

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 1

1445 هـ - 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
م. هلا معروف

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 مشرفي
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 (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	م. هشام كوسا د. لينا كراكيت	تغيير خصائص الترب الغضارية عالية اللدونة بإضافة نسب مختلفة من ألياف القنب
94-45	م. عيد صادق د. غصون دنهش	اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها
130-95	م. نور دبدوب د. بسام الخضر	التصميم الهيدروليكي الأمثل لشبكات توزيع المياه باستخدام الذكاء الصناعي
170-131	م. احمد علي د. سليمان العامودي	تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية البيتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية

تغيير خصائص الترب الغضارية عالية اللدونة

بإضافة نسب مختلفة من ألياف القنب

إعداد : طالب الدراسات العليا المهندس هشام زياد كوسا

إشراف : الدكتورة المهندسة ليلى كراييت

الملخص:

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير إضافة ألياف نباتية (القنب) على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للترب الغضارية عالية اللدونة، ويرتكز البحث على دراسات مرجعية وتجارب مخبرية.

تم البحث عن تربة غضارية عالية اللدونة والتحقق من مواصفاتها مخبرياً لتلبي متطلبات البحث، شكلت العينات بالرطوبة المثالية والكثافة الجافة الأعظمية، كما تم إجراء التجارب المخبرية لتحديد خصائص التربة المرجعية.

تم تشكيل عينات مرجعية بدون ألياف، وعينات من التربة الغضارية مع إضافة ألياف بأطوال (1-2-3) سم ونسب (0.5-1-1.5-2) % من أجل رطوبة مثالية و كثافة جافة أعظمية. حيث أثبتت التجارب المخبرية تحسن ملحوظ بمواصفات التربة. ازدادت مقاومة الضغط الحر ، كما ازدادت قيم التماسك C و زاوية الاحتكاك ϕ مع ازدياد نسبة ألياف القنب و طولها.

و أظهرت تجربة التشديد انخفاضاً ملحوظاً في قيم كل من الانتفاخ الحر النسبي و بضغط الانتفاخ مع ازدياد نسبة الألياف و طولها في التربة

الكلمات المفتاحية: تربة غضارية عالية اللدونة ، ترب انتفاخية ، تحسين التربة، ألياف القنب ، القص المباشر، الضغط الحر، التشديد.

Changing the properties of highly plastic clay soils By Adding proportions of hemp fibers

ABSTRACT

This research aims to study the effect of adding plant fibers (hemp) on the physical and mechanical properties of high plasticity clay soils.

The research is based on reference studies and laboratory experiments. Clay soils with high plasticity were searched for and their specifications were verified in the laboratory to meet the requirements of aggregates.

The samples were formed with the optimum moisture and the maximum dry density. Laboratory experiments were performed to determine the properties of the reference sample. Reference samples were formed without fibers, and other samples with the addition of fibers of a length of (1-2-3) cm and ratios (0.5-1-1.5- 2) % at the optimum moisture and the maximum dry density.

The laboratory experiments showed a significant improvement in the properties of the soil. Unconfined compression strength , the cohesion and friction angle increased by the increasing of the hemp ratio and length ratio.

The consolidation test showed that there was a significant decrease in the free swelling and swelling pressure by the increasing of hemp ratio and length ratio in high plasticity clay soils

Keywords: high plasticity clay soils, expansive soils ,soil improvement , hemp fibers, direct shear, unconfined compression, consolidation .

1- مقدمة:

تعتبر الترب الغضارية الانتفاخية expansive soil من أسوأ أنواع الترب بسبب تعرضها للتغيرات الحجمية استجابة لتغيرات الرطوبة (انتفاخ من أجل الرطوبات العالية و تقلص من أجل الرطوبات المنخفضة) عدا عن مقاومتها المنخفضة و نفاذيتها القليلة ، مما يجعل المنشآت المنفذة عليها عرضة للانهييار .

يعتمد مقدار الانتفاخ على عوامل عديدة منها بنية التربة والكثافة ودرجة الرطوبة الطبيعية بالإضافة لمقدار الإجهاد المنقول للتربة ، وتكون التربة أكثر قابلية للانتفاخ في المناطق الحارة والجافة حيث يزداد حجمها عند وصول الماء إليها ، ونتيجة لهذه الزيادة تتأثر المباني والطرق المقامة عليها (2).

تشغل التربة الغضارية بشكل عام حوالي نصف مساحة سوريا والترب الانتفاخية حوالي 10.54% من مساحة سورية وتنتشر بكثافة في محافظات حماه ودرعا والسويداء والقامشلي كما تتواجد في حمص واللاذقية ودير الزور ومواقع متفرقة في سورية (3).

بسبب المواصفات السيئة للترب الغضارية الانتفاخية ومشاكل التأسيس عليها، دعت الحاجة الى معالجة هذا النوع من الترب، وللتقليل من قابلية التربة للانتفاخ هناك العديد من الخطوات التي يلزم اتباعها ومنها إزالة طبقة التربة الانتفاخية إذا كانت بسماكات قليلة، التحكم في وصول الماء إلى التربة بإيجاد شبكة جيدة لتصريف المياه الجوفية والسطحية، خلط التربة بمواد تخفف من انتفاخها كالإسمنت أو الكلس أو الرماد المتطاير وغيرها.

2- هدف ومبررات البحث:

لتخفيض كلفة التأسيس يستعان بطرق أكثر اقتصادية لتحسين خواص التربة و زيادة قدرتها على تحمل الإجهادات المنقولة إليها تحت الاساسات أو المنشآت الأرضية .

يهدف هذا البحث إلى إجراء معالجة للترب الغضارية عالية اللدونة قبل التأسيس عليها وقد اخترنا إضافة ألياف القنب عليها hemp fiber وذلك بأطوال ونسب معينة فهي تتمتع بالعديد من المزايا للاستخدام في تقوية التربة نظراً لسهولة خلطها مع التربة، و تعتبر مواد بديلة للإضافات الكيميائية ذات الأثر البيئي السلبي، عدا عن توافرها و اقتصاديتها، و لقد حظي استخدام الألياف لتحسين التربة باهتمام العديد من الباحثين و العلماء (4).

3- الدراسة المرجعية:

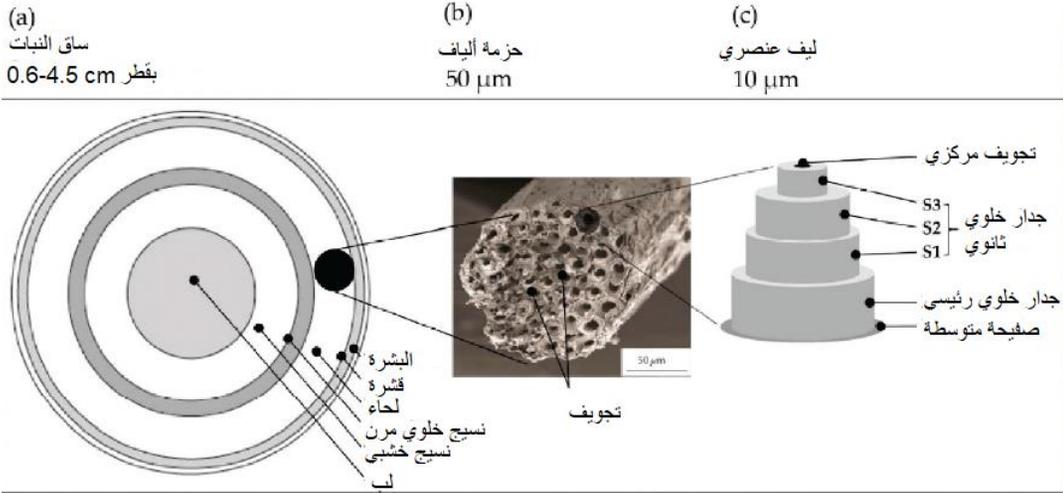
تتبع فكرة استخدام الألياف المنفصلة كعنصر تقوية بشكل أساسي من الدور الذي تلعبه جذور النبات في تثبيت كتلة التربة بالقرب من السطح حيث تكون الضغوط الفعالة منخفضة نسبياً. تم استخدام كل من الألياف الاصطناعية والألياف الطبيعية على نطاق واسع في تطبيقات الهندسة الجيوتكنيكية التي تشمل الرصف (إنشاء الطرق)، والجدران الاستنادية، وجسور السكك الحديدية، تثبيت المنحدرات، والزلازل، وهندسة الأساسات (6).

بعض الدراسات قامت بدراسة إمكانية استخدام الألياف الطبيعية مثل ألياف جوز الهند وألياف النخيل وألياف القش وألياف الخيزران وألياف القصب لتقوية الترب الرملية والغضارية. تشير نتائج هذه الدراسات إلى أن الألياف الطبيعية يمكن أن تزود التربة بمقاومة قص إضافية (5).

ألياف القنب Hemp Fiber : هي ألياف طبيعية يمكن الحصول عليها من ساق نبات القنب ، تستخدم بشكل واسع في إنتاج الحبال و الأنسجة و في صناعة الورق والبلاستيك القابل للتحلل والوقود الحيوي ، تتمتع بقدرتها العالية على الامتصاص و بمتانتها المرتفعة حيث يصل معامل مرونتها $E=(3-6) \text{ Gpa}$ و كما تتميز بمقاومة عالية على الشد و

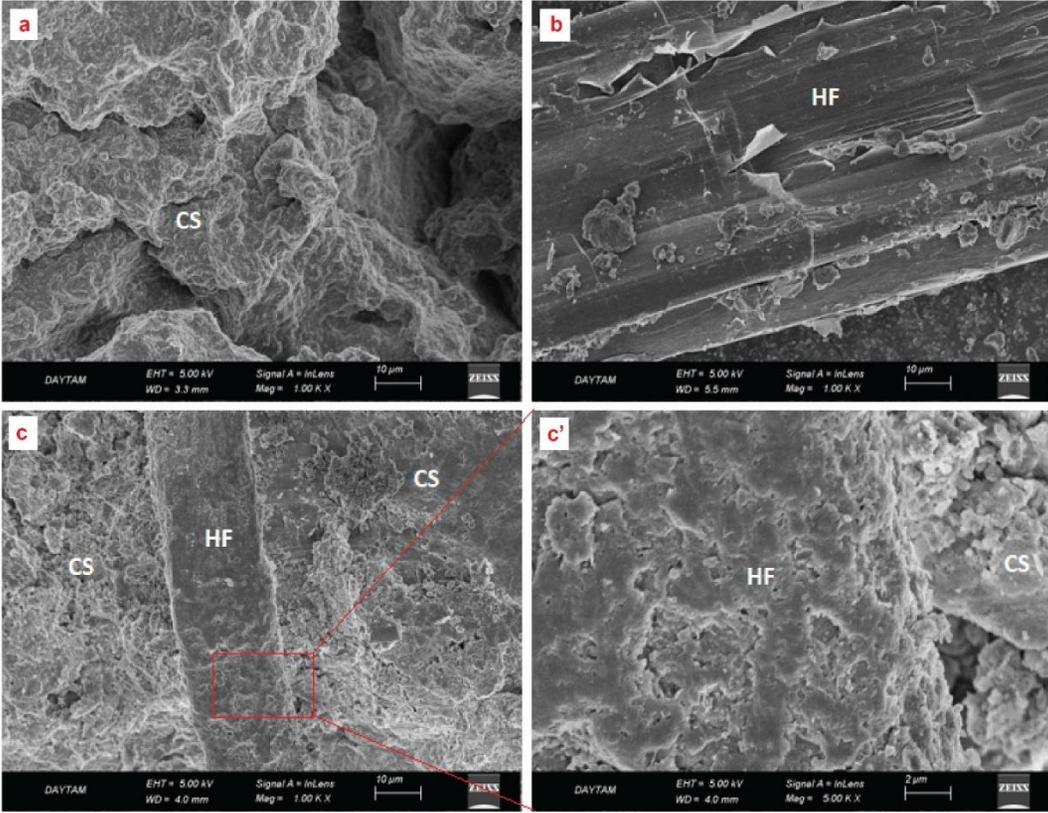
هذا ما تفتقر إليه التربة بشكل عام حيث تصل مقاومتها على الشد $T=(100-225)$ Mpa ، عدا عن تحملها للبيئات القلوية مما يجعله مادة تقوية جيدة (6) (9).

يبين الشكل (1) بنية الليف العنصري المأخوذ من حزمة ألياف ضمن ساق نبات القنب.



الشكل (1): بنية الليف العنصري المأخوذ من حزمة ألياف ضمن ساق نبات القنب (4).

يبين الشكل (2) المركب (تربة-ألياف القنب) وهو صورة مكبرة بمقدار 1000 مرة توضح السطح البيني و التشابك بين الألياف و جزيئات الغضار و الشكل C مكبر بمقدار 1500 مرة، نلاحظ أن سطح الليف خشن مما يسهل على جزيئات الغضار عملية التشابك معه.



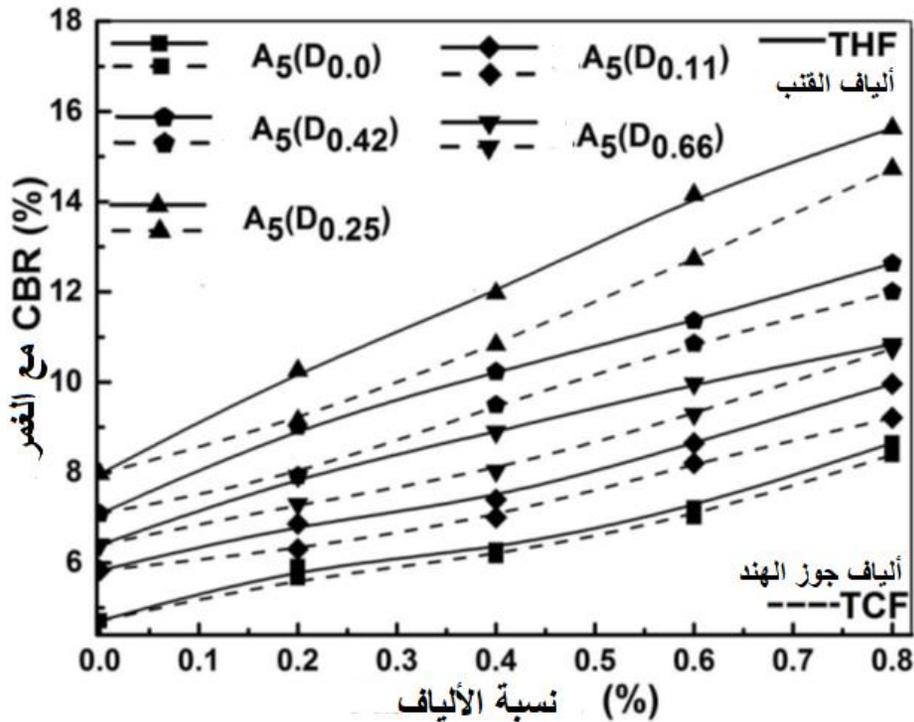
الشكل (2) : صورة مكبرة توضح السطح البيني للمركب (غضار - ألياف القنب) (4).

في دراسة أجراها Syed et al 2021 لتحسين التربة الغضارية المنتفخة لأعمال الطرقات Nalgonda , state, India region of Telangana ذات حد السيولة 63% و دليل اللدونة 38% و صنفت التربة حسب USCS بأنها غضار عالي اللدونة . تم استخدام ألياف القنب THF و ألياف جوز الهند TCF بأطوال (20-25) mm و بنسب مختلفة بعد معالجة التربة المنتفخة برابط منشط قوي activated alkali binder (AAB) قبل إضافة الألياف و بنسبة حجمية 5% .

تم إنتاج الرابط المنشط من تفاعل نسب مختلفة للرماد المتطاير flay ash و الخبث slag في محلول قلوي يحوي هيدروكسيد الصوديوم NaOH و سيلكات الصوديوم

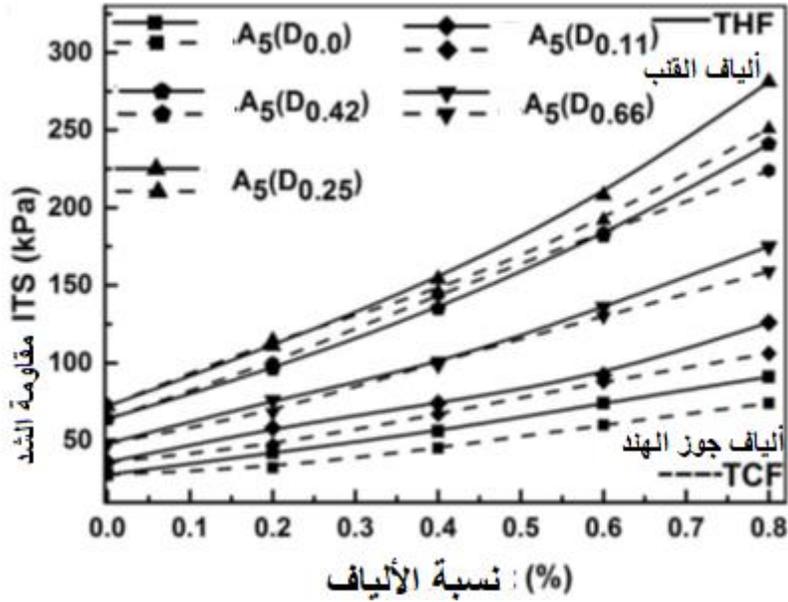
Na_2SiO_3 ، حيث اعتمدوا نسب الخبث إلى الرماد البركاني (slag/flay ash) (0- % (0.11-0.25-0.42-0.66) ، تم الحفاظ على نسبة الكتلة بين (الرماد المتطاير و الخبث) إلى هيدروكسيد الصوديوم إلى سيليكات الصوديوم عند 400:10.57: 129.43 مع نسبة 0.4 ماء إلى صلب (w/s) في AAB طوال الدراسة (6).

يبين الشكل (3) نتائج تجارب الـ CBR على التربة المدروسة حيث ازدادت قيمة الـ CBR مع ازدياد نسبة الألياف في التربة سواء أكانت ألياف القنب أو ألياف جوز الهند و من الملاحظ أن تأثير ألياف القنب كان أفضل في زيادة مقاومة التربة مقارنة مع ألياف جوز الهند.

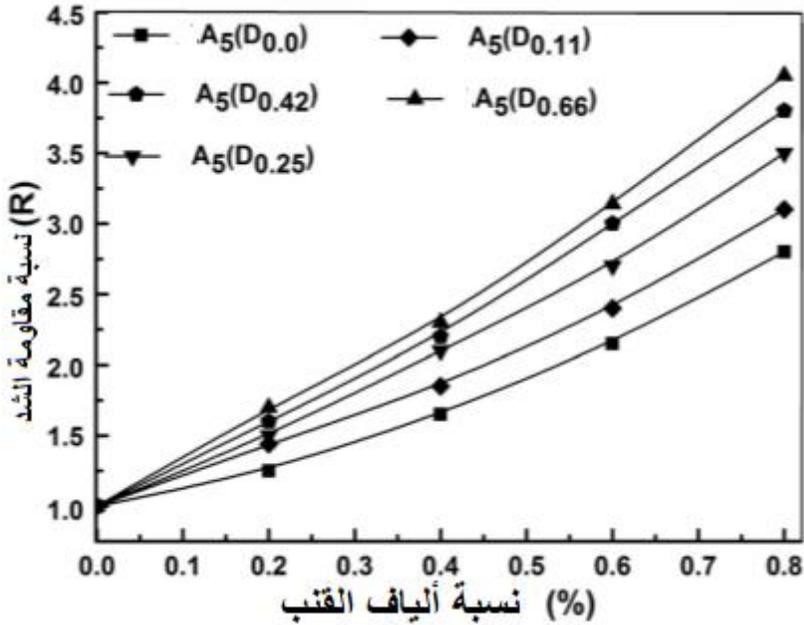


الشكل (3) : تغير قيمة الـ CBR بحالة الغمر مع تغير نسب الألياف باستخدام نسب مختلفة من الخبث إلى الرماد البركاني في محلول المعالجة (6).

يبين الشكل (4) اكتساب المركب (تربة - ألياف) لمقاومة شد مع تزايد نسبة الألياف في التربة، إلا أن تزايد المقاومة على الشد كان أكبر من أجل استخدام ألياف القنب مقارنة مع ألياف جوز الهند. والشكل (5) يوضح نسبة تزايد مقاومة الشد من أجل استخدام ألياف القنب حيث ازدادت مقاومة الشد للمركب (تربة - ألياف القنب) بمقدار 4 أضعاف تقريباً في حين أنها ازدادت من أجل استخدام ألياف جوز الهند بمقدار 3.6 مرة تقريباً.

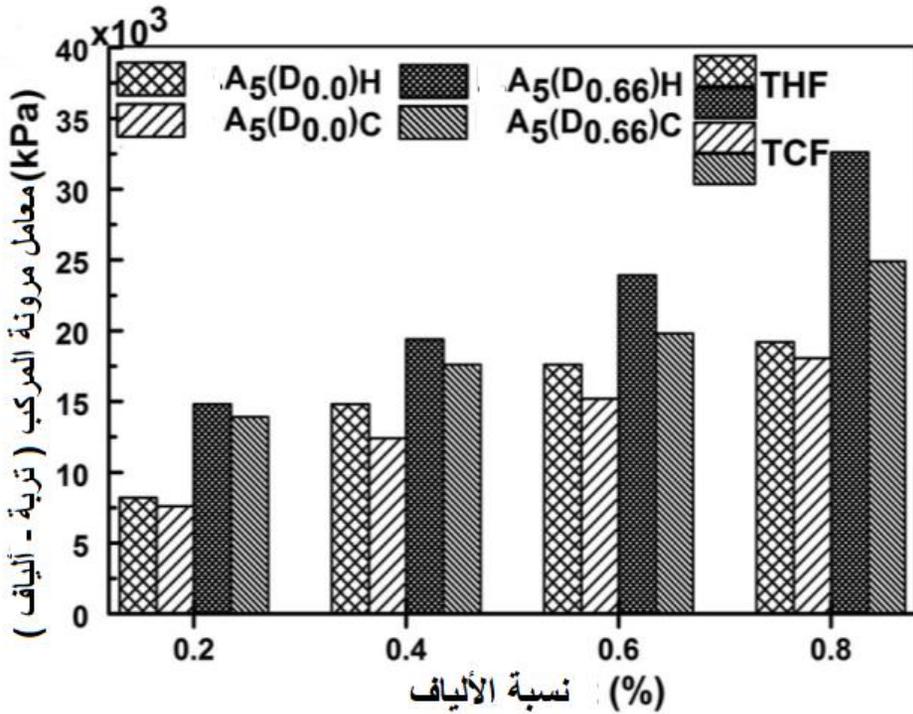


الشكل (4) : تغيير مقاومة الشد للمركب (تربة- ألياف) مع تغيير نسبة الألياف بوجود نسب مختلفة من الخبث إلى الرماد البركاني في محلول المعالجة (6).



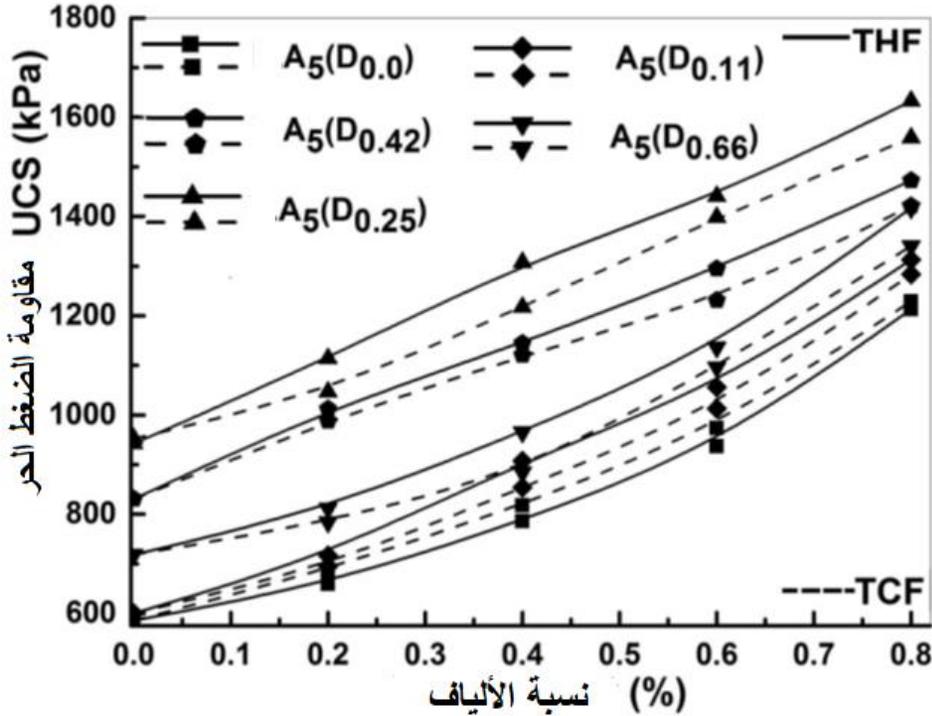
الشكل (5) : تغير نسبة مقاومة الشد للمركب (تربة- ألياف) مع تغير نسبة ألياف القنب بوجود نسب مختلفة من الخبث إلى الرماد البركاني في محلول المعالجة (6).

وضح Syed et al 2021 العلاقة بين معامل مرونة المركب (تربة - ألياف) مع تغير نسبة الألياف المنقوعة بمحلول المعالجة الحاوي على نسبين مختلفتين من الخبث إلى الرماد البركاني % (0-0.66) من حجم المحلول ، حيث ازداد عامل مرونة التربة مع زيادة نسبة الألياف فيها ، و كانت النتائج أفضل باستخدام ألياف القنب مقارنة مع ألياف جوز الهند . و هذا ما يوضحه الشكل (6) .



الشكل (6) : تغيير معامل مرونة للمركب (تربة- ألياف) مع تغيير نسبة الألياف بوجود نسبتين مختلفتين من الخبث إلى الرماد البركاني في محلول المعالجة (6).

أجريت تجارب الضغط الحر على عينات التربة المحضرة و بنسب مختلفة من الألياف المعالجة بالمحلول المنشط و الحاوي على نسب مختلفة من (الخبث/ الرماد البركاني) ، فكان هناك تزايد في مقاومة الضغط الحر سواء باستخدام ألياف القنب أو ألياف جوز الهند ، و أيضاً وجدنا رجحان فعالية ألياف القنب مقارنة بألياف جوز الهند في تحسين مقاومة الضغط الحر ، نظراً لزيادة متانة المركب (تربة - ألياف القنب) مقارنة مع متانة المركب (تربة - ألياف جوز الهند) كما هو موضح في الشكل (7) .

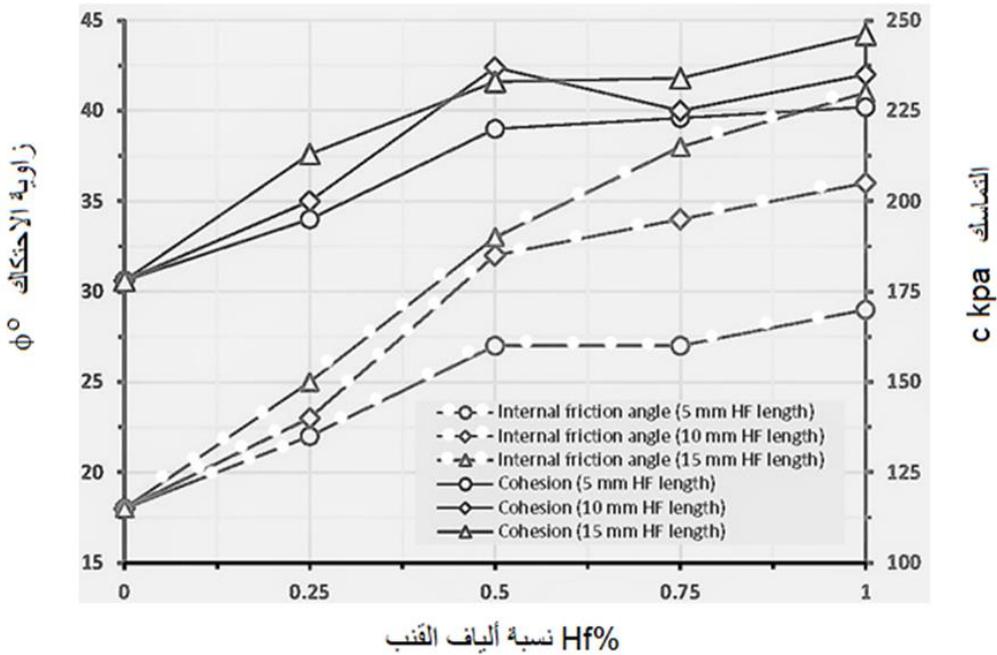


الشكل (7) : تغيير نسبة مقاومة الشد للمركب (تربة- ألياف) مع تغيير نسبة ألياف القنب بوجود نسب مختلفة من الرماد البركاني أو الخبث في محلول المعالجة (6).

- و في دراسة أجراها Kalkan et al 2022 لتحسين تربة غضارية من عائلة الـ Montmorillonite ذات حد سيولة 72% و دليل لدونة 35% و ذلك باستخدام ألياف القنب الطبيعية بأطوال مختلفة (5-10-15) mm و بنسب وزنية مختلفة (0.25- 1%) (0.5-0.75-1) ، تم إجراء تجارب القص المباشر و الضغط الحر على العينات (تربة - ألياف القنب) .

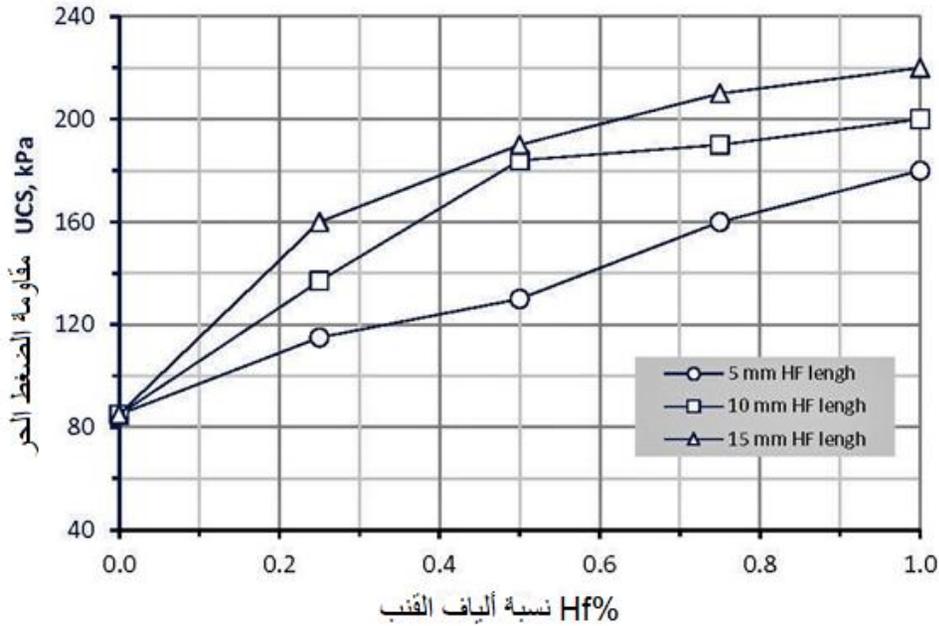
يوضح الشكل (8) أن للألياف دوراً مهماً في زيادة مقاومة التربة على القص، فقد ازداد كل من التماسك و زاوية الاحتكاك الداخلي مع زيادة نسبة الألياف في التربة و مع زيادة طولها، إن السلوك الميكانيكي للمكون (تربة - ألياف القنب) يرتبط بمناطق الاتصال بين

التربة و مادة الألياف (Chen et al. 2015; Lv and Zhou 2020; Tang and)
 (Gu 2011; Tang et al. 2007) . تعزى الزيادة في زاوية الاحتكاك إلى مقاومة
 الشد التي تمتلكها ألياف القنب (Muntohar et al. 2013; Sujatha et al. 2017;)
 (Widianti, Diana, and Alghifari 2021). و الزيادة في التماسك تعزى إلى
 إجهادات التطويق الناشئة بسبب وجود الألياف في التربة، (Kalkan 2013;)
 (Prabakar and Sridhar 2002).



الشكل (8) : تغيير زاوية الاحتكاك و التماسك للتربة بتغيير نسبة الألياف(4).

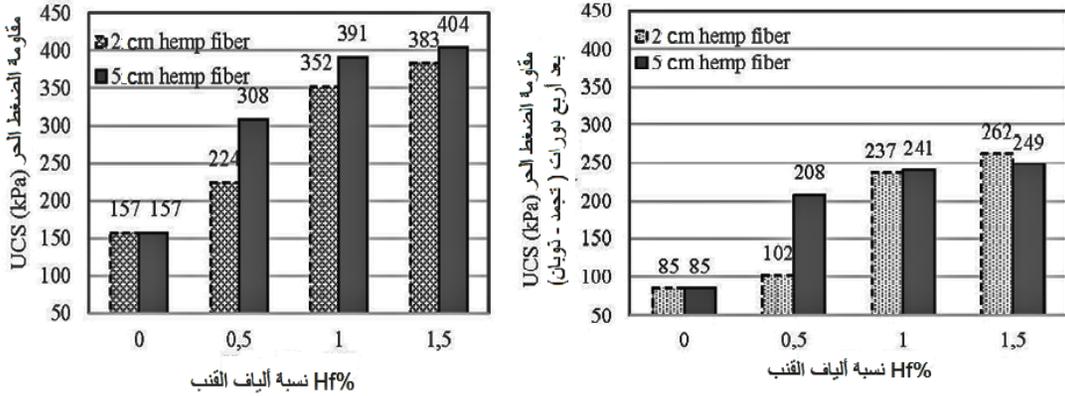
يشير الشكل (9) إلى أن مقاومة الضغط الحر تزداد مع زيادة نسبة الألياف و مع زيادة طولها، ترتبط جزيئات التربة بألياف القنب HF الموزعة بشكل عشوائي في مخاليط (تربة -ألياف القنب)، مما يؤدي إلى تكوين كتل أكبر بفعل آلية الارتباط المعقدة بين الألياف و جزيئات التربة.



الشكل (9) : تغيير مقاومة الضغط الحر للتربة بتغيير نسبة الألياف (4).

- في دراسة أجراها KURT et al (2023) على تربة غضارية عالية اللدونة CH ذات حد سيولة 60.8% و دليل لدونة 34.3% لتأثير عملية التجمد و الذوبان -Freezing- Thawing Tests على مقاومة الضغط الحر للتربة بوجود ألياف القنب بطول 2 cm و 5 cm نجد من الشكل (10) أن مقاومة الضغط الحر للمركب (تربة - ألياف القنب) تزداد مع زيادة نسبة الألياف و مع زيادة طولها سواء قبل تعرضها لاختبار التجمد و الذوبان أو بعد ، عند تعرض التربة المدرسة لأربع دورات تجمد و ذوبان فإن مقاومتها على الضغط الحر بدون وجود ألياف القنب فيها تتخفص بمقدار 46% ، إلا أن المقاومة تزداد و بنسبة أكبر من حالة عدم تعرض عينات التربة لدورات التجمد و الذوبان ، يبين الجدول (1) مقارنة بين مقاومة الضغط الحر للترب المعالجة بالنسب و الأطوال السابقة لألياف القنب قبل و بعد اختبار (تجمد - ذوبان) ، حيث نجد أن تحسن مقاومة الضغط الحر كان أكبر بعد اختبار التجمد و الذوبان ، مما يدل على

أهمية استخدام ألياف القنب في المناطق التي تتعرض إلى تغيرات مناخية و ذلك لإنقاص تأثير ظاهرة التجمد و الذوبان على مقاومة التربة (11).



الشكل (10) : قيم مقاومة الضغط الحر لعينات الترب الغضارية المقواة بألياف القنب قبل و بعد أربع دورات (تجمد- ذوبان) (11).

الجدول (1) : مقارنة بين مقاومة الضغط الحر للترب المعالجة بنسب و أطوال مختلفة لألياف القنب قبل و بعد اختبار (تجمد - ذوبان) .

UCS kpa	0%	0.5%	1%	1.5%	0%	0.5%	1%	1.5%
	قبل اختبار التجمد و الذوبان				بعد أربع دورات تجمد و ذوبان			
2 cm	157	224	352	383	85	102	237	262
5 cm	157	308	391	404	85	208	241	249
التحسن عند 2 cm		43%	124%	144%		20%	179%	208%
التحسن عند 5 cm		96%	149%	157%		145%	184%	193%

4-التربة المدروسة:

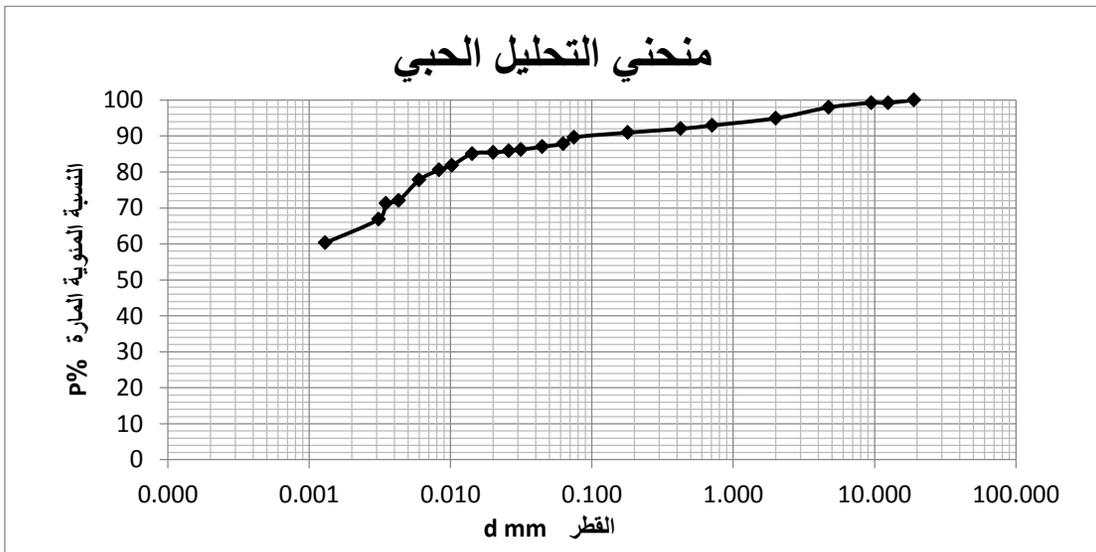
تم إحضار عينات التربة من موقع حفرة بناء في ضاحية الوفاء في مدينة حماة من عمق تأسيس 1.5 m من سطح الأرض الطبيعية على مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث لإجراء التجارب المخبرية عليها و نلاحظ وجود التشققات في التربة و هذا دليل أولي على أنها تربة انتفاخية ، كما هو موضح في الشكل (11) .



الشكل (11): الموقع الذي تم إحضار عينة التربة منه.

تم إجراء التجارب المخبرية على التربة لتحديد خواصها الفيزيائية و الميكانيكية وفق مايلي :

أجريت تجربة المناخل على حبات التربة المحجوزة على المنخل رقم 200 ، بينما أجريت تجربة الترسيب على حبات التربة المارة من المنخل رقم 200 وكان منحنى التحليل الحبي الناتج كما هو موضح في الشكل (12) .



الشكل (12): منحنى التحليل الحبي لعينة التربة.

تغيير خصائص الترب الغضارية عالية اللدونة بإضافة نسب مختلفة من ألياف القنب

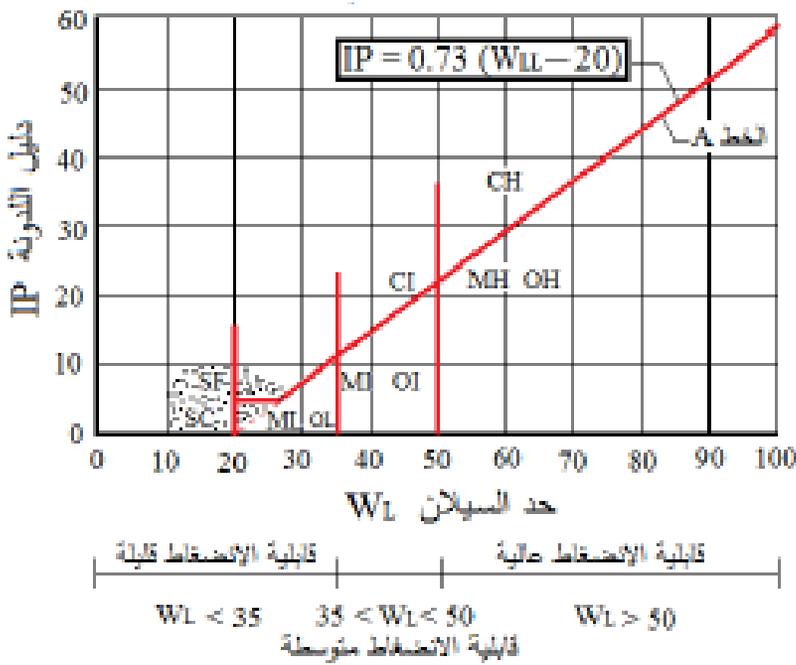
و نورد فيما يلي الجدول (2) نحدد فيه الخواص الفيزيائية و الميكانيكية المستنتجة من التجارب المخبرية :

الجدول (2): تصنيف عينة التربة.

