

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 1

1443 هـ - 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
50-11	احمد علي د سليمان العامودي	تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت الإطارية البيتونية المسلحة
84- 51	م. ألاء الحسن أ. د عادل جرجي	حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم
110-85	د. حسين جنيدي أ. د هيثم شاهين د. أحمد قره علي م. امال عطيه	إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريت باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي
130-111	الدكتور رامي العبد	تقدير قدرة التحمل الحديدية لوتد بيتوني مفرد في تربة غضارية

تأثير مخطط (الإجهاد - التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت الإطارية البيتونية المسلحة

طالب الدراسات العليا: م احمد علي كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

اشراف الدكتور: سليمان العامودي

ملخص البحث

يتضمن هذا البحث دراسة تحليلية باستخدام التحليل الديناميكي وفق السجلات الزمنية لاطار من البيتون المسلح مختبر على منصة اهتزاز، ويعنى بحساب التغيرات الحاصلة في الاستجابة الزلزالية لهذا الإطار أي التغيرات الحاصلة في الانتقالات الطابقية والتسارعات نتيجة تأثير سرعات التشوه المختلفة للبيتون، حيث أثبتت العديد من الدراسات أن المواصفات الميكانيكية للبيتون تتغير باختلاف سرعة تشوّهه.

وأظهرت الدراسة أن كلاً من المقاومة المميزة للبيتون، ومعامل مرونته، تزداد بازدياد قيمة سرعة التشوه بنسبة تتراوح ضمن المجال (5-80)% و (9-48)% على الترتيب. واعتماداً على ذلك فإنه من الملاحظ تناقص كل من الانتقالات الطابقية والتسارعات للإطار نتيجة تأثير مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوّه متزايدة، وتمّ التوصل لمخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الملائم للإطار عن طريق المقارنة بين نتائج استجابة الإطار المخبرية والحاسوبية.

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

Effect of the (Stress-Strain) Diagram Resulting from Different Strain-Rates on Response of the RC Frame Structures

Dr.Eng. Sulyman Al-Aamoudee

Eng. Ahmad Ali

Faculty of Civil Engineering

Abstract

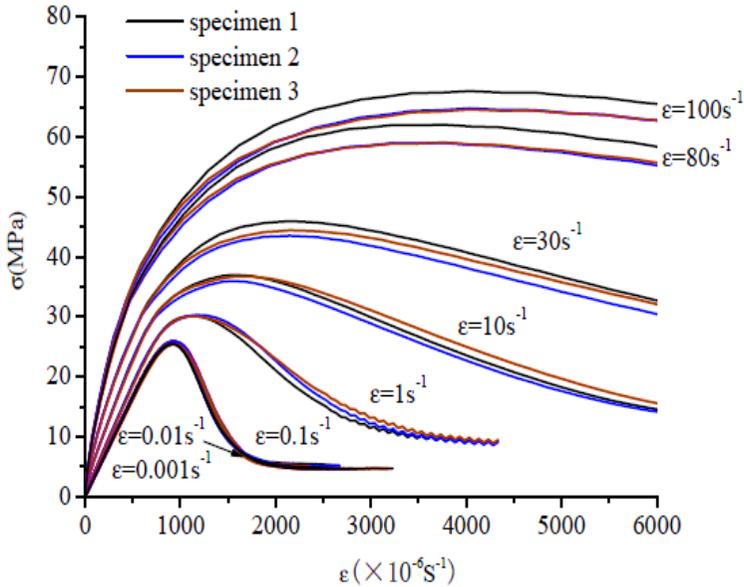
This research includes an analytical study using dynamic analysis according to the time histories of a frame of reinforced concrete tested on a shaking table, and it is concerned with calculating the changes in the seismic response of this frame, i.e. changes in the story displacements and accelerations 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 study showed that both the characteristic strength of concrete and its elastic modulus increase with the increase in the value of the strain rates by a percentage ranging within the range (5-80%) and (9-48%), respectively. Depending on this it is noticeable decrease both of the story displacements and accelerations for frame effect result stress-strain diagram of concrete resulting from increasing strain rates, and the stress-strain diagram of concrete suitable for the frame was reached by comparing the results of the laboratory and computer response of the frame.

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

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.

تبين المخططات بالشكل (1) النتائج التجريبية لإحدى الدراسات المرجعية [4]، 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 [4]

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

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.

بالنسبة لاختبار العينات البيتونية على الضغط الديناميكي فيتم عن طريق أجهزة ضغط هيدروليكية متطورة غير متوفرة في مخابر الجمهورية العربية السورية.

ويوضح الجدول التالي آلات التجريب المخبري المستخدمة عالمياً من أجل سرعات تشوه مختلفة: [6]

الجدول (1) - تقنيات التجريب المخبري العالمية لقياس مقاومة البيتون تحت تأثير

التصنيف	مجال سرعة التشوه	تقنية التجريب المخبري	
1	$10^{-8} - 10^{-5}$	Specialized hydraulic machine	الزحف
2	$10^{-5} - 10^{-1}$	Servo-hydraulic machine	الأحمال شبه الستاتيكية Quasi-static
3	$10^{-1} - 10^0$	Pneumatic-hydraulic machine	سرعات التشوه العادية و المتوسطة
	$10^0 - 10^1$	Drop weight machine	
4	$10^1 - 10^4$	Split Hopkinson pressure bar	سرعات التشوه الكبيرة
5	$10^4 - 10^6$	Plate impact technique	سرعات التشوه الكبيرة جداً

سرعات التشوه المختلفة

2- هدف البحث:

حساب التغيرات الحاصلة في الانتقالات والتسارعات الطابقية نتيجة استخدام مخطط (الإجهاد-التشوه) الفعلي للبيتون تحت تأثير سرعات تشوه مختلفة.

2-1- الدراسات المرجعية:

2-1-1-1- دراسة تجريبية لخواص البيتون من النوع microconcrete على الضغط الديناميكي تحت تأثير سرعات تشوه مختلفة للباحثين SHEN Dejian و LU Xilin في جامعة Beijing في الصين عام 2008، [3]. اهتمت الدراسة بالعلاقة بين قدرة التحمل على الضغط ومعامل المرونة والتشوه عند الذروة في الحالتين الستاتيكية والديناميكية بالإضافة لنمط الانهيار من أجل سرعات تشوه مختلفة (10^{-4} - 10^{-1} /s) حيث تم إجراء اختبار قوة الضغط الديناميكية على عينات بيتونية موشورية ($100 \times 100 \times 300$ mm)، وأسفرت التجارب عن النتائج التالية:

- تزداد قدرة تحمل البيتون بازدياد سرعة التشوه وفق النسب التالية:

سرعة التشوه (1/s)	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
نسبة الزيادة %	9.4	17.5	23.6	30.8

- يزداد معامل المرونة للبيتون بازدياد سرعة التشوه وفق النسب التالية:

واقترح الباحثون العلاقات التالية التي تلخص النتيجتين السابقتين:

سرعة التشوه (1/s)	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
نسبة الزيادة %	8	15.7	26.6	35.8

- العلاقة بين قدرة التحمل على الضغط الستاتيكية والديناميكية على الشكل التالي:

$$\frac{f_c^d}{f_c^s} = 1 + 0.0795 \lg\left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{cs}}\right) \dots (1)$$

حيث: f_c^d - قدرة تحمل البيتون الديناميكية من أجل سرعة تشوه معينة (MPa)

- f_c^s قدرة تحمل البيتون الستاتيكية (MPa)

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

- $\dot{\epsilon}_{cs} = 30 * 10^{-6} s^{-1}$ سرعة تشوه البيتون الستاتيكية

- العلاقة بين معامل المرونة الستاتيكي و الديناميكي:

$$\frac{E_c^d}{E_c^s} = 1 + 0.08751 \lg\left(\frac{\dot{\epsilon}_c}{\dot{\epsilon}_{cs}}\right) \dots (2)$$

حيث: E_c^d - معامل مرونة البيتون الديناميكي من أجل سرعة تشوه معينة (MPa)

- E_c^s معامل مرونة البيتون الستاتيكي (MPa)

2-1-2- دراسة للباحثين Liping و Qing Wang و Yijiang Peng

و Ying و Mahmoud M. A. Kamel و Hongtao Peng في جامعة

Beijing في الصين عام 2019، وهي محاكاة رقمية لتحديد الخواص

الميكانيكية الديناميكية للبيتون تحت تأثير الضغط المحوري. [4]

تعتمد الدراسة على نمذجة ثنائية البعد لمقطع عينات البيتون بطريقة العناصر

المحدودة (العنصر المستوي المثلي)، حيث أن العناصر الأساسية في عملية

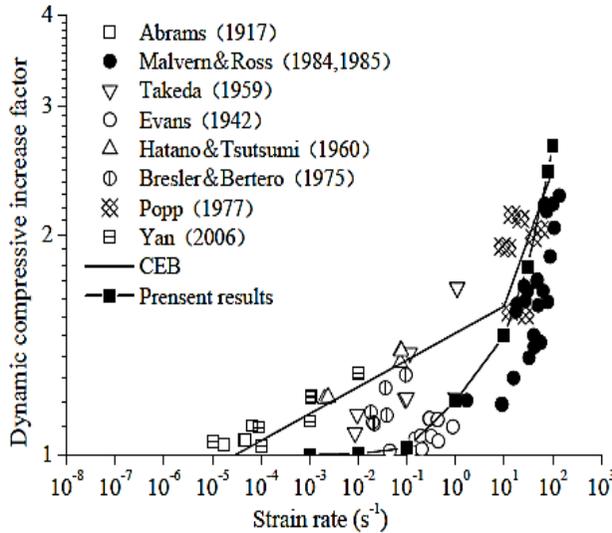
النمذجة هي الحصىات والملاط الاسمنتي والفراغات الهوائية كما تم الأخذ

بعين الاعتبار الضرر الحاصل ضمن كل مرحلة من مراحل التحميل، و تم

إيجاد علاقة الإجهاد-التشوه من أجل سرعات تشوه مختلفة بالإضافة لدراسة نمط انهيار البيتون.

من أهم النتائج التي توصل لها البحث هو الحصول على مخططات (إجهاد-تشوه) من أجل سرعات تشوه مختلفة كما هو موضح في الشكل (2) الوارد مسبقاً.

بالإضافة لمقارنة قيمة معامل التضخيم الديناميكي DIF (المحسوب اعتماداً على نسب التشوه الحاصلة في مقطع العينات البيتونية لكل مرحلة من مراحل التحميل) مع بقية علاقات معامل التضخيم التي أوجدها بعض الباحثين، كما يوضح الشكل (2):



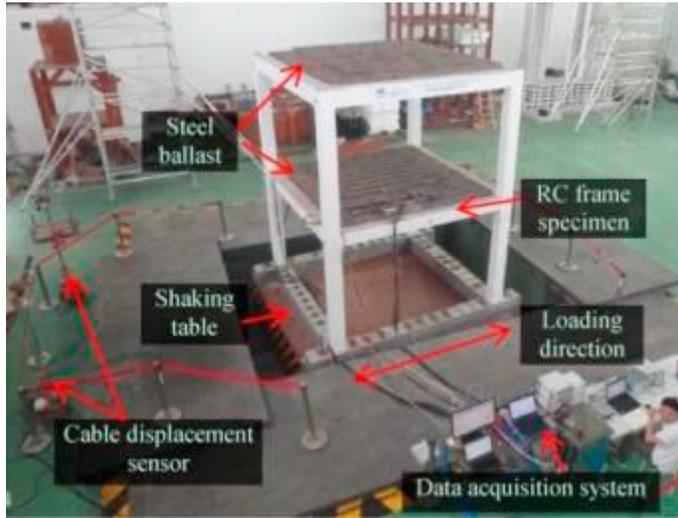
الشكل (2)- تغير معامل التضخيم الديناميكي للبيتون مع سرعات التشوه وفق عدة علاقات

من الملاحظ أن كود CEB يعطي قيمةً وسطيةً لمعامل التضخيم الديناميكي بين الدراسات وهو الكود المعتمد بالدراسة.

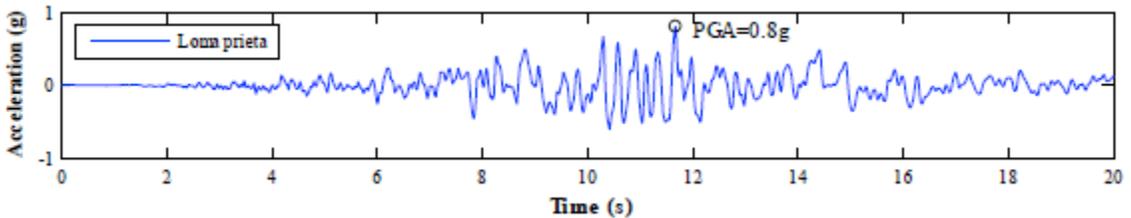
2-1-3- دراسة للباحثين Shuang Hou و Haibin Zhang و Xin Han و Jinping Ou في جامعة Guangzhou (Canton) في الصين عام 2017،

[5] الدراسة بعنوان مراقبة الأضرار الناجمة في الإطار البيتوني 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، وبالنسبة للنمذجة الرقمية فقد استخدمت طريقة العناصر المحدودة ببرنامج OpenSEES تهدف الدراسة إلى تطوير نموذج العناصر المحدودة المستخدم في نمذجة منشآت البيتون المسلح وتقييم فاعليته بالاعتماد على النتائج المخبرية.



الشكل (3)- الإطار المختبر على منصة الاهتزاز



الشكل (4)- السجل الزمني للزلزال Loma Prieta عام 1989

بلغت قيمة دور الاهتزاز الأول والثاني للإطار (0.264 sec) (0.079 sec) على الترتيب، علماً أنها قيم الأدوار قبل تشقق الإطار بفعل الحمولة الزلزالية. أسفرت الدراسة عن النتائج التالية:

يمكن استخدام الحساسات من النوع piezoelectric smart aggregate لمراقبة الإجهادات الداخلية في مقاطع الإطارات البيتونية المسلحة الخاضعة للأحمال الزلزالية.

إن عدم تجانس البيتون كمادة مكونة أصلاً من خليط من المواد يؤثر على كلٍ من مقاومته المميزة، ومعامل مرونته. وإن هذا التأثير سيزداد مع التطور الحاصل في الشقوق التي تظهر خلال المرحلة اللدنة.

إن مراقبة الإجهادات الداخلية باستخدام الحساسات المذكورة، أسهمت في تحسين دقة المحاكاة عند نمذجة المنشأ بطريقة العناصر المحدودة.

2-2- منهجية البحث:

تم الاعتماد بشكلٍ أساسي على نتائج النمذجة الحاسوبية في حساب التغير الحاصل في الانزياحات وذلك باستخدام البرنامج الهندسي Etabs16 حيث تم مقارنة نتائج النموذج التجريبي الوارد في الدراسة [5] مع نتائج النموذج التحليلي المدروس باستخدام البرنامج.

وبالنسبة لمواصفات البيتون فقد تم تعريف مخطط (اجهاد-تشوه) ومعامل المرونة، وفق سرعات التشوه المختلفة والمأخوذة وفق العلاقات الواردة في الدراسات المرجعية والكودات العالمية كما سينوه عنها لاحقاً، وقورنت قيم الانزياحات 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 للانزياح بين النموذجين.

الغرض من المقارنة هو الربط بين مخطط (اجهاد-تشوه) للبيتون الناتج عن سرعة تشوه معينة مع الشدة الزلزالية، وبالتالي معرفة السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- المواصفات الميكانيكية للنموذج المدروس:

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

- مواصفات المواد المستخدمة:

الجدول (2)-مواصفات البيتون المستخدم في التجربة

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

الجدول (3)-مواصفات فولاذ التسليح المستخدم في التجربة

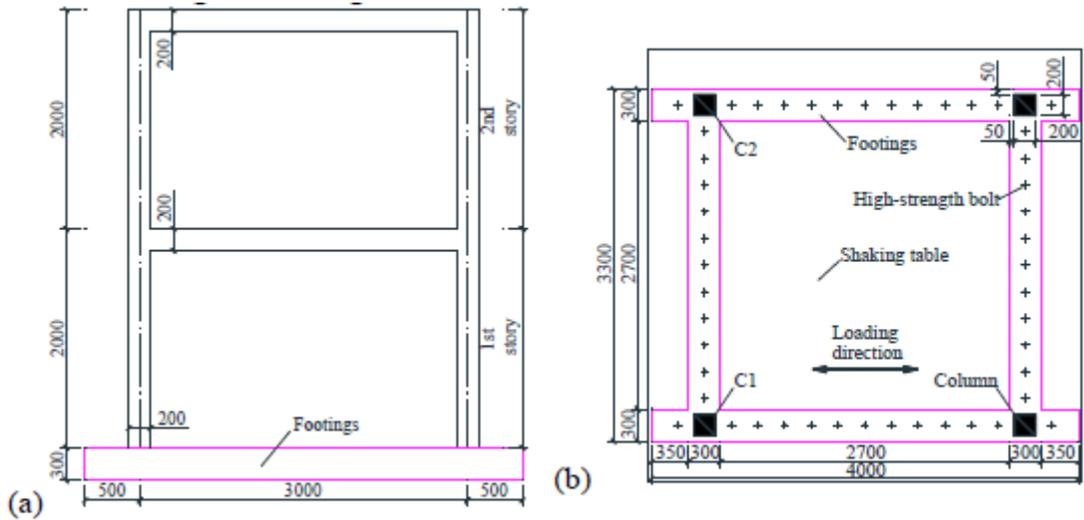
التشوه عند الذروة ϵ_s ($\mu\epsilon$)	معامل المرونة E_s (MPa)	حد الانقطاع f_u (MPa)	حد الخضوع f_y (MPa)	الموقع
2417.5	202200	590.7	436.1	فولاذ التسليح الطولي، #4
-	-	502.3	298.3	فولاذ التسليح العرضي، #2

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

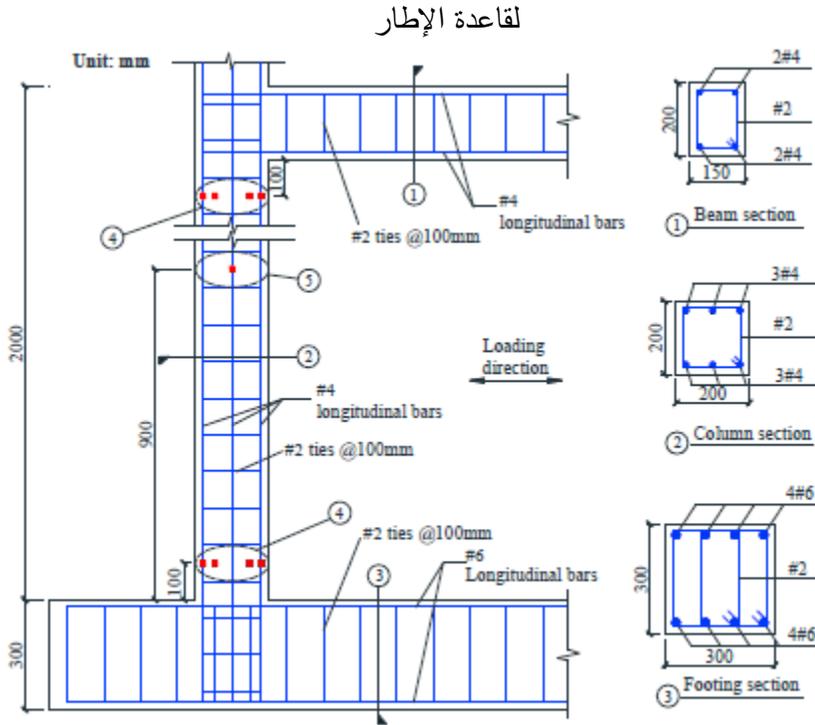
الإطار مكون من طابقين الارتفاع الطابقي (2m)، تتصل جوائزه مع الأعمدة بعقد صلبة، وهو موثوق عند الأساسات ارتفاع الأساس (0.3m)، وعليه فإن الارتفاع الكلي للنموذج (4.3m)، الإطار متصل بطاولة اهتزاز أبعادها (4m×4m)، تم وضع أوزان مية على كلا الطابقين قيمتها الكلية (5.7t)

الجدول (4)- المواصفات البعدية والتسليح الطولي والعرضي لعناصر الإطار

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



الشكل (5)- المواصفات البعدية للإطار (a) مقطع شاقولي للإطار (b) مسقط أفقي



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

3-3 - الطريقة النظرية للبحث:

3-3-1 - التحليل الزلزالي للمنشأ: للتحليل الزلزالي عدة طرق: [7 ، 8]

(a) التحليل الستاتيكي الخطي (كاستخدام الطريقة الاستاتيكية المكافئة أو

الطريقة المطورة) واللاخطي

(b) تحليل الدفع المتتالي Pushover Analysis

(c) التحليل الديناميكي الخطي حسب طيف الاستجابة

(d) التحليل الديناميكي باستعمال التاريخ الزمني (التسجيلات الزمنية): وله عدة

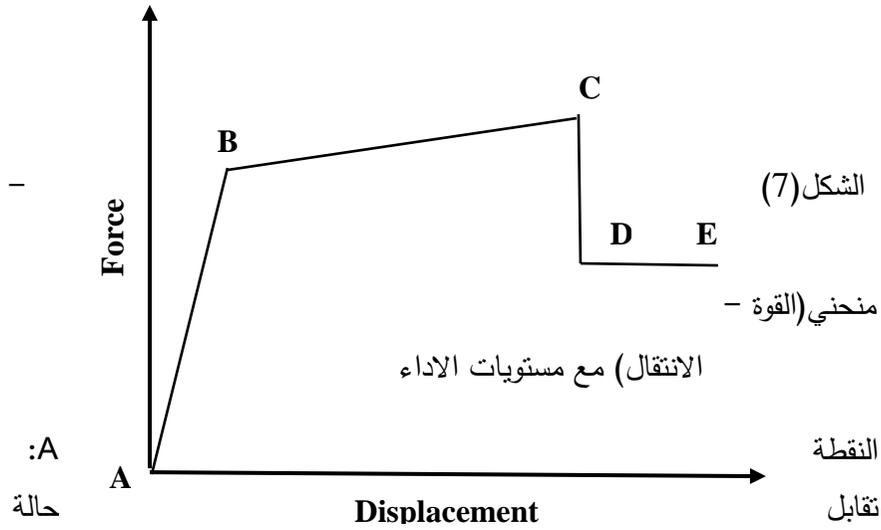
أنواع:

- 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 التلدين في المفاصل اللدنة ومستويات الأداء للجلمة. كما أن هذا التحليل يبدأ من الصفر ولا يعتمد على أية نتائج لاخطية سابقة. وتعتبر هذه الطريقة تحليل زمني لكنه نمطي يعتمد في حل المعادلات على الأنماط وليس على التكامل المباشر وأهم مميزاتا أنها لا تتطلب الوقت الكبير في التحليل.
- التحليل الخطي بطريقة التكامل المباشر
- التحليل اللاخطي بطريقة التكامل المباشر (Nonlinear Direct Integration)

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، وبشكل 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.

ويتم تقييم الضرر الزلزالي المتوقع في العناصر باستخدام منحنى (القوة - الانتقال) والموضح بالشكل (7).



التفريغ أو نقطة المبدأ.

النقطة B: تقابل نقطة الخضوع.

النقطة C: تقابل الحمولة القصوى الاسمية مع تشوه كبير وتدهور في المقاومة يبدأ بالظهور.

الهبوط من النقطة C إلى النقطة D: يمثل الفشل الأولي للعنصر المدروس في مقاومة الأحمال الجانبية بعد النقطة C

المقاومة المتبقية من النقطة D إلى النقطة E: يسمح في هذا المجال بالاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية على العنصر المدروس.

النقطة E: بعد الوصول إلى هذه النقطة يصبح العنصر غير قادر على الاستمرار بمقاومة الأحمال الجانبية.

3-3-2- ايجاد مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون من أجل سرعات تشوه مختلفة: [1]، [2]

اكتفت الدراسات المرجعية والكودات العالمية بإدخال أثر سرعات التشوه عن طريق معامل التضخيم الديناميكي للإجهاد 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 (إجهاد-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 الأوروبية للبيتون CEB 2010 تعطى علاقة (اجهاد - تشوه) للبيتون بالشكل:

$$f_c = \left(\frac{k \cdot \gamma - \gamma^2}{1 + (k-2) \cdot \gamma} \right) \cdot f'_c \dots (3)$$

$$\gamma = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} ; k = \frac{E_{ci}}{E_{c1}} \dots (4)$$

حيث:

ε_{c1} التشوه عند الذروة

E_{c1} ميل القاطع عند الذروة

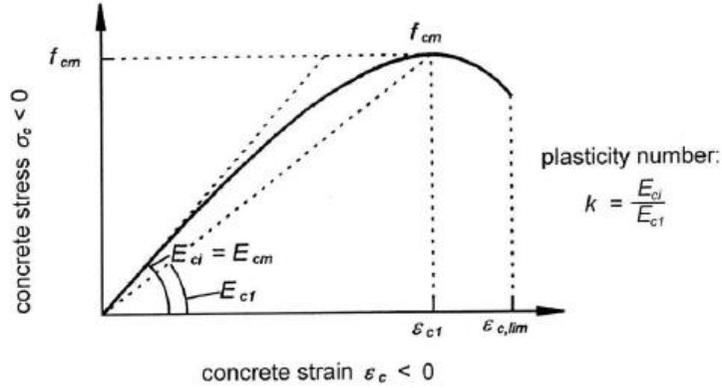
ε_c التشوه الحاصل في البيتون و تتراوح قيمته بين 0 و $\varepsilon_{c,lim}$ (التشوه عند الانهيار)

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

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

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

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة



الشكل (8)- مخطط (σ - ε) للبيتون حسب توصيات CEB 2010

الجدول (5)- معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون حسب أصناف البيتون

المختلفة وفق توصيات CEB 2010

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
$\varepsilon_{c,lim}$ [‰]	-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
$\varepsilon_{c,lim}$ [‰]	-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

و حسب CEB 2010 تبقى العلاقة (3) 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:

$$\frac{\varepsilon_{c1,imp}}{\varepsilon_{c1}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.02} \dots (5)$$

$$\frac{E_{ci,imp}}{E_{ci}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.026} \dots (6)$$

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

- $E_{ci,imp}$ ميل القاطع الديناميكي عند الذروة (MPa)

- $\dot{\varepsilon}_c$ سرعة تشوه البيتون (1/s)

- $\dot{\varepsilon}_{co}$ 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:

$$\frac{f_{c,imp}}{f'_c} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{0.014} : \dot{\varepsilon} \leq 30 s^{-1} \\ 0.012 \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1/3} : \dot{\varepsilon} > 30 s^{-1} \end{array} \right\} \dots (7)$$

الجدير ذكره أن العلاقات (3) (5) (6) ذاتها مستخدمة في التوصيات القديمة الواردة في كود CEB 1990 والفارق بين الكودين هو بعلاقة معامل التضخيم الديناميكي:

$$\frac{f_{c,imp}}{f'_c} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1.026\alpha} : \dot{\varepsilon} \leq 30 s^{-1} \\ \gamma_s \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}}\right)^{1/3} : \dot{\varepsilon} > 30 s^{-1} \end{array} \right\} \dots (8)$$

$$\alpha = \frac{1}{5+9\frac{f'_c}{10}} , \log \gamma_s = 6.156\alpha - 2 \dots (9)$$

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

بالإضافة لاختلاف قيم معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون عن تلك الواردة
في الجدول (5) لتصبح:

الجدول (6) - معاملات المرونة والتشوهات الطولية للبيتون حسب أصناف البيتون
CEB 1990 المختلفة وفق توصيات

