثون اختبارات على (13) جائز عميق بسيط ويحوي على

الجدد. كل

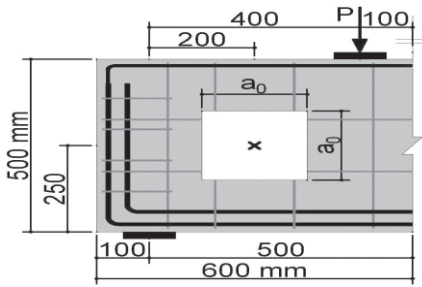
لها نفس

والتسليح

والسفلي.

العينات

مقطع



فتحات في

العينات

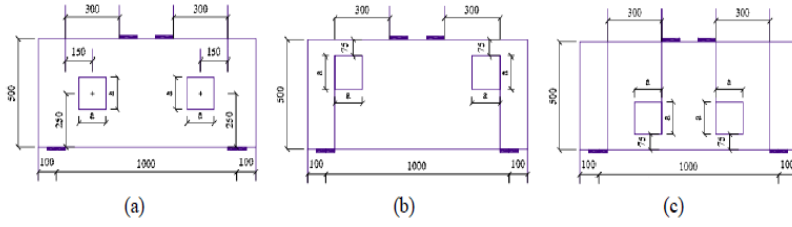
الأبعاد

الطولي

تملك

ارتفاع

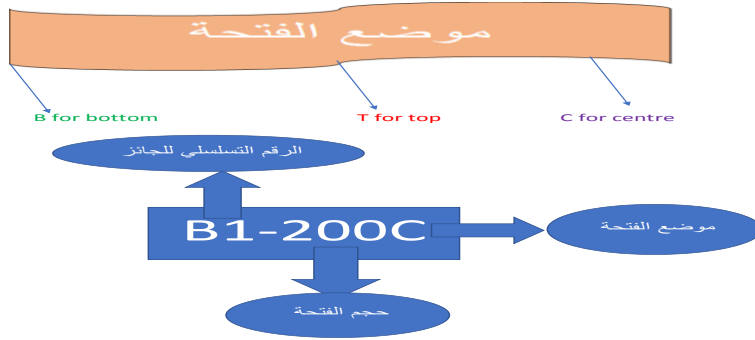
(mm500) وعرض (mm80) وبطول (mm1200).



الشكل (8): أبعاد المقطع العرضي وتفاصيل التسليح [24]

الشكل (9): أماكن الفتحات المستخدمة في الجائز [24]

- تم اعتماد الرموز التالي في تسمية الجوائز:



7- الدراسة التحليلية:

في الوقت الحالي، هنالك عدة طرق لتحليل الجوائز البيتونية المسلحة الحاوية على فتحات ومن أهمها تقنية العناصر المحدودة والتي توفر الكثير من الجهد والوقت. حيث تم استخدام برنامج (Abaqus 6.14)، لتحليل الجوائز بطريقة العناصر المحدودة.

7-1 الشروط المحيطة للنموذج المدروس:

تم اعتماد شروط الاستناد للنموذج المدروس، مماثل لشروط الاستناد المعتمدة في التجربة، حيث أن المساند عبارة عن صفائح فولاذية أحدهما مقيدة لمنع الانتقال الشاقولي فقط (مسند متدرج)، بينما الآخر لمنع الانتقال الشاقولي والأفقي (مسند ثابت).

7-2 الأحمال المطبقة على النموذج: تم تطبيق حملتين مركزتين عن طريق تطبيق

انتقال شاقولي تدريجي في نقاط تطبيق القوى.

7-3 نوع التحليل المستخدم في النموذج: تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار

لاخطية المادة (Materially Non-Linear Analysis, MNA).

7-4 التماسك بين البيتون المسلح والفولاذ: تم افتراض التماسك تام بين البيتون

المسلح والفولاذ (Embedded Region).

7-5 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة:

➡ البيتون: تم استخدام طريقة (Concrete Damage Plasticity)، التي

تستخدم في حالات التحميل العشوائي، حيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير إزالة

القوة، والتناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness)، في

حالتى الشد والضغط، بسبب التشوهات اللدنة، كما يأخذ بعين الاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) تحت تأثير التحميل الدوري عند انعكاس الحمولة من الشد الى الضغط.

Description	Numerical value
Elastic Modulus, E (GPa)	24
Dilation Angle	30
Flow Potential Eccentricity	1
Viscosity Parameter	0.1
K	0.666
fb_0/fc_0	1.16

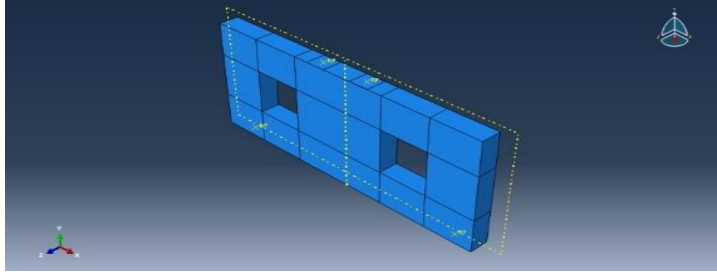
الجدول (1) معاملات البيتون [24]

فولاد التسليح:

تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الطولي ذو القطر (14mm) $f_y=420\text{mpa}$ ، ومعامل المرونة (200Gpa)، فيما تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الطولي ذو القطر 8mm $(f_y=420\text{mpa})$ ، ومعامل المرونة (200Gpa)، كما تم أخذ إجهاد الخضوع للتسليح الشاقولي ذو القطر 6 $(f_y=300\text{mpa})$.

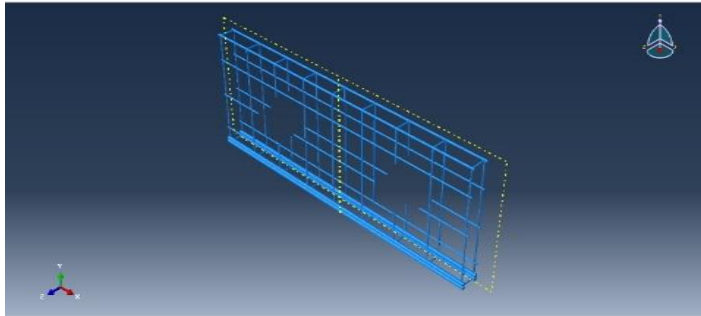
- دراسة تأثير تغيير موقع الفتحة وحجمها على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة البسيطة العميقة: تم نمذجة الجوائز الستة باستخدام برنامج (Abaqus 6.14)، حيث تم اعتماد حجمين للفتحات (200*200) و (250*250) mm. ومواقع مختلفة للفتحات في (الوسط، الأعلى، الأسفل).

يوضح الشكل التالي نموذج لجوائز بحجم فتحة (200*200) mm وتم وضع الفتحات في منتصف مجاز القص، وتم اعتماد تقسيمات العناصر Seed=20mm وبالمثل تم

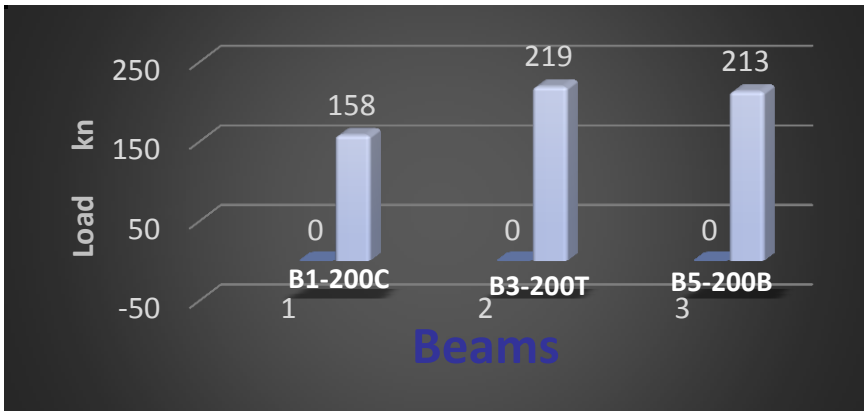


نمذجة بقيه الجوائز الأخرى.

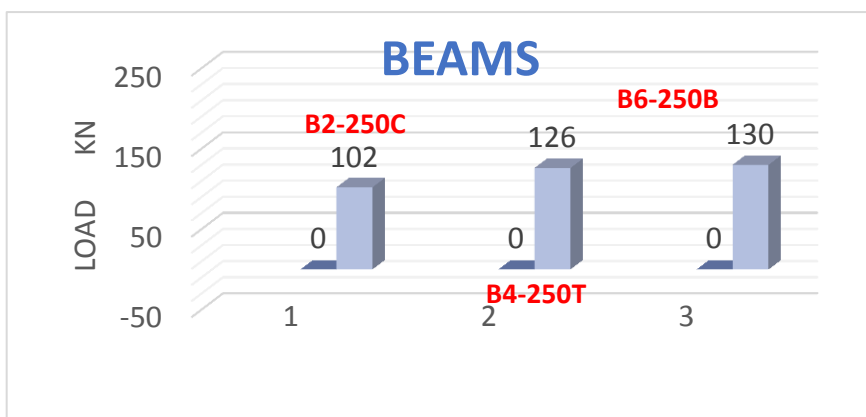
الشكل (10):النموذج [25]B1-200C



الشكل (11): التسليح الشاقولي وبعض الأساور [25]



الشكل (12): قيم الحمولة للجوائز B1, B3, B5 [25]



الشكل (13): قيم الحمولة للجوائز B2, B4, B6

- ويوضح الجدول التالي النتائج التحليلية للجوائز الستة.

الجدول (2) النتائج التحليلية للجوائز B6→B1

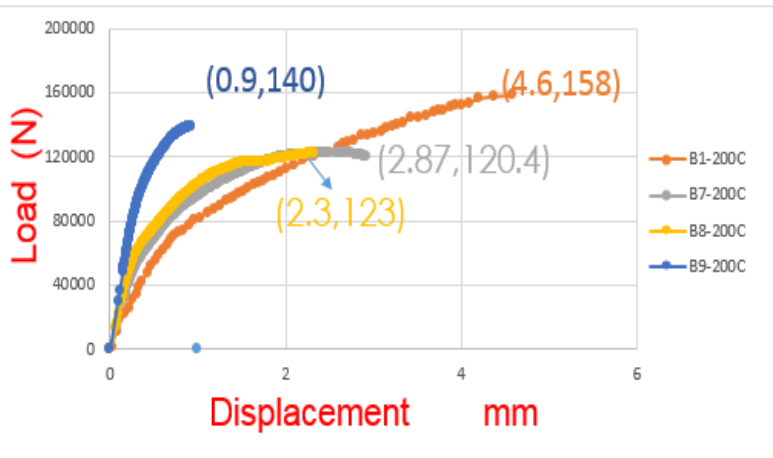
اسم الجائز	حمولة الانهيار (Kn)	الانتقال وسط المجاز (mm)
B1-200C	158	4.6
B2-250C	102	6.2
B3-200T	219	3.5
B4-250T	126	3
B5-200B	213	3.6
B6-250B	130	4.3

❖ دراسة تأثير تغيير العمق على سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة البسيطة العميقة:

تم دراسة تغيير العمق على سلوك الجوائز العميقة، حيث تم اخذ قيم متفاوتة للعمق (800-600-550) mm، على نفس الجوائز التي تم دراستها من قبل الباحث Maddawy and Sherif حيث يوضح الجدول التالي تأثير تغيير العمق على الانتقال وسط المجاز.:

الجدول (3): قيم الانتقال وسط المجاز المقابلة لتغيير العمق [25]

أسم الجائز	العمق (mm)	الانتقال وسط المجاز (mm)
B1-200C	500	4.6
B7-200C	550	2.87
B8-200C	600	2.3
B9-200C	800	0.9



الشكل (14): مقارنة المنحنيات الأربعة للنماذج المدروسة [25]

نلاحظ من الجدول (3) انه كلما زدنا العمق كلما انخفضت قيمة الانتقال المقابل لها .
ونلاحظ من الشكل (14)، إن الجوائز ذات العمق الكبر ذات صلابة أكبر مقابل
أنحراف أقل، لذلك نستنتج، كلما زاد العمق زادت صلابة الجائز .

❖ دراسة تغير طول المجاز الفعال على سلوك الجوائز البسيطة العميقة:

حيث تم دراسة تأثير اختلاف طول المجاز الفعال على قدرة تحمل الجائز، حيث تم أخذ
قيم متفاوتة (1200-1800mm)، على نفس الجوائز التي تم دراستها من قبل الباحث

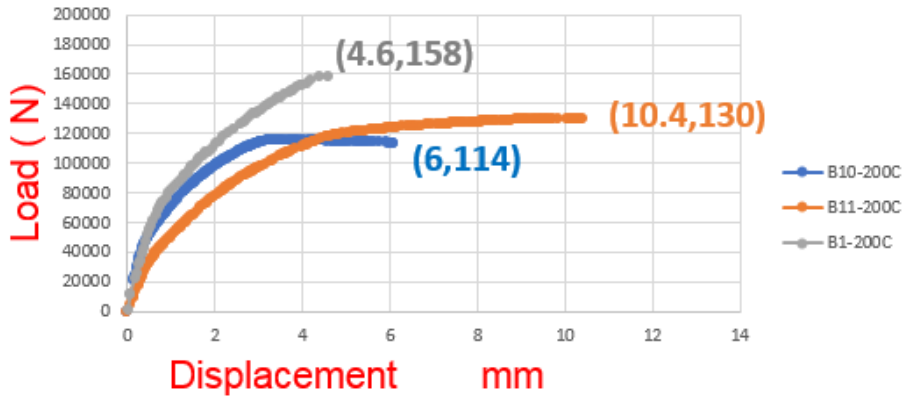
Maddawy and Sherif.

حيث الجدول التالي يوضح تأثير اختلاف طول المجاز الفعال على الانتقال وسط
المجاز .

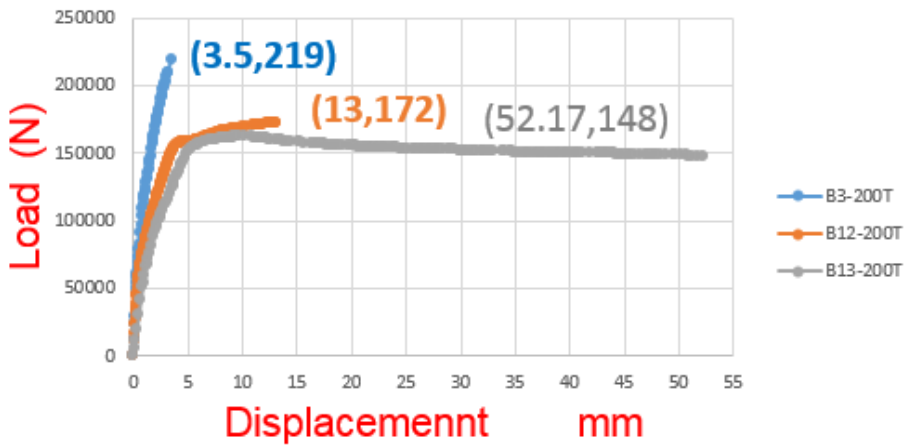
الجدول (4): قيم الانتقال وسط المجاز المقابلة لتتغير طول المجاز الفعال [25]

أسم الجائز	طول المجاز الفعال (mm)	الانتقال وسط المجاز (mm)
B1-200C	1000	4.6
B10-200C	1200	6
B11-200C	1800	10.4
B3-200T	1000	3.5

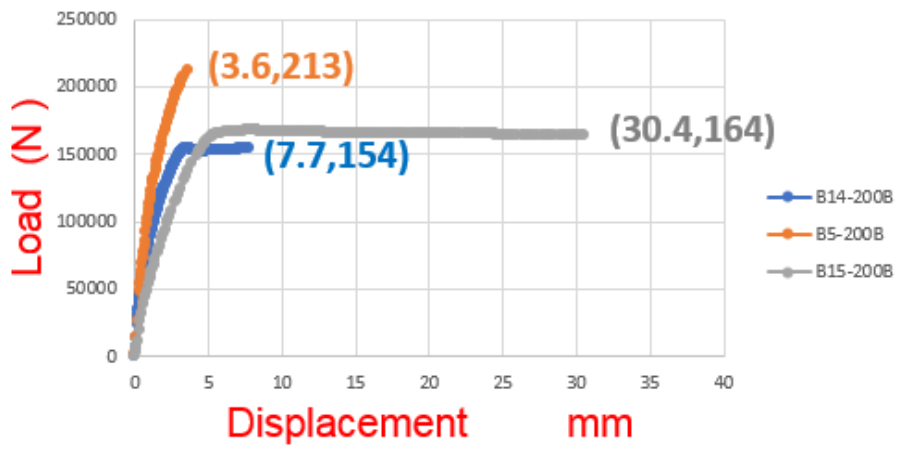
B12-200T	1200	13
B13-200T	1800	52.17
B5-200B	1000	3.6
B14-200B	1200	7.7
B15-200B	1800	30.4



الشكل (15): مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]



الشكل (16): مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]



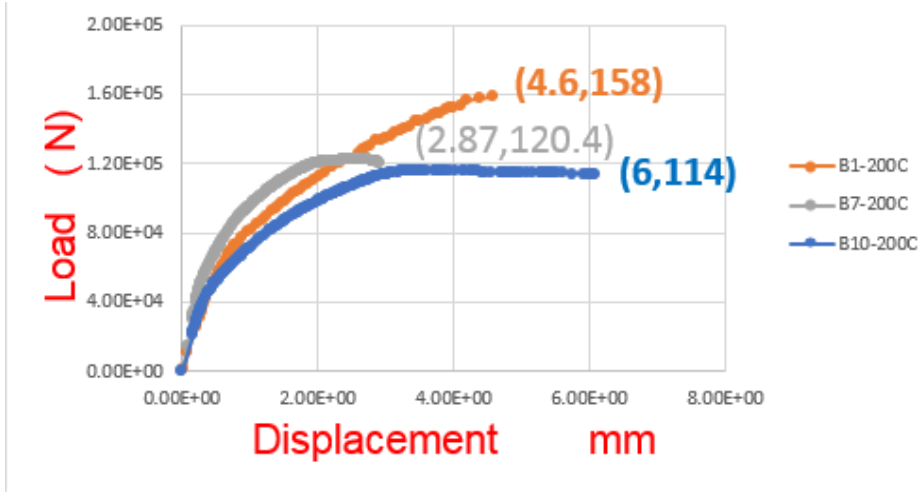
الشكل (17):مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]

نلاحظ من الجدول (4) أنه كلما زدنا طول المجاز الفعال رافق ذلك زيادة في الانتقال وسط المجاز.

ونلاحظ من الاشكال (15 و16 و17) عندما زدنا طول المجاز الفعال قلت صلابة الجائز رافق ذلك زيادة في الانتقال وسط المجاز.

❖ تأثير نسبة مجاز القص الى العمق:

اختلفت نسبة مجاز القص إلى العمق للجوائز العميقة وُدرس تأثيرها من حيث الانحراف وحمولة الانهيار تحت نفس التحميل. تم حساب نسبة مجاز القص الى العمق في B7 (0.4/0.55=0.7), B1 (0.4/0.5=0.8), B10 (0.5/0.5=1).



الشكل (18): مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]

يقارن الشكل (18) الحمولة مقابل الانحراف لثلاث جوائز لكل منها فتحات في مركز مجاز القص.

تم العثور على انحراف الجائز ذات نسبة مجاز القص إلى العمق مثل 0.7 و 0.8 و 1 هو 6,4.6,2.87mm على التوالي. من الشكل (18)، لوحظ أن الزيادة في نسبة مجاز القص إلى العمق أدت إلى انحراف أكبر.

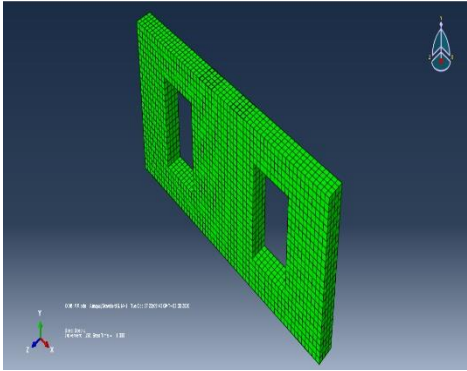
قد يكون السبب هو الزيادة في نسبة مجاز القص إلى العمق مما أدى إلى انخفاض في عمق الجائز وزيادة الانحراف.

لا تشجع هذه الملاحظات استخدام مسافات قص أكبر إلى نسبة العمق في الحزم العميقة.