التجربة	
الوزن النوعي	$G_s=2.72$
حدود أتبرغ	حد السيولة $\omega_L = 77.8 \%$
	حد اللدونة $\omega_P = 35.08 \%$
	دليل اللدونة $I_P = 42.72 \%$
التحليل الحبي	بحص $d < 4.75 \text{ mm}$ 2.04%
	رمل $d = (0.075 \sim 4.75)$ 8.33%
	سيلت $d = (0.005 - 0.075)$ 15.06%
	غضار $d > 0.005 \text{ mm}$ 74.00%
تجربة بروكتور النظامية	الرطوبة المثالية $\omega_{opt} = 22\%$
	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي $\gamma_{dmax} = 1.57 \text{ gr/cm}^3$
تجربة الانضغاطية	الانتفاخ الحر النسبي $\epsilon_{sw}^0 = 14.4\%$
	ضغط الانتفاخ $\sigma_{sw}^0 = 3.7 \text{ kg/cm}^2$
القص المباشر	زاوية الاحتكاك $\phi = 17^\circ$
	التماسك $c = 0.5 \text{ kg/cm}^2$
الضغط الحر	مقاومة الضغط الحر $q_u = 0.83 \text{ kg/cm}^2$
عامل مرونة التربة	$E = 20.5 \text{ kg/cm}^2$

تصنف التربة وفق النظام الموحد لتصنيف الترب و كما هو موضح على مخطط كاساغراندي كما في الشكل (13) بأنها غضار عالي اللدونة CH و وفق النظام الروسي

لتصنيف التربة الانتفاخية كما في الجدول (3) بأنها تربة غضارية عالية الانتفاخ ، حيث الانتفاخ الحر النسبي $\varepsilon_{sw}^0 = 14.4\%$ (2).



الشكل (13) : مخطط كاساغراندي لتصنيف التربة الناعمة .

الجدول (3) : تصنيف التربة الانتفاخية حسب قيمة ε_{sw}^0 وفق الكود الروسي SNIP .

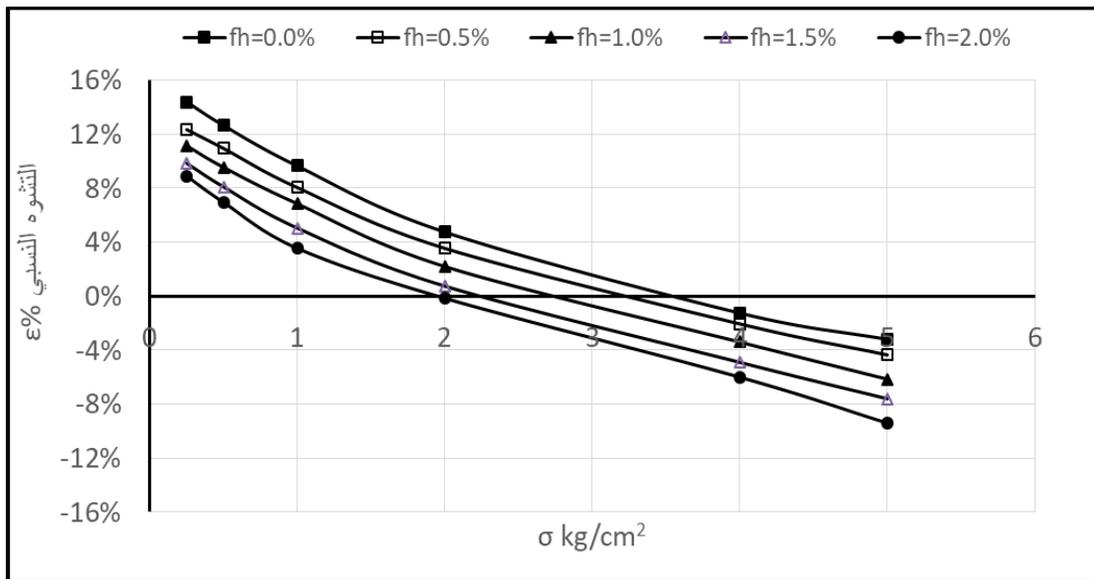
ε_{sw}^0 %	إمكانية الانتفاخ
4 - 8	منخفضة
8 - 12	متوسطة
$12 \geq$	عالية

5- التجارب المنفذة على المركب (تربة - ألياف) :

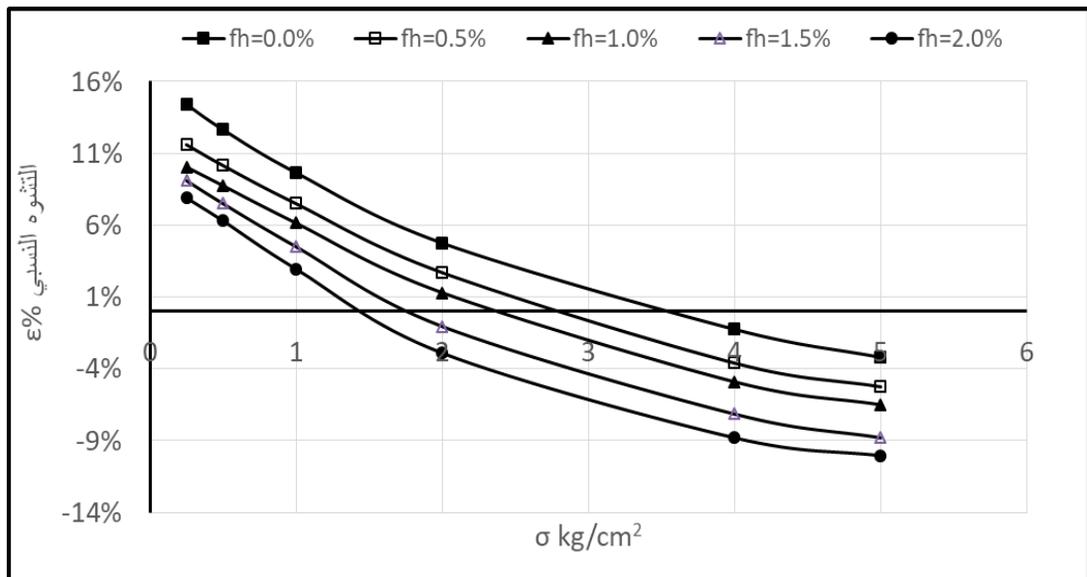
تم إجراء التجارب في مختبر التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث حيث تم إجراء التجارب على العينة المرجعية بالإضافة الى عينات تحتوي على ألياف القنب حيث كان المتغير التجريبي هو نسبة hf % (2-1.5-1-0.5) في العينة. وأطوال الألياف cm Lf (3-2-1)، حيث كان الخلط يدوياً بعد نقع الألياف في الماء مدة 24 ساعة و تصفيتها بشكل جيد ضمن درجة حرارة المخبر، وتم تشكيل العينات بالرطوبة المثالية ودرجة الرص الأعظمية تم إجراء تجارب الضغط الحر والقص المباشر والتشديد بعد 24 ساعة من تشكيل العينات.

1-5- تجربة الانضغاطية:

تم إجراء تجربة الانضغاطية على المركب (تربة - ألياف) بنسب مختلفة (1-0.5) % (2-1.5 و بأطوال مختلفة cm (3-2-1) ، و توضح الأشكال (14) و(15) (16) منحنى (تشوه - إجهاد) للعينات المرجعية و للعينات الحاوية على ألياف القنب بالنسب و الأطوال المعتمدة ، حيث نجد من الأشكال تناقص الانتفاخ الحر النسبي و تناقص ضغط الانتفاخ مع ازدياد نسبة الألياف و طولها في التربة الغضارية .

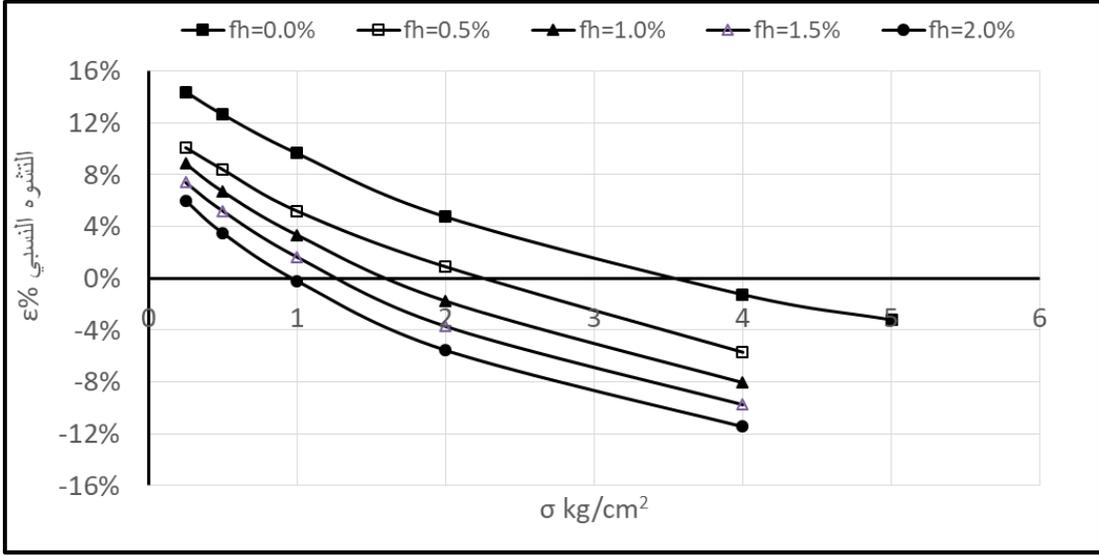


الشكل (14): منحنى الإجهاد التشوه النسبي عند إضافة ألياف بطول 1 cm.



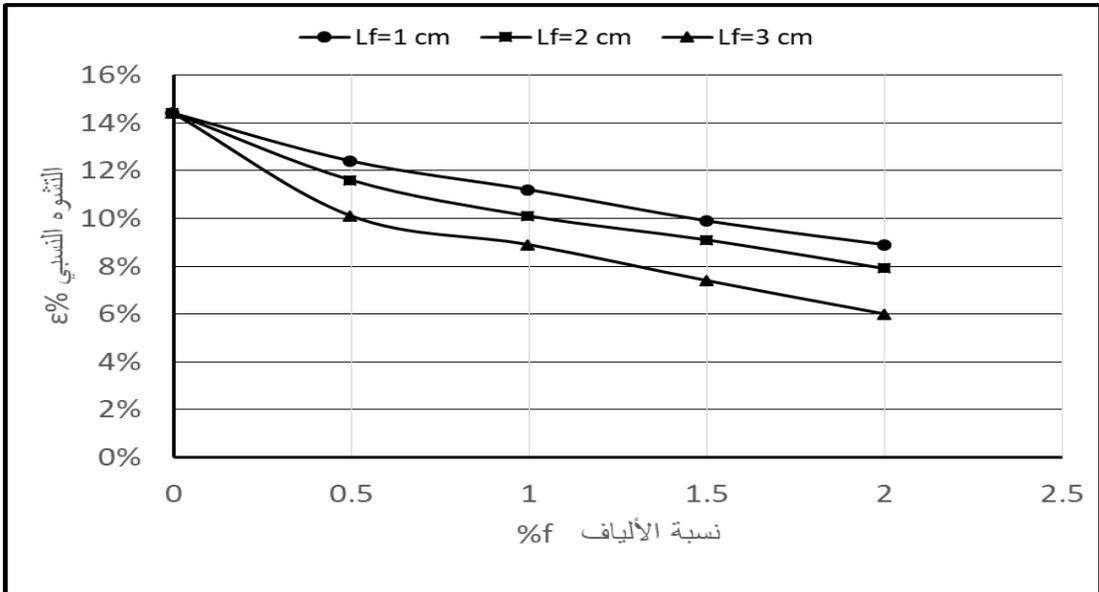
الشكل (15): منحنى الإجهاد التشوه النسبي عند إضافة ألياف بطول 2 cm.

تغيير خصائص الترب الغضارية عالية اللدونة بإضافة نسب مختلفة من ألياف القنب

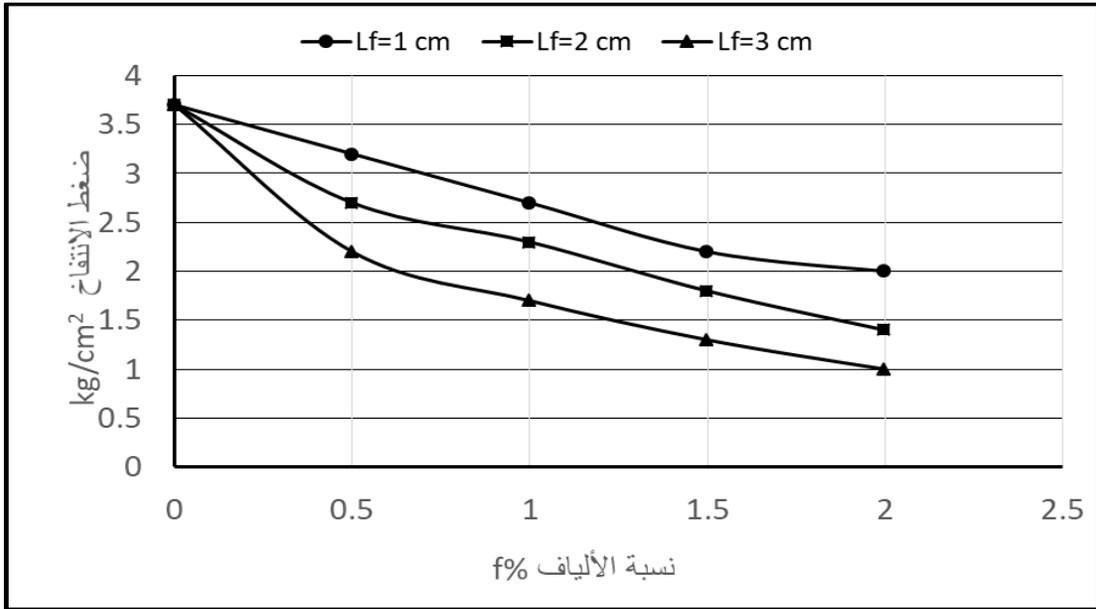


الشكل (16): منحنى الإجهاد التشوه النسبي عند إضافة ألياف بطول 3 cm.

ويظهر الشكلان (17) و(18) منحنيات تغير التشوه النسبي الحر و تغير ضغط الانتفاخ عند إضافة ألياف القنب بأطوال مختلفة على التوالي.



الشكل (17): منحنيات تغير التشوه النسبي للتربة بحسب نسبة و طول الألياف المضافة.



الشكل (18): منحنيات تغير ضغط الانتفاخ للتربة بحسب نسبة و طول الألياف المضافة.

نلاحظ من الشكل (17) أن الانتفاخ الحر النسبي قد تناقص من 14.4% بدون ألياف إلى 6% عند إضافة نسبة 2% من ألياف القنب ذات الطول 3 cm أي بمقدار 58.33% و تحولت التربة من عالية الانتفاخ إلى منخفضة الانتفاخ وفق التصنيف الروسي SNIP ، و بالتالي سنكتفي بنسبة ألياف 2% و طول 3 cm لأنها قللت من انتفاخ التربة إلى الحد الذي جعلها منخفضة الانتفاخ فحققت الغرض منها ، عدا عن صعوبة الخلط اليدوي التي واجهناها في المخبر ، حيث أصبحت النسب الحجمية للألياف كبيرة عند طول 3 cm و نسبة 2% . و هذا ما يبرر عدم اعتماد نسب أكبر من 2% و أطوال أكبر من 3 cm .

و قد أكد (G. Liu et al ، 2018) أنه عند استخدام نسبة كبيرة من الألياف في التربة، يحدث انخفاض في مقاومة المركب (تربة - ألياف) لأن الألياف لا يتم توزيعها

تغيير خصائص الترب الغضارية عالية اللدونة بإضافة نسب مختلفة من ألياف القنب

بشكل متجانس في التربة حيث تتجمع الألياف على شكل مجموعات يكون الاحتكاك و التماسك بينها أقل من مقاومة التربة ، فتشكل نقاط ضعف في التربة (10).

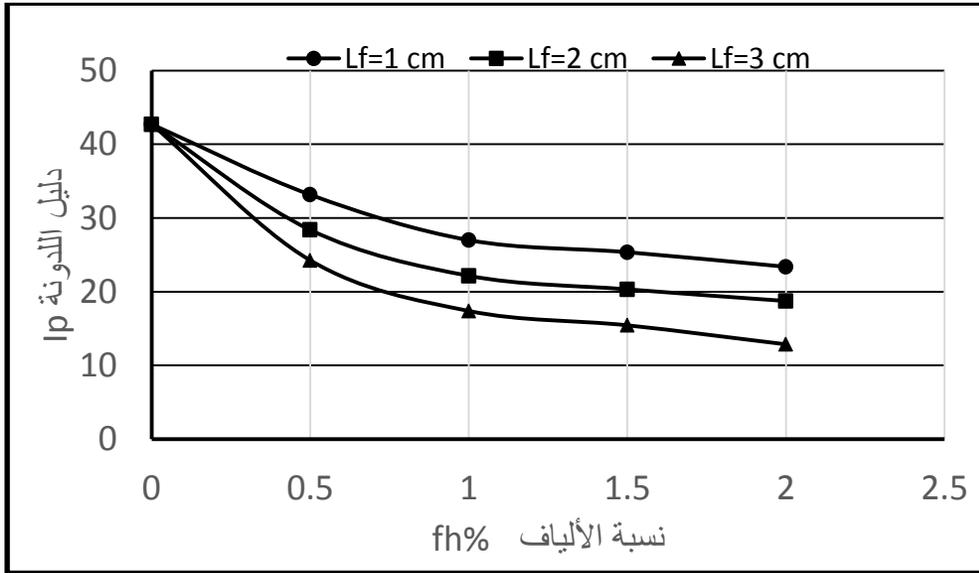
2-5 - تجارب حدود أتربرغ : تم غسل التربة على المنخل رقم 40 و تجفيف نواتج الغسل ، و تم خلط التربة المجففة بنسب وزنية مختلفة من ألياف القنب (hf-1-0.5) % (2-1.5 و بأطوال مختلفة Lf cm (3-2-1) و أجريت على التربة المركبة تجارب حدود أتربرغ (حد السيولة و حد اللدونة) و تم حساب دليل اللدونة من أجل كل مركب (تربة- ألياف القنب) بالنسب و الأطوال المعتمدة ، و كانت النتائج كما هو موضح في الجدول (4) .

الجدول (4) : نتائج تجارب حدود أتربرغ على المركب (تربة- ألياف القنب) بوجود نسب و أطوال مختلفة من ألياف القنب .

نسبة الألياف hf%	0	0.5	1	1.5	2	
حد السيولة ω%	77.8	67.27	59.11	55.77	52.49	Lf=1 cm
حد اللدونة ωp%	35.08	34.11	32.11	30.41	29.11	
حد السيولة ω%	77.8	60.33	50.82	47.65	44.88	Lf=2 cm
حد اللدونة ωp%	35.08	31.94	28.66	27.33	26.14	
حد السيولة ω%	77.8	56.66	47.49	43.84	39.16	Lf=3 cm
حد اللدونة ωp%	35.08	32.4	30.1	28.4	26.3	
دليل اللدونة	42.72	33.16	27	25.36	23.38	Lf=1 cm
دليل اللدونة	42.72	28.39	22.16	20.32	18.74	Lf=2 cm
دليل اللدونة	42.72	24.26	17.39	15.44	12.86	Lf=3 cm

و يبين الشكل (19) تغيير دليل اللدونة مع تغيير نسبة الألياف من أجل الترب الحاوية على ألياف قنب بأطوال مختلفة حيث تبين أن وجود ألياف القنب في التربة الغضارية المنتفخة يقلل من حد السيولة و حد اللدونة و يقلل من دليل اللدونة ، حيث تناقص دليل اللدونة من $I_p=42.72\%$ (تربة عالية اللدونة) بدون ألياف إلى $I_p=12.86$ (تربة

متوسطة اللدونة) عند إضافة ألياف القنب بطول 3 cm و بنسبة 2% ، و هذا ما يفسر تناقص انتفاخ التربة كما وضحنا سابقاً .



الشكل (19): تغير دليل اللدونة للتربة الغضارية مع تغير نسبة الألياف وطولها.

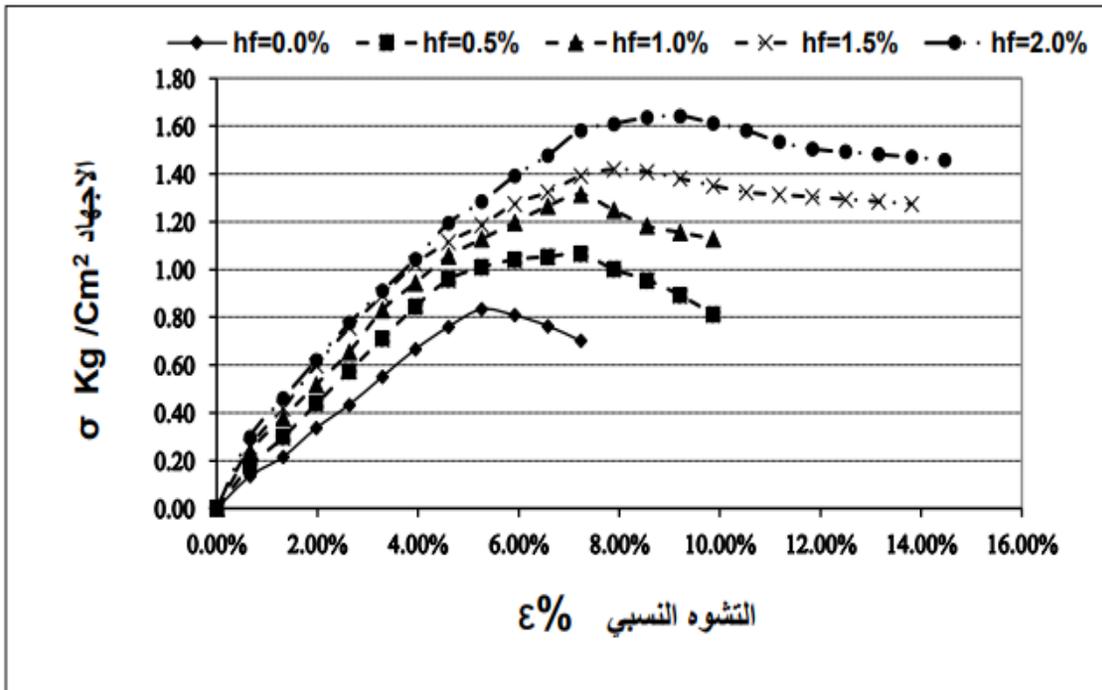
3-5- تجربة الضغط الحر:

تمت إضافة ألياف القنب بنسب و أطوال مختلفة للتربة الغضارية، و من ثم رطبت بالرطوبة المثالية و رصت في القالب الإسطواني بحيث تحقق كثافة جافة أعظمية، و أجريت عليها تجربة الضغط الحر لمعرفة المقاومة غير المصرفة، يبين الشكل (20) أشكال انهيار لبعض عينات المركب (تربة - ألياف القنب) .



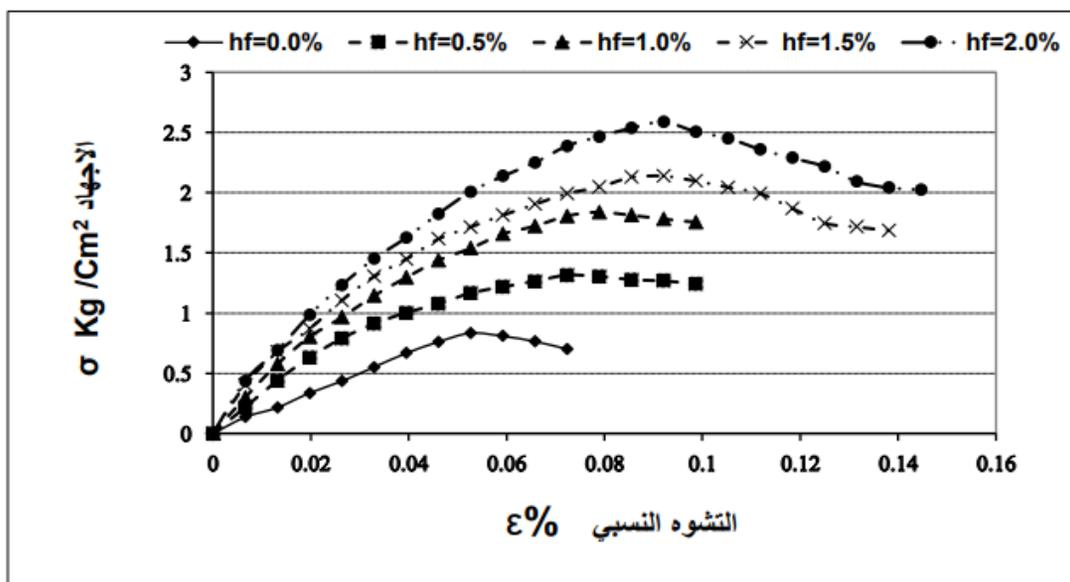
الشكل (20) : أشكال انهيار عينات الضغط الحر.

و تبين الأشكال (21) (22) (23) علاقة (تشوه - إجهاد) للترب الحاوية على ألياف القنب بالنسب و الأطوال المعتمدة حيث نلاحظ تزايد مقاومة الضغط الحر مع تزايد نسبة الألياف و مع تزايد طولها في التربة الغضارية .

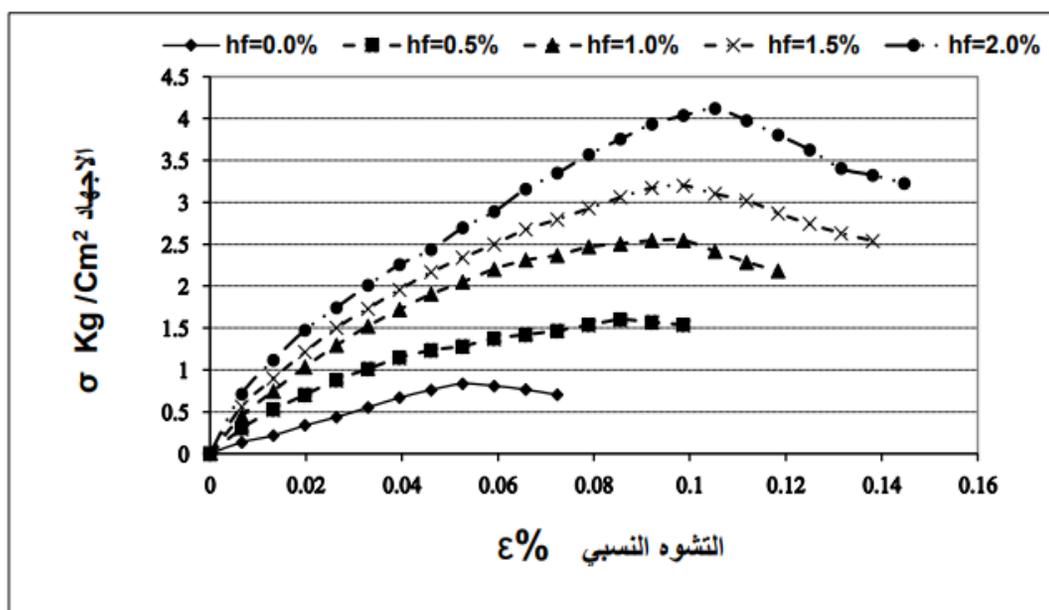


الشكل (21): منحنى الإجهاد التشوه للتربة الغضارية عند إضافة نسب ألياف مختلفة و

بطول 1 cm.

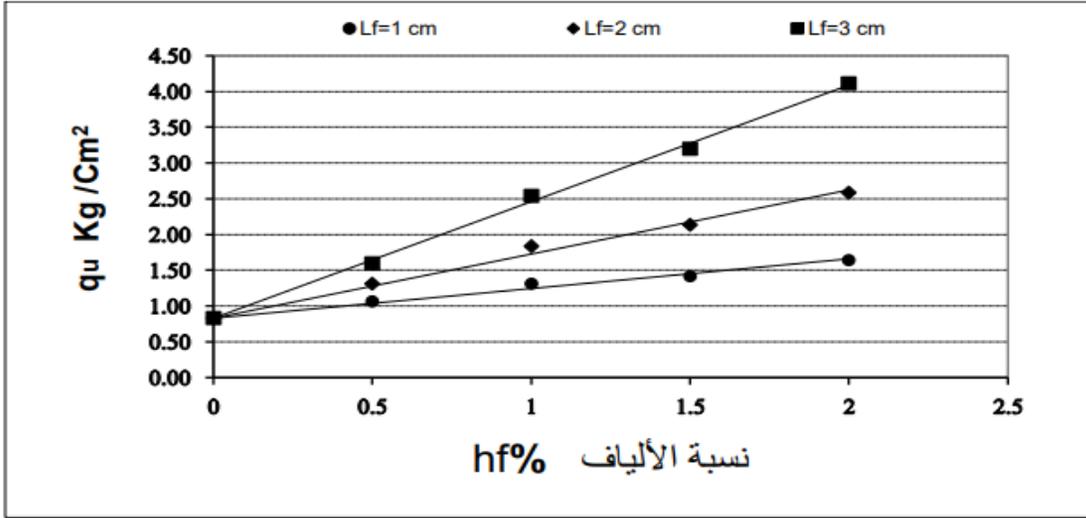


الشكل (22): منحنى الإجهاد للتشوه للتربة الغضارية عند إضافة نسب ألياف مختلفة وبطول 2 cm.



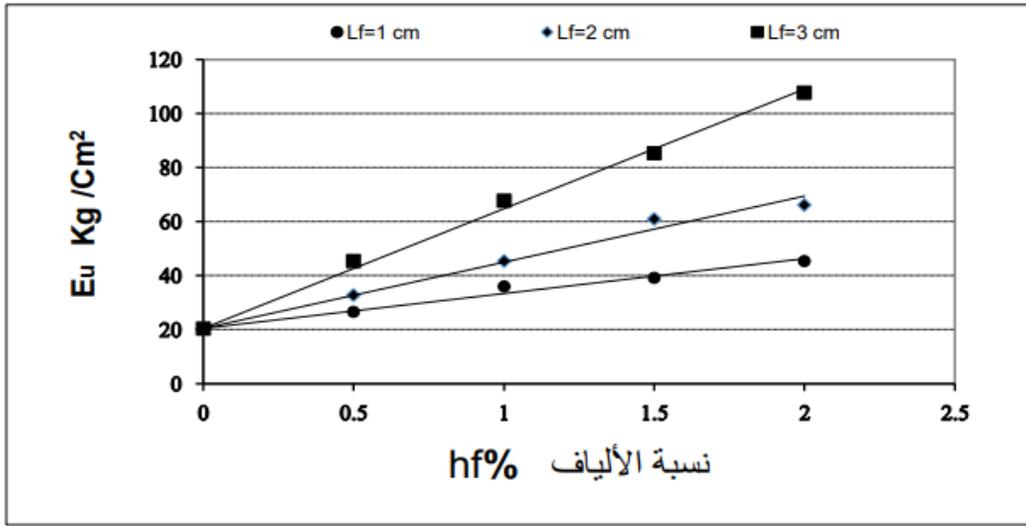
الشكل (23): منحنى الإجهاد للتشوه للتربة الغضارية عند إضافة نسب ألياف مختلفة وبطول 3 cm.

ويوضح الشكل (24) تزايد مقاومة الضغط للترب الحاوية على ألياف القنب و ذلك مع تزايد نسبة الألياف و مع تزايد طولها في التربة، حيث ازدادت المقاومة غير المصرفة بنسبة %369 أي حوالي أربع أضعاف تقريباً من أجل ألياف بطول 3 cm و بنسبة %2.



الشكل (24): تغيير المقاومة على الضغط الحر للتربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب و الأطوال المختلفة .

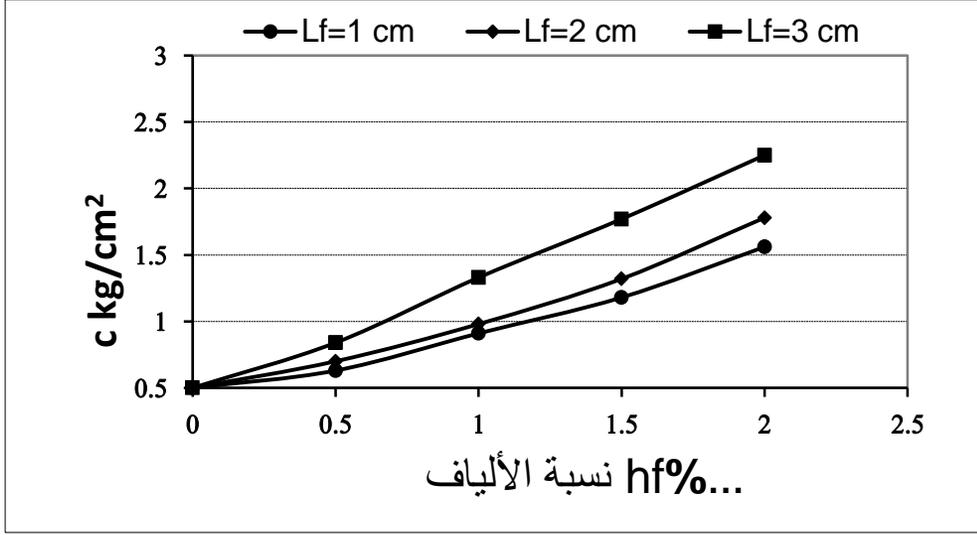
يبين الشكل (25) تغيير معامل مرونة التربة للتربة الحاوية على ألياف القنب و المستنتج من تجربة الضغط الحر مع تغيير نسبة الألياف و مع تغيير طولها ، حيث نجد ازدياد معامل مرونة التربة بمقدار %427 من أجل ألياف بطول 3 cm و بنسبة %2 .



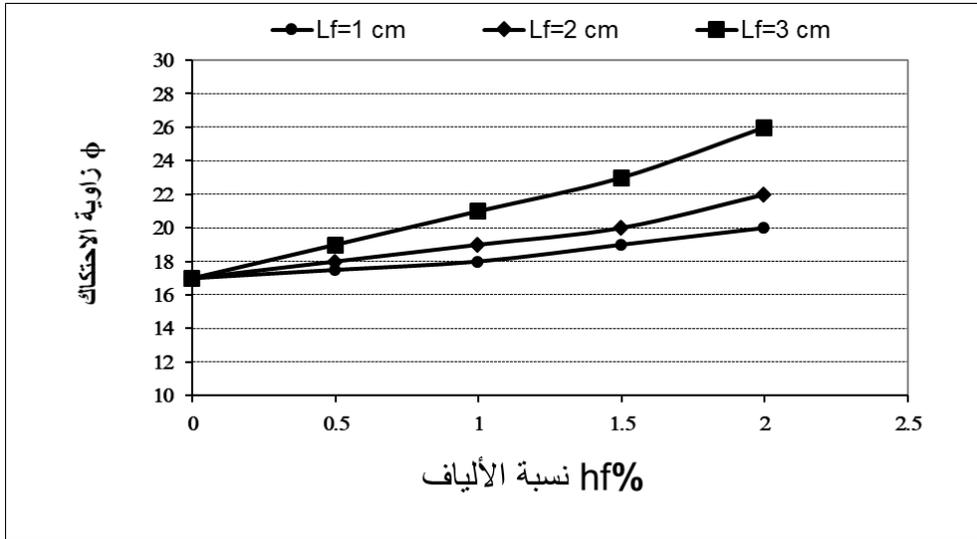
الشكل (25): تغير عامل مرونة التربة E_u للتربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب و الأطوال المختلفة.

4-5- تجربة القص المباشر:

تم تجهيز عينات القص المباشر و المكونة من التربة المرجعية مع ألياف القنب بالنسب و الأطوال المعتمدة، وإجراء تجارب القص عند سرعة 0.5 mm/min عند نسب مختلفة للإجهاد الناظمي (0.5-1.25-2) kg/cm² و يبين الشكل (26) ازدياد التماسك في التربة الحاوية على ألياف القنب و ذلك مع ازدياد نسبة الألياف و مع ازدياد طولها ، حيث ازداد التماسك بنسبة 350% من أجل ألياف بطول 3 cm و بنسبة 2% ، و ازدادت زاوية الاحتكاك بشكل ملحوظ مع زيادة نسب الألياف و طولها في التربة بمقدار 150% من أجل ألياف بطول 3 cm و بنسبة 2% ، و هذا ما يوضحه الشكل (27)

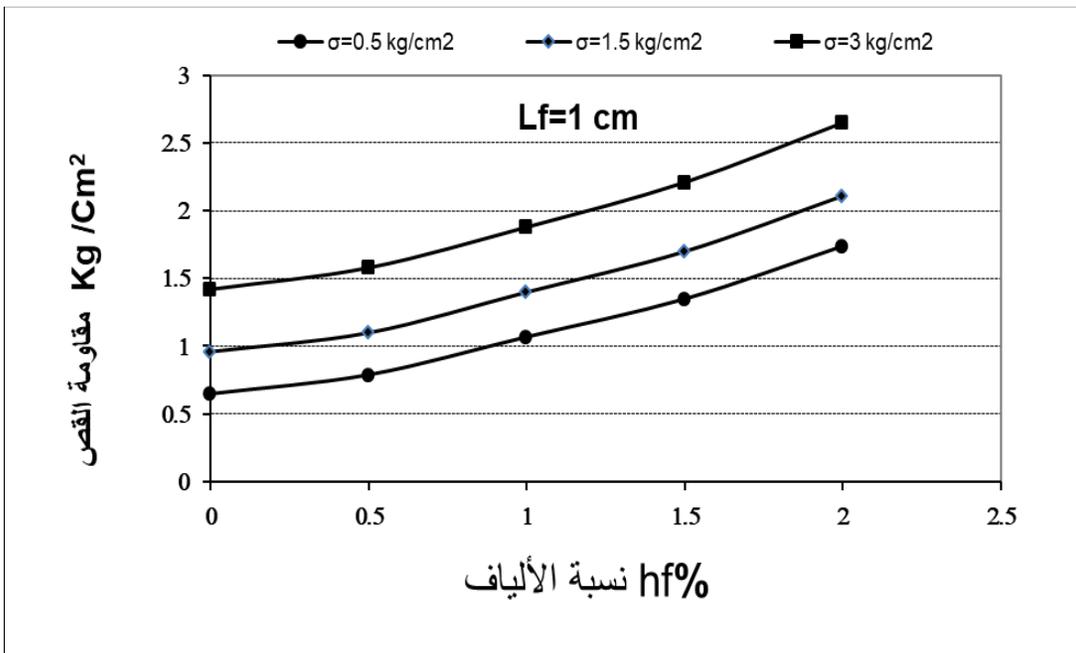


الشكل (26): التماسك في التربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب و الأطوال المختلفة.

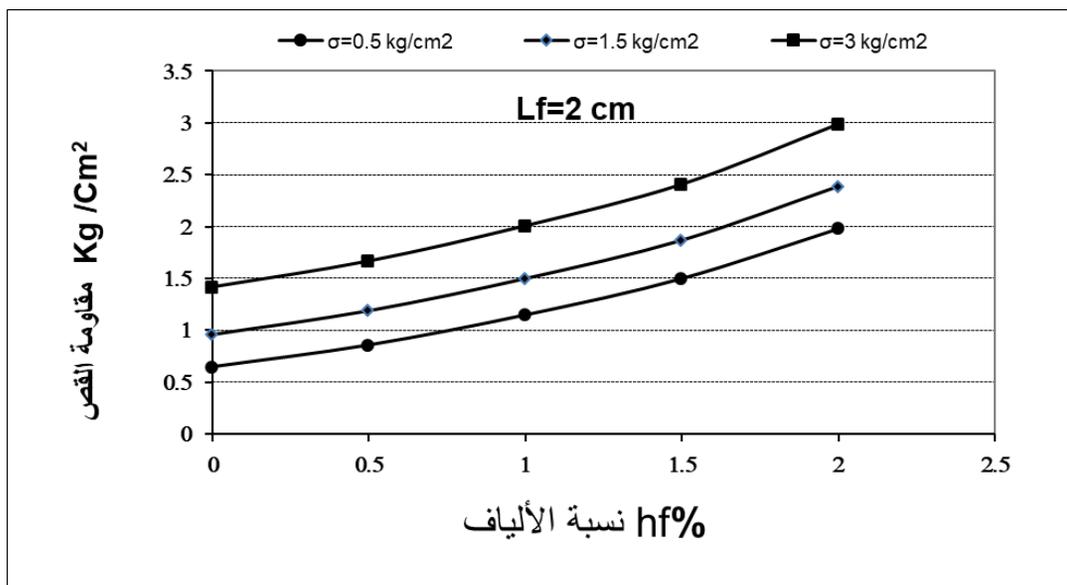


الشكل (27): زاوية الاحتكاك في التربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب و الأطوال المختلفة.