Concrete grade	C12	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
E_{ci} (10^3 MPa)	27	30.5	33.5	36.5	38.5	41	42.5	44.5
E_{cl} (10^3 MPa)	9	12.5	17.5	22	26.5	31	35.5	40
$\varepsilon_{c,lim}$ (10^{-3})	-5.0	-4.2	-3.7	-3.3	-3.0	-2.8	-2.6	-2.4

$$E_{c1} = f'_c / \varepsilon_{c1} \text{ و } \varepsilon_{c1} = -0.0022$$

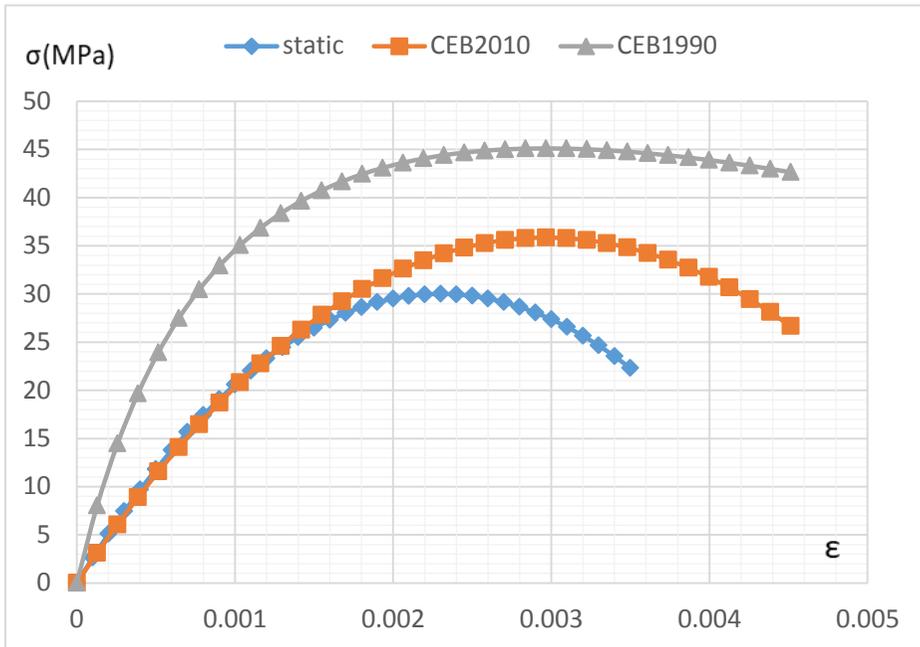
فيما يلي أمثلة تطبيقية لإيجاد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) للبيتون وتوضيح تأثير سرعات
التشوه عليه:

المثال (1) يدرس الفرق الحاصل في مخطط ($\sigma - \varepsilon$) حسب توصيات
CEB 2010 و CEB 1990 حيث أن $f'_c = 30MPa$ ومن أجل سرعة تشوه
 $\dot{\varepsilon} = 10 s^{-1}$

الجدول (7) - الفرق الحاصل في مواصفات البيتون $f'_c = 30MPa$ بين اصداري
الكود CEB الجديد والقديم

	CEB 2010		CEB 1990	
	المواصفات الستاتيكية	المواصفات الديناميكية	المواصفات الستاتيكية	المواصفات الديناميكية
E_{ci} (Mpa)	33600	46766.42	33500	46627.2
E_{cl} (Mpa)	16500	10114.3	17500	10574

□c1	0.0023	0.00297	0.0022	0.00284
□r	0.0033	0.00451	0.0037	0.00477
k	2.04	4.624	2.457	4.41



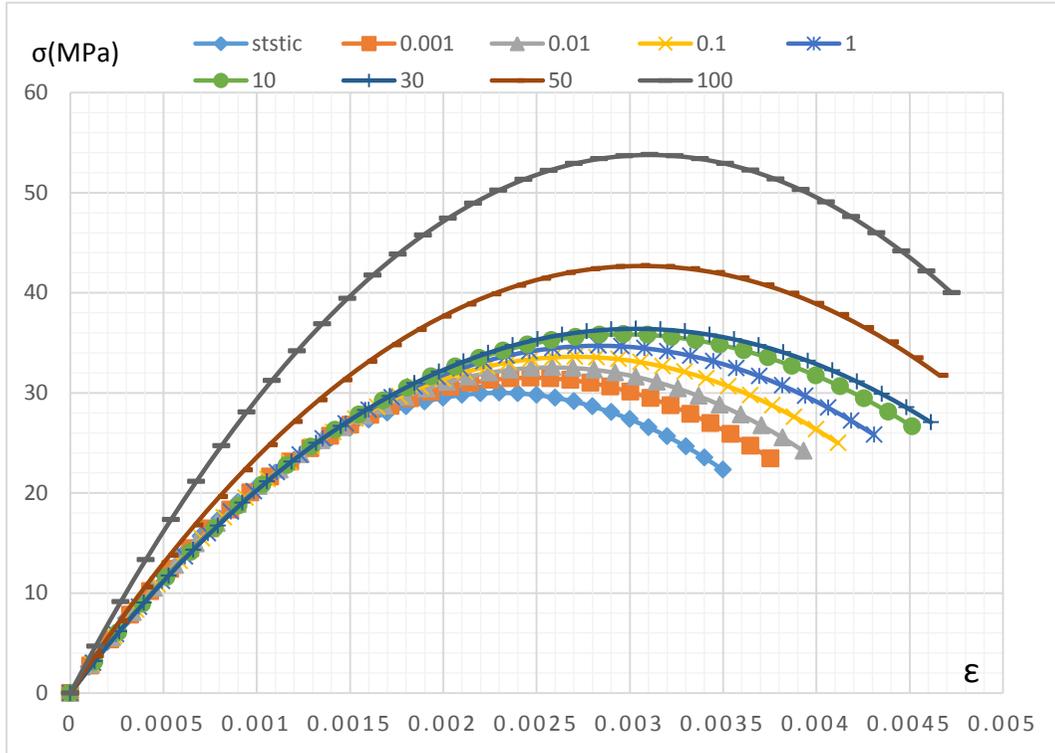
الشكل (9)- مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB- $f'_c = 30MPa$ و $\dot{\epsilon} = 10 s^{-1}$

نلاحظ أن الاختلاف بقيمة مقاومات البيتون بين الإصدار القديم والجديد للكود CEB تتراوح بين (20.5-61.4)% بالإضافة إلى أن ميل الجزء الهابط من المنحني في الإصدار الجديد أصبح أكبر حيث أن قيم معامل التضخيم الديناميكي:

وفق الإصدار CEB 1990 بلغت (1.503) ووفق الإصدار CEB 2010 بلغت
(1.195)

وبالمقارنة بين مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي والمخطط الناتج عن الإصدار
CEB 2010 نلاحظ تقارب كبير في الجزء الصاعد في حين يكون الفرق جوهرياً
في الجزء الهابط من المنحني

المثال (2) يدرس تأثير سرعات التشوه المختلفة والتي تتراوح ضمن المجال
 $\dot{\epsilon} = (0.001 - 100) s^{-1}$ على البيتون $f'_c = 30MPa$ وفق الإصدار
CEB 2010

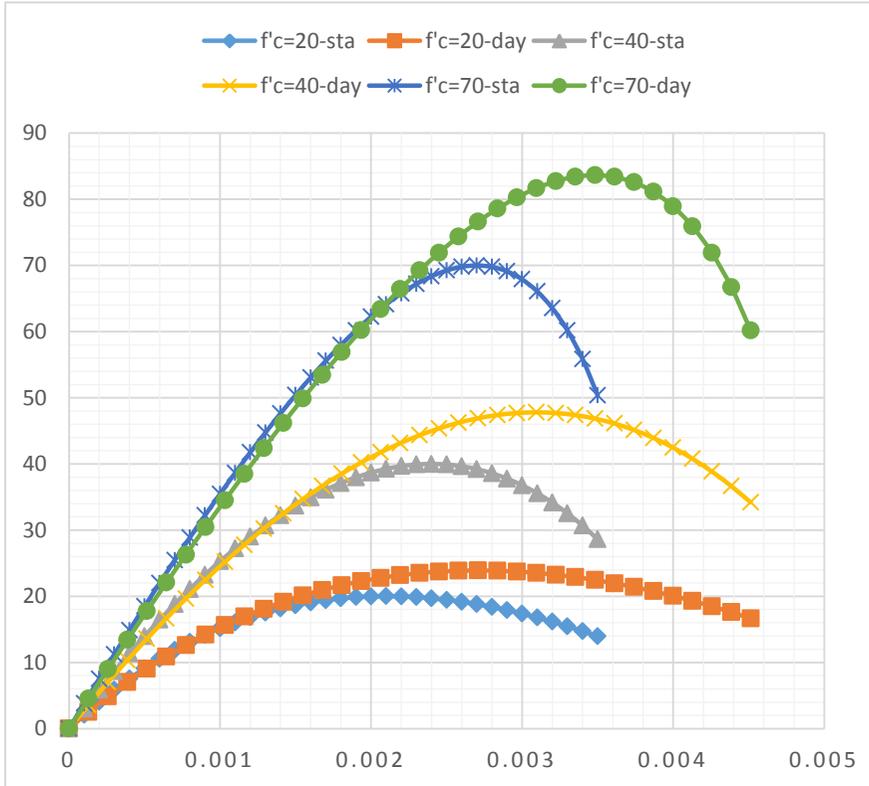


الشكل (10)- مخطط $(\sigma - \epsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB2010
ومن أجل سرعات تشوه $\dot{\epsilon} = (0.001 - 100) s^{-1}$ و $f'_c = 30MPa$

نلاحظ أن تأثير سرعة التشوه يكون واضحاً على الجزء الهابط من المخطط $(\sigma - \varepsilon)$ في حين أن الجزء الصاعد يبدي تقارباً كبيراً مع الحالة الاستاتيكية، ويكون تأثيرها واضحاً على كامل المخطط من أجل سرعات $\dot{\varepsilon} > 30 s^{-1}$

بالإضافة لذلك فإنه من الملاحظ ازدياد المقاومة المميزة للبيتون بازدياد قيمة سرعة التشوه بمقدار 1.05 مرة من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.001 s^{-1}$ وبمقدار 1.792 مرة من أجل $\dot{\varepsilon} = 100 s^{-1}$

وعند دراسة أصناف أخرى للبيتون عززت ذات الملاحظات السابقة، فمثلاً من أجل تثبيت قيمة لسرعة التشوه $\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$ ومن أجل مقاومات مميزة للبيتون $f'_c = (20 - 40 - 70)MPa$ كانت المخططات:



الشكل (11)- مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ للبيتون حسب توصيات CEB2010

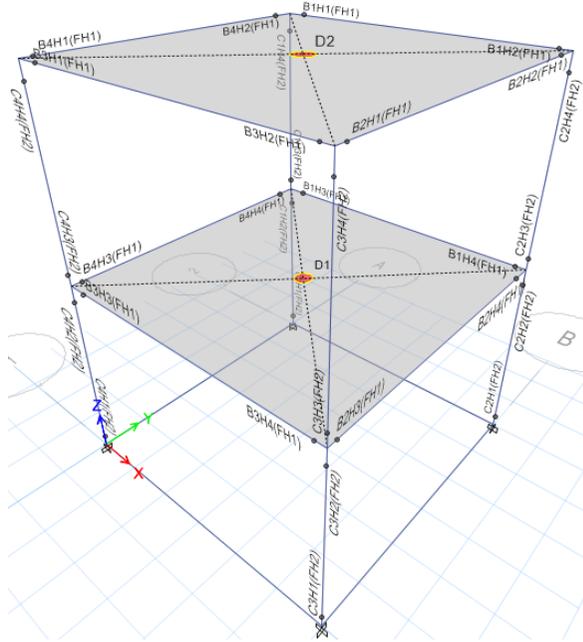
$f'_c = (20 - 40 - 70)MPa$ -المقاومات مميزة للبيتون $\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$

يضاف للملاحظات السابقة أن منطقة الذروة في مخطط ($\sigma - \epsilon$) تزداد تحديداً
بازدياد المقاومة المميزة للبيتون

4-3- المواد والطرق التجريبية للبحث:

3-4-1- النمذجة الحاسوبية للإطار على برنامج Etabs16:

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 نهايتي كل جائر حيث تم
اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول الجائر، ومن النوع (Fiber P-M2-)
نتيجة تشكل قوة محورية بالإضافة لعزمي انعطاف تقع هذه المفاصل على بعد
5% من نهايتي كل عمود، وتم اعتبار طول المفصل اللدن 10% من طول العمود،
يوضح الشكل الإطار المنذج:



الشكل (12)- الإطار المنذج حاسوبياً باستخدام الايتابس

3-4-2- مراحل التحليل الديناميكي:

(a) تعريف تابع السجل الزمني للهزة الأرضية:

وهو حسب ما ورد في الدراسة المرجعية المركبة AGW000 للهزة الأرضية Loma Prieta عام 1989 وقد تم إدخالها بالاستعانة بالموقع العالمي Peer Earthquake Database وذلك وفق الاتجاهين X و Y.

(b) تحديد طريقة التحليل:

تم اعتماد التحليل بطريقة السجل الزمني اللاخطي (Nonlinear Modal-FNA) فقد تبين بعد إجراء التحليل باستخدام التكامل المباشر أن الفارق بسيط بين الطريقتين في قيم الانتقالات لكن الفارق كان كبيراً من حيث الزمن اللازم للتحليل وهذا سببه اختلاف الطريقة الرياضية لحل المعادلات بين الطريقتين بالنسبة لمراحل الحل فهي على مرحلتين:

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

المرحلة الثانية: وهي إنشاء نماذج مع إدخال تأثير سرعات التشوه على مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ 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 $s^{-1} (0.001 - 100) = \dot{\varepsilon}$ 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 وقيمتها حسب ما ورد في الدراسة المرجعية $0.8g$

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

الاتجاه X هي $0.1695g$

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

$$S.F = \frac{0.8g}{0.1695g} \times 9810 = 46289.69$$

4- نتائج التحليل:

4-1- إيجاد التغير الحاصل في الانزياحات الطابقية والتسارعات:

توضح الجداول التالية الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية:

الجدول (8)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية نتيجة مخطط ($\sigma - \varepsilon$) الستاتيكي			
Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)
Story2	LC-X Max	3.172	65.908
Story2	LC-X Min	-3.27	62.744
Story1	LC-X Max	1.702	32.73
Story1	LC-X Min	-1.705	30.61
Base	LC-X Max	0.8	0
Base	LC-X Min	-0.618	0

نستنتج من هذا النموذج:

- إن قيمة الدورين الأول والثاني لهذا النموذج (0.262 sec) (0.078 sec) على الترتيب ونلاحظ التقارب الكبير لقيمة هذين الدورين مع النموذج المختبر.
- وجود فارق في قيمة الانزياحات للطابق الأول عن القيم التجريبية، وهذا يؤكد على ضرورة معرفة مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال.

الجدول (9)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.001s^{-1}$					
Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.798	62.459	0.197	-0.052

Story2	LC-X Min	-3.367	70.647	0.029	0.126
Story1	LC-X Max	1.999	31.107	0.175	-0.049
Story1	LC-X Min	-1.828	34.938	0.072	0.141
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (10)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.01s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.941	59.063	0.242	-0.104
Story2	LC-X Min	-3.374	69.842	0.032	0.113
Story1	LC-X Max	2.053	29.309	0.206	-0.104
Story1	LC-X Min	-1.860	34.988	0.091	0.143
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (11)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 0.1s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.689	58.191	0.163	-0.117
Story2	LC-X Min	-3.534	62.503	0.081	-0.004
Story1	LC-X Max	2.108	28.92	0.238	-0.116
Story1	LC-X Min	-1.914	31.593	0.122	0.032
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

الجدول (12)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 1s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	3.109	52.255	-0.020	-0.207
Story2	LC-X Min	-3.338	49.911	0.021	-0.205
Story1	LC-X Max	1.892	25.956	0.112	-0.207
Story1	LC-X Min	-1.778	25.179	0.042	-0.177
Base	LC-X Max	0.800	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (13)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 10s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.672	43.994	-0.158	-0.332
Story2	LC-X Min	-2.969	39.046	-0.092	-0.378
Story1	LC-X Max	1.534	21.963	-0.098	-0.329
Story1	LC-X Min	-1.576	19.334	-0.076	-0.368
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

الجدول (14)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\epsilon} = 50s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.299	37.012	-0.275	-0.438
Story2	LC-X Min	-2.617	32.234	-0.12	-0.486
Story1	LC-X Max	1.35	18.395	-0.207	-0.438
Story1	LC-X Min	-1.528	16.033	-0.104	-0.476
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-

Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-
------	----------	--------	---	---	---

الجدول (15)- الانزياحات الطابقية الأعظمية والتسارعات الأعظمية من أجل $\dot{\varepsilon} = 100s^{-1}$

Story	Load Case	UX/g	Dis(mm)	ΔUX	ΔDis
Story2	LC-X Max	2.024	33.647	-0.362	-0.489
Story2	LC-X Min	-2.456	27.715	-0.249	-0.558
Story1	LC-X Max	1.243	16.669	-0.27	-0.491
Story1	LC-X Min	-1.496	13.804	-0.123	-0.549
Base	LC-X Max	0.8	0	-	-
Base	LC-X Min	-0.618	0	-	-

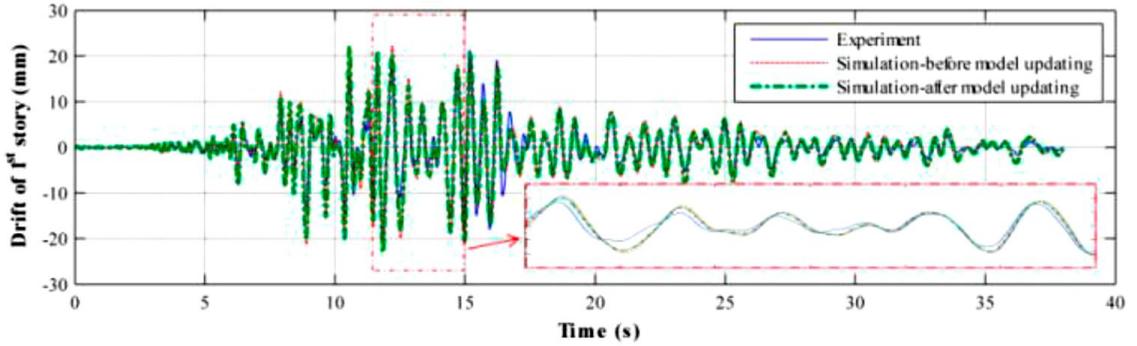
يتضح من الجداول السابقة أن قيم الانزياحات والتسارعات تتناقص بازدياد قيمة سرعة التشوه وهذا سببه يعود لازدياد قيمة معامل مرونة البيتون.

4-2- تحديد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال:

يتم تحديد مخطط ($\sigma - \varepsilon$) المعبر عن السلوك الفعلي للبيتون أثناء الزلزال عن طريق مقارنة استجابة الإطار المختبر على طاولة الاهتزاز مع استجابة النماذج التحليلية التي بيّنا نتائجها في الجداول السابقة، وحسب ما هو متوفر من نتائج الدراسة المرجعية [5] تم اعتماد القيم الأعظمية لانزياحات الطابق الأول المبينة بالجدول (16)، بالإضافة للشكل العام للسجل الزمني لانزياحات هذا الطابق المبين في الشكل (13) كمعيار للمقارنة.

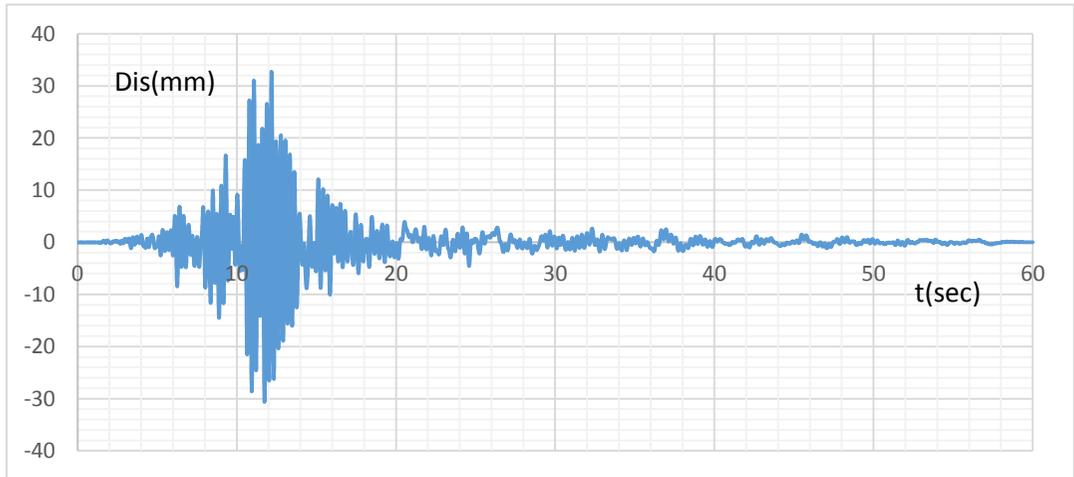
الجدول (16)- الانزياحات الأعظمية للطابق الأول الناتجة عن التجربة

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

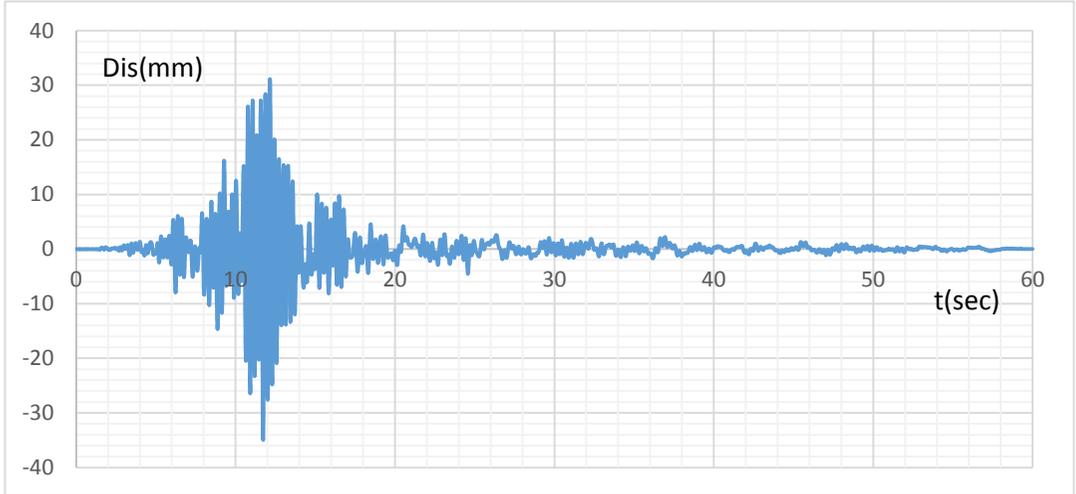


الشكل (13)- انزياحات الطابق الأول للإطار المختبر على منصة الاهتزاز

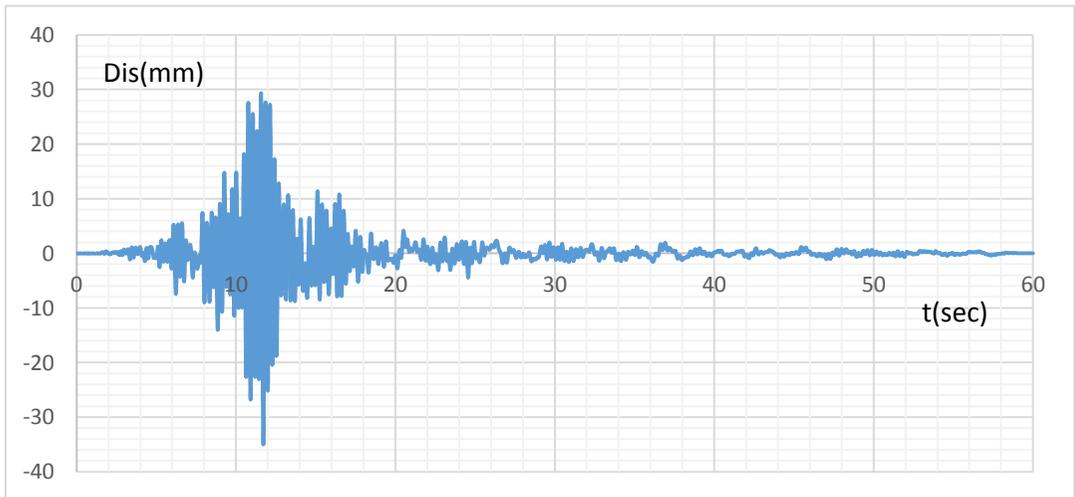
وبالنسبة للسجل الزمني للانزياحات الناتجة عن النموذج المحلل باستخدام البرنامج:



الشكل (14)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج نتيجة مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ الستاتيكي

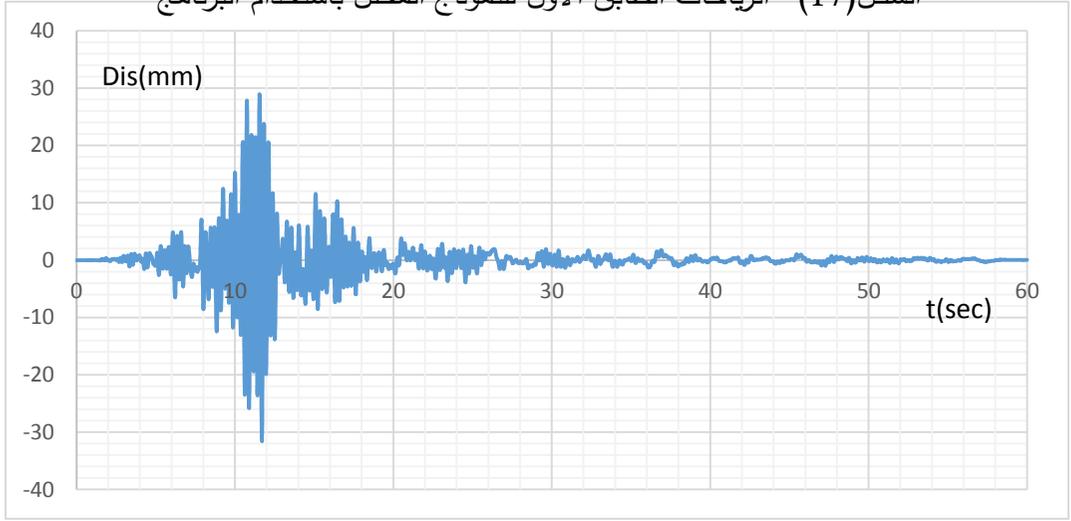


الشكل (15)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج $\dot{\varepsilon} = 0.001s^{-1}$

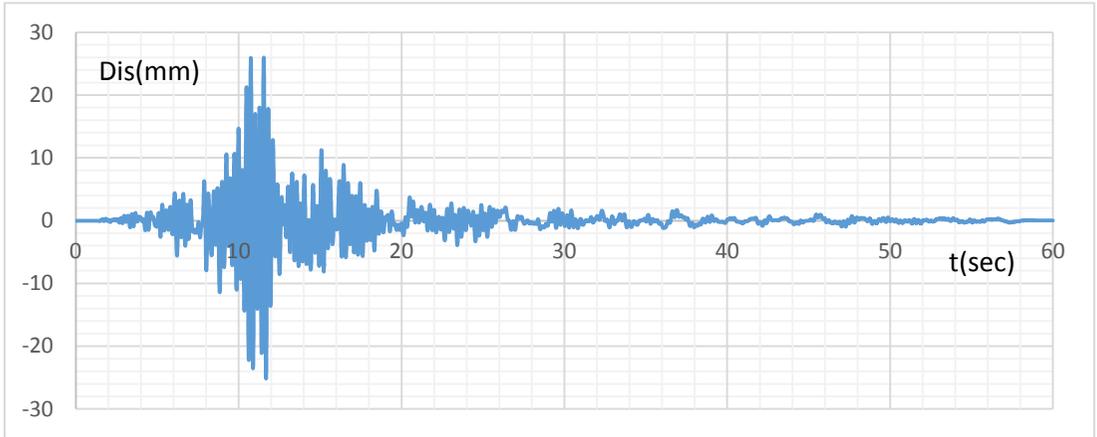


الشكل (16)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج $\dot{\varepsilon} = 0.01s^{-1}$