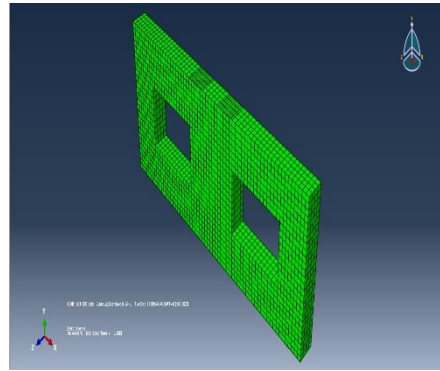
❖ دراسة تغيير نوع الفتحة:

تم تغيير نوع الفتحة المستخدمة من فتحة مربعة الى فتحة (مستطيلة ،دائرية) وهما الأكثر استخداماً في مجال البناء.

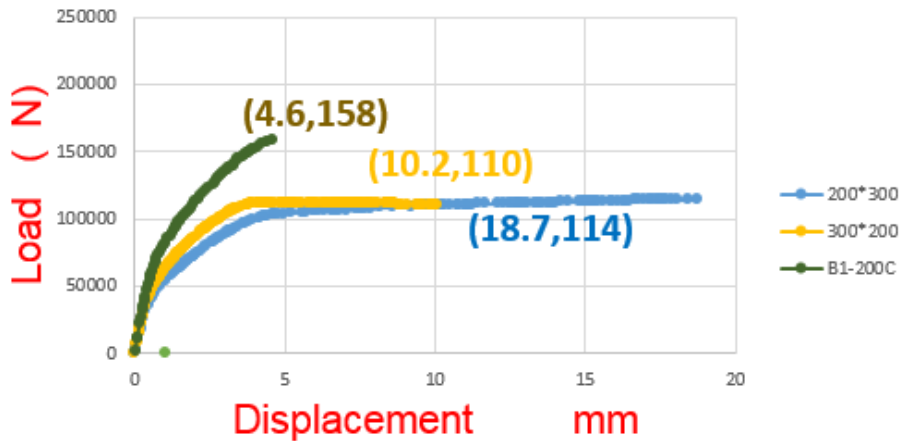
○ الفتحات المستطيلة:



الشكل (19): نموذج فتحة مستطيلة بأبعاد
[25]200*300mm



الشكل (20) نموذج فتحة مستطيلة بأبعاد
[25]300*200mm

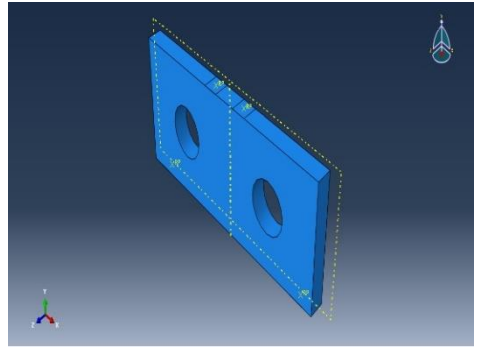
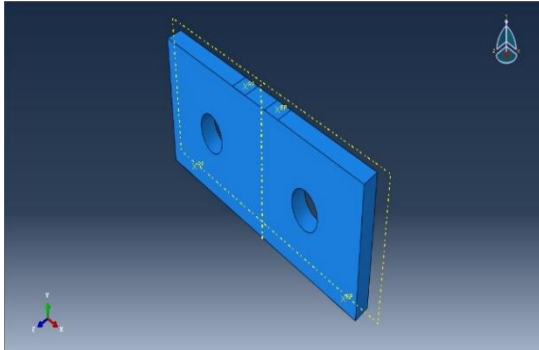


الشكل (21): مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]

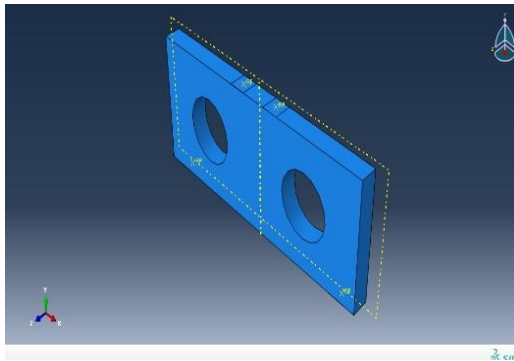
نلاحظ من الشكل (21) إن الجائز الذي يحتوي على فتحة مستطيلة أبعادها (300*200mm) أكثر صلابة من الجائز الذي يحتوي على فتحة مستطيلة أبعادها (200*300mm).

كما نلاحظ إن الجائز الذي يحتوي على فتحة مربعة أدى إلى انحراف أقل وصلابة أكبر خلافاً للجائزين ذات الفتحات المستطيلة.

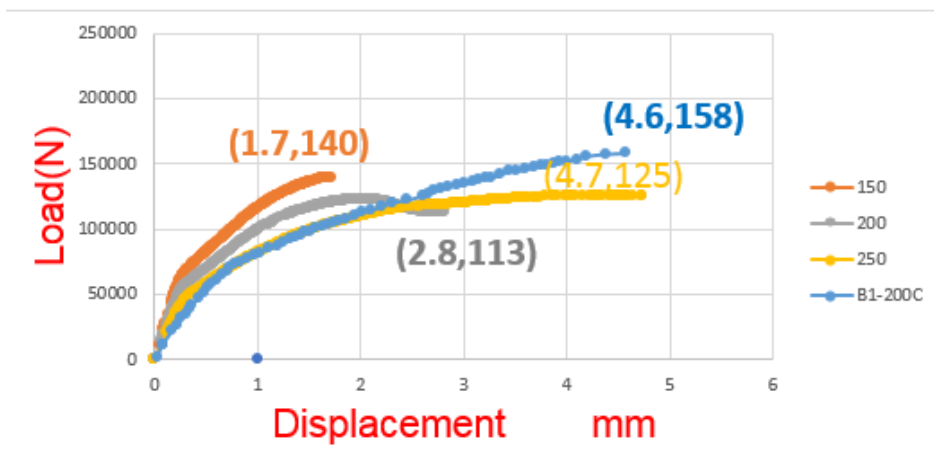
○ الفتحات الدائرية:



الشكل (22): نموذج فتحة دائرية D=150mm [25]



الشكل (24): نموذج فتحة دائرية D=250mm [25]



الشكل (25): مقارنة المنحنيات للنماذج المدروسة [25]

نلاحظ من الشكل (25) إن الفتحات الدائرية أكثر صلابة من الفتحات المربعة، ونلاحظ إن أنحراف جوائز يحتوي فتحة دائرية أبعادها (200*200mm) أقل من أنحراف فتحة مربعة لها نفس الأبعاد. لذلك، استنتج أن الفتحات الدائرية قد تكون مفضلة عن الفتحات المربعة في الجوائز العميقة.

النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تمت دراسة تصرف الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة البسيطة والحاوية على فتحات، تمت الدراسة باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM)، واستخدام التحليل اللاخطي والذي يأخذ بالحسبان لاختية المادة (Materially Non-Linear Analysis).

لحالة الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة البسيطة والحاوية على فتحات بأحجام ومواقع موافقة لما ورد في النموذج التحليلي في هذه الدراسة، تم التوصل إلى النتائج التالية:

1. يؤثر حجم الفتحة على قدرة تحمل الجوائز الخرسانية المسلحة العميقة البسيطة بشكل كبير، فيما يؤثر حجم الفتحة على نمط الانهيار، حيث انخفضت حمولة الانهيار عند تغيير حجم الفتحة من $mm(200*200)$ إلى $mm(250*250)$ بنسبة بنسبة 35.4 و 42.5 و 39% على التوالي، مقارنة بالجائز ذات الفتحة $mm(200*200)$ في المركز والأعلى والأسفل.

بشكل عام، أدت الزيادة في حجم الفتحة من $mm(200*200)$ إلى $mm(250*250)$ إلى تقليل متوسط مقاومة القص بنسبة 39%. قد يكون السبب هو زيادة حجم الفتحة في مركز الجائز، وتقليل صلابة الجائز وبالتالي خضعت لمزيد من الانحراف.

2. يؤثر موقع الفتحة سواء كانت في منتصف مجاز القص أو في الأعلى أو في الأسفل بشكل كبير على قيمة انهيار الجائز، حيث إن قدرة تحمل الحمولة تكون أقل عندما تكون في منتصف مجاز القص قد يكون السبب هو أن الحد الأقصى لاعتراض مسار الحمل يحدث عندما يتم توفير الفتحات في مركز مجاز القص لذلك، نستنتج أن الجوائز التي لها فتحات في وسط مجاز القص قد تكون أقل تفضيلاً.

حيث زادت حمولة انهيار بالنسبة للجوائز بحجم فتحة $mm(200*200)$ في الأعلى والأسفل بنسبة 27.9% و 25.8% على التوالي مقارنة بفتحة في منتصف مجاز القص أما بالنسبة للجوائز بحجم فتحة $mm(250*250)$ فقد زادت حمولة الانهيار بالنسبة للجوائز التي تحتوي على فتحة في الأعلى والأسفل بنسبة 21.5% و 19.05% على التوالي مقارنة بفتحة في منتصف مجاز القص.

3. تؤثر الفتحات الدائرية في السلوك الإنشائي للجوائز العميقة حيث تؤدي إلى سهوم منخفضة بنسبة 64.3% مقارنة بفتحة مربعة لها نفس الأبعاد.

4. أن الزيادة في نسبة مجاز القص إلى العمق من (0.7) إلى (1) أدت إلى انحراف أكبر، قد يكون السبب هو الزيادة في نسبة مجاز القص إلى العمق مما أدى إلى عمق الجائز وزيادة الانحراف.

لذلك لا نشجع استخدام نسبة مجاز قص إلى عمق أكبر في الجوائز العميقة.

المراجع:

- 1) Chin, S.C.; Yahaya, F.M.; Ing, D.O.H.S.; Kusbiantoro, A.; Chong, W.K. Experimental Study on Shear Strengthening of RC Deep Beams with Large Openings Using CFRP. In International Conference on Architecture, Structure and Civil Engineering (ICASCE'15); ResearchBib: Antalya, Turkey, 2015; pp. 89–95.
- 2) El-barbary, A.; Beshara, F.; Mahmoud, A. STATE OF ART— High strength Steel Fiber Reinforced Concrete Deep Beams. In Performance of Steel Fibers Reinforced Concrete Deep Beam; Repository of Benha University: Benha, Egypt, 2015; pp. 9–96.
- 3) Kong F K .(2003) . "Renforced Concrete Deep Beams " Taylor and Francis Book ,Inc .Vol . 7 .No .41,307–317.
- 4) Rao, G.A.; Kunal, K.; Eligehausen, R. Shear strength of RC deep beams. In Proceedings of the 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Catania, Italy, 17–22 June 2007; Taylor and Francis: Didcot, UK, 2007; pp. 693–699.
- 5) *Collins, M.P.*, D. Mitchell, and E.C. Bentz, Shear design of concrete structures The Structural Engineer Journal, 2008. 86(10): p. 32–39.

- (6) بدورة، محمد كرامة؛ زين الدين، وهيب. مسائل هامة في تصميم منشآت البيتون المسلح. الطبعة الأولى، دمشق، 1991، 476.
- 7) Sundaresan, R.; Rao, G.A. Evaluation of size effect on shear strength of reinforced concrete deep beams using refined strut-and-tie model. *Sadhana* **2012**, 37, 89–105.
- 8) Nawy, E.G., “Reinforced Concrete – A Fundamental Approach” Prentice–Hall Inc., 1985.
- 9) Mansur, M.A.; Tan, K.–H. *Concrete Beams with Openings: Analysis and Design*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1999.
- 10) Cheng, H.T.; Mohammed, B.S.; Mustapha, K.N. Experimental and analytical analysis of pretensioned inverted T–beam with circular web openings. *Int. J. Mech. Mater. Des.* **2009**, 5, 203–215. [CrossRef]
- 11) Mansur, M.A. Design of Reinforced Concrete Beams with Web Openings. In *Proceedings of the 6th Asia–Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 5–6 September 2006; pp. 104–120.
- 12) Yang, K.H.; Chung, H.S.; Lee, E.T.; Eun, H.C. Shear characteristics of high–strength concrete deep beams without shear reinforcements. *Eng. Struct.* **2003**, 25, 1343–1352. [CrossRef]

- 13) Tariq, M. Shear Behaviour of RC Deep Beams with openings strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer. *Int. J. Civ. Environ. Eng.* **2017**, 11, 1138–1143.
- 14) Anwar, A. The Influence of Waste Glass Powder as a Pozzolanic Material in Concrete. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* **2016**, 7, 131–148.
- 15) Bakir, P.G.; Bodurođ glu, H.M. Mechanical behaviour and non-linear analysis of short beams using softened truss and direct strut & tie models. *Eng. Struct.* **2005**, 27, 639–651.
- 16) Anwar, A.; Juned, A.; Sabih, A.; Syed, A.A. Study of compressive strength of concrete by partial replacement of cement with marble dust powder. *Int. J. Curr. Eng. Technol.* **2014**, 4, 4162–4166.
- 17) Waleed A. Jasim, Abbas A. Allawi and Nazar K. oukaili “Effect of Size and Location of Square Web Openings on the Entire Behavior of Reinforced Concrete Deep Beams” *Civil Engineering Journal* Vol. 5, No. 1, January, 2019:209–226.
- 18) Chin, S.C., Shafiq N., Kusbiantoro A., & Nuruddin M. F. (2014). Reinforced Concrete Deep Beams with Openings Strengthened Using FRP –A Review. *Advanced Materials Research. 1025–1026*, 938–943.

- 19) Campione, G. & Minafò, G. (2012). Behaviour of concrete deep beams with openings and low shear span-to-depth ratio. *Engineering Structures*. 41, 294–306.
- 20) Sahoo, D.R., Flores, C. A. & Chao, S.H. (2012). Behavior of steel Fiber-Reinforced Concrete deep beams with large opening. *ACI Structural Journal*. 109(2), 193– 204.
- 21) Hemanth Kumar G, (2012). Experimental and numerical studies on behavior of FRP strengthened deep beams with openings, *Master of Technology Thesis, Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Rourkela*.
- 22) Hu, O. E. & Tan, K. H. (2007). Large reinforced-concrete deep beams with web openings : test and strut-and-tie results. *Magazine of Concrete Research*. 59(6), 423–434.
- 23) Yang, K. H., Eun, H. C., & Chung, H. S. (2006). The influence of web openings on the structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams. *Engineering Structures*, 28(13), 1825–1834.
- 24) Maaddawy, T.E. and Sherif, S. (2009), “FRP composites for shear strengthening of reinforced concrete deep beams with openings”, *Compos. Struct.*, 89(1), 60–69.
- 25) ABAQUS/explicit user’s manual, version 6.14.

أثر كثافة وتوزيع الثقوب التاجية على سلوك البلاطات المختلطة المعرّضة لحمولات شاقولية ساكنة

صفا علي (1)

مؤيد صبح (2)

الملخص: استخدمت البلاطات المختلطة المكوّنة من الجزء البيتوني والصفيحة الفولاذية منذ القدم، والتي ترتبط مع بعضها من خلال عناصر اتّصال مختلفة تؤمّن العمل المشترك. يُقدّم هذا البحث تقنية ربط بوصلات تامة مبتكرة، وهي عبارة عن ثقوب أو نتوءات تاجية الشكل في أجساد الصفائح الفولاذية كبديل عن النقوش التقليدية، والتي كانت تؤمّن اتّصال جزئي بين البيتون والصفائح الفولاذية.

تمّ في هذه الدراسة استعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method)، والتحليل اللاخطّي الذي يأخذ بعين الاعتبار لا خطيّة المادّة (Materially Non-Linear Analysis, MNA)، تمّت نمذجة موديل لجزء من عصب للبلاطة المختلطة ومن ثمّ تعميم النتائج على البلاطة المختلطة بشكل كامل، هذه العملية أبدت دقة عالية في مطابقة النتائج وبساطة في النمذجة وسرعة في التحليل. كما تمّ في هذا البحث دراسة أثر تغيير كثافة الثقوب على مقدرة البلاطات المختلطة تحت حمولات شاقولية مركّزة سناتيكية.

بيّن هذا البحث أنّ استبدال النقوش التقليدية بالثقوب تاجية الشكل يؤدي إلى رفع المقدرة الانعطافية والقصيّة للبلاطة المختلطة، كما أنّ هناك إمكانية لتقليل كثافة الثقوب في منطقة معينة من الصفيحة الفولاذية مع المحافظة على نفس السلوك للبلاطة المختلطة.

أثر كثافة وتوزيع الثقوب التاجية على سلوك البلاطات المختلطة المعرضة لحمولات شاقولية ساكنة

كلمات مفتاحية: بلاطات مختلطة - أحمال شاقولية - طريقة العناصر المحدودة - تحليل لا خطّي.

(1) طالبة ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

(2) أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

The effect of the density and distribution of crown shaped punches on the behavior of the composite slabs under static vertical loads

Ssafa Ali ⁽¹⁾

Moaid Subh ⁽²⁾

Abstract: The composite slabs consisting of the concrete part and the steel plate have been used since ancient times, which are connected with each other through various communication elements that secure joint work. This research introduces an innovative technology of connecting with innovative connections, which are very small cuttings in the bodies of steel plates as an alternative to the traditional embossments that were Provides partial contact between concrete and steel plates.

In this study, the finite element method and the nonlinear analysis that takes into account the nonlinearity of the material were used. A part of chord is modeled for the composite slab and then generalizing the results to the composite slab completely, this process showed high accuracy in matching the results, simplicity in modeling and speed in the analysis, the study also examined the effect of changing the density of punches on the ability of composite slabs under static concentrated vertical loads. This research shows that replacing traditional embossments with coronary punches leads to an increase in the bending and shear ability of the composite slab and that there is a possibility to

reduce the density of the punches in a certain area of steel plate while maintaining the same behavior for composite slab.

Keywords: Composite Slabs – Vertical loading – Finite Element Method – Non-Linear Analysis.

⁽¹⁾ Master Student at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Damascus University.

⁽²⁾ Assistant Professor at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Damascus University.

1. مقدمة Introduction

استخدمت البلاطات المختلطة بداية عام 1938م في الولايات المتحدة، على الرغم من أنّ الصفائح المشكّلة على البارد استخدمت كقوالب دائمة فقط.

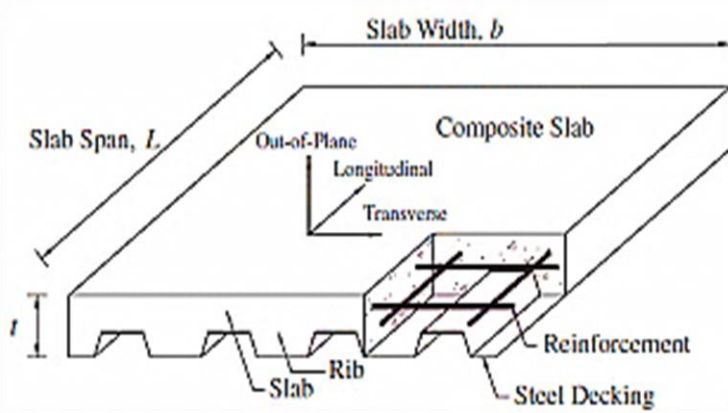
خلال عام 1960s، انتجت الصفائح الفولاذية المزودة بالنقوش وتطوّرت بشكل واسع، الصفائح أصبحت تشكّل تسليح الشدّ الأساسي للبلاطة، (Bridge & Patrick, 2002).

تستخدم صفائح الفولاذ المشكّلة على البارد مع النقوش (Embossments) بشكل واسع في أنظمة البلاطات المختلطة في الأبنية متعدّدة الطوابق، حيث تصبح جزء متكامل مع أنظمة الأرضيات.

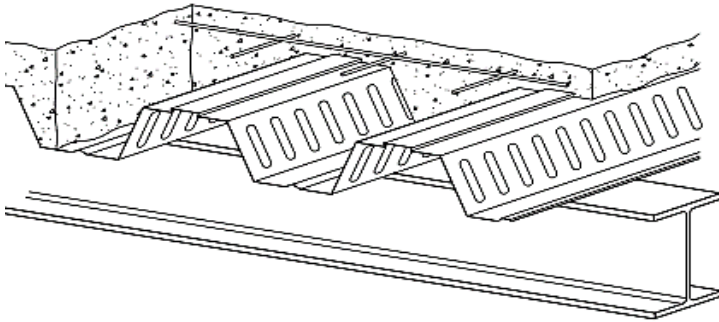
تعمل الصفائح المعدنية ككوفراج في مرحلة صبّ الخرسانة وكتسليح شدّ أساسي لاحقاً بعد التصلّب، فينتج لدينا بلاطات مختلطة ذات إنشاء سريع وأرضيات اقتصادية (الشكل 1).

تتهار البلاطات المختلطة بشكل عام نتيجة لقوى الفصل التي تحدث في المقطع نتيجة قوى القصّ الطولي. لضمان الفعل المختلط تحتاج لسطح ترابط قوي بين البيتون والصفحة الفولاذية.

تطور العجينة الإسمنتية سطح ترابط ضعيف وبالتالي غير كافية لتحفظ السلوك المختلط، لتأمين ذلك تمّ إيجاد وصلات قصّ موجودة بشكل طبيعي كجزء من الصفحة المعدنية وهي النقوش (Embossments) (الشكل 2).