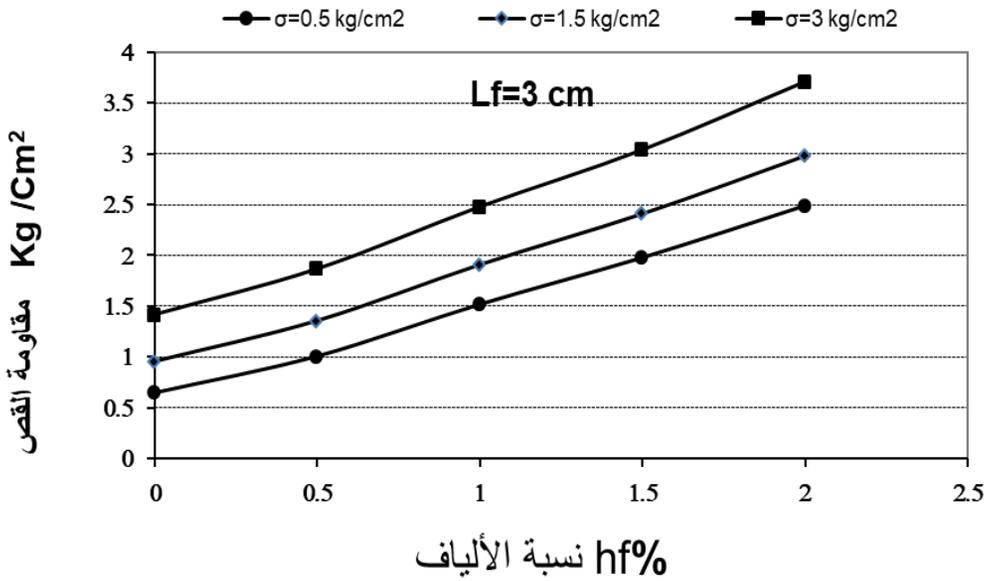
رسمنا العلاقة بين مقاومة القص للتربة الحاوية على ألياف القنب عند الإجهادات الناعمة المعتمدة و نسبة ألياف القنب و من أجل كل طول من أطوال الألياف، حيث تبين ازدياد المقاومة مع ازدياد طول الألياف و مع ازدياد نسبتها في التربة ، و هذا ما توضحه الأشكال (28) و (29) و (30) .



الشكل (28): تزايد مقاومة القص للتربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب المختلفة و بطول 1 cm .

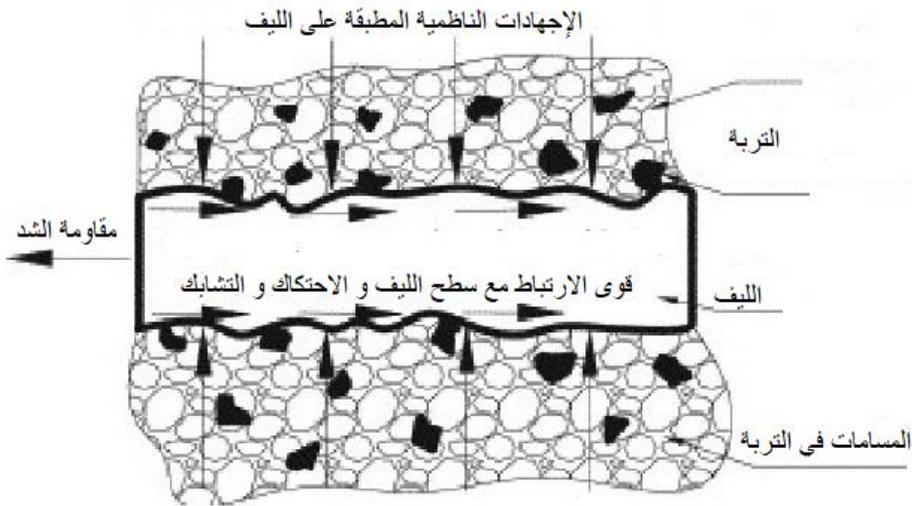


الشكل (29): تزايد مقاومة القص للتربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب المختلفة و بطول 2 cm .



الشكل (30): تزايد مقاومة القص للتربة عند إضافة ألياف القنب بالنسب المختلفة و بطول 3 cm.

مما سبق نجد أن وجود ألياف القنب في التربة الغضارية يحسن من خواصها الفيزيائية و الميكانيكية ، و ممكن تفسير هذا التحسن بزيادة قوى الارتباط و الاحتكاك و التشابك مع الليف و التي تزداد مع زيادة طول الألياف و نسبتها في التربة . و ممكن توضيح القوى السابقة بالشكل (31) .



الشكل (31) : السلوك الميكانيكي على السطح البيني بين التربة و الليف (4) .

6 - النتائج:

- تشكل جزيئات التربة الناعمة المرتبطة بألياف القنب الموزعة عشوائياً في التربة جزيئات مقواة كبيرة الحجم نسبياً .
- تتأثر آلية استجابة المركب (تربة - ألياف القنب) بطول ألياف القنب و نسبتها في التربة.
- حسن وجود ألياف القنب في التربة الغضارية من الخواص الميكانيكية لها فزادت من مقاومتها على القص ، و كان ذلك واضحاً مع زيادة نسبة ألياف القنب و طولها في التربة ، حيث يزداد عدد الألياف المتشابكة مع التربة فيزداد التعشيق بين التربة و الألياف و تزداد المقاومة على الشد ، مما يجعل التربة أكثر مقاومة على القص.

- خفض وجود ألياف القنب في التربة الغضارية عالية الانتفاخ من الخواص الانتفاخية للتربة في الحالة المدروسة في هذا البحث ، فتحوّلت التربة من عالية الانتفاخ إلى منخفضة الانتفاخ ، و كان ذلك متوافقاً مع تناقص دليل اللدونة ، حيث أصبحت التربة متوسطة اللدونة بعد ان كانت عالية اللدونة قبل المعالجة

7- التوصيات:

1. دراسة تأثير عامل نفاذية التربة بتغيير نسب ألياف القنب و طولها في التربة الغضارية .
2. قياس عامل مرونة ألياف القنب و مقاومتها على الشد و ربط خواص ألياف القنب و خواص التربة الغضارية بخواص المركب (تربة - ألياف القنب) الناتجة .
3. إضافة ألياف القنب إلى التربة الناعمة في الحقل بالرطوبة المثالية و الكثافة الجافة الأعظمية للتربة و بالنسب و الأطوال المعتمدة ، و قياس المواصفات الحقلية و مقارنتها مع المخبرية .
4. البحث في تكنولوجيا خلط ألياف القنب مع التربة حقلياً حيث وجدنا صعوبة أثناء تشكيل العينات وخصوصاً ألياف القنب ذات الطول 3 cm و عند النسبة 2% .
5. إجراء الأبحاث باستخدام الألياف على أنواع مختلفة من الترب الغضارية (متوسطة ومنخفضة اللدونة).
6. خلط الألياف النباتية بمادة تحافظ على ديمومتها و تكسب سطحها خشونة لزيادة الاحتكاك مع التربة ، حيث تتحلل الألياف الطبيعية بشكل أسرع من الألياف الاصطناعية في البيئات الطبيعية وهذا هو عيب الألياف الطبيعية .

المراجع:

- 1- Abou Diab. A., Najjar, S. S., and Sadek, S. (2017). "Reliability-Based Design Application for Fiber-Reinforced Clay", Proc. of the GeoFrontiers Conference, March. 12-15, Orlando, Florida, USA.
- 2- Amer Ali Al-Rawas, Mattheus F.A. Goosen - Expansive soils_ recent advances in characterization and treatment- Taylor & Francis(2006) .
- 3- AYMAN A. ABED - 22. Februar 2008 - Numerical Modeling of Expansive Soil Behavior .
- 4- Ekrem Kalkan, Haci Osman Kartal & Omer Faruk Kalkan 2022 Experimental Study on the Effect of Hemp Fiber on Mechanical Properties of Stabilized Clayey Soil <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2068725>
- 5- Hatami, K., and Esmaili, D. (2015). "Unsaturated Soil-Woven Geotextile Interface Strength Properties from Small-Scale Pullout and Interface Tests." Geosynthetics International, 22(2), 161-172.
- 6- Mazhar Syed, Anasua GuhaRay & Divyam Goel -2022- Strength characterisation of fiber reinforced expansive subgrade soil stabilized with alkali activated binder

<https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1869062>

7- Najjar, S. S., Sadek, S., and Taha, H. (2014). "Use of Hemp Fibers in Sustainable Compacted Clay Systems." Geo-Congress 2014 Technical Papers: Geo-Characterization and Modeling for Sustainability, American Society of Civil Engineers, Atlanta, Georgia, 1415-1424.

8- Ola, A. (1989). "Stabilization of Lateritic Soils by Extensible fiber Reinforcement." Engineering Geology, 26(2), 125-140.

9- Wang, H. (2002). "Design and Optimization of Chemical and Mechanical Processing of Hemp for Rotor Spinning and Textile Applications". Dissertation, Univ. of New South Wales, UK

10- Zhou, P., Zhu, P., Chen, G., Liu, Y., Kuang, Y., Liu, Y., & Fang, Z. (2018). A study on the transmission haze and mechanical properties of highly transparent paper with different fiber species. Cellulose, 25, 2051-2061.

11- Z. N. Kurt Albayrak ve B. Özdemir , "Freezing and Thawing Resistance of Hemp Fiber Reinforced Clays", Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 12, sayı. 3, ss. 822-828, Eyl. 2023, doi:10.17798/bitlisfen.1317907

اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين

الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

طالب الماجستير: عيد صادق

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

إشراف الدكتورة غصون دنهش

الملخص

يقدم البحث الحالي دراسة تجريبية وتحليلية لسلوك التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها، حيث تم إنجاز تجارب Pull-out لخمسة نسب استبدال مختلفة من الحصويات الطبيعية بحصويات معاد تدويرها: 0%، 25%، 50%، 75%، 100% ، وذلك بهدف دراسة أثر اختلاف نسبة الاستبدال على الخصائص الميكانيكية للبيتون بحصويات معاد تدويرها بما فيها التماسك بين الفولاذ والبيتون.

بينت النتائج أن قيم إجهاد تماسك فولاذ - بيتون بحصويات معاد تدويرها ينخفض بنسبة 38.65%، 33.10%، 31.56%، 29.53% من أجل النسب 25%، 50%، 75%، 100%.

تمت مقارنة النتائج التجريبية مع الكودات العالمية والأبحاث وتبين أنها أعلى من القيم المحسوبة وفقاً لتلك الكودات والأبحاث.

تم اقتراح معادلة تجريبية اعتماداً على 200 عينة تجريبية تتضمن 15 عينة من المعطيات التجريبية للدراسة الحالية، إضافة لتجارب أخرى من الدراسات السابقة، وذلك لحساب إجهاد التماسك بدلالة كل من طول التماسك، قطر فولاذ التسليح، طبقة التغطية البيتونية، مقاومة الضغط ونسبة الاستبدال، وكانت القيم التي تم الحصول عليها مقاربة للتجريبية.

كلمات مفتاحية: بيتون بحصويات معاد تدويرها، إجهاد التماسك، تماسك فولاذ - بيتون، نسبة الاستبدال.

Suggesting a new empirical relationship for steel-recycled aggregate concrete bond strength

Abstract

The current study presents an experimental and analytical study for bond behavior between steel and recycled aggregates concrete, where pull-out tests were performed on five mixes with five different replacement ratios ;(0%, 25%, 50%, 75%, 100%); of natural aggregates with recycled ones, for investigating the effect of replacement ratio on the bond behavior and other mechanical properties of recycled aggregate concrete.

The results indicated that the steel-recycled aggregate concrete bond strength decreases 29.53%, 31.56%, 33.10%, 38.65% for replacement ratio 25%, 50%, 75%, 100%.

A new empirical relationship for steel-recycled aggregate concrete was suggested depending 200 experimental test results, including 15 result for the present study and other studies from literature, depending on bond length, rebar diameter, concrete cover, compressive strength, and replacement ratio, and the results from the proposed equation were close to the experimental results.

Key words: Recycled Aggregate Concrete, Bond strength, Steel-Recycled Aggregate Concrete bond, replacement ratio.

1- المقدمة:

يعتبر البيتون من أكثر مواد البناء استخداماً للمميزات الكثيرة التي تتمتع بها، حيث يتم استهلاك ما يقارب 48 مليار طن من الركام الخشن الطبيعي كل عام في بناء الهياكل البيتونية [1] ، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى كميات كبيرة من النفايات البيتونية الناتجة عن الإنشاء والهدم والتي ينتهي معظمها في مطامر النفايات، وهو مصدر قلق حقيقي للبيئة، فهناك ما يزيد عن 850 مليون طن من النفايات في الاتحاد الأوروبي [2]، وأكثر من 530 مليون طن في الولايات المتحدة مما سبب نقص في مكبات النفايات وخسارة هذه الأراضي المخصصة للمطامر.

تخلف الكوارث الطبيعية كالزلازل والحروب حجوما هائلة من الأنقاض، يتزامن هذا مع الاحتياج الكبير من أجل مواد لإعادة البناء، وهذا يجعل إعادة تدوير هذه الأنقاض حلاً مجدياً من الناحية البيئية والاقتصادية، وتعد هذه الطريقة مفيدة وفعالة كونها تقلل حجم النفايات المتولدة وبالتالي توفر مساحة الأراضي المستخدمة كمطامر للأنقاض، كما أنها تساهم في الحفاظ على المصادر الطبيعية الأصلية.

2- الدراسات المرجعية:

- قامت دراسات عدة بالبحث في خواص الحصويات المعاد تدويره Aggregate Recycled، (RA) وتوصل كثير من الباحثين نتيجة لإجراء تجارب مخبرية على

البيتون بحصويات طبيعية (NCA) والبيتون بحصويات معاد تدويرها (RCA)، أن البيتون الطبيعي يختلف عن البيتون بحصويات معاد تدويرها بنواح عدة منها أن الحصويات المعاد تدويرها لها كثافة أقل، امتصاص أكبر للماء وفاقد الاهتراء أعلى، وذلك بسبب المونة الإسمنتية القديمة التي تبقى ملتصقة على سطح الحصويات (RCA) (Murali et al., Maslesve et al. [3] 2012، [4] 2010).

- كما أوضح كلاً من (Jankovic et al. [5] 2014، [6] 2005) أن الإختلاف في الشكل والحجم والملمس بين البيتون الطبيعي والبيتون بحصويات معاد تدويرها يؤثر على المنطقة الانتقالية الرابطة بين الحصويات والعجينة الإسمنتية وبالتالي يؤثر على المقاومة.

- حاول ([7]، 1998) Montgomery علاج الحصويات المعاد تدويرها وذلك بطحنها في مطحنة دوارة لإزالة العجينة الإسمنتية القديمة من على سطحها، ووجد أن الحصويات الأكثر نظافة تعطي بيتون بجودة أعلى، إضافة إلى ذلك أوضح (Maslesve et al. 2010، [4]) في دراستهم أن جودة الحصويات المعاد تدويرها ومصدرها عامل هام جداً، ويؤثر بشكل كبير على جودة البيتون المنتج منه حيث تم اعتماد نفايات المخبر في دراستهم والتجارب التي أجروها. قام الباحثون (Murali et al. [3] 2012، [8] 2007، al.) بمعالجة الحصويات المعاد تدويرها باستخدام محلول حمض الكبريت

بنقعه لمدة 24 ساعة ومن ثم تجفيفه و توصلوا إلى أن مقاومة الضغط زادت عن مقاومة الضغط للبيتون بحصويات طبيعية بنسب تتراوح بين 4.93% حتى 11.88%.

- أوضح الباحث (Poon et al. 2004[9]) أن البيتون المنتج من الحصويات المعاد تدويرها يتأثر بالرطوبة، فعند استخدام حصويات المعاد تدويرها تم تجفيفها في الفرن لوحظ أن هبوط مخروط أبرامز ازداد بسبب ارتفاع كمية الماء المستخدمة لأن درجة امتصاص الحصويات المعاد تدويرها للماء أعلى منه للحصويات الطبيعية.

- درس الباحث (Kouaido D.2011[10]) أثر محتوى الاسمنت على مقاومة الضغط حيث استخدم خمس كميات مختلفة من عيار الاسمنت (300-350-400-450) Kg/m^3 ، وتوصل إلى أن الفرق بالمقاومة بين الخلطة بالحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها يكون أقل عند استخدام كمية اسمنت أقل، فمن أجل محتوى 250 و Kg/m^3 350 كانت المقاومة أقل بحوالي 80% أما من أجل كمية إسمنت 300 Kg/m^3 يصبح التغير بالمقاومة 20%-5، كما أن الجودة التي تم الحصول عليها مع كمية اسمنت أقل من 300 Kg/m^3 ضعيفة، في حين استخدام اسمنت أعلى من ذلك أعطى مواصفات أفضل وجودة أفضل.

- لقد أجرى الباحثين (Xiao and Falkner [12]، Choi and Kang [11] ، and Malešev et al. [4]) اختبارات السحب Pull-out على عينات بيتونية بحصويات معاد تدويرها وتوصلوا إلى أن إجهاد التماسك مشابه للبيتون بحصويات طبيعية، أما

الباحثين (Seara-Paz et al. [14]، Kim et al. [13]) فقد حصلوا على إجهادات للتماسك منخفضة بنسبة 18% حتى 27% مقارنة بالبيتون بحصويات طبيعية.

- أيضا أجرى الباحثون (Morohashi et al. [15]، Robert et al. [16]، Sadati et al. [17]، Fathifazi et al. [18]، Butler et al. [19]) اختبار التماسك وتوصلوا إلى أن إجهاد التماسك مشابه لإجهاد التماسك في البيتون الطبيعي عند استخدام حصويات معاد تدويرها ذات جودة جيدة، بينما عند استخدام حصويات معاد تدويرها عادية وبجودة منخفضة فقد توصلوا إلى أن إجهاد التماسك يكون منخفض مقارنة بالبيتون الطبيعي حتى 21%، أيضا قام الباحثون (Sadati et al. [17]) باستخدام 50% من الحصويات المعاد تدويرها التجارية مع كمية إضافية من الحصويات المعاد تدويرها في المخبر وحصل على قيم لإجهاد التماسك مشابهة للبيتون بحصويات طبيعية.
- يعطى إجهاد التماسك التجريبي المحسوب بتجربة Pull-out وفقا للعلاقة التالية:

$$T_{\text{bond}} = \frac{P}{\pi * d * L_d} \quad (Mpa) \quad (1)$$

• P: قوة الشد (N).

• d: قطر حديد التسليح (mm).

• L_d : طول التماسك (mm).

- لقد صنف الكود CEB-FIP [20] حالتين لإجهاد التماسك تتبع لنوع الانهيار:

1- انهيار العينة بالانفلاق (splitting failure):

$$T_{\text{bond}} = 7 \times \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{25} \right)^{0.25} \quad (2)$$

2- انهيار العينة بالانسحاب (pull-out failure):

$$T_{\text{bond}} = 1.25 \times \sqrt{f_c'} \quad (3)$$

- بالنسبة لباقي الكودات لم يتم تصنيف الإجهاد وفقا لحالة الانهيار بل تم اعتماد علاقة تشمل كل حالات الانهيار، سيتم ذكر بعض العلاقات التي تم اعتمادها في الكودات العالمية لحساب إجهاد التماسك:

1- الكود الأسترالي [22] Australian:

$$T_{\text{bond}} = 0.265 \sqrt{f_c' \left(\frac{c}{d_b} + 0.5 \right)} \quad (Mpa) \quad (4)$$

- C: الغطاء الخرساني (mm).
- d_b : قطر حديد التسليح (mm).
- f_c' : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).

2- الكود الأميركي [23] ACI408R-03:

$$\frac{T_{bond}}{\sqrt[4]{f_c}} = \frac{A_b * F_s}{\sqrt[4]{f_c}}$$

$$= (59.5L_d(C_{min} + 0.5d_b) + 2400A_b)$$

$$* \left(0.1 \frac{C_{max}}{C_{min}} + 0.9\right) \quad (5)$$

- C_{min} : الغطاء الخرساني (mm).
- A_b : مساحة حديد التسليح (mm^2).
- F_s : إجهاد الخضوع للفولاذ (Mpa).
- f_c : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).
- d_b : قطر فولاذ التسليح (mm).
- $1 \frac{C_{max}}{C_{min}}$ في حال استخدام قضيب تسليح فولاذي واحد.

- تم اقتراح علاقات تجريبية من قبل الباحثين لحساب إجهاد التماسك:

1- علاقة [24] DARWIN:

$$T_{bond} = 0.083045\sqrt{f_c} \left[(1.06 + 2.12 \frac{C}{d_b}) \cdot (0.92 + 0.08 \frac{C_{max}}{C_{min}}) + 75 \frac{d_b}{l_b} \right]$$

(6)

- T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).
- f_c : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).

- C: الغطاء الخرساني (mm).
- d_b : قطر فولاذ التسليح (mm).
- l_b : طول التماسك (mm).
- $1 \frac{C_{max}}{C_{min}}$ في حال استخدام قضيب تسليح فولاذي واحد.

-2 علاقة [25] Orangun:

$$T_{bond} = 0.0830457 \sqrt{f_c} \left[1.2 + 3 \frac{C}{d_b} + 50 \frac{d_b}{l_b} \right] \quad (7)$$

- T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).
- f_c : مقاومة الببتون على الضغط (Mpa).
- C: الغطاء الخرساني (mm).
- d_b : قطر فولاذ التسليح (mm).
- l_b : طول التماسك (mm).

-3 علاقة [26] Al-Jahdali:

$$T_{bond} = [-0.879 + 0.324 * \left(\frac{C}{l_b}\right) + 5.79 * \left(\frac{d_b}{l_b}\right)] \sqrt{f_c} \quad (8)$$

- T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).
- f_c : مقاومة الببتون على الضغط (Mpa).
- C: الغطاء الخرساني (mm).
- d_b : قطر فولاذ التسليح (mm).

• l_b : طول التماسك (mm).

-4 علاقة [27] Macgregor :

$$T_{\text{bond}} = 0.498 \left(\frac{c}{l_b} - 0.5 \right) \sqrt{f_c} \quad (9)$$

• T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).

• f_c : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).

• C : الغطاء الخرساني (mm).

• l_b : طول التماسك (mm).

-5 علاقة [28] Esfahani :

$$T_{\text{bond}} = 0.55 \sqrt{f_c} \left[8.6 * \frac{\frac{c}{d} + 0.5}{\frac{c}{d} + 5.5} \right] \quad (10)$$

• T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).

• f_c : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).

• C : الغطاء الخرساني (mm).

• d : قطر حديد التسليح (mm).

-6 علاقة [13] Kemp :

$$T_{\text{bond}} = \left(0.55 + 0.24 \frac{c}{l_b} \right) \sqrt{f_c} \quad (11)$$

• T_{bond} : إجهاد التماسك (Mpa).

• f_c : مقاومة البيتون على الضغط (Mpa).

• C: الغطاء الخرساني (mm).

• l_b : طول التماسك (mm).

جميع العلاقات السابقة التجريبية لحساب التماسك لم تأخذ بعين الاعتبار تأثير نسبة الاستبدال على إجهاد التماسك، وهذا ما سيتم اعتباره في الدراسة الحالية والتي تهدف إلى دراسة تأثير نسبة استبدال الحصىات المعاد تدويرها على سلوك التماسك بين الفولاذ والبيتون وفقاً للنسب التالية 0%، 25%، 50%، 75%، 100% ومقارنة النتائج مع الكودات العالمية والأبحاث واقتراح معادلة لإجهاد التماسك بحيث يتم إدخال كافة المتغيرات بما فيها نسبة الاستبدال.

تم استخدام 5 نسب استبدال للحصىات المعاد تدويرها (0%، 25%، 50%، 75%، 100%) و اعتماد حديد التسليح بقطر 16mm للعينات الأسطوانية وقطر 14mm للعينات المكعبية.

3- الدراسة التجريبية:

2-1 المواد:

2-1-1 الإسمنت:

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي أسود اللون إنتاج معمل طرطوس صنف 32.5Mpa عيار 400Kg/m^3 في جميع الخلطات البيتونية.

2-1-2 الحصويات الطبيعية:

تم استخدام حصويات من مقالع حسياء، وتتألف الحصويات الطبيعية من بحص فولي وعدسي ورمل كسر ورمل ناعم

◆ البحص الخشن (البحص الفولي) (16-25 mm).

◆ البحص الناعم (بحص عدسي) (9.5-16 mm).

◆ رمل الكسر (4.75-9.5mm).

◆ رمل ناعم طبيعي اقل من (1.18-4.75mm).

الحصويات المعاد تدويرها: 2-1-3

تم إحضار ركام من أنقاض الأبنية من حرستا، حيث تم فرزها يدوياً على المناخل الموجودة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية. ولم نستخدم النواع المارة من 1.18 بسبب امتصاصها العالي للماء كما أوصت الدراسات المرجعية [30].

2-1-4 الرمل: تم استخدام رمل ناعم نسبياً ذي اللون الأصفر (السمني-القيرواني)، الذي يتصف بالنعومة والنقاوة وقلة الشوائب والغضار.

2-1-5 الملدن: تم استخدام ملدن من النوع عالي الأداء وهو سائل بني مصنع من مواد حسب المواصفة ASTM-C-494-Type A و بنسبة ثابتة لكل نسب الاستبدال 1% من وزن الإسمنت، والهدف من ذلك الحصول على قابلية تشغيل مناسبة.

2-2 التجارب على المواد:

- A. تجربة الوزن الحجمي: والهدف منها تعيين وزن واحدة الحجم من الحصويات المعاد تدويرها، مع أخذ في الاعتبار الفراغات البينية بين الحبيبات، وذلك ليتم الاستفادة منها في التحويل بين وحدات الأوزان والحجوم من اجل تصميم الخلطة البيتوتية.
- B. تجربة الوزن النوعي: وهو وزن واحدة الحجم لحبيبات الركام بدون الفراغات بين الحبيبات.

الجدول (1) الوزن الحجمي والنوعي:

	رمل طبيعي	الحصويات الطبيعية			الحصويات المدورة		
		NS	NG	NG	RG	RG	RG
	0/1.1	1/6	4/10	6/20	1/9.5	9.5/16	16/25
	رم طبيعي	رمل كسر طبيعي	بحص ناعم طبيعي	بحص خشن طبيعي	رمل كسر مدور	بحص ناعم مدور	بحص خشن مدور
الوزن الحجمي (Gr/cm ³)	2.1	1.92	1.61	1.53	1.34	1.17	1.15
الوزن النوعي	2.58	2.27	2.83	2.96	2.31	2.46	2.02

C. المكافئ الرملي: هو اختبار لتحديد نسبة الرمل أو المواد الناعمة (غضار وشوائب)

ونسبة الحبيبات الخشنة، قمنا باجراء التجربة على الرمل القرواني وكانت قيمته

الوسطية 74%.

الجدول (2) قيم المكافئ الرملي:

التجربة	1	2	3
المكافئ الرملي	77	73	72
المكافئ الرملي الوسطي	74%		

D. الرطوبة: تهدف هذه التجربة لتحديد المحتوى المائي في العينة وتجري عن طريق

أخذ عينة رطبة من التربة وتحديد وزنها الرطب ثم تجفيفها وتحديد وزنها الجاف

وتحسب بوزن العينة رطبة ناقص وزنها جافة مقسوماً على الوزن الجاف مضروباً

في % 100.

الجدول (3) قيم الرطوبة:

المادة	الوزن الرطب (gr)	الوزن الجاف (gr)	الرطوبة %
بحص خشن طبيعي	5223	5120	2
بحص ناعم طبيعي	5452	5339.8	2.1
رمل كسر طبيعي	5775	5579.5	3.5
بحص خشن مدور	5210	5082.9	2.5
بحص ناعم مدور	5300	5185.9	2.2
رمل كسر مدور	5825	5595	4.1
رمل طبيعي للخلطة	5675	5472.5	3.7

E. تجربة لوس انجلوس:

- الغاية منها تعيين مقاومة المواد الحصوية حصراً على الاهتراء.
- الحصويات المستعملة في البيتون يكون عامل لوس أنجلوس لا يزيد عن 30 % عندما تكون المقاومة على الضغط أكبر من 200 kg / cm^2 .
- تم احضار 5000 gr من الركام الطبيعي و 5000 gr من الركام المعاد تدويره وتم تجفيفها في الفرن للحصول على وزن ثابت.
- وضعت العينات على المناخل (25-16-9.5-4.75-1.18) mm.
- تم وضع الوزن المحجوز على المناخل في الجهاز ووضع معهم 12 كرة.
- تم اخراج العينة من الجهاز و وضعت على المنخل 1.68 mm.
- $LA = (G1 - G2) / G1$
- G1 الوزن قبل التجربة و G2 الوزن بعد التجربة.
- تم اجراء التجربة ثلاث مرات واخذنا القيمة الوسطية للتجارب وحسب المواصفات السورية فإن الحصويات المستعملة في البيتون يكون عامل لوس انجلوس لا يزيد عن 30% عندما تكون المقاومة على الضغط اكبر من 20 Mpa.

الجدول (4) قيم معامل الاهتراء للحصويات:

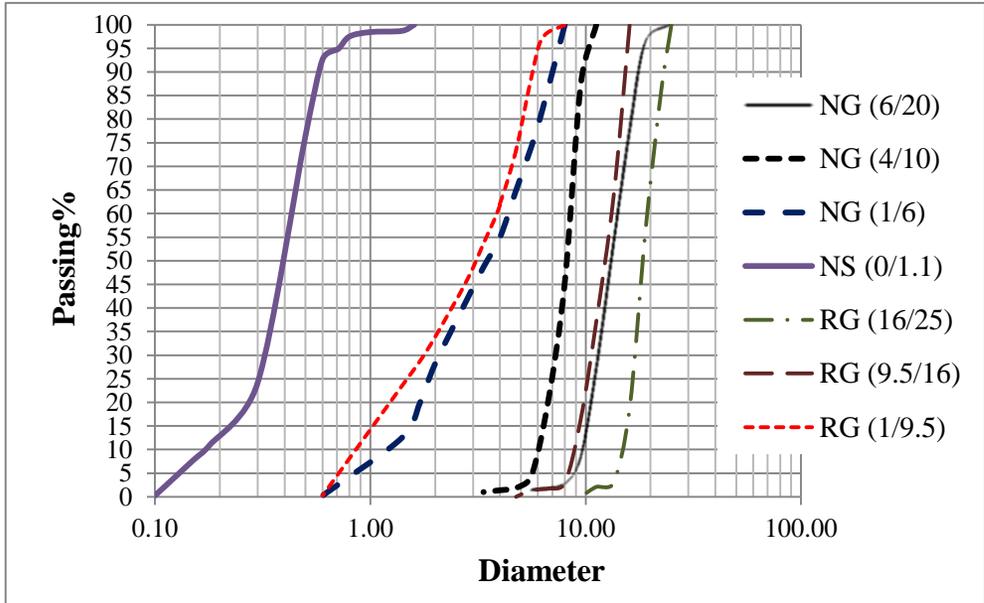
المادة	معامل الاهتراء
حصويات طبيعية	%21.5
حصويات معاد تدويرها	%23.5

وبالتالي حسب القيم الواردة في الجدول فإن الحصويات ملائمة للاستخدام في البيتون.

F. تجربة التحليل الحبي:

تم تجفيف العينات في الفرن وتكسير الكتل البيتونية، واختيار سلسلة المناخل وتم ترتيبها بحيث يكون المنخل ذو القطر الأكبر من الأعلى حيث المناخل المستخدمة وفق النظام الأمريكي ASTM، حيث تمت عملية النخل يدوياً، وتم اجراء التجربة على الركam الطبيعي والركam المعاد تدويره.

الشكل (1) التحليل الحبي للحصويات:



2-3 تجربة pull-out:

يعتبر التماسك بين الفولاذ والبيتون عنصراً هاماً عند أخذ أطوال التماسك المطلوبة للتسليح بالاعتبار، وأن سلوك تماسك التسليح يعتمد إلى حد كبير على بنية سطح القضبان الفولاذية، حيث يؤمن التماسك انتقال الحملات من البيتون إلى التسليح وبالعكس وتعريف آخر هو الخاصية المميزة التي تؤمن تناقل الإجهادات بين مادتي البيتون والفولاذ تلقائياً.

عندما يتعرض البيتون المسلح للشد يظهر الشق الأول عند تجاوز إجهادات الشد في البيتون قيمة مقاومة البيتون على الشد ويتحمل الفولاذ وحده كامل قوة الشد في منطقة الشق، وتحصل انزلاقات نسبية بين الفولاذ والبيتون وتتشأ إجهادات التماسك بجوار منطقة الشق.

أنواع الانهيارات التي تحدث في نموذج الانسحاب pull-out:

1- Pull-out failure انهيار بانسحاب فولاذ التسليح: عندما تتجاوز إجهادات

التماسك الطولية مقاومة القص لتداخلات البيتون بين نتوءات فولاذ التسليح يمكن للتسليح أن ينزلق وبالتالي ينهار التماسك بين الفولاذ والبيتون ويحدث هذا لانهيار عندما يكون البيتون بين نتوءات فولاذ التسليح ضعيف والبيتون المحيط قوي وبالتالي قدرة فولاذ التسليح على تحمل قوة الشد أكبر من قوة التماسك وفي هذه الحالة يكون طول التماسك غير كافي لتأمين تماسك جيد بين فولاذ التسليح والبيتون المحيط به.



الشكل (2) انهيار بانسحاب فولاذ التسليح

2- انهيار بانقطاع فولاذ التسليح: يحدث عندما تكون قوة التماسك أكبر من قدرة فولاذ التسليح على تحمل قوة الشد وفي هذه الحالة فولاذ التسليح يصل لمرحلة السييلان ويحدث الانهيار بانقطاعه ويكون طول التماسك أكبر من طول التماسك المطلوب.

3- انهيار بالانفلاق *splitting*: يحدث إما بانفلاق العينة مع صوت وهذا ما يحدث غالباً في البيتون العالي المقاومة.



الشكل (3) انهيار بالانفلاق

تم تصميم هيكل معدني لتثبيت العينة على جهاز شد الحديد في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، كما هو مبين في الشكل (4):



الشكل (4) هيكل معدني للثبيت العينات البيتونية

تم تصميم الخلطة البيتونية بحيث تحقق شروط المواصفة ASTM C33 وتم اعتماد عيار الاسمنت 400 Kg/m^3 من أي شي هذه النسبة وهل 0.5 من وزن الاسمنت

الجدول (5) مواصفات الخلطة البيتونية					
الكميات (kg/m^3)	C0%	C25%	C50%	C75%	C100%
الماء (W)	200	200	200	200	200
الاسمنت (C)	400	400	400	400	400
رمل طبيعي (NS)	354	340.5	327	313.5	300
زرادة طبيعي (1/6)	591	443.25	295.5	147.75	-
بحص ناعم طبيعي (4/10)	271	203.25	135.5	67.75	-
بحص خشن طبيعي (6/20)	569	426.75	284.5	142.25	-
زرادة معاد تدويرها (1/9.5)	-	138.25	276.5	414.75	553
بحص ناعم معاد تدويره (9.5/16)	-	118	236	354	472
بحص خشن معاد تدويره (16/25)	-	69.25	138.5	207.75	277
الملدن	1	1	1	1	1

- 1- عزل قضبان التسليح ذات القطر 16mm باستخدام ال PVC لتأمين طول تماسك في منتصف العينة الأسطوانية بطول $L_d = 5\phi$.



الشكل (5) عزل قضبان التسليح

- 2- صب عينات اسطوانية $D=15\text{ cm}$ ، $H=30$ متضمنة فولاذ التسليح المحلزن 16mm.



الشكل (6) العينات البيتونية

- 3- اختبار الهبوط لكل خلطة: الجدول (6) قيم هبوط مخروط ابرامز

الخلطة	RCA0%	RCA25%	RCA50%	RCA75%	RCA100%
الهبوط	75mm	80mm	95mm	98mm	110mm

- 4- صب عينات مكعبية واسطوانية لمقاومة الضغط.

- 5- حفظ العينات في المخبر لمدة 24 ساعة ومن ثم قمنا بفك القوالب.
- 6- حفظ العينات في الماء بدرجة حرارة ± 20 ولمدة 56 يوم لتجربة الـ pull-out
وعينات الضغط لمدة 28 يوم.
- 7- كسر العينات على الضغط بعمر 28 يوم.

الجدول (7) مقاومة البيتون على الضغط:

النسبة	C0%	%25C	C50%	C75%	C100%
Fc'(Mpa)	25.9	23.92	24.2	23.5	22.5



الشكل (7) اختبار الضغط

10- إجراء تجربة pull-out:

تم إجراء التجربة على جهاز شد الحديد في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، ويبين الجدول التالي النتائج.

الجدول (8) نتائج تجربة السحب:

τ [MPa]	FC' [MPa]	قوة الانهيار KN	RCA%	d [mm]
11.658	22.5	41	100	16
11.516	22.5	40.5	100	16
11.374	22.5	40	100	16
12.369	23.5	43.5	75	16
12.796	23.5	45	75	16
12.511	23.5	44	75	16
12.511	24.2	44	50	16
13.222	24.2	46.5	50	16
12.796	24.2	45	50	16
13.080	23.9	46	25	16
13.364	23.9	47	25	16
13.222	23.9	46.5	25	16
18.198	25.9	64	0	16
18.767	25.9	66	0	16
19.336	25.9	68	0	16

بعد الحصول على هذه النتائج سوف نقوم بمقارنتها بقيم الإجهاد الناتجة عن

المعادلات التابعة للكودات والأبحاث الأخرى ومن ثم تمثيلها على شكل مخطط

بياني يوضح هذه القيم.

الجدول (9) مقارنة النتائج:

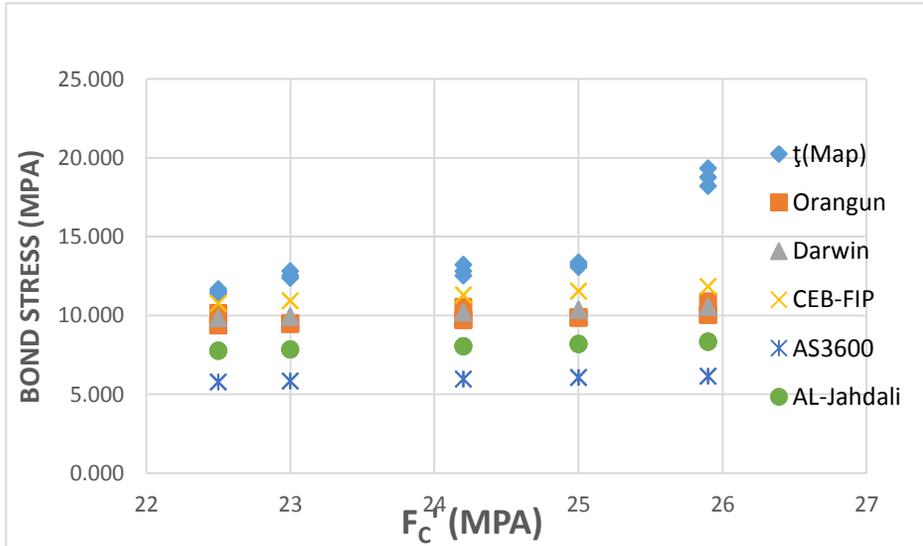
AL-Jahdali	AS3600	CEB-FIP	Darwin	Orangun	T _{bond} (Mpa)	F _c (MPA)	P _{max} (Kn)	RCA%
7.76	5.76	10.76	9.82	9.36	11.66	22.5	41	100
7.76	5.76	10.76	9.82	9.36	11.52	22.5	40.5	100
7.76	5.76	10.76	9.82	9.36	11.37	22.5	40	100
7.93	5.88	11.08	10.04	9.57	12.37	23.5	43.5	75
7.93	5.88	11.08	10.04	9.57	12.80	23.5	45	75
7.93	5.88	11.08	10.04	9.57	12.51	23.5	44	75
8.05	5.96	11.29	10.19	9.71	12.51	24.2	44	50
8.05	5.96	11.29	10.19	9.71	13.22	24.2	46.5	50
8.05	5.96	11.29	10.19	9.71	12.80	24.2	45	50
8.00	5.92	11.20	10.12	9.65	13.08	23.9	46	25
8.00	5.92	11.20	10.12	9.65	13.36	23.9	47	25
8.00	5.92	11.20	10.12	9.65	13.22	23.9	46.5	25
8.32	6.15	11.82	10.54	10.04	18.20	25.9	64	0
8.32	6.15	11.82	10.54	10.04	18.77	25.9	66	0
8.32	6.15	11.82	10.54	10.04	19.34	25.9	68	0

- قمنا بحساب النسبة المئوية ما بين إجهاد التماسك التجريبي و إجهاد التماسك

للحلاقات حيث كانت القيم التجريبية أعلى من القيم المحسوبة.