الشكل (17)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

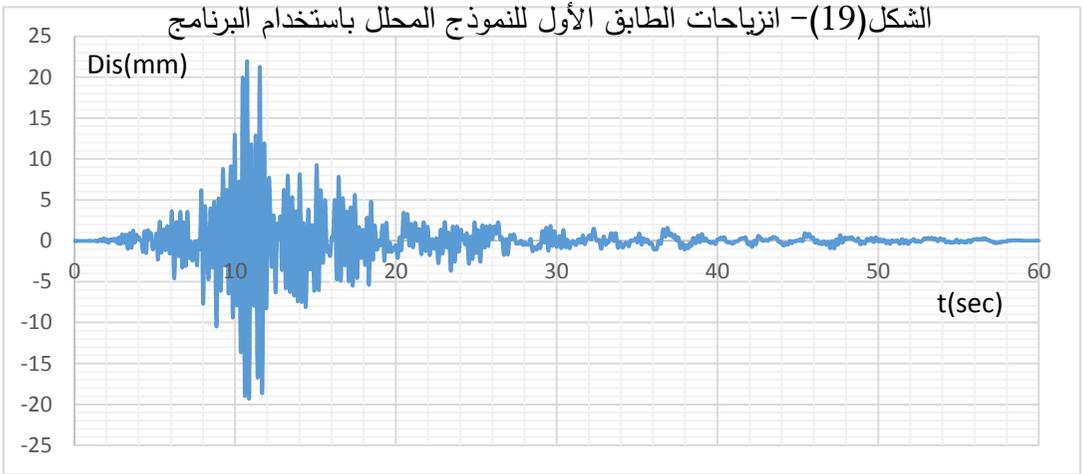


$$\dot{\epsilon} = 0.1s^{-1}$$

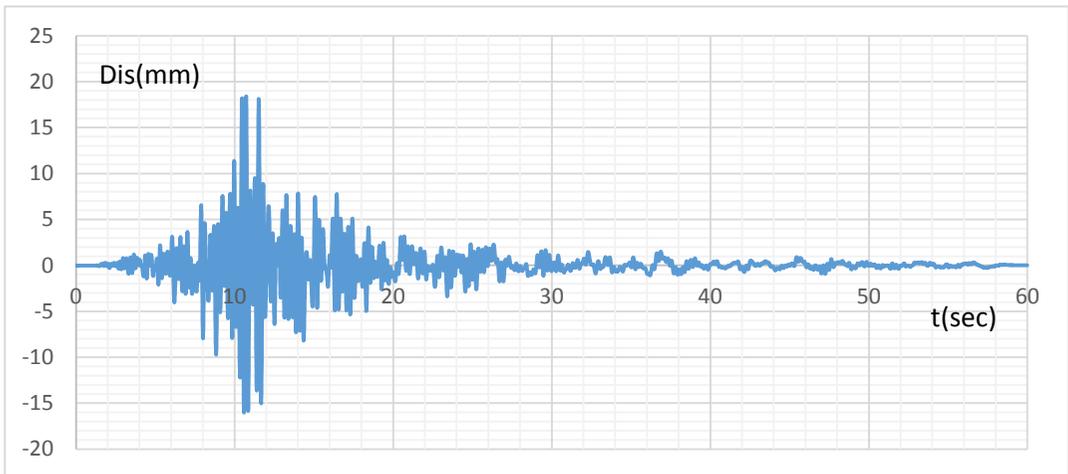


الشكل (18)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

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

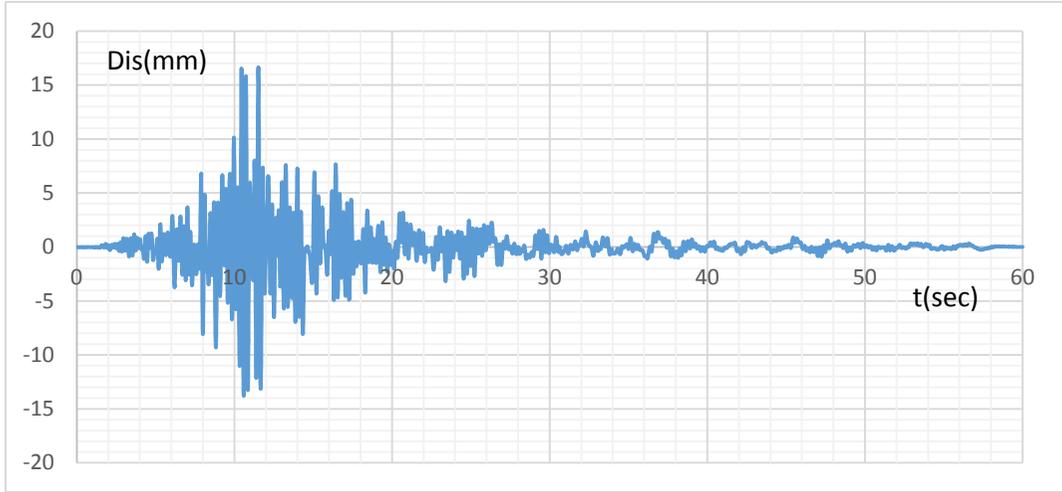


$$\dot{\varepsilon} = 10s^{-1}$$



الشكل (20) - انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

$$\dot{\varepsilon} = 50s^{-1}$$



الشكل (21)- انزياحات الطابق الأول للنموذج المحلل باستخدام البرنامج

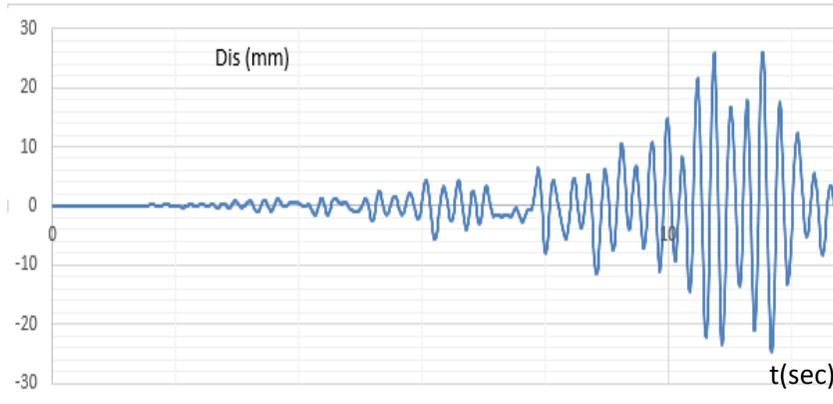
$$\dot{\varepsilon} = 100s^{-1}$$

نلاحظ أن نتائج النموذج الذي بلغت فيه سرعة التشوه $\dot{\varepsilon} = 1s^{-1}$ الشكل (18)

هي أكثر النتائج تقارباً مع نتائج السجل الزمني للانزياحات الناتجة عن التجربة

والموضح في الشكل (13)

بتكبير مقياس الرسم لمنطقة الانزياحات الأعظمية ($t=0-12 \text{ sec}$):

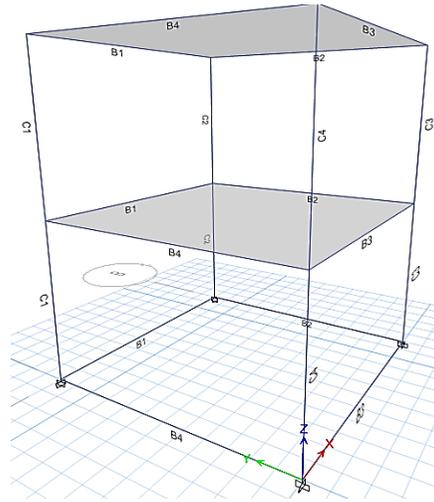


الشكل (19)- الانزياحات الأعظمية للطابق الأول ضمن المجال ($t=0-12 \text{ sec}$)

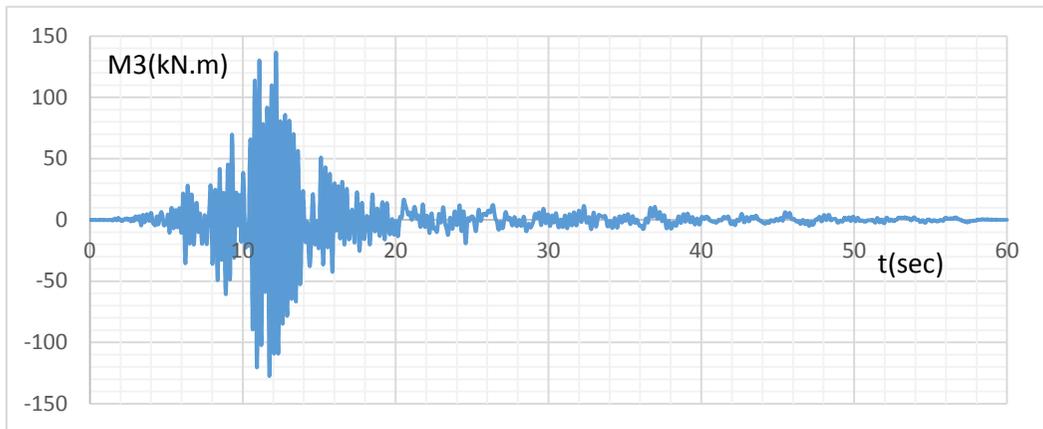
من هذا الشكل نلاحظ التقارب بالقيم والشكل بين النتائج المخبرية والتحليلية، وتعزى قيمة الفارق إلى اعتبار قيمة التخميد ثابتة في التحليل بالإضافة لإهمال الاحتكاك بين الطاولة والإطار.

4-3- حساب التغير الحاصل في القوى الداخلية لعناصر الإطار:

توضح المخططات التالية القوى الداخلية للمقطع 1-1 من الإطار الموضح في الشكل (20)

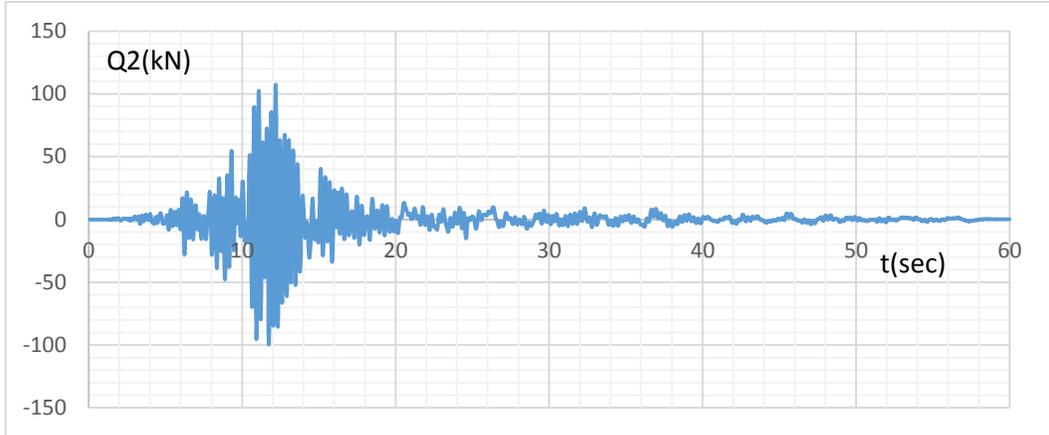


الشكل (20)- المقطع 1-1 المدروس من الإطار

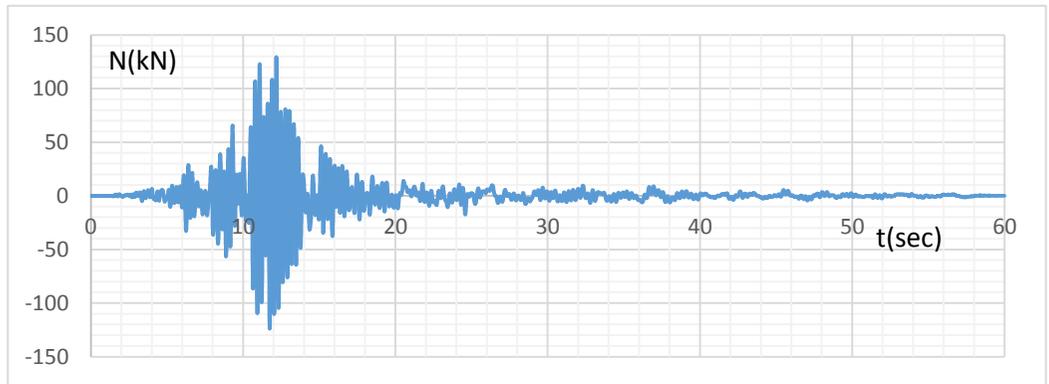


الشكل (21)- العزم M_3 في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \varepsilon)$ الستاتيكي

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة



الشكل (22)- قوة القص Q_2 في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي



الشكل (23)- القوة المحورية N في المقطع 1-1 نتيجة مخطط $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي

ويوضح الجدول (17) القيم الأعظمية للقوى الداخلية لهذا النموذج:

الجدول (17)- القوى الداخلية في المقطع المدروس للنموذج $(\sigma - \epsilon)$ الستاتيكي			
	عزم الانعطاف $M_3 (kN.m)$	قوة القص $Q_2 (kN)$	القوة المحورية $N (kN)$
max	136.716	107.310	129.407
min	-127.487	-99.791	-124.173

وتوضح الجداول التالية القيم الأعظمية للقوى الداخلية في المقطع المدروس للنماذج

النتيجة عن سرعات التشوه المختلفة ونسبة التغير الحاصل فيها عن النموذج السابق:

الجدول(18)- التغير الحاصل في عزم الانعطاف							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة عزم الانعطاف في المقطع المدروس $M_3(kN.m)$						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	142.42	142.23	149.03	142.22	127.71	111.21	102.59
min	-159.42	-170.26	-163.69	-138.58	-112	-96.86	-85.02
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							
max	0.042	0.040	0.090	0.040	-0.066	-0.187	-0.250
min	0.250	0.335	0.284	0.087	-0.122	-0.240	-0.333

الجدول(19)- التغير الحاصل في قوة القص							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة قوة القص في المقطع المدروس Q2 (kN)						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	111.91	111.63	117.03	111.95	100.44	87.25	80.90
min	-124.87	-133.96	-129.18	-109.60	-87.76	-75.94	-66.74
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							
max	0.043	0.040	0.091	0.043	-0.064	-0.187	-0.246
min	0.251	0.342	0.295	0.098	-0.121	-0.239	-0.331

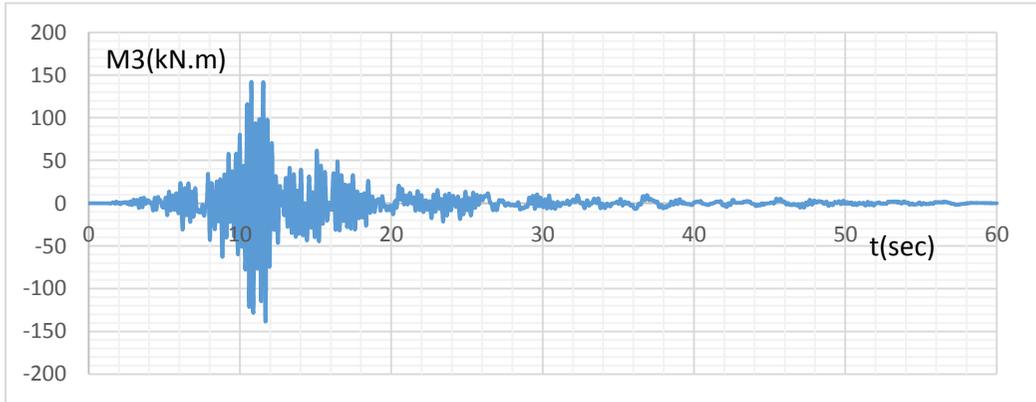
الجدول(20)- التغير الحاصل في القوة المحورية							
سرعة التشوه (s^{-1})	قيمة القوة المحورية في المقطع المدروس N (kN)						
	0.001	0.01	0.1	1	10	50	100
max	111.91	111.63	117.03	111.95	100.44	87.25	80.90
min	-124.87	-133.96	-129.18	-109.60	-87.76	-75.94	-66.74
نسب الفرق بين نماذج ($\sigma - \epsilon$) الناتج عن سرعات التشوه والنموذج ($\sigma - \epsilon$) الستاتيكي							

تأثير مخطط (الإجهاد- التشوه) الناتج عن سرعات التشوه المختلفة على استجابة المنشآت
الإطارية البيتونية المسلحة

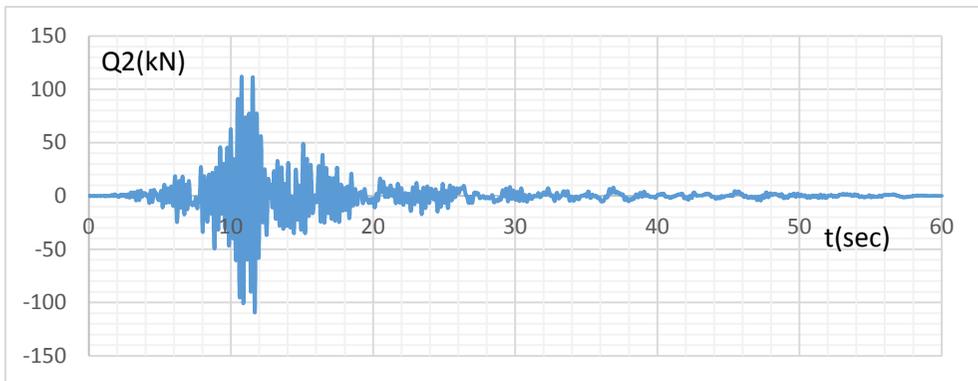
max	0.043	0.040	0.091	0.043	-0.064	-0.187	-0.246
min	0.251	0.342	0.295	0.098	-0.121	-0.239	-0.331

نلاحظ ازدياد القوى الداخلية بالمقطع المدروس وفق النسب الواردة في الجداول السابقة من أجل سرعات التشوه $\dot{\epsilon} < 1 \text{ s}^{-1}$ وتتخفف قيمتها من أجل السرعات الأكبر، كما ونلاحظ أن النموذج الناتج عن سرعة تشوه قدرها $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$ (وهو ذاته النموذج الأكثر تقارباً مع الدراسة التجريبية) أعطى أقل تغير في القوى الداخلية بين النماذج المدروسة.

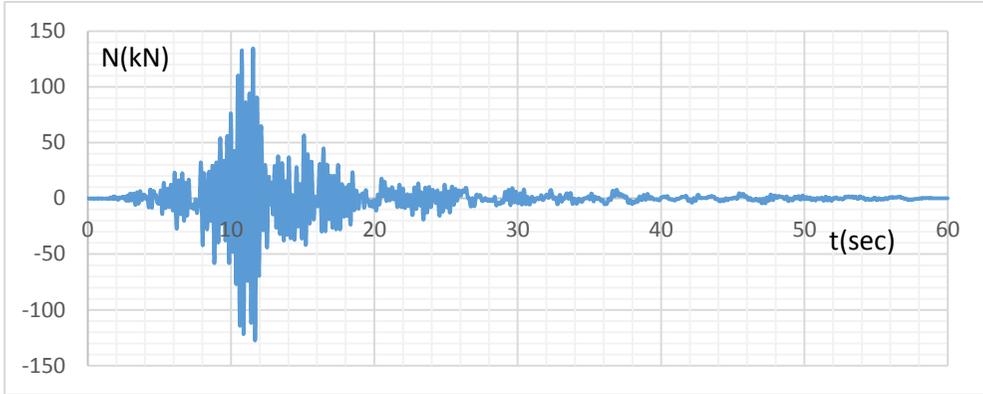
وتوضح المخططات التالية القوى الداخلية للمقطع المدروس للنموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$:



الشكل (24)- العزم M_3 في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$



الشكل (25)- قوة القص Q_2 في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$



الشكل (26)- القوة المحورية N في المقطع 1-1 من أجل النموذج $\dot{\epsilon} = 1 s^{-1}$

5- النتائج والتوصيات:

- (1) إن تأثير سرعة التشوه يكون جلياً على منطقة الذروة والجزء الهابط من مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون والتي عندها تبدأ المفاصل اللدنة بالتشكل
- (2) تزداد المقاومة المميزة للبيتون بازدياد سرعة التشوه بمقدار (1.79-1.05) وذلك من أجل سرعات التشوه التي تتراوح ضمن المجال $\dot{\epsilon} = (100 - 0.001) s^{-1}$
- (3) يزداد كل من معامل المرونة والتشوه الأقصى للبيتون بازدياد سرعة التشوه بمقدار (1.48-1.095) و (1.35-1.073) على التوالي وذلك من أجل سرعات التشوه التي تتراوح ضمن المجال $\dot{\epsilon} = (100 - 0.001) s^{-1}$
- (4) تتناقص الانزياحات الطابقية نتيجة تأثير مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوه متزايدة وسبب ذلك يعود للزيادة الحاصلة في معامل مرونة البيتون، ويتم تحديد مخطط الإجهاد-التشوه للبيتون الملائم لمنشأ ما معرّض لهزة أرضية عن طريق مقارنة نتائج استجابته المخبرية والحاسوبية.
- (5) تتناقص التسارعات الطابقية نتيجة تأثير مخطط إجهاد-تشوه للبيتون الناتج عن سرعات تشوه متزايدة قيمتها $10 s^{-1} > \dot{\epsilon}$ وتزداد قيمتها من أجل $\dot{\epsilon} < 10 s^{-1}$

6) تزداد القوى الداخلية في مقاطع العناصر نتيجة استخدام مخطط (إجهاد-تشوه) الناتج عن سرعات التشوه $1 s^{-1} < \dot{\epsilon}$ وتتنخفض قيمتها من أجل السرعات الأكبر، ومن الملاحظ أن المخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون الملائم للمنشأ يعطي أقل فارق حاصل في قيم القوى الداخلية.

بالاعتماد على النتائج السابقة يمكن:

1) العمل على ربط مخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون الناتج عن سرعة تشوه معينة مع الشدة الزلزالية للهزة الأرضية التي يتعرض لها المنشأ

2) العمل على اختبار فكرة البحث من أجل جمل إنشائية أخرى كجدران القص

-6 المراجع:

- 1- SPECIAL ACTIVITY GROUP 5, 2012- CEB-FIP-Modal Code2010. Final Draft, Volume1, The International Federation for Structural Concrete, Switzerland, 357p.
- 2- SPECIAL ACTIVITY GROUP 5, 1991- CEB-FIP-Modal Code1990. Final Draft, Volume1, The International Federation for Structural Concrete, Switzerland, 462p.
- 3- SHEN DEJIAN, LU XILIN, 2008- Experimental Study on Dynamic Compressive Properties of Microconcrete under Different Strain Rate, Beijing University, China, 8 pages.
- 4- 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, 15 page.
- 5- 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.
- 6– Dr.MAŁGORZATA PAJAŁ, 2011– The Influence of the Strain Rate on the Strength of Concrete Taking into Account the Experimental Techniques, the Silesian University of Technology, Poland, (77–87)p.
- 7– 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.
- 8– EDWARD L. WILSON, 2002– Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, University of California at Berkeley, U.S.A, 423p.

حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم

م. ألاء علي الحسن¹ أ. د عادل يوسف جرجي²

الملخص

يعزز استخدام المواد البوليمرية وفق التقنيات المستخدمة بشكل كبير من الموثوقية الهيدروليكية لعمل الأنظمة التصميمية من حيث حماية المشغلين من الأخطار الناجمة عن الصدمة الهيدروليكية من جهة، وتخفيض الكلفة الاقتصادية لتجهيزات الحماية من جهة أخرى، تم دراسة تأثير تطعيم خط ضخ قرية عين السودة بنسب مختلفة من مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة في موقعين (البداية - المنتصف) وإيجاد العلاقة الرياضية الرابطة بين نسبة التطعيم ونسبة انخفاض الضغط الأعظمي عن قيمته بدون تطعيم، وقد أظهرت النتائج أن مكان التطعيم أثر في انخفاض قيم الضغوط الأعظمية فكلما كان مكان التطعيم أقرب إلى الجهاز المسبب للصدمة الهيدروليكية (المضخة) كان له أثر أكبر في تخفيض قيم الضغوط العالية الناتجة عنها بالإضافة إلى انخفاض ملحوظ في حجم بخار الماء المتشكل عن الصدمة الهيدروليكية.

ولتبيان تأثير تطعيم جزء من خط الضخ على حجم خزان الضغط المضاف للشبكة أجريت مقارنة اقتصادية للسيناريوهات الأفضل هيدروليكياً، وأكدت النتائج على أفضلية عملية التطعيم بدل من شراء وتركيب خزان ضغط كبير الحجم، وإن الحل الأمثل والأقل تكلفة هو استخدام خزان صغير (100 Liter) مع تطعيم بنسبة (10%)، ويمكن أيضاً عن طريق زيادة نسبة التطعيم الاستغناء عن تركيب خزان الضغط.

الكلمات المفتاحية: الصدمة الهيدروليكية، الضخ، الأنابيب، خزان.

¹ طالبة ماجستير في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية

² أستاذ في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

Protection of Ain Al-Soudah Pumping Pipes from Hydraulic Hammer Using Pipes Made of Different Material

Prof. Dr. Adel Yousef Georgi ¹

Eng. Alaa Ali Al_Hassan ^{II}

Abstract

The use of polymeric materials according to the used technologies greatly enhances the hydraulic reliability of the work of the design systems in terms of protecting operators from the dangers caused by water hummer on the one hand, and reducing the economic cost of protection equipment on the other hand. therefore, we studied the effect of replacing a part of Ain Al-Souda pumping pipe were studied different percentages of high-density polyethylene pipe in three locations (beginning - middle).also we find the mathematical relationship between the ratio of replacing parts and the ratio of maximum pressure drop under its value without the replacing process .

The results showed that the place of replacing affected the decrease in the maximum pressure values. The closer the replacing part site was to the device causing the water hummer (pump) had a greater effect in reducing the high pressure values that result of it , in addition to a noticeable decrease in the volume of water vapor formed by the water hummer.

In order to show the effect of replacing process in a part of the pumping pipe, on the volume of the pressure tank added to the network, an economic comparison was accomplished for the best hydraulic scenarios, and the results confirmed the preference of the replacing parts process instead of buying and installing a large pressure tank. The best and least expensive solution is to use a small tank (100 Liter) with 10% replacing ratio, and by increasing the percentage of replacing parts, it is also possible to dispense with the installation of a pressure tank.

Keywords: Water hummer, pumping, pipe, Tank.

¹ Professor, Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria.

^{II} Postgraduate Student, Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria.

1- مقدمة

تعتبر الصدمة الهيدروليكية حدث مهم يتكرر في الأنظمة الهيدروليكية لعدة أسباب ولها دور في تعطيل هذه الأنظمة وانهيارها إذا لم تعالج بالشكل الصحيح، وتعتبر الأنابيب جزء مهم من المنظومة الهيدروليكية نظراً للدور الكبير الذي تلعبه مادة الأنابيب في تشكل الضغوط الإضافية وتخميدها التي تنشأ عند حالة الجريان العابر.

الصدمة الهيدروليكية بالتعريف هي: ارتفاع أو انخفاض يطرأ على الضغط الهيدروديناميكي لسائل في أنبوب مضغوط نتيجة تغير سرعة هذا السائل مع الزمن في مقطع من هذا الأنبوب. يمكن أن تنتج عن هذه الصدمة قوة كبيرة يجب أخذها بعين الاعتبار عند حساب سماكة جدران الأنابيب. وقد تكون في بعض الأحيان مدمرة وخطيرة على أمان المشغلين (Stevanovic, V. D. 2009)، الشكل (1).



(b)

(a)

الشكل (1): أضرار الصدمة الهيدروليكية: (a): تحطم صمام نحكم؛ (b): تحطم فلنجة وصل.