الشكل 1 : بلاطة مختلطة مكوّنة من البيتون والصفحة الفولاذية [1]



الشكل 2 : بلاطة مختلطة مكوّنة من البيتون والصفحة الفولاذية المزوّدة بالنقوش

التقليدية (Embossments) [1]

إنّ نظام النقوش التقليدية المستخدم كنظام ربط في البلاطات المختلطة غير قادر على التغلّب على نماذج القصّ الطولي بغض النظر عن كل المحاولات لتحسين فعالية هذه النقوش (Embossments). اختبر نظام جديد يقدّم تقنية ربط بوصلات تامة مبتكرة، مكوّنة من عدد كبير من الثقوب التاجية الشكل (Punches) على جسد الصفائح الفولاذية كبديل عن أنظمة النقوش الشائعة. حصل هذا النظام على براءة اختراع من قبل جامعة بوليتكنيكا في كاتالونيا (Universitat Politècnica de Catalunya)، وكذلك

مكتب براءات الاختراع الأوروبية (European patent office EPO)، لذلك سمّي من قبل الباحثين نظام UPC (Ferrer & Marimon, 2018) [2] (الشكل 3).

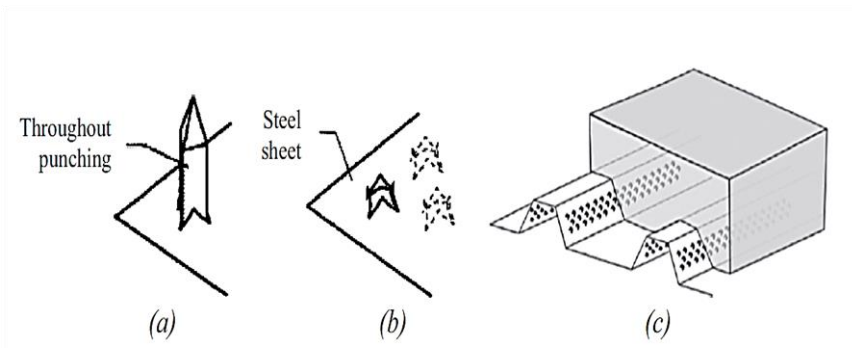


Fig. 7. a) Throughout square punching; b) Resulting cutting on steel sheet; c) Use on composite slab sheeting.

الشكل 3 : آلية تشكيل الثقوب التاجية الشكل على جسد الصفائح الفولاذية ومن ثم صبّ البيتون فوقها لتشكيل البلاطات المختلطة [2]

أجريت العديد من الدراسات والأبحاث المرجعية التي تتناول موضوع رفع مقدرة البلاطات المختلطة التي تتكوّن من البيتون والصفائح المعدنية وترتبط بينهما عناصر ربط مختلفة.

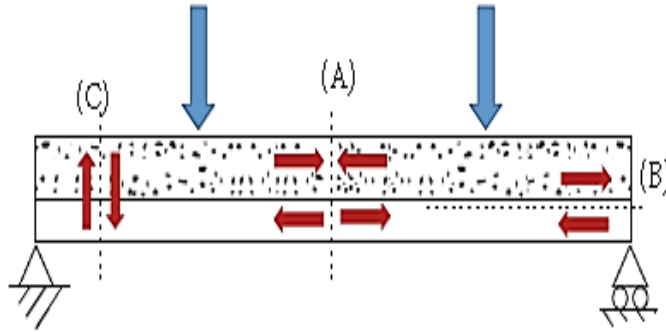
يعتمد التحليل الإنشائي للبلاطات المختلطة على أنماط انهيارها (Failure Modes).

نمط الانهيار الرئيسي للبلاطات المختلطة ينتج عن إجهادات الانعطاف والتراخي القصّي، حيث يوجد ثلاثة أنماط للانهيار [4] (Alvarez et al, 2016) (الشكل 4) وهي:

(A) نمط الانهيار الناتج عن الانعطاف وهو يتعلّق بمقاومة الانعطاف للبلاطات المختلطة، يسيطر هذا النمط على انهيار البلاطات المختلطة عندما إجهادات القصّ أقلّ من إجهادات الانعطاف، وهذا عملياً يتحقّق عندما لا يحدث انزلاق طولي بين البيتون والصفائح الفولاذية.

(B) نمط الانهيار الناتج عن القصّ الطولي وهو يتعلّق بالوصول لمقاومة القصّ الطولي للبلاطات المختلطة بين البيتون والصفحة الفولاذية نتيجة اتصالهما وذلك وفق عدّة طرق، عملياً يحصل الانهيار نتيجة حدوث انزلاق طولي بين البيتون والصفحة الفولاذية.

(C) نمط الانهيار الناتج عن القصّ الشاقولي وهو غير مسيطر غالباً بالمقارنة مع نمطي الانهيار الآخرين.



الشكل 4 : أنماط الانهيار للبلاطات المختلطة [4]

نظرية الوصلات في البلاطات المختلطة:

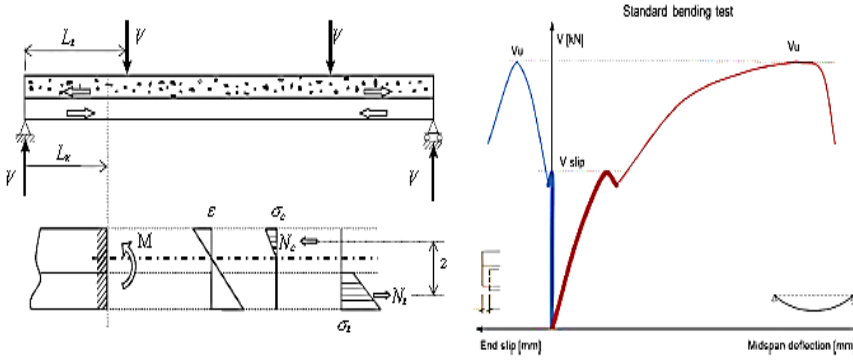
Theory of connection in composite slabs

1- الوصلات التامة: Full Connection

تنتقل قوى القصّ الطولي في هذه الحالة بشكل كامل، بالتالي استمرارية وخطية التشوهات في المقطع العرضي يمكن قبولها، حيث كلتا المادتين تعملان معاً كعنصر إنشائي واحد.

بشكل عام تحفظ الوصلات التامة دائماً في مرحلة التحميل الأولي، بعد ذلك عندما تزداد الحمولة معظم البلاطات المختلطة ذات الصفائح الفولاذية المزودة بالنقوش التقليدية لا

تستطيع الاحتفاظ أكثر بمتطلبات نقل قوى القص الطولي، بالتالي الانزلاق الأول يحدث بين البيتون والصفائح الفولاذية حيث دخلنا بمرحلة الوصلة الجزئية (الشكل 5).



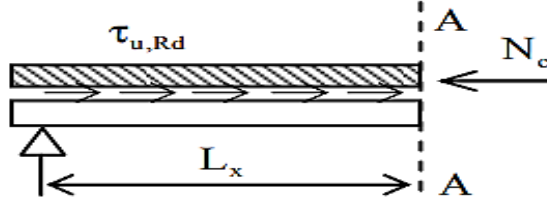
الشكل 5 : سلوك بلاطة مختلطة مكونة من البيتون والصفائح الفولاذية في حالة الوصلة التامة [2]

2- الوصلات الجزئية: Partial Connection

في مرحلة الوصلة الجزئية، قوى القص الطولية بين المواد لا تستطيع أن تزيد عن قوى الربط المطلوبة، لذلك تبدأ الوصلات المشتركة بالتكسر على طول مجاز القص والانزلاق يبدأ بالنمو والتزايد.

نجد بأن استمرارية التشوهات في المقطع العرضي للبلاطة المختلطة لا يمكن قبولها، وسيشكل محوراً محايداً خلال المقطع العرضي للبلاطة المختلطة أحدهما من أجل مقطع الصفائح الفولاذية، والذي يكون إما داخل أو خارج الصفائح والمحور الآخر ضمن البيتون، ولكن خطية التشوهات لكل مادة وتساوي الانحناءات لازال يفترض (الشكل 7).

نتيجة للاتصال الجزئي بين البيتون والصفائح الفولاذية، عملياً سطح الاتصال لن ينقل مقاومة البلاطة البيتونية على الضغط كاملة N_{cf} وإنما جزء منها يتعلق بدرجة القص η وهو NC ، كما يبين الشكل (6).



الشكل 6 : آلية نقل مقاومة البلاطة البيتونية على الضغط إلى الصفيحة الفولاذية [3]

بحيث تحدّد قوّة القصّ الطولي المنقولة NC وفق العلاقة الآتية [3] (Eurocode 4, 2004):

$$N_c = \tau_{u,Rd} \cdot b \cdot L_x \leq N_{cf}$$

يتمّ تحديد إجهاد القصّ الطولي τ_u من تجارب الانعطاف بمقياس كامل، وذلك وفق العلاقة الآتية:

$$\tau_u = \frac{\eta_{test} N_{cf}}{b(L_s + L_0)}$$

حيث:

η_{test} : درجة وصلة القصّ N_c / N_{cf}

N_c : قوّة الضغط في الخرسانة.

N_{cf} : قوّة الضغط في الخرسانة في حالة الاتّصال التام.

b : عرض المقطع العرضي للبلاطة المختلطة.

L_0 : المسافة من محور المسند إلى الطرف الحر للبلاطة.

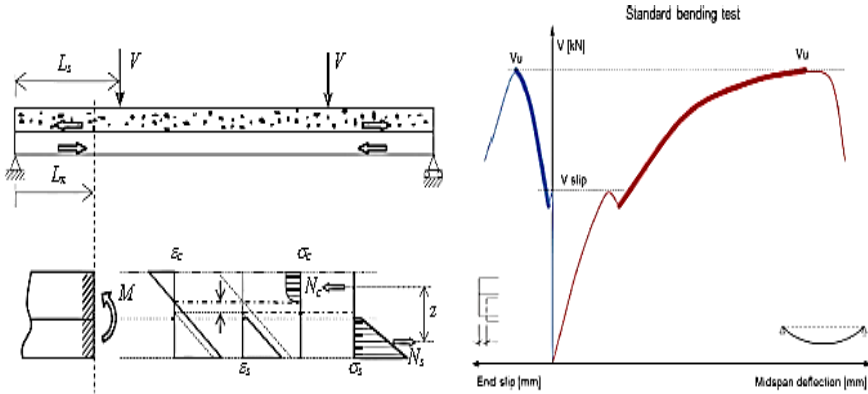
L_s : مجاز القص.

إذا تم أخذ مقاومة القص الطولية الإضافية الناتجة عن أخذ رد الفعل عند المسند في الاعتبار، تصبح المعادلة:

$$\tau_u = \frac{\eta_{test} N_{cf} - \mu V_t}{b(L_s + L_0)}$$

μ : معامل الاحتكاك (يؤخذ عادةً على أنه 0.5).

V_t : رد الفعل عند الاستناد.



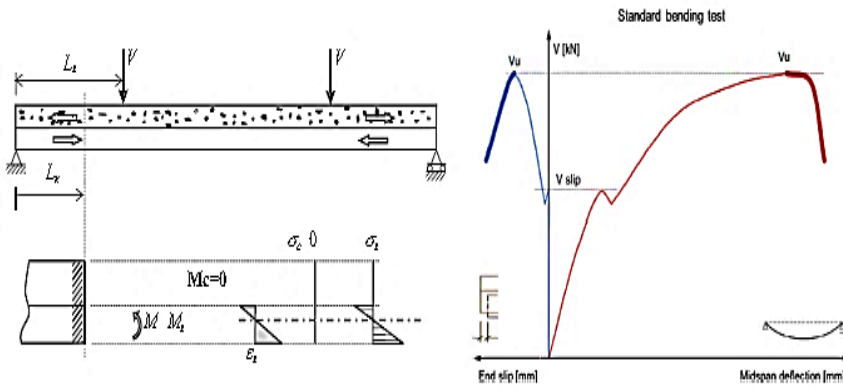
الشكل 7: سلوك بلاطة مختاطة مكوّنة من البيتون والصفحة الفولاذية في حالة

الوصلة الجزئية [2]

3- الوصلات المعدومة: Null Connection

في مرحلة الوصلة المعدومة، قوى القص الطولية بين المواد لا تنتقل نهائياً، بالتالي أصبحت البلاطة المختلطة عبارة عن مجموع عنصرين مستقلين يعملان بدون أي وصلات مشتركة.

فعالياً الصفيحة الفولاذية هي العنصر المقاوم الوحيد، حيث أنّ البيتون لا يستطيع أن يقاوم إجهادات الشدّ ويتشقق بالكامل، بالتالي الانهيار لمعظم تجارب الانعطاف يكون عند بدء مرحلة الوصلة المعدومة بسبب الانفصال الكامل بين البيتون والصفيحة الفولاذية. (الشكل 8).



الشكل 8 : سلوك بلاطة مختلطة مكوّنة من البيتون والصفيحة الفولاذية في حالة الوصلة المعدومة [2]

2. هدف البحث Objectives

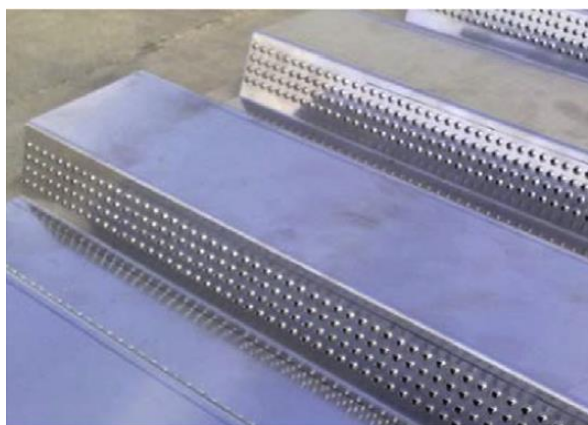
- أجريت دراسات على عينات عشوائية بكثافة منتظمة ومحدّدة للثقوب على كامل جسد الصفيحة مما يتطلّب جهد وإضعاف للكوفراج، لذلك تنصح هذه المقالة بدراسة التوزيع الأمثل اللازم لهذه الثقوب التاجية تحت حالات تحميل ستاتيكية معينة، بحيث نزيد من التفاعلية والانسجام بين البيتون والثقوب ومن مقاومة

المقطع في مرحلة صبّ الخرسانة، من خلال تقليل تركّز الإجهادات في منطقة الثقوب كنتيجة لتقليل عدد الثقوب.

- التحقّق من النموذج العددي من خلال المقارنة مع مقالة تجريبية (Ferrer& Marimon,2018)، وذلك باستعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method ،FEM) وتحليل لا خطّي يأخذ بعين الاعتبار لا خطيّة المادة (Materially Non-linear Analysis ،MNA).

3. مواد وطرق البحث Materials and Methodology

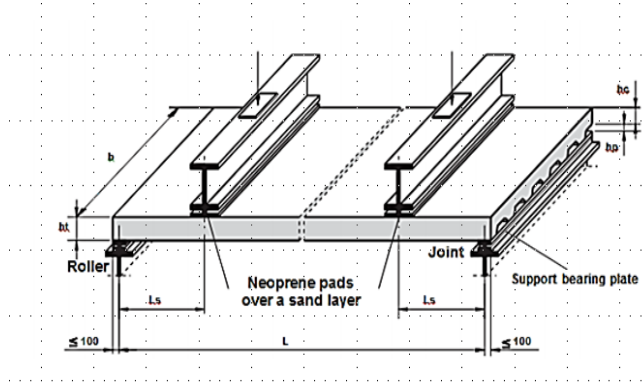
النموذج المدروس ضمن هذه المقالة هو بلاطة مختلطة، تتكوّن من البيتون والصفحة الفولاذية المزوّدة بالثقوب تاجية الشكل بتباعد بينها مقداره 20mm (الشكل 9)، كما تتكوّن البلاطة المختلطة من ثلاث أعصاب.



الشكل 9: الصفائح الفولاذية المزوّدة بالثقوب التاجية الشكل على جسدها [2]

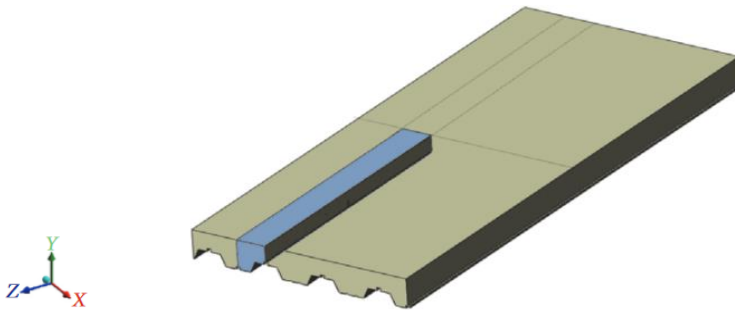
باستعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) والبرنامج (ABAQUS -Ver 6.14.1)، تمّت نمذجة بلاطة مختلطة مكوّنة من قسمين هما البيتون والصفحة الفولاذية المزوّدة بالثقوب أو النتوءات تاجية الشكل (Punches) ،

وذلك تحت تأثير حمولات مركّزة والمدروسة تجريبياً من قبل الباحثين (Ferrer & Marimon, 2018)، والمبيّن في الشكل (10).



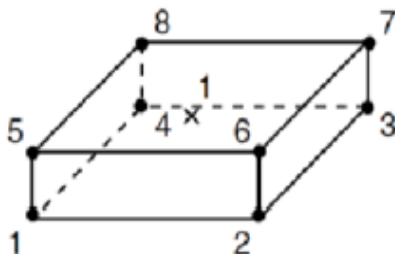
الشكل 10 : بلاطة مختلطة معرّضة لتحميل سناتيكي [2]

عملية نمذجة البلاطات المختلطة بشكل كامل في دراسات سابقة كانت معقدة وبحاجة لوقت طويل للتحليل. قام الباحث [4] (Alvares et al, 2007) ورفاقه كنتيجة لتناظر البلاطة المختلطة بنمذجة ربع عصب من أعصاب البلاطة المختلطة، كما في الشكل (11) ومن ثمّ تعميم النتائج على البلاطة المختلطة بشكل كامل، هذه العملية أبدت دقة عالية في مطابقة النتائج وبساطة في النمذجة وسرعة في التحليل، وهذا تمّ اعتماده في النمذجة الحالية.



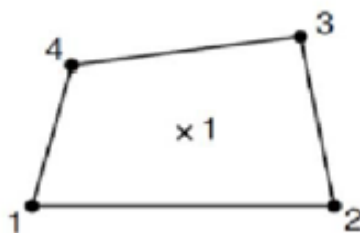
الشكل 11 : ربع عصب من بلاطة مختلطة المستخدم في النمذجة [4]

تم استخدام العنصر C3D8R(Solid element) لنمذجة الجزء البيتوني من البلاطة المختلطة، وهو عنصر صلب ثلاثي الأبعاد ذو ستة وجوه وبثمانية عقد لكل منها ست درجات حرية (ثلاثة انتقالات وثلاثة دورانات)، كما يبين الشكل (12) العنصر المستخدم في (Abaqus 6-14 Documentation, 2014) [7].



الشكل 12 : تمثيل العنصر C3D8R الفراغي ذي ثمانية عقد [7]

تم استخدام العناصر الصفائحية S4R (Shell element) لنمذجة الجزء الفولاذي من البلاطة المختلطة، وهو عنصر مساحي ثنائي البعد ذو أربع عقد، كما يبين الشكل (13) العنصر المستخدم في (Abaqus 6-14 Documentation, 2014) [7].

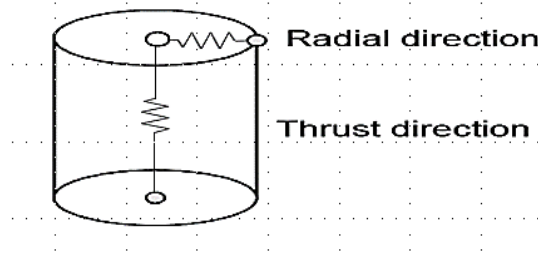


الشكل 13 : تمثيل العنصر الصفائحي S4R ذي أربع عقد [7]

والرمز R للدلالة على تخفيض نقاط غاوس لنقطة واحدة.

تمّ استخدام عناصر اتّصال (Radial-Thrust connector element) من النوع الضغطي-الشعاعي لتشكيل سطح التفاعل بين البيتون والصفحة، كما يبين الشكل (14) العنصر المستخدم في (Abaqus 6-14 Documentation, 2014) [7].