الجدول (10) النسب المئوية :

<i>RCA%</i>	<i>AL-Jahdali</i> %	<i>AS3600</i> %	<i>CEB-FIP</i> %	<i>Darwin</i> %	<i>Orangun</i> %
100	33.45	50.56	7.71	15.74	19.71
100	32.62	49.95	6.57	14.70	18.72
100	31.78	49.33	5.40	13.63	17.70
75	35.89	52.47	10.46	18.84	22.66
75	38.03	54.05	13.44	21.54	25.24
75	36.62	53.01	11.47	19.76	23.54
50	35.68	52.37	9.72	18.57	22.41
50	39.14	54.93	14.58	22.95	26.58
50	37.11	53.43	11.73	20.38	24.13
25	38.86	54.70	14.36	22.60	26.24
25	40.16	55.67	16.19	24.24	27.81
25	39.52	55.19	15.28	23.43	27.04
0	54.26	66.22	35.06	42.09	44.81
0	55.64	67.24	37.03	43.84	46.49
0	56.95	68.21	38.88	45.49	48.06



الشكل (8) مخطط بياني للمقارنة بين النتائج

- نجد من الخطط أن قيم البحث التجريبية t أعلى من قيم الكودات والأبحاث.
- نجد أن في جميع العلاقات المستخدمة لحساب إجهاد التماسك في الكودات والأبحاث لم يتم إدخال كافة المتغيرات، فمنهم من ادخل تأثير قطر التسليح والتغطية ولم يدخل تأثير نسبة الاستبدال.
- لذلك قمنا بجمع أكبر عدد ممكن من النقاط التجريبية ما يقار 250 قيمة لإجهاد التماسك اعتماداً على أبحاث عالمية، استخدم فيها الباحثين حصويات معاد تدويرها.
- قمنا بجمع البيانات بحيث ندخل معظم المتغيرات من (طبقة التغطية وقطر التسليح وإجهاد الخضوع ومساحة مقطع التسليح ومقاومة البيتون على الضغط وطول التماسك ونسبة الماء إلى الاسمنت ونسبة استبدال الحصويات).
- قمنا بتقسيم البيانات إلى ثلاث مجموعات اعتماداً على مقاومة الضغط للحصول على أفضل معامل ارتباط.
- استخدمنا برنامج Excel و Curveexper وهو برنامج تحليل رياضي يقوم باستخراج أفضل معادلة رياضية تربط بين مجموعة متغيرات حسب الخطأ التريبيعي.

$$f'_c \leq 25 \text{ المجموعة الأولى}$$

الجدول (11) البيانات التجريبية للمجموعة الأولى:

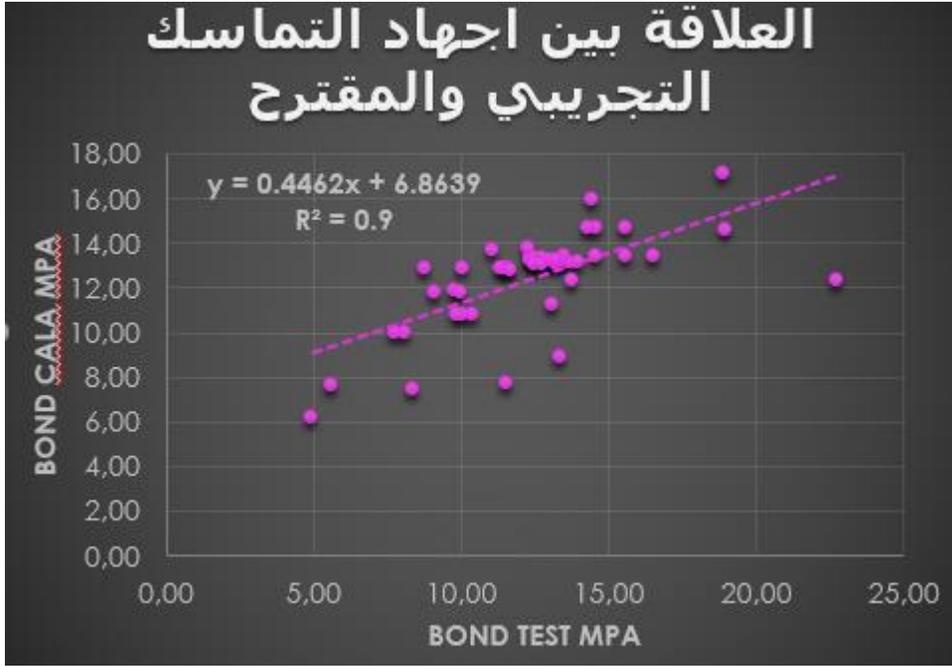
SQRT FC	C/d	d/Ld	RCA	W/C	AS*FY	τ_{ex} (Mpa)	τ_{EMP} (Mpa)
4,74	4,19	0,20	1	0,5	84403,2	11,66	12,33
4,74	4,19	0,20	1	0,5	84403,2	11,52	12,33
4,74	4,19	0,20	1	0,5	84403,2	11,37	12,33
4,74	4,86	0,20	1	0,5	64621,2	12,35	12,47
4,74	4,86	0,20	1	0,5	64621,2	13,32	12,47
4,74	4,86	0,20	1	0,5	72775,78	11,70	11,78
4,77	4,19	0,11	1	0,5	160768	13,38	13,03
4,80	4,19	0,20	0,75	0,5	84403,2	12,37	13,03
4,80	4,19	0,20	0,75	0,5	84403,2	12,80	13,03
4,80	4,19	0,20	0,75	0,5	84403,2	12,51	12,94
4,85	4,86	0,20	0,75	0,5	64621,2	13,97	12,94
4,85	4,86	0,20	0,75	0,5	64621,2	12,67	12,94
4,85	4,86	0,20	0,75	0,5	64621,2	13,65	14,62
4,89	4,86	0,20	0,25	0,5	64621,2	15,60	14,62
4,89	4,86	0,20	0,25	0,5	64621,2	14,62	14,62
4,89	4,86	0,20	0,25	0,5	64621,2	14,30	18,27
4,90	3,67	0,20	0,5	0,54	56520	18,90	16,94
4,90	2,63	0,20	0,5	0,54	100480	14,50	13,59
4,90	2,00	0,20	0,5	0,54	157000	12,30	7,26
4,90	1,50	0,20	0,5	0,54	245312,5	8,10	13,42
4,90	4,19	0,11	1	0,5	160768	11,58	13,42
4,92	4,19	0,20	0,5	0,5	84403,2	12,51	13,42
4,92	4,19	0,20	0,5	0,5	84403,2	13,22	13,56
4,92	4,19	0,20	0,5	0,5	84403,2	12,80	13,56
4,92	4,86	0,20	0,5	0,5	64621,2	15,60	13,56
4,92	4,86	0,20	0,5	0,5	64621,2	16,57	16,12
4,92	4,86	0,20	0,5	0,5	64621,2	14,62	14,79
4,97	3,67	0,20	1	0,54	56520	19,00	11,44
4,97	2,63	0,20	1	0,54	100480	13,50	10,07

4,97	2,00	0,20	1	0,54	157000	13,10	12,53
4,97	1,50	0,20	1	0,54	245312,5	8,40	9,74
5,00	5,75	0,20	1	0,51	59346	10,40	5,33
5,00	5,75	0,20	0,5	0,53	59346	11,12	9,14
5,00	4,19	0,20	1	0,51	105504	7,79	9,06
5,00	2,91	0,20	1	0,53	199468,5	5,65	9,39
5,00	2,50	0,20	1	0,55	257578,125	4,97	11,98
5,00	5,75	0,14	1	0,51	59346	10,11	11,63
5,00	5,75	0,10	1	0,53	59346	9,12	10,07
5,00	5,75	0,08	1	0,55	59346	8,79	10,68
5,00	5,75	0,20	1	0,51	36738	9,81	11,28
5,00	5,75	0,20	1	0,53	48042	13,82	14,00
5,00	5,75	0,20	1	0,55	70650	22,78	14,00
5,00	5,75	0,20	1	0,51	59346	9,88	14,00
5,00	5,75	0,20	1	0,53	59346	10,03	12,33
5,00	5,75	0,20	1	0,55	59346	10,10	12,33
5,00	4,19	0,20	0,25	0,5	84403,2	13,08	12,33
5,00	4,19	0,20	0,25	0,5	84403,2	13,36	12,47
5,00	4,19	0,20	0,25	0,5	84403,2	13,22	12,47

Equation: $X1 + X2 * \text{Sqrt}(fc) + X3 * (c/d) + X4 * (D/Ld) + X5 * RCA + X6 * (W/C) + X7 * (AS * FY)$

الجدول (12) قيم الثوابت

	X1	34,66
SQRT FC	X2	-4,279
C/D	X3	-2,29
D/LD	X4	16,22
RCA	X5	-3,702
W/C	X6	30,3
AS*FY	X7	-0,0000846
معامل الارتباط	Correlation Coefficient :0.90	
الخطأ التربيعي	Standard Error: 1.337237909982791E+00	



الشكل (9) العلاقة بين إجهاد التماسك التجريبي والمقترح للمجموعة الأولى

$$25 < \hat{f}_c \leq 30$$

الجدول (13) البيانات التجريبية للمجموعة الثانية:

SQRT FC	C/d	d/Ld	RCA	W/C	AS*FY	τ_{ex} (Mpa)	τ_{IMP} (Mpa)
5,04	4,19	0,11	1	0,4	160768,00	13,73	13,31
5,04	2,63	0,20	1	0,47	90833,92	19,00	14,83
5,05	4,19	0,11	1	0,5	160768,00	14,96	12,79
5,05	4,19	0,11	0,5	0,5	160768,00	13,02	13,91
5,07	4,19	0,11	0,5	0,5	160768,00	12,74	13,80
5,07	2,63	0,20	0,75	0,47	90833,92	18,42	15,21
5,10	4,19	0,11	1	0,4	160768,00	12,67	12,99

5,12	3,67	0,20	0,75	0,54	56520,00	19,00	16,83
5,12	2,63	0,20	0,75	0,54	100480,00	12,50	14,52
5,12	2,00	0,20	0,75	0,54	157000,00	12,00	12,74
5,12	1,50	0,20	0,75	0,54	245312,50	8,20	10,76
5,15	4,19	0,25	0,3	0,51	86010,88	17,65	20,18
5,20	4,50	0,20	1	0,43	31400,00	17,39	18,08
5,20	4,50	0,20	1	0,43	31400,00	17,20	18,08
5,20	4,50	0,20	1	0,43	31400,00	17,20	18,08
5,20	4,50	0,20	1	0,43	31400,00	16,56	18,08
5,20	4,50	0,20	1	0,43	31400,00	15,61	18,08
5,20	4,19	0,25	1	0,51	86010,88	18,73	18,32
5,25	4,19	0,11	0,3	0,5	160768,00	14,50	13,26
5,32	4,19	0,11	0,3	0,5	160768,00	14,10	12,91
5,32	4,19	0,11	0,5	0,4	160768,00	12,57	12,93
5,33	2,63	0,20	0,5	0,47	90833,92	16,82	14,39
5,33	2,63	0,09	0,5	0,47	90833,92	9,43	10,18
5,33	2,63	0,20	0,5	0,47	90833,92	10,78	14,29
5,33	4,19	0,20	1	0,4	95054,08	15,35	16,12
5,33	4,19	0,20	1	0,4	95054,08	16,28	16,12
5,33	4,19	0,20	1	0,4	95054,08	18,49	16,12
5,33	4,19	0,13	1	0,4	95054,08	12,54	13,28
5,33	4,19	0,13	1	0,4	95054,08	12,43	13,28
5,33	4,19	0,13	1	0,4	95054,08	12,36	13,28
5,33	4,19	0,10	1	0,4	95054,08	10,90	12,34
5,33	4,19	0,10	1	0,4	95054,08	12,39	12,34
5,34	4,19	0,25	0,6	0,51	86010,88	19,17	18,48
5,36	4,19	0,11	0,5	0,5	160768,00	14,40	12,26
5,38	3,67	0,20	0,25	0,54	56520,00	19,50	16,57
5,38	2,63	0,20	0,25	0,54	100480,00	14,90	14,26
5,38	2,00	0,20	0,25	0,54	157000,00	13,50	12,48
5,38	1,50	0,20	0,25	0,54	245312,50	9,20	10,50
5,38	2,63	0,20	0,3	0,47	90833,92	16,83	14,60
5,38	2,63	0,09	0,3	0,47	90833,92	9,35	10,40
5,38	2,63	0,21	0,3	0,47	90833,92	11,30	14,80

اقترح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

5,43	4,19	0,25	1	0,46	86010,88	20,88	17,34
5,43	2,63	0,20	1	0,47	90833,92	16,83	14,97
5,43	2,63	0,09	0,3	0,47	90833,92	9,13	10,76
5,43	2,63	0,20	0,3	0,47	90833,92	11,57	14,97
5,47	5,00	0,20	1	0,93	39250,00	12,60	15,01
5,47	4,08	0,20	1	0,93	56520,00	12,50	13,26
5,47	4,08	0,10	1	0,93	56520,00	11,60	9,48

Equation: $X1 + X2 * \text{Sqrt}(f_c) + X3 * (c/d) + X4 * (d/Ld) + X5 * \text{RCA} + X6 * (W/C)$

$+ X7 * (AS * FY)$

الجدول (14) قيم ثوابت المعادلة

	X1	35,55
SQRT FC	X2	-5,36
C/D	X3	1,66
D/LD	X4	37,86
RCA	X5	-2,24
W/C	X6	-4,68
AS*FY	X7	-0,0000131
معامل الارتباط	Correlation Coefficient: 0.84	
الخطأ التربيعي	Standard Error: 2.063861952115609E+00	

$$45 \geq f_c > 30$$

الجدول (15) البيانات التجريبية للمجموعة الثالثة:

SQRT FC	C/d	d/Ld	RCA	W/C	AS*FY	T _{ex} (Mpa)	T _{EMP} (Mpa)
5,49	4,19	0,11	0,3	0,5	160768	15,17	14,91
5,49	4,19	0,11	1	0,4	160768	14,91	16,35
5,50	4,50	0,12	1	0,64	56520	9,50	12,54
5,50	5,00	0,20	1	0,87	39250	12,60	15,15
5,50	4,08	0,20	1	0,87	56520	12,30	16,71
5,50	5,00	0,10	1	0,87	39250	12,60	9,59
5,50	4,08	0,10	1	0,87	56520	11,40	11,15
5,53	4,50	0,20	0,5	0,43	31400	17,24	16,02
5,53	4,50	0,20	0,5	0,43	31400	17,32	16,02
5,53	4,50	0,20	0,5	0,43	31400	17,71	16,02
5,53	4,50	0,20	0,5	0,43	31400	16,75	16,02
5,53	4,50	0,20	0,5	0,43	31400	15,92	16,02
5,54	4,19	0,25	0,6	0,46	86011	21,55	21,00
5,55	5,00	0,20	0,3	0,82	39250	13,20	14,15
5,55	4,08	0,20	0,3	0,82	56520	14,20	15,71
5,55	5,00	0,10	0,3	0,82	39250	11,90	8,59
5,55	4,08	0,10	0,3	0,82	56520	11,10	10,15
5,56	4,19	0,11	0,5	0,4	160768	13,91	15,53
5,61	4,19	0,25	0,3	0,46	86011	21,94	20,50
5,64	4,19	0,11	0,3	0,4	160768	12,07	13,96
5,67	4,50	0,20	0,25	0,25	62800	11,62	13,54
5,67	4,50	0,20	0,25	0,25	62800	10,81	13,54
5,67	7,50	0,20	0,25	0,25	62800	14,98	15,14
5,71	4,50	0,20	0,5	0,5	62800	11,94	15,43
5,71	7,50	0,20	0,5	0,5	62800	15,71	16,74
5,71	7,50	0,20	0,5	0,5	62800	12,39	12,77
5,80	4,19	0,11	0,3	0,4	160768	14,02	15,10
5,91	4,19	0,11	0,5	0,4	160768	15,91	14,77

اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

5,92	5,75	0,20	1	0,53	59346	10,18	16,33
5,93	4,50	0,20	1	0,5	39250	9,56	10,77
5,93	4,50	0,20	1	0,5	39250	11,93	11,75
5,93	4,50	0,20	1	0,5	39250	11,45	14,96
5,93	4,50	0,20	1	0,5	39250	10,48	16,52
5,94	4,50	0,12	1	0,53	56520	12,70	10,96
5,96	4,19	0,11	0,3	0,4	160768	14,95	19,46
5,96	4,50	0,20	1	0,65	39250	9,29	19,46
5,96	4,50	0,20	1	0,65	39250	11,08	19,46
5,96	4,50	0,20	1	0,65	39250	10,58	15,29
5,96	4,50	0,20	1	0,65	39250	10,47	13,90
6,04	6,64	0,09	1	0,5	69237	22,70	13,90
6,11	5,00	0,20	1	0,93	39250	15,80	13,90
6,11	4,08	0,20	1	0,93	56520	16,40	12,63
6,11	5,00	0,10	1	0,93	39250	13,60	12,66
6,11	4,08	0,10	1	0,93	56520	14,20	13,92
6,13	4,50	0,12	0,5	0,58	56520	11,30	15,48
6,17	5,00	0,20	1	0,87	39250	14,60	9,93
6,17	4,08	0,20	1	0,87	56520	16,20	15,34
6,17	5,00	0,10	1	0,87	39250	13,80	15,34
6,17	4,08	0,10	1	0,87	56520	13,50	15,34
6,19	4,19	0,20	1	0,31	95054	21,63	19,25
6,19	4,19	0,20	1	0,31	95054	21,59	19,25
6,19	4,19	0,20	1	0,31	95054	20,68	19,25
6,19	4,19	0,13	1	0,31	95054	11,41	15,08
6,19	4,19	0,13	1	0,31	95054	15,05	15,76
6,19	4,19	0,10	1	0,31	95054	10,81	13,65
6,19	4,19	0,10	1	0,31	95054	10,89	8,09
6,19	4,19	0,10	1	0,31	95054	11,66	6,24
6,20	4,50	0,12	1	0,55	56520	13,10	14,77
6,28	4,19	0,25	0,3	0,33	86011	29,92	14,77
6,33	4,50	0,12	1	0,53	56520	13,40	14,77
6,35	5,00	0,20	0,3	0,82	39250	14,80	14,45
6,35	4,08	0,20	0,3	0,82	56520	16,90	14,45
6,35	5,00	0,10	0,3	0,82	39250	13,60	11,75

6,35	4,08	0,10	0,3	0,82	56520	14,00	14,91
6,37	4,50	0,20	0,5	0,65	39250	11,25	16,35
6,37	4,50	0,20	0,5	0,65	39250	12,44	12,54
6,37	4,50	0,20	0,5	0,65	39250	12,01	15,15
6,37	4,50	0,20	0,5	0,65	39250	12,68	16,71
6,46	4,19	0,20	1	0,35	95054	20,43	9,59
6,46	4,19	0,20	1	0,35	95054	21,23	11,15
6,46	4,19	0,20	1	0,35	95054	21,68	16,02
6,46	4,19	0,13	1	0,35	95054	14,73	16,02
6,46	4,19	0,13	1	0,35	95054	11,24	16,02
6,51	4,19	0,25	1	0,33	86011	28,84	16,02
6,57	4,50	0,20	0,5	0,5	39250	9,06	16,02
6,57	4,50	0,20	0,5	0,5	39250	13,63	21,00
6,57	4,50	0,20	0,5	0,5	39250	11,25	14,15
6,57	4,50	0,20	0,5	0,5	39250	11,59	15,71
6,59	7,83	0,20	1	0,52	62262	11,97	8,59
6,59	7,83	0,10	1	0,52	62262	9,55	10,15
6,59	7,83	0,07	1	0,52	62262	7,15	15,53
6,59	5,75	0,20	1	0,52	106907	10,15	20,50
6,62	4,19	0,25	0,6	0,33	86011	28,77	13,96
6,65	4,50	0,20	0,2	0,65	39250	10,75	13,54
6,65	4,50	0,20	0,2	0,65	39250	13,38	13,54
6,65	4,50	0,20	0,2	0,65	39250	13,41	15,14
6,65	4,50	0,20	0,2	0,65	39250	13,58	15,43
6,67	4,50	0,20	0,3	0,65	39250	15,56	16,74
6,67	4,50	0,20	0,3	0,65	39250	14,34	12,77
6,70	4,50	0,12	0,5	0,53	56520	14,80	15,10

► Equation: $X1 + X2 \cdot \text{Sqrt}(fc) + X3 \cdot (c/d) + X4 \cdot (d/Ld) + X5 \cdot \text{RCA} + X6 \cdot (W/C) + X7 \cdot (AS \cdot FY)$

الجدول (16) قيم ثوابت المعادلة

	X1	10,9
SQRT FC	X2	-0,286
C/D	X3	-1,08
D/LD	X4	55,57
RCA	X5	1,6
W/C	X6	-3,22
AS*FY	X7	0,000033
معامل الارتباط	Correlation Coefficient :0.80	
الخطأ التربيعي	Standard Error: 2.46800453887167417E+00	

$$f_c > 45$$

الجدول (16) البيانات التجريبية للمجموعة الرابعة:

SQRT FC	C/d	D/LD	RCA	W/C	AS*FY	τ_{ex} (Mpa)	τ_{EMP} (Mpa)
6,72	6,64	0,09	1	0,45	69237,00	24,00	23,44
6,80	4,50	0,12	0,5	0,53	56520,00	13,50	11,60
6,84	4,50	0,12	0,5	0,53	56520,00	14,10	11,88
6,87	6,64	0,09	0,5	0,5	69237,00	20,10	14,70
6,92	7,83	0,20	0,5	0,52	62262,43	14,13	12,76
6,92	7,83	0,10	0,5	0,52	62262,43	10,56	12,26
6,92	7,83	0,07	0,5	0,52	62262,43	7,83	12,09
6,92	5,75	0,20	0,5	0,52	106906,70	9,73	10,25
6,92	5,75	0,10	0,5	0,52	106906,70	7,46	9,75
6,92	5,75	0,07	0,5	0,52	106906,70	6,22	9,59

6,95	4,50	0,12	0,1	0,52	56520,00	15,90	12,06
6,96	7,83	0,20	1	0,52	62262,43	15,15	10,59
6,96	7,83	0,10	0,5	0,52	62262,43	10,12	10,09
6,96	7,83	0,07	0,5	0,52	62262,43	8,04	9,92
6,96	5,75	0,20	0,5	0,52	106906,70	11,73	8,08
6,96	5,75	0,10	0,5	0,52	106906,70	7,90	7,58
6,96	5,75	0,07	0,5	0,52	106906,70	6,65	7,41
6,97	4,50	0,20	0,2	0,5	39250,00	13,55	17,19
6,97	4,50	0,20	0,2	0,5	39250,00	14,61	17,19
6,97	4,50	0,20	0,2	0,5	39250,00	13,73	17,19
6,97	4,50	0,20	0,2	0,5	39250,00	14,85	17,19
7,01	4,50	0,12	0,1	0,53	56520,00	14,50	11,00
7,02	7,83	0,20	0,2	0,52	62262,43	15,34	11,92
7,02	7,83	0,10	0,2	0,52	62262,43	11,99	11,42
7,02	7,83	0,07	0,2	0,52	62262,43	8,58	11,25
7,02	5,75	0,20	0,2	0,52	106906,70	10,99	9,41
7,02	5,75	0,10	0,2	0,52	106906,70	9,69	8,91
7,02	5,75	0,07	0,2	0,52	106906,70	6,63	8,75
7,07	5,75	0,20	1	0,55	59346,00	12,67	12,64
7,11	6,64	0,09	0,5	0,45	69237,00	25,90	23,48
7,18	4,50	0,12	0,1	0,52	56520,00	14,70	13,51
7,29	6,64	0,09	0,5	0,45	69237,00	25,50	22,12
7,31	4,50	0,20	0,5	0,5	39250,00	15,64	18,36
7,31	4,50	0,20	0,5	0,5	39250,00	17,23	18,36
7,31	4,50	0,20	0,5	0,5	39250,00	15,22	18,36
7,36	4,50	0,12	0,1	0,52	56520,00	14,54	14,58

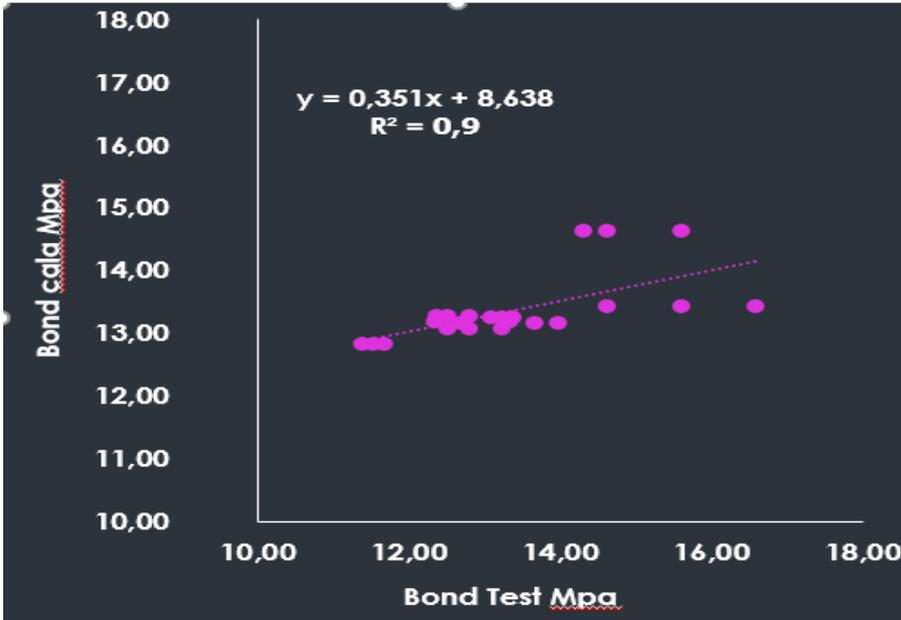
Equation: $X1 + X2 \cdot \text{Sqrt}(fc) + X3 \cdot (c/d) + X4 \cdot (d/Ld) + X5 \cdot RCA + X6 \cdot (W/C) + X7 \cdot (AS \cdot FY)$

الجدول (18) قيم ثوابت المعادلة

	X1	48,73
SQRT FC	X2	6,225
C/D	X3	-0,319
D/LD	X4	5
RCA	X5	4,88
W/C	X6	-145,34
AS*FY	X7	-0,000071
معامل الارتباط	Correlation Coefficient :0.828	
الخطأ التربيعي	Standard Error: 3.044899044369746E+00	

► تطبيق المعادلة التجريبية على البحث الجدول (19):

SQRT FC	C/d	d/Ld	RCA	W/C	AS*FY	Tex (Mpa)	T IMP (Mpa)	Tex/Timp
4,74	4,2	0,2	1,00	0,5	84403	11,66	12,83	0,91
4,74	4,2	0,2	1,00	0,5	84403	11,52	12,83	0,90
4,74	4,2	0,2	1,00	0,5	84403	11,37	12,83	0,89
4,80	4,2	0,2	0,75	0,5	84403	12,37	13,28	0,93
4,80	4,2	0,2	0,75	0,5	84403	12,80	13,28	0,96
4,80	4,2	0,2	0,75	0,5	84403	12,51	13,28	0,94
4,92	4,2	0,2	0,50	0,5	84403	12,51	13,06	0,96
4,92	4,2	0,2	0,50	0,5	84403	13,22	13,06	1,01
4,92	4,2	0,2	0,50	0,5	84403	12,80	13,06	0,98
5,00	4,2	0,2	0,25	0,5	84403	13,08	13,25	0,99
5,00	4,2	0,2	0,25	0,5	84403	13,36	13,25	1,01
5,00	4,2	0,2	0,25	0,5	84403	13,22	13,25	1,00



الشكل (10) العلاقة بين إجهاد التماسك التجريبي والمقترح

■ النتائج والتوصيات:

- 1- الركام المعاد تدويره بحاجة لفرز جيد بسبب وجود الكثير من الأوساخ، وتجنب استخدام المواد المارة من المنخل mm1.18 واستبدالها بالرمل الطبيعي.
- 2- بالنسبة للخصائص الميكانيكية للبيتون انخفاض مقاومة الضغط مع زيادة نسبة الاستبدال حيث وصلت نسبة الانخفاض لنسبة الاستبدال 50% إلى 6.5% وللنسبة 100% إلى 13.12%، أيضاً انخفضت قابلية التشغيل مع زيادة نسبة الاستبدال.

3- انهيار عينات البيتون بحصويات المعاد تدويرها بتجربة pull-out مشابه لآلية انهيار العينات الطبيعية.

4- انخفاض إجهاد التماسك مع زيادة نسبة الاستبدال، حيث انخفض للنسبة 100% بمقدار 38% ، وكانت قيم الإجهاد متقاربة للنسبة 50% و 75%.

5- قيم النتائج التجريبية هي أعلى من القيم المحسوبة باستخدام المعادلات المقترحة من قبل الكودات العالمية والأبحاث التجريبية.

6- استناداً إلى القيم التجريبية من الدراسة الحالية والدراسات المرجعية، تم اقتراح معادلة تجريبية لحساب إجهاد التماسك تأخذ بعين الاعتبار تأثير نسبة استبدال الحصويات المعاد تدويرها، إضافة إلى طول التماسك وقطر الحديد والغطاء البيتوني ومقاومة الضغط.

Appendix

	FC' ex.	Ld mm	Ø mm	C mm	T _{ex} (Mpa)	Ratio (RCA)	w/c	f _y (Mpa)
[26]	30,8	50	10	50	13,20	30%	0,82	500
	30,3	50	10	50	12,60	100%	0,87	500
	29,9	50	10	50	12,60	100%	0,93	500
	40,3	50	10	50	14,80	30%	0,82	500
	38,1	50	10	50	14,60	100%	0,87	500
	37,3	50	10	50	15,80	100%	0,93	500
	30,8	60	12	49	14,20	30%	0,82	500
	30,3	60	12	49	12,30	100%	0,87	500
	29,9	60	12	49	12,50	100%	0,93	500
	40,3	60	12	49	16,90	30%	0,82	500
	38,1	60	12	49	16,20	100%	0,87	500
	37,3	60	12	49	16,40	100%	0,93	500
	30,8	100	10	50	11,90	30%	0,82	500
	30,3	100	10	50	12,60	100%	0,87	500
	40,3	100	10	50	13,60	30%	0,82	500
	38,1	100	10	50	13,80	100%	0,87	500
	37,3	100	10	50	13,60	100%	0,93	500
	30,8	120	12	49	11,10	30%	0,82	500
	30,3	120	12	49	11,40	100%	0,87	500
	29,9	120	12	49	11,60	100%	0,93	500
40,3	120	12	49	14,00	30%	0,82	500	
38,1	120	12	49	13,50	100%	0,87	500	
37,3	120	12	49	14,20	100%	0,93	500	
[29]	26,52	64	16	67	17,65	30%	0,51	428
	28,53	64	16	67	19,17	60%	0,51	428
	27,08	64	16	67	18,73	100%	0,51	428
	31,46	64	16	67	21,94	30%	0,46	428
	30,66	64	16	67	21,55	60%	0,46	428
	29,49	64	16	67	20,88	100%	0,46	428
	39,5	64	16	67	29,92	30%	0,33	428

اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

	43,8	64	16	67	28,77	60%	0,33	428
	42,44	64	16	67	28,84	100%	0,33	428
[33]	28,9	60	12	44	19,50	25%	0,54	500
	24	60	12	44	18,90	50%	0,54	500
	26,2	60	12	44	19,00	75%	0,54	500
	24,7	60	12	44	19,00	100%	0,54	500
	28,9	80	16	42	14,90	25%	0,54	500
	24	80	16	42	14,50	50%	0,54	500
	26,2	80	16	42	12,50	75%	0,54	500
	24,7	80	16	42	13,50	100%	0,54	500
	28,9	100	20	40	13,50	25%	0,54	500
	24	100	20	40	12,30	50%	0,54	500
	26,2	100	20	40	12,00	75%	0,54	500
	24,7	100	20	40	13,10	100%	0,54	500
	28,9	125	25	37,5	9,20	25%	0,54	500
	24	125	25	37,5	8,10	50%	0,54	500
	26,2	125	25	37,5	8,20	75%	0,54	500
	24,7	125	25	37,5	8,40	100%	0,54	500
[31]	54,1	100	12	54	14,54	10%	0,52	500
	46,2	100	12	54	13,50	50%	0,53	500
	35,3	100	12	54	12,70	100%	0,53	500
	48,3	100	12	54	15,90	10%	0,52	500
	44,9	100	12	54	14,80	50%	0,53	500
	40,1	100	12	54	13,40	100%	0,53	500
	49,2	100	12	54	14,50	10%	0,53	500
	37,6	100	12	54	11,30	50%	0,58	500
	30,2	100	12	54	9,50	100%	0,64	500
	51,6	100	12	54	14,70	10%	0,52	500
	46,8	100	12	54	14,10	50%	0,53	500
	38,4	100	12	54	13,10	100%	0,55	500
[32]	25	60	12	69	10,40	100%	0,51	525
	25	60	12	69	11,12	50%	0,53	525
	15	60	12	69	6,10	100%	0,51	525
	35	60	12	69	10,18	100%	0,53	525

	50	60	12	69	12,67	100%	0,55	525
	25	80	16	67	7,79	100%	0,51	525
	25	110	22	64	5,65	100%	0,53	525
	25	125	25	62,5	4,97	100%	0,55	525
	25	84	12	69	10,11	100%	0,51	525
	25	120	12	69	9,12	100%	0,53	525
	25	144	12	69	8,79	100%	0,55	525
	25	60	12	69	9,81	100%	0,51	325
	25	60	12	69	13,82	100%	0,53	425
	25	60	12	69	22,78	100%	0,55	625
	25	60	12	69	9,88	100%	0,51	525
	25	60	12	69	10,03	100%	0,53	525
	25	60	12	69	10,10	100%	0,55	525
Test	22,5	80	16	67	11,66	100%	0,5	420
	22,5	80	16	67	11,52	100%	0,5	420
	22,5	80	16	67	11,37	100%	0,5	420
	23	80	16	67	12,37	75%	0,5	420
	23	80	16	67	12,80	75%	0,5	420
	23	80	16	67	12,51	75%	0,5	420
	24,2	80	16	67	12,51	50%	0,5	420
	24,2	80	16	67	13,22	50%	0,5	420
	24,2	80	16	67	12,80	50%	0,5	420
	25	80	16	67	13,08	25%	0,5	420
	25	80	16	67	13,36	25%	0,5	420
	25	80	16	67	13,22	25%	0,5	420
	23,9	70	14	68	15,60	25%	0,5	420
	23,9	70	14	68	14,62	25%	0,5	420
	23,9	70	14	68	14,30	25%	0,5	420
	24,2	70	14	68	15,60	50%	0,5	420
	24,2	70	14	68	16,57	50%	0,5	420
24,2	70	14	68	14,62	50%	0,5	420	
23,5	70	14	68	13,97	75%	0,5	420	
23,5	70	14	68	12,67	75%	0,5	420	

اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

	23,5	70	14	68	13,65	75%	0,5	420
	22,5	70	14	68	12,35	100%	0,5	420
	22,5	70	14	68	13,32	100%	0,5	420
	22,5	70	14	68	11,70	100%	0,5	473
[34]	28,46	80	16	67	15,35	100%	0,4	473
	28,46	80	16	67	16,28	100%	0,4	473
	28,46	80	16	67	18,49	100%	0,4	473
	28,46	128	16	67	12,54	100%	0,4	473
	28,46	128	16	67	12,43	100%	0,4	473
	28,46	128	16	67	12,36	100%	0,4	473
	28,46	160	16	67	10,90	100%	0,4	473
	28,46	160	16	67	12,39	100%	0,4	473
	38,29	80	16	67	21,63	100%	0,31	473
	38,29	80	16	67	21,59	100%	0,31	473
	38,29	80	16	67	20,68	100%	0,31	473
	38,29	128	16	67	11,41	100%	0,31	473
	38,29	128	16	67	15,05	100%	0,31	473
	38,29	160	16	67	10,81	100%	0,31	473
	38,29	160	16	67	10,89	100%	0,31	473
	38,29	160	16	67	11,66	100%	0,31	473
	41,78	80	16	67	20,43	100%	0,35	473
	41,78	80	16	67	21,23	100%	0,35	473
	41,78	80	16	67	21,68	100%	0,35	473
41,78	128	16	67	14,73	100%	0,35	473	
41,78	128	16	67	11,24	100%	0,35	473	
[35]	53,47	50	10	45	15,64	0%	0,5	500
	48,56	50	10	45	13,55	20%	0,5	500
	43,11	50	10	45	9,06	50%	0,5	500
	35,21	50	10	45	9,56	100%	0,5	500
	44,28	50	10	45	10,75	20%	0,65	500
	40,52	50	10	45	11,25	50%	0,65	500
	35,58	50	10	45	9,29	100%	0,65	500
	53,47	50	10	45	17,23	0%	0,5	500
	48,56	50	10	45	14,61	20%	0,5	500
43,11	50	10	45	13,63	50%	0,5	500	

	35,21	50	10	45	11,93	100%	0,5	500
	44,28	50	10	45	13,38	20%	0,65	500
	40,52	50	10	45	12,44	50%	0,65	500
	35,58	50	10	45	11,08	100%	0,65	500
	53,47	50	10	45	15,22	0%	0,5	500
	48,56	50	10	45	13,73	20%	0,5	500
	43,11	50	10	45	11,25	50%	0,5	500
	35,21	50	10	45	11,45	100%	0,5	500
	44,45	50	10	45	15,56	0%	0,65	500
	44,28	50	10	45	13,41	20%	0,65	500
	40,52	50	10	45	12,01	50%	0,65	500
	35,58	50	10	45	10,58	100%	0,65	500
	48,56	50	10	45	14,85	20%	0,5	500
	43,11	50	10	45	11,59	50%	0,5	500
	35,21	50	10	45	10,48	100%	0,5	500
	44,45	50	10	45	14,34	0%	0,65	500
	44,28	50	10	45	13,58	20%	0,65	500
	40,52	50	10	45	12,68	50%	0,65	500
	35,58	50	10	45	10,47	100%	0,65	500
[36]	48,5	60	12	94	15,15	0%	0,52	550,8
	49,3	60	12	94	15,34	20%	0,52	550,8
	47,9	60	12	94	14,13	50%	0,52	550,8
	43,4	60	12	94	11,97	100%	0,52	550,8
	48,5	120	12	94	10,12	0%	0,52	550,8
	49,3	120	12	94	11,99	20%	0,52	550,8
	47,9	120	12	94	10,56	50%	0,52	550,8
	43,4	120	12	94	9,55	100%	0,52	550,8
	48,5	180	12	94	8,04	0%	0,52	550,8
	49,3	180	12	94	8,58	20%	0,52	550,8
	47,9	180	12	94	7,83	50%	0,52	550,8
	43,4	180	12	94	7,15	100%	0,52	550,8
	48,5	80	16	92	11,73	0%	0,52	531,98
	49,3	80	16	92	10,99	20%	0,52	531,98
	47,9	80	16	92	9,73	50%	0,52	531,98

اقتراح علاقة تجريبية لحساب إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون بحصويات معاد تدويرها

	43,4	80	16	92	10,15	100%	0,52	531,98
	48,5	160	16	92	7,90	0%	0,52	531,98
	49,3	160	16	92	9,69	20%	0,52	531,98
	47,9	160	16	92	7,46	50%	0,52	531,98
	43,4	160	16	92	6,79	100%	0,52	531,98
	48,5	240	16	92	6,65	0%	0,52	531,98
	49,3	240	16	92	6,63	20%	0,52	531,98
	47,9	240	16	92	6,22	50%	0,52	531,98
	43,4	240	16	92	5,98	100%	0,52	531,98
[37]	55,8	150	14	93	25,20	0%	0,5	450
	47,2	150	14	93	20,10	50%	0,5	450
	36,5	150	14	93	22,70	100%	0,5	450
	53,1	150	14	93	25,50	0%	0,45	450
	50,6	150	14	93	25,90	50%	0,45	450
	45,1	150	14	93	24,00	100%	0,45	450
[38]	30,1	150	16	67	15,17	30%	0,5	800
	28,7	150	16	67	14,40	50%	0,5	800
	25,5	150	16	67	14,96	100%	0,5	800
	28,3	150	16	67	14,10	30%	0,5	800
	25,5	150	16	67	13,02	50%	0,5	800
	22,8	150	16	67	13,38	100%	0,5	800
	27,6	150	16	67	14,50	30%	0,5	800
	25,7	150	16	67	12,74	50%	0,5	800
	24	150	16	67	11,58	100%	0,5	800
	35,5	150	16	67	14,95	30%	0,4	800
	34,9	150	16	67	15,91	50%	0,4	800
	30,1	150	16	67	14,91	100%	0,4	800
	33,6	150	16	67	14,02	30%	0,4	800
	30,9	150	16	67	13,91	50%	0,4	800
	25,4	150	16	67	13,73	100%	0,4	800
	31,8	150	16	67	12,07	30%	0,4	800
	28,3	150	16	67	12,57	50%	0,4	800
	26	150	16	67	12,67	100%	0,4	800
[39]	30,63	50	10	45	17,24	50%	0,43	400

	27	50	10	45	17,39	100%	0,43	400
	30,63	50	10	45	17,32	50%	0,43	400
	27	50	10	45	17,20	100%	0,43	400
	30,63	50	10	45	17,71	50%	0,43	400
	27	50	10	45	17,20	100%	0,43	400
	30,63	50	10	45	16,75	50%	0,43	400
	27	50	10	45	16,56	100%	0,43	400
	30,63	50	10	45	15,92	50%	0,43	400
	27	50	10	45	15,61	100%	0,43	400
[40]	32,15	50	10	45	11,62	25%	0,25	800
	32,56	50	10	45	11,94	50%	0,5	800
	32,15	50	10	45	10,81	25%	0,25	800
	32,56	50	10	75	15,71	50%	0,5	800
	32,15	50	10	75	14,98	25%	0,25	800
	32,56	50	10	75	12,39	50%	0,5	800
[41]	29,52	80	16	42	16,833	0%	0,47	452
	28,9	80	16	42	16,83	30%	0,47	452
	28,44	80	16	42	16,82	50%	0,47	452
	25,75	80	16	42	18,42	75%	0,47	452
	25,42	80	16	42	19	100%	0,47	452
	29,52	180	16	42	9,13	0%	0,47	452
	28,9	180	16	42	9,35	30%	0,47	452
	28,44	180	16	42	9,43	50%	0,47	452
	29,52	80	16	42	11,57	0%	0,47	452
	28,9	78	16	42	11,3	30%	0,47	452
	28,44	81	16	42	10,78	50%	0,47	452

References:

- [1]- Silva, R. V., et al. "Establishing a relationship between modulus of elasticity and compressive strength of recycled aggregate concrete" (2016).
- [2]- De Brito, J. and N. Saikia. "Recycled aggregate in concrete: use of industrial, construction and demolition waste, Springer Science & Business Media"(2012).
- [3]-MALEŠEV, M.; RADONJANIN, V., MARINKOVIĆ, S. "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. Sustainability"(2010).
- [4]-MURALI, G.; VIVEK, C.M.; RAJAN, G.; JANANI, N. "Experimental Study On Recycled Aggregate Concrete. International Journal of Engineering Research and Applications"(2012).
- [5]-JANKOVIĆ, K.; NIKOLIĆ, D.; BOJOVIĆ, D.; LONČAR, L.; ROMA KOV, Z. "The Estimation Of Compressive Strength Of Normal And Recycled Aggregate Concrete"(2011).
- [6]- TAM, V.W; GAO, X. F.; TAM, C.M."Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach".(2005).
- [7]- MONTGOMERY, D."Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate".(1998).