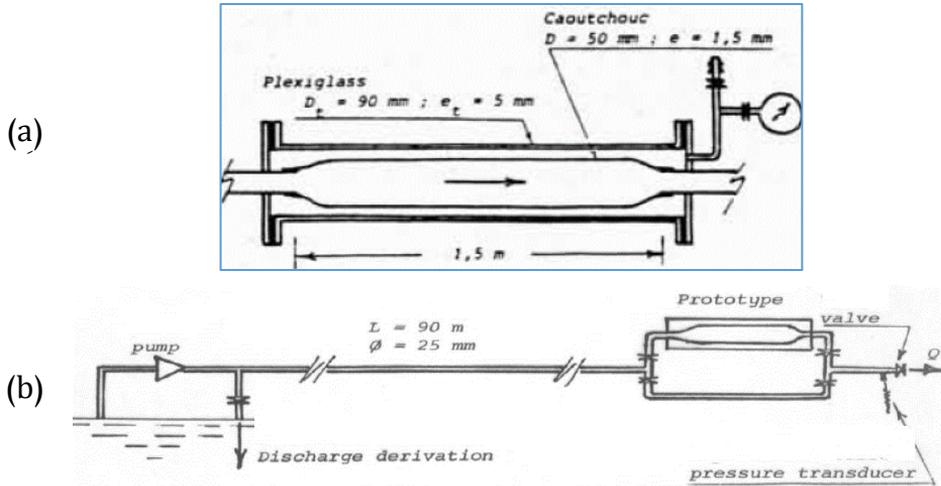
في الواقع يجب على المصمم أن يجد إجابة على سؤال دقيق، فيما إذا كان عليه أن يزيد من متانة الأنابيب وتجهيزات الشبكة على حد سواء لتحمل موجات الضغط (موجب/سالب) العابرة، أو أنه يجب عليه تصميم الحماية المناسبة للصدمة الهيدروليكية والتي ستسمح بالحفاظ على الضغوط غير المستقرة في الأنابيب ضمن الحدود المسموحة، وقد تكون الطريقة الأكثر جاذبية من الناحية العملية هي الجمع بين عدد من أجهزة

الحماية لضمان السيطرة على تغيرات الصعود والهبوط في الضاغط، وهذا يترافق مع عيوب التنفيذ العملي باختلاف نوع المادة، أو التوقف الآلي المفاجئ للنظام الهيدروليكي الذي ينعكس بتحميل جزئي للآليات الهيدروليكية (Pothof & Karney 2012). وبسبب الطبيعة المعقدة للصدمة الهيدروليكية، يمكن أن يؤدي الجهاز الذي يهدف إلى إصلاح حالة موجة صدمة عابرة إلى تفاقم حالة أخرى ناتجة عن اختيار جهاز حماية غير مناسب أو موقع تثبيت غير صحيح في النظام الهيدروليكي (Boulos, P. F; et al 2005).

ولتغلب على القيود المذكورة أعلاه، أجريت أبحاث متزامنة حول موضوع التحكم بالصدمة الهيدروليكية في الأنابيب المضغوطة من قبل (Massouh, F 2009) الذي قدم تقنية هيدروليكية أطلق عليها "ممتص الصدمات"، يمكن أن تخفض التغيرات في الضاغط (موجب/سالِب) المرافقة لحدوث صدمة مائية حادة ناجمة عن الأغلاق المفاجئ للصمام في نهاية أنبوب الضخ، من خلال تخفيض سرعة انتشار الموجة العابرة بالكامل عبر مقطع من الأنبوب قابل للتشوه مثبت في حلقة مع صمامات تسمح لموجة الصدمة بالمرور أما ضمن جهاز الامتصاص أو الفرع الفولاذي الأخر، كما هو موضح في الشكل (2)، وقد أظهرت نتائج المحاكاة والقياسات التجريبية فعالية هذه التقنية في الحماية من الصدمة، حيث نتج عن الأغلاق المفاجئ للصمام ارتفاع زائد بالضغط مقداره (26 bar) في الفرع الفولاذي للحلقة، وعند مرور الموجة من خلال "ممتص الصدمات" يظهر الاختبار أن الضغط الزائد ضئيل نسبياً (أقل من 2 bar) ويتغير الضغط ببطء باتجاه الحالة المستقرة.

وهذه الدراسة كانت استكمال لدراسات سابقة على السلوك اللزج (Viscoelasticity) للمواد البوليميرية من خلال الاستجابة المتأخرة لتمدد/تقلص جدار الأنبوب فيما يتعلق بتقلبات الضغط، على النقيض من الأنابيب المرنة (Elastic pipes) حيث لا يوجد

تأخير بين ارتفاع/انخفاض الضغط وتمدد/تقلص جدار الأنابيب (Ramos, H; et al 2004). وبالتالي يمكن استخدامها بشكل مفيد في تخميد الصدمة الهيدروليكية بناء على التقنية المقدمة سابقاً من قبل (Massouh & Comolet 1984) والتي اقتصر التحقق منها على استخدام المواد البوليميرية كمخمد لموجة الضغط الموجب الناتج عن الصدمة الهيدروليكية.



الشكل (2): النظام الهيدروليكي لتحكم بالصدمة الهيدروليكية: (a): النموذج التجريبي؛ (b): مقطع في الشبكة. اختبر حديثاً (Triki, A. 2016) فعالية تقنية مشابهة للحماية من موجات الصدمة الهيدروليكية التي تسببها صمامات الأغلاق في النظام الهيدروليكي ضمن الأنابيب الفولاذية. وتعتمد هذه التقنية على استبدال مقطع قصير من الأنابيب الرئيسية بآخر مصنوع من مادة بوليميرية، وإجراء اختبار تجريبي وفق السناريوهات الحرجة للضاغط في النظام الهيدروليكي، وباستخدام نوعين من المواد البوليميرية وهما: البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) والمنخفض الكثافة (LDPE).

لمعالجة المشكلة عددياً، أجريت نمذجة أحادية البعد (1-D) للتصريف باستخدام صيغ نموذج راموس (Ramos, H; et al 2004) المستخدمة لوصف سلوك جدران الأنابيب

وتأثير الاحتكاك في الظروف غير المستقرة للجران، بالتوافق مع استخدام خوارزمية طريقة شبكة المميزات (FG-MOC) لحل المعادلات الحاكمة للصدمة الهيدروليكية. وأوضحت الدراسة (Triki, A. 2016) أن تقنية الحماية المقترحة هي تقنية فعالة لتخميد موجات الضغط (الموجب/السالب) الشديدة للصدمة الهيدروليكية. ويمكن ملاحظة أن التقنية المستخدمة توفر تخميدياً كبيراً لارتفاع الضغط الأولي لموجة الصدم الموجبة والسالبة، وتخميد الضغط هذا يكون أكثر وضوحاً عند استخدام مادة بوليمرية منخفضة الكثافة (LDPE) للأجزاء القصيرة المستبدلة مقارنة باستخدام مادة بوليمرية عالية الكثافة (HDPE)، كما هو موضح في الشكل (3). ويظهر أيضاً من خلال فحص حساسية ذروة الضغط مع متغيرات التحكم بالصدمة المقصورة على حجم المقطع (الطول، القطر) القصير المستبدل، أن الأحجام الكبيرة للقسم القصير توفر تخميدياً كبيراً لارتفاع الضغط. علماً أن هذا الارتباط ليس له أهمية أكثر من تحديد قيمة القطر والطول الأمثل للنظام الهيدروليكي المدروس.

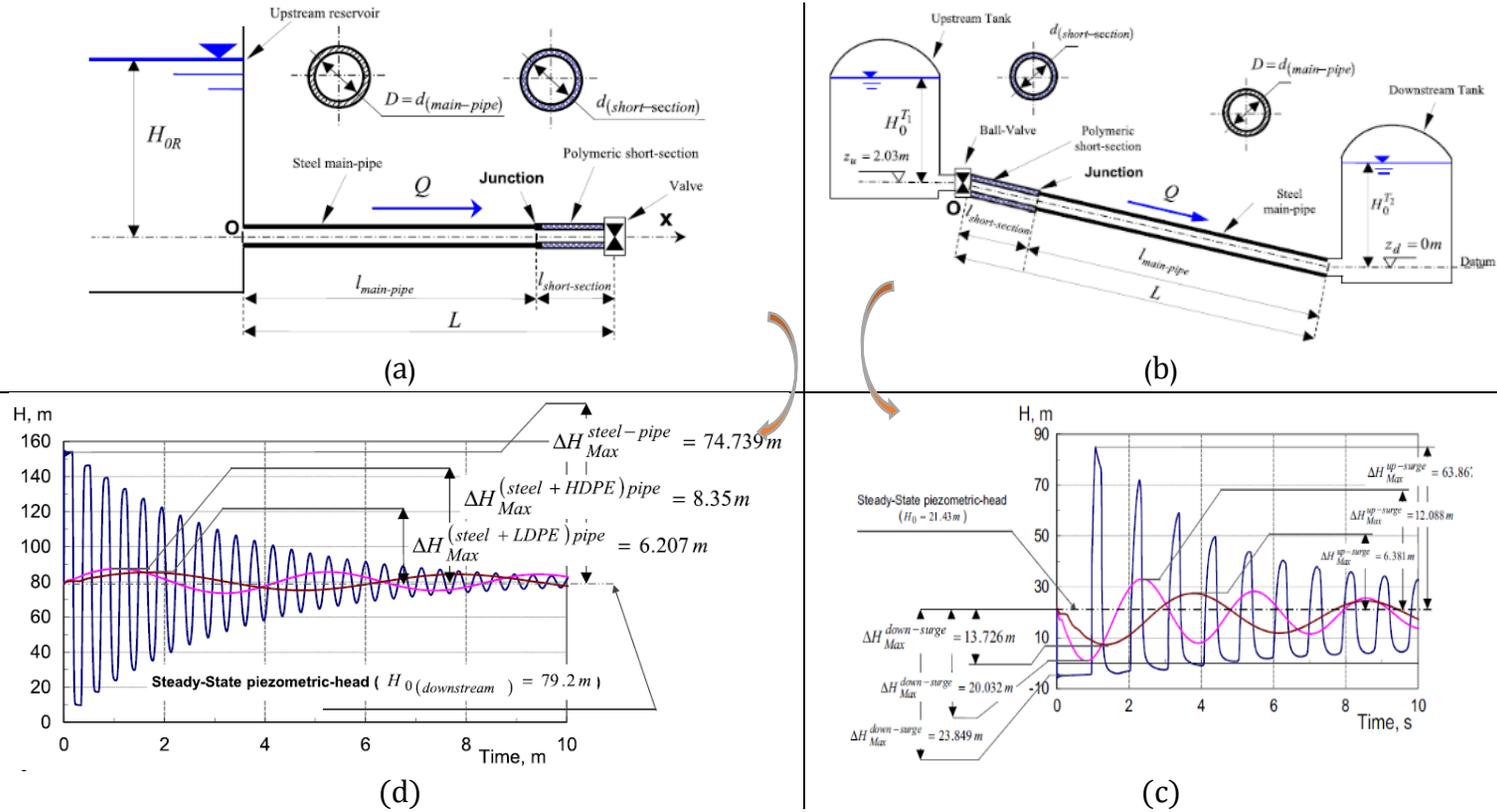
فعالية مثل هذا النهج مبررة من خلال التحقق التجريبي لقدرة التقنية على تجنب موجات الصدمة الهيدروليكية الشديدة مقارنة بالأدبيات العلمية ذات الصلة والقياسات التجريبية. علماً أن هذه الاستراتيجية قد تم إلقاء الضوء عليها سابقاً من قبل (Pezzinga, G. 2002) إلا أنها اقتصرت على استخدام مواد بوليمرية عالية الكثافة (HDPE) كمثبط للصدمة، والحالة المدروسة مرتبطة فقط بموجة الضغط السالب للصدمة. في حين ان الورقة العلمية (Triki, A. 2016) بحثت في سيناريوهات الارتفاع الموجب والسالب للضغط وباستخدام نوعين من المواد البوليميرية (HDPE/LDPE). بهدف تعزيز موثوقية هذه التقنية استكمل (Triki, A. 2017) أبحاثه الهادفة إلى التحكم في التغيرات المفاجئة للضغط (موجب/سالب) في المناطق الحساسة لحدوث الصدمة الهيدروليكية حادة في الأنابيب الفولاذية، وعمدً إلى استخدام أنبوب ضغط قصير وفق تقنية (Penstock) متفرع

جانبياً ومصنوع من نوعين من المواد البوليميرية (HDPE/LDPE)، كما هو موضح في الشكل (4).

وأظهرت نتائج المقارنة مع الأدبيات العلمية والنتائج التجريبية أن استخدام تقنية (Penstock) متفرع جانبياً يمكن أن تخفف ويشكل كبير من التغيرات الحادة في الضغط الناجم عن موجات الصدمة الهيدروليكية. كما وجد أن حجم (Penstock) والمواد المستخدمة فيه تمثل العوامل الرئيسية التي تؤثر على معدل التخماد الرأسي للضغط (موجب/سالب)، مع ملاحظة وجود تخميد كبير في قيمة الضاغظ الأولي لموجة صدم سالبة في حال استخدام مادة منخفضة الكثافة مقارنة باستخدام مواد عالية الكثافة، وهذا يشير بأن المواد الأكثر قابلية لتشوه ستكون واعدة في إنتاج تخفيض أكبر لزيادات الضغط.

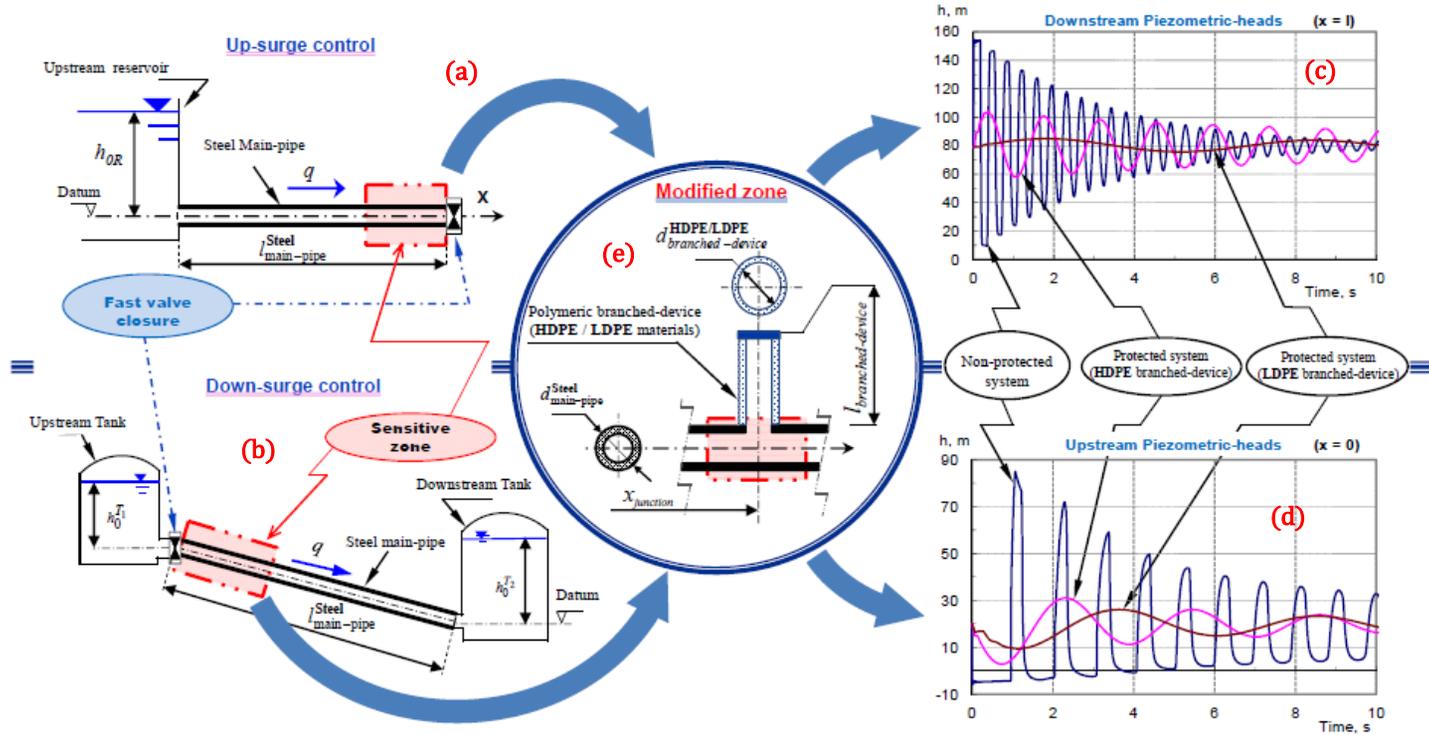
وبالمقارنة مع الاستراتيجية السابقة (Triki, A. 2016) يمكن القول إن معدلات التخماد الرأسية للضاغظ متماثلة تقريباً، غير أن فترة تذبذب موجة الصدم على الزمن أكبر في استراتيجية (Penstock). ومن حيث التنفيذ فأن الاستراتيجية الأخيرة سهلة التنفيذ ولا تتطلب تفكيك جزء من خط الأنابيب الفولاذي. بالإضافة إلى أن هذه الاستراتيجية قد تتجنب الأثر الهيدروليكي التراكمي لأجهزة الحماية المتعددة في خطوط الضخ.

حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم



الشكل (3): النظام الهيدروليكي للتحكم بالصدمة الهيدروليكية:

- (a): الصمام في نهاية الأنابيب (ضغط موجب)؛ (b): الصمام في بداية الأنابيب الهابط (ضغط سالب)؛
 (c): تغير الضغط في الحوز السفلي للأنبوب (downstream) مع وبدون وجود جهاز التحكم؛
 (d): تغير الضغط في الحوز العلوي للأنبوب (upstream) مع وبدون وجود جهاز الحماية من الصدمة.



الشكل (4): النظام الهيدروليكي لتحكم بالصدمة الهيدروليكية:

(a): الصمام في نهاية الأنبوب (ضغط موجب)؛ (b): الصمام في بداية الأنبوب الهابط (ضغط سالب)؛

(c): النموذج التجريبي؛

(d): تغير الضغط في الحوز السفلي (downstream) مع وبدون وجود جهاز التحكم؛

(e): تغير الضغط في الحوز العلوي (upstream) مع وبدون وجود جهاز التحكم.

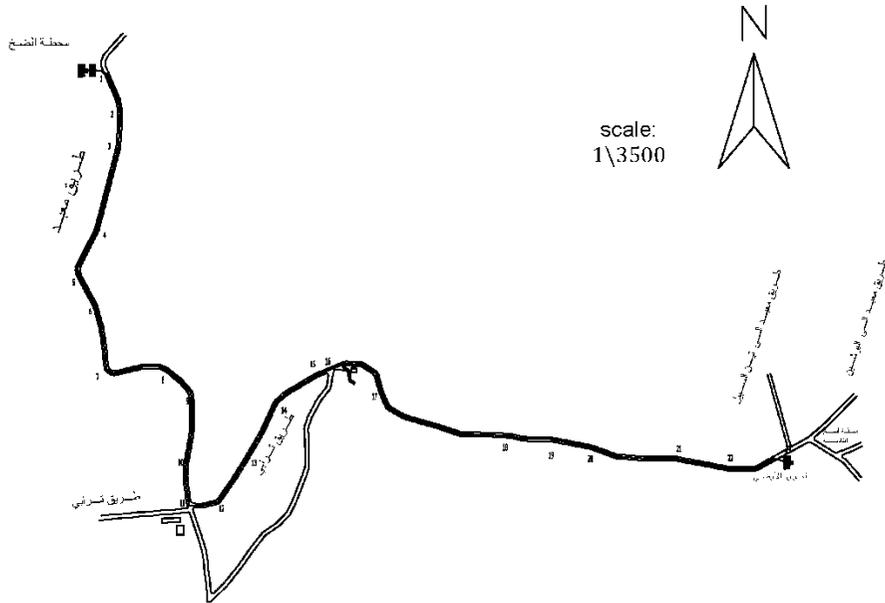
2- منطقة الدراسة والبيانات

تتبع قرية عين السودة لمحافظة حمص، وتبعد (60 كم) عن مدينة حمص، ويتكون خط ضخ قرية عين السودة من مرحلتي ضخ:

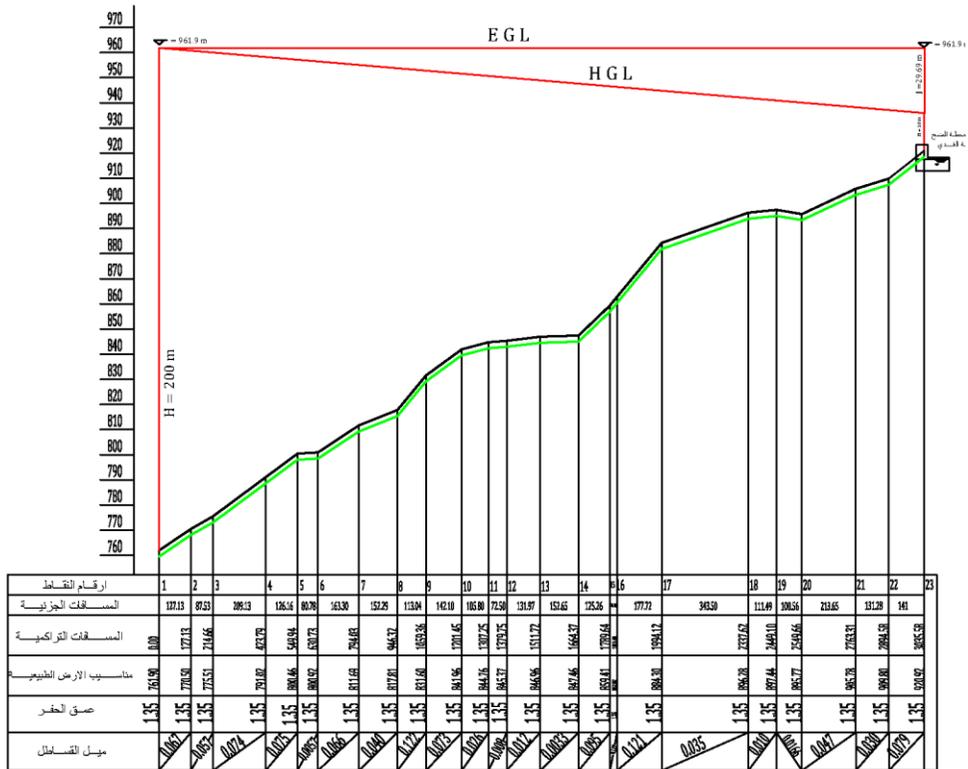
الأولى يتم فيها ضخ المياه من ثلاث آبار إلى خزان تجميعي منسوب الماء فيه (764 m)، والثانية يعاد فيها ضخ المياه من الخزان التجميعي إلى خزان أرضي على منسوب (922m) يقع في منطقة برشين، وهي الحالة المدروسة، يبين الشكل (5) و(6) و(7) صورة فضائية لموقع خط الضخ عين السودة، وتفاصيل تضاريس المنطقة وخط الضخ (مقطع طولي، مسقط أفقي) مأخوذة من الرفع المساحي للمؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في حمص. والذي قمنا بتمثيلة في نموذج تخطيطي ضمن برنامج (AFT Impulse) كما هو موضح بالشكل (8).



الشكل (5): صورة جوية تبين المرحلة الأولى من خط ضخ عين السودة.

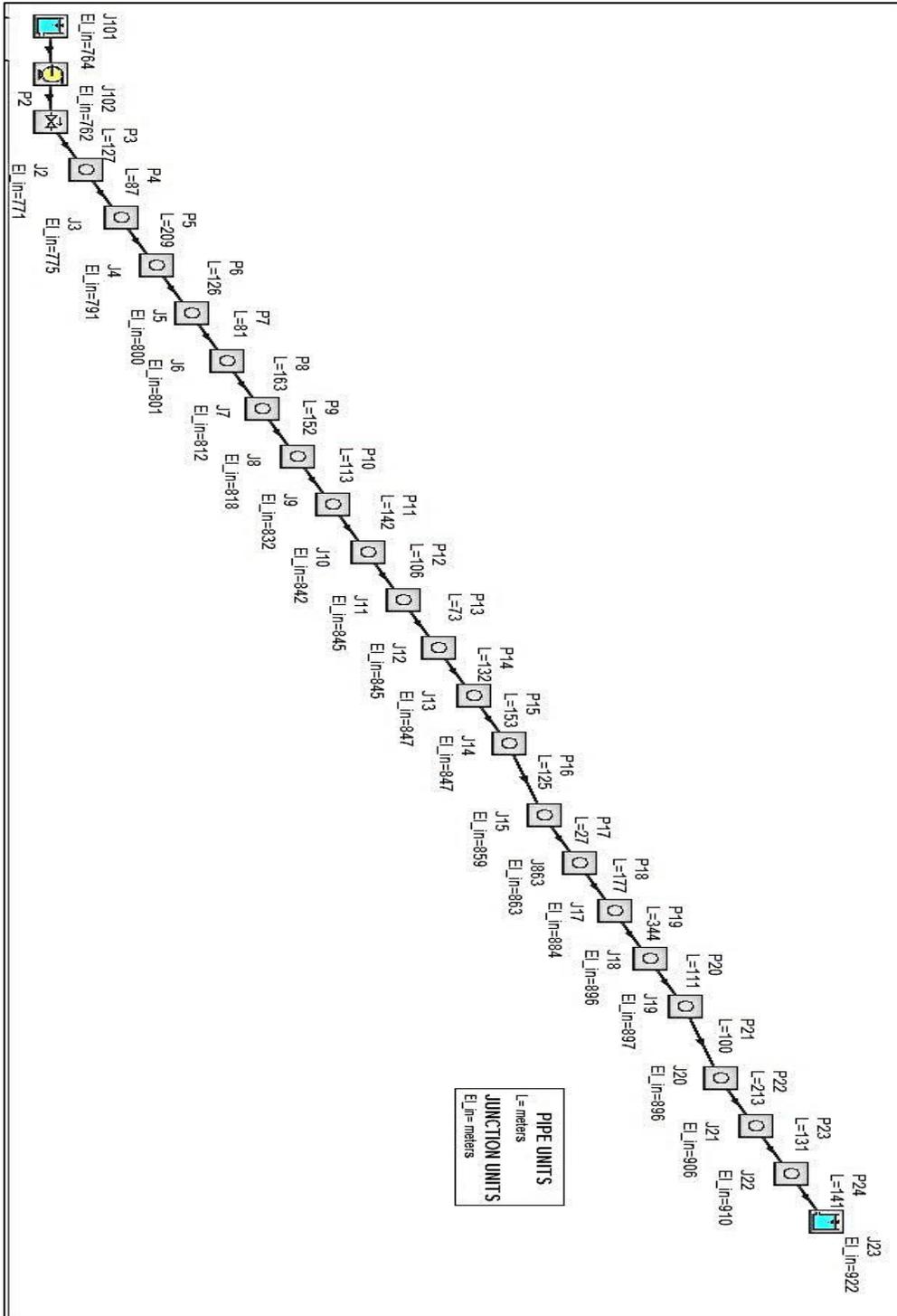


الشكل (6): مسقط أفقي لخط ضخ عين السودة مأخوذ من الرفع المساحي للمؤسسة العامة لمياه الشرب بحمص.



الشكل (7): مقطع طولي لخط ضخ عين السودة مأخوذ من الرفع المساحي للمؤسسة العامة لمياه الشرب بحمص.

حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم



الشكل (8): نموذج تخطيطي لمقطع طولي في خط ضخ عين السودة ضمن برنامج AFT Impulse

يبين الجدول (1) المواصفات الفيزيائية والهيدروليكية لخط الضخ في المرحلة الثاني، كما يوضح الجدول (2) المواصفات الفيزيائية للماء المضخوخ عبر الأنبوب المدروس.

الجدول (1): مواصفات خط ضخ عين السودة.