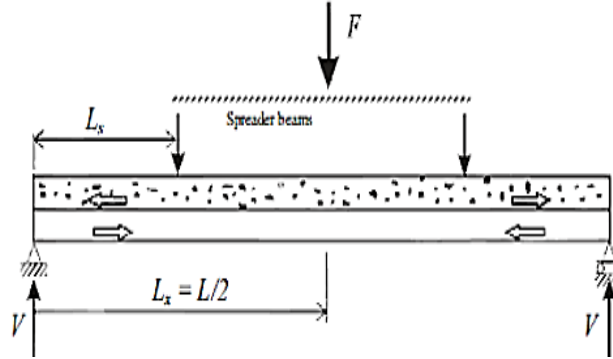
هو عبارة عن عنصر اتّصال يصل بين عقدتين متغير الصلابة باتجاهين، ويتمّ تمثيله بنابضين الأول يملك صلابة طولية، بالتالي يحكم سلوك القصّ بالاتجاه الطولي وهي الخاصية الأكثر الأهمية التي تتحكّم بسلوك البلاطات المختلطة (Radial direction)، والثاني يملك صلابة رأسية تعمل على تحقيق الترابط بين البيتون والصفحة الفولاذية بالاتجاه الرأسي (Thrust direction).



الشكل 14 : عنصر اتّصال من النوع الضغطي-الشعاعي لتمثيل الثقوب [7]

تمّ اعتماد شروط الاستناد للنموذج الممثل لربع عصب في البلاطة المختلطة المدروسة في التجربة (Ferrer & Marimon, 2018)، بحيث يكون متناظراً في المستوي Y-Z في كلا الجانبين بالاتجاه الطولي وفي المستوي X-Y في الطرف المقابل للمسند المتدرج، كما نفّذ المسند المتدرج في الطرف السفلي لنهاية الصفحة الفولاذية.

تمّ تطبيق حمولتين مركّزتين في التجربة المدروسة كما هو مبين في الشكل (15)، بالنسبة للنموذج العددي المعتمد كنتيجة للتناظر في التحميل أيضاً، تمّ تطبيق حمولة مركّزة واحدة تبعد ربع المجاز عن المسند لمتدرج، والتي تمّ تطبيقها في النمذجة عن طريق تطبيق انتقال بمكان وباتجاه الحمل وفق المحور y.



الشكل 15: بلاطة مختلطة معرّضة لعمولتين مركزتين [2]

تمّ استخدام طريقة (Concrete Damage Plasticity–CDP)، وهي إحدى ثلاث طرق تستخدم في برنامج ABAQUS لتعريف سلوك المواد والتي يوصف انهيارها بالمفاجئ أو الهشّ (Brittle)، إلا أنّ طريقة CDP تعتبر أفضل من بقية الطرق في أنّها تلحظ أثر التحميل الدوري (Cyclic loading) بعين الاعتبار، وتناقص مرونة المادّة بسبب التشوّهات اللدنة التي تحدث في المادّة، كما تلحظ هذه الطريقة أثر استرداد القساوة للمادّة الهشّة أو فيما يعرف بظاهرة اتساع وانغلاق الشقّ عند عملية الانتقال من الضغط إلى الشدّ أو من الشدّ إلى الضغط على التوالي عند أخذ حمولات دورية.

لتوصيف مادة البيتون في النموذج العددي ليحاكي الدراسة التجريبية المعتمدة (Ferrer & Marimon, 2018) [2]، حيث بلغت المقاومة المميزة على الضغط للبيتون 39Mpa، لا بدّ من تعريف علاقة إجهاد-تشوّه للمادّة أولاً، وبغياب المعلومات التجريبية تمّ الحصول على سلوك البيتون على الضغط بالاعتماد على المواصفة الأوروبية المخصّصة للبيتون العادي (Eurocode 2, 2004) [6]، حيث يسلك البيتون بدايةً سلوكاً مرناً ويتمّ تحديد حد المرونة كنسبة من المقاومة المتوسطة على الضغط للبيتون $(0.4F_{cm})$. عند هذا الحد تبدأ التشقّقات الدقيقة بالتشكّل ثمّ تأخذ العلاقة شكلاً لا مرناً حتّى الوصول للإجهاد الأعظمي الذي تتحمّله المادّة والذي يقابله التشوّه النسبي ϵ_{C1} . بعد هذه المرحلة تبدأ

مقاومة المادّة بالتناقص تدريجياً بسبب اتساع التشقّقات واتّصالها فيما بينها حتّى الوصول للانهيّار الكامل للمادّة عند التشوّه النسبي الحدّي للبيتون ϵ_{cu1} . بالتالي نجد العلاقة بين الإجهاد-التشوّه للبيتون حيث مجال التشوهات ($0 < \epsilon_c < \epsilon_{cu}$) حسب الكود الأوروبي [6] :

$$\sigma_c = f_{cm} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}$$
$$k = 1.05 E_{cm} \frac{\epsilon_{c1}}{f_{cm}}, \quad \eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}$$

F_{cm} : المقاومة المتوسطة على الضغط للبيتون بعد 28-يوم بشروط الحفظ النظامية وتقدر ب Mpa

F_{ck} : المقاومة المميزة على الضغط للبيتون عند عمر 28-يوم وتقدر ب Mpa، ووفقاً للكود الأوروبي [6] نجد العلاقة بينهما تعطى كما يلي:

$$F_{cm} = f_{ck} + 8$$

ولتحليل منحنى إجهاد-تشوّه يجب معرفة المقاومة المميزة على الضغط للبيتون والمساوية ل $f_{ck} = 39$ Mpa [1] ومعامل المرونة الطولي للبيتون E_{cm} .

E_{cm} : ميل الخط القاطع الواصل بين مبدأ الاحداثيات والنقطة على منحنى إجهاد-تشوّه الموافقة لإجهاد مساو ل $(0.4f_{cm})$ والذي يحدّد حسب الكود الأوروبي [6] من العلاقة الآتية:

$$E_{cm} = 22 * ((0.1 * f_{cm}) ^{0.3})$$

حيث تقدر f_{cm} ب Mpa و E_{cm} ب GPA، يحسب معامل المرونة الطولي للبيتون في الدراسة الحالية $E_{cm} = 34998.7$ Mpa

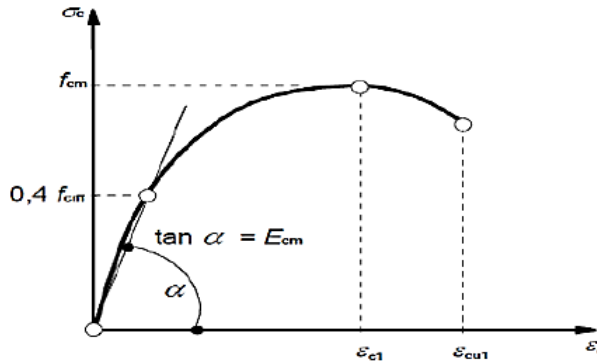
U : معامل بواسون يأخذ القيمة 0,2 حسب الكود الأوروبي (Eurocode 2, 2004).

K : في بعض المراجع يؤخذ كنسبة بين القساوة الابتدائية للبيتون E_{cm} والقساوة عند الإجهاد الأقصى E_{C1} .

ϵ_{C1} : التشوه النسبي عند الإجهاد الأقصى يحدّد ببعض المراجع بالقيمة 0.0022

ϵ_{CU1} : التشوه النسبي الأعظمي عند الانتهاء ويحدّد ب 0.0035

بالتالي تصبح علاقة الإجهاد - تشوه للبيتون على الضغط كما هو مبين بالشكل (16).



الشكل 16 : علاقة الإجهاد - تشوه للبيتون على الضغط [6]

في حالة الشد، سيتم الاعتماد على منحنى خطي لعلاقة إجهاد - تشوه للبيتون المبين في الشكل (17)، بالاعتماد على مقالة مرجعية (KMIECIK & KAMINSKI_2011) [8] والتي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\sigma_t = f_{cm} \left(\frac{\epsilon_{cr}}{\epsilon_t} \right)^n \quad \text{if } \epsilon_t > \epsilon_{cr},$$

n=0.5 حسب المرجع (KMIECIK & KAMINSKI_2011) [8].

يبدأ سلوك البيتون بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى إجهاد الانتهاء الأعظمي على الشد والمقابل للتشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد ϵ_{cr} الذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{Cr} = \frac{F_{ctm}}{E_0}$$

Fctm: المقاومة الأعظمية على الشدّ حسب الكود الأوروبي.

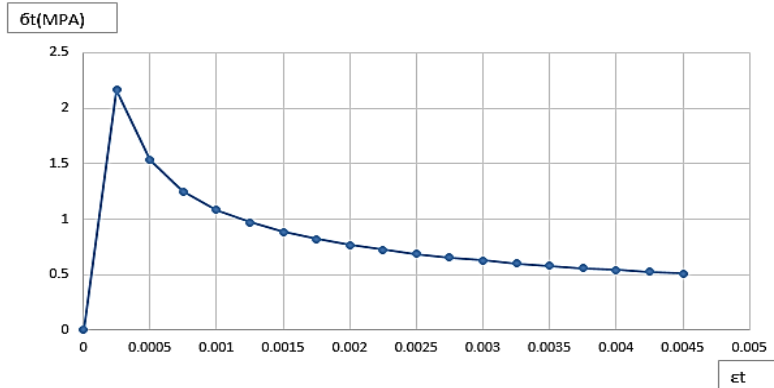
E0: معامل المرونة الابتدائي للمادة غير المتشققة.

والموافق لتشكّل أول شقّ دقيق في البيتون، بعدها يتوالى تشكّل الشقوق واتساعها وتتصل مع بعضها مترافقة مع انحدار في علاقة إجهاد-تشوّه وتسمّى هذه المرحلة مرحلة البيتون المتشقّق أو مرحلة تصلّب الشدّ (Tension stiffening).

مصطلح تشوّه التشقّق يستخدم في نموذج CDP، والهدف هو الأخذ بالحسبان ظاهرة تصلّب الشدّ (tension stiffening).

البيتون تحت الشدّ لا يعتبر جسماً مرناً بالتالي أي ظاهرة مثل تشابك الحصىات في الشق والتصاق البيتون والفولاذ بين الشقوق تؤخذ بالحسبان.

التشوّه بعد التشقّق ε_f^{ck} يحدّد كالفرق بين التشوّهات الكلية والتشوّه المرن للمادة غير المتضرّرة، وهو من المعطيات الأساسية لنمذجة مرحلة تصلّب الشدّ والتي تعطى بالعلاقة:



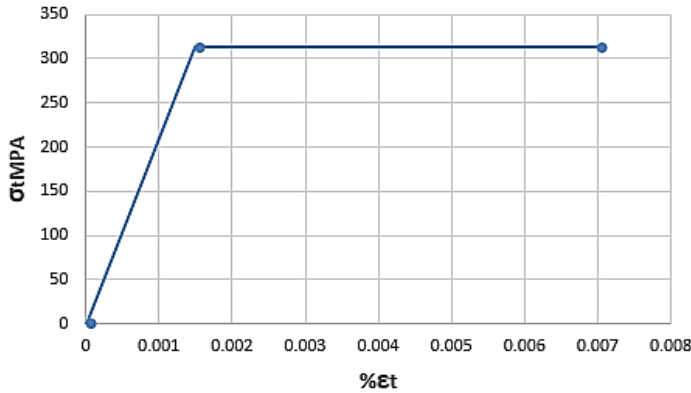
$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon t - \frac{\sigma t}{E0}$$

الشكل 17 : علاقة الإجهاد -التشوه النسبي لسلوك الببتون على الشد [6]

ينمذج الفولاذ كمادة مرنة لدنة تماماً الشكل (18)، حيث يبدأ سلوك الفولاذ مرناً خطياً حتى الوصول الى إجهاد الخضوع f_y ويساوي 313 MPa الذي يرافقه التشوه النسبي عند الخضوع ε_y وبحسب من العلاقة الآتية:

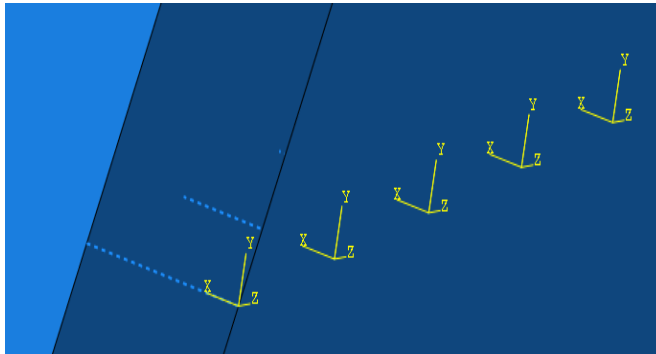
$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

E_s : معامل مرونة الحديد ويساوي 200 GPa، بعدها تم فرض سلوك الفولاذ لدناً مثالياً .Perfectly Plastic



الشكل 18 : مخطط الإجهاد - التشوه النسبي لفلواذ الصفيحة الفولاذية المعتمد في النمذجة

تمت الاستعانة ببرمجة (Python) لتنزيل المحاور عند العقد المتشكلة على كل من البيتون والصفيحة الفولاذية وذلك عند تقسيمها لعناصر محدودة، ومن ثم إنزال عناصر الاتصال التي تمثل الثقوب بين كل عقدتين، بحيث تقع إحداها على البيتون والثانية على الصفيحة الفولاذية، كما هو مبين في الشكلين (19) و (20).

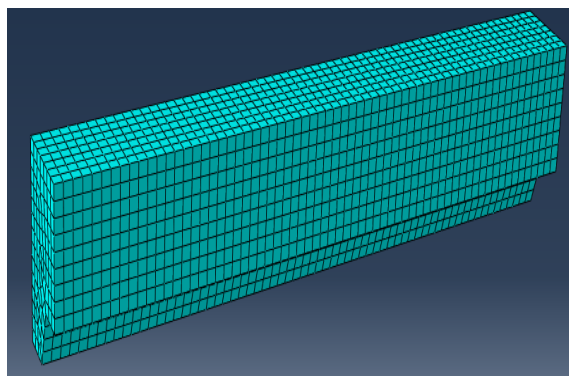


الشكل 19 : تشكيل المحاور عند العقد [7]



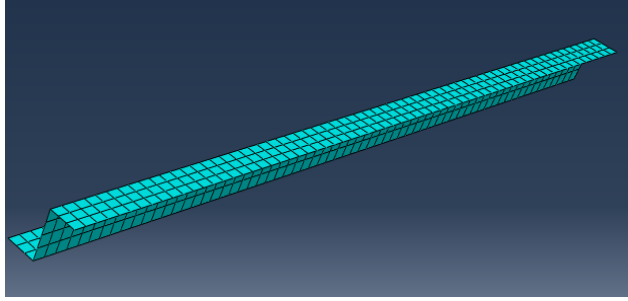
الشكل 20 : تشكيل عناصر الاتصال [7]

بما أنّ طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عددية (Numerical Method)، تمّ تقسيم كل من البيتون والفولاذ لعناصر محدودة ب حجم 20mm كما في الشكلين (21) و(22)، بحيث يستفاد من هذا التقسيم في تشكيل العقد والتي سيتم إنزال عناصر الاتصال فيما بينها.



الشكل 21 : النموذج الفراغي المدروس ويظهر عليه تقسيم ربع عصب من الجزء

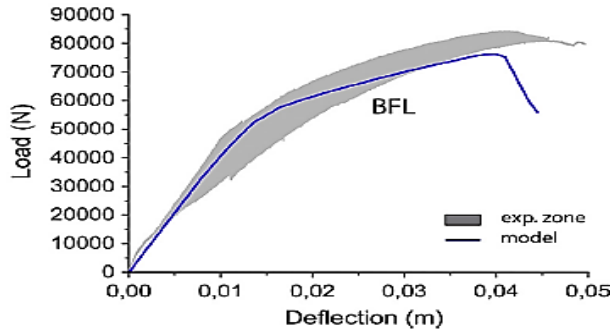
البيتوني للبلابة المختلطة [7]



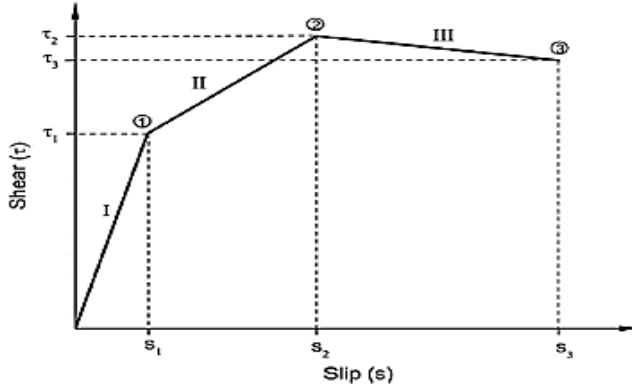
الشكل 22 : النموذج الفراغي المدروس ويظهر عليه تقسيم ربع عصب من الصفيحة الفولاذية للبلاطة المختلطة [7]

إنّ سلوك البلاطة المختلطة بالاتجاه الطولي من حيث شكل علاقة إجهاد القصّ-انزلاق لعنصر الاتّصال مشابه لشكل العلاقة بين القوّة-انتقال التجريبي تقريباً. (Martinez [5] etal, 2017)

حيث تمرّ البلاطة المختلطة بثلاثة أقسام خطية، القسم الأول يوافق اتّصلاً تاماً بين الصفيحة الفولاذية والبيتون وهذا يقابل درجة قصّ مساوية للواحد، والقسم الثاني يوافق اتّصلاً جزئياً ويقابل درجة قصّ بين الصفر والواحد، بينما القسم الأخير يعبر عن شكل الانهيار بعد الذروة فقط، بالتالي القسمان الأول والثاني هما المهمان في تحديد سلوك القصّ لعنصر الاتّصال، كما في الشكلين (23) و(24).

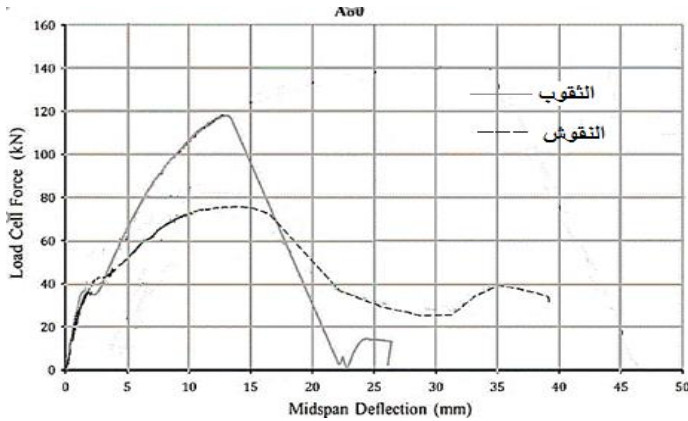


الشكل 23 : العلاقة بين القوة (المحور الشاقولي) والانتقال بمنتصف المجاز (المحور الأفقي) [5]

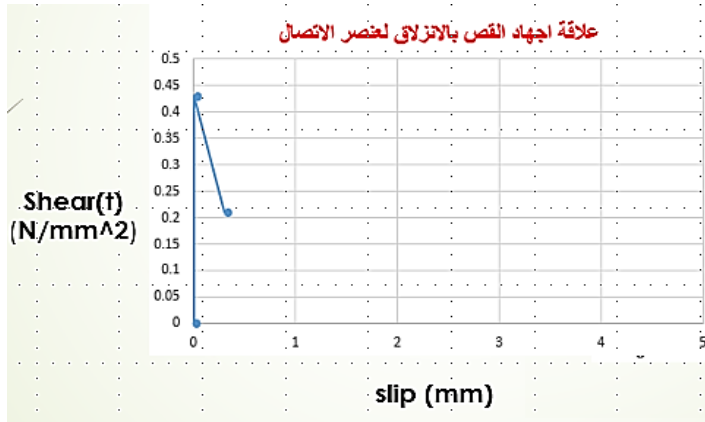


الشكل 24 : علاقة إجهاد القص-انزلاق لعنصر الاتّصال [5]

نجد البلاطة المختلطة المدروسة من حيث النتائج التجريبية تشكّل اتّصلاً تاماً حتى يحدث الانهيار عند الذروة كنتيجة لانزلاق طولي مفاجئ، بالتالي نجد علاقة إجهاد القص لعنصر الاتّصال المدروس مرّت بقسمين هما الاتّصال التام والانهيار، أي سلوك القصّ كان تقريباً خطياً حتى الانهيار، وهذا يتوافق مع شكل العلاقة بين القوّة-انتقال للعينة المدروسة، كما في الشكلين (25) و(26).