- [8]–TAM، V.W; TAM، C.M.; LE، K. N. "Removal Of Cement Mortar Remains From Recycled Aggregate Using Pre–Soaking Approaches. Resources، Conservation and Recycling"(2007).
- [9]–POON، C. S.، SHUI، Z. H.، LAM، L. and KOU، S. C. "Influence Of Moisture States Of Natural And Recycled Aggregates On The Slump And Compressive Strength Of Hardened Concrete"(2004).
- [10]–Kouaido D.، "Influence of cement on recycled aggregates concrete " (2011)
- [11]– H.B. Choi، K.I. Kang، "Bond behaviour of deformed bars embedded in recycled aggregates concrete"(2008).
- [12]–J. Xiao، H. Falkner، "Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars"(2007).
- [13]–Y. Kim، J. Sim، C. Park، "Mechanical properties of recycled aggregate concrete with deformed steel rebar"(2012).
- [14]–S. Seara–Paz، B. González–Fonteboa، J. Eiras–López، M.F. Herrador، "Bond behavior between steel reinforcement and recycled concrete"(2013).
- [15]–N. Morohashi، T. Sakurada، K. Yanagibashi، "Bond splitting strength of high–quality recycled coarse aggregate concrete beams"(2007).

- [16]– M.J. Robert, G. Gaurav, B. Singh, "Splice strength of deformed steel bars embedded in recycled aggregate concrete" (2017).
- [17]– S. Sadati, M. Arezoumandi, K.H. Khayat, J.S. Volz, "Bond performance of sustainable reinforced concrete beams"(2017).
- [18]– G. Fathifazl, G. Razaqpur, O.B. Isgor, A. Abbas, B. Fournier, S. Foo, "Bond performance of deformed steel bars in concrete produced with coarse recycled concrete aggregate", (2012).
- [19]– H. Yang, Z. Deng, J.M. Ingham, "Bond position function between corroded reinforcement and recycled aggregate concrete using beam tests", Constr. Build. Mater.
- [20]– CEB–FIP, CEB–FIP Model Code 2010, Comite´ Euro–International du Be´ton, 2010.
- [21]– الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالبيتون المسلحة 2- [21]
- [22]– Australian Standard 3600. Concrete structures. Sydney: Standards Australia; 2004.
- [23]– ACI Committee 408, Bond and development of straight reinforcing bars in tension (Reapproved 2012), 2003.
- [24]– D. Darwin, S.L. McCabe, E.K. Idun, S.P. Schoenekase. Development length criteria: bars not confined by transverse reinforcement, ACI Struct. J. 89 (6) (1992) 709–720.

- [25]– C.O. Orangun, I.O. Jirsa, J.E. Breen, A reevaluation of test data on development length and splices. ACI J. 74 (3) (1977) 114–122.
- [26]–Wardeh.G,"Experimental and analytical study of bond behavior between recycled aggregate concrete and steel bars using a pullout test"(2017)
- [27]– Rockson.C," Effect of cover on bond strength of structural concrete using commercially produced recycled coarse and fine aggregates"(2020)
- [28]– Esfahani MR, Rangan BV. "Bond between normal strength and high–strength concrete (HSC) and reinforcing bars in splices in beams"(1998).
- [29]– Sun–Woo Kim." Bond strength prediction for deformed steel rebar embedded in recycled coarse aggregate concrete" Korea (2015).
- [30]– Luis R. E. Brito D "Criteria for the use of fine recycled concrete aggregates in concrete production" Spain (2004).
- [31]– Miguel Bravo, António P. C. Duarte, Jorge de Brito "Tests and Simulation of the Bond–Slip between Steel and Concrete with Recycled Aggregates from CDW" Portugal (2021).
- [32] Aseel Abdulazeeza, Raad Abdulkhudhur & Hussein Al–Quraishi "Bond Strength Behavior for Deformed Steel Rebar Embedded in Recycled Aggregate Concrete" Iraq (2021).

- [33]– M. John Robert Prince, "Bhupinder Singh" Bond behaviour of deformed steel bars embedded in recycled aggregate concrete" Inaia (2012).
- [34]– Minglei Zhao et all." Bond Behaviors Between Full–Recycled–Aggregate Concrete and Deformed Steel–Bar" China (2017).
- [35]– Sindy Seara–Paz." Bond behavior between steel reinforcement and recycled concrete" pain (2013).
- [36]– M. Guerra." Anchorage of steel rebars to recycled aggregates concrete" Portugal (2014).
- [37]– Marco Breccolotti." Structural reliability of bonding between steel rebars and recycled aggregate concrete" Italy (2013).
- [38]– H. B. Choi and K. I. Kang." Bond behaviour of deformed bars embedded in RAC" Korea (2008).
- [39]– Jianzhuang Xiao et all." Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars" Germany (2005).
- [40]– Reis et all "Influence of the diameter of the bar and CDW concrete on the bond behavior of recycled reinforced concrete." Barazil (2009).
- [41]– Qingfeng Huang, Dafu Wang." Experimental Study on Bond–slip Between Steel Bar and Recycled Aggregate Concrete". China (2011).

التصميم الهيدروليكي الأمثل لشبكات توزيع المياه باستخدام الذكاء الصناعي

ط. نور عبد الإله دبدوب ، هندسة مدنية ، البعث

إشراف : د. بسام الخضر ، استاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية ، البعث

ملخص البحث

يتضمن هذا البحث إجراء دراسة وصفية تحليلية لاستخدام تقنية الخوارزميات الجينية GA كأحد طرق الوصول للحلول المثلى في مجال تصميم شبكات توزيع المياه، حيث تم استخدام برنامج WaterGEMS الذي يعتمد على النموذج الرياضي EPANET كأداة من أجل المحاكاة الهيدروليكية واختيار الحل الأمثل هيدروليكيًا لتصميم شبكة مياه شرب، وذلك بعد معايرة الحلول الناتجة عن تطبيق توابع الهدف للخوارزمية الجينية، عن طريق تحديد الموثوقية الهيدروليكية للحلول الثلاث الناتجة من خلال نمذجة سحب احتياج الحريق من كل عقدة على حدا خلال ساعة الاستهلاك الأعظمي للشبكة، بالإضافة إلى تحليل النتائج بشكل إحصائي.

الكلمات المفتاحية: خوارزمية جينية، حل أمثل، الموثوقية الهيدروليكية، تابع الهدف، شبكة مياه شرب.

Abstract

This research includes conducting an analytical study of the use of GA genetic algorithms as one of the ways to reach optimal solutions in the design of water distribution networks, where the Water GEMS program, which is based on the EPANET mathematical model, was used as a tool for hydraulic simulation and selection of the hydraulically optimal solution for designing a drinking water network, after calibrating the solutions resulting from the application of the objective functions of the genetic algorithm, by determining the hydraulic reliability of the three resulting solutions by modeling the withdrawal of fire requirement from each node separately during the hour of maximum consumption of the network, in addition to analyzing The results are statistical.

Key Word: Genetic Algorithm, Optimum Solution, Hydraulic Reliability, Objective Function, Drinking Water Net Work.

1- مقدمة:

تعدّ شبكات توزيع المياه أهم المرافق الخدمية من البنى التحتية الأساسية التي تحتاجها المناطق السكانية والتجارية والصناعية، إذ يعتبر موضوع إيصال المياه بالكمية الكافية أمراً أساسياً لكل التجمعات حول العالم، ويتم صرف رؤوس أموال طائلة على تصميم وإعادة تأهيل هذه الشبكات في كل البلدان المتقدمة والنامية.

وتعتبر مكونات الشبكة من أنابيب وخزانات ومضخات واختيار تخطيط وطريقة تشغيل هذه المكونات المؤثر الأكبر على الكفاءة الهيدروليكية والاقتصادية للتصميم، فالتصميم المناسب للأنظمة الهيدروليكية يتحقق عندما تؤدي عملها في كل الظروف وباستمرار حتى نهاية الفترة التصميمية للشبكة وبأقل تكلفة ممكنة للتشغيل.

يقصد بشبكة توزيع المياه مجموعة الأنابيب الرئيسية والخزانات وصمامات التحكم بالغزارة والضغط وكذلك المضخات، التي توصل معاً بحيث تؤمن الغزارة المطلوبة بالضاغط المناسب.

إنّ تصميم شبكات توزيع المياه يعني تحديد مكونات الشبكة (أقطار، أطوال، معاملات خشونة الأنابيب، أماكن وضواغط الخزانات، أماكن المضخات وخطوطها المميزة، أماكن صمامات التحكم بالغزارة والضاغط، بالإضافة إلى القطع والأجهزة الخاصة).

تصمم شبكات توزيع المياه لتخدم فترة زمنية تقارب العمر الافتراضي للأنابيب، وعلى هذا يتم حساب الغزارة التصميمية، ومن ثمّ يتم تحديد نوع وأقطار الأنابيب، وموقع وسعة الخزانات، و طاقة الضخ اللازمة.

كما تصمم شبكات توزيع المياه بحيث تؤمن كميات كافية من المياه في حالات الاستخدام العادية، وفي الحالات الاستثنائية الطارئة كحدوث الحرائق على سبيل المثال.

2- استخدام الذكاء الصناعي في تصميم شبكات توزيع المياه:

نظراً للتطور السريع الذي يشهده عالمنا المعاصر، وما رافقته من ازدياد حاجات المجتمع إلى أنظمة ذات أداء وموثوقية عاليتين، فقد زاد الاهتمام في الآونة الأخيرة بعلم الذكاء الصناعي لما أثبتته من فاعلية كبيرة في معالجة الكثير من المسائل الهندسية.

تساعد النمذجة باستخدام الذكاء الصناعي على تصميم Design وإعادة تأهيل Rehabilitation شبكات توزيع المياه لإيجاد التصميم الأمثل وحساب الكلفة المقابلة، إذ أنّ الذكاء الصناعي قادر على التصميم وإعادة التأهيل وإدارة التشغيل.

تعددت تقنيات الذكاء الصناعي، إلا أن كل التقنيات تمحورت حول مفهوم الأمثلة (Optimization) أي معرفة الحل الأمثل للمشكلة المطروحة بطريقة فعّالة.

إنّ أهم تطبيقات الذكاء الصناعي هو إنشاء خوارزميات وتقنيات الحل الأمثل التي نشأت وتطورت لتلافي سلبيات الخوارزميات التي بُنيت على طريقة التجريب والخطأ والصواب، ومن أهم تطبيقات خوارزميات الحل الأمثل تصميم ومعايرة شبكات توزيع المياه بحيث تحقق شروط الغزارة والضاغط والسرعة بحمولات متعددة وبأقل تكلفة.

كما أن الهدف من تصميم شبكات توزيع المياه باستخدام الذكاء الصناعي هو تحديد أقطار الأنابيب، وحجم الخزانات، واستطاعة المضخات في شبكة توزيع المياه، بما يحقق تابع الهدف ومجموعة القيود.

وتعتبر المعايرة باستخدام الذكاء الصناعي جزءاً مهماً من عملية النمذجة الهيدروليكية، فهي تعمل على التعديل المستمر لمعطيات التصميم، لا سيما الأكثر عرضة لعدم اليقين (السحب في العقد، وخشونة الأنابيب)، إذ تساعد في إجراء مقارنة منطقية بين نتائج التحليل من البرامج الحاسوبية، التي تعتمد على الذكاء الصناعي مع القياسات الحقلية.

يمكن لأغلب المهندسين الدارسين لشبكات توزيع المياه، أن يحصلوا على مجموعة كبيرة من الحلول، التي تحقق القيود والشروط الحدية المطلوبة، لكن من الصعب تحقيق جميع هذه الحلول بالطريقة اليدوية للحصول على الحل ذي الكلفة الأقل، لذلك تم اللجوء إلى الذكاء الصناعي للوصول إلى هذا الحل (الحل الأمثل).

تعدّ المعايير بالذكاء الصناعي (إيجاد الحل الأمثل بواسطة الذكاء الصناعي) البديل الأساسي في الدراسات الحديثة لنهج المعايير الحسابية التحليلية.

3-هدف البحث:

إن الهدف الرئيس من هذه الدراسة تقييم الوضع الحالي للشبكة في المنطقة المدروسة، وبيان مدى قدرتها على مواجهة الطلب المتزايد على المياه من ناحية الضواغط والتدفقات، ومن ثم القيام بعملية إيجاد تصميم جديد للشبكة باقتراح الحلول المثلى اقتصادياً وهيدروليكياً بحيث تؤدي عملها خلال 30 عاماً القادمة باستخدام أحد طرق الوصول للحلول المثلى (الخوارزميات الجينية Genetic Algorithms) واختبارها حاسوبياً بالاستعانة بنموذج محاكاة هيدروليكي حاسوبي WaterGEMS.

4-الخوارزميات الجينية Genetic Algorithm:

قام العديد من المبرمجين بدءاً من عام (1950م) حتى عام (1969م) بدراسة ووضع خوارزميات تطويرية Evolutionary Algorithms للوصول إلى أداة تقدم حلول مثلى Optimization Tool للمسائل والمصاعب التي تواجه المهندسين والإقتصاديين.

وقد اعتمدوا في محاولاتهم هذه على الاختلاف الطبيعي لجينات الكائنات الحية، وعلى الاصطفاء الطبيعي Natural Selection للكائنات الأصح.

وقد تمكن الباحث هولاند "Holland" في منتصف العقد السابع من القرن العشرين من وضع الهيكل النظري لما يسمى الخوارزميات الجينية GA، وعرضها لأول مرة في كتابه

(Adaptation in Natural Artificial System)، وخلافا لباقي طرق الذكاء الصناعي والخوارزميات التطورية، لم يكن هدف الباحث "Holland" الوصول لحل مُشكلة محددة، بل كان هدفه نقل فكرة الاصطفاء الطبيعي للكائنات الحية، التي تبناها الباحث داروين "Darwin" إلى البرمجيات والحواسيب، بقصد استخدامها في البحث والاستقصاء للوصول إلى حل أمثل لأي مشكلة تصميمية قد تواجه المهندس خلال عمله.

اعتمدت نظرية "Holland" في الخوارزميات الجينية GA على مبدأ الاصطفاء الطبيعي Natural Selection مع كل ما تحمله من عمليات كالتزاوج Cross Over، والطفرات Mutation التي تحدث على فضاء الحلول، إذ أن عملية الاصطفاء تؤدي إلى إعادة توليد حلول أكثر لياقة Fitter من حلول أخرى.

كما عرّف الباحث Goldberg الخوارزميات الجينية بأنها طريقة بحث واستقصاء عامة، للوصول إلى حلول مثلى تستند على مبادئ علم التطور الطبيعي للكائنات، وإعادة إنتاج الخلايا الحية الذي أنشأه الباحث داروين Darwin [3].

يعتبر أساس هذه الخوارزمية عشوائية اختيار العناصر للتزاوج، ثم اصطفاء الأفضل من بينها بحسب اللياقة Fitness لكل حل، حيث يتم تمثيل كل حل بـ كروموسوم، ويتم تشفير الكروموسومات بسلاسل (سلسلة الحل) بنظام العد الثنائي (بتات)، الذي يستخدم بشكل واسع في عالم الحوسبة.

يمكن تطبيق الخوارزميات الجينية كتقنية للبحث عن تصميم أمثل لنظام توزيع المياه بشكل فعال، في حال وجود نموذج محاكاة هيدروليكي للحالة المستقرة معها.

ويعتقد أن تطبيق هذه التقنية مع وجود عدد من خوارزميات الحل الهيدروليكي سيؤثر بشكل كبير على النواحي المادية، إذ حققت هذه التقنية في البحث عن الأمثلة (إيجاد الحل الأمثل) وفورات مادية في معظم المجالات الهندسية والعلوم الاقتصادية [4].

إنّ الخوارزميات الجينية وعلى العكس من الطرق التقليدية للوصول للحلول المثلى، لا تتعامل مع بارامترات المشكلة المدروسة بشكل مباشر، وإنما تتعامل مع شيفرات معبرة عن هذه البارامترات، لذلك يمكن استخدام البرنامج الحاسوبي المصمم لحساب الخوارزميات الجينية في حل عدد كبير من المشاكل الهندسية، وذلك عن طريق ترميز البارامترات المكونة لها [5].

وبهدف تطوير حلول جيدة وصولاً للحل الأمثل، فإننا ننشئ ما يسمى دالة الهدف أو تابع الهدف Objective Function الذي يتم عن طريقه قياس أمثلية كل حل وتصنيف الأفضل من الأسوأ.

كما أن هناك اختلاف مهم أيضاً فعلى عكس الطرق التقليدية فإن الخوارزمية الجينية تعتمد على مفهوم الحلول المرشحة (فضاء الحلول) Population، وعدد هذا التجمع الأولي للحلول Population Size عامل مهم جداً في الوصول للحل الأمثل.

5- استخدام الخوارزميات الجينية في مجال المياه:

إنّ بداية استخدام الخوارزميات الجينية Genetic Algorithms في شبكات توزيع المياه بشكل فعلي كان عام (1992م) من قبل الباحثين "Simpson & Walter"، إذ حاولوا في بداية عملهما في هذا المجال وضع سلاسل للحلول بطريقة العد الثنائي لتشفير متغيرين فقط هما (1- الأنايبب الجديدة، 2- الأنايبب القديمة التي سيتم إعادة تأهيلها)، واستخدموا تابع الهدف للحصول على تكلفة اقتصادية أصغر للمشروع (Minimize Cost)، وتم اختيار الحل الذي يحقق كل القيود، وبتكلفة أصغر، وعلى ثلاث حالات من الأحمال المائية للشبكة (ثلاث قيم للاستهلاك)، وقد استمر هذا البحث مدة عامين من (1992م) حتى (1994م)، واستطاع الباحثان في النهاية اكتشاف أن لاستخدام تقنية الخوارزميات الجينية تأثير كبير جداً على نتائجها فيما يخص شبكات توزيع مياه

الشرب، ولكن كان ينقصهما الربط بين برنامج الخوارزمية، ونموذج المحاكاة الحامل لقوانين الحل الهيدروليكي [6].

ثم تم تطوير استخدام هذه التقنية (GA) للوصول إلى الحلول المثلى في القرن الماضي على يد كل من الباحثين في مجال الهيدروليك مثل:

Bhave ،Walski 1985 ،Alperouits & Shamir 1977 ،Schaake 1969
Simpson ، Murphy & Simpson 1992 ، Lansey & Mays 1989،1985
،Abebe & Solomatine 1998 ،Walski 1997 ،Bavic 1994 1994
.Vairavamoorthy 2000

ولكن بقيّ استخدامها عرضةً لبعض العوائق أهمها:

✓ صغر الشبكات المدروسة.

✓ وقوع الخوارزمية الجينية المستخدمة في حلول مثلى محلية Local Optimal

.Solution

✓ الزمن الطويل جداً للحساب على الحاسب، بحيث يمكن أن يبقى عدة أيام.

✓ النتائج كانت تزداد سوءاً كلما كبرت الشبكة المدروسة.

بعد ذلك اقترح العالم "Goldberg" عام (1993م) خوارزمية تطويرية جديدة أطلق عليها تسمية الخوارزمية الجينية الفوضوية Messy Genetic Algorithm، استخدم فيها سلاسل بأطوال متغيرة ليس فقط من جيل إلى آخر، إنما ضمن تجمع الحلول الواحد بنفس الجيل، واستطاع الباحثان "" إثبات فعالية هذه الخوارزمية في الوصول لأكبر فائدة ممكنة Maximum Benefit، بعد دراسة استمرت لمدة عامين (1996-1997م)، إذ تم إثبات أنّ هذه الخوارزمية أكثر فعالية من الخوارزمية الجينية البسيطة Simple GA في مجال شبكات توزيع المياه [1].

لكن التقدم الأكبر في استخدام هذه التقنية كان على يد الباحثين " Simpson & Zheng" اللذان قاما بربط برنامج حل الخوارزمية الجينية البسيطة Simple GA،

ببرنامج الحساب الهيدروليكي (EPANET) بعام (2000م) بمساعدة الباحث "Rossman" [7]، حيث أصبح برنامج الحل الهيدروليكي يقوم بحساب البارامترات الهيدروليكية لكل حل مرشح له من قبل الخوارزمية الجينية، وإرسال النتائج لبرنامج الخوارزمية، ومقارنته مع معادلات القيود التي تحدد أفضلية ولياقة كل حل عن الآخر [8].

6- مستويات تطبيق الخوارزميات الجينية في مجال شبكات توزيع المياه:

تمت دراسة تطبيق الخوارزميات الجينية في تصميم شبكات توزيع المياه بشكل موسع في العقدين الماضيين، على يد الباحثين في مجال الهيدروليك مثل:

Zheng & Simpson 1994, Walters & Savic 1997, Walski & Simpson 2001

وغيرهم، حيث يمكن تقسيم هذه الدراسات لثلاث مستويات:

المستوى الأول: إيجاد التكلفة الأصغرية Minimizing Cost، مع تحقيق جميع الشروط الحدية للشبكة، من ضغط، تصريف، سرعة جريان، وامتلاء الخزانات بالكمية المناسبة.

هذا النوع من الدراسات ظل هو المسيطر خلال القرن الماضي [9].

ومع بداية القرن الحالي، توسعت الدراسات بعد ملاحظة فشل معظم الشبكات التي تمت دراستها بالطريقة السابقة، إذ تبين أن هذه الشبكات لا تعمل بشكل مناسب في حالات الطوارئ، كما أنها ليست ذات موثوقية عند حدوث أي عطل، أو عند خروج أي عنصر من عناصر الشبكة عن الخدمة.

المستوى الثاني: إيجاد الحل الذي يحقق أكبر ضغوط ممكنة في الشبكة Maximize Benefit، حيث قام عدد من العلماء بدراسة تصميم الشبكات، مع الأخذ بعين الاعتبار

موضوع رفع قيم الضغط إلى أعلى حد لتحقيق عدد من الفوائد، من أهمها جعل الشبكة قادرة على العمل في حال حصول أي تغيير مفاجئ في قيم الاستهلاك، أو خلال حالات طوارئ، ولكن هذه الشبكات كانت تعاني من ارتفاع تكاليف تنفيذها بشكل واضح [10].

المستوى الثالث: المفاضلة بين التكلفة والضغط Trade Off Optimization: في عام 2002م بدأ مجموعة من الباحثين وعلى رأسهم الباحثان & Zheng Yi Wu Tom Walski، بدراسة تصميم شبكة مياه على أن تحقق أقل تكلفة تنفيذ ممكنة، وأعلى قيم ممكنة للضغط، وأطلقوا على هذه الطريقة اسم طريقة المفاضلة.

7- خطوات تطبيق الخوارزميات الجينية في الوصول للحل الأمثل في تصميم شبكات توزيع المياه:

قام الباحثان Dandy and Murphy عام 1994م بتلخيص خطوات تطبيق الخوارزمية في تصميم شبكة توزيع المياه كالاتي [11]:

1- تحديد القيم التي يمكن أن يأخذها متغير التصميم (أنبوب، مضخة،.....)، عن طريق تعريف جدول قيم لهذا المتغير.

2- اختيار وتحديد بارامترات الخوارزمية:

✓ التجمع الأولي للحلول بين 100 حتى 500 حل بحسب حجم الشبكة.

✓ تحديد طريقة الانتقاء (الجولات، دولا ب الحظ).

✓ اختيار نسبة التقاطع والطفرات.

✓ اختيار رقم seed لتوليد سلسلة الأرقام العشوائية.

3- تشفير الحلول في التجمع البدائي للحلول.

4- إرسال الحلول إلى نموذج المحاكاة الهيدروليكي، لتقييم كل حل من ناحية تحقيقه لمعادلات القيود الهيدروليكية.

5- حساب كل من تابع الهدف، وتابع الجزء لكل حل، وجمع التابعين لإيجاد تابع التكلفة الكلية.

6- اختيار الحلول التي ستنقل إلى الجيل الجديد بحسب أمثلتها "لياقتها" (الحل ذو اللياقة الأعلى يملك فرصة أكبر للانتقال إلى الجيل الجديد).

7- إعادة الخطوات من 3 إلى 6 حتى الوصول إلى الجيل الأخير، ثم اختيار الحل ذو اللياقة الأعلى *more fit*.

8- قيود التصميم لشبكات توزيع المياه:

يتم تحليل كل حل مفترض لشبكة المياه عن طريق نقله لنموذج المحاكاة الهيدروليكي، حيث يتم تقييم البارامترات الهيدروليكية له (الضغط والسرعة والميل الهيدروليكي)، وبعد ذلك تُعاد نتائج التحليل إلى برمجية Darwin Designer ضمن برنامج WaterGEMS

8-1- قيد مقاس الأنابيب Pipe Size Constraint:

يتم تحديد قطر الأنابيب من قائمة الأقطار المتوفرة تجارياً بعد إدخال بياناتها إلى الحاسب، لهذا المتغير قيمة صغرى وكبرى بحسب الأقطار المتوفرة، حيث يتم التعبير عنها رياضياً:

$$D_i^{min} \leq d_i \leq D_i^{max}, \forall_i \quad (1)$$

$$d_i \in D_m^0 = [d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, \dots, d_{i,n}] \quad (2)$$

حيث:

d_i : قطر الأنابيب.

D_m^0 : مجموعة من مجموعات الأنابيب المتوفرة تجارياً.

8-2- قيود الضغط بالعقد Junction Pressure Constraints:

تتطلب عقد الاستهلاك أن يكون الضغط فيها أعلى أو يساوي من الحد الأصغري (ارتفاع المبنى + الضياعات الكلية في الأنبوب الفرعي + الضياعات بالتوصيلات المنزلية حتى الخزان التجميعي بأعلى المبنى)، وكذلك يجب ألا يتجاوز الضغط الفعلي قيمة الضغط الأعظمي الذي تتحمله العدادات، والتجهيزات المنزلية.

ويمكن كتابة ما سبق كقيد يستخدم لضبط عمل الخوارزمية الجينية كما يلي:

$$H_{i,j}^{min} \leq H_{i,j}(t) \leq H_{i,j}^{max} \quad \forall t, i = 1, \dots, N_j; j = 1, \dots, NDM \quad (3)$$

حيث:

$H_{i,j}(t)$: الضاغط الهيدروليكي في العقدة i في حالة الاحتياج المائي (الحمل المائي) خلال الزمن t .

N_j : عدد العقد الموجودة والمستهدفة في الدراسة.

$H_{i,j}^{min}, H_{i,j}^{max}$: الضاغط الأصغري والأعظمي المسموح به والذي يجب عدم تجاوزه.

NDM : عدد حالات الاحتياج المائي (عدد حالات التحميل المائي).

8-3- قيود الجريان في الأنابيب Pipe Flow Constraints:

يجب أن تكون السرعة ضمن حدود معينة، برنامج الخوارزمية الجينية سيتجنب السرعة المنخفضة، بسبب الكلفة الاقتصادية المرتفعة للأقطار الكبيرة، ولكن يجب الانتباه لموضوع السرعة العالية، لأنها تؤدي لزيادة مشكلة الصدمات المائية في خطوط الشبكة:

حيث يتم التعبير رياضياً عن قيود الجريان كما يلي:

$$v_{i,j}(t) \leq v_{i,j}^{max} \quad \forall t, i = 1, \dots, Np \quad j = 1, \dots, NDM \quad (4)$$

$$HG_{i,j}(t) \leq HG_{i,j}^{max} \quad \forall t, i = 1, \dots, Np \quad j = 1, \dots, NDM. \quad (5).$$

حيث:

$V_{i,j}(t)$: السرعة في الأنبوب i في حالة الاحتياج المائي j .

$v_{i,j}^{max}$: السرعة العظمى المسموحة في الأنبوب i في حالة الاحتياج المائي j .

N_p : عدد الأنابيب الكلي في الشبكة المدروسة (يمكن أن يكون لدينا شبكة منفذة على أرض الواقع ونريد توسيعها بالتالي هناك أنابيب جديدة، وأنابيب قديمة سيجري عليها عملية إعادة التأهيل).

$HG_{i,j}(t)$: انحدار خط الميل الهيدروليكي للأنبوب i ، في حالة الاحتياج المائي j خلال الزمن t .

NDM : عدد حالات الاحتياج المائي (عدد حالات التحميل المائي).

8-4- قيود الميزانية المالية الاقتصادية للمشروع Budget Constraint:

في العديد من مشاريع شبكات توزيع المياه يكون هناك ميزانية مالية اقتصادية محددة لا نستطيع تجاوزها، وفي حال كان الهدف من التصميم هو تحقيق أكبر قيمة ممكنة للضغوط ضمن الشبكة، بالتالي يجب أن يضاف قيد الميزانية كأحد القيود التي تحدد مجال الحلول المقبولة:

$$C_{total} \leq fund^{max} \quad (6)$$

حيث:

C_{total} : كلفة الشبكة المدروسة.

$Fund^{max}$: الكلفة العظمى التي يمكن دفعها لتنفيذ مشروع الشبكة.

9-طرائق البحث ومواده:

9-1- منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة شمالي غربي مدينة حمص، وتقسم إلى منطقة الوعر القديمة ومنطقة الوعر الجديدة التي تضم عدد من الجزر السكنية، ويبلغ عدد سكان المنطقة في نهاية عام 2022 م حوالي 100 ألف نسمة.

تأخذ الشبكة مياهها عن طريق الضخ المباشر عبر مجموعة الضخ من محطة ضخ الجديدة، قرب دوار المهندسين باستخدام أنبوب قطره 800mm.

تتكون الشبكة من أنابيب من الفونت المرن Ductile Iron K9 خشونتها 0.25mm بأقطار متنوعة تتراوح بين (100-800mm) كما يبين المخطط (Drawing 0) ضمن الملحق B، والعمر التصميمي للشبكة 30 عام انتهى في نهاية عام 2021م.



الشكل رقم 1: صورة جوية للمنطقة المدروسة (مأخوذة من برنامج Google Earth Pro).

9-2- البرمجيات والأدوات المستخدمة في البحث:

تم الاعتماد على المخطط التنظيمي لمنطقة الدراسة وصور Google Earth وعلى المخطط الحالي للشبكة والخرائط الطبوغرافية، وجمع المعطيات اللازمة عن الشبكة، ثم تحديد الغزارات في الأنابيب وفي العقد حسب معطيات مؤسسة المياه في محافظة حمص.

استخدمت في الدراسة مجموعة من البرمجيات اللازمة لتحقيق الغرض المطلوب منها:

1- برنامج WaterGEMS:

برنامج يستخدم في النمذجة الهيدروليكية الحاسوبية في مجال شبكات المياه من أجل تصميم نماذج تحاكي نظام توزيع المياه، ومن ثم القيام بالحساب الهيدروليكي لها، مع إمكانية خلق حيز مكاني مشابه للواقع وإجراء عملية التحليل والدراسة.

تم اعتماد برمجية Darwin Designer للبحث عن الحلول المثلى بطريقة الخوارزميات الجينية الفوضوية السريعة FMGA مع ارتباطها بنموذج المحاكاة الهيدروليكي WaterGEMS، وذلك لتجنب محاولة إيجاد الحل الأمثل عن طريق التجريب اليدوي.

2- برنامج Google Earth Pro:

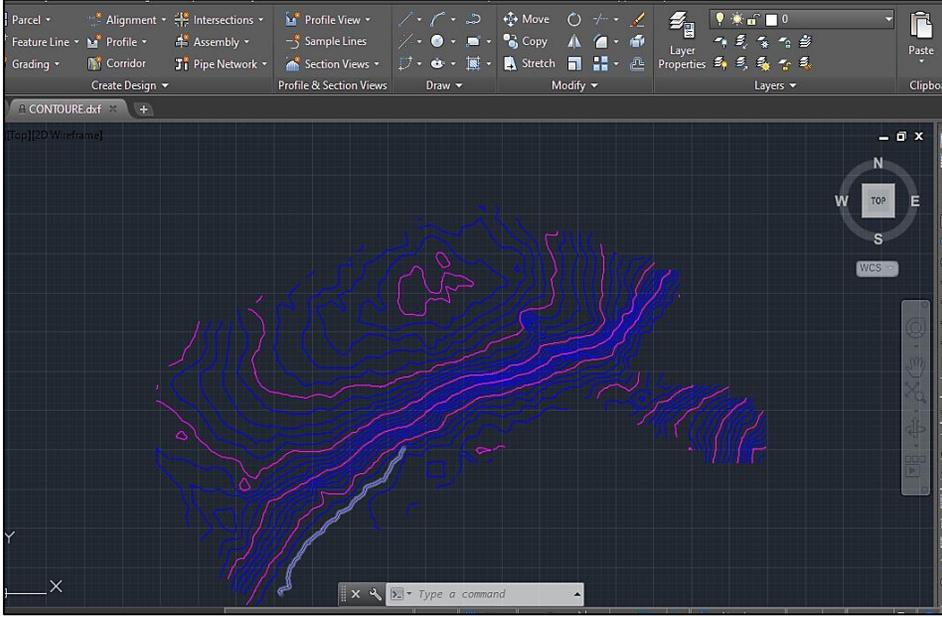
يساعد في تحديد الموقع الجغرافي للشبكة لرسم مساراتها.

3- برنامج Auto CAD، Civil 3D:

استخدم لرسم أنابيب الشبكة ثم حولت إلى ملف dxf حتى يتمكن برنامج WaterGEMS من التعامل معه لبناء النموذج عليه.

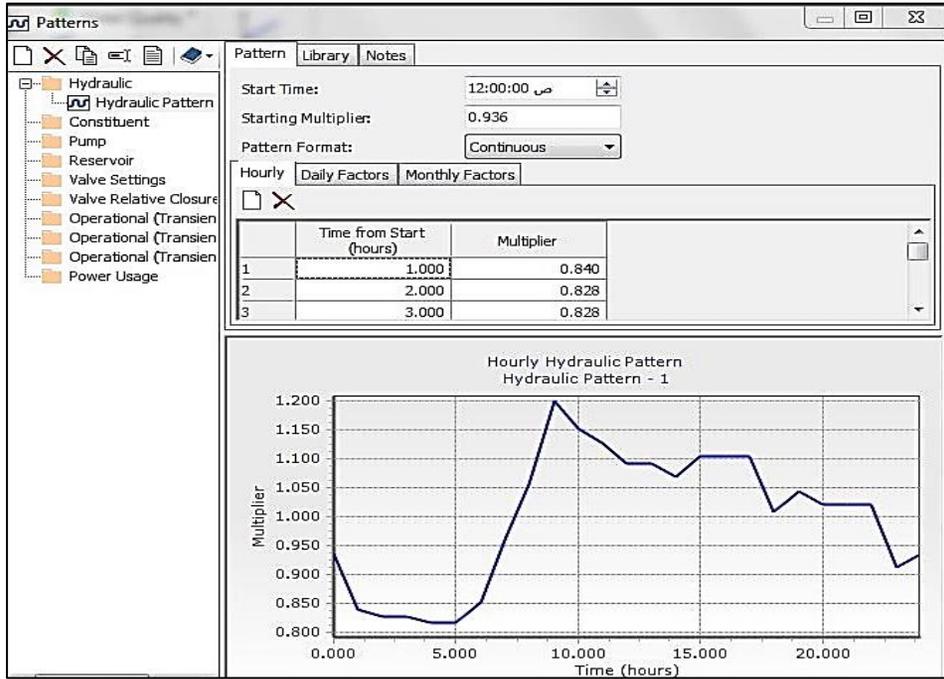
4- برنامج CAD Earth:

إنشاء خطوط الكنتور Contour Lines، لتحديد مناسب الأرض الطبيعية، ليتم إدخالها لعقد شبكة المياه بعد رسمها، ويتم ذلك ببرنامج Cad- Earth، باستخدام الأداة Mesh، ثم الخيار Contour Lines، وتحديد تباعدات خطوط الكنتور الرئيسية والثانوية.



الشكل رقم 2: خطوط الكنتور بعد أن تم استنتاجها بمعونة برنامج Cad- Earth.

بعد الانتهاء من إدخال المناسب أدخلت أقطار أنابيب الشبكة وخصائص كل أنبوب (نوع مادة الأنبوب، معامل الاحتكاك الهيدروليكي)، والاحتياجات المائية Demand ونمط تغيير الاستهلاك الساعي Pattern Of Demand للبيوت السكنية في محافظة حمص ضمن برنامج WaterGems.



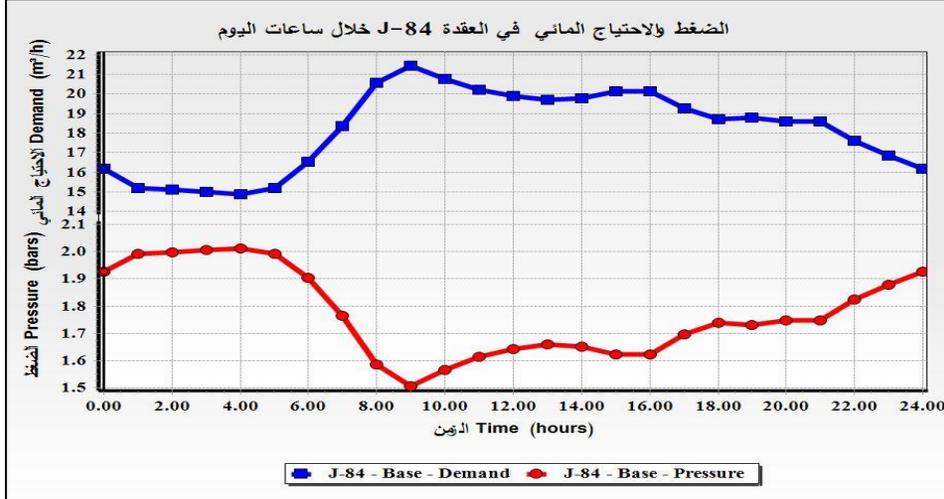
الشكل رقم 3: إدخال نمط تغيير الاستهلاك المائي الساعي للبيوت السكنية في مدينة حمص (مأخوذة من الدراسة المرجعية).

9-3- حساب الغزارة العقدية:

تم نقل الغزارات من الأبراج، المباني، المدارس.....الخ لعقد الشبكة، باعتبار أن كل مبنى سينتقل احتياجه إلى الأنبوب الأقرب له، وسيتم توزيع الغزارة على عقدتي الأنبوب، بحيث تأخذ العقدة الأقرب للمبنى نسبة أكبر من غزارة المبنى، بدل التوزيع المتساوي المعتمد بالطرق التقليدية.

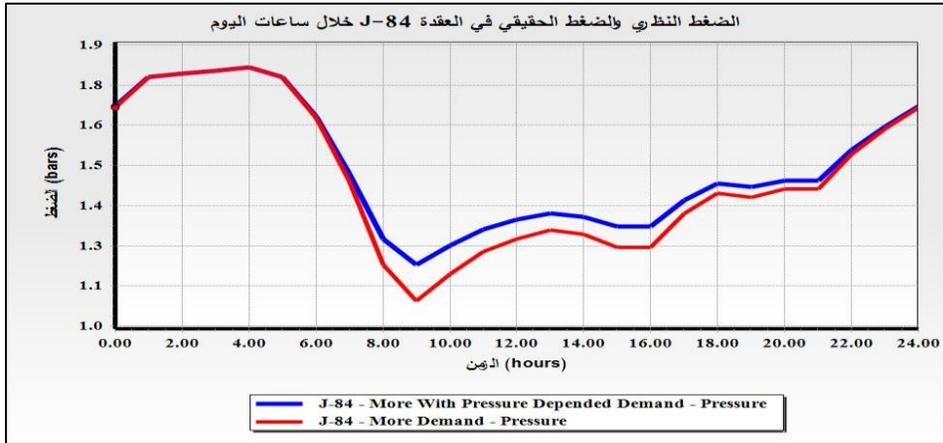
بعد إدخال كامل بيانات الشبكة المدروسة قمنا بالحساب الهيدروليكي للشبكة بطريقة هاردي كروس التقليدية باستخدام برنامج WaterGEMS، حيث تبين أن هناك نقاط تعاني من انخفاض الضغط (العقدة J-48)، كما في الشكل رقم 4، ولكن لا تصل إلى

قيم سالبة (بين الساعة 8 حتى 10 صباحاً)، وهو أمر طبيعي لأن العمر التصميمي للشبكة قد انتهى عام 2021م.



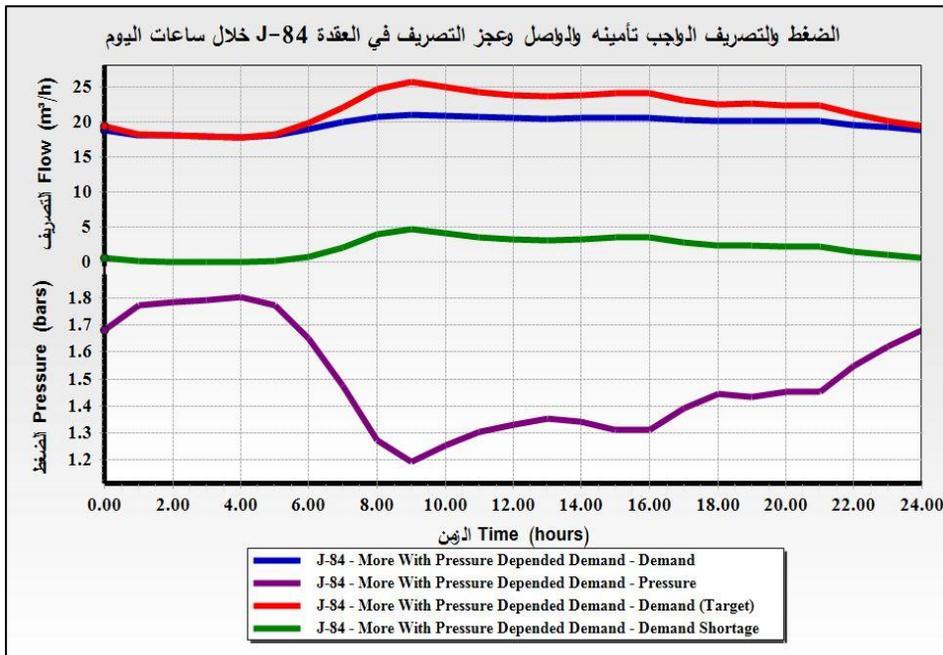
الشكل رقم 4: تغيير الضغط مع تغير الاحتياج الساعي في العقدة J-84 (نتائج النموذج الرياضي).