فونت	مادة الأنبوب
150 mm	القطر الاسمي
10 mm	ثخانة جدران الأنبوب
3055 m	الطول
8.231×10^9 Pascal	معامل المرونة
0.211	معامل بواسون
0.122 mm	الخشونة المطلقة
0.03~0.12	الميل الطولي
70 m ³ /hour	التصريف
1.1 m/sec	سرعة الجريان (الحالة المستقرة)
25 bar	الضغط الاسمي للبولي ايتيلين
40 bar	الضغط الاسمي للفونت
15.8 bar	الضاغط الناتج عن فرق المنسوب

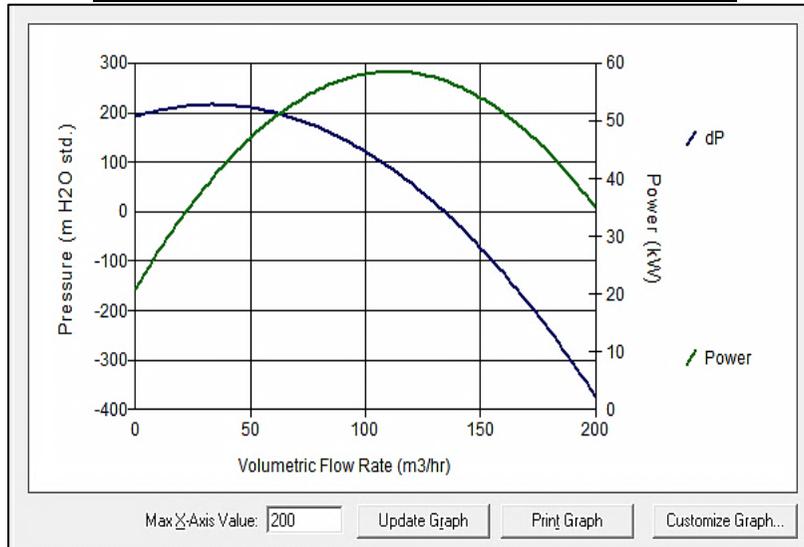
الجدول (2): مواصفات السائل المضخوخ في خط ضخ عين السودة.

25 °C	درجة حرارة الماء
997.17 Kg/m ³	الكثافة
2.076×10^9 Pascal	معامل المرونة
0.03179 bar	ضغط التبخر
1229 m/sec	سرعة الموجة أثناء الصدمة الهيدروليكية

استخدمت مضخة أفقية يمكن توضيح مواصفاتها الهيدروليكية من خلال الجدول (3)، والخطوط المميزة للمضخة ضمن بيئة البرنامج كما هو موضح بالشكل (9).

الجدول (3): مواصفات المضخة في خط ضخ عين السودة.

النوع:	مضخة نابذة أفقية
سرعة الدوران الاسمية	1500 rpm
عطالة المضخة	$I_p = 1.5 * 10^7 * \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0.9556}$
عطالة المحرك	$I_m = 118 * \left(\frac{P}{N}\right)^{1.48}$



الشكل (9): المنحني المميز للمضخة (Q~H)، منحني الطاقة (Q~dP)؛ خط ضخ عين السودة.

3- أهداف البحث

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل خط ضخ من مادة الفونت قرية عين السودة باستخدام برنامج (AFT Impulse) وذلك لـ:

1. تحديد نسبة التطعيم الأمثلية بمادة البولي إيثيلين للتخفيف ما أمكن من قيم الضغوط الإضافية الناجمة عن الصدمة الهيدروليكية.

2. تحديد الموقع الأمثل لنسبة التطعيم المختارة على طول خط الضخ.

3. إجراء مقارنة للجدوى الاقتصادية وتحديد الخيار الأمثل.

4- طرائق البحث ومواده

الحالة العابرة (Transient) في أنظمة الضخ حتمية الحدوث وعادة تكون أشد ما يمكن بالقرب من محطة الضخ، صمامات التحكم، النقاط عالية المنسوب في النظام، الأماكن منخفضة الضغط في النظام، والأماكن البعيدة عن الخزانات العالية في أنظمة الأسالة (Friedman, M; et al 2003).

الحالة الأكثر خطورة وشيوعاً لحدوث الحالة العابرة هي توقف المضخة المفاجئ والنتائج في أغلب الأحيان عن انقطاع التيار الكهربائي حيث يؤدي إلى هبوط سريع للضغط وإلى قيم أقل من الضغط الجوي فإذا وصل انخفاض الضغط إلى ضغط البخار ستنشأ تجاوير البخار ويحدث ما يسمى "التكهف". حيث إن التكاثف السريع لبخار الماء الموجود في هذه التجاوير ينتج عنه ارتفاع كبير وسريع في الضغط والذي يسبب ضرراً خطيراً للنظام الهيدروليكي والأجهزة الملحقة به.

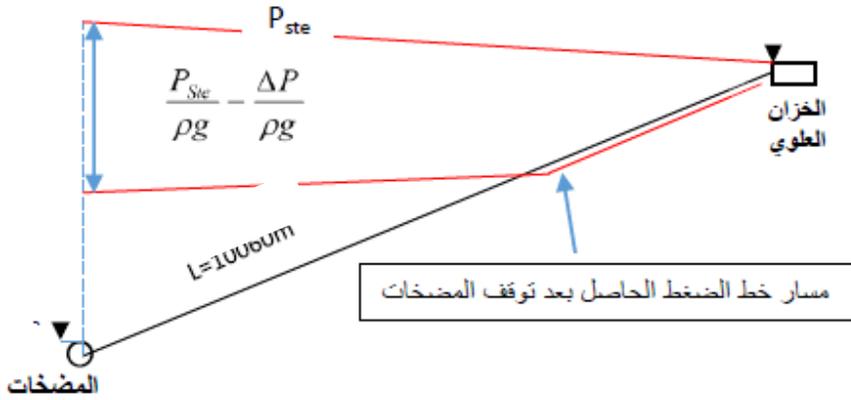
4-1 الصدمة الهيدروليكية الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخة:

إن المقطع الطولي للأنبوب عبارة عن مستقيم يصل بين المضخة والخزان العلوي، كما في الشكل (10)، أثناء عمل المضخة يكون خط الضغط موافق للحالة المستقرة (P_{ste})، ونتيجة الصدمة الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخة، ينخفض الضغط بمقدار (ΔP)، حيث (ΔP): قيمة انخفاض الضغط الناتج عن الصدمة خلال زمن جزئي قدره Δt والمحسوب من علاقة جوكوفسكي (معلا، معلا 2014):

$$\Delta P_t = \rho \cdot C \cdot \Delta v_t \dots \dots (1)$$

حيث: Δv_t : الانخفاض الذي يطرأ على السرعة خلال زمن جزئي قدره Δt & C : سرعة موجة الصدمة (m/sec) & ρ : الكتل النوعية للماء (الكثافة) وتؤخذ تقريباً $(1000 kg/m^3)$.

ينخفض خط الضغط عن القيمة الموافقة للحالة المستقرة بمقدار $(\Delta P / \rho.g)$ ، وانخفاض الضغط يتحرك على شكل موجة تعبر الأنبوب إلى نهايته، وموجة الضغط تصل إلى نهاية الأنبوب خلال زمن قدرة $(T = L/C)$ ، ثم تتردد بقيمة موافقة للحالة المستقرة، وتصل إلى بداية الأنبوب في الزمن $(2L/C)$ ، وهو يمثل الزمن الدوري للصدمة.



الشكل (10): المقطع الطولي للأنبوب.

2-4 العوامل الأساسية المؤثرة في الصدمة الهيدروليكية:

ذكر (Jones, G. M; et al 2006) العوامل المؤثرة في الصدمة الهيدروليكية وفق الآتي:

1. مواصفات الأنبوب (الطول، القطر، سماكة الجدران، الخشونة النسبية، مادة الصنع)
2. مواصفات الجريان (التدفق، السرعة، الضغط).
3. مواصفات السائل المستخدم (الكثافة، المرونة، اللزوجة، احتواء السائل على الهواء والعوالق الصلبة).
4. الأسباب الحدية للصدمة (هل تبدأ الموجة بارتفاع أو انخفاض في الضغط).

5. طريقة تثبيت الأنابيب.

6. شكل المقطع الطولي للأنبوب.

من خلال معادلة سرعة انتشار موجة الضَّغَط في الأنابيب (قدسية & الغدا 2016):

$$C_p = \frac{\sqrt{\frac{E_w}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_w}{E_R} * \frac{D}{e} * M}} \dots \dots \dots (2)$$

حيث: C_p : سرعة موجة الصدمة (m/sec) & D : قطر الأنبوب الخارجي (m) & e : ثخانة الأنبوب (m) & E_w : معامل مرونة الماء ويقدر بـ $(2.07 * 10^9 Pa)$ & E_R : معامل مرونة المادة & ρ : الكتل النوعية للماء (الكثافة) وتؤخذ $(1000 kg/m^3)$ من أجل درجة حرارة للماء 4 درجة مئوية.

M : ثابت التثبيت من أجل $(\frac{D}{e} > 40)$ ويؤخذ (جرجي، عادل 2011):

- $(M = 1.25 - \mu)$ التثبيت من جهة واحدة للأنبوب.
- $(M = 1 - \mu^2)$ التثبيت الكامل للأنبوب من جهتين.
- $(M = 1.25 - \mu)$ الأنبوب غير مثبت (فواصل تمدد).

μ : معامل بواسون ويساوي 0.45 للأنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE).

توصلت (قدسية & الغدا 2016) إلى أن:

1. قطر الأنبوب يوجد في مخرج المعادلة (2) في شكل علاقة عكسية مع السرعة، وبالتالي سوف تزداد قيمة الضغط لأعظمي الناجمة عن الصدمة الهيدروليكية مع الأقطار الصغيرة والعكس صحيح.
2. أن زيادة ثخانة جدران الأنبوب (e) يرافقها زيادة في سرعة موجة الضَّغَط (C_p) وكذلك زيادة في قيم الضغوط الأعظمية الناجمة عن الصدمة الهيدروليكية.

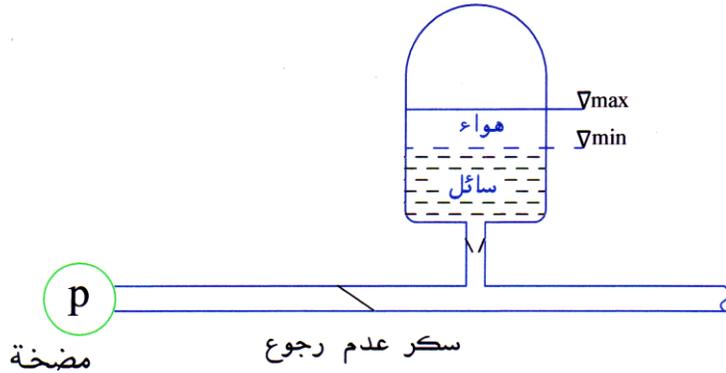
3. بالعودة إلى المعادلة (2) التي تأخذ معامل مرونة الأنبوب أو ما يسمى معامل يونغ (E_R) (معامل مرونة مادة الأنبوب) بعين الحساب نرى أنه كلما قل معامل المرونة، قلت سرعة انتشار موجة الضَّغَط وبالتالي فسوف تقل قيم الضغوط الأعظمية الناجمة عن الصدمة الهيدروليكية.

وأشار (سابا؛ نخلة 2016) أن العلاقة الحسابية (2) لسرعة انتشار الصدمة الهيدروليكية هي علاقة نظرية لا تأخذ بعين الاعتبار العوامل الأخرى ذات التأثير المحسوس أحياناً، كظروف تثبيت الأنابيب وعملها المشترك مع التربة المحمية أو القمصان البيتونية المغلفة لها والذي يؤدي إلى وجود فروقات بن القياسات الحقلية ونتائج المحاكاة التي تعتمد الطريقة الكلاسيكية MOC.

3-4 خزان للهواء المضغوط (GAS Accumulator)

• توصيف خزان الهواء المضغوط:

يتألف خزان الضغط من وعاء يحتوي على غاز مضغوط في جزئه العلوي (عادة يكون هواء) وسائل في جزئه السفلي، يوضع هذا الخزان عند طرف دفع المضخة وبعد سكر عدم الرجوع مباشرة كجهاز حماية للمضخة من الصدمة الهيدروليكية كما هو موضح بالشكل (11). يصنع عادة من الفولاذ المرن ومغلق من الطرفين بواسطة أغطية فولاذية مدببة الشكل ومحمولة إما على قواعد فولاذية أو بيتونية.



الشكل (11): خزان الهواء المضغوط (جرجي؛ إبراهيم 2009)

• آلية عمل الخزان:

عند توقف المضخة بسبب انقطاع التيار الكهربائي يعمل سكر عدم الرجوع (لأن المضخة لم تعد تعطي ضغطاً)، فيخرج قسم من مياه الخزان إلى الأنبوب الذي حدث فيه انخفاض في الضغط بسبب حدوث صدمة هيدروليكية. وبذلك يقوم الخزان بتغذية الأنبوب لمنع حدوث انخفاض في الضغط يصل لقيمة التكيف وبذلك يتم امتصاص انخفاض الضغط.

وبعد تناقص تدريجي لسرعة الماء في الأنبوب ثم انعدامه، يعود ماء الأنبوب إلى الوراها ويدخل الخزان مما يزيد الضغط فيه وفي الأنبوب، وبذلك يخفف من ارتفاع الضغط باستيعابه جزءا من مياه الأنبوب.

4-4 استخدام برنامج (AFT Impulse) في نمذجة الصدمة الهيدروليكية:

هو عبارة عن أداة محاكاة حاسوبية لجران السوائل المضغوطة داخل شبكات الأنابيب خلال كل من الحالة المستقرة (Steady) و العابرة (Transient) مع إمكانية ادخال تأثير كل الأجهزة الملحقة بالنظام والأجهزة المستخدمة للتخفيف من الآثار الناتجة عن الحالة العابرة، وبالتالي تحديد الخيار الأفضل للتخفيف من قيم الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية، وهو يستخدم طريقة نيوتن رافسون (Newton-Raphson) لحل المعادلات الأساسية للجران المتعلقة بتوازن الكتلة وكمية الحركة، ويقوم البرنامج باستخدام طريقة الخواص (Method of Characteristics) لحل وحساب الصدمة الهيدروليكية. ويذكر رئيس مهندسي شركة KSB لصناعة المضخات أن استخدام برنامج حاسوبي يعتمد على طريقة الخواص سيعطي نتائج دقيقة إلى حد بعيد وهذه الطريقة تم معايرتها بإجراء الكثير من القياسات العملية ومقارنتها بالنتائج الحاسوبية.

5- النتائج والمناقشة

تم إدخال البارامترات الأساسية للأنابيب والمضخة والسائل ضمن بيئة برنامج (AFT Impulse)، ونمذجة حالة التوقف المفاجئ للمضخة (توقف مع عطالة ذاتية بوجود سكر عدم رجوع Check Value)، وحصلنا على نتائج تغيرات الضغط الأعظمي والأصغري في الحالة المستقرة والحالة العابرة في أجزاء الأنابيب (P_i) المكونة لخط الضخ.

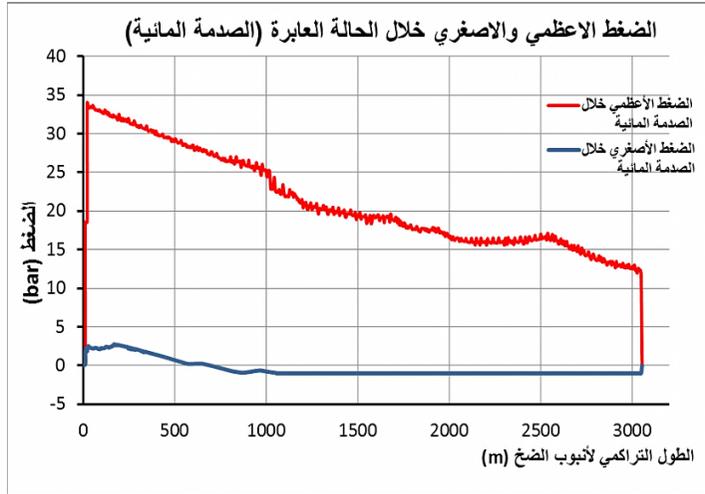
- قيمة الضغط الأعظمي بحسب جكوفسكي:

$$\Delta P = \rho * C * V = 997.17 * 1229 * 1.1 = 1348074.12 \frac{N^2}{m} = 13.48 \text{ bar}$$

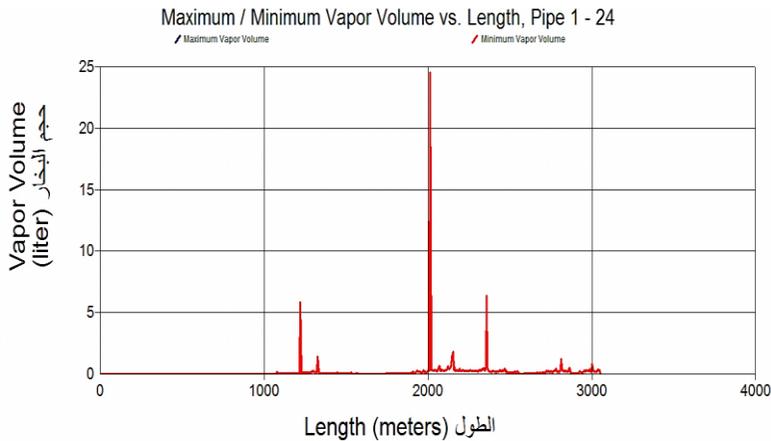
$$P_{max} = \Delta P + P_{ST} = 13.48 + 15.8 = 29.28 \text{ bar}$$

ولكن بحسب النتائج الحسابية للنموذج والتي يمكن توضيحها من خلال الشكل (12) نلاحظ أن الضغط الأعظمي P_{max} يتجاوز (34 bar). والسبب هو تشكل وانصعاق بخار الماء حيث أن الضغط الأصغري وصل إلى ضغط التبخر على طول أنبوب الضخ بعد توقف المضخة، وبلغ قيمة حجمية أعظمية مساوية لحوالي (25 Liter) كما هو موضح بالشكل (13). الضغط الإضافي (P_C) الناتج عن تبخر الماء وانصعاقه يمكن حسابه بالعلاقة:

$$P_C = P_{max} - (\Delta P + P_{ST}) = 34.01 - 29.28 = 4.73 \text{ bar}$$



الشكل (12): الضغط الأعظمية والأصغرية على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية بدون خزان حماية.



الشكل (13): حجم بخار الماء المتشكل على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية.

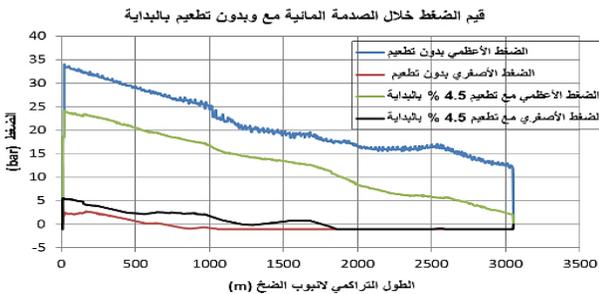
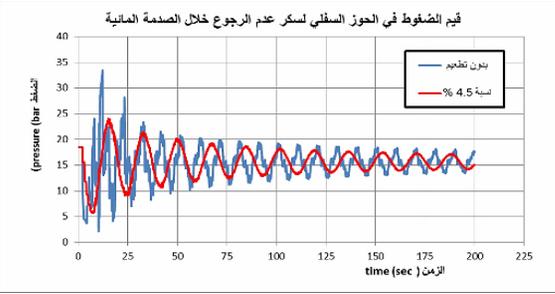
وفيما يلي بدراسة تأثير تطعيم أنبوب الضخ في موقعين (البداية _ المنتصف) وإيجاد العلاقة الرياضية الرابطة بين نسبة التطعيم ونسبة انخفاض الضغط الأعظمي عن قيمته بدون تطعيم.

5-1 سيناريوهات تطعيم أنبوب الضخ في بدايته

تم دراسة تطعيم أنبوب الضخ في بدايته بنسب متعددة % (4.5, 7, 14, 18, 21) بأنايب من البولي إيثيلين ودراسة تغيرات الضغط الناجمة في حالة الصدمة، كما هو موضح في الجدول (4).

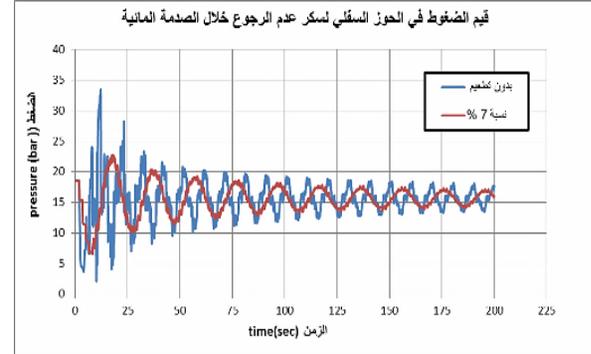
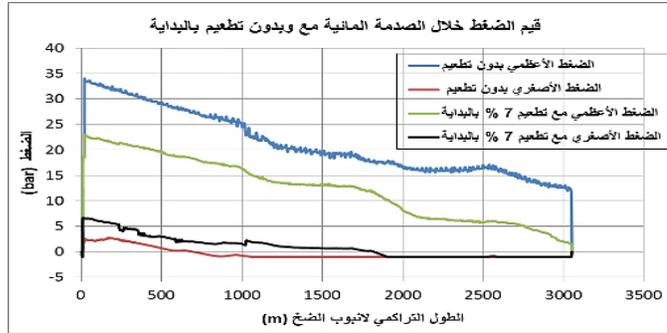
حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم

الجدول (4): تغيرات الضغط في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع وعلى كامل خط الضخ.

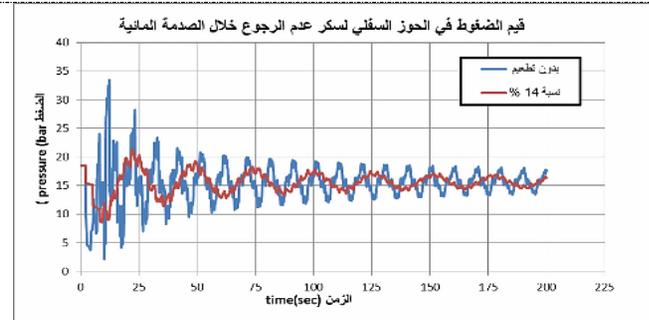
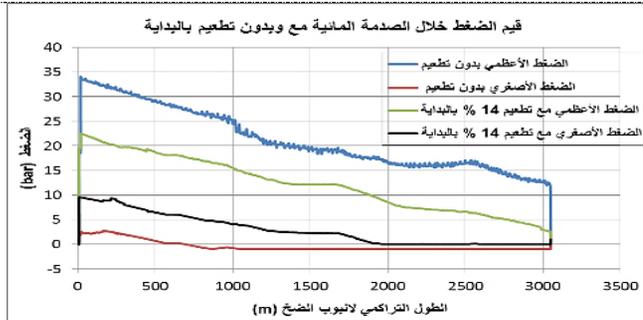
قيم الضغط الأعظمية والأصغرية (bar) على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية	قيم الضغط (bar) في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع مع وبدون تطعيم في بداية الأنبوب
السيناريو الأول: التطعيم بنسبة (4.5 %) في بداية أنبوب الضخ	
<p>قيم الضغط خلال الصدمة المائية مع وبدون تطعيم بالبداية</p> 	<p>قيم الضغوط في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع خلال الصدمة المائية</p> 
السيناريو الثاني: التطعيم بنسبة (7 %) في بداية أنبوب الضخ	

قيم الضغط الأعظمية والأصغرية (bar) على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية

قيم الضغط (bar) في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع مع وبدون تطعيم في بداية الأنبوب



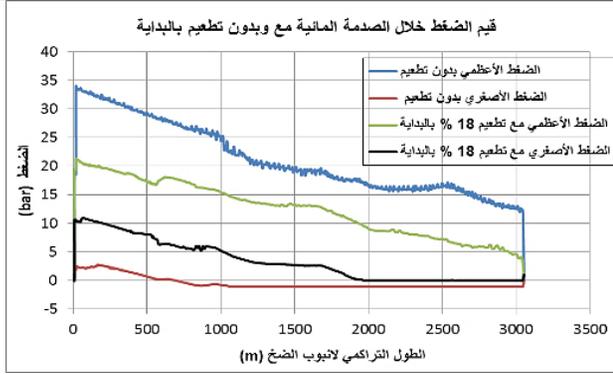
السيناريو الثالث: التطعيم بنسبة (14 %) في بداية أنبوب الضخ



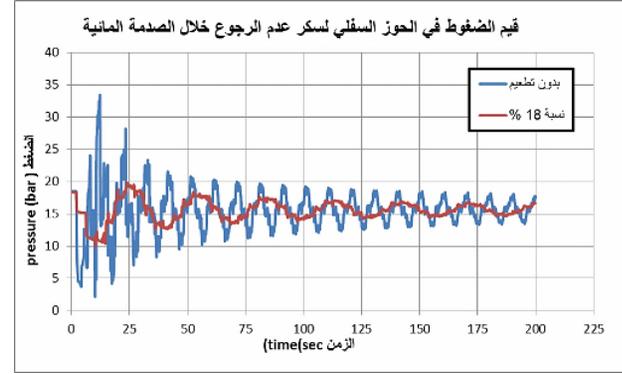
السيناريو الرابع: التطعيم بنسبة (18 %) في بداية أنبوب الضخ

حماية خط ضخ عين السودة من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم

قيم الضغط الأعظمية والأصغرية (bar) على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية



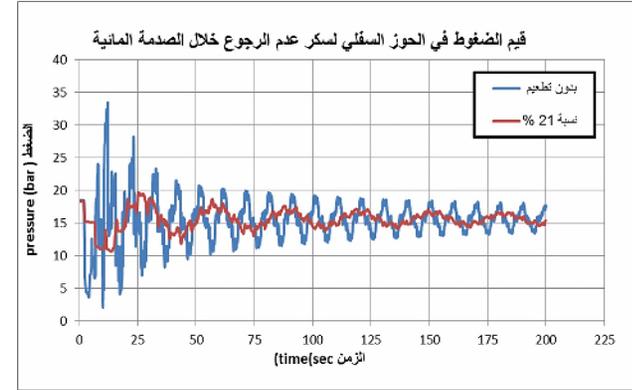
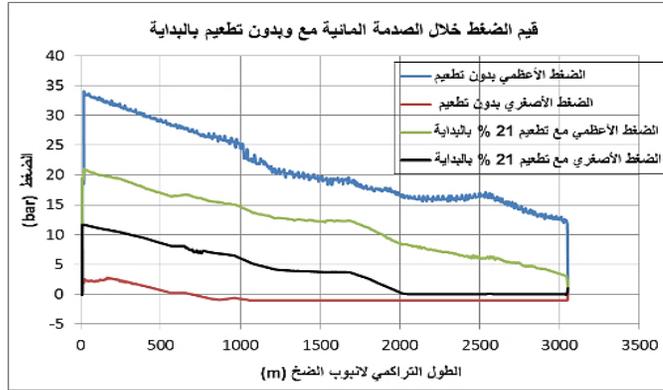
قيم الضغط (bar) في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع مع وبدون تطعيم في بداية الأنبوب



السيناريو الخامس: التطعيم بنسبة (21 %) في بداية أنبوب الضخ

قيم الضغط الأعظمية والأصغرية (bar) على طول خط ضخ عين السودة خلال الصدمة الهيدروليكية

قيم الضغط (bar) في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع مع وبدون تطعيم في بداية الأنبوب

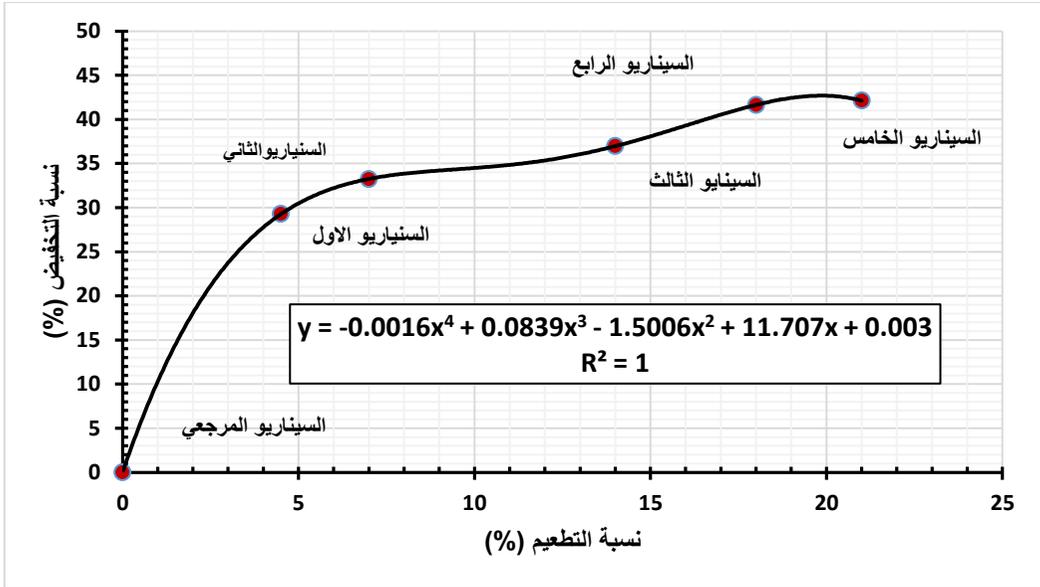


بإجراء مقارنة بين قيم الضغوط الأعظمية في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع خلال الصدمة الهيدروليكية بدون تطعيم ومع تطعيم بنسب مختلفة (4.5, 7, 14, 18, 21) في بدايته بأنابيب من البولي ايتيلين كما هو موضح في الجدول (5)، وحساب نسبة التخفيض في الضغط الأعظمي في السيناريو المرجعي المتمثل باستخدام أنبوب ضخ من الفونت، يمكن أن نستنتج أن:

- التطعيم بنسبة (14%) في بداية خط الضخ يعطي نتائج جيدة في تخميد الصدمة الهيدروليكية، لأنه عند هذه النسبة اختفى بخار الماء المتشكل، وانخفضت قيمة الضغط الأعظمي في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع حتى (21.43 bar) (أقل من الضغط الاسمي للأنبوب 25 bar)، وذلك بنسبة (36.99 %) وعند زيادة النسبة لوحظ تغير طفيف في نسبة الانخفاض في السيناريو الرابع والخامس.