الشكل 25 : علاقة قوّة-انتقال [2]



الشكل 26 : علاقة إجهاد القص-انزلاق لعنصر الاتّصال

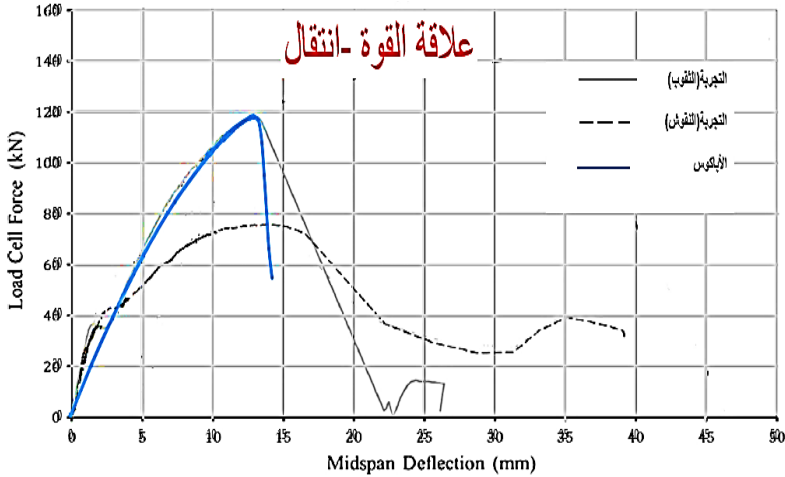
نستنتج ممّا سبق أنّ سلوك عنصر الاتّصال بالاتجاهين الرأسي والطولي هو سلوك خطّي حتى الانهيار، وكنتيجة لعدم وجود دراسة تجريبية لسلوك الثقب، حيث أنّ الدراسة المعتمدة حديثة وتمّت عملية التنقيب بشكل عشوائي لجسد الصفيحة، اعتمد في الدراسة الحالية على بيانات تجريبية للحصول على قيمتي الصلابة المرنة الخطيّة بالاتجاهين الممثلة لسلوك عنصر الاتّصال، بحيث تؤدّي لتطابق كبير مع نتائج العينة المدروسة لعلاقة قوّة-انتقال التجريبية.

تمّت عملية تشكيل الثقوب في منطقة الجسد للصفحة الفولاذية، بالتالي هذا يؤدّي لإضعاف هذه المنطقة وهذا يعني انخفاضاً بقيمة إجهاد السيلان في النمذجة.

تبيّن وفقاً لدراسات تجريبية أنّ معامل تخفيض قيمة إجهاد السيلان الذي يؤدّي لنتائج عديدة مطابقة للتجربة، يكون تقريباً نصف القيمة المعتمدة للمناطق دون نقوش $M=0.5$ ، أو يبلغ القيمة $M=0.47$ ، وبكل الأحوال يتم تحديد هذه القيمة عن طريق التجريب حتى تتطابق النتائج (Ríos et al, 2017) [5]. ضمن هذه النمذجة وجد أنّ القيمة $M=0.47$ تؤدّي لضبط النموذج.

4. النتائج ومناقشتها Results and Discussion

يبين الشكل (27) مقارنة الدراسة الحالية مع الدراسة التجريبية من حيث العلاقة بين القوة (المحور الشاقولي) والانتقال بمنتصف المجاز (المحور الأفقي)، (Ferrer & Marimon, 2018) [2] ، والتي تم الحصول فيها على قيمة عظمى مقدارها 118.08kN وهي قريبة جداً من القيمة التي أعطتها الدراسة الحالية، بالتالي تم الحصول على توافق كبير بين الدراسة التجريبية والتحليلية حتى نقطة الانهيار، يمكن أن يرجع ذلك إلى الاتصال التام الحاصل بين البيتون والصفحة الفولاذية، حيث يتقارب السلوك العملي (التجريبي) تقريباً مع السلوك النظري، الذي يفترض السلوك المرن الخطي حتى الوصول للمقاومة الحدية الأعظمية، والتراخي القصي أثناء التحميل وحتى بلوغ الحمولة العظمى مهملاً، ثم حدث انزلاق طولي مفاجئ للصفحة الفولاذية، بالتالي الانهيار حدث على الانعطاف والقص معاً.



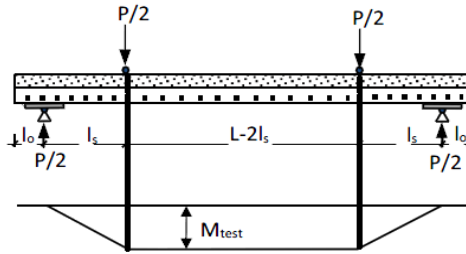
الشكل 27 : علاقة (القوة - انتقال) للبلطة المدروسة في الدراسة التجريبية [2]

والدراسة التحليلية

دراسة أثر تغيير كثافة الثقوب على سلوك البلاطة المختلطة:

The effect of change the density of crowns shaped punches UPC
on composite slab capacity

تمت زيادة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل مع تثبيت المسافة بين الثقوب من نقطة المسند حتى نقطة تطبيق كلا الحملين للقيمة (20mm) الشكل (28).

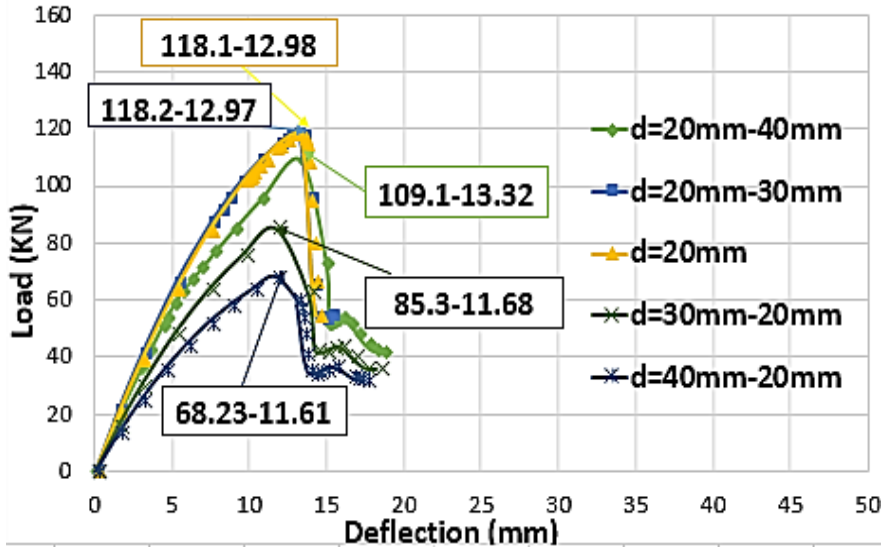


الشكل 28 : مخطط العزم في حال تطبيق حملتين مركّزتين

بيّن الشكل (29) علاقة القوة - الانتقال والتي تمّ الحصول عليها نتيجة هذه التعديلات على النموذج. تمّ الاستنتاج بأنّ زيادة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل حتى (30mm) لا تؤثر على سلوك البلاطة المختلطة، بينما زيادة المسافة حتى (40mm) يؤدي لانخفاض قوة التحمل بمقدار 8% (109.1 KN)، بالتالي الكثافة المثالية للحالة المدروسة هي (20mm) من نقطة المسند حتى نقطة تطبيق كلا الحملين و (30mm) بين نقطتي تطبيق الحمل.

نجد عند زيادة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل يوجد ثبات في مخطط العزم، بالتالي القصّ الطولي أصغري (مهمل)، ودور الثقوب التاجية يقتصر على ضبط العمل المشترك بين الصفيحة الفولاذية والبيتون وربطهما.

للتحقّق مما سبق تمّت زيادة المسافة بين الثقوب من نقطة المسند حتى نقطة تطبيق كلا الحملين مع تثبيت المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل للقيمة (20mm)، ممّا يؤدّي إلى انخفاض قدرة التحمّل عند المسافة (30mm) بمقدار 28% (85.3 KN) للقوّة وبمقدار 10% (11.6 mm) للانتقال وحصل تراخي قصّي، بالتالي حدث الانهيار نتيجة القصّ الطولي، كذلك عند المسافة (40mm) حصل انخفاض بمقدار (68.2 KN) 43% للقوّة وبمقدار 10% (11.6 mm) للانتقال، وحصل تراخي قصّي، بالتالي حدث الانهيار نتيجة القصّ الطولي.



الشكل 29 : علاقة القوّة المطبّقة - الانتقال تحت تأثير تغيير كثافة الثقوب

d : يرمز للمسافة بين الثقوب

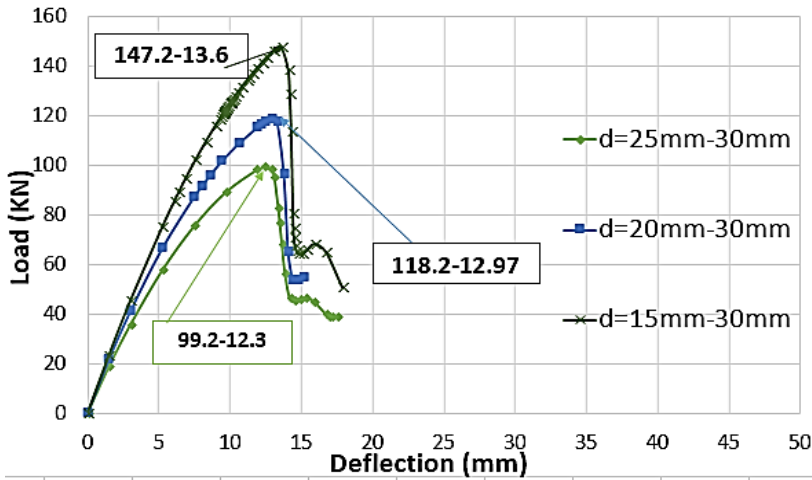
الرقم الأول: قيمة المسافة بين الثقوب من نقطة تطبيق الحمل إلى المسند

الرقم الثاني: قيمة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل

كما بيّن الشكل (30) علاقة القوّة - الانتقال التي تمّ الحصول عليها نتيجة تثبيت المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل للقيمة (30mm)، بينما تمّت زيادة المسافة

بين الثقوب من نقطة تطبيق الحمل إلى المسند في الحالة الأولى إلى (25mm)، بهذه الحالة لوحظ انخفاض قوة التحمل بمقدار 16% (99.2 KN) والانتقال بمقدار 5% (12.3 mm) ولا يوجد تراخي قصي أثناء التحميل وحتى بلوغ الحمولة العظمى، ثم حدث انزلاق طولي مفاجئ للصفحة الفولاذية، بالتالي الانهيار حدث على الانعطاف والقص معاً.

بينما في الحالة الثانية خفّضنا المسافة إلى (15mm)، بهذه الحالة لوحظ ارتفاع قوة التحمل بمقدار يصل 25% (147.2 KN) والانتقال بمقدار 5% (13.6 mm)، ولا يوجد تراخي قصي أثناء التحميل وحتى بلوغ الحمولة العظمى، ثم حدث انزلاق طولي مفاجئ للصفحة الفولاذية، بالتالي حدث الانهيار على الانعطاف والقص معاً.



الشكل 30 : علاقة القوة المطبقة - الانتقال تحت تأثير تغيير كثافة الثقوب

d : يرمز للمسافة بين الثقوب

الرقم الأول: قيمة المسافة بين الثقوب من نقطة تطبيق الحمل إلى المسند

الرقم الثاني: قيمة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل

5. الاستنتاجات والتوصيات Conclusions and Recommendations

تمت في هذه المقالة دراسة تصريف بلاطة مختلطة مكونة من الجزء البيتوني والصفحة الفولاذية، والذان يتصلان بدورهما من خلال ثقوب تاجية الشكل تحت تأثير أحمال شاقولية مركزة، حيث تمت الدراسة باستخدام طريقة العناصر المحدودة، مع أخذ لا خطية المادة بعين الاعتبار، كما تم في هذه المقالة نمذجة ربع عصب من أعصاب البلاطة المختلطة، ومن ثم تعميم النتائج على البلاطة المختلطة بشكل كامل، هذه العملية أبدت دقة عالية في مطابقة النتائج وبساطة في النمذجة وسرعة في التحليل.

تم دراسة أثر تغيير كثافة الثقوب على تصريف البلاطة المختلطة من حيث المقاومة والانتقال وشكل الانهيار. نبين فيما يلي النتائج التي تم التوصل إليها في نهاية المقالة:

- تنهار البلاطات المختلطة المكونة من الجزء البيتوني والصفحة الفولاذية المزودة بالثقوب التقليدية عادةً على القص الطولي، ولكن مع استبدال الثقوب التقليدية بالثقوب تاجية الشكل أصبح انهيار البلاطات المختلطة على الانعطاف أو الانعطاف والقص معاً.
- عندما كانت المسافة بين الثقوب ثابتة على كامل مجاز البلاطة، استطعنا زيادة المسافة بين الثقوب بين نقطتي تطبيق الحمل، أي إمكانية تقليل كثافة الثقوب في المنطقة بين القوتين بنسبة (33%) حيث القص الطولي مهمل، مع المحافظة على نفس السلوك للبلاطة المختلطة، بالتالي التقليل من كمية الإضعاف الحاصل في الصفحة الفولاذية كنتيجة لتقليل كمية الثقوب.
- زيادة كثافة الثقوب من نقطة تطبيق الحمل إلى المسند بنسبة (33%) يحدث ارتفاع في مقاومة البلاطة المختلطة بنسبة (25%)، وتخفيض كثافة الثقوب من نقطة تطبيق الحمل إلى المسند بنسبة (20%) يحدث انخفاض في مقاومة البلاطة المختلطة بنسبة (16%)، وهذا يتوافق مع السلوك الفعلي للبلاطة

المختلطة، حيث يوجد قوى قصّ طولي في هذه المنطقة، بالتالي تقليل كثافة الثقوب يمنع من مقاومة قوى القصّ الطولي وزيادتها يزيد من ذلك.

المقترحات والتوصيات

- دراسة أثر العلاقة بين سماكة الصفيحة الفولاذية وكثافة الثقوب على سلوك البلاطة المختلطة.
- دراسة أثر التحميل الديناميكي.
- دراسة أثر ارتفاع الصفيحة الفولاذية على سلوك البلاطة المختلطة.
- دراسة أثر المقاومة المميزة للبيتون على سلوك البلاطة المختلطة.

6. المراجع References

1. Bridge, R. Q., & Patrick, M. 2002 – Innovations in composite slabs incorporating profiled steel sheeting. ***Advances in Building Technology***, Vol. 1, 191-198.
2. Ferrer, M., Marimon, F., & Casafont, M. 2018 – An experimental investigation of a new perfect bond technology for composite slabs, ***Construction and Building Materials***, Vol. 166, 618–633.
3. Eurocode 4, 2004 – ***Design of composite steel and concrete structures: Part 1.1 General rules and rules for buildings***. European Committee for Standardization (CEN), 118p.
4. Álvarez Rabanal, F. P., Guerrero–Muñoz, J., Alonso–Martinez, M., & Martinez–Martinez, J. E. 2016 – Bending and shear experimental tests and numerical analysis of composite slabs made up of lightweight concrete. ***Journal of Engineering***, Vol. 2016, 10p.
5. Ríos, J. D., Cifuentes, H., Martínez–De La Concha, A., & Medina–Reguera, F. 2017 – Numerical modelling of the shear–bond behavior of composite slabs in four and six–point bending tests. ***Engineering Structures***, Vol. 133, 91–104.
6. Eurocode 2, 2004 – ***Design of concrete structures: Part 1.1 General rules and rules for buildings***. European Committee for Standardization (CEN), 270p.
7. ABAQUS, Version 6.14, 2014 – ***ABAQUS/Standard User's Manual, ABAQUS Inc.***, USA, 281p.
8. Kmiecik, P., & Kamiński, M. 2011 – Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, ***Archives of civil and mechanical engineering***, Vol. 11, No. 3, 623–636.

دراسة تحليلية لسلوك الترب الغضارية المنفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص

* الدكتور علي العبدلله

** الدكتور محمد تقلا

*** دارين أحمد

المخلص

يتضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية للتربة الغضارية المنفخة المعرضة لدورات متعددة من الترتيب والتجفيف. من أجل ذلك، تم اقتراح موديل عددي مناسب يعتمد على نمذجة كل من وسط الانتشار (التربة) وإدخاله في برنامج Plaxis2020 حيث تم تصميم نموذج لعينة التربة المستخدمة في جهاز الأدومتر وطبق عليها دورات متعددة من الترتيب والتجفيف، وتم تحقيق الموديل المقترح على نتائج قياسات حقلية حصلنا عليها بنتيجة تطبيق التجربة وتطبيق دورات الترتيب والتجفيف عليها ووجد تقارباً جيداً بين القياسات والنتائج المستنتجة من المودل المقترح، وهو مودل برشلونة للترب المنفخة (BBM). تسمح نتائج البحث بالتنبؤ بالتغيرات الحجمية للتربة المنفخة وعدد الدورات اللازمة للوصول لمرحلة الاستقرار قبل البدء عملياً بالبناء على التربة وبالتالي تقدير الآثار المحتملة على المنشآت المجاورة واتخاذ التدابير اللازمة عند الضرورة، وبذلك نستطيع أن نستفيد من هذه النتائج في الحفاظ على سلامة المباني المنشأة على التربة المنفخة.

* مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

** مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

*** طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

الكلمات المفتاحية :

التربة المنتفخة، الآدومتر، دورات التجفيف والترطيب، مودل برشلونة .

Analytical study of the clay expansive soil which exposed of several cycles of shrinkage and swelling

Dr. ALI AL Alabdeh*

Dr. MuhammadTakla**

Darine Ahmad***

□ ABSTRACT □

This paper includes an analytical and numerical study of swollen soils subjected to multiple cycles of swelling and shrinkage. This research includes a numerical study by the finite element method of the clumpy clay soil subjected to multiple cycles of

* Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering , Faculty of civil Engineering , ALbath University, Homs, Syria.

** Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, Homs, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, , Homs, Syria.

wetting and drying. For this purpose, an appropriate numerical model was proposed based on modeling of the spreading medium (soil) and its introduction into the Plaxis2020 program, where a model was designed for the soil sample used in the hydrometer and applied multiple cycles of wetting and drying, and the proposed model was achieved on the results of field measurements obtained. On it, as a result of applying the experiment, applying the cycles of moisturizing and drying it, and he found a good convergence between the measurements and the results obtained from the proposed model, which is the Barcelona model for swollen soils (BBM). The results of the research allow to predict the volumetric changes of the swollen soil and the number of cycles required to reach the stage of stability before practically starting building on the soil, thus estimating the potential effects on neighboring facilities and taking the necessary measures when necessary, and thus we can benefit from these results in maintaining the integrity of the buildings established on the swollen soil.

ey words: Swollen soils, oedometer, drying and shrinking cycles, model Barcelona.

1- مقدمة

إن دراسة التربة المنتفخة تعتبر من أكثر المواضيع تحدياً وذلك نتيجة الأضرار التي يسببها انتفاخ وتقلص التربة مع تعرضها للعوامل الجوية المختلفة من ترطيب وتجفيف ، والعوامل البيئية كالتبخر .

و التربة المنتفخة تغطي مساحة واسعة في العالم مثل الصين ،كندا ،الولايات المتحدة الأمريكية ،إسبانيا، وتغطي حوالي 10% من مساحة سوريا ، فعندما تتعرض هذه التربة لتغيرات مناخية بين الترطيب والتجفيف خلال الصيف والشتاء وتغير حجمي يؤدي إلى تشوهات في التربة تكون على شكل هبوط في التربة نتيجة جفافها ،أو على شكل انتفاخ نتيجة امتصاصها للماء وزيادة

رطوبتها . وانتفاخ التربة يؤدي إلى تصدعات وانهيارات إنشائية تتضمن انتفاخ في الأرصفة وتشققات في الأسوار والجسور الأرضية المسلحة وتشوهات في البلاطات الأرضية وهياكل الأبواب وقد تكون هذه التشوهات خفيفة أو متوسطة أو كبيرة حسب مقدار الانتفاخ كما في الشكل [1] .