وبعد اعتماد علاقة تابعة تصريف المياه لقيمة الضغط Pressure Depended Demand أصبحت النتائج أقرب للواقع حيث نلاحظ أن الضغط الحقيقي في العقدة (J-84) يتراوح ما بين (1.8-1.2)bar كما يبين الشكل رقم 5، بينما قيمة الضغط بالطريقة التقليدية بدون تطبيق علاقة تابعة التصريف للضغط هي (1bar)، لأن الطرق التقليدية لحساب الشبكات تفرض أن الغزارة قيمة ثابتة بينما يعطي البرنامج غزارة نسبة إلى الضغط المتوفر في العقدة وهذا أدق.



الشكل رقم 5: الضغط النظري "المحسوب بالطريقة التقليدية" والضغط الحقيقي في العقدة J-84 (نتائج النموذج الرياضي).

بالتالي المياه سوف تصل إلى المباني حول العقدة (J-84)، ولكن بكمية أقل من اللازم كما يوضح الشكل رقم 6.



الشكل رقم 6: الاحتياج المائي التصميمي والعجز بالتصريف مع انخفاض الضغط في العقدة J-84.

9-4-دراسة تصميم الشبكة باستخدام الخوارزميات الجينية:

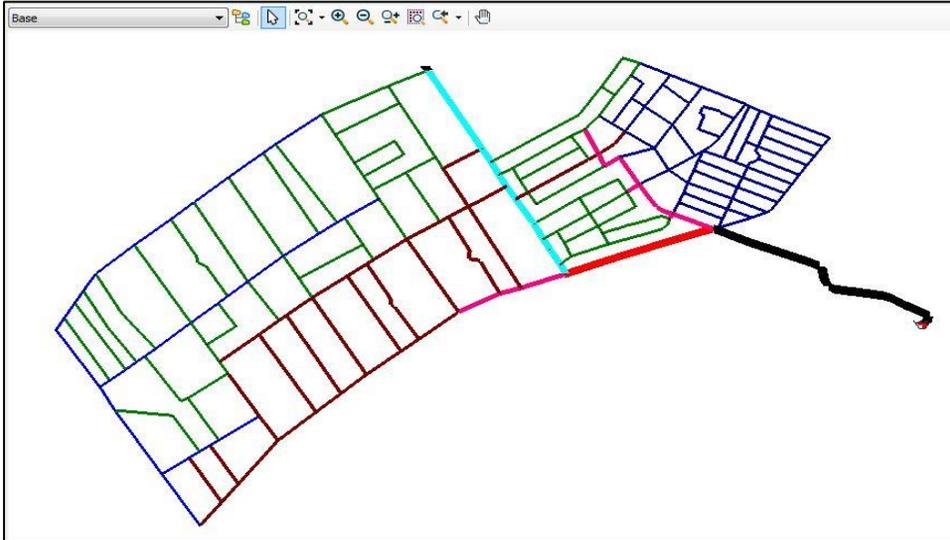
سيتم تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية في إعادة تصميم الشبكة المدروسة.

الشبكة مؤلفة من 180 عقدة و274 أنبوب، وتم اعتماد علاقة (Hazen- Williams) لحساب ضياعات الطاقة خلال الأنابيب، ومعامل الضياع (130) لكل الأنابيب.

يبين الجدول (0-A) ضمن الملحق A قيم الضغط في عقد الشبكة (بيانات الشبكة الحالية).

المطلوب: إيجاد تصميم هيدروليكي أمثلي جديد للشبكة (تحديد أقطار الأنابيب) بحيث لا يقل الضغط في عقد الشبكة عن 1.5 bar والسرعة الأعظمية للجريان أصغر أو تساوي 1.5 m/s وباستخدام أنابيب من البولي ايتلين عالي الكثافة HDPE.

يبين الشكل رقم 7: المسقط الأفقي للشبكة المدروسة الذي تم إدخاله ضمن برنامج .WaterGEMS



الشكل رقم 7: المسقط الأفقي للشبكة المدروسة الذي تم إدخاله ضمن برنامج .WaterGEMS

9-4-1- أقطار الأنابيب المستخدمة:

تم اعتماد بيانات إحدى الشركات الوطنية، وإدخالها ضمن قاعدة بيانات الخوارزمية الجينية، أما تكلفة شراء وتركيب المتر الطولي منها فهي بحسب كشوف المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في حمص بعام 2023م، كما يبين الجدول رقم 1. وتم وضع شرط آخر، وهو أن تكون الأنابيب المركبة في الشارع الواحد من نفس القطر لأسباب تنفيذية، ولصعوبة تغيير قطر الأنبوب في نفس الشارع، ولأن هذه العملية تزيد من تكلفة التركيب بسبب الاحتياج لعدد كبير من القطع الخاصة. بالتالي تم تقسيم أنابيب الشبكة البالغ عددها (274) أنبوب على (53) مجموعة تصميمية، لكل مجموعة قطر موحد، مما قلل من عدد الحلول الممكنة للشبكة من 16^{274} حل، إلى 16^{53} حل للشبكة. الجدول رقم 1: أقطار الأنابيب المستخدمة في التصميم وتكلفة تنفيذ وتركيب المتر الطولي منها.

الأنابيب المتوفرة بحسب أحد المعامل السورية لإنتاج البولي إيثيلين بضغط اسمي 10 bar والتكلفة الكلية لتمديد المتر الطولي بحسب كشوف المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في حمص (كشوف عام 2023م)		
التكلفة الكلية لتمديد المتر الطولي ل.س	الخشونة المطلقة mm	القطر الاسمي للأنبوب mm
3200	0.003	110
4500	0.003	125
5500	0.003	140
6200	0.003	160
7000	0.003	180
7800	0.003	200
8500	0.003	225
9200	0.003	250
10000	0.003	280
11500	0.003	315
12000	0.003	355
15000	0.003	400

9-4-2-تابع الهدف:

تم اعتماد ثلاثة توابع هدف للوصول إلى تصميم أمثل للشبكة ضمن قاعدة بيانات أداة Darwin Designer في برنامج WaterGEMS كالآتي:

1- الوصول لتكلفة أصغرية Minimum Cost.

2- الفوائد الأعظمية (أكبر ضغوط ممكنة) Maximum Benefit.

3- المفاضلة بين التكلفة والضغط Trade- Off Between The Cost and Benefit.

9-4-3-بارامترات الخوارزمية الجينية المستخدمة:

تم تثبيت بارامترات الخوارزمية الجينية الفوضوية FMGA، في الحالات الثلاث لتابع الهدف، فقد تبين بالتجريب أنها تعطي نتائج أفضل من الخوارزمية الجينية البسيطة SGA، وذلك بعد تجريب عدد كبير من القيم حتى الوصول لأفضل القيم الممكنة.

يبين الشكل رقم 8 إدخال قيم بارامترات الخوارزمية داخل برمجية Darwin Designer التي تم اختيارها بعد عدد من المحاولات للوصول للحل الأمثل.

GA Parameters	
Maximum Era Number:	30
Era Generation Number:	250
Population Size:	300
Cut Probability:	2.0 %
Splice Probability:	70.0 %
Mutation Probability:	1.0 %
Random Seed:	1.000
Penalty Factor:	1,000,000.000
Stopping Criteria	
Max. Trials:	500000
Non-Improvement Generations:	2000
Top Solutions	
Solutions to Keep:	20

الشكل رقم 8: إدخال قيم بارامترات الخوارزمية الجينية داخل برمجية Darwin Designer.

9-4-4-4- قيد التكلفة (ميزانية المشروع) Budget Constraint:

بالنسبة لتابعين الهدف (الفوائد الأعظمية، المفاضلة بين التكلفة والضغط)، فإنه يتم إضافة قيد للقيود السابقة، وهو عدم تجاوز تكلفة الشبكة (تكلفة الحل المقدم من الخوارزمية الجينية) ميزانية المشروع الأعظمية وهي:

$$\text{Fund}^{\max} = 300 \text{ مليون ل.س.}$$

$$C_{\text{total}} \leq \text{Fund}^{\max}$$

C_{total} : تكلفة الحل المقدم من قبل الخوارزمية الجينية.

9-4-4-5- حلول الشبكة بحسب الخوارزمية الجينية:

بنتيجة تطبيق الحالات الثلاث لتابع الهدف للخوارزمية الجينية، تم الحصول على الحلول الثلاث (المثلى) المبينة بالجدول رقم 2، والمخططات (Drawing 1)، (Drawing 2)، (Drawing 3) ضمن الملحق B.

الجدول رقم 2: تكلفة الحل الأمثل بحسب كل تابع هدف للخوارزمية الجينية.

المفاضلة بين التكلفة والضغط Trade-off between the cost and benefit	الفوائد الأعظمية (أكبر ضغوط ممكنة) Maximum Benefit	الوصول لتكلفة أصغرية Minimum Cost	تابع الهدف للخوارزمية الجينية
3	2	1	رقم الحل
Drawing (3)	Drawing (2)	Drawing (1)	المخطط الموضح للحل
178369680	198319904	128813936	تكلفة الحل الأمثل بحسب كل تابع هدف (ل.س)

10-النتائج ومناقشتها:

10-1-تحديد الموثوقية الهيدروليكية Hydraulic Reliability للحلول الناتجة:

من أجل معايرة الحلول السابقة الناتجة عن تطبيق الخوارزمية الجينية نقوم بدراسة الموثوقية الهيدروليكية لهذه الحلول، إذ تم اعتبار أن الشبكة ذات الموثوقية الأعلى، هي التي تحقق بقاء أكبر عدد من عناصرها ضمن العمل خلال سحب احتياج الحريق من أي نقطة من نقاط الشبكة، وأن تحقق نسبة نجاح لا تقل عن 75%، إذ تم نمذجة سحب احتياج الحريق من كل عقدة على حدا للحلول الثلاث الناتجة، وذلك خلال ساعة الاستهلاك الأعظمي في الشبكة.

10-2-حساب احتياج الحريق اللازم للشبكة المدروسة:

لحساب احتياج الحريق الأعظمي اللازم للمنطقة المدروسة، تم اعتماد الكود الروسي لشبكات المياه. الذي يعتبر أن احتياج الحريق الواحد لمثل هكذا منطقة سكنية هو (35 L/s) للحريق الواحد، وعدد الحرائق الأعظمي التي يمكن أن تحدث بنفس الوقت (2 حريق) كما يبين الجدول رقم 3، بالتالي الاحتياج الكلي للحريق 70 L/s [2].

الجدول رقم 3: احتياج الحريق بحسب الكود الروسي.

جدول لحسابات حرائق المدن			
غزارة المياه المطلوبة للحريق الواحد (L/S)		عدد الحرائق	عدد السكان 1000
لبنيات من ثلاثة طوابق أو أكثر	لبنيات من طابقين		
10	10	1	5
15	10	1	10
15	10	2	25
25	20	2	50
35	25	2	100

10-3- قيود نجاح العقدة في حالة سحب احتياج الحريق:

الضغط في نقطة سحب احتياج الحريق أكبر أو يساوي 0.5 bar.

Pressure (Residual Lower Limit) ≥ 1 bar

الضغط الأصغري في الشبكة خلال سحب احتياج الحريق أكبر أو يساوي 0.7 bar.

Pressure (Zone Lower Limit) ≥ 1.5 bar

وذلك لمنع حدوث ضغط سالب في الشبكة، الذي يمكن أن يقلل من كفاءتها نتيجة تشكل جيوب هوائية داخلها.

تبيّن الجداول (1-A)، (2-A)، (3-A)، ضمن الملحق A شرح تفاصيل نتائج دراسة

الحلول الثلاث للشبكة على الحريق (قيم الضغوط الناتجة) بحسب كل حل أمثل تم

اختياره تبعاً لكل تابع هدف من قبل برنامج الخوارزمية الجينية.

10-4- التحليل الإحصائي لنتائج دراسة حلول الخوارزمية على الحريق لتحديد موثوقيتها:

تم حساب نسبة نجاح كل حل من الحلول الثلاث الناتجة عن تطبيق توابع الهدف، ومتوسط التصريف الأعظمي الممكن خروجه من عقد الشبكة، وتنظيم النتائج ضمن الجدول رقم 4.

الجدول رقم 4: نتائج التحليل الإحصائي للموثوقية الهيدروليكية لحلول الشبكة الناتجة عن تطبيق الخوارزمية.

القيم الإحصائية للحلول الثلاث المثلى بحسب توابع الخوارزمية الجينية			
المفاضلة بين التكلفة والضغط Trade- off between the cost and benefit	الفوائد الأعظمية (أكبر ضغوط ممكنة) Maximum benefit	الوصول لتكلفة أصغرية Minimum Cost	تابع الهدف للخوارزمية الجينية
3	2	1	رقم الحل
178369680	198319904	128813936	تكلفة الحل (ل.س)
179	171	157	عدد العقد المحققة لشرط سحب احتياج الحريق
1	9	23	عدد العقد غير المحققة لشرط سحب احتياج الحريق
99.44	95	87.22	نسبة النجاح %
67.98	67.48	61.76	متوسط التصريف الأعظمي الممكن خروجه من عقد الشبكة L/s
7.63	12.75	17.011	الانحراف المعياري لقيم التصريف الأعظمي

11- الاستنتاجات والتوصيات:

1- نستنتج أن زيادة متوسط التصريف الأعظمي الممكن خروجه من عقد الشبكة يعبر عن ازدياد إمكانية الشبكة Capacity of Discharge، وكذلك انخفاض قيم الانحراف المعياري نسبة للمتوسط تعبر عن تجانس الشبكة واقتراب قيم إمكانية التصريف لعقدتها من بعضها البعض.

2- نلاحظ أن الحل الناتج عن تابع المفاضلة بين التكلفة والضغط (trad-off between the cost and benefit) الذي أعطى تابع زيادة الضغط 50% وتابع التكلفة 50%، حقق أكبر نسبة نجاح، على العكس من تابع الفوائد الأعظمية (maximum benefit) الذي يركز على زيادة الضغوط في الشبكة، وكان تابع الوصول لتكلفة أصغرية هو الأقل نجاحاً.

3- عند تصميم شبكة مياه شرب باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية GA، يفضل اختبار عدة قيم لبارامترات الخوارزمية، والتحقق من النتائج في كل مرة للوصول إلى حل هيدروليكي أمثل أفضل ما يمكن.

الملحق A

الجدول (0-A): الضغط في عقد الشبكة (بيانات الشبكة الحالية).

العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط
J-1	3	J-48	3.5	J-96	1.6	J-143	1.6
J-2	3.5	J-49	3.4	J-97	1.6	J-144	1.9
J-3	2.9	J-50	3.5	J-98	1.6	J-145	1.8
J-4	2.9	J-51	2	J-99	1.7	J-146	1.7
J-5	2.5	J-52	1.9	J-100	1.7	J-147	2.2
J-6	2.9	J-53	2.1	J-101	2	J-148	2.4
J-7	2.6	J-54	2.1	J-102	1.7	J-149	1.8
J-8	3.4	J-55	1.9	J-103	1.8	J-150	3.3
J-9	3.5	J-56	1.8	J-104	1.9	J-151	3.3
J-10	3.1	J-57	1.7	J-105	2	J-152	2.8
J-11	3.4	J-58	1.8	J-106	2	J-153	1.8
J-12	3.5	J-60	1.7	J-107	2.2	J-154	2
J-13	2.8	J-61	1.8	J-108	2.2	J-155	1.7
J-14	3.4	J-62	1.6	J-109	2.3	J-156	1.8
J-15	3.5	J-63	1.7	J-110	2.4	J-157	2.1
J-16	2.5	J-64	1.8	J-111	2.6	J-158	2
J-17	2.4	J-65	2.1	J-112	2.5	J-159	2.2
J-18	3.4	J-66	1.7	J-113	2.6	J-160	3.3
J-19	2.3	J-67	1.8	J-114	2.6	J-161	2.3
J-20	3.5	J-68	2.8	J-115	2.8	J-162	2.5
J-21	3.4	J-69	2.8	J-116	3.1	J-163	2.3
J-22	3.4	J-70	1.7	J-117	3.4	J-164	3.4
J-23	3.4	J-71	1.6	J-118	3.3	J-165	3.4
J-24	3.4	J-72	1.6	J-119	2.8	J-166	2.3
J-25	2.5	J-73	1.6	J-120	2.5	J-167	2.2
J-26	2.5	J-74	1.6	J-121	2.4	J-168	2.1
J-27	3.4	J-75	1.6	J-122	2.9	J-169	2.2
J-28	2.5	J-76	1.7	J-123	2.9	J-170	2
J-29	2.5	J-77	1.8	J-124	3.4	J-171	3.4
J-30	2.5	J-78	1.8	J-125	2.7	J-172	2.1
J-31	2.4	J-79	1.8	J-126	3.4	J-173	1.7
J-32	2.3	J-80	1.6	J-127	2.4	J-174	1.5
J-33	2.2	J-81	1.5	J-128	2.4	J-175	1.8
J-34	2.2	J-82	1.6	J-129	3.4	J-176	2.4
J-35	2.1	J-83	1.7	J-130	2	J-177	2.4
J-36	2.1	J-84	1.5	J-131	2.4	J-178	2.5
J-37	2.1	J-85	1.5	J-132	2.3	J-179	2.6
J-38	2.2	J-86	1.6	J-133	2.2	J-180	2.4
J-39	2.4	J-87	1.8	J-134	2.3		
J-40	2.8	J-88	1.8	J-135	2.4		
J-41	2.6	J-89	1.7	J-136	2.1		
J-42	2.3	J-90	1.5	J-137	2		
J-43	2.1	J-91	1.6	J-138	1.9		
J-44	2.2	J-92	1.6	J-139	1.7		
J-45	2.6	J-93	1.5	J-140	1.9		
J-46	3.1	J-94	1.6	J-141	2.1		
J-47	3.3	J-95	1.7	J-142	2		

الجدول (1-أ): الضغط الناتج عن استخدام الأقطار بحسب الحل الأمثلي (1).

العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط
J-1	2.7	J-48	3	J-96	0.5	J-143	0.8
J-2	3.1	J-49	3	J-97	0.7	J-144	0.8
J-3	2.4	J-50	3.1	J-98	0.7	J-145	0.5
J-4	2.4	J-51	0.5	J-99	0.7	J-146	0.5
J-5	1.2	J-52	0.5	J-100	0.7	J-147	0.5
J-6	1.3	J-53	1.5	J-101	1.4	J-148	1.9
J-7	0.5	J-54	1.5	J-102	0.7	J-149	1.3
J-8	1.8	J-55	1.3	J-103	0.7	J-150	2.8
J-9	3.1	J-56	1.3	J-104	0.6	J-151	0.6
J-10	1.7	J-57	1.1	J-105	0.7	J-152	0.5
J-11	3	J-58	1.2	J-106	0.9	J-153	0.5
J-12	3.1	J-60	1.1	J-107	1.3	J-154	0.5
J-13	1.3	J-61	0.5	J-108	0.7	J-155	0.7
J-14	3	J-62	0.9	J-109	0.8	J-156	0.7
J-15	3	J-63	0.5	J-110	1.3	J-157	0.7
J-16	1	J-64	0.5	J-111	1.6	J-158	1
J-17	0.9	J-65	1.3	J-112	1.1	J-159	1.6
J-18	2.9	J-66	1.6	J-113	1.6	J-160	2.7
J-19	0.8	J-67	1.1	J-114	0.5	J-161	1.6
J-20	3	J-68	1.2	J-115	0.5	J-162	1.7
J-21	2.9	J-69	2.3	J-116	2.5	J-163	1.7
J-22	2.9	J-70	2.9	J-117	2.8	J-164	2.8
J-23	2.9	J-71	1.1	J-118	2.6	J-165	1.4
J-24	2.9	J-72	1	J-119	1.9	J-166	1.4
J-25	0.7	J-73	0.5	J-120	1.8	J-167	0.5
J-26	0.8	J-74	0.9	J-121	0.5	J-168	1.1
J-27	2.8	J-75	0.7	J-122	0.5	J-169	1.6
J-28	1.6	J-76	0.6	J-123	1.9	J-170	1.4
J-29	0.9	J-77	0.5	J-124	2.7	J-171	2.8
J-30	0.7	J-78	0.5	J-125	1.7	J-172	0.5
J-31	0.5	J-79	0.7	J-126	2.7	J-173	0.5
J-32	0.5	J-80	0.7	J-127	1.4	J-174	0.5
J-33	0.5	J-81	1	J-128	1.8	J-175	1.3
J-34	0.5	J-82	1.1	J-129	2.9	J-176	0.9
J-35	0.5	J-83	0.6	J-130	1.5	J-177	0.9
J-36	0.5	J-84	1	J-131	1.4	J-178	1.4
J-37	0.5	J-85	1	J-132	1.5	J-179	1.5
J-38	0.5	J-86	0.5	J-133	0.5	J-180	1
J-39	0.5	J-87	0.6	J-134	0.5		
J-40	0.5	J-88	1.3	J-135	1.3		
J-41	0.5	J-89	2.6	J-136	0.9		
J-42	1.3	J-90	1.5	J-137	0.9		
J-43	1	J-91	2.8	J-138	0.5		
J-44	1	J-92	0.7	J-139	0.9		
J-45	1.3	J-93	0.6	J-140	0.5		
J-46	1.9	J-94	0.7	J-141	0.5		
J-47	2.8	J-95	0.5	J-142	0.7		

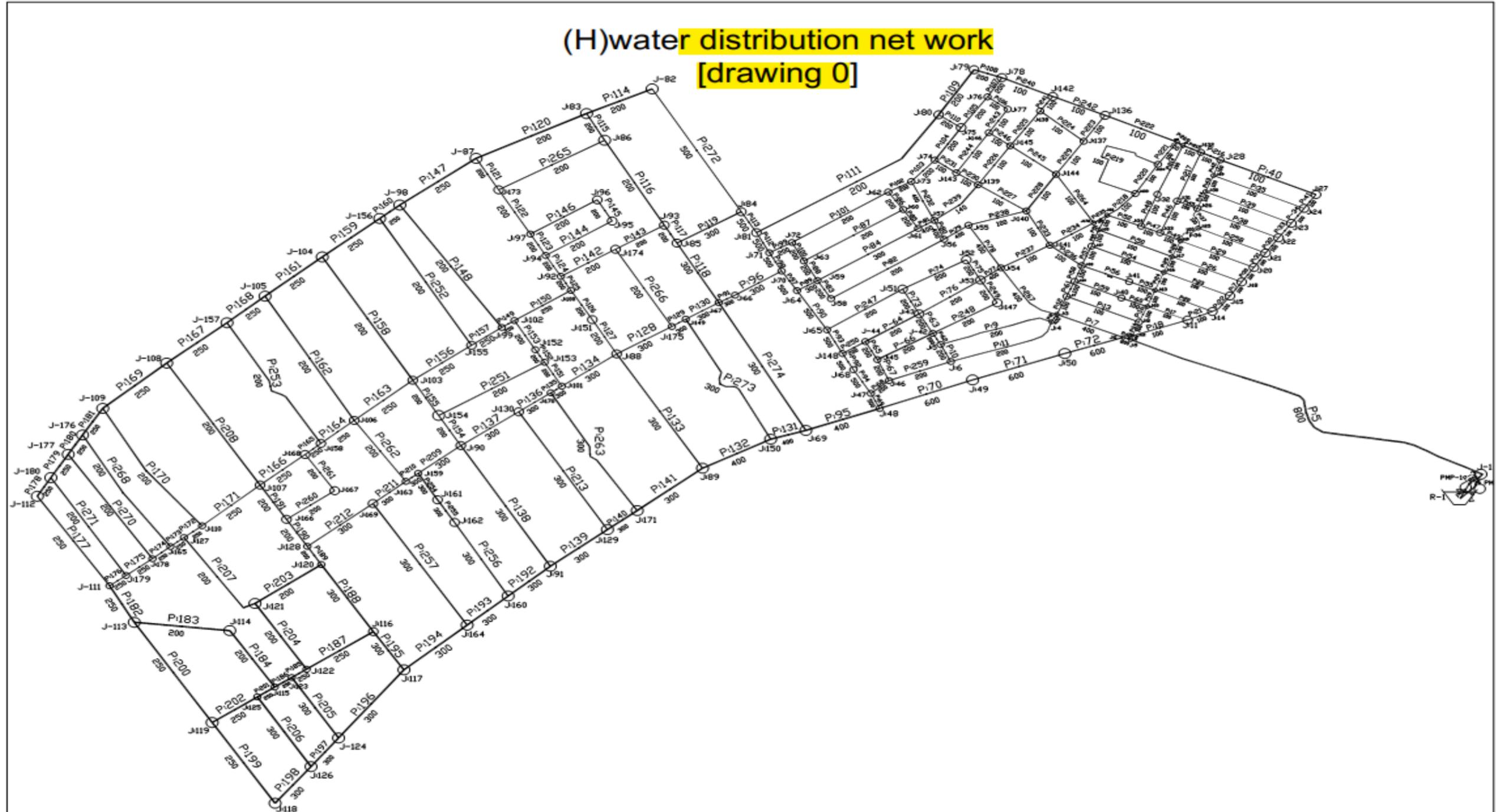
الجدول (2-A): الضغط الناتج عن استخدام الأقطار بحسب الحل الأمثلي (2).

العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط
J-1	2.7	J-48	3.1	J-96	0.7	J-143	0.5
J-2	3.1	J-49	3	J-97	1	J-144	0.7
J-3	2.5	J-50	3.1	J-98	1.1	J-145	1.1
J-4	2.6	J-51	0.9	J-99	1	J-146	0.5
J-5	1.6	J-52	0.5	J-100	1.2	J-147	0.8
J-6	1.9	J-53	1.7	J-101	1.5	J-148	2
J-7	1.2	J-54	1.7	J-102	1	J-149	1.4
J-8	2.8	J-55	1.5	J-103	1.1	J-150	2.9
J-9	3.2	J-56	1.4	J-104	1.1	J-151	1.2
J-10	2.6	J-57	1.3	J-105	1.2	J-152	0.5
J-11	3.1	J-58	0.8	J-106	1.2	J-153	0.5
J-12	3.1	J-60	1.2	J-107	1.5	J-154	0.5
J-13	2.2	J-61	0.5	J-108	1.3	J-155	1
J-14	3	J-62	1.2	J-109	1.5	J-156	1.1
J-15	3.1	J-63	1	J-110	1.6	J-157	1.2
J-16	2	J-64	0.5	J-111	1.9	J-158	1.2
J-17	1.9	J-65	1.3	J-112	1.8	J-159	1.7
J-18	3	J-66	1.6	J-113	2	J-160	2.8
J-19	1.8	J-67	1.2	J-114	0.5	J-161	1.8
J-20	3.1	J-68	1.3	J-115	2.3	J-162	2
J-21	3.1	J-69	2.4	J-116	2.6	J-163	1.8
J-22	3	J-70	3	J-117	2.9	J-164	2.9
J-23	3.1	J-71	1.2	J-118	2.8	J-165	1.8
J-24	3.1	J-72	1.1	J-119	2.2	J-166	1.2
J-25	1.9	J-73	1	J-120	1.8	J-167	0.5
J-26	2	J-74	1.2	J-121	0.5	J-168	1.3
J-27	3	J-75	1	J-122	2.4	J-169	1.7
J-28	2.1	J-76	1.1	J-123	2.3	J-170	1.5
J-29	1.9	J-77	1.1	J-124	2.8	J-171	2.9
J-30	1.9	J-78	0.5	J-125	2.2	J-172	1.2
J-31	1.8	J-79	1.3	J-126	2.8	J-173	1.1
J-32	1.2	J-80	1.2	J-127	1.7	J-174	1
J-33	1.6	J-81	1.1	J-128	1.8	J-175	1.4
J-34	1.5	J-82	1.2	J-129	2.9	J-176	1.6
J-35	0.8	J-83	1	J-130	1.5	J-177	1.7
J-36	1.4	J-84	1	J-131	1.9	J-178	1.8
J-37	0.7	J-85	1.1	J-132	2	J-179	1.9
J-38	0.9	J-86	0.9	J-133	1.1	J-180	1.7
J-39	1.1	J-87	1.2	J-134	1.3		
J-40	1.8	J-88	1.4	J-135	1.9		
J-41	1.5	J-89	2.7	J-136	1.6		
J-42	1.6	J-90	1.6	J-137	0.9		
J-43	1.4	J-91	2.9	J-138	1.3		
J-44	1.4	J-92	1.1	J-139	1.1		
J-45	1.7	J-93	0.9	J-140	0.8		
J-46	2.3	J-94	1	J-141	1.1		
J-47	2.9	J-95	0.7	J-142	1.4		

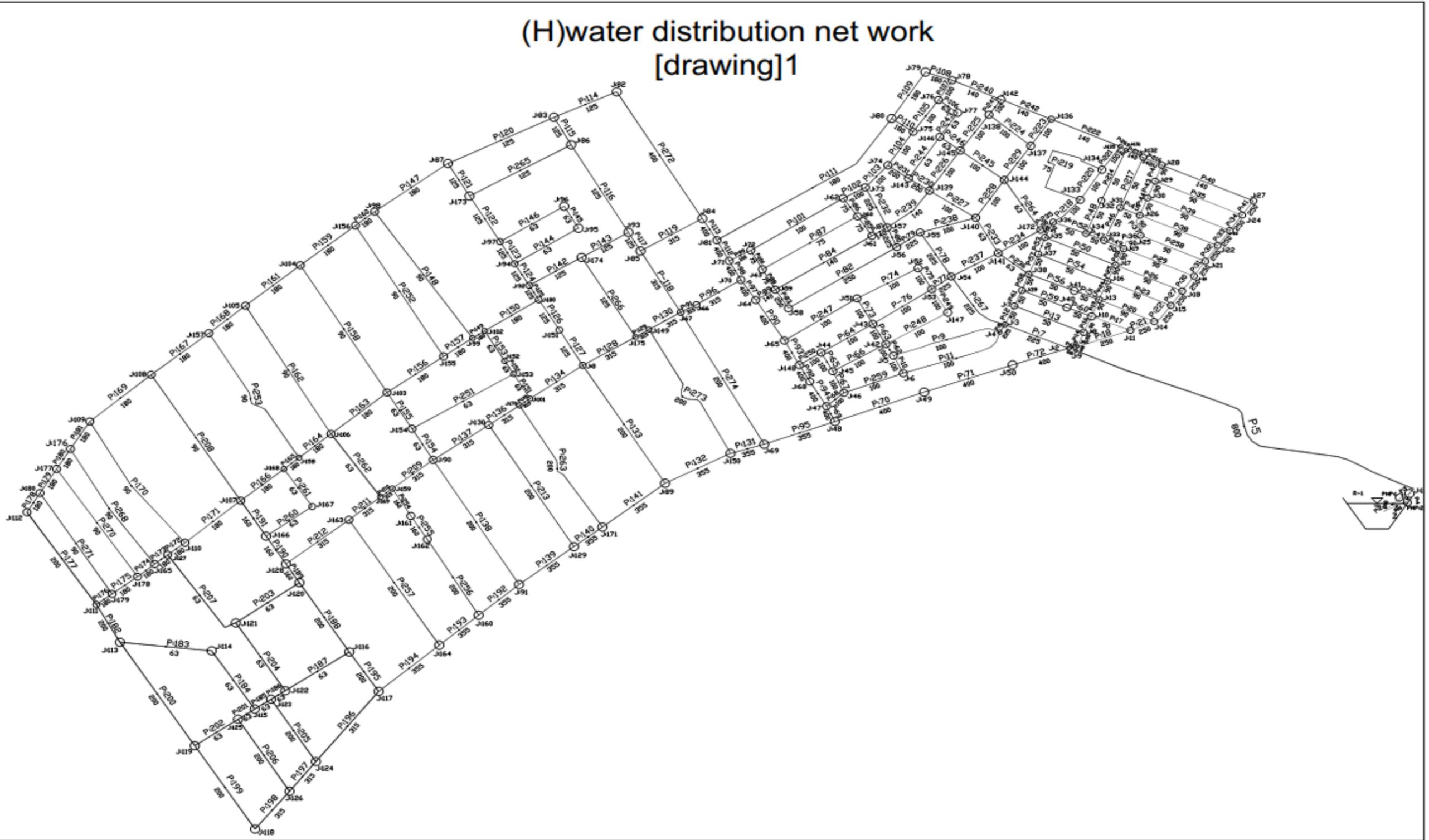
الجدول (3-A): الضغط الناتج عن استخدام الأقطار بحسب الحل الأمثلي (3).

العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط	العقدة	الضغط
J-1	2.7	J-48	3.1	J-96	0.6	J-143	1
J-2	3.1	J-49	3	J-97	1	J-144	0.5
J-3	2.5	J-50	3.1	J-98	1.1	J-145	1.1
J-4	2.6	J-51	0.5	J-99	1.1	J-146	1
J-5	1.3	J-52	0.5	J-100	1.1	J-147	0.5
J-6	1.4	J-53	1.7	J-101	1.5	J-148	2
J-7	0.5	J-54	1.7	J-102	1.1	J-149	1.4
J-8	2.1	J-55	1.5	J-103	1.2	J-150	2.9
J-9	3.2	J-56	1.4	J-104	1.2	J-151	1.2
J-10	2.2	J-57	1.3	J-105	1.3	J-152	0.5
J-11	3.1	J-58	0.8	J-106	1.3	J-153	0.5
J-12	3.1	J-60	1.3	J-107	1.5	J-154	0.5
J-13	1.8	J-61	0.5	J-108	1.5	J-155	1.1
J-14	3.1	J-62	1.3	J-109	1.6	J-156	1.2
J-15	3.2	J-63	1.1	J-110	1.7	J-157	1.4
J-16	1.5	J-64	0.5	J-111	1.9	J-158	1.4
J-17	1.4	J-65	1.4	J-112	1.8	J-159	1.6
J-18	3.1	J-66	1.6	J-113	1.9	J-160	2.8
J-19	1.4	J-67	1.2	J-114	0.5	J-161	1.8
J-20	3.2	J-68	1.3	J-115	2.2	J-162	1.9
J-21	3.1	J-69	2.4	J-116	2.6	J-163	1.8
J-22	3.1	J-70	3	J-117	2.8	J-164	2.9
J-23	3.1	J-71	1.2	J-118	2.7	J-165	1.8
J-24	3.1	J-72	1.1	J-119	2.2	J-166	1
J-25	1.3	J-73	1.1	J-120	1.8	J-167	0.5
J-26	1.4	J-74	1.2	J-121	0.5	J-168	1.4
J-27	3.1	J-75	1.1	J-122	2.3	J-169	1.7
J-28	2.2	J-76	1.1	J-123	2.3	J-170	1.5
J-29	1.4	J-77	1.2	J-124	2.8	J-171	2.9
J-30	1.3	J-78	1	J-125	2.1	J-172	1.3
J-31	0.5	J-79	1.4	J-126	2.8	J-173	1
J-32	0.5	J-80	1.3	J-127	1.8	J-174	0.5
J-33	0.5	J-81	1.1	J-128	1.8	J-175	1.4
J-34	0.5	J-82	1.2	J-129	2.9	J-176	1.7
J-35	0.5	J-83	0.9	J-130	1.5	J-177	1.7
J-36	1.3	J-84	1.1	J-131	2	J-178	1.8
J-37	0.5	J-85	1.1	J-132	2.1	J-179	1.9
J-38	0.5	J-86	0.8	J-133	1.3	J-180	1.7
J-39	0.5	J-87	1.1	J-134	1.6		
J-40	0.5	J-88	1.4	J-135	1.9		
J-41	0.5	J-89	2.7	J-136	1.7		
J-42	1.3	J-90	1.6	J-137	0.5		
J-43	1.1	J-91	2.9	J-138	1.2		
J-44	1.1	J-92	1.1	J-139	1.2		
J-45	1.4	J-93	0.7	J-140	0.5		
J-46	2	J-94	1	J-141	1.3		
J-47	2.9	J-95	0.5	J-142	1.5		

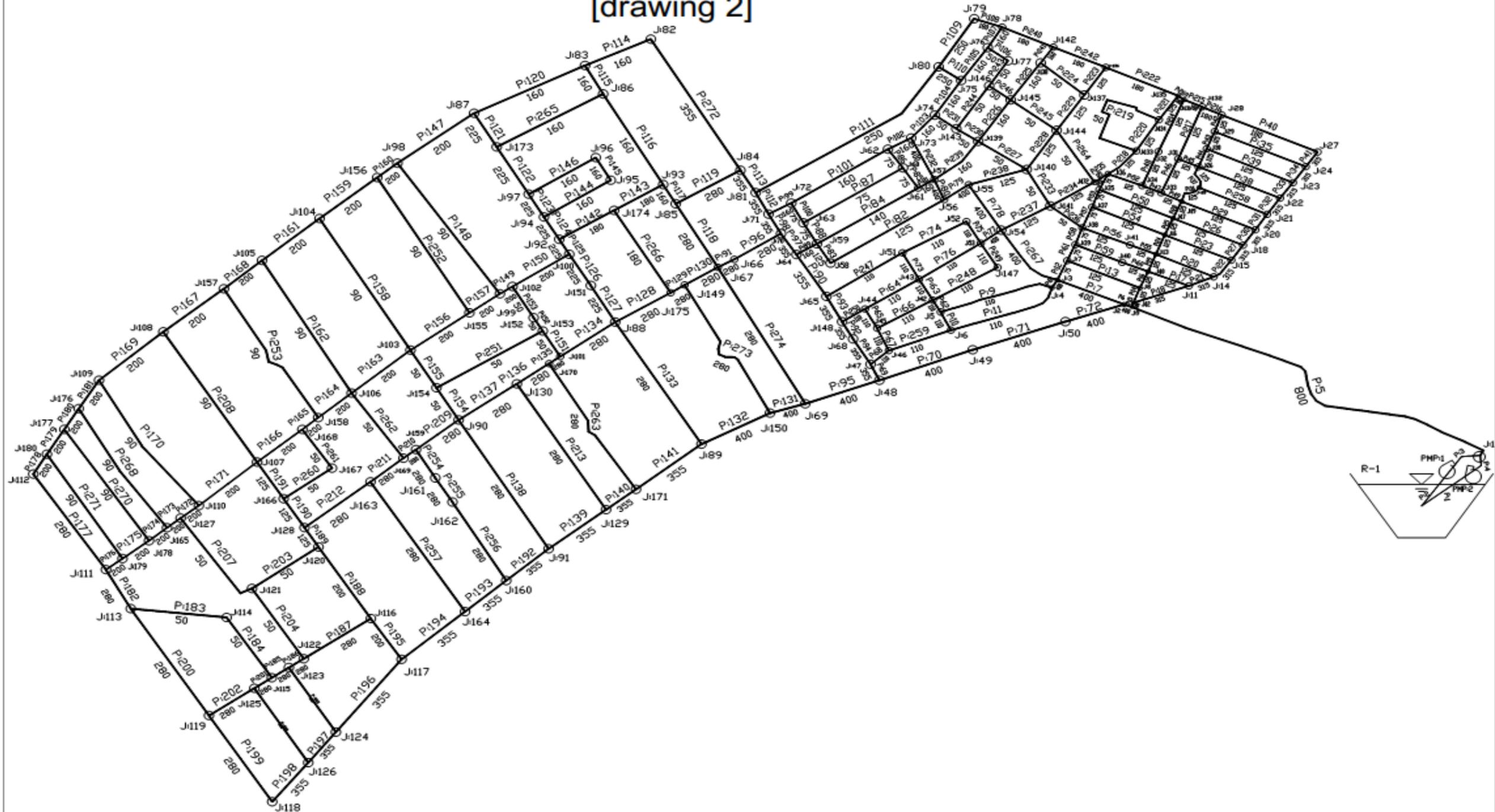
B الملحق



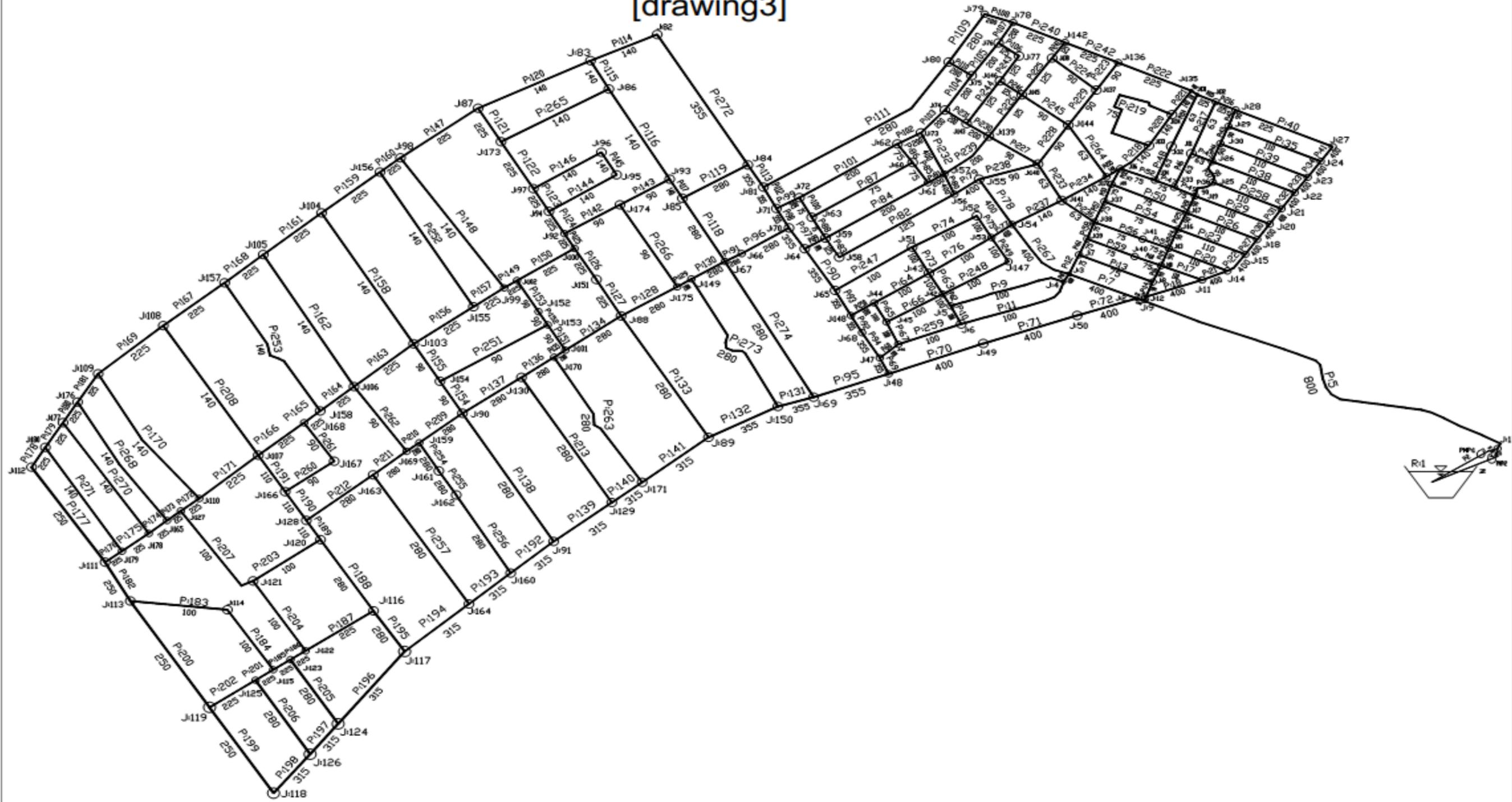
(H)water distribution net work
[drawing]1



(H) water distribution net work
[drawing 2]



(H)water distribution net work
[drawing3]



12-المراجع:

- 1- عبد الجليل، إبراهيم، (2022م)، النمذجة الهيدروليكية لشبكات مياه الشرب باستخدام خوارزميات الحل الأمثل ضمن إطار البرمجيات التكاملية، أطروحة دكتوراه، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، ص 306-37.
- 2- المرجع الأساسي لمؤسسة مياه مدينة حمص "الدراسة المرجعية"، (1984م)، المخطط العام لشبكة مياه الشرب في مدينة حمص، ص 208.
- 3- GOLDBERG, D.E., (1989), **Genetic Algorithms in Search Of Optimization and Machine Learning**, Addison Wesley, New York, USA.
- 4- ANGUS, R, SIMPSON, A.R., (2014), **Competent Genetic Evolutionary Optimization Of Water Distribution** , Journal of Computing in Civil Engineering American Society Of Civil Engineers, Vol. 15,No.2,PP.89-101.
- 5- FONSECA C.M. and FLEMING, P.J, (1993), **Genetic Algorithms For Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization**, in Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, University of Illinois at Urbana- Champaign, Morgan Kauffman Publishers,PP.416-423.
- 6- WU, Z. Y., SIMPSON, AR., Zecchin, A.C (2013), **A Decomposition and Multi- Stage Optimization Approach Applied to optimization of Water Distribution Systems With Multiple Sources**. Water Resour. Res. 49, 380-399. PP.23-58.
- 7- ROSSMAN L (2000), Epanet **Users Manual. Environmental Protection Agency**, Risk Reduction Engineering Laboratory, USA NEE York, P200.
- 8- Wu, Z.Y., (2007), **Optimal Calibration Method For Water Distribution Water Quality Model**, Journal Of Environmental Science, Vol.41,No.7, PP1363- 1378.
- 9- Wu, Z. Y. (2005), **Optimal Design Method For Water Distribution Water Quality Model**, Journal of Environmental Science and Health, Vol.14, No.9, PP.11-40.
- 10- SAVIC, D.A., and Walters, G.A. (1999)- **Genetic Algorithms For Maximmm Benefit Design of Water Distribution Net Works**, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.129,No.4,PP.12-31.
- 11- SIMPSON, A.R., DANDY, G.C., and MURPHY, (1994) – **Genetic Algorithm Compared to Other Techniques For Pipe Optimization** , Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 120, No.4, PP. 438-443.

تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية البيتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية

د.م. سليمان العامودي م. احمد علي

كلية الهندسة المدنية

ملخص البحث

يتضمن هذا البحث دراسة تحليلية باستخدام التحليل الديناميكي وفق السجلات الزمنية لاطارات من البيتون المسلح مختبرة على منصة الاهتزاز، ويعنى بحساب التغيرات الحاصلة في الاستجابة الزلزالية (الانتقالات الطابقيه والتسارعات) نتيجة تأثير سرعات التشوه المختلفة للبيتون ومقارنتها مع القيم التجريبية من أجل ربط مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون مع الشدة الزلزالية.

إن الزيادة الحاصلة في المقاومة المميزة للبيتون، ومعامل مرونته نتيجة زيادة قيمة سرعة التشوه، تؤدي إلى تناقص كل من الانتقالات والتسارعات الطابقيه للمنشأ، وعند دراسة الجمل أحادية ومتعددة درجات الحرية تبين أنه من الممكن استخدام ذات مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي في كليهما وذلك من أجل سرعة تشوه ملائمة لشدة زلزالية معينة، وتم التوصل لمخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للبيتون الملائم للشدات الزلزالية الواقعة ضمن المجال $g(1.035 - 0.065)$ عن طريق المقارنة بين نتائج استجابة المنشأ المخبرية والحاسوبية.

كلمات مفتاحية: السجل الزمني - الاستجابة الزلزالية - سرعات التشوه - مخطط (إجهاد-تشوه) - التحليل اللاخطي - الانتقالات الطابقيه - التسارعات - الشدات الزلزالية

Determining the dynamic (Stress-Strain) Diagram for RC Frame Structures as a Result of Different Seismic Intensities

Dr.Eng. Sulyman Al-Aamoudee

Eng. Ahmad Ali

Faculty of Civil Engineering

ABSTRACT

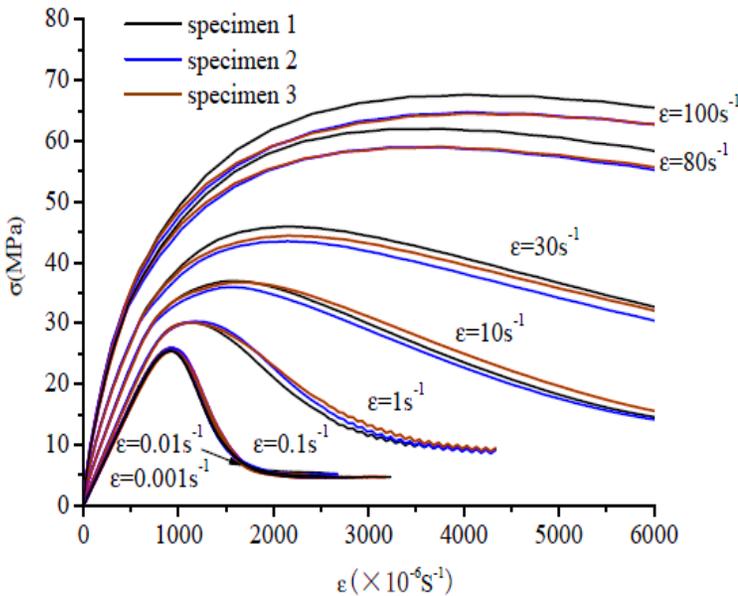
This research includes an analytical study using dynamic analysis according to the time histories of a frame of reinforced concrete tested on a shaking table, and it is concerned with calculating the changes in the seismic response of this frame, i.e. changes in the story displacements and accelerations as a result of the effect of the different strain rates of the concrete, as many studies have proven that the mechanics properties of concrete change with the strain rates of its deformation.

The increase in the characteristic strength of concrete, and its elastic modulus as a result of the increase in the value of the strain rates, leads to a decrease in both the story displacements and accelerations of the structure. When studying single and multiple degrees of freedom structures, it was found that it is possible to use the same diagram (stress-strain) for concrete in both, in order to obtain an appropriate strain rate for a certain seismic intensity. A dynamic (stress-strain) diagram for concrete suitable for seismic intensities within the range (0.065-1.035) g was reached by comparing the laboratory and computer response results of the structure.

Keywords: time record - seismic response - strain rates - (stress - strain) diagram - nonlinear analysis - story displacements – accelerations - seismic intensities

1- مقدمة البحث:

أثبتت دراسات تجريبية عديدة أجريت على عينات بيتونية، أن سلوك البيتون سيتغير تحت تأثير الأحمال الديناميكية، حيث أن طبيعة هذه الأحمال كتغير شدتها مع الزمن، فضلاً عن الاهتزاز القسري الذي تسببه للمنشأ سيؤدي إلى تغير في مقاومته. وبالتالي فإن تغير هذه الأحمال مع الزمن سيجعل البيتون يتشوه بسرعات مختلفة، بمعنى آخر إن مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون سيتغير عند كل سرعة من هذه السرعات. لذلك فإن التصميم الدقيق يستوجب اختيار مخطط (الإجهاد-التشوه) الذي يحاكي السلوك الفعلي للبيتون في كل شدة زلزالية وهو ما يسمى مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي. تبين المخططات بالشكل (1) النتائج التجريبية لإحدى الدراسات المرجعية [7]، و هي توضح التغير الحاصل في مخطط (الإجهاد-التشوه) من أجل سرعات تشوه مختلفة للبيتون تحت تأثير الضغط الديناميكي، ونلاحظ من هذه المخططات أن



الشكل (1) - مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون الخاضع للضغط المحوري الديناميكي من أجل سرعات تشوه مختلفة [7]

التغير سيضم كل من معامل مرونة البيتون ومقاومته والتشوه الأقصى (التشوه عند الانهيار) والتشوه النهائي، ويمكن القول أنه بزيادة سرعة التشوه تزداد مقاومة البيتون على الضغط بقيمة تصل حتى 30% بالإضافة لزيادة مطاوعته.

2- هدف البحث:

الربط بين مخطط (الإجهاد-التشوه) الناتج عن تأثير سرعات التشوه المختلفة للبيتون مع الشدات الزلزالية، وذلك عبر مقارنة استجابة النماذج التجريبية الواردة في الدراسات المرجعية مع استجابة النماذج التحليلية المدروسة باستخدام البرنامج.

2-1- الدراسات المرجعية:

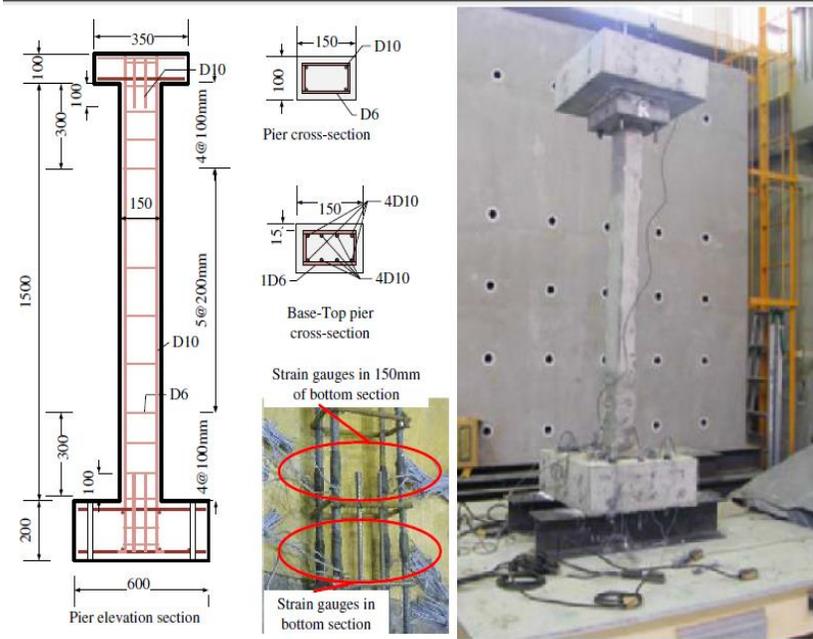
نشير إلى أنه تم اعتماد الدراسات الحالية بسبب توفر السجلات الزمنية للزلازل التي درست ضمن هذه الأبحاث بالإضافة لتوفر سجل الانتقالات أو التسارعات الناتجة عن التجربة وتم استخدامها بما يفيد ويشترك مع هدف البحث.

2-1-1- أطروحة الدكتوراه للباحثة ريم صحنوي والباحث Akinori Nakajima في جامعة Utsunomiya في اليابان عام 2016، [5] الدراسة بعنوان دراسة تجريبية لتحديد الخواص الديناميكية لمنشآت الجسور المعرضة لأحمال اهتزازية.

يقوم البحث بدراسة ركيزة من البيتون المسلح أبعادها وتسليحها كما هو موضح في الشكل (2)، وتم وضع كتلة بيتونية فوق السقوط للاستعاضة عن وزن الجسر قيمتها الكلية (1.728kN).

دُرست الركيزة على طاولة الاهتزاز من أجل هزة لها السجل الزمني ذاته للزلازل Kushihiro-Japan مع شدة أعظمية للزلازل قدرها 0.7g ومن أجل عدة شدات زلزالية تراوحت قيمتها ضمن المجال (10% إلى 150%).

يمثل النموذج المستخدم في هذه الدراسة قاعدة أساسية للبحث حيث تعتبر استجابة الكتلة المركزة في أعلى الركيزة دراسة لاستجابة نقطة مادية، و من ثم يتم العمل على الحالات الأعد للجمال التي تحوي على العديد من النقاط المادية.

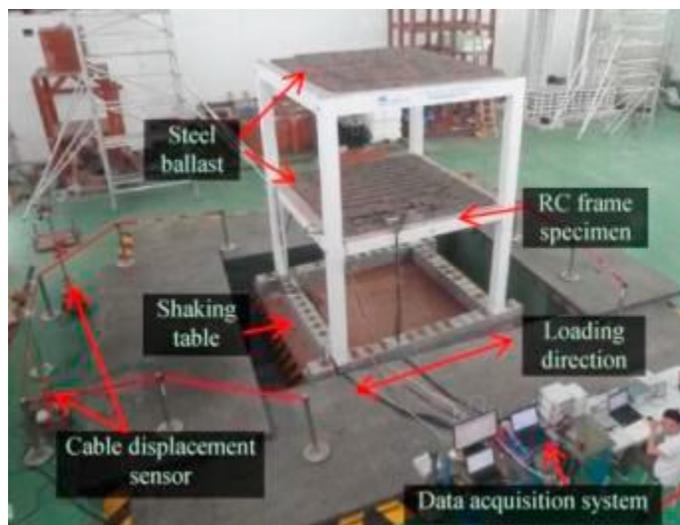


الشكل(2)- أبعاد وتسليح الركيزة الجسرية المدروسة [5]

2-1-2- دراسة للباحثين Shuang Hou و Haibin Zhang و Xin Han و Jinping Ou في جامعة (Canton) Guangzhou في الصين عام 2017، [6] الدراسة بعنوان مراقبة الأضرار الناجمة في الإطار البيتون المسلح المختبر على طاولة اهتزاز ومقارنتها مع نتائج نموذج محلل بطريقة العناصر المحدودة حيث تمت دراسة اطار فراغي من البيتون المسلح مكون من طابقين، ومعرض لهزة صناعية بالاتجاه الأفقي عبر تجربة طاولة الاهتزاز، وتم مراقبة التشوهات والتسارعات والانتقالات من أجل هزة لها السجل الزمني ذاته للزلزال Loma Prieta earthquake مع شدة أعظمية قدرها 0.8g

تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية البيتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية

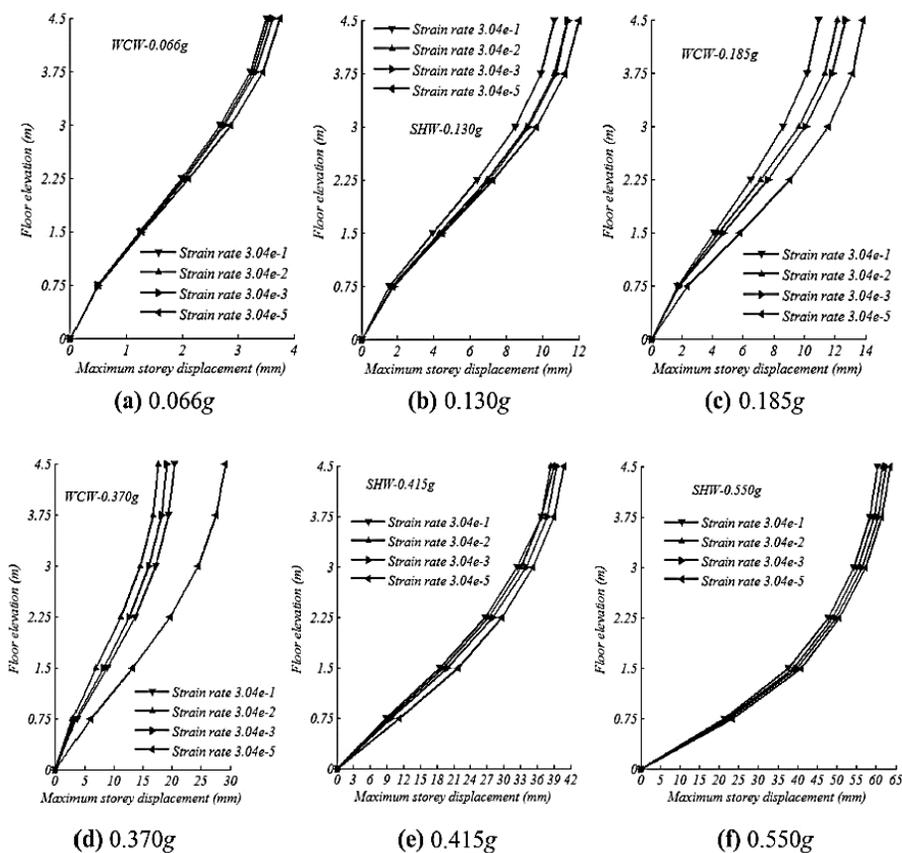
تهدف الدراسة إلى تطوير نموذج العناصر المحدودة المستخدم في نمذجة منشآت البيتون المسلح وتقييم فاعليته بالاعتماد على النتائج المخبرية. إن الشدة 0.8g للزلازل المدروس في هذا البحث تقع ضمن مجال الشدات المدروسة في الدراسة الأولى [5] وهذا سيساعد في التحقق من النتائج التي سنحصل عليها في دراسة النقطة المادية.



الشكل(3)- صورة توضيحية للاطار المختبر في التجربة على منصة الاهتزاز [6]
2-1-3- دراسة للباحثين Jianzhuang Xiao و Changqing Wang و Zhenping Sun في جامعة Shanghai في الصين عام 2016، [4] الدراسة بعنوان التحليل الزلزالي لاطار من البيتون المشكل من الحصويات المعاد تدويرها تحت تأثير سرعات التشوه، حيث تمت دراسة اطار فراغي من البيتون المسلح مكون من ستة طوابق ومصمم وفق معايير الكود الصيني للتصميم GB 50011 مخبرياً على منصة اهتزاز وتحليلياً وفق نموذجين (النموذج الأول بدون إدخال أثر سرعات التشوه والنموذج الثاني مع إدخال أثرها بعين الاعتبار)، وذلك باعتماد ثلاثة سجلات زمنية هي (Wenchuan earthquake، Shanghai artificial earthquake، El Centro earthquake)، حيث تمت

مراقبة كل من الانتقالات وقوى القص الطابقية من أجل الشدات الزلزالية ضمن المجال $(0.066g - 0.55g)$.

يوضح الشكل (4) قيمة الانتقال الطابقية الأعظمي نتيجة تأثير سرعات التشوه المحصورة ضمن المجال $(3.04 * 10^{-1} - 3.04 * 10^{-5})/s$ ، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال مقدراً بالـ (mm) والمحور الشاقولي يمثل الارتفاع الطابقية مقدراً بالـ (m) ومن الملاحظ انخفاض قيمة الانتقال الطابقية بازدياد قيمة سرعة تشوه البيتون.



الشكل (4)- تغيير الانتقال الطابقية الأعظمي نتيجة تأثير سرعات التشوه للبيتون من أجل الشدات الزلزالية المختلفة [4]

وقد أسفر البحث عن النتائج التالية:

- (1) بالنسبة للتغير الحاصل في تردد الاهتزاز الطبيعي كلا النموذجين أعطى مقارنة جيدة مع النتائج المخبرية والنموذج الثاني أعطى تقارب أفضل بالنتائج.
- (2) بالنسبة للاستجابة الزلزالية كلا النموذجين أعطى مقارنة جيدة مع النتائج المخبرية والنموذج الثاني أعطى تقارب أفضل بالنتائج، حيث أن إدخال أثر سرعات التشوه على المادة أعطى نموذج تحليلي يحاكي السلوك الزلزالي للمنشأ الذي عادة يتم الحصول عليه بالمخبر.
- (3) الانتقالات الطابقية للمنشآت الإطارية نتيجة الأحمال الديناميكية تحت تأثير سرعات التشوه المنخفضة أكبر من الانتقالات الناتجة عن تأثير سرعات التشوه الكبيرة والتي من أجلها تزداد قيمة كل من اجهاد خضوع حديد التسليح والتشوه الموافق له.
- (4) تزداد قيمة قوة القص القاعدي بشكل طفيف مع زيادة سرعة التشوه ضمن مرحلة الخضوع وحتى الاجهاد الأقصى، في حين أن قيمتها تتناقص بشكل طفيف مع زيادة سرعة التشوه ضمن مرحلة التشقق (التلدن).



الشكل(5)- صورة توضيحية للاطار المختبر في التجربة على منصة الاهتزاز [4]

منهجية البحث:

تم الاعتماد بشكلٍ أساسي على نتائج النمذجة الحاسوبية في حساب التغير الحاصل في كل من الانتقالات والتسارعات الطابقية وذلك باستخدام البرنامج الهندسي Etabs حيث تم مقارنة نتائج النماذج التجريبية الواردة في الدراسات المرجعية المذكورة مع نتائج النماذج التحليلية المدروسة باستخدام البرنامج.

وبالنسبة لمواصفات البيتون والفولاذ فقد تم تعريف مخطط (اجهاد-تشوه) ومعامل المرونة، وفق سرعات التشوه المختلفة والمأخوذة وفق العلاقات الواردة في الدراسة [8]، وقورنت قيم الانتقالات والتسارعات الطابقية لكل نموذج (أي عند كل سرعة تشوه)، مع النتائج التجريبية. حيث اعتمدنا بالمقارنة على معيارين، المعيار الأول: وهو تقارب قيم الانزياحات الأعظمية، والثاني: تقارب الشكل العام للسجل الزمني للانتقال أو التسارع في حال توفره.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- المواصفات الميكانيكية للنموذج المدروس:

- النموذج (1): وهو موافق للدراسة المرجعية [5]

مواصفات البيتون والفولاذ المسخدم:

$$f'c = 31.8 \text{ MPa} - Ec = 29100 \text{ MPa}$$
$$fy = 401 \text{ MPa} - Es = 2.1 * 10^5 \text{ MPa}$$

- النموذج (2): وهو موافق للدراسة المرجعية [6]

يوضح الجدولين (1) (2) مواصفات المواد المستخدمة

الجدول (1)- مواصفات البيتون المستخدم في التجربة

الموقع	المقاومة المميزة $f'_c (MPa)$	معامل المرونة $E_c (MPa)$	التشوه عند الذروة $\epsilon_c (\mu\epsilon)$
الأساسات	76.0	34500	-
الطابق الأول	28.9	30200	1589
الطابق الثاني	25.3	31100	1529

الجدول (2)- مواصفات فولاذ التسليح المستخدم في التجربة

الموقع	حد الخضوع $f_y (MPa)$	حد الانقطاع $f_u (MPa)$	معامل المرونة $E_s (MPa)$	التشوه عند الذروة $\epsilon_s (\mu\epsilon)$
فولاذ التسليح الطولي، #4	436.1	590.7	202200	2417.5
فولاذ التسليح العرضي، #2	298.3	502.3	-	-

- النموذج (3): وهو موافق للدراسة المرجعية [4]

يوضح الجدولين (3) (4) مواصفات المواد المستخدمة

الجدول (3) - مواصفات البيتون المستخدم في التجربة

معامل المرونة $E_c(MPa)$	المقاومة المميزة $f'_c(MPa)$	الطابق
24380	35.31	الأول
26180	42.36	الثاني
24250	35.96	الثالث
23240	31.86	الرابع
21130	27.89	الخامس
23160	35.82	السادس

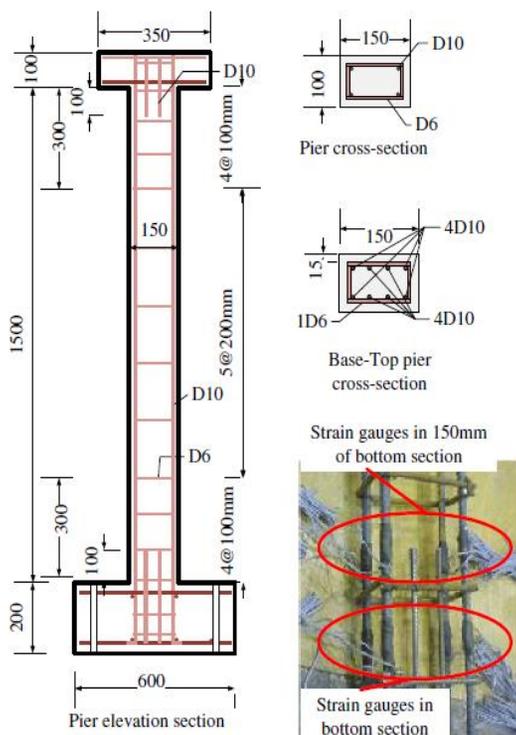
الجدول (4) - مواصفات فولاذ التسليح المستخدم في التجربة

معامل المرونة $E_s(MPa)$	حد الانقطاع $f_u(MPa)$	حد الخضوع $f_y(MPa)$	القطر
182010	377.81	274.11	8#
148000	365.05	247	10#
134010	368.74	261.84	14#

3-2 - وصف عام للنموذج المدروس (المواصفات البعدية والتسليح):

- النموذج (1): ارتفاع الركيزة (1.5m) مع سقوط في أعلى العمود ارتفاعه (0.1m) أبعاد الركيزة (0.1x0.15m)

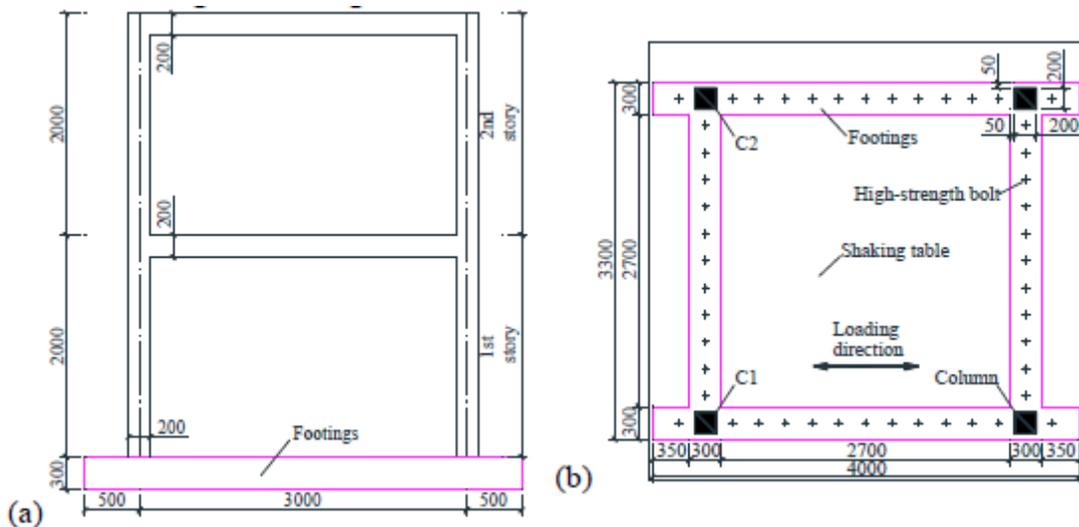
تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية الببتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية



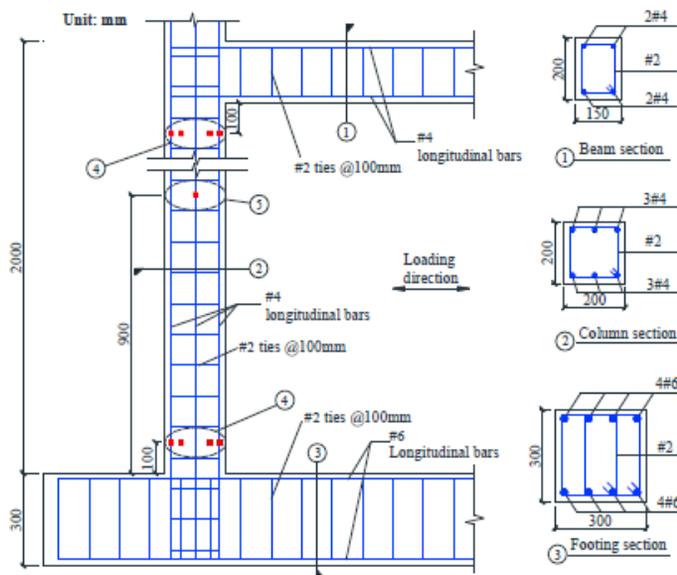
الشكل (6) - أبعاد وتسليح الركيزة الجسرية المدروسة [5]

- النموذج (2): الإطار مكون من طابقين الارتفاع الطابقي (2m)، تتصل جوائزه مع الأعمدة بعقد صلبة، وهو موثوق عند الأساسات ارتفاع الأساس (0.3m)، وعليه فإن الارتفاع الكلي للنموذج (4.3m)، الإطار متصل بطاولة اهتزاز أبعادها (4m x 4m)، تم وضع أوزان مينة على كلا الطابقين قيمتها الكلية (5.7ton).
- الجدول (5) - المواصفات البعدية والتسليح الطولي والعرضي لعناصر الإطار

التسليح العرضي	التسليح الطولي	أبعاد المقطع العرضي (mm)	العنصر
1CØ2/100mm	التسليح العلوي 2T4	150x200	الجوائز
	التسليح السفلي 2T4		
1CØ2/100mm	6T4	200x200	الأعمدة
2CØ2/100mm	التسليح العلوي 4T6	300x300	الأساسات
	التسليح السفلي 4T6		



الشكل (7) - المواصفات البعدية للإطار (a) مقطع شاقولي للإطار (b) مسقط أفقي لقاعدة الإطار [6]



الشكل (8) - مقطع طولي ومقاطع عرضية في عناصر الإطار توضح التسليح [6]

تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية الببتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية

- النموذج (3):

أبعاد العناصر الانشائية:

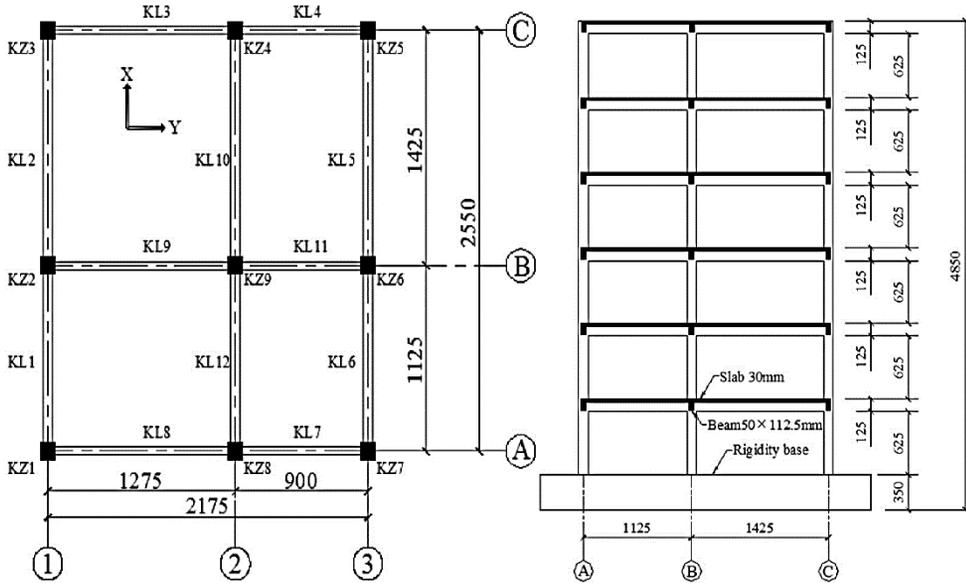
سماكة البلاطة 30mm

أبعاد المقطع العرضي للجوائز بالاتجاه X (62.5×125) mm، وبالاتجاه Y (50×125) mm

أبعاد المقطع العرضي للأعمدة (100×100) mm

أبعاد المقطع العرضي للأساسات وهي حصيرة جانزية (100×350) mm

الكتل الاضافية الموضوعه بالاضافة للأحمال الحية المطبقة على الاطار قيمتها (17ton)



الشكل (9) - الأبعاد الهندسية للاطار المدروس [4]

3-3- الطريقة النظرية للبحث:

3-3-1- التحليل الزلزالي للمنشأ: للتحليل الزلزالي عدة طرق: [1 ، 2]

تم اعتماد التحليل الديناميكي باستعمال التاريخ الزمني (السجلات الزمنية): وله عدة أنواع:

- التحليل الخطي النمطي
- التحليل اللاخطي النمطي أو ما يعرف بالتحليل اللاخطي السريع Fast Nonlinear Analysis ويرمز له FNA يمتاز هذا التحليل بسرعته في ايجاد الانتقالات اللاخطية الناتجة، ولكنه غير قادر على تحديد مستوى التلدن في المفاصل اللدنة ومستويات الأداء للجملة. كما أن هذا التحليل يبدأ من الصفر ولا يعتمد على أية نتائج لخطية سابقة. وتعتبر هذه الطريقة تحليل زمني لكنه نمطي يعتمد في حل المعادلات على الأنماط وليس على التكامل المباشر حيث يقوم بعزل العناصر غير الخطية عن مصفوفة المرونة ضمن متجه خاص يضاف كحد من حدود معادلة الحركة، وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقت الكبير في التحليل.
- التحليل الخطي بطريقة التكامل المباشر
- التحليل اللاخطي بطريقة التكامل المباشر (Nonlinear Direct Integration): وهي الطريقة التي يتم فيها دمج معادلات توازن الحركة بشكل كامل حين تعرض المنشأ للحمل الديناميكي، حيث يتضمن هذا التحليل تحديد خصائص المنشأ الفيزيائية والديناميكية وسلوكه في سلسلة من الخطوات الزمنية التي تكون صغيرة جداً بالنسبة إلى مدة التحميل، بمعنى آخر يتم تنفيذ التكامل في كل خطوة زمنية للسجل الزمني المدخل.

وتجدر الإشارة إلى أن متطلبات التصميم بالطرق الحديثة أصبحت تهتم بدراسة السلوك اللدن للعناصر الإنشائية بعد حد الخضوع وذلك بهدف الاستثمار الأمثل لقدرة هذه العناصر في مقاومة أشكال التحميل المختلفة التي يمكن أن تتعرض لها المنشأة الهندسية. مما دعا إلى تطوير طرق التحليل الإنشائي، وبشكلٍ خاص طريقة العناصر المنتهية، باتجاه التحليل اللدن أو اللاخطي حيث يتميز هذا النوع من التحليل بضرورة إسناد المفاصل اللدنة المتوقع حدوثها بأماكن محددة من الجوائز والأعمدة، وعلى ذلك فإن حل العناصر سيصبح أكثر تعقيداً وهذا يترتب عليه وقت إضافي لعملية التحليل.

3-3-2- إيجاد مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون من أجل سرعات تشوه مختلفة: [3]

اكتفت الدراسات المرجعية والكودات العالمية بإدخال أثر سرعات التشوه عن طريق معامل التضخيم الديناميكي للاجهاد ومعامل المرونة بدون إدخال تأثيرها على علاقة مخطط $(\sigma - \epsilon)$ مباشرة، وضمن الدراسة الحالية تم الاعتماد على علاقة كود *CEB* وذلك كونها أحدث العلاقات الموجودة حالياً فضلاً على أنها توصف فرعي مخطط (اجهاد-تشوه) الصاعد والهابط بعلاقة واحدة مما يتيح سهولة أكبر في الاستخدام، بالإضافة إلى أن علاقات هذا الكود أعطت قيماً وسطية لمعامل التضخيم الديناميكي مقارنة مع بقية العلاقات الواردة في الدراسات.