الجدول (5): مقارنة نتائج الضغط الأعظمي في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع (حالة تطعيم بداية الأنبوب).

حجم بخار الماء المتشكل (liter)	الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع		نسبة التطعيم في بداية الأنبوب (%)	السيناريو
	نسبة التخفيض في الضغط عن السيناريو المرجعي (%)	الضغط الأعظمي (bar)		
25	0	34.01	بدون تطعيم	المرجعي
0.83	29.29	24.05	4.50	الأول
0.15	33.23	22.71	7.00	الثاني
0.008	36.99	21.43	14.00	الثالث
--	41.63	19.85	18.00	الرابع
--	42.13	19.68	21.00	الخامس



الشكل (14): نسبة تطعيم بداية أنبوب الضخ مع نسبة التخفيض الضغط في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع.

العلاقة التي تربط بين نسبة انخفاض الضغط والتطعيم هي معادلة من الدرجة الرابعة، وأن ميل المنحني يكون كبيراً حتى نسبة التطعيم (6%)، ثم تقل قيمة الميل بعد هذه القيمة، وتعود للتزايد بشكل خفيف بعد النسبة (13%)، الشكل (14).

5-2 سيناريوهات تطعيم أنبوب الضخ في منتصفه

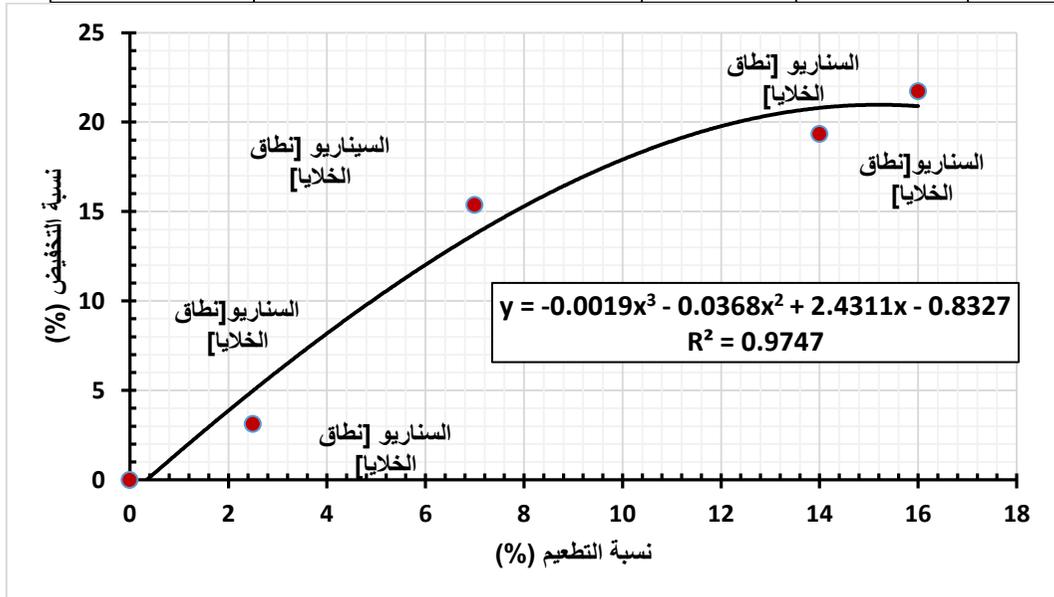
تم دراسة تطعيم أنبوب الضخ في منتصفه بنسب متعددة (2.5, 7, 14, 16) بأنايب من البولي إيثيلين، ودراسة تغيرات الضغط الناجمة في حالة الصدمة وفق السيناريوهات المقترحة، وحساب نسبة التخفيض في الضغط الأعظمي في السيناريو المرجعي المتمثل باستخدام أنبوب ضخ من الفونت كما هو موضح في الجدول (6)، والتوصل إلى الآتي:

- تبين أن التطعيم بنسبة (16 %) في منتصف خط الضخ تعطي نتائج جيدة في تخميد الصدمة الهيدروليكية، لأنه عند هذه النسبة بلغت قيمة بخار الماء المتشكل (2.5 liter)، وانخفضت قيمة الضغط الأعظمي في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع حتى (26.62bar) (أكبر من الضغط الاسمي للأنبوب 25 bar)، وذلك بنسبة (21.73%)،

أي أن تطعيم منتصف الأنبوب لنسبة (16%) لم يستطع حماية خط الضخ بشكل جيد حيث ارتفع الضغط إلى ما يزيد عن (25 bar).

الجدول (6): مقارنة نتائج الضغط الأعظمي في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع (حالة تطعيم منتصف الأنبوب)

حجم بخار الماء المتشكل (liter)	الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع		نسبة التطعيم في منتصف الأنبوب (%)	السيناريو
	نسبة التخفيض في الضغط عن السيناريو المرجعي (%)	الضغط الأعظمي (bar)		
25	0	34.01	بدون تطعيم	المرجعي
16	3.12	32.95	2.5	السادس
5.5	15.38	28.78	7	السابع
5.5	19.35	27.43	14	الثامن
2.5	21.73	26.62	16	التاسع



نلاحظ من الشكل (13) أن العلاقة التي تربط بين نسبة انخفاض الضغط والتطعيم هي معادلة من الدرجة الثالثة، كما أن ميل المنحني المعبر عن العلاقة يكون كبيراً حتى نسبة التطعيم (12%)، ثم تقل قيمة الميل بعد هذه القيمة.

3-5 دراسة تأثير تطعيم جزء من خط الضخ على حجم خزان الضغط المضاف للشبكة
قمنا بإجراء عدة سيناريوهات لتبيان تأثير تطعيم جزء من خط الضخ على حجم خزان الضغط المضاف للشبكة والنتائج موضحة في الجدول (7).

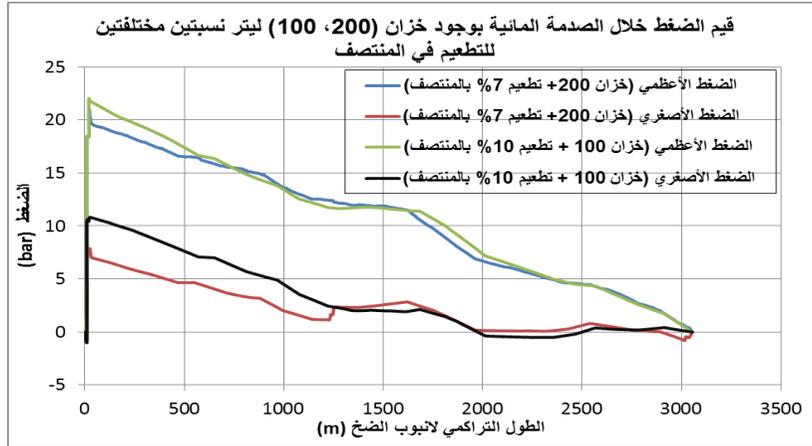
الجدول (7): مقارنة نتائج الضغط الأعظمي في الحوز السفلي لسكر عدم الرجوع
خزان 500 liter & خزان 200 liter + تطعيم 7% في بداية & منتصف الأنبوب).

السياريو	التوصيف	الضغط الأعظمي (bar)	نسبة التخفيض في الضغط (%)	حجم بخار الماء المتشكل (liter)
المرجعي	بدون خزان وتطعيم للأنبوب	34.01	0	25
العاشر	خزان بحجم 500 ليتر	19	44.13	0
الحادي عشر	خزان بحجم 200 ليتر	25	26.49	9
الثاني عشر	خزان بحجم 200 ليتر + تطعيم 7% في بداية الأنبوب	20	41.19	0.023
الثالث عشر	خزان بحجم 200 ليتر + تطعيم 7% في منتصف الأنبوب	20	41.19	0
الرابع عشر	خزان بحجم 100 ليتر + تطعيم 10% في بداية الأنبوب	19	44.13	0
الخامس عشر	خزان بحجم 100 ليتر + تطعيم 10% في منتصف الأنبوب	22	35.31	0

نلاحظ أن زيادة نسبة التطعيم في منتصف الأنبوب حتى (10 %) مع تصغير حجم خزان الهواء المضغوط حتى (100 liter) أعطت نتائج مقاربة مع حالة التطعيم بنسبة (7%) واستخدام خزان بحجم (200

حماية خط ضخ عين السوده من الصدمة الهيدروليكية بطريقة التطعيم

liter) بالنسبة للضغوط الأعظمية على كامل خط الضخ، مع ملاحظة رفع الضغوط السالبة في الجزء الأول من الأنبوب وإمكانية تشكل بخار الماء بكمية ضئيلة لا تصل إلى حد التكيف في الجزء الأخير من الأنبوب، مما يتيح إمكانية تصغير حجم الخزان وزيادة نسبة التطعيم، الشكل (16).



الشكل (16): قيم الضغوط المتشكلة على طول الأنبوب خلال الصدمة الهيدروليكية (خزان + 100 liter + تطعيم 10% & 7% في منتصف الأنبوب).

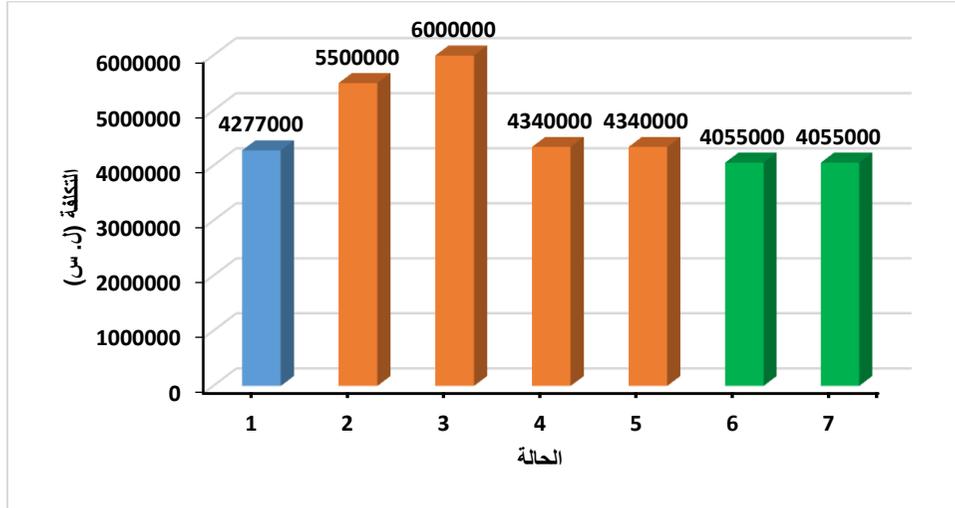
الدراسة الاقتصادية للسيناريوهات الناجحة:

تم حساب تكلفة الحلول باعتماد أسعار الكشوف التقديرية في المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي لعام 2019م، وباعتبار تكلفة استبدال المتر الطولي من أنبوب الضخ 10000 ل.س، كما هو موضح بالجدول (8).

الجدول (8): التكلفة المادية للسيناريوهات الناجحة

الحالة	الحالة الناجحة	تكلفة استبدال الأنبوب (ل.س)	تكلفة خزان الضغط (ل.س)	مجموع التكلفة (ل.س)
1	تطعيم بنسبة (14%) في البداية	4277000	0	4277000
2	تطعيم بنسبة (18%) في البداية	5500000	0	5500000
3	خزان (500 liter) وبدون تطعيم	0	6000000	6000000
4	خزان (200 liter) مع تطعيم (7%) في البداية	2140000	2200000	4340000
5	خزان (200 liter) مع تطعيم (7%) في المنتصف	2140000	2200000	4340000

الحالة	الحالة الناجحة	تكلفة استبدال الأنبوب (ل.س.)	تكلفة خزان الضغط (ل.س.)	مجموع التكلفة (ل.س.)
6	خزان (100 liter) مع تطعيم (10%) في البداية	3055000	1000000	4055000
7	خزان (100 liter) مع تطعيم (10%) في المنتصف	3055000	1000000	4055000



الشكل (17): التمثيل البياني للدراسة الاقتصادية للحلول الناجحة.

نلاحظ من خلال المقارنة الاقتصادية الموضحة في الشكل (17) والمقارنة الهيدروليكية التصميمية السابقة أن أفضل الحلول كان التطعيم بنسبة (10 %) (بالبداية أو المنتصف) مع استخدام خزان صغير بحجم (100 liter) ومن ثم يليها بفارق بسيط التطعيم بنسبة (14%) في بداية خط الضخ.

6- الاستنتاجات والتوصيات

6-1 الاستنتاجات:

- تبين من خلال دراسة تطعيم خط ضخ عين السودة في موقعين (البداية - المنتصف) أن مكان التطعيم أثر في انخفاض قيم الضغوط الأعظمية فكلما كان مكان التطعيم أقرب

إلى الجهاز المسبب للصدمة الهيدروليكية (المضخة) كان له أثر أكبر في تخفيض قيم الضغوط العالية الناتجة عنها وكلما زادت نسبة التطعيم ارتفعت قيم انخفاض الضغط الأعظمي.

- إن تطبيق عملية التطعيم بأنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة ذو الانضغاطية العالية نسبةً للفونت المرن والحديد كان له أثر كبير في التخفيض من حجم بخار الماء بشكل موضعي في مكان التطعيم كما حدث عند تطعيم الخط في منتصفه حيث تصادف مكان التطعيم بمنطقة انخفاض للضغط تصل لحد التبخر.
- إن إضافة خزان ضغط للمنظومة وبحجم كافي استطاع حماية خط الضخ بشكل كامل من ارتفاع وانخفاض الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية ولكن هذا الحل مكلف اقتصادياً.
- المقارنة الاقتصادية للسيناريوهات الأفضل هيدروليكيًا في حماية خط الضخ أكدت على أفضلية عملية التطعيم بدل من شراء وتركيب خزان ضغط كبير الحجم وإن الحل الأمثل والأقل تكلفة هو خزان صغير مع تطعيم بنسبة 10 % ويمكن عن طريق زيادة نسبة التطعيم الاستغناء عن تركيب خزان الضغط بحال عدم توفره بسبب مشاكل الاستيراد.

6-2 التوصيات:

- توصي الدراسة بتطبيق طريقة تطعيم خطوط الضخ المصنعة من الفونت المرن والحديد بأنابيب من البولي إيثيلين عالي الكثافة لحمايتها من ظاهرة الصدمة الهيدروليكية لما لها من أثر في تخفيض التكلفة المادية للمشاريع بدل من شراء وتركيب خزانات الضغط عالية الثمن والتي يوجد بعض الصعوبات في استيرادها حالياً.
- إن العلاقات الرياضية التي تم استنتاجها صالحة لخط ضخ من خزان أرضي إلى خزان عالي، وتحتاج للمعايرة والدراسة على خطوط الضخ البترية وتحديد أماكن التطعيم المناسبة.

7- المراجع

1. BOULOS, P. F; KARNEY, B. W; WOOD, D. J; LINGIREDDY, S. 2005. Hydraulic transient guidelines for protecting water distribution systems. Journal-American Water Works Association, 97(5), 111-124.
2. FRIEDMAN, M; RADDER, L; GULLICK, R; WOOD, D. 2003. Verification and control of low pressure transients in distribution systems. In 2003 Water Quality Technology Conference: Stewardship of Drinking Water Quality (p. 2003).
3. JONES, G. M; SANKS, R. L; BOSSERMAN, B. E; TCHOBANOGLIOUS, G. 2006. Pumping station design. Gulf Professional Publishing.
4. MASSOUH, F 2009. Means of protection against water hammer in hydraulic networks. Faculty of Civil Engineering- Tishreen University.
5. MASSOUH, F; COMOLET, R 1984. Étude d'un système anti-bélier en ligne-study of a water-hammer protection system in line. La Houille Blanche 5, 355-362.
6. Pezzinga, G. 2002. Unsteady flow in hydraulic networks with polymeric additional pipe. Journal of Hydraulic Engineering, 128(2), 238-244.
7. POTHOF, I; KARNEY, B. 2012. Guidelines for transient analysis in water transmission and distribution systems. In Water Supply System Analysis-Selected Topics. IntechOpen.
8. RAMOS, H; COVAS, D; BORGA, A; LOUREIRO, D. 2004. Surge damping analysis in pipe systems: modelling and experiments. Journal of Hydraulic Research, 42(4), 413-425. Hydraul. Res. 42, 413-425.
9. STEVANOVIC, V. D. 2009. Dynamic loads by various water hammer phenomena. Structural Integrity and Life-Integritet I Vek Konstrukcija, 9(1), 51-56.
10. TRIKI, A. 2016. Water-hammer control in pressurized-pipe flow using

an in-line polymeric short-section. Acta Mechanica, 227(3), 777-793.

11. TRIKI, A. 2017. Water-hammer control in pressurized-pipe flow using a branched polymeric penstock. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 8(4), 04017024.

12. عبد الجليل، إبراهيم؛ شاكر، أمجد 2015. دراسة موقع الصمامات ونوعها المؤثرة في قيم الضغط الناتج عن الصدمة المائية. رسالة ماجستير في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، جامعة البعث، سوريا.

13. قدسية، سامي؛ الغداء، علا محمد 2016. تحليل ونمذجة العوامل المؤثرة على حدوث الصدمة المائية في محطات ضخ مياه الري التابعة لمشروع ري هضبة عين البيضاء. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (38)، العدد (6).

14. معلا، معلا 2014. العلاقة بين فعالية وسائل الحماية من الصدمة المائية والمسار الطولي للأنبوب. مجلة جامعة البعث، المجلد (37)، العدد (13).

15. نخلة، وسام؛ سابا، جهاد 2016. الصدمة المائية والفعل المتبادل بين الماء وجدار الأنبوب والترية. مجلة جامعة دمشق، سوريا، المجلد (32)، العدد (1).

16. جرجي، عادل 2011. دراسة تأثير درجة حرارة الماء على سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية في أنابيب البولي إيثيلين. مجلة جامعة البعث، المجلد (33)، العدد (6).

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريت باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

الدكتور هيثم شاهين¹ الدكتور حسين جندي² الدكتور أحمد قره علي³ المهندسة أمال عطيه⁴

الملخص

تم في هذا البحث دراسة مسألة إزالة الملوثات العضوية المستقرة (POPs) في مياه بحيرة سوريت، ولا سيما المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات (PAHs). صُممت منظومة معالجة جديدة ومتطورة باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي، وأُخذت عينات مائية بعد أزمنة 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة وحُدثت تراكيز المركبات العطرية (PAHs). أظهرت نتائج البحث كفاءة عالية لتقنية التجويف الهيدروديناميكي في إزالة مركبات (PAHs) من مياه بحيرة سوريت، حيث كانت نسبة إزالة مركبات (PAHs) 100% بعد زمن تشغيل 30 دقيقة، ولذلك يمكن اعتبار تقنية التجويف الهيدروديناميكي وسيلة واعدة فعالة لتفكيك الملوثات العضوية الثابتة الخطيرة في البيئة المائية.

كلمات مفتاحية: المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات، تقانة الكروموتوغرافيا الغازية المتصلة بمطيافية الكتلة، تقنية التجويف الهيدروديناميكي، صفيحة مثقبة، مياه بحيرة سوريت.

¹ أستاذ - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين
² مدرس - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين
³ أستاذ مساعد - قسم الكيمياء البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين
⁴ طالبة دكتوراه - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين

Removal of persistent organic pollutants from the water of Sureat Lake by hydrodynamic cavitation technology

Dr. Haitham Shaheen¹

Dr. Hussein Junaidi²

Dr. Ahmad Qara Ali³

Eng. Amal Ateah⁴

ABSTRACT

The research was studied the issue of removing persistent organic pollutants (POPs) from water of Lake Sureat, especially the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Anew advanced processing system was designed by using hydrodynamic cavitation technology, Water samples were taken after times of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes and determined the concentrations of aromatic compounds (PAHs). The results showed a high efficiency of hydrodynamic cavitation technique in removing (PAHs) compounds from the water of Sureat Lake, the removal ratio of (PAHs) compounds was 100% after an operating time of 30 minutes, Therefore, the hydrodynamic cavitation technique can be considered as a promising and effective method for degradation the dangerous persistent organic pollutants in the aquatic environment.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, Gas Chromatography technique, orifice plate, water of Lake Sureat.

¹ Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University.

² Professor, Department of Environmental Systems Engineering, High Institute of Environmental Research, Tishreen University.

³ Professor, Marine chemistry department, high institute of marine research, Tishreen University.

⁴ PhD Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University.

1 - مقدمة:

جنباً إلى جنب مع تزايد عدد السكان وتطور الحضارة والصناعة والزراعة، يتم إنتاج كميات متزايدة من المركبات الكيميائية الجديدة والمعقدة وإدخالها إلى البيئة المائية مع مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي ورشاحة مكبات القمامة، هذه المواد الملوثة ليست خاملة للكائنات الحية وفي معظم الحالات تترك آثاراً دائمة [1,2].

يشير التقرير المتعلق بالملوثات الكيميائية في مياه الصرف الصحي والحمامة البلدية الصادر عن المفوضية الأوروبية إلى وجود عدد كبير من المركبات التي تعتبر عادة ضارة بصحة الإنسان ومهددة لحياته، ومنها مبيدات الآفات الكلورية العضوية ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs) والمركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات (PAHs)، بالإضافة إلى العديد من المواد الكيميائية الصناعية الأخرى، حيث تنتمي هذه المركبات المعقدة إلى مجموعة الملوثات العضوية المستقرة Persistent organic pollutants (POPs) [3,4].

تُعتبر هذه المركبات سامة جداً لأنها تتحلل ببطء شديد وتتراكم بيولوجياً بسهولة في خلايا الكائنات الحية وتترسب في قاع المسطحات المائية، وعلى الرغم من تراكيزها المنخفضة في البيئة لكنها تعتبر شديدة السمية، مع وجود تأثيرات مسرطنة ومسببة للطفرات الوراثية والتشوهات الخلقية عند الأطفال [5].

تُشكل الهيدروكربونات العطرية (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) أكثر أنواع المركبات المعقدة شيوعاً في البيئة، فهي غير قابلة للتحلل الحيوي بسبب بنيتها الهيكلية المتعددة الحلقات، ولها تأثيراً سلبياً على الكائنات الحية [6,7]، ويشكل تصريف المياه الصناعية والبلدية غير المسيطر عليها بالإضافة إلى عمليات ترشيح المياه من مكبات النفايات البلدية مصدراً رئيسياً لتلوث مصادر المياه السطحية والجوفية [8].

علاوة على ذلك، يتم تصريف كميات كبيرة من المركبات الهيدروكربونية الحلقية إلى جانب مياه الصرف المعالجة والحمامة، حيث تحتوي مياه الصرف الصحي البلدية على الهيدروكربونات متعددة الحلقات بكميات مختلفة تبعاً لنوع المياه المستعملة وتركيبها الكيميائي [9].

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريا باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

إن مركبات الـ PAHs الموجودة في رشاحة مطامر النفايات تنشأ من المواد الموجودة في هذه المطامر، ويتم إنتاجها من تحلل المادة العضوية الموجودة في الماء، حيث يمكن لهذه المركبات التي لا تذوب في الماء أن تنتقل لأن المركبات العضوية الأخرى الموجودة في السوائل المرتشحة تعمل كمذيبات، حيث تم العثور على تراكيز عالية من مركبات PAHs في المياه المرتشحة من مواقع طمر النفايات البلدية [10].

تشير مراجعة الأدبيات إلى أن العمليات الطبيعية لتحلل مركبات الـ PAHs، والتي تشمل بشكل رئيسي التحلل الحيوي والبكتيري والفطري تحدث بكفاءة قليلة جداً، وتعتمد قدرة الكائنات الدقيقة على تحلل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات على عدد الحلقات في المركب، وكلما كان للمركب عدد حلقات أكبر كان أكثر مقاومة للتحلل الميكروبيولوجي، وذلك بسبب بنية الجزيء الكارهة للماء وعدم قابليته للذوبان في الماء والاستقرار الثيرموديناميكي [11].

تؤدي عمليات الأكسدة الكيميائية لمركبات PAHs بشكل أساسي إلى تحولات هذه المركبات ولا تسمح في العادة بالأكسدة الكلية إلى H_2O و CO_2 [12].
توجد طرائق لمعالجة المياه مصنفة إلى طرائق فيزيائية أو كيميائية أو بيولوجية، ويمكن تحقيق كفاءة المعالجة المطلوبة للمياه مع تطبيقات متآزرة من اثنين أو أكثر من هذه الطرائق، ويمكن دمج أي من الطرق الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية في المراحل المختلفة للمعالجة التقليدية، وتكون هذه المراحل أولية وثانوية وثالثية في ترتيب متزايد للوصول إلى مستوى المعالجة المطلوبة [13,14].

يجب أن تكون الطريقة التقليدية قادرة على تلبية المعايير الميكروبيولوجية والكيميائية الموصى بها لتحقيق درجة الجودة المطلوبة، ولكن الملوثات العضوية الثابتة تقاوم أساليب المعالجة التقليدية مثل التلبد والتخثير والترشيح والمعالجة بالأكسدة الكيميائية باستخدام مواد كيميائية مثل الكلور [15]، فقد تشمل منتجات الأكسدة بشكل رئيسي على مشتقات الكلور وتتشكل الهيدروكربونات الكلورة أو التراي هالوميثانات (THMs)، ويكون الشكل المؤكسد عادةً أكثر سمية وأشد خطراً [16].

يعتبر الأوزون مؤكسداً أكثر كفاءة، حيث يضمن درجة أكبر من إزالة PAHS بوقت قصير، ولكن منتجات أكسدة PAHS مع الأوزون قد تكون سامة وتتفاعل بسرعة مع الكلور [17]، وفي كثير من الأحيان يؤدي استخدام مواد كيميائية في المعالجة إلى تكوين مركبات وسيطة غير مرغوبة، ومع ذلك فقد تم تطبيق العديد من التقنيات مثل امتزاز الكربون المنشط والمفاعلات الحيوية الغشائية وعمليات الأكسدة المتقدمة وغيرها. ولكن هذه الطرق لم تضمن الكفاءة الجيدة، كما أنها تنطوي على تكاليف عالية الثمن في المعدات والتشغيل واستخدام المواد الكيميائية الباهظة الثمن، بالإضافة إلى إنتاج مركبات غير مرغوبة يجب التخلص منها بشكل آمن [18,19].