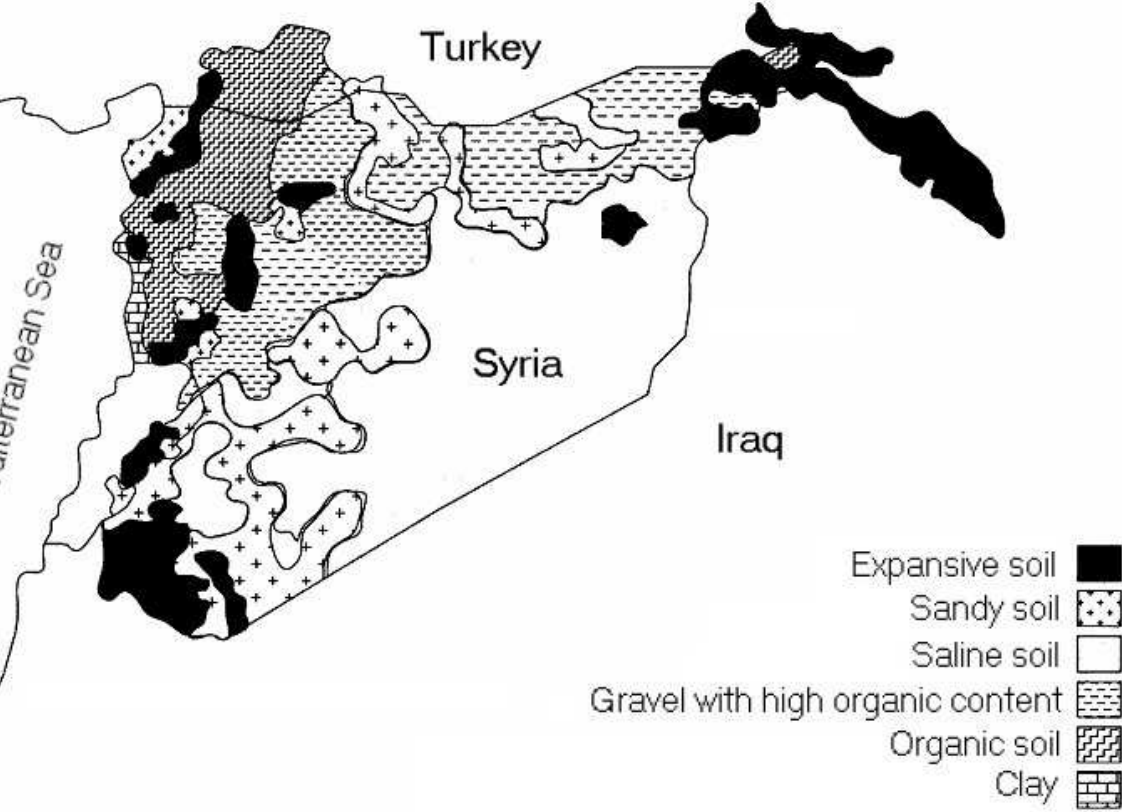
كذلك الأساسات في التربة المنتفخة وبسبب الترطيب الدوري والتجفيف الناجم عن التغيرات الموسمية في مستوى المياه الجوفية قد تحدث فيها تشققات كثيرة تؤدي لتدمير المباني والهياكل . كذلك تشوهات الانتفاخ والتقلص أثناء عمليات الترطيب والتجفيف الدورية التي تحدث بشكل دوري بسبب هطول الأمطار والتبخر في منحدر التربة المنتفخة ، مما يؤدي إلى تدهور مقاومة التربة حتى انهيار المنحدر.

من هنا تأتي أهمية دراسة سلوك تغيير الحجم للترب المنتفخة الناجم عن دورات الجفاف والترطيب بما في ذلك تطوير النماذج التأسيسية لتشوهات الانتفاخ-التقلص وهي حاجة ملحة (1).



الشكل [1] بعض الآثار السلبية للتربة المنتفخة

يبين الشكل [2] توزيع التربة القابلة للانتفاخ في سورية حيث تنحصر في المناطق الشرقية (الجافة) والوسطى ، وتكثر التربة القابلة للانتفاخ في المناطق التي تزيد فيها كمية التبخر السنوية عن كمية هطول الأمطار (2).



الشكل [2] توزيع التربة المنتفخة في سورية.

ويعود سلوك التربة المنتفخة للأسباب التالية :

1. العوامل الداخلية:

ويقصد بها خواص التربة الهندسية وتشمل محتوى الماء الطبيعي، والكثافة الجافة الأولية، ومحتوى الغضار، والتركيب المعدني للتربة، ونوع معادن الغضار، وحدود أتريغ (خاصة حد السيولة وحد اللدونة)، ونفاذية التربة، حيث أن التربة الجافة تمتص الماء أكثر من التربة الرطبة

وبالتالي تنتفخ أكثر . وكلما زادت الكثافة الجافة الأولية للتربة زاد الانتفاخ عند تعرضها للماء . والتربة المحتوية على معدن المونتموريلونايت تنتفخ أكثر من التربة المحتوية على غضار الكالونيت والإيليت وذلك لضعف الترابط بين جزيئات غضار المونتموريلونايت حيث يتمكن الماء من الدخول بينها ويتسبب في تباعدها وبالتالي في زيادة حجمها وانتفاخها .

2-العوامل الخارجية:

وتشمل العوامل الحقلية والعوامل المعملية . حيث تشمل العوامل الحقلية الأحوال المناخية (الرطوبة والحرارة)، وسمك طبقة التربة القابلة للانتفاخ والعمق التي توجد عليه، ونوعية المباني ومدة تطبيق الأحمال على التربة، وتاريخ التربة وما تعرضت له في الماضي من رطوبة وجفاف وأحمال، ومنسوب المياه الجوفية ، وكذلك فإن طريقة الدمك ونوعية العينات (مخرية أو سليمة) وحجمها تؤثر على مقدار الانتفاخ المقاس في المخبر ، حيث أنه كلما كانت تقلبات المناخ (رطوبة وجفاف) كبيرة كلما زادت قابلية التربة للانتفاخ ، كما أنه كلما زاد سمك طبقات التربة القابلة للانتفاخ وقربها من منطقة التأسيس للمباني كلما زاد خطر احتمال الانتفاخ ، وتعرض المباني الخفيفة والأسوار والأرصعة للضرر أكثر من المنشآت الضخمة الثقيلة الوزن . كما تعتبر المياه الجوفية مصدرًا للرطوبة وامتصاص الماء ، وكلما زاد تخريب عينات التربة كلما زاد مقدار الانتفاخ المقاس في المخبر .

2-مشكلة البحث وأهميته

التربة المنتفخة نوع خاص من التربة اللدنة حيث تظهر تشوهات انكماشية وانتفاخية كبيرة مع تغير رطوبة التربة ، وتنتشر هذه التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة ، وبقيت مسألة الدراسة العددية لهذه التربة مسألة محيرة للعلماء .

للتوصل إلى حل مقبول لهذه المشكلة لابد من إجراء تحليل يعتمد على المزاوجة بين السلوك الميكانيكي للترب مع جريان الماء فيها وتغييرات ضغط ماء المسام يضاف لذلك استخدام نموذج لسلوكية التربة يأخذ بالاعتبار انتفاخ وانكماش التربة، توفر طريقة

العناصر المنتهية هذه الإمكانية التي تؤدي في النهاية إلى نموذج أكثر أماناً ودقة واقتصادية .

للتوصل لحل هذه المسألة يتم تحديد تغيرات امتصاص التربة أو ما يعرف بضغط ماء المسام السالب مع الزمن عن طريق حل مسألة جريان الماء غير المشبع بعدها يتم استخدام قيم الامتصاص الناتجة في حل المسألة الميكانيكية لتحديد الانتفاخ والتقلص . وبالإضافة للدراسات التجريبية فأن الدراسة التحليلية ضرورية لتحليل سلوك التربة وتوقع سلوكها ، لاشك أن نموذج برشلونة Basic Model Barchelona يمثل أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا في النمذجة المرنة للتربة غير المشبعة .

لذلك فإن أهمية هذا البحث تأتي من قلة الدراسات التحليلية والعديدية المفصلة لمنع وإبعاد احتمالية حدوث الانتفاخ في التربة الغضارية المنتفخة بأقل تكلفة ممكنة. إن فكرة البحث هي عبارة عن استخدام مودل عددي للترب الانتفاخية وهو مودل (BBM) من أجل دراسة السلوك الميكانيكي للترب غير المشبعة الانتفاخية ، حيث يتم تطبيق سلسلة من دورات الترطيب والتجفيف ودراسة التغيرات الحجمية للتربة .

-الإجراءات المتبعة لمواجهة سلوك التربة المنتفخة:

١. استبدال التربة القابلة للانتفاخ بتربة جيدة، وذلك عندما تكون التربة القابلة للانتفاخ قريبة من سطح الأرض وذات سمك قليل حيث يمكن استبدالها بتربة أفضل منها ويتم رص التربة الجديدة جيداً.

٢. تغيير طبيعة التربة القابلة للانتفاخ وخواصها الهندسية، ويتم ذلك بعدة طرق من أهمها:

الرص المنتظم لطبقات التربة Compaction .

منع تسرب المياه للتربة القابلة للانتفاخ المقام عليها المنشأة وذلك باستخدام عوازل للرطوبة مثل بعض الألواح المعدنية أو الحواجز المائية لتقليل تسرب الماء للتربة وبالتالي

تقليل مقدار الانتفاخ , وقد تكون هذه العوازل أفقية لمنع تسرب المياه من سطح الأرض، أو تكون عمودية تحيط بالمنشأة وتمنع تسرب المياه بشكل أفقي.

وذلك بضح Chemical Stabilization. معالجة التربة القابلة للانتفاخ كيميائياً المثبتات الكيميائية مثل الجير أو الأسمت بين فراغات التربة حيث تساعد على تقليل حد السيولة ومعيار اللدونة وبالتالي تقليل مقدار الانتفاخ.

٣. تقوية المنشآت وذلك بتصميم عناصر المنشأ من بلاطات، وجدران، وأعمدة، وأساسات لتتحمل الانتفاخ والضغط الناتج عنه. كأساسات للمبنى بحيث تنقل الأحمال خلال التربة القابلة للانتفاخ Piles. استخدام الركائز إلى التربة غير المنتفخة التي تركز عليها هذه الركائز .

٥. عمل نظام تصريف للمياه في الموقع بعيد عن المنشآت بحيث يمنع تجمع المياه وبالتالي تسربها للتربة القابلة للانتفاخ.

3-الهدف من البحث :

أغلب الدراسات المتعلقة بالترب المنتفخة ركزت على معالجة الآثار السلبية على المنشآت والأساسات ، في حين أهملت دراسة تجنب حدوث الآثار السلبية لتغيراتها الحجمية. لذلك فإن القيمة الأساسية للبحث تنبع من قلة الأبحاث التحليلية لسلوك التربة المنتفخة تحت تأثير دورات متعددة من الترطيب والتجفيف، و حيث تم استخدام مودل عددي يمكن استخدامه قبل البناء على التربة المنتفخة للوصول لمرحلة التنبؤ بسلوك التربة المنتفخة بعد عدة دورات من الترطيب والتجفيف يساهم في التخفيف وتجنب الآثار السيئة للتربة المنتفخة والتكلفة المادية لإصلاح التشققات الناتجة عن تشوهات التربة المنتفخة. الهدف الأساسي من هذا البحث هو الوصول إلى مرحلة للتنبؤ بالتغيرات الحجمية والتشوهات المحتملة بشكل تقريبي التي تحدث للتربة المنتفخة الناتجة عن تغييرات مناخية وبيئية مختلفة .

4-طرائق البحث ومواده

اعتمدنا في دراستنا على استخدام طريقة العناصر المنتهية لنمذجة مسألة انتفاخ وتقلص التربة تحت تأثير دورات متعددة من الترطيب والتجفيف ، حتى الوصول بالتربة لمرحلة التوازن بحيث لاتعطي أي تغييرات حجمية بعد عدد معين من الدورات ، قمنا أولاً بوضع موديل عددي (BBM) مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة كل من الماء والتربة والحمولة التي تؤثر على التربة وإدخاله في برنامج الحساب بطريقة العناصر المنتهية PLAXIS 2020 ومن ثم تحقيقه على نتائج قياسات تجريبية على تربة من منطقة الوعر في سورية، وكانت مواصفات التربة الناتجة من التجارب كما في الجدول التالي :

الجدول (1) : خواص التربة الفيزيائية .

خاصة التربة	نوع التربة
الوزن الحجمي gr/cm^3	2.870
الوزن النوعي	2.822
حد السيولة %	66.7
حد اللدونة %	27.6
التماسك	$C=20.5Kn/m^2$
زاوية الاحتكاك الداخلي	$\Phi=22^\circ$

بعد التحقيق استخدمنا الموديل لإجراء دراسة عددية وذلك بتغيير بعض البارامترات توصلنا بنتيجتها إلى نتائج هامة تتعلق بعدد دورات الترطيب والتجفيف اللازمة للوصول لاستقرار التربة والبارامترات الهامة المؤثرة .

الدراسة المرجعية للدراسة التحليلية للتربة المنتفخة المعرضة لدورات ترطيب وتجفيف :

نظراً لأهمية موضوع التربة المنتفخة فقد كان هناك بعض المحاولات لإيجاد نماذج عديدة قادرة على نمذجة سلوك التربة المنتفخة في كل الظروف المناخية (الترطيب والتجفيف):

قام (Mamoune, M.S2011) بتحليل سلوك الغضار بواسطة اختبارات المحاكاة العددية للتقلص والانتفاخ باستخدام مقياس oedometer. يتم إجراء هذا التحليل باستخدام برنامج CASTEM2000 من CEA-France. تسمح هذه المحاكاة بتطوير تنبؤي لتقدير البارامترات الانتفاخ باستخدام المعادلات التأسيسية لكلام كلاي وألونسو.

نتائج هذا العمل أظهرت محاكاة الانضغاط بشكل صحيح من قبل كلا النموذجين، لكن نموذج cam clay لا يستطيع نمذجة مرحلة التفريغ لاختبار الأدومتر، لذلك لا يمكن محاكاة اختبار الانتفاخ، وذلك لأن هذا المودل لديه سطح تحميل واحد، أما نموذج ألونسو فهو يستطيع نمذجة كلا الظاهرتين لكن لا يحاكي التربة عالية الانتفاخ لغياب سطح التحميل SD من المودل (في المودل يجب أن يظهر سحح الخضوع و سطح التحميل)

ميزة إضافية وأساسية للنماذج التأسيسية للترب الانتفاخية التي تميزها عن النماذج التأسيسية لتربة منخفضة اللدونة غير المشبعة، هي القدرة على وصف سلوك الانتفاخ - التقلص أثناء دورات الترطيب والتجفيف. إن

(Gens, A1992) و (Alonso, E1990) قدم واحدة من أقرب النماذج المرنة للطين المنتفخ يسمى نموذج برشلونة الانتفاخي (BEXM).

قام (Alonso, E) بمراجعة الخصائص الرئيسية لهذا النموذج وقد أظهر سلوك التربة المشبعة جزئياً أن النماذج الحالية تغطي جوانب محدودة فقط من استجابة الإجهاد والانفعال لهذه التربة، لكن من مساوئه أن نموذج (BEXM) هو أكثر إطار موافق لنمذجة السلوك الهيدروميكانيكي للترب المنتفخة، لكنه يتطلب بارامترات كثيرة للمودل ويأخذ وقت غير واقعي للنمذجة العددية بالإضافة لأنه يحتاج نمذجة دورات كبيرة من دورات الامتصاص (suction).

- أضاف ألونسو (Alonso, E1990) أيضاً (6) فيما بعد بعض الشكليات والصيغ على نموذج (BEXM) من أجل تضمين إمكانية الإشباع الجزئي مجهرياً، من خلال

تحديد الاقتران الميكانيكي بين كلا مستويي الهيكل من خلال وظيفتين ، واحدة للترطيب والآخر للتجفيف، يعبرون عن التغيير في نسبة الفراغ الكبيرة بسبب التغيير في البنية المجهرية لنسبة الفراغ ، وتعتمد قيمتها على حالة ضغط البنية الكلية، يمكن تمثيل الحالة بواسطة البنية المجهرية المنفخة وتطوير المسامية الكلية أثناء التجفيف القوي ، تم وصف الصيغة الرياضية للنموذج وتقييم أدائها بشكل نهائي عن طريق المقارنة مع المختبر، وهذا النموذج أضاف ميزات محددة مثل التدخل المجهري من خلال توسيع البنية المجهرية وزيادة المسامية الكلية أثناء التجفيف القوي ، وبينت المقارنات مع النتائج المجهرية قدرة المودل على نمذجة الأنواع المتعددة من البيانات وتعديلها كميًا بطريقة مرضية.

- إن بعض الموديلات مناسب لحالات جزئية خاصة وايضاً طورت لكن لم تأخذ بالاعتبار التربة المنفخة (7)، تم تطوير نموذج هيدروميكانيكي للترب غير المشبعة المتكثلة ، يتم النظر في النماذج الهيدروميكانيكية المستقلة المقترنة لكل مستوى هيكلي ، بما في ذلك المقاييس المستقلة للضغوط الفعالة الميكانيكية الكبيرة والميكانيكية، تم اختيار المكونات الفردية لتمثيل سلوك الغضار المنفخ المضغوط، يعتمد النموذج الميكانيكي للهيكل الكلي على نموذج عالي المسامية الحالي للتربة غير المشبعة، يتم تحقيق المزوجة بين السلوك الميكانيكي والسلوك الهيدروليكي على كل مستوى هيكلي بكفاءة من خلال ربط صيغة الإجهاد الفعالة بنموذج الاحتفاظ بالماء ، أحد المكونات الأساسية للنموذج هو تمثيل الانتفاخ المجهري، لقد تم إثبات أن معاييرها على الانتفاخ الناتج عن الترطيب أعطت سلوك انتفاخي عالي ، مما يوفر حجة داعمة لنهج الاقتران المعتمد، من النتائج المثيرة للاهتمام لصياغة النموذج أنه لا يعاني من التعرق الحجمي ، والذي غالبًا ما يُنظر إليه على أنه أحد العوائق الرئيسية لنقص اللدونة، يحتوي النموذج المقترح على عدد صغير من معاملات المواد، تم تأكيد قدراته التنبؤية من خلال محاكاة مجموعة بيانات تجريبية شاملة على غضار منطقة بوم المضغوط.

أحد المكونات الأساسية الجديدة للنموذج المقترح هو تمثيل البنية المجهرية يتم التحكم في السلوك الميكانيكي بواسطة المعلمة km (وهو معامل يحدد اعتماد البنية المجهرية للانتفاخ

والتقلص على الإجهاد الغعال المشبع)(. لقد ثبت أن المعايير من المعلمة KM باستخدام تغيير الحجم المقاس في تجارب الانتفاخ يؤدي إلى ردة فعل عالية من حيث درجة التشبع ، مما يوفر دعماً للمودل. يتم اكتساب ثقة إضافية من خلال المساواة في التنبؤات مع نموذج احتباس الماء.

يعتبر النموذج المقترح تقدماً فيما يتعلق بالنماذج الحالية للتربة غير المشبعة بواسطة على عكس النموذج الأصلي ، يسمح النموذج المقترح بالتنبؤ بالتربة ذات لدونة عالية عندما لا نأخذ السلوك المجهرى في الحسبان ، يتقارب النموذج إلى النموذج الأصلي ، مع الحفاظ على تنبؤاته افترض (Cui, Y2002.) بواقعية أن دور المسامية الكبير في انتفاخ الترب الكثيفة المعرضة لحمولات كبيرة ربما يهمل وطور موديل ميكانيكي بناءً على البنية المجهرية .

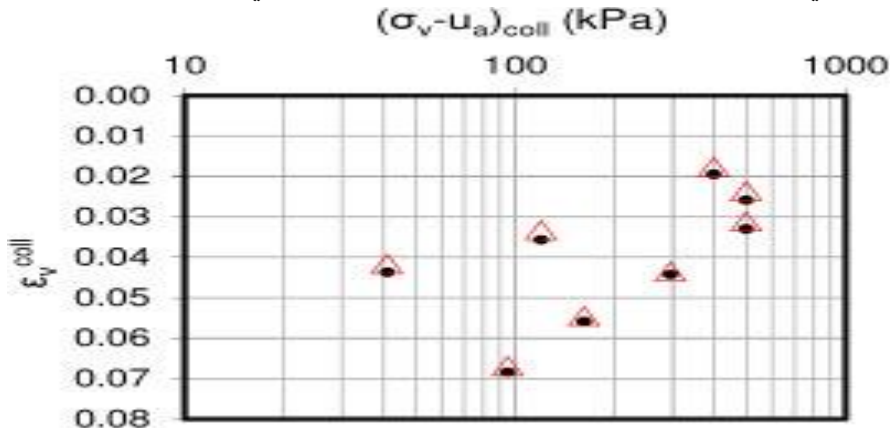
قام (Alonso, E.E) بدراسة التربة المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف باستخدام مودل BBM ، وبين أنه بهذا المودل حضرت علاقات لقيمة الامتصاص سطح الخضوع(السطح الفاصل بين المرحلة اللدنة والمرنة) وتغيراته و حضرت علاقات لوصف تشوهات الانتفاخ والتقلص ، على أية حال ، السلوك المرن للترب غير المشبعة خلال الترطيب والتجفيف يدرس بهذا المودل ، وتقريباً من المستحيل عكس تشوهات الانتفاخ التراكمية للتربة الكثيفة بعد اختبار دورات الترطيب والتجفيف تحت إجهاد منخفض ، وفي الوقت نفسه ، شفت العائد هو ثابت مع تغييرات الضغط المطبقة. بل هو أيضا يكاد يكون من المستحيل أن يعكس الضغط الرأسي و آثار إجهاد الحصر على تشوه الانتفاخ والتقلص .

- إن (C. Yang ET2013) درس نموذج برشلونة الأساسي (BBM) مع الأخذ بالاعتبار قيمة الامتصاص (الفرق بين ضغط الماء وضغط الهواء في مسامات التربة) ، حيث دمج نموذج اللدائن المرنة في إطار اللدونة السطحية المحيطة من أجل نمذجة تراكم الإجهاد على طول التحميل الدوري ، حتى تحت مستويات الضغط الصغيرة.