وفق توصيات اللجنة الدولية الأوربية للبيتون *CEB 2010* تعطى علاقة (اجهاد-تشوه) للبيتون بالشكل:

$$f_c = \left(\frac{k \cdot \gamma - \gamma^2}{1 + (k-2) \cdot \gamma} \right) \cdot f'_c \dots (1)$$

$$\gamma = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}; k = \frac{E_{ci}}{E_{c1}} \dots (2)$$

حيث:

ε_{c1} التشوه عند الذروة

E_{c1} ميل القاطع عند الذروة

ε_c التشوه الحاصل في البيتون و تتراوح قيمته بين 0 و $\varepsilon_{c,lim}$ (التشوه عند الانهيار)

$$E_{ci} = E_{c0} \cdot \alpha_E \cdot \sqrt[3]{\frac{f'_c}{10}} \text{ (MPa)}$$

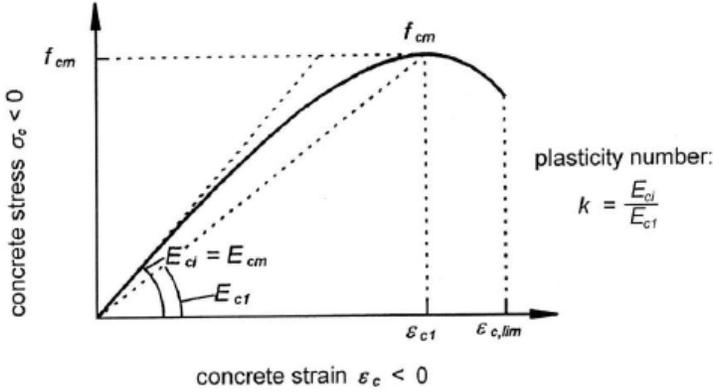
بالعلاقة: يعطى بالعلاقة:

$$E_{c0} \cdot \alpha_E = 25800 \text{ Mpa}$$

حيث تقدر

ويمكن أخذ المعاملات السابقة من الجدول (5) الوارد في CEB 2010 تبعاً لصنف

البيتون:



الشكل (10)- مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB 2010 [3]

الجدول (6) - معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون حسب أصناف البيتون المختلفة وفق توصيات CEB 2010 [3]

Concrete grade	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
E_{ci} [GPa]	27.1	28.8	30.3	32.0	33.6	35.0	36.3	37.5	38.6
E_{c1} [GPa]	11.1	12.2	13.3	14.9	16.5	18.2	20.0	21.6	23.2
ε_{c1} [‰]	-1.9	-2.0	-2.1	-2.2	-2.3	-2.3	-2.4	-2.5	-2.6
$\varepsilon_{c,imp}$ [‰]	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.4
k	2.44	2.36	2.28	2.15	2.04	1.92	1.82	1.74	1.66

Concrete grade	C55	C60	C70	C80	C90	C100	C110	C120
E_{ci} [GPa]	39.7	40.7	42.6	44.4	46.0	47.5	48.9	50.3
E_{c1} [GPa]	24.7	26.2	28.9	31.4	33.8	36.0	39.3	42.7
ε_{c1} [‰]	-2.6	-2.7	-2.7	-2.8	-2.9	-3.0	-3.0	-3.0
$\varepsilon_{c,imp}$ [‰]	-3.4	-3.3	-3.2	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0
k	1.61	1.55	1.47	1.41	1.36	1.32	1.24	1.18

وحسب CEB 2010 تبقى العلاقة (1) قابلة للتطبيق من أجل ايجاد مخطط (اجهاد-تشوه) للبيتون نتيجة الاهتزاز المتولد بفعل الأحمال الزلزالية أو الصدم بشرط أخذ قيمة التشوه و معامل المرونة عند الذروة وفق العلاقات التالية:

$$\frac{\varepsilon_{c1,imp}}{\varepsilon_{c1}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{c0}}\right)^{0.02} \dots (3)$$

$$\frac{E_{ci,imp}}{E_{ci}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{c0}}\right)^{0.026} \dots (4)$$

حيث: - $\varepsilon_{c1,imp}$ التشوه الديناميكي عند الذروة

- $E_{ci,imp}$ معامل المرونة الديناميكي للبيتون (MPa)

- $\dot{\epsilon}_c$ سرعة تشوه البيتون (s^{-1})

- $\dot{\epsilon}_{co}$ سرعة التشوه الستاتيكية للبيتون وتساوي $30 * 10^{-6} s^{-1}$

وليجاد المقاومة الأعظمية الديناميكية للبيتون $f_{c,imp}$ بالنسبة لمقاومته المميزة الستاتيكية f'_c نستخدم علاقة معامل التضخيم الديناميكي:

$$\frac{f_{c,imp}}{f'_c} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{co}}\right)^{0.014} : \dot{\epsilon} \leq 30 s^{-1} \\ 0.012\left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{co}}\right)^{1/3} : \dot{\epsilon} > 30 s^{-1} \end{array} \right\} \dots (5)$$

3-3-3- ايجاد مخطط ($\sigma - \epsilon$) للفولاذ من أجل سرعات تشوه مختلفة: [3]

وفق توصيات اللجنة الدولية الأوربية للبيتون CEB 2010 تعطى المواصفات الديناميكية لفولاذ التسليح بالعلاقات:

$$\frac{f_{yd}}{f_y} = 1 + \left(\frac{6}{f_y}\right) \cdot \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_s}{\dot{\epsilon}_{so}}\right) \dots (6)$$

$$\frac{f_{ud}}{f_u} = 1 + \left(\frac{7}{f_u}\right) \cdot \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_s}{\dot{\epsilon}_{so}}\right) \dots (7)$$

- f_u, f_y اجهاد الخضوع واجهاد الانقطاع للفولاذ (MPa)

- f_{ud}, f_{yd} اجهاد الخضوع واجهاد الانقطاع الديناميكي للفولاذ (MPa)

- $\dot{\epsilon}_s$ سرعة تشوه الفولاذ وتؤخذ ذاتها للبيتون (s^{-1})

- $\dot{\epsilon}_{so}$ سرعة التشوه الستاتيكية للفولاذ وتساوي $5 * 10^{-5} s^{-1}$

تطبق المعادلتين (6) و (7) من أجل فولاذ تسليح إجهاد خضوعه بحدود

$$f_u = (400 - 420) MPa \text{ ومن أجل سرعات تشوه لا تزيد عن } \dot{\epsilon}_s \leq 10 s^{-1}$$

وتم اللجوء إلى استخدام العلاقتين (8) و(9) من الدراسة المرجعية [9] في حال اختل أحد الشرطين السابقين:

$$\frac{f_{yd}}{f_y} = 1 + \left(\frac{D_1}{f_y}\right) \cdot \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_s}{\dot{\epsilon}_{s0}}\right) \dots (8)$$

$$\frac{f_{ud}}{f_u} = 1 + \left(\frac{D_2}{f_u}\right) \cdot \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}_s}{\dot{\epsilon}_{s0}}\right) \dots (9)$$

- $\dot{\epsilon}_{s0}$ سرعة التشوه الستاتيكية للفولاذ وتؤخذ في هذه العلاقة $3 * 10^{-4} s^{-1}$
- الثابتين D_1 و D_2 يتعلقان بقيمة إجهاد الخضوع لفولاذ تسليح وتؤخذ وفق الجدول الآتي:

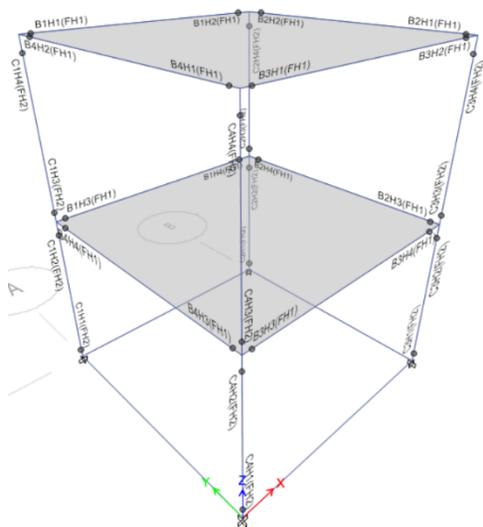
الجدول (7) - الثابت D_1 و D_2

$f_y (MPa)$	235	335	400	500
$D_1 (MPa)$	10.05	8.73	8.72	9.72
$D_2 (MPa)$	6.38	6.54	6.54	7.78

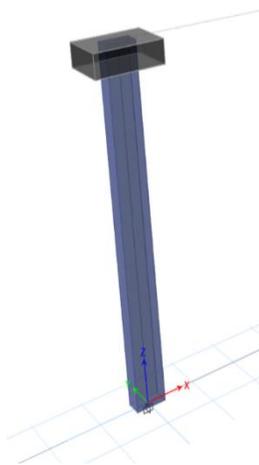
3-4-4- المواد والطرق التجريبية للبحث:

3-4-4-1- النمذجة الحاسوبية للنماذج على برنامج Etabs:

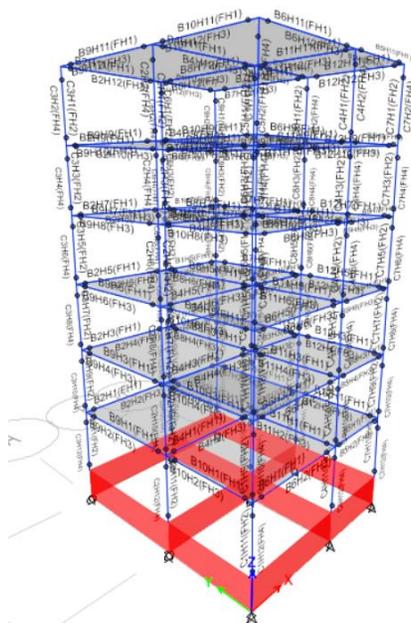
تم تعريف المواد المستخدمة بالإضافة لعناصر الإطار كما هو وارد في جداول المواصفات المذكورة سابقاً، كما تم تعريف المفاصل اللدنة Nonlinear Hinges من النوع (Moment M3) وعلى بعد 5% من بداية ونهاية كل جوائز حيث تم اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول الجوائز، ومن النوع (Fiber P-M2-M3) نتيجة تشكل قوة محورية بالإضافة لعزمي انعطاف تقع هذه المفاصل على بعد 5% من بداية ونهاية كل عمود (عدا النموذج 1 فقد تم تعريف المفصل على بعد 5% من نهايته السفلية، وتم اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول العمود، توضح الأشكال التالية النماذج المدروسة باستخدام البرنامج:



النموذج (2)



النموذج (1)



الشكل (12)- النماذج (1) و (2) و (3) المدروسة باستخدام البرنامج

3-4-2- مراحل التحليل الديناميكي:

تم تعريف تابع السجل الزمني للهزة الأرضية وفق الآتي:

النموذج (1): السجل الزمني للزلزال Koshiro عام 1994

النموذج (2): السجل الزمني للزلزال Loma Prieta عام 1989

النموذج (3): السجل الزمني للزلزال El Centro عام 1940

وقد تم إدخال هذه السجلات الزمنية بالاستعانة بالموقع العالمي Peer Earthquake Database.

بالنسبة لمراحل الحل فهي على مرحلتين:

المرحلة الأولى: وهي إنشاء نموذج بدون إدخال تأثير سرعات التشوه على مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون

المرحلة الثانية: وهي إنشاء نماذج مع إدخال تأثير سرعات التشوه على مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون وحساب التغيرات الحاصلة في الانزياحات لمقارنتها مع نتائج الدراسة المرجعية (النموذج المختبر على منصة الاهتزاز) حيث تم حساب قيم المخطط عند سرعات التشوه الواقعة في المجال $\dot{\epsilon} = (0.001 - 100) s^{-1}$

وبالنسبة لمعامل التضخيم Scale Factor تؤخذ قيمته وفق الآتي:

$$S.F = \frac{A_x}{A_{max}} \cdot g \dots (10)$$

حيث A_x التسارع الهدف وهو يمثل الشدة الزلزالية المطلوب الوصول لها

A_{max} التسارع الأعظمي للهزة يؤخذ من السجل الزمني المدخل

$$g = 9810 \text{ mm/s}^2 \text{ تسارع الجاذبية الأرضية}$$

4- نتائج التحليل:

4-1- نتائج دراسة النموذج (1):

إيجاد خصائص البيتون نتيجة تأثير سرعات التشوه:

باستخدام العلاقات الواردة في الفقرة السابقة تصبح خصائص المواد كما هو

وارد في الجدول (8)

الجدول (8) - خصائص البيتون نتيجة تأثير سرعات التشوه

ε' 1/s	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
f'_{cd} MPa	29.26	30.21	31.20	32.23	33.28	39.63	49.93
E_{cd} MPa	31877.76	33844.48	35932.53	38149.41	40503.06	42233.89	43001.92
ε_{c1}	0.00247	0.00258	0.00271	0.00283	0.00297	0.00306	0.00311
$\varepsilon_{c,lim}$	0.00375	0.00393	0.00412	0.00431	0.00451	0.00466	0.00473

ويوضح الجدول (9) التسارعات الحاصلة تحت تأثير سرعات التشوه من أجل الشدات الواردة في الدراسة:

الجدول (9) - التسارعات الأعظمية الحاصلة في قمة الركيزة الجسرية مقدرةً بالـ

mm/s^2 تحت تأثير سرعات التشوه المختلفة

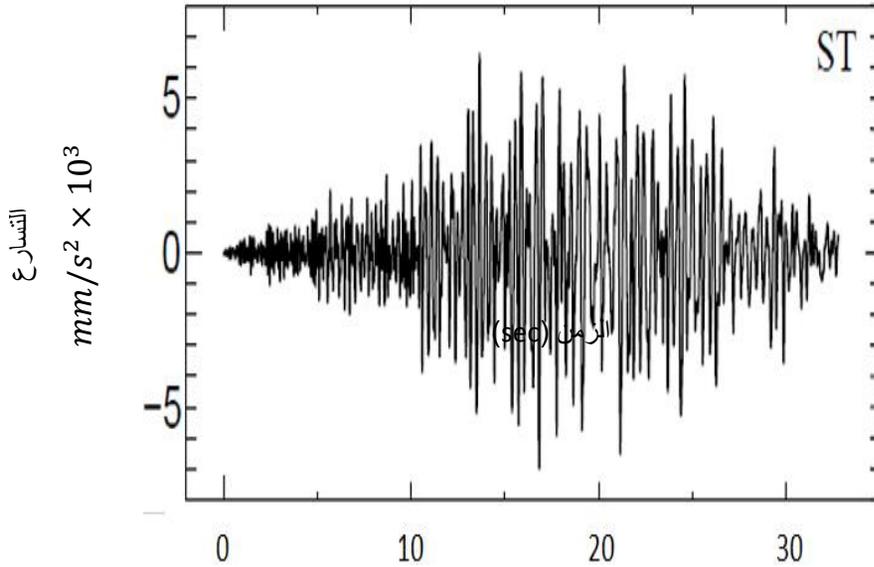
الشدّة الزلزالية (g)		التسارع التجريبي mm/s^2	سرعة التشوه (1/s)		
			static	0.001	0.01
10%	0.065	440	672.70	487.11	438.86
		-490	-658.33	-491.13	-426.1
50%	0.32	2600	6356.71	4704.27	3833.71
		-2500	-5872.53	-4615.48	-3722.04
100%	0.65	4850	8062.32	7078.50	6216.53
		-5550	-7892.69	-7088.40	-6127.71
124%	0.80	5490	8788.12	7830.29	7510.41
		-6150	-8903.15	-7978.01	-7667.35
150%	1.035	6450	12975.16	10183.35	9788.12
		-7050	-13438.1	-10164.4	-9677.66

تابع الجدول (9)						
الشدة الزلزالية (g)		سرعة التشوه (1/s)				
		0.1	1	10	50	100
10%	0.065	385.91	350.14	323.01	310.05	292.05
		-390.30	-357.08	-344.75	-330.20	-309.89
50%	0.32	3032.59	2447.97	2385.75	2078.04	1845.68
		-3067.64	-2463.44	-2535.05	-2341.23	-2189.52
100%	0.65	6065.18	4845.95	4193.79	3814.71	3512.35
		-6135.29	-4926.88	-4666.15	-4311.72	-3802.23
124%	0.80	7170.97	6435.1	5465.54	4988.80	4700.75
		-7064.31	-6225.38	-4894.52	-4601.02	-4478.9
150%	1.035	9578.1	9071.45	8750.12	8404.81	6134.4
		-9291.41	-8919.03	-8666.03	-7942.42	-6908.24

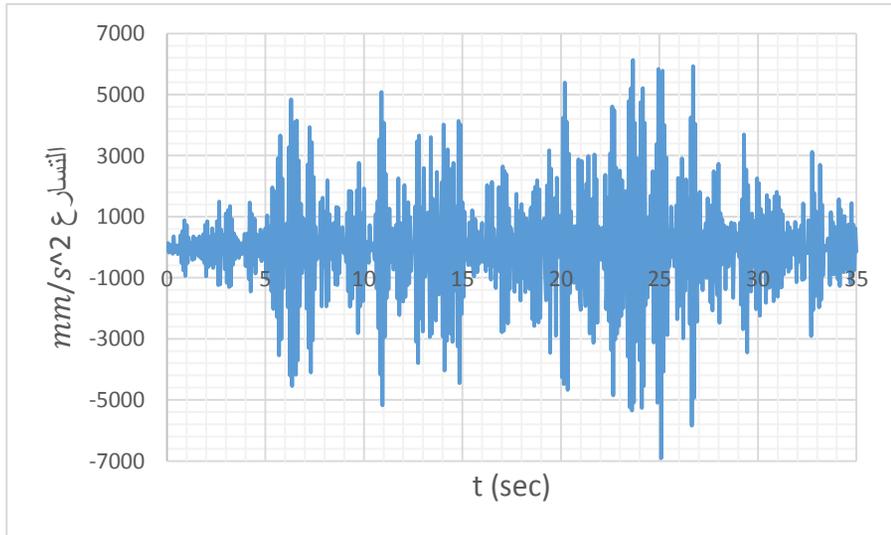
نلاحظ من الجدول السابق ما يلي:

1. إن قيم التسارعات الأعظمية تتناقص بازدياد قيمة سرعة التشوه وذلك بسبب الزيادة الحاصلة في قيمة معامل مرونة البيتون.
2. وجود فارق بين قيمة التسارعات الناتجة عن المخطط ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي والتسارعات التجريبية، وهذا يؤكد عدم كفاءة هذا المخطط لإعطاء التسارعات الصحيحة، لذلك لا بد من تحديد مخطط ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعة تشوه معينة والذي يعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال.

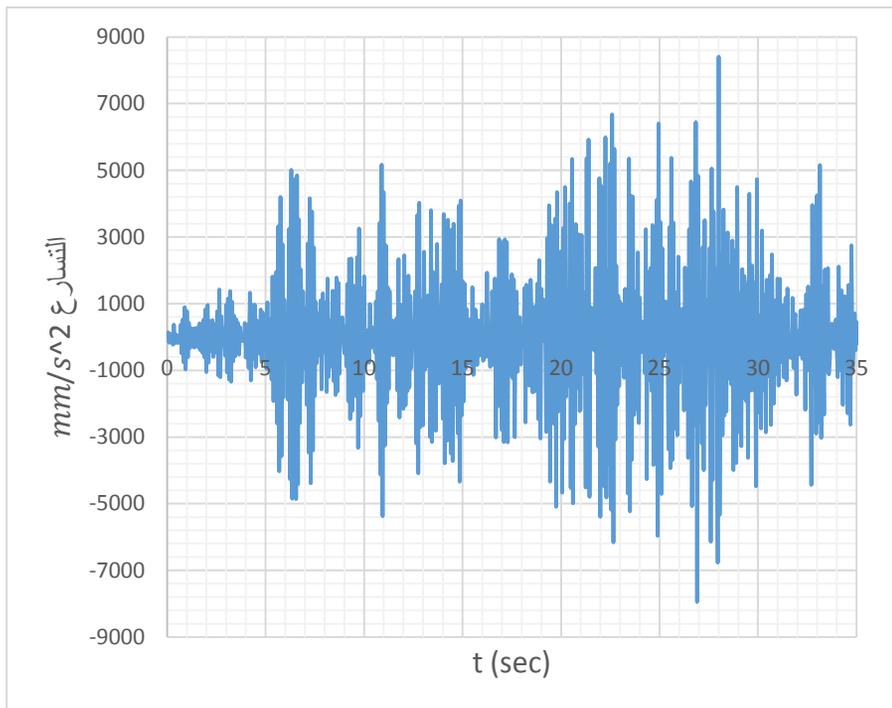
توضح المخططات التالية السجل الزمني للتسارع من أجل الشدة الزلزالية $1.035g$:



الشكل (13)- السجل الزمني للتسارع (التجريبي) نتيجة اختبار الركيزة تحت تأثير الشدة الزلزالية (1.035g) - 150%



الشكل (14)- السجل الزمني للتسارع (التحليلي) نتيجة سرعة التشوه $\dot{\epsilon} = 50s^{-1}$ تحت تأثير الشدة الزلزالية (1.035g) - 150%



الشكل (15)- السجل الزمني للتسارع (التحليلي) نتيجة سرعة التشوه $\dot{\epsilon} = 100s^{-1}$ تحت تأثير الشدة الزلزالية $(1.035g) - 150\%$

حيث نلاحظ أن القيم التجريبية للتسارعات الموضحة في الشكل (13) تقع ضمن القيم التحليلية الشكلين (14) و(15) والتي تتراوح ضمن مجال سرعات التشوه $\dot{\epsilon} = 50 - 100s^{-1}$

ومن الملاحظ أن الشكل العام للسجل الزمني التحليلي لا يتطابق بشكل كبير مع السجل التجريبي، وقد يعود السبب إلى إهمال أثر الاحتكاك الحاصل أثناء التجربة، ولهذا السبب عادةً ما يعتمد في مقارنة الاستجابة على القيم الأعظمية للتسارعات أو الانتقالات.

ويمقارنة بقية التسارعات التجريبية مع التسارعات الناتجة عن سرعات التشوه يمكن تحديد مجالات سرعات التشوه للشدات الزلزالية المدروسة بالنسبة للنموذج المعبر عن دراسة نقطة مادية كما هو موضح في الجدول (10):

الجدول (10)- مجالات سرعات التشوه للشدات الزلزالية لنموذج نقطة مادية

الشدة الزلزالية (g)	مجال سرعة التشوه (1/s)
0.065	0.001-0.01
0.32	0.1-1
0.65	0.1-1
0.80	1-10
1.035	50-100

4-2- نتائج دراسة النموذج (2):

إيجاد التغير الحاصل في الانزياحات الطابقية والتسارعات:

بالنسبة لانزياحات الطابق الأول الناتجة تجريبياً فهي موضحة في الجدول (11):

الجدول (11)- الانزياحات الأعظمية للطابق الأول الناتجة تجريبياً

Story	Load Case (X dir)	Dis(mm)
Story1	Loma Prieta earthquake-max	22.8
Story1	Loma Prieta earthquake-min	23.5

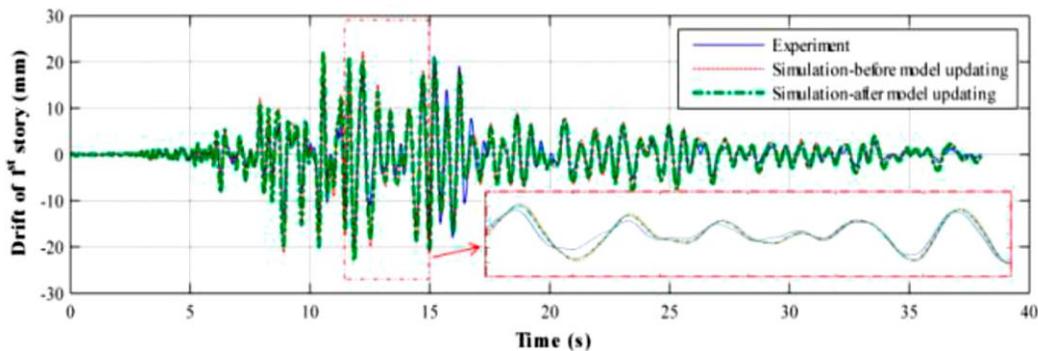
الجدول (12)- الانزياحات الطابقية الأعظمية للنموذج (2)

Story	Load Case	سرعة التشوه (1/s)			
		static	0.001	0.01	0.1
Story2	DIR-X Max	65.908	62.459	59.063	58.191
Story2	DIR-X Min	62.744	70.647	69.842	62.503
Story1	DIR-X Max	32.73	31.107	29.309	28.92
Story1	DIR-X Min	30.61	34.938	34.988	31.593

أما نتائج التحليل للنموذج (2) فهي موضحة في الجدول (12):

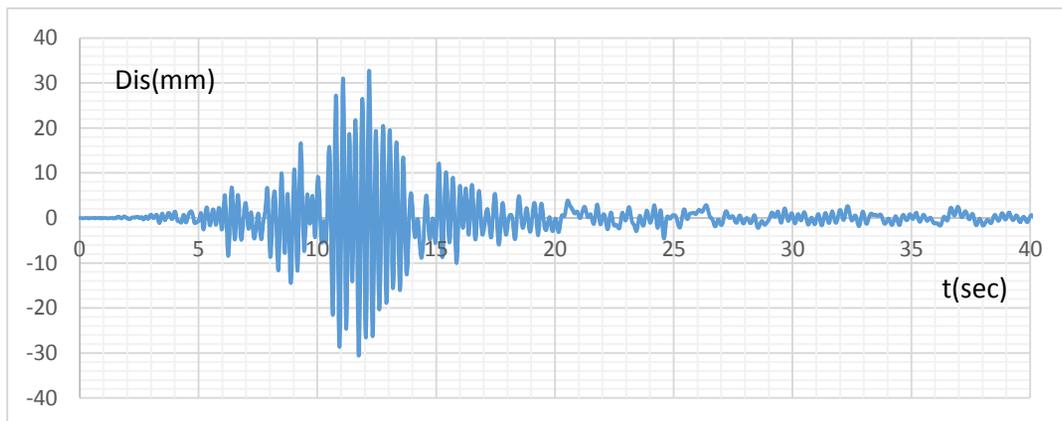
تابع الجدول (12)					
Story	Load Case	سرعة التشوه (1/s)			
		1	10	50	100
Story2	DIR-X Max	52.255	43.994	37.012	33.647
Story2	DIR-X Min	49.911	39.046	32.234	27.715
Story1	DIR-X Max	25.956	21.963	18.395	16.669
Story1	DIR-X Min	25.179	19.334	16.033	13.804

يتم تحديد مخطط ($\sigma - \epsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال عن طريق مقارنة استجابة الإطار المختبر على طاولة الاهتزاز مع استجابة النماذج التحليلية التي بينا نتائجها في الجداول السابقة، وحسب ما هو متوفر من نتائج الدراسة المرجعية [6] تم اعتماد القيم الأعظمية لانزياحات الطابق الأول المبينة بالجدول (11)، بالإضافة للشكل العام للسجل الزمني لانزياحات هذا الطابق المبين في الشكل (13) كمعيار للمقارنة.

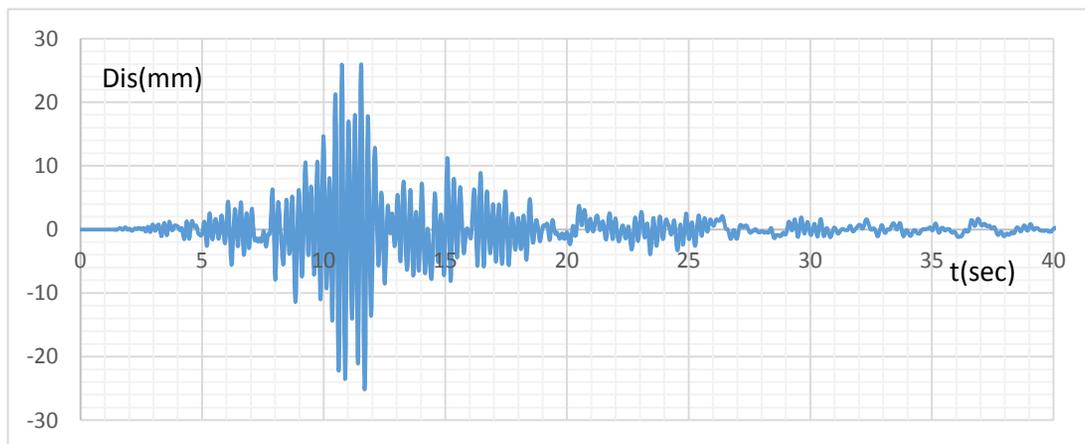


الشكل (16)- انزياحات الطابق الأول للإطار المختبر على منصة الاهتزاز [6]

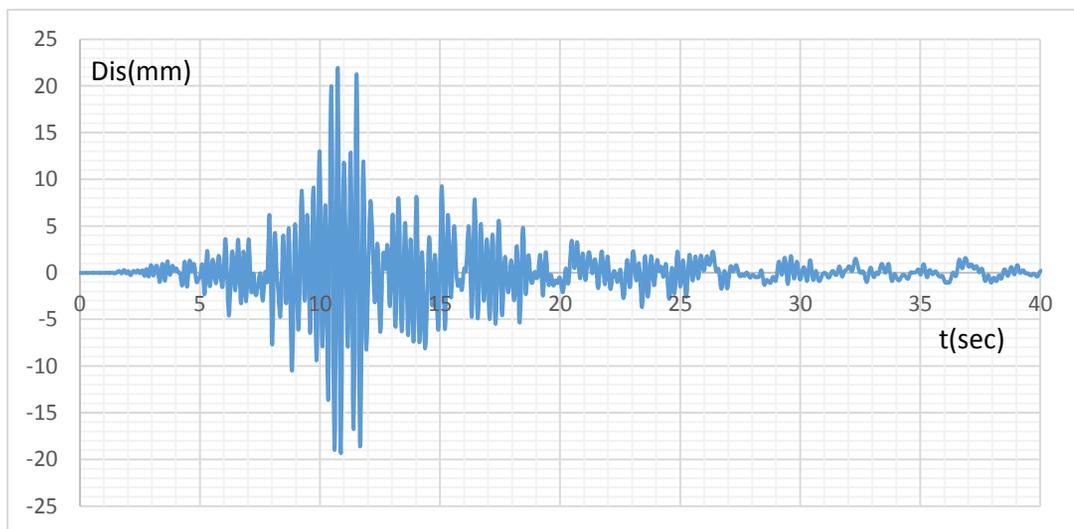
وبالنسبة للسجل الزمني للانزياحات الناتجة عن النموذج المحلل باستخدام البرنامج:



الشكل (17)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج نتيجة مخطط
 $(\sigma - \varepsilon)$ الستاتيكي



الشكل (18)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج
 $\dot{\varepsilon} = 1s^{-1}$



الشكل (19)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

$$\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$$

نلاحظ أن نتائج النموذج الذي بلغت فيه سرعة التشوه ضمن المجال $\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$ هي أكثر النتائج تقارباً مع نتائج السجل الزمني للانزياحات الناتجة عن التجربة والموضح في الشكل (16)

من الملاحظ توافق هذه النتيجة مع الجدول (10) حيث تبين أن مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ الناتج عن سرعة التشوه ضمن المجال $\dot{\varepsilon} = 1 - 10s^{-1}$ ملائم للشدة الزلزالية (0.8g).

4-3- نتائج دراسة النموذج (3):

توضح الجداول التالية مواصفات البيتون المستخدم في التجربة نتيجة إدخال تأثير سرعات التشوه التي تتراوح ضمن المجال $\dot{\varepsilon} = 0.001 - 10 s^{-1}$:

الجدول (13)- مواصفات البيتون المستخدم في النموذج (3)

Story 6					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c(MPa)$	35.31				
$E_c(MPa)$	24380				
$f'_{c,imp}(MPa)$	37.09	38.3	39.56	40.85	42.19
$E_{c,imp}(MPa)$	26707.21	28354.93	30104.3	31961.6	33933.49
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514
Story 5					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c(MPa)$	42.36				
$E_c(MPa)$	26180				
$f'_{c,imp}(MPa)$	44.49	45.95	47.45	49.01	50.61
$E_{c,imp}(MPa)$	28679.03	30448.4	32326.93	34321.36	36438.84
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514

تابع الجدول (13)					
Story 4					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c(MPa)$	35.96				
$E_c(MPa)$	24250				
$f'_{c,imp}(MPa)$	37.77	39.01	40.28	41.6	42.97
$E_{c,imp}(MPa)$	26564.8	28203.73	29943.78	31791.18	33752.55
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514
Story 3					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c(MPa)$	31.86				
$E_c(MPa)$	23240				
$f'_{c,imp}(MPa)$	33.46	34.56	35.69	36.86	38.07
$E_{c,imp}(MPa)$	25458.39	27029.06	28696.63	30467.09	32346.77
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514

تابع الجدول (13)					
Story 2					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c (MPa)$	27.89				
$E_c (MPa)$	21130				
$f'_{c,imp} (MPa)$	29.29	30.25	31.89	32.27	33.32
$E_{c,imp} (MPa)$	23146.98	24575.05	26091.22	27700.93	29409.95
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514
Story 1					
مواصفات البيتون	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
	0.001	0.01	0.1	1	10
$f'_c (MPa)$	35.82				
$E_c (MPa)$	23160				
$f'_{c,imp} (MPa)$	37.62	38.85	40.13	41.44	42.8
$E_{c,imp} (MPa)$	25370.76	26936.02	28597.85	30362.21	32235.43
$\epsilon_{c1} \times 10^{-3}$	2.467	2.583	2.705	2.833	2.966
$\epsilon_{c,lim} \times 10^{-3}$	3.754	3.931	4.116	4.310	4.514

تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي للمنشآت الإطارية البيتونية المسلحة عند كل شدة زلزالية

وتوضح الجداول التالية قيمة الانزياحات التجريبية والتحليلية نتيجة إدخال تأثير سرعات التشوه:

الجدول (14)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3) بال mm من أجل الشدة 0.55g

الشدة الزلزالية	0.55g					
	الانتقال التجريبي (mm)	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
		static	0.001	0.01	0.1	1
Story 6	65.475	87.036	83.063	78.555	68.297	58.039
Story 5	66.274	80.808	79.836	75.695	66.749	55.803
Story 4	62.281	70.94	75.483	72.124	62.529	52.934
Story 3	54.030	56.203	70.627	66.885	57.707	48.529
Story 2	41.255	39.495	62.056	58.974	50.259	41.244
Story 1	19.696	22.054	49.136	45.61	37.224	28.838

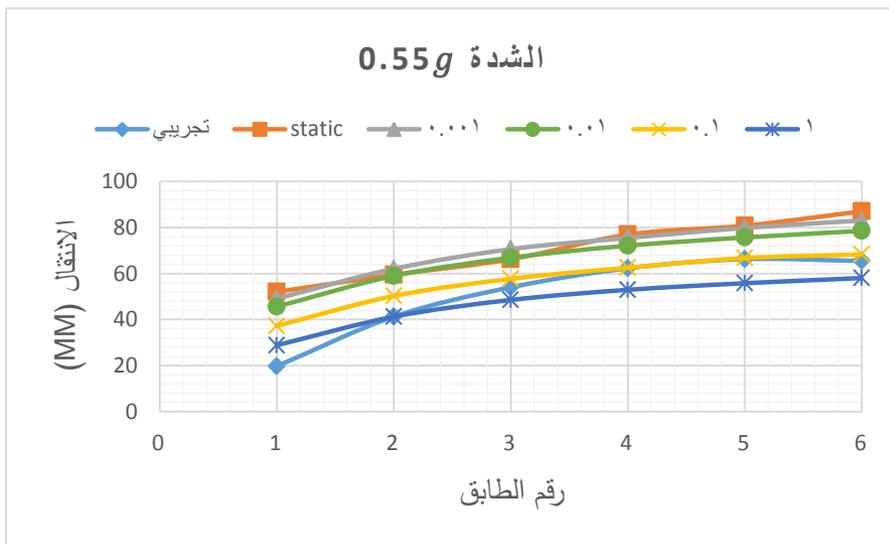
الجدول (15)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3) بال mm من أجل الشدة 0.37g

الشدة الزلزالية	0.37g					
	الانتقال التجريبي (mm)	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
		static	0.001	0.01	0.1	1
Story 6	35.214	47.283	43.304	39.357	37.868	29.905
Story 5	35.066	45.289	41.459	37.712	36.275	28.612
Story 4	31.511	42.633	38.96	35.453	34.096	26.829
Story 3	25.243	38.552	35.166	31.926	30.712	24.024
Story 2	18.280	32.288	29.332	26.522	25.501	19.843
Story 1	8.351	20.734	18.922	17.171	16.61	12.875

الجدول (16)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3) بالـ mm من أجل الشدة
0.13g

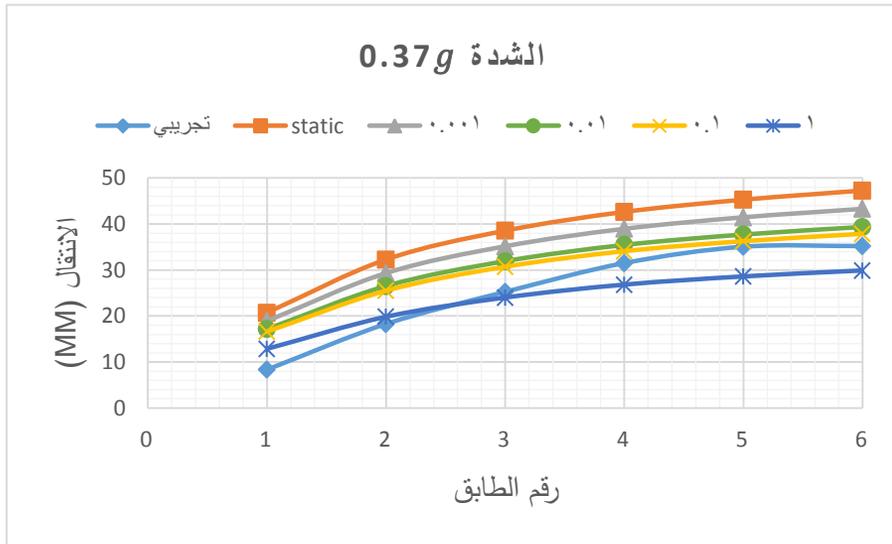
الطابق	الشدة الزلزالية					
	الانتقال التجريبي (mm)	سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$				
		static	0.001	0.01	0.1	1
Story 6	11.781	16.331	15.189	13.518	11.508	10.445
Story 5	11.073	15.32	14.305	12.72	10.811	9.711
Story 4	9.551	13.768	12.943	11.487	9.524	8.589
Story 3	7.032	11.352	10.819	9.71	7.027	6.921
Story 2	4.513	8.28	8.048	7.172	4.436	4.175
Story 1	1.889	4.719	4.692	4.225	3.48	2.836

برسم مخطط الانتقالات الطابقية الموضحة في الجداول السابقة:

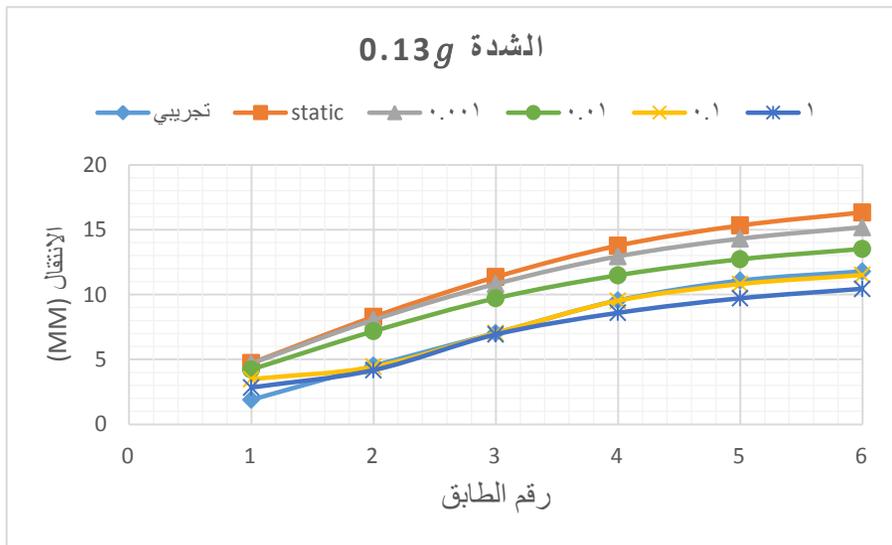


الشكل (20)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3)- الشدة 0.55g

نلاحظ أن منحنى الانتقالات التجريبية للشدة $0.55g$ يقع ضمن مجال سرعات التشوه $\dot{\epsilon} = 0.1 - 1 s^{-1}$



الشكل (21)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3)- الشدة $0.37g$
 نلاحظ أن منحنى الانتقالات التجريبية للشدة $0.37g$ يقع ضمن مجال سرعات التشوه $\dot{\epsilon} = 0.1 - 1 s^{-1}$



الشكل (22)- الانزياحات التجريبية والتحليلية في النموذج (3)- الشدة $0.13g$

نلاحظ أن منحني الانتقالات التجريبية للشدة $0.13g$ يقع ضمن مجال سرعات التشوه

$$\dot{\epsilon} = 0.01 - 0.1 s^{-1}$$

ومن الملاحظ أن التجربة تعطي انتقالات أقل للطابق الأول بنسبة تصل حتى 50%،

في حين أن انتقالات بقية الطوابق تقع ضمن المجالات المذكورة

إن النتائج السابقة التي تم التوصل لها من دراسة النموذج (3) (متعدد النقاط المادية)

متوافقة تماماً مع النتائج التي تم التوصل لها بالنموذج (1) (نموذج النقطة المادية) والتي

تم توضيحها في الجدول (10).

وعلى ذلك يمكن تحديد مجالات سرعات التشوه الملائمة للشدات الزلزالية المدروسة وفق

الجدول (17):

الجدول (17)- مجالات سرعات التشوه الملائمة للشدات الزلزالية

مجال سرعة التشوه $\dot{\epsilon}(s^{-1})$	الشدة الزلزالية (g)
(0.001 - 0.01)	0.065
(0.01 - 0.1)	0.13
(0.1 - 1)	0.32 - 0.65
(1 - 10)	0.80
(50 - 100)	1.035

5- النتائج والتوصيات:

(1) تتناقص التسارعات والانزياحات الطابقية عند استخدام مخطط (الإجهاد-التشوه)

الديناميكي الناتج عن سرعات تشوه متزايدة، وسبب ذلك يعود للزيادة الحاصلة في

الخصائص الميكانيكية للبيتون والفولاذ.

(2) يتم تحديد مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي الملائم لمنشأ ما معرّض لهزة

أرضية عن طريق مقارنة نتائج استجابته المخبرية والحاسوبية، وقد أعطى

مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي تقارباً أكبر مع النتائج التجريبية عن استخدام المخطط الستاتيكي.

(3) يمكن استخدام نفس مخطط (الإجهاد-التشوه) الديناميكي من أجل سرعة تشوه ملائمة لشدة زلزالية معينة في الجمل المكونة من نقطة مادية واحدة أو عدة نقاط المادية، وقد تم تحديد مجالات سرعات التشوه الملائمة للشدات الزلزالية وفق الجدول (17).

بالاعتماد على النتائج السابقة يمكن:

(1) العمل على إيجاد مخطط (الإجهاد-التشوه) للبيتون الناتج عن سرعة تشوه معينة من أجل شدات زلزالية أخرى.

(2) العمل على مقارنة التحليل باستخدام السجل الزمني (التكامل المباشر) مع بقية طرق التحليل اللدن.

(3) العمل على تضيق مجال سرعات التشوه للشدات المدروسة بغرض الحصول على مقارنة أكبر لسرعة التشوه الملائمة.

6 - المراجع:

- 1- EDWARD L. WILSON, 2002- Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, University of California at Berkeley, U.S.A, 423p.
- 2- BRUNEAU MICHEL, UANG CHIA-MING, SABELLI RAFAEL, 2011- Ductile Design of Steel Structures_2nd Edition, Chapter4 Concepts of Plastic Analysis, Published by McGraw-Hill Education, Hawthorne, CA, U.S.A, 74p.
- 3- SPECIAL ACTIVITY GROUP 5, 2012- CEB-FIP-Modal Code2010. Final Draft, Volume1, The International Federation for Structural Concrete, Switzerland, 357p.
- 4- CHANGQING WANG, JIANZHUANG XIAO, ZHENPING SUN, 2016- Seismic Analysis on Recycled Aggregate Concrete Frame Considering Strain Rate Effect, Tongji University, Shanghai, China, (307-323) p.
- 5- REEM SALMAN ALSEHNAWI, AKINORI NAKAJIMA, 2016- Experimental Study on Dynamic Characteristic Dependency of Bridge Structures on Vibration Amplitude, Utsunomiya University, Japan, 298p.
- 6- SHUANG HOU, HAIBIN ZHANG, XIN HAN, JINPING OU, 2017- Damage monitoring of the RC frame shaking table test

and comparison with FEM results, Published by Elsevier Ltd,
Guangzhou (Canton), China, (393–400) p.

- 7– YIJIANG PENG, QING WANG, LIPING YING, MAHMOUD M. A. KAMEL, HONGTAO PENG, 2019– Numerical Simulation of Dynamic Mechanical Properties of Concrete under Uniaxial Compression, Licensee MDPI, Basel, Switzerland, 15page.
- 8– AL–AAMOUDEE SULYMAN, ALI AHMAD, 2022, Effect of the (Stress–Strain) Diagram Resulting from Different Strain–Rates on Response of the RC Frame Structures, Al–Baath University Journal, folder44 NO.1, 40 page.
- 9– FENG LIN, YU DONG, XINXIN KUANG, LE LU, 2016, Strain Rate Behavior in Tension of Reinforcing Steels HPB235, HRB335, HRB400, and HRB500, Licensee MDPI, Basel, Switzerland, 10pages.