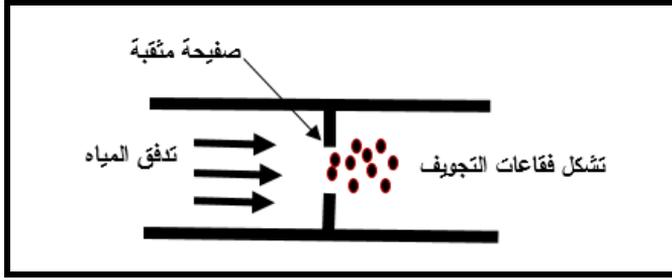
لذلك نجد أنه من الضروري إيجاد بدائل معالجة مبتكرة تضمن الكفاءة الجيدة وتتطلب القليل من المعدات والتجهيزات وتحقيق الاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية اللازمة للتشغيل دون إضافة مواد كيميائية عالية الثمن، ومن التقنيات الجديدة المبتكرة في معالجة المياه الملوثة بالمركبات الغير قابلة للتحلل والتي استخدمت في هذا البحث تقنية التجويف الهيدروديناميكي.

■ التجويف الهيدروديناميكي: Hydrodynamic Cavitation (HC)

التجويف الهيدروديناميكي هو تطبيق واحد في معالجة المياه الملوثة بالمركبات الثابتة بسبب تصميمه المرن وإمكانية التشغيل على نطاق واسع، وتطبيق الفعالية المناسبة مع آلية التجويف الممكنة للتعامل مع مختلف أشكال الملوثات العضوية، ولقد لفت الانتباه مقارنة مع طرق المعالجة الأخرى، ويمكن تحقيق تطبيقاته على نطاق واسع في معالجة المياه [20,21].

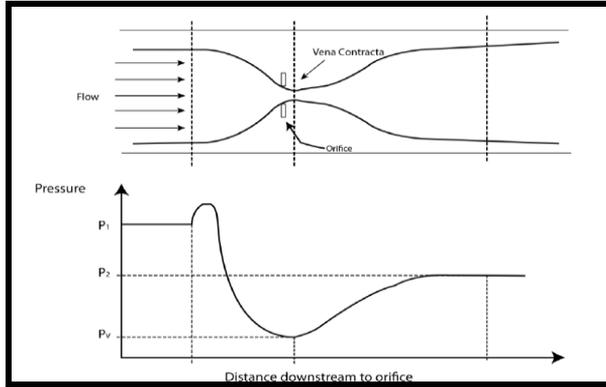
تتميز تقنية التجويف بالقدرة على تفكيك الملوثات العضوية الثابتة، وتحدث هذه العملية داخل الأنابيب في منطقة التضيقات باستخدام أنبوب فنتوري أو صفيحة الثقوب [22,23]، ويبين الشكل (1) آلية حدوث فقاعات التجويف.

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي



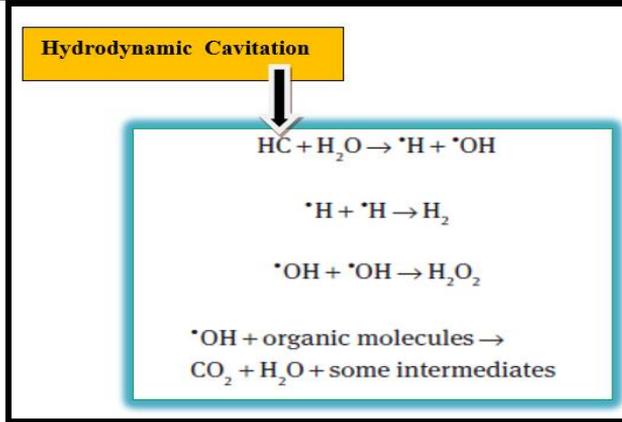
الشكل (1): آلية حدوث فقاعات التجويف

تحدث ظاهرة التجويف في الأنابيب بسبب حدوث فرق مفاجئ بالضغط في منطقة التضيقات حسب مبدأ قانون برنولي في ميكانيك السوائل كما هو مبين في الشكل (2).



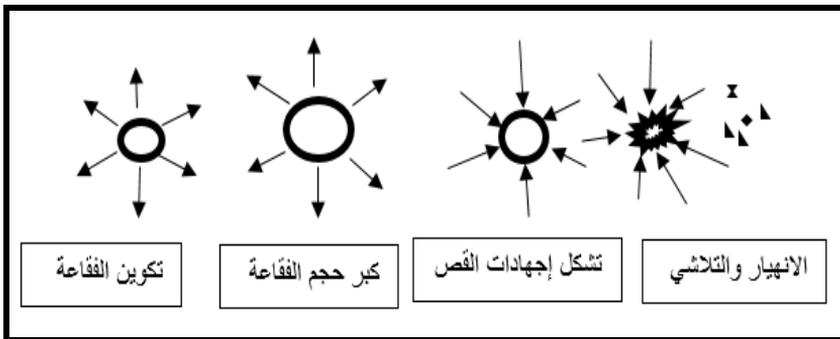
الشكل (2): تغير الضغط في الصفحة المثقبة

تتشكل فقاعات التجويف عندما تزداد سرعة السائل وينخفض الضغط في منطقة التضيقات، ثم يعود الضغط ليرتفع بسبب زيادة مساحة المقطع في منطقة التوسع وتتهار فقاعات التجويف المتشكلة وتتكون ظروف قاسية جداً ذات درجات حرارة عالية من 1000-10000 كلفن، وضغوط عالية تتراوح بين 100 و 5000 بار، وتتولد بعض الجذور الحرة شديدة التفاعل كجذور HO^* و H^* و HOO^* و HO_2^* و $H_2O_2^*$ [24].
يبين الشكل (3) آلية تفكيك المركبات العضوية المعقدة إلى مركبات عضوية بسيطة، إن جذور OH^* المتولدة هي المسؤولة عن تحطيم الملوثات، وتعتبر من أقوى المؤكسدات والتي يمكنها القدرة على تفكيك الروابط الهيدروكربونية للمركبات العطرية متعددة الحلقات [25].



الشكل (3): آلية التفكك وتوليد الجذور الحرة

يمكن تفسير آلية تفكك الملوثات العضوية الثابتة على أنها التأثيرات الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن انهيار الفقاعة، وهناك عدد من الدراسات في الأدبيات التي تتناول آلية التحولات الكيميائية، ولقد أظهرت هذه الدراسات أن الانهيارات الناتجة عن التجويف يمكن أن تعزى إلى التأثيرات الميكانيكية (إجهاد القص)، والمواد الكيميائية (الجذور الحرة) والتأثيرات الحرارية (النقاط الساخنة)، حيث يؤدي إجهاد القص القوي الناتج أثناء انهيار الفقاعة إلى تفكيك رابطة (الكربون - الكربون)، وبالتالي تتفكك المركبات العضوية ذات الكتلة الجزيئية الكبيرة إلى مركبات بسيطة منخفضة الكتلة الجزيئية، ويبين الشكل (4) آلية انهيار فقاعات التجويف المتشكلة في منطقة الثقب [26].



الشكل (4): انهيار فقاعات التجويف

بناءً على ما ذكر أعلاه يمكن اعتبار تقنية التجويف الهيدروديناميكي فعالة وجديدة في تنقية المياه، وتجدر الإشارة إلى أنه في سورية لا توجد دراسات تتناول تحديد التلوث

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريت باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

بالمركبات العطرية المتعددة الحلقات في مياه بحيرة سوريت، ولم تتناول الدراسات آلية تفكيك المركبات المستقرة في المياه العذبة الملوثة بها، كما أنه لا توجد دراسات عن تطبيق تقنية التجويف الهيدروديناميكي في معالجة المياه.

ولذلك يُعتبر هذا البحث الأول من نوعه في سوريا باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي لإزالة ملوثات كيميائية مستقرة ومعقدة ومعقدة على طرائق المعالجة التقليدية، وسيشكل هذا البحث حجر الأساس في مديرية الموارد المائية في اللاذقية لإمكانية تطبيقه على المصادر المائية المستخدمة لأغراض الشرب كي تلبى معايير الجودة المطلوبة والتي تنعكس إيجاباً على صحة الإنسان.

2 - مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث في وجود الملوثات العضوية المستقرة، ومنها المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات في المصادر المائية المستخدمة لأغراض الشرب (الينابيع والبحيرات والآبار)، ويسبب وصولها إلى الإنسان أمراضاً خطيرةً.

تتمثل المشكلة الأساسية للبحث بعدم قدرة محطات التنقية التقليدية الموجودة حالياً على تفكيك الملوثات العضوية المستقرة وإزالتها من مصادر المياه وبخاصة المستخدمة لأغراض الشرب، وبالتالي بقائها بعد عمليات التنقية ووصولها إلى الإنسان، وتتجسد المشكلة الخطيرة في تشكيل مركبات الهيدروكربونات الكلورية أوالترابي هالوميثانات (THMs) عند إضافة الكلور إلى المياه الحاوية على مركبات PAHs، والتي تتميز بسميتها العالية والمسببة للسرطانات والطفرات الجينية والوراثية والخلقية.

3 - أهمية البحث:

استناداً إلى مشكلة البحث، فإن أهمية البحث تتجلى من خلال تقييم واقع التلوث بملوثات تنتمي للملوثات العضوية المستقرة (المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات الـ PAHs) في مياه بحيرة سوريت، والتي تشكل خطراً كبيراً على النظام البيئي نظراً لسلوكها المعقد وخطورة التلوث البيئي فيها، ليتم اقتراح طريقة معالجة فعالة لإزالتها من هذه المياه بغية الوصول إلى معايير الجودة المطلوبة.

كل ماسبق يساهم في إمكانية تطبيق تقنية المعالجة المقترحة، والاستفادة منها في محطات تنقية مياه الشرب، وهذا العمل التآزري يحقق وصول المياه الصحية النظيفة الخالية من العوامل الممرضة إلى الإنسان.

4 - أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تقييم كفاءة تقانة التجويف الهيدروديناميكي في إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات من مياه بحيرة سوريث، وذلك من خلال المراحل التالية:

- 1- توصيف مياه البحيرة وتحديد خصائصها عن طريق أخذ عينات وتحليلها مخبرياً وتحديد تراكيز المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات فيها.
- 2- تصميم جهاز التجويف الهيدروديناميكي، وتميرير المياه المطلوب معالجتها عبر مفاعل التجويف، وتقييم درجة كفاءته في إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية من مياه بحيرة سوريث.

5 - وصف منطقة الدراسة:

تقع بحيرة سوريث في منطقة حريصون التابعة لمدينة جبلة في محافظة اللاذقية، وتبعد عن بحيرة السن مسافة 100 m من جهة الجنوب كما هو مبين في الشكل (5)، وتشارك بحيرة سوريث مع بحيرة السن بالحوض الصباب المغذي، وتعتمد في تغذيتها على المياه الجوفية الراشحة لمياه الأمطار والثلوج [27].



الشكل (5): موقع بحيرة سوريث

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريا باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

تعتبر الزراعة المهنة الرئيسية المنتشرة في الحوض المغذي لبحيرة سوريا، ويتم استخدام كميات كبيرة من المبيدات الزراعية و مواد التعقيم والأسمدة، كما تنتشر في المنطقة مصادر عديدة للتلوث أهمها مصبات الصرف الصحي والصناعي والحرفي، ومكبات القمامة العشوائية وغيرها من الملوثات، بالإضافة إلى التلوث الناجم عن وسائل النقل المختلفة وحرائق الغابات والنباتات والأشجار الحراجية والأعشاب، وكذلك حرق مواد التدفئة للبيوت البلاستيكية في فترات الصقيع [28,29].

هناك ارتباط مباشر بين الهطولات المطرية وارتفاع تصريف مياه نبع سوريا مما يدل على وجود سرعة عالية لانتقال المياه الجوفية الراشحة ووصولها إلى النبع بما تحمله معها من ملوثات [30].

إن أهمية نبع سوريا لا تقل أهمية عن نبع السن على الرغم من عدم استخدامه لأغراض الشرب في الوقت الحالي، وذلك بسبب العلاقة العضوية التي تربط بينهما، وأثناء انخفاض غزارة نبع السن تعود المياه من بحيرة سوريا إلى جوف الأرض، وتم توثقها بشكل دقيق خلال فترة الانخفاض الشديد في غزارة نبع السن وتزداد غزارة المياه الداخلة إلى جوف الأرض مع تقدم الزمن وانخفاض غزارة نبع السن واستمرت ظاهرة دخول الماء إلى جوف الأرض في بحيرة سوريا حتى بعد ارتفاع غزارة نبع السن، وهذا يشير إلى انتقال الملوثات من بحيرة سوريا إلى بحيرة السن [31].

6 - منهجية إجراء البحث:

6-1 - جمع العينات:

جُمعت عينات مائية من بحيرة سوريا في شهر شباط عام 2020م، تم تحديد بعض خواصها الهيدروكيميائية كدرجة الحرارة ودرجة الحموضة (pH) والناقلية وكمون الأكسدة والإرجاع باستخدام جهاز قياس حقلي نوع (PCT-407)، حُفظت العينات في عبوات زجاجية عاتمة تم تنظيفها مسبقاً بالمحلات العضوية (نظامي الهكسان ودي كلور الميثان)، وتمت عملية استخلاص المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات مباشرة بعد الوصول إلى المخبر [32,33].

تم أخذ العينات من موقع في شمال البحيرة كما هو مبين في الشكل (6)، ولقد اختير هذا الموقع لقربه من بحيرة السن، والتي من المحتمل أن تتأثر بالملوثات الموجودة في بحيرة سوريث نتيجة العلاقة العضوية التي تربط بينهما [31].



الشكل (6): صورة فضائية لموقع أخذ العينات في بحيرة سوريث

6-2- استخلاص العينات وتحليلها:

أستخلصت العينات المائية بعد جمعها مباشرة بطريقة استخلاص (سائل - سائل) بقمع الفصل سعة ليترين وباستخدام 80 ml من مزيج من المحلات العضوية (نظامي الهكسان ودي كلور الميثان بنسبة 1:1)، ثم ركزت الخلاصات العضوية باستخدام المبخر الدوار حتى 10 ml ثم بتيار من غاز الآزوت حتى 1 ml لتصبح جاهزة لعملية التحليل بواسطة جهاز الكروماتوغرافيا الغازية المزودة بكاشف مطيافية الكتلة (GC/MS) [32,33].

تم حساب تركيز مركبات الفحوم الهيدروجينية العطرية من العلاقة:

$$C = \frac{R_f * Area * V_{ext}}{V_{inj} * V} * 1000 \quad (1)$$

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

C: تركيز المركب في العينة (ng/l).

R_f : عامل الاستجابة.

Area: مساحة قمة المركب في العينة.

Vext: حجم الخلاصة (μ l).

Vinj: حجم العينة المحقونة (μ l).

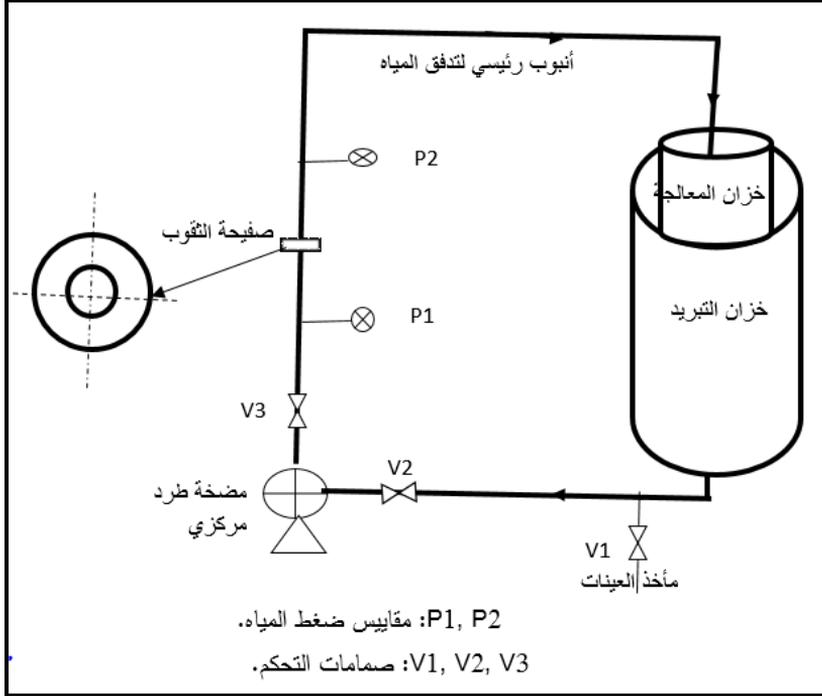
V: حجم العينة المائية المستخلصة (μ l).

6-3 - تصميم جهاز التجويف الهيدروديناميكي:

يعتبر مفاعل التجويف التصميم الأساسي في منظومة المعالجة المستخدمة في هذا البحث، وهو عبارة عن مفاعل فيزيائي كيميائي له بنية بسيطة نسبياً، ولكن له قدرة كبيرة على تحطيم الملوثات العضوية الصعبة التحلل.

إن تصميم مفاعل التجويف له الدور الأساسي في إنشاء فقاعات التجويف بأشكال وأحجام مختلفة خلال فترة تشغيله [22,23,24].

يوضح الشكل (7) تمثيل تخطيطي لمنظومة التجويف الهيدروديناميكي المستخدمة في هذا البحث، والتي تعمل على تدوير المياه ضمن حلقة مغلقة، حيث يتم ضخ المياه باستخدام مضخة طرد مركزي تتميز بالموصفات التالية (type PE90 ، Foras ، إيطالية الصنع، 2800 دورة في الدقيقة، استطاعة إحصان بخاري ، 0.74 كيلو واط) من خزان معدني خلال أنبوب رئيسي، ومنها إلى مفاعل التجويف الهيدروديناميكي ومن ثم تفرغ المياه مرة أخرى في الخزان، بالإضافة إلى مكونات المنظومة اللازمة لإتمام عملية التشغيل كصمامات التحكم، ومنها صمام يحتوي بداخله على مفاعل التجويف (عبارة عن سكر يحتوي على صفيحة مثقبة (orifice plate))، وتم استخدامه بسهولة فكه وتركيبه في حالة استبدال الصفيحة وتغييرها بصفيحة أخرى عند الحاجة.



الشكل (7): تمثيل تخطيطي لمفاعل التجويف الهيدروديناميكي

إن الأنبوب الرئيسي له الدور الأساسي في تدوير المياه خلال المنظومة، حيث يتم تفريغ المياه من فروع المضخة في الخط الرئيسي، والذي يتكون من توصيلات وأنابيب وصمامات تحكم ومفاعل التجويف ومقاييس ضغط المياه، وينتهي هذا الخط داخل الخزان على مستوى منسوب أسفل المياه، وذلك لتجنب أي تحريض للهواء في النظام، كذلك يتم توفير صمامات التحكم في الأماكن المناسبة للتحكم في معدل التدفق من خلال الخط الرئيسي، ويبلغ القطر الداخلي لخط التسليم للمضخة 1 inch، ويتم تزويد الخزان بغطاء تبريد، وبذلك يتم الحفاظ على درجة حرارة المياه ثابتة.

في هذه الدراسة، شملت التجربة إعادة تدوير المياه خلال أنبوب تدفق يستوعب داخلياً صفيحة مثقبة (orifice plate) بثقب واحد قطره (5 mm)، وهي مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ لقطرها (25.4 mm) وسماكتها (2 mm)، ومعظم عناصر المفاعل مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ والذي يتميز بمقاومة كيميائية عالية ومقاومة للتآكل.

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف
الهيدروديناميكي

أثناء التجربة تم فتح الصمامات بالكامل، للحفاظ على ضغط مدخل للمضخة بقيمة ثابتة والتي كانت مساوية 9 بار، تم أخذ عينات مائية بعد 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة من التشغيل وتحليلها وتحديد خواصها الهيدروكيميائية وتراكيز مركبات الـ PAHs.

تم تصميم هذه المنظومة ووضعها في مركز تكنولوجيات معالجة المياه في جامعة تشرين والواقع قرب الودعتين السكنيتين 17 و 18 والتابع لقسم هندسة النظم البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة.

يعتمد المقدار الإجمالي لتفكيك مركبات الـ PAHs بشكل رئيسي على شدة التجويف وعدد مرات حدوث التجويف، حيث هناك بارامتران أساسيان يعرفان التجويف وهما: رقم التجويف k وعدد مرات حدوث التجويف LC [20,21]، كما في المعادلتين التاليتين:
- رقم التجويف K:

$$K = \frac{P - P_n}{\frac{1}{2}(\rho\omega^2)} \quad (2)$$

حيث: P - الضغط في التدفق غير المضطرب [Pa].

P_n - ضغط البخار المشبع [Pa].

ρ - كثافة السائل [kg/m³].

ω - سرعة السائل المتدفق خلال الثقب [m/sec].

- عدد مرات حدوث التجويف (درجة الدوران) LC:

$$L_C = \tau \frac{V}{V_u} \quad (3)$$

حيث: τ - مدة التجويف [sec].

V - معدل التدفق الحجمي للمضخة [m³/sec].

V_u - حجم المياه في الخزان [m³].

- تم تقييم كفاءة عملية التجويف الهيدروديناميكي في تفكيك المركبات العطرية من حيث التغيرات في تركيز مركبات الـ PAHs بالنسبة إلى تركيزها الأولي، وفقاً للمعادلة التالية [24,25]:

$$E = \frac{C_o - C_t}{C_o} \quad (4)$$

حيث: E - كفاءة المعالجة %.

C_o - التركيز الأولي لمركبات الـ PAHs [ng/l].

C_t - تركيز مركبات الـ PAHs بعد زمن التجويف t [ng/l].

تعتمد كفاءة تفكيك المركبات في نظام التجويف الهيدروديناميكي على درجة الدوران (عدد مرات التكرار أثناء المعالجة)، فقد يرتبط تأثير التفكك على عدد مرات تدفق المحلول المدروس خلال منطقة التجويف، حيث تتطوي زيادة درجة الدوران على نفقات طاقة أعلى لذلك من الضروري ضبط بارامترات تشغيل النظام بحيث يكون استهلاك الطاقة منخفضاً قدر الإمكان.

7 - النتائج والمناقشة:

7-1 - نتائج تشغيل جهاز التجويف الهيدروديناميكي:

تم إجراء الدراسة التجريبية للمياه بعد أخذ عينة في شهر شباط عام 2020م، ودرست خواصها الكيميائية لتحديد درجة الحرارة و pH والناقلية وكمون الأكسدة والإرجاع، وتم تحديد التركيز الإجمالي للمركبات الهيدروكربونية العطرية (Σ PAHs).

تم إحضار مياه من بحيرة سورييت وملئ الخزان بحجم 33 لتر، بعد ترشيحها عبر منخل ناعم جداً لإزالة الشوائب والعوالق منها، وحددت خواصها الكيميائية، حيث كانت $t = 11^\circ\text{C}$ درجة حرارة المياه، ودرجة حموضة المياه $\text{pH}=7,23$ ، وقيمة كمون الأكسدة والإرجاع $\text{ORP} = 20,5 \text{ mv}$ ، والناقلية الكهربائية $= 530 \mu\text{sim/cm}$ ، والتركيز الإجمالي للمركبات $\Sigma\text{PAHs} = 435 \text{ ng/l}$.

تم تشغيل جهاز التجويف الهيدروديناميكي الذي تم تصميمه في ظل الظروف التجريبية الثابتة التالية: ضغط المضخة المطبق عند المدخل $p = 9 \text{ bar}$ ، ومقطع

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريا باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

التدفق ثابت لأنبوب قطره $D = 25,4 \text{ mm}$ ، ويحتوي في داخله على صفيحة مثقبة بثقب واحد قطره $d = 5 \text{ mm}$.

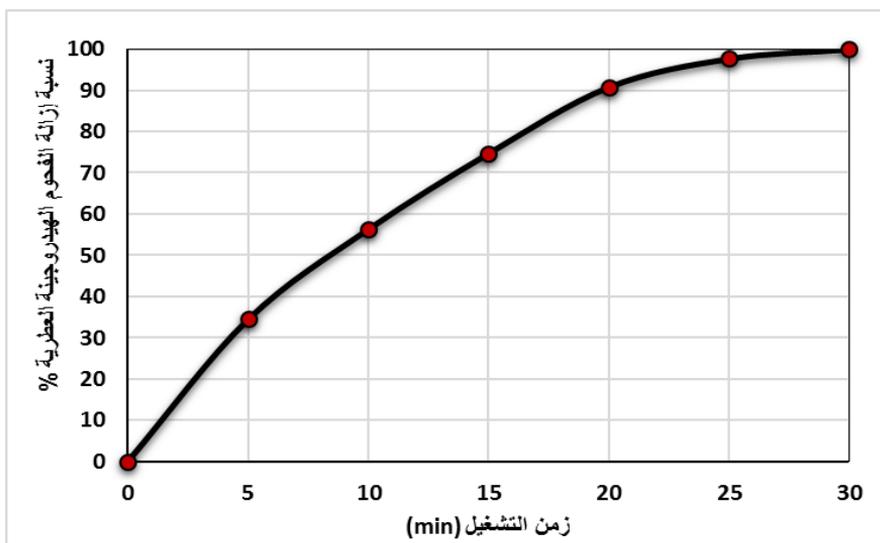
أخذت عينات مائية بعد تشغيل الجهاز بعد أزمنة متتالية 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة، وتم تحديد التركيز الإجمالي للمركبات الهيدروكربونية العطرية ودرجة الحرارة والـ PH والناقلية وكمون الأكسدة والإرجاع، ورتبت النتائج في الجدول (1).

الجدول (1): نتائج تشغيل جهاز التجويف الهيدروديناميكي

البارامترات الزمن (min)	التركيز الإجمالي للمركبات الهيدروكربونية $\sum PAHs$ (ng/l)	pH	الناقلية الكهربائية ($\mu S / Cm$)	كمون الأكسدة والإرجاع ORP (mv)	درجة الحرارة °C
0	435	7.23	530	20.5	11
5	285	7.28	575	28.4	11.2
10	190	7.33	590	35.8	11.4
15	110	7.4	598	46.7	11.7
20	40	7.41	607	66.5	12
25	10	7.42	610	79.5	12.2
30	0	7.42	612	82.3	12.3

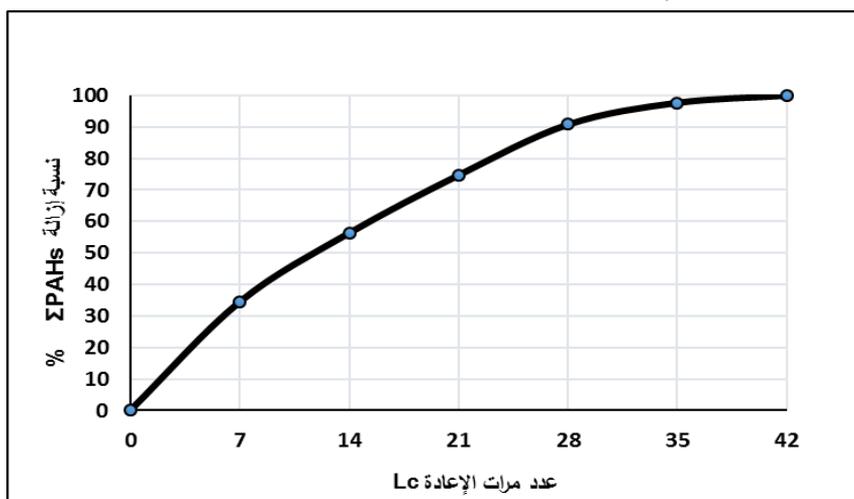
لوحظ من الجدول أعلاه تزايد نسبة إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات ($\Sigma PAHs$) مع زيادة زمن التشغيل، وقد بلغت نسبة الإزالة (35%) عند الزمن 5 min واستمرت هذه النسبة بالازدياد مع زيادة الزمن لتبلغ (95%) عند زمن التشغيل 25 min وقد بلغت (100%) عند الزمن 30 min، حيث لم يتم الكشف عن هذه المركبات كما هو مبين في الشكل (8)، ويعزى ذلك إلى زيادة في فقاعات التجويف والذي أدى إلى الازدياد في توليد الجذور الحرة وتشكيل إجهادات القص والعديد من النقاط

الساخنة الموضعية والتي ساهمت جميعها في زيادة نسبة تفكك مركبات (PAHS) مع الزمن.