تم التحقق من صحة النموذج المقترح من خلال مقارنة تنبؤاته بالنتائج التجريبية من اختبارات ثلاثي المحاور الدورية متعددة المستويات التي تم إجراؤها على اللوس الطبيعي وأخذت عيناته بجانب سكة قطار شمال فرنسا للقطارات عالية السرعة وعلى

بعد حوالي 140 كم من باريس. توضح المقارنات إمكانيات النموذج لوصف سلوك التربة غير المشبعة تحت التحميل الدوري.

- إن (C,Sabatino et,all2016) استخدم نموذج موديل يسمى (MPZ) للترب غير المشبعة منذ سنوات ، النموذج يفترض أن التشوه المرن قد يحدث عند التحميل أو التفريغ دون الحاجة إلى تحديد: 1) سطح الخضوع الفاصل بين المرحلة اللدنة والمرنة ،) السطح اللدن المحتمل حيث لا رجعة للتشوهات إلا بشكل خفيف، 3) القانون الذي يحدد شكل التشوهات الناتجة ، يتم تعريف النموذج بالكامل بالخصائص التالية ثابتة: i) ثلاثة اتجاهات التحميل واتجاه التفريغ والاتجاه اللدن ، بعض البارامترات الإضافية التي نحصل عليها من التجارب المشبعة وغير المشبعة في المختبر .



الشكل [3] النتائج التجريبية (النقاط) والعديد (المثلثات) لاختبارات ترطيب-انهيار

وقد استنتج أن الموديل قادر على محاكاة: أ) الانهيار أو الانتفاخ ، عند مستويات إجهاد مختلفة الشكل [3] ، بسبب تقليل الامتصاص عند ضغط صافي ثابت ؛ ب) حصاد التربة بسبب تغيير الامتصاص أو الضغط الصافي ؛ ثالثاً) زيادة اعتراض التماسك بسبب زيادة الامتصاص، تم وصف الاختبارات التجريبية أولاً ، باستخدام إشارة خاصة إلى منحنى

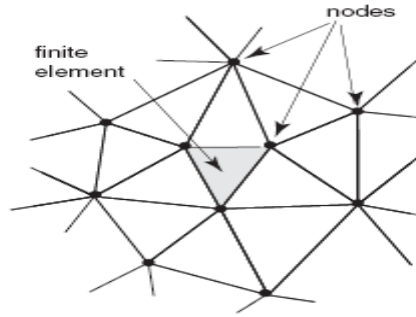
الاحتفاظ بالمياه (WRC) وخط الحالة الحرجة (CSL) ، المستخدم للمعايرة للنموذج التأسيسي. وصف اختبارات القياس ، هنا تستخدم لتقييم قدرة النموذج التأسيسي على إعادة إنتاج السلوك الميكانيكي للتربة بشكل صحيح. تم استخدام النموذج التأسيسي غير المشبع MPZ ، والذي يقوم على نظرية اللدونة المعممة ، تم إعداده سابقاً للرمال المشبعة وتم تمديده لاحقاً للتربة غير المشبعة مع مراعاة الامتصاص وتأثير الترابط بين الحبات الصلبة. وركز على ما يسمى "التشوه المرطب والانهييار" ، وقد كان تطابق النتائج العددية مع الأدلة التجريبية بنسبة 80% لجميع الاختبارات التي يتم إجراؤها عند ضغط عمودي صافي مختلف.

قام (11) بدراسة خليط غير متجانس من البنتونيت عالي الكثافة يستخدم كمادة تحيط بالأسلحة النووية وللتخلص من النفايات المشعة عالية المستوى. هذه الخلائط لها قدرة تورم عالية ، ونفاذية منخفضة ، المعهد الفرنسي للحماية من الإشعاع أطلق برنامج السلامة النووية (IRSN) مشروع VSEAL ، الذي يعتمد على سلسلة من التجارب التي أجريت في الموقع في مختبر أبحاث IRSN تحت الأرض (تورنمير ، فرنسا). تهدف هذه التجارب إلى دراسة عملية الترطيب طويلة المدى لحاجز مصمم هندسياً يتكون أيضاً من خليط ثنائي من MX-80 بنتونيت كتأثير هجرة الغاز في حالات هيدروليكية مختلفة. يتكون الخليط الثنائي من كثافة عالية كريات البنتونيت (نسبة الكتلة 80%) ومسحوق البنتونيت.

لبرنامج محدد يتم إجراء اختبار الأدمتر للتحميل / التفريغ تحت ظروف محتوى الماء الثابت. على وجه الخصوص ، تم استخدام نموذج برشلونة للترب الانتفاخية مع توزيع حجم مسام ثنائي النسق (BEXM) لوصف السلوك الميكانيكي للخليط مزدوج المسامية (المسامية الدقيقة والكبيرة). BEXM يسمح بالتمييز بين الاستجابة التشوهية لهذين المستويين للمسامية ، والتي تتأثر بمتوسط صافي تغيرات الضغط والشفت (المسامية الكلية) ومتوسط تغييرات الأجهادات الكلية (المسامية الدقيقة). ولذلك ، عند التحميل بمحتوى مائي ثابت ، تأثيران متنافسان على مستويات مختلفة قد تحدث (الضغط نتيجة الإجهاد الصافي ، والانتفاخ نتيجة انخفاض الامتصاص والذي يؤثر بشكل كبير على مستوى المسامية المجهريّة). ونتيجة النمذجة نجد ، إن المسامية الكلية تنقص نتيجة زيادة درجة الاشباع وانخفاض الامتصاص.

تنفيذ طريقة العناصر المحدودة

في هذه الدراسة تم استخدام طريقة العناصر المحدودة لحل معادلات التوازن. تقسم هذه الطريقة وسط التربة إلى العديد من الأجزاء الفرعية تسمى "العناصر المحدودة". وهي متصلة بعدد من النقاط تُعرف باسم "العقد" كما هو موضح في الشكل [4]. مثل هذه العناصر ، التي تتخذ بشكل عام أشكالاً بسيطة (مثل المثلث أو المستطيل) ثم يتم تجميعها لتمثيل مجال الحل للهندسة الكيفية. يتم حساب المتغيرات الغير معروفة المطلوب حلها في العقد. باستخدام طرق رياضية خاصة .



الشكل [4] شبكة العناصر المنتهية.

مصفوفات العنصر هي مجتمعة أو مجمعة لتشكيل مجموعة من المعادلات الجبرية التي تصف كامل النظام العالمي. تسمى مصفوفة المعامل لهذه المجموعة الأخيرة من المعادلات " المصفوفة العالمية". وأخيراً تم حل مجموعة المعادلات الجبرية للحصول على القيم العقدية للمجهول.

الإجراء أعلاه عام للغاية ويمكن تطبيقه لمجموعة متنوعة من المشاكل. ومع ذلك ، تعتمد الدراسة الحالية على الإزاحة بطريقة العناصر المحدودة ، حيث تلعب الإزاحة دور المجهول العقدي الأساسي الواجب تحديده، الإجهادات التراكمية والضغط في جسم التربة غير المشبعة هي متغيرات ثانوية.

النموذج المستخدم BBM

إن التحاليل الجيوتكنيكية التقليدية تميل للاكتفاء بدراسة التشديد الرئيسي مثل تلاشي ضغط ماء المسام ونقل الحمولة للحبيبات الصلبة لكن المهندسين اللذين يتعاملون مع التربة الناعمة والطرية باتوا مدركين مع الوقت لابد أخذ تأثير الزمن وزحف التربة بالاعتبار .
إن نموذج BBM هو من النماذج والموديلات المعقدة التي تأخذ سلوك خاص للتربة بعين الاعتبار كالتحميل الدوري للتربة وسلوك التربة غير المشبعة.

إن نموذج برشلونة يعتمد على نموذج كام كلاي كمثال لنموذج التربة المرنة، تم تطوير CamClaymodel في الستينيات، النموذج موجه لنمذجة ميزات الغضار المتجمع عادة وكذلك الغضار المفرط قليلاً، يوجد سلسلة من الإصدارات المعروفة من هذا النموذج. الأول هو ما يسمى Original Cam Clay model (Roscoe, K. , 1958) بينما الآخر هو نموذج كام كلاي المعدل .

تم تصميم النموذج من أجل التربة المشبعة بالكامل وقياس الضغط المستخدم هو الضغط الفعال المعروف.

ينصب التركيز في هذا الفصل على نموذج برشلونة الأساسي (Alonso et al., 1990) كمرونة بلاستيكية. نموذج للتربة غير المشبعة. في هذه الدراسة يتم استخدامه لنمذجة السلوك متعدد الأطوار من التربة غير المشبعة.

نموذج برشلونة الأساسي (BB-model) هو امتداد لنموذج ClayModel المعدل بإضافة تأثير الامتصاص على مقاومة التربة والصلابة. في التشبع الكامل ، هذا النموذج يتزامن مع نموذج كام كلاي المعدل، يستخدم نموذج BBM الضغط الصافي، والامتصاص كمتغيرات الإجهاد المستقلة.

بارامترات الصلابة كما هو مستخدم في نموذج Cam Clay

يمكن تحديد نسبة الفراغ الأولي e_0 (حددت عن طريق علاقات في تجربة الأدمتر، والرطوبة) تقع قيمها المشتركة في النطاق 0.4 للتربة الكثيفة جداً إلى 1.5 للتربة الرخوة جداً. ومع ذلك، يمكن أن تصل قيمته إلى بعض القيم العالية جداً حتى 3 في حالة الغضار الطري جداً، يمكن تحديد نسبة Poisson μ أثناء التفريغ وإعادة

التحميل عن طريق استخدام اختبار ثلاثي المحاور تتراوح القيم المشتركة ل μ بين 0.15 و 0.3 لمعظم أنواع الترب.

لتحديد بقية البارامترات فيمكن استخدام اختبار خلية الأدومتر على افتراض أن Cc ، Cs هي دليل الانتفاخ والضغط يمكن استخدام العلاقات لتحويلها إلى معلمات Cam Clay:

$$\lambda = \frac{Cc}{2.3} \quad k = \frac{2Cs}{2.3}$$

$$\frac{\lambda_0}{(1+e)} \quad k^* = \frac{K}{(1+e)} \quad \text{من الأفضل استخدام } \lambda^*$$

يتم تحديد ضغط التشديد المسبق مباشرة من اختبار التشديد، ضغط التشديد المسبق p وهو أكبر إجهاد سبق وتعرضت له العينة كما هو ويمكن إيجاد قيمة pp_0 من خلال طريقة كاساغراندي التخطيطية وذلك برسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين $(e, \log \sigma)$.

الرمز K_0^{NC} هو معامل دفع التربة في وقت الراحة عند تشديد التربة بشكل طبيعي يمكن توقع قيمته من خلال الصيغة التجريبية (Jaky, 1944) والتي تعطي تقدير قيمته من العلاقة التجريبية:

$$K_0^{NC} = 1 - \sin \Phi$$

حيث Φ : زاوية احتكاك التربة

يمكن استخدام هذه العلاقة إذا لم تتوفر معلومات حول الثابت في الموقع الجغرافي .

بارامترات نموذج برشلونة Basic Model Barchelona

يحتوي نموذج BB على سبع بارامترات إضافية مقارنة بنموذج CamClay المعدل ، ثلاثة منها تسيطر على صلابة التربة المرتبطة بالسطح العائدي LC (وهي الحد الفاصل بين المرحلة اللدنة

والمرحلة المرنة) ، وتسمى P_c و λ و β تصف البارامترات K_s و s_o و λ_s صلابة التربة مع تغير الامتصاص، يتم استخدام المعلمة α لتعكس تأثير الامتصاص على تماسك التربة. البارامتر β يعطي النسبة التي يزداد عندها الامتصاص مع زيادة ضغط التشديد المسبق. إن هيئة وشكل سطح الخضوع حساس لقيمة البارامتر λ حيث إن تغير صغير بقيمتها يؤدي لتغير واضح في النطاق المرن .

P_c الضغط المرجعي (معامل من مخطط الانضغاطية في تجربة التشديد وهو يدخل في نموذج BBM والذي يؤثر على سعة المجال المرن إن النسبة P_p^0/P_c هي عامل حاسم فعندما يكون $P_p^0/P_c=1$ يصبح سطح الاندماج LC مستقيم وهذا يزيل أي تأثير للامتصاص على ضغط التشديد المسبق .

وحسب ماسبق نفرض بارامترات المودل كمايلي:

بارامترات نموذج BARCELONA Basic Model:

$\mu-1$ نسبة بواسون (معامل التوسع الجانبي للتربة) .

وهي نسبة تفرض للترب الغضارية ونفرضها في دراستنا $\mu = 0.33$

$K-2$ ميل خط التحميل وعدم التحميل للترب المشبعة، مرتبط بدليل الانتفاخ للتربة المدروسة

كما في الشكل [5] الذي يوضح كيفية استنتاج قيمته.

C_s : دليل الانتفاخ للتربة المدروسة.

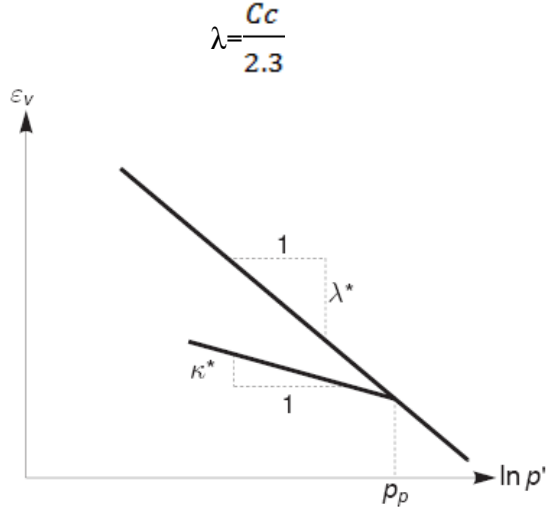
$$K = \frac{2C_s}{2.3}$$

$$K=0.343$$

λ_0-3 ميل خط الضغط للترب المشبعة، مرتبط بدليل الانضغاط للتربة كما في الشكل

[5] الذي يوضح قيمة .

C_c : معامل الانضغاط للتربة المدروسة.



الشكل [5] العلاقة اللوغارتمية بين الحالة الحجمية والإجهاد الحقيقي

وحسب ماسبق $\lambda = 0.0485$

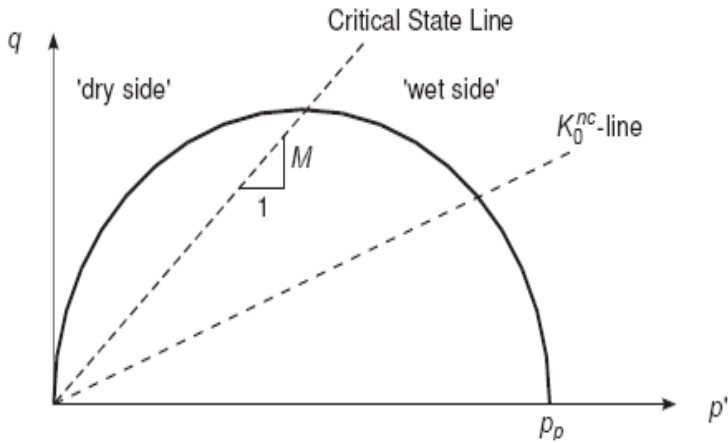
KS-4 الصلابة المرنة نتيجة لامتصاص ، معامل التحميل وعدم التحميل للامتصاص.

$$K_s = 0$$

M-5 ميل خط الحالة الحرجة: يحدد شكل سطح الخضوع (ارتفاع القطع الناقص) كما في

الشكل [6] ويؤثر على معامل ضغط الأرض الجانبي ، ويحسب من العلاقة التالية :

$$M = \frac{6 \cdot \sin \Phi}{3 - \sin \Phi}$$



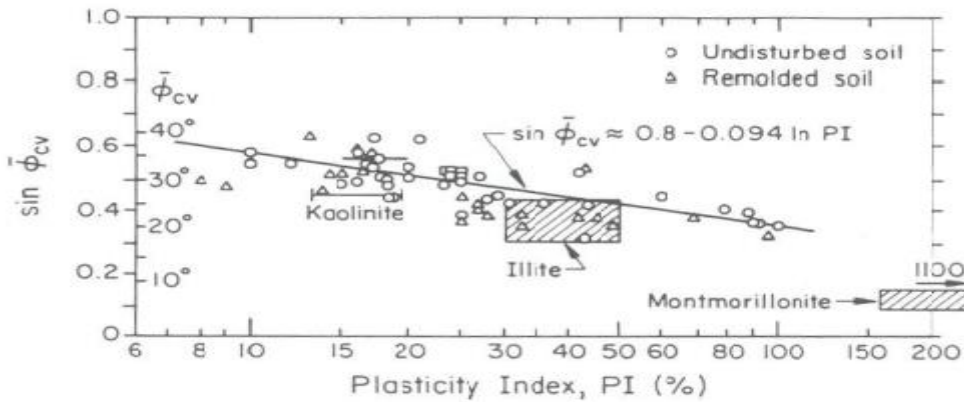
الشكل [6] سطح الخضوع في مودل كام كلاي

$$M=0.56$$

6- زاوية الاحتكاك عند $CS(\Phi_{cr})$ بالدرجات بالحالة الحرجة وهذه القيمة نستنتجها من

مخطط يربط بين دليل اللدونة والزاوية كما هو موضح في الشكل [7] .

$$(P_{hi})\Phi_r=28.5$$



الشكل [7] زاوية الاحتكاك في الحالة الحرجة كدالة لمؤشر اللدونة (Mayne and Kulhawy (1990).

p

G-7 معامل القص ويعطى بالعلاقة :

$$G = \frac{3(1 - 2\mu)K}{2(1 + \mu)}$$
$$G=294,19\text{Kn/m}^2$$

8-نسبة الفراغ الأولية ، $e_0=0.642$.

9- P_0 ضغط التشديد المسبق للتربة المشبعة ، ويتم حسابه من تجربة التشديد بعد إجراء تجربة التشديد واستنتاج قيمته من مخطط الانضغاطية:

$$P_0=441.3\text{KN/m}^2$$

10- Pr الإجهاد الحقيقي المرجعي (الوسطي)، ويمكن إيجاد قيمة pr من خلال طريقة كاساغراندي التخطينية وذلك يرسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين $(e, \log \sigma)$:

$$Pr=3\text{KN/m}^2$$

10- r بارامتر للتحكم بالامتصاص النهائي (er) .

$$r=0.85$$

11- β بارامتر للتحكم بصلابة التربة مع الامتصاص : وهو عامل يشير إلى المعدل الذي يزداد عنده ضغط التشديد المسبق مع الامتصاص ويفرض بين $(0.01-0.03)$.

$$\beta=0.02$$

12- K_0^{nc} معامل دفع التربة عند الراحة : وهو ضغط الإجهاد الموحد المعتاد في ظروف الضغط أحادي البعد .

$$K^{nc}=M/2.8$$

$$K_0^{Nc}=0.202$$

13- POP الضغط الزائد ما قبل التشديد ويحسب من العلاقة $(P^P - P_{eq})$

$$POP=437 \text{ KN/M}^2$$

14- OCR درجة الزيادة في التشديد المسبق .

$$OCR = P^P / P_{eq} = 0.202$$

P_{eq} : الإجهاد الذي تتعرض له التربة حالياً ، P^P : ضغط التشديد المسبق .
 $\alpha - 15$ معامل لعدم الارتباط يقانون الجريان:

$$\alpha = M \frac{\tan \Phi'}{\tan \Phi}$$

$$\alpha = 0.279$$

حيث: Φ' : زاوية الاحتكاك الداخلي عند الحالة الحرجة.
وباستخدام البارامترات السابقة في المودل.

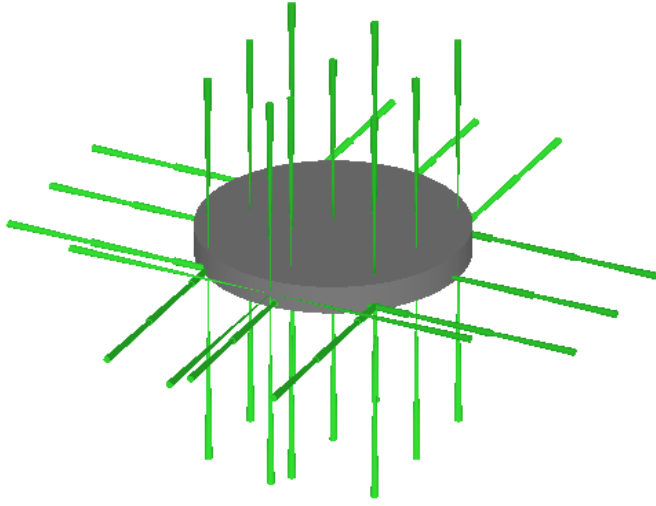
مع العلم أن دليل الانتفاخ للتربة : $C_s = 0.394$ ، $C_c = 0.1116$ معامل التقلص

تحقيق المودل المستخدم :

تبين بالبحث المرجعي أن دورات الترطيب والتجفيف على التربة المنتفخة لها أهمية وفعالية في تخفيف أثر الانتفاخ ولذلك إن الدراسة التحليلية والنمذجة العددية مهمة لتوقع نتائج دورات الانتفاخ والتقلص واستباق الأثر السيئ للترب المنتفخة .
إن التربة المستخدمة هي تربة سوداء منتفخة من شمال منطقة الوعر في حمص والمعطيات الحقلية كما واردة في الجدول (1).

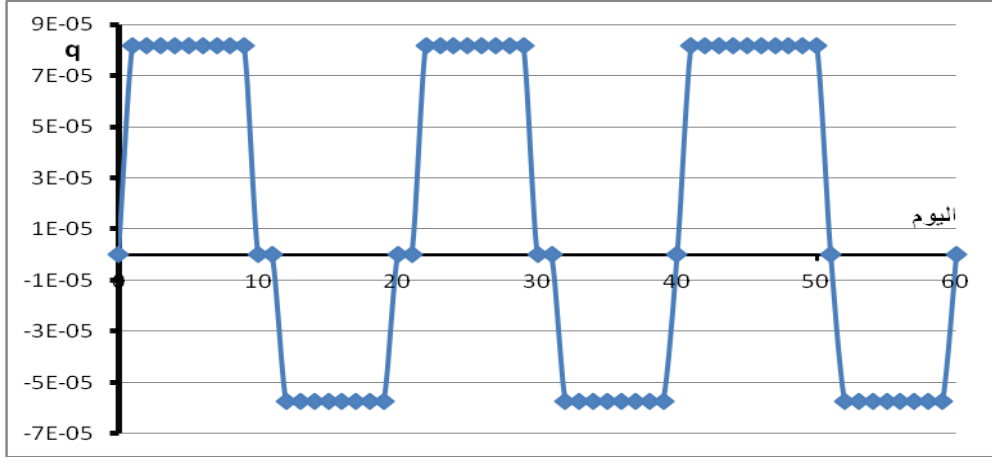
المودل المستخدم

يبين الشكل [7] المودل العددي المستخدم الذي يمثل عينة التشديد الاسطوانية وهي مثبتة من كل الجهات وتعرض للضغط من الأعلى بحمل شاقولي ، وهو مجسم لعينة التربة المدروسة في تجربة التشديد فهي عينة اسطوانية الشكل أبعادها (20*50 مم) وهي تمثل وسط متناظر مرن .



الشكل [7] المودل المستخدم

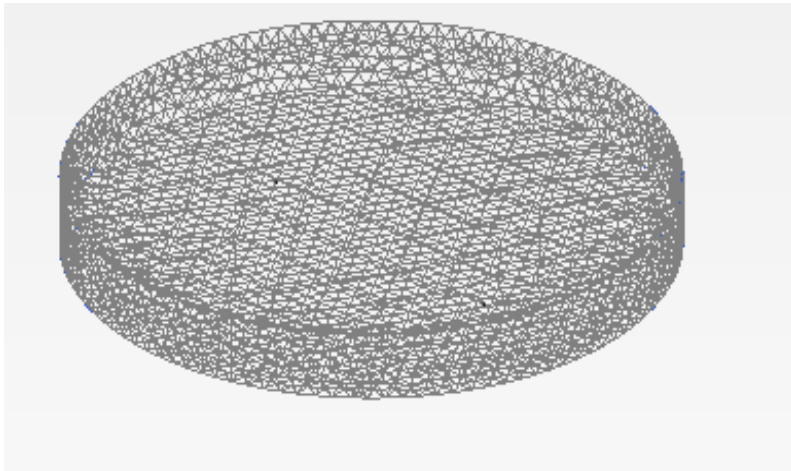
- الشروط الطرفية للمودل تحاكي شكل وظروف العينة حيث وضعت من كل الجهات وثاقتة ومن الأسفل مثبتة fixed .
- عدد دورات التجفيف والترطيب نعطيه من خلال جدول يعطي التدفق (كمية المياه المتسربة للعينة مع الوقت) مع الزمن في كل دورة ترطيب وتجفيف حيث تم حساب كمية الماء التي كانت تغمر بها العينة فترة الترطيب ،وكذلك تم حساب كمية المياه المتبخرة وفقاً لنسبة التجفيف ودرجة حرارة التجفيف في الوسط المدروس حيث يوضح الشكل [8] التالي درات الترطيب والتجفيف مع كمية تدفق الماء :



الشكل [8] تدفق المياه مع الزمن في دورات الترطيب والتجفيف.

التقسيم بطريقة العناصر المنتهية:

تم تقسيم المودل بطريقة العناصر المنتهية التي تحل مسألة التأثير المتبادل بين التربة والماء ومن أجل سرعة الحساب تم تقسيم شبكة العناصر المنتهية وفق عناصر بسيطة خشنة وكان الشكل [9] كالتالي :



الشكل [9] شبكة العناصر المنتهية

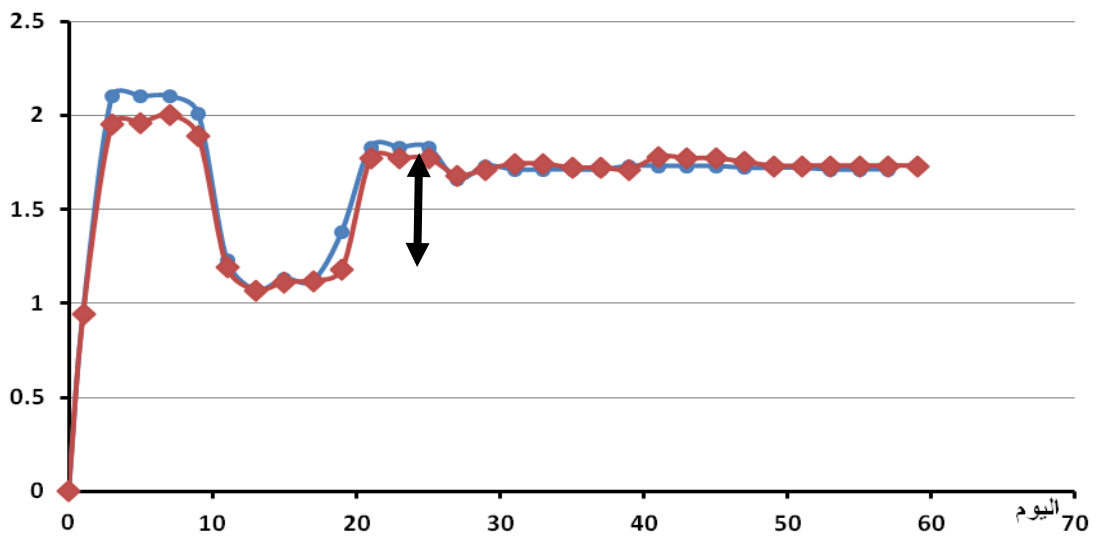
تحقيق المودل المستخدم :

بإدخال المعطيات على المودل المستخدم وإجراء الحساب باستخدام plaxis 2020 للحصول على الإزاحة الكلية لكل نقاط التربة من شبكة العناصر المنتهية من أجل تحقيق المودل المطلوب حصلنا على المخطط الموضح في الشكل [10] الذي يتضمن أكبر إزاحة لنقاط التربة في العينة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف.

5- النتائج والمناقشة

تطبيق دورات الترطيب والتجفيف :

في هذا القسم سنقوم بمعايرة المودل المستخدم وذلك باستخدام النتائج التجريبية التي حصلنا عليها بتطبيق دورات الترطيب والتجفيف مع الإشارة أن نسبة الرطوبة البدائية في دورات التحميل ودون تحميل هي متماثلة وذلك لتأثير الرطوبة البدائية على نسبة الانتفاخ. وبيّن المخطط التالي مقارنة بين المنحني التجريبي الذي يوضح التغيرات التي تبديها التربة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف مع الزمن ودون تحميل للعينة الذي حصلنا عليه نتيجة النمذجة العددية باستخدام مودل برشلونة وبمقارنة المنحني الناتج مع المنحني التجريبي لاحظنا تقارب النتائج بما يحقق مصداقية المودل كما في الشكل [10] :



الشكل [10] مقارنة بين المنحني التجريبي والعددي

نلاحظ زيادة كبيرة في تشوهات الانتفاخ خلال الدورة الأولى وحدث ما يسمى بالانتفاخ الحر وهذا ما نلاحظه في المنحني التجريبي والعددي ، وأيضاً السمة المميزة للمنحنيين هي أن كمية الانتفاخ في الدورة الثانية والثالثة يماثل مقدار التجفيف.

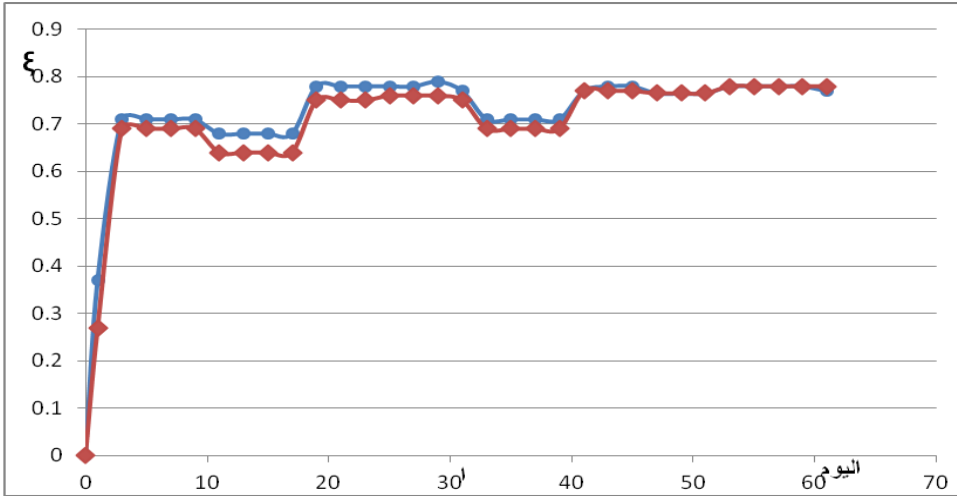
في البداية ، تمتص التربة كمية كبيرة من الماء بشكل مكثف تقريباً ، ووفقاً لذلك ، يتم الوصول إلى التشوه الأقصى للانتفاخ سريعاً نسبياً ، حيث يوضح الشكل السابق كمية التقلص والانتفاخ المتقاربة .

تجدر الإشارة أيضاً إلى أنه مع زيادة عدد دورات تجفيف الترطيب ، يتناقص تشوه الانتفاخ إلى حد ما، يتم تحقيق استقرار تشوهات تقلص في غضون 10 ... 14 يوماً، ميزة هامة لتشوهات تقلص هو أنه مع زيادة في عدد دورات الترطيب ، تقل تغيرات الانتفاخ و تشوه التقلص المستقر النهائي في الدورتين الثانية والثالثة من الترطيب - التجفيف متساوي تقريباً، في حالة عدم وجود حمل خارجي ، يصل تشوه الانتفاخ خلال الساعات الست الأولى إلى أكثر من نصف القيمة المستقرة النهائية ، في نفس الوقت .

بعد الوصول لمرحلة ثبات المنحني قمنا بوضع عينة جديدة من نفس التربة في جهاز التحميل وطبقنا عليها حمولات متعددة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف كما يلي :

تطبيق إجهاد 0.5 Kg/cm^2

تم وضع العينة في جهاز الأدومتر مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 0.5 kg/cm^2 حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف وكان الشكل [11] :

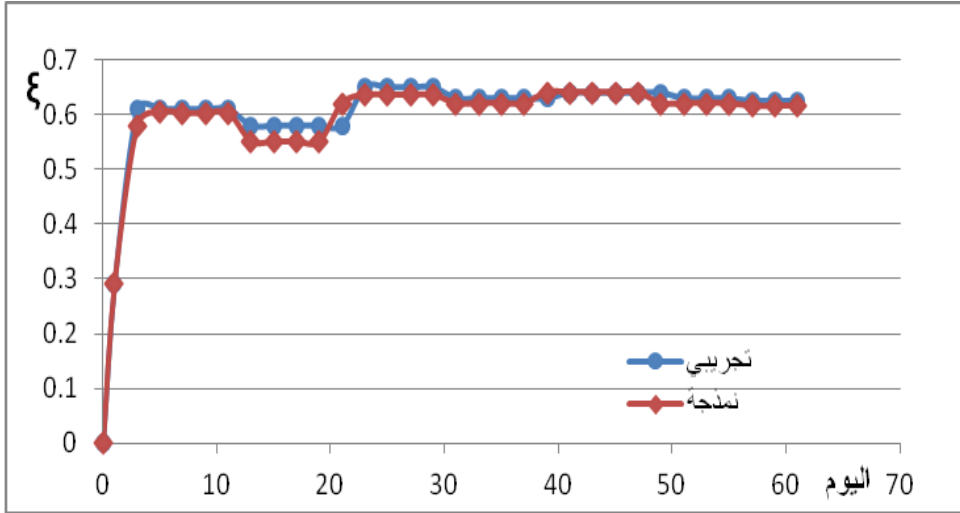


الشكل [11] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة $P=0.5 \text{ Kg/cm}^2$

من المنحني نلاحظ وصول العينة لمرحلة الثباتية والتوازن بحيث لاتبدي تغييرات حجمية واضحة بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف.

-تطبيق إجهاد 1 kg/cm^2 :

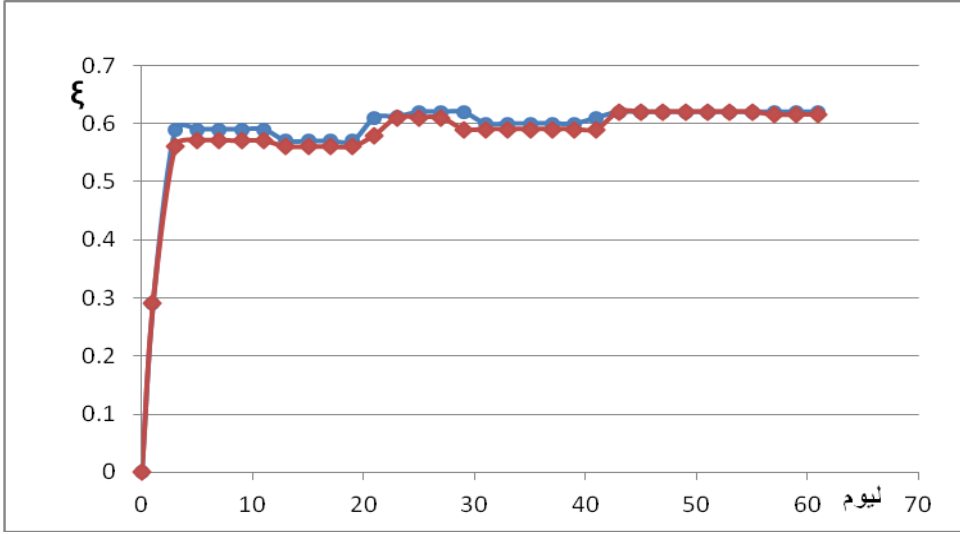
تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1 kg/cm² حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب و تجفيف وكان الشكل [12]:



الشكل [12] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة P=1 Kg/cm²

تطبيق إجهاد 1.5kg/cm²:

تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1.5 kg/cm² حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف وكان الشكل [13] :



الشكل [13] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة $P=1.5 \text{ Kg/cm}^2$

نلاحظ من المخطط أنه مع زيادة الحمل من 1 إلى 1.5 kg/cm^2 ، يقل التشوه بنسبة 29% فقط. ومن الملاحظ أن القوانين التي تحكم التغييرات في التشوهات النسبية للتربة من قيم الضغط في الدورتين الثانية والثالثة تتطابق عملياً. و بعد قيمة معينة من الضغط ، لا يحدث تغيير في تشوه تقلص التربة، قيمة هذا الضغط الذي تتوقف عنده التغييرات في تشوهات التقلص تتحدد حسب نوع وهو التربة الانفاخية .

6-الاستنتاجات والتوصيات

تضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية على التربة الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف وبعض البارامترات المؤثرة عليها. وذلك باستخدام نموذج برشلونة الأساسي (BBM-model) باستخدام برنامج Plaxis 2020 وتطبيق عدة دورات ترطيب وتجفيف بدون تحميل ثم مع تحميل عدة حمولات ، أظهر تحقيق المودل على قياسات حقلية تقارباً كبيراً بين النتائج العددية

- والحقلية وقد توصلنا إلى عدة نتائج التي تم ذكرها في سياق البحث والتي يمكن تلخيص أهمها بالنقاط التالية:
- إن التربة المنتفخة تعطي في الدروة الأولى قيمة كبيرة للانتفاخ تتناقص مع تكرار دورات الترطيب والتجفيف .
 - يتناقص مطال الانتفاخ حتى يثبت بعد الدورة الثالثة من الترطيب والتجفيف .
 - يتناقص مطال التقلص حتى يثبت بعد الدورة الثالثة من الترطيب والتجفيف.
 - هذه الدراسة لها قيمة اقتصادية حيث تسمح بالحصول على فكرة تقريبية عن تأثير انتفاخ التربة وتقلصها بحالة الترطيب والترطيب الجزئي وكذلك التجفيف والتجفيف الجزئي على الإجهادات وتوزع الضغوط ضمن التربة ، ليتم تلافي الأثر السيئ المحتمل لهذه التغييرات .
 - تتأثر القيمة المستقرة النهائية لتشوهات تقلص وانتفاخ التربة الغضارية بشكل كبير بقيمة الحمل الخارجي ، مع زيادة الحمل الخارجي وفقاً لانخفاض قدرة الامتصاص للتربة ، تنخفض أيضاً قيمة تشوهات الانتفاخ والتقلص .
 - تعتمد القيمة النهائية لتشوهات الانتفاخ والتقلص بشكل أساسي على رطوبة التربة الأولية ، كلما زاد مدى التباين في الرطوبة ، زاد مقدار تشوه التربة ، نطاق التغيرات في رطوبة التربة في الدورتين الثانية والثالثة من (دورات ترطيب وتجفيف) هو نفسه. وفقاً لذلك ، في هذه الدورات يتم تحقيق نفس مجموعة التغييرات في تشوهات الانتفاخ والتقلص ، نتيجة لذلك ، تعتمد القيمة النهائية لتشوهات الانتفاخ والتقلص على مدى التغيرات في رطوبة التربة.

6-Reference

- 1-N. F. Zhao, et al 2018: Modeling of the swelling–shrinkage behavior of expansive clays during wetting–drying cycles, **Key Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature** 2018,Pp1-12.
- 2- Donalson, G.W1969: "The Occurrence of Problems of Heave and Factors Affecting its Nature" **Second International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils**, Texas A&M Press., (1969).
- 3-Mamoune,M.S, Bekkouche, A.2011: Modeling of the Behavior of Expansive Soils, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, University of Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, **Jordan Journal of Civil Engineering**, Volume 5, No. 1, 2011,Pp 1-14.
- 4- Gens, A., and Alonso, E.E. 1992. A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays. **Canadian Geotechnical Journal**, **29**(6): 1013–1032. doi:10.1139/ t92-120.
- 5-Alonso, E.E., Gens, A., and Josa, A. 1990. A constitutive model for partially saturated soils. **Geotechnique**, 40(3): 405–430 doi:10.1680/geot.. 1990.40.3.405.
- 6- E.E. Alonso *, J. Vaunat, A. Gens1999: Modelling the mechanical behaviour of expansive clays UPC-DIT, c/Jordi Girona 1–3,Mo´dulo D-2, 08034 Barcelona, **Spain, Engineering Geology**, 54 ,173–183.

- 7-Mašin, D. 2013. Double structure hydromechanical coupling formalism and a model for unsaturated expansive clays. **Engineering Geology**, 165: 73–88. doi:10.1016/j.enggeo.05.026.
- 8-Cui, Y.J., Yahia-Aissa, M., and Delage, P. 2002. A model for the volume change behavior of heavily compacted swelling clays. **Engineering Geology**, 64: 233– 250. doi:10.1016/S0013-7952(01)00113-
- 9- C. Yang ET AL 2013: A constitutive model for unsaturated cemented soils under cyclic loading, **Computers and Geotechnics**, 35 (2008), 853-859.
- 10- C,Sabatino et,ALL 2016: Experimental investigation and constitutive modeling for an unsaturated pyroclastic soil, **Laboratory of Geotechnics, Department of Civil Engineering, University of Salerno**, Italy,pp1-6.
- 11- Alcantara,A,M.,et,al 2020 : Modelling of oedometer tests on pellet-powder bentonite mixtures to support mock-up test analysis, September 19, **2020 EasyChair Preprint** № 4221,Pp1-7.