الشكل (8): نسبة إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية (ΣPAHs) مع الزمن

كما لوحظ ازدياد نسبة إزالة مركبات PAHS مع زيادة عدد مرات التجويف (مرات الإعادة) كما هو مبين في الشكل (9)، ويعزى ذلك إلى الازدياد في توليد الجذور الحرارة وإجهادات القص والنقاط الساخنة، وجميع العوامل الناجمة عن التجويف والتي تزداد بشدة مع ازدياد عدد مرات الإعادة.

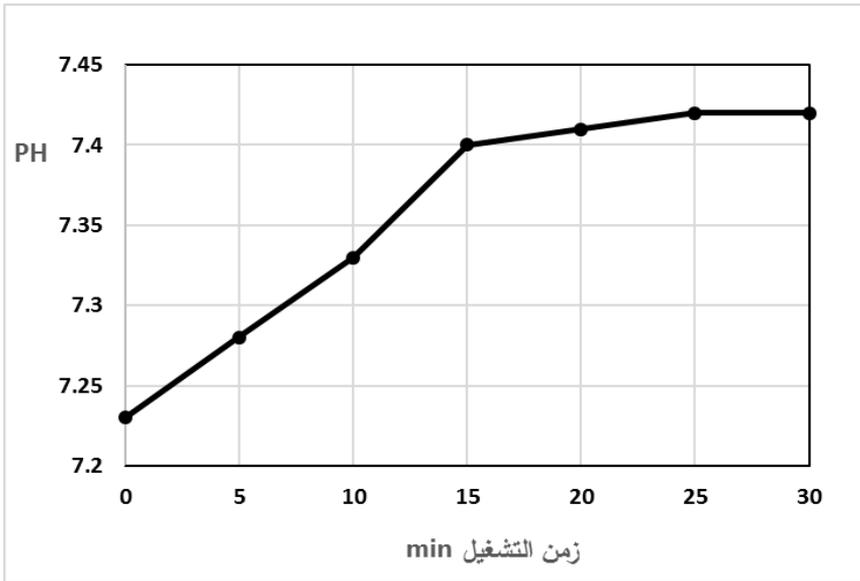


الشكل (9): نسبة إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية (ΣPAHs) مع عدد مرات الإعادة

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

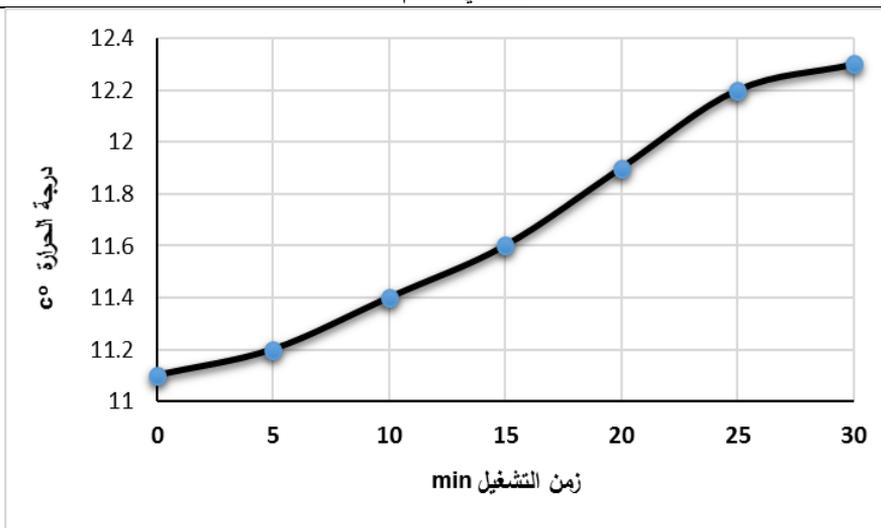
كانت نسبة الإزالة % 100 عند عدد مرات الإعادة (LC = 42) مرة عند الضغط المطبق 9 بار، وقد بلغ رقم التجويف $K = 0,43$ ، وهذا يتوافق مع الدراسات المرجعية بأن يكون رقم التجويف أصغر من الواحد ($k < 1$) كي تحدث ظاهرة التجويف [23,24,26].

يبين الشكل (10) تغيرات طفيفة في قيم الـ pH خلال عملية التجويف، حيث تراوحت قيمته ما بين 7,23 و 7,42، ويعزى ذلك إلى توليد جذور الهيدروكسيل خلال عملية التجويف، والتي أدت إلى هذا الارتفاع الطفيف في قيم الـ pH.



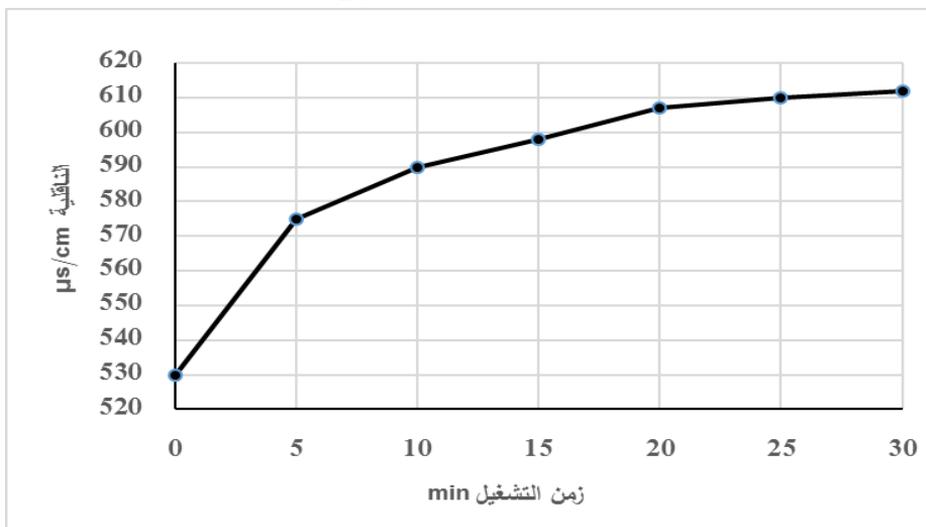
الشكل (10): تغيرات قيم الـ pH خلال عملية التجويف

ويبين الشكل (11) ارتفاعاً بسيطاً في قيم درجات الحرارة خلال عملية التجويف، فقد تراوحت القيم ما بين 11°C كقيمة دنيا و $12,3^{\circ}\text{C}$ كقيمة عليا، يعزى ذلك إلى طبيعة تجهيزات منظومة المعالجة المصنوعة من الحديد، بالإضافة إلى وجود خزان للتبريد متصل مع خزان المعالجة في قاعدته والذي حافظ على درجة حرارة المياه.



الشكل (11): تغيرات قيم درجات الحرارة خلال عملية التجفيف.

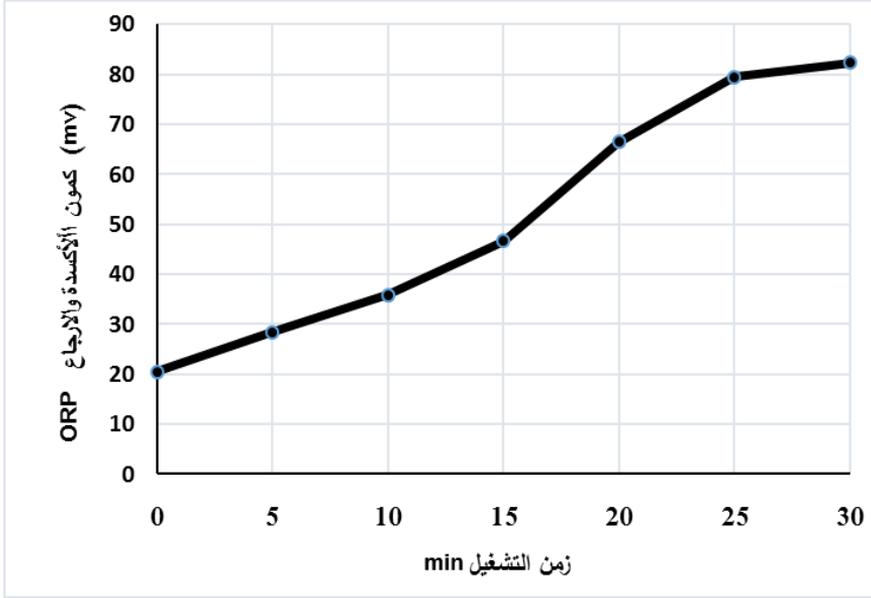
لوحظ ارتفاع في قيمة الناقلية الكهربائية خلال عملية التجفيف، حيث ازدادت القيمة من $530 \mu\text{sim}/\text{cm}$ حتى $612 \mu\text{sim}/\text{cm}$ عند الزمن 30 min، حيث كانت كفاءة المعالجة 100% كما هو مبين في الشكل (12)، ويعزى ذلك إلى توليد الجذور الحرة المسؤولة عن ازدياد عدد الشوارد والأملاح المنحلة، التي ارتفعت قيمتها مع ارتفاع كفاءة المعالجة نتيجة ازدياد تفكيك المركبات الثابتة وتحولها إلى مركباتها البسيطة.



الشكل (12): تغيرات قيم الناقلية خلال عملية التجفيف

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي

كما ازداد كمون الأكسدة والإرجاع خلال عملية التجويف، حيث تراوحت قيمته من (20,5 mv) وحتى القيمة (82,3 mv) عند زمن التشغيل (30 min) كما هو مبين في الشكل (13)، ويمكن أن يعزى ذلك إلى توليد الكثير من الجذور الحرة شديدة التفاعل المسؤولة عن تفاعلات الأكسدة والإرجاع الحاصلة خلال عملية تفكيك المركبات.



الشكل (13): تغيرات قيم كمون الأكسدة والإرجاع خلال عملية التجويف

8 - الاستنتاجات والتوصيات:

8-1 - الاستنتاجات:

- 1 - وجود المركبات العطرية متعددة الحلقات في المياه العذبة (بحيرة سوريث)، حيث كانت قيمة تراكيزها الإجمالية (435 ng/l) وهي أكبر من القيم المسموحة، وبالتالي ستشكل خطراً كبيراً على صحة الإنسان.
- 2 - تعتبر تقنية التجويف الهيدروديناميكي عملية فعالة واعدة في إزالة مركبات PAHs من المصادر المائية.
- 3 - تزايد كفاءة الإزالة مع زيادة زمن التجويف وعدد مرات الإعادة، حيث كانت نسبة الإزالة (100%) عند زمن التشغيل (30 min) وعدد مرات الإعادة (42 مرة).

4 - هناك ارتفاعاً بسيطاً على درجات الحرارة ودرجة الحموضة خلال عملية التجويف، فقد زادت درجة الحرارة من القيمة 11°C وحتى $12,3^{\circ}\text{C}$ ، وتراوحت قيم الـ pH ما بين 7,23 و7,42.

5 - وجد ازدياداً في قيم الناقلية وكمون الأكسدة والإرجاع أثناء عملية التجويف، حيث ازدادت قيمة الناقلية من ($530\ \mu\text{sim/cm}$) وبلغت ($612\ \mu\text{sim/cm}$)، وكذلك ارتفعت قيمة كمون الأكسدة والإرجاع من ($20,5\ \text{mv}$) وحتى ($82,3\ \text{mv}$) عند زمن التجويف (30 min).

8 - 2 - التوصيات:

- 1- تطبيق تقنية التجويف الهيدروديناميكي على المصادر المائية وبخاصة المستخدمة لأغراض الشرب.
- 2 - دراسة تأثير تغيير ضاغط المضخة والتصميم الهندسي للصفحة المثقبة على كفاءة التجويف.
- 3 - دراسة تأثير تغيير التركيز الأولي لمركبات الـ PAHs على نسبة الإزالة، وتأثير تغيير درجات الحرارة وغيرها من العوامل المؤثرة على عملية التجويف.
- 4 - تطبيق عملية التجويف على المياه الملوثة بالمركبات الثابتة الأخرى كالمبيدات والهرمونات والأدوية والأصباغ وغيرها من الملوثات الثابتة.
- 5 - دراسة بيئية شاملة وفق برامج بيئية صارمة للحد من تلوث الحوض المغذي نظراً لأهمية البحيرة وكونها تشكل النصف الثاني لبحيرة السن الرافد الأساس لمياه الشرب في اللاذقية.

9 - المراجع:

- [1] GREY, D., GARRICK, D., BLACKMORE, D., KELMAN, J., MULLER, M., SADOFF, C. (2013), Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. **Phil Trans R Soc A** 371: 20120406.
- [2] WHO. (2012). Pharmaceuticals in Drinking Water. **World Health Organization**.
- [3] ICON Consultants. Pollutants in Urban Waste Water and Sewage Sludge – Final Report for DG Research, 2001, **Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg**.
- [4] EL-SHAHAWI, M., HAMZA, A., BASHAMMAKH, A., AL-SAGGAF, W. - An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants, **Talanta**, 80(5), 2010, 1587-1597.
- [5] LIU, J., LEWIS, G. - Environmental toxicity and poor cognitive outcomes in children and adults, **J Environ Health** 76(6): 2014,130–138.
- [6] LI, Z., JENNINGS, A. - Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water, **Journal of Environmental Management** 212 USA, 2018, 384-394.
- [7] NET, S., DUMOULIN, D., EL-OSMANI, R., RABODONIRINA, S., OUDDANE, B. -Case study of PAHs, Me-PAHs, PCBs, phthalates and pesticides contamination in the Somme river water, France. **Int. J. Environ. Res.** 8, 2014, 1159–1170.
- [8] VILLA, R., S., DUQUE, W., O. MARTHA PÁEZ, M., MARTA SCHUHMACHER, M. - Presence of PAHs in water and sediments of the Colombian Cauca River during heavy rain episodes, and implications for risk assessment, **Science of the Total Environment** 540, 2016, 455–465.
- [9] LI, G., SHIMIN Wu, S., LIN WANG, L., CASIMIR, C., AKOH, C., C. -Concentration, dietary exposure and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in youtiao, **a Chinese traditional fried food, Food Control** 59, 2016, 328-336.

- [10] AKINYEYE, R. O., ADEBAWORE, A. A., AWOKUNMI, E. E., OLANIPEKUN, E. O., - Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons in water from hand dug wells at Ile-Oluji, Nigeria. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)**, 2016, Vol. 10., PP 112-119.
- [11] HARVEY, A. N., SNAPE, I., SICILIANO, S. D. – Validating potential toxicity assays to assess petroleum hydrocarbon toxicity in polar soil. **Environmental Toxicology Chemistry**, 31, 2012, 402-407.
- [12] ZHANG, Y., ZHANG, L., HUANG, Z., LI, Y., LI, J., WU, N., HE, J., ZHANG, Z., LIU, Y., NIUB, Z., 2019- Pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in drinking water of China: Composition, distribution and influencing factors, **Ecotoxicology and Environmental Safety** 177, 108–116.
- [13] KAMIŃSKA, G., KUDLEK, E., DUDZIAK, M., BOHDZIEWICZ, J. Removal of biologically active substances during mechanical-biological wastewater treatment (in Polish). **Inżynieria Ekologiczna**, (2016), 50, 201–209.
- [14] CRINIA, N. M., WINTERTONB, P., LEE D. WILSOND, L. D., Water-insoluble -cyclodextrin–epichlorohydrin polymers for removal of pollutants from aqueous solutions by sorption processes using batch studies: A review of inclusion mechanisms – **Progress in Polymer Science** 78, (2018), 1–23.
- [15] ALTUNTAS, K., EYUP D. E., DDT REMOVAL BY NANO ZERO VALENT IRON: INFLUENCE OF pH ON REMOVAL MECHANISM. The Eurasia Proceedings of Science, Technology, **Engineering & Mathematics (EPSTEM)** ISSN: 2602-3199 Antalya/Turkey.
- [16] PADHI, R.K., SUBRAMANIAN, S., MOHANTY, A.K., SATPATHY, K.K. - Comparative assessment of chlorine reactivity and trihalomethanes formation potential of three different water sources, India. **Journal of Water Process Engineering**. V. 29, 2019, 100769.
- [17] WANG, C., KLAMERTH, N., MESSELE, S. A., SINGH, A., BELOSEVIC, M., GAMAL EL-DIN, M. Comparison of UV/hydrogen peroxide, potassium ferrate(VI), and ozone in

oxidizing the organic fraction of oil sands Process -affected water (OSPW). **Water Res** 100, (2016), 476–485.

[18] JUNG, C., SON, A., HER, N., ZOH, K., CHO, J., YOON, Y. - Removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals, and personal care products in water using carbon nanotubes: A review, **Journal of Industrial and Engineering**, 2015.

[19] CHEMISTRY, BAKIR, A., ROWLAND, S. J., THOMPSON, R.C. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. **Environmental Pollution**, 185, (2014), 16–23.

[20] GAŁOŁA, M., PRZYJAZNYB, A., BOCZKAJA, G. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation – A review. **Chemical Engineering Journal** 338 (2018) 599–627.

[21] DINDAR, E. An Overview of the Application of Hydrodynamic Cavitation for the Intensification of Wastewater Treatment Applications: A Review. **Innov Ener Res** 5: (2016). 137.

[22] POZSGAI, E., GALAMBOS, I., DOKA, G., CSOKA, L. Use of hydrodynamic cavitation with additional high purity water for thermal water treatment. **Chemical Engineering and Processing** 1(17)31307-7. (2018). PII: 255-270.

[23] TAO, Y., CAI, J., LIU, B., XIULAN HUAI, X., ZHIXIONG GUO, Z., Hydrodynamic cavitation in wastewater treatment: A review. **Chem. Eng. Technol.** 39, No. 8, (2016), 1363–1376.

[24] MUSMARRA, D., PRISCIANDARO, M., CAPOCELLI, M., KARATZA, D., IOVINO, P., CANZANO, S., LANCIA, A. - Degradation of ibuprofen by hydrodynamic cavitation: Reaction pathways and effect of operational parameters. **Ultrasonics Sonochemistry** 29. (2016), 76–83.

[25] MANDAR P. BADVE, M. P., MIHIR N. BHAGAT, M. N., ANIRUDDHA B. PANDIT, A. B. Microbial disinfection of seawater using hydrodynamic cavitation. **Separation and Purification Technology** 151, (2015), 31–38.

[26] PANDA, D., MANICKAM, S. Hydrodynamic cavitation assisted degradation of persistent endocrine-disrupting organochlorine pesticide Dicofol: Optimization of operating

parameters and investigations on the mechanism of intensification, **Ultrasonics Sonochemistry**, (2018).

[27] AZKI, FAWAZ, ALABDALLA, ABDULKARIM, New Hydrogeological data of Al-Sin aquifer with the help of geoelectrical prospecting, **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series** Vol. (35) No. (3), 2013, 97-100. (in Arabic)

[28] AMMAR, GHATFAN -Study of the Flood in Al-Sen River, **Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series** Vol (28) No (2), 2006. (in Arabic)

[29] CHEIKHO, TAHER, HAJ ISSA, MAHMOUD, DAYOUB, HADI, - Study of Some Physical and Chemical Properties of Al-Sen River Waters in Syrian Coastal Basin, **Syrian Journal of Agricultural Research – SJAR** 6(3), 2019, 333-350. (in Arabic)

[30] Water Balance Project in the Coastal Basin, **Directorate of Water Resources**, Lattakia, 2005. (in Arabic)

[31] Report of the Directorate of Water Resources in Lattakia - **The relationship between the two springs of al-Sen and Sureat**, 2016. (in Arabic).

[32] UNEP, "UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME". Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. **Reference Methods for Marine Pollution Studies**, No. 20,1992,78.

[33] ARIAS, A. H., VAZQUEZ-BOTELLO, A., TOMBESI, N., PONCE-VÉLEZ, G., FREIJE, H., MARCOVECCHIO, J. - Presence, distribution, and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Bahía Blanca estuary, Argentina. **Environmental Monitoring and Assessment**, 160(1–4), 2010, 301–314.

إزالة الملوثات العضوية المستقرة من مياه بحيرة سوريث باستخدام تقنية التجويف
الهيدروديناميكي

تقدير قدرة التحمل الحديدية لوتد بيتوني مفرد في تربة غضارية

الدكتور رامي العبدہ (1)

□ الملخص □

يمثل هذا البحث محاولة لإنشاء قاعدة معطيات أولية عن تجارب التحميل الستاتيكية للأوتاد البيتونية المنفذة في الترب الغضارية وذلك عن طريق تحليل عدد كبير من منحنيات تجارب التحميل العددية المجرأة على البرنامج العددي ABAQUS بعد معايرته على تجربة تحميل حقلية، وإجراء دراسة تغير قيمة التحمل الحديدية للوتد بدلالة عدد من البارامترات الأساسية للتربة مثل معامل يونغ، والتماسك وغيرها، وبناء على النتائج تم اقتراح علاقة تجريبية أولية لحساب قدرة التحمل الحديدية للوتد في تربة غضارية واقتراح معادلة لرسم منحنى (الهبوط - الحمولة) للتجربة بمعرفة أحد بارامترات التربة السابقة الذكر، كما تم مقارنة النتائج مع الطرق الشائعة المعمول بها لتقدير الحمولة الحديدية للوتد، وتبين أن العلاقات المقترحة تقدم طريقة سهلة وبسيطة لرسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية للوتد ويمكن اعتبارها مقدمة للمتابعة في تطوير البحث ليشمل أنواعاً أخرى من الترب.

الكلمات المفتاحية: وتد بيتوني، تربة غضارية، طريقة العناصر المنتهية، قدرة تحمل الوتد، تجربة التحميل الستاتيكية.

(1) مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Prediction of the Ultimate Load Capacity of a Single Concrete Pile in Clayey Soil

Dr. Rami Alabdeh ⁽¹⁾

□ ABSTRACT □

This research is an attempt to establish a preliminary database on the experiments of static loading on the concrete piles applied in clayey soils. The research was based on the analysis of a large number of curves of the numerical load experiments on the ABAQUS numerical program after calibration on a field experiment, and study of changing the value of parameters such as Yong coefficient, cohesion and others. Based on the results, a preliminary experimental relationship was proposed to calculate the ultimate load capacity of the pile in clayey soil and suggested an equation for the regression curve of the experiment with one of the above soil parameters. The results were compared with the common methods used to estimate the ultimate load of the pile. The proposed equations offer easy and simple method to draw the load curve and estimate the ultimate load of the pile and can be considered as an introduction to follow-up research development to include other types of soils.

Key words: Concrete Pile, Clayey Soil, Finite Element Method (FEM), Pile Load Capacity, Static Load Test.

*Assistant Professor - Department of Geotechnical Engineering - Faculty of Civil Engineering -Tishreen University – Lattakia– Syria.

1-مقدمة:

لازال التأسيس على الأوتاد يكتسب كل يوم أهمية جديدة ويلقى مزيداً من الاهتمام والإقبال من الجهات المصممة في مجال الهندسة الجيوتكنيكية نظراً لأن تنفيذه لا يسبب الكثير من الإرباك في الورشة ونظراً إلى كفاءته العالية كبديل مناسب لحل المشكلات التقنية والتصميمية التي تصادف الأساسات السطحية. تكاد الدراسات في هذا المجال لا تتوقف لأن السلوك الحقيقي للوتد مرتبط بالكثير من البارامترات والمؤثرات التي لا يمكن أن تدرس كلها مجتمعة، لذلك يبقى مجال الأوتاد مجالاً رحباً للبحث العلمي المستجد وإدخال أفكار وموضوعات وتعديلات جديدة عليه.

يقاوم الوتد قوة الضغط الحدية Q_u المطبقة عليه من خلال احتكاك سطحه الجانبي بالتربة المحيطة به Q_s وعن طريق رد فعل التربة على سطح استناد قدم الوتد Q_p . يوجد العديد من الطرق النظرية لتحديد كل من الاحتكاك الجانبي ورد فعل التربة عند قدم الوتد مثل مايرهوف وفيسك وجانبو وغيرها، لكن نظراً لأن العلاقات الرياضية لهذه الطرق تحتوي على معاملات يصعب تحديد قيمها الحقيقية (الفعلية) بدقة كافية لذلك فإنه لا يجوز الاعتماد على نتائج هذه العلاقات وحدها ويتحتم التحقق من هذه النتائج بإجراء تجارب تحميل في الموقع على بعض الأوتاد.

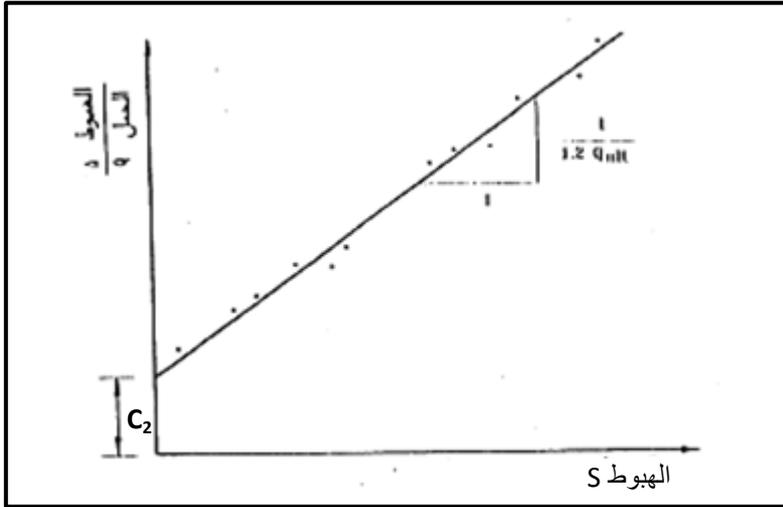
تجربة تحميل الأوتاد:

إن تجربة تحميل الأوتاد هي تجربة حقلية مهمتها مراقبة سلوك الوتد المنفذ في الموقع تحت تأثير تحميل حقيقي عليه وتقدير أقصى حمولة يمكن أن يتحملها الوتد دون أن ينهار. يمكن إجراء هذه التجربة على أوتاد الاحتكاك وأوتاد الارتكاز على حد سواء بعد مرور مدة زمنية كافية على تنفيذها حتى تستعيد التربة استقرارها الأولي. يشمل تجهيز التجربة الأمور الآتية: تجهيز الوتد، تجهيز الأرض المحيطة بالوتد، تجهيز وسيلة رد الفعل، تجهيز وسيلة نقل الأحمال، تجهيز وسيلة قراءة الهبوط [10]. يتم أثناء التجربة تشكيل جدول بالحمولات المطبقة على رأس الوتد والهبوطات المقابلة لها وبعدها نفرغ هذه البيانات بمخطط (الحمولة - الهبوط) ليتم تقييمها بإحدى طرق التقييم لتحديد الحمولة الحدية للوتد Q_u [9].

طرق التقييم لتحديد الحمولة الحديدية للوتد:

يوجد طرق متعددة لتقييم منحني (الحمولة-الهبوط) واستنتاج قيمة الحمولة الحديدية للأوتاد [3,4,5,6]. سنعتمد في بحثنا من بين هذه الطرق على الطريقتين الأكثر شيوعاً واستخداماً وهما طريقة شين (Chin) المعدلة [3] وطريقة دافيسون (Davisson) [4] من أجل مقارنة نتائجهما مع نتائج العلاقة التجريبية التي سنقترحها بعد الاستقراء العددي لتجارب التحميل المجراة بواسطة برنامج ABAQUS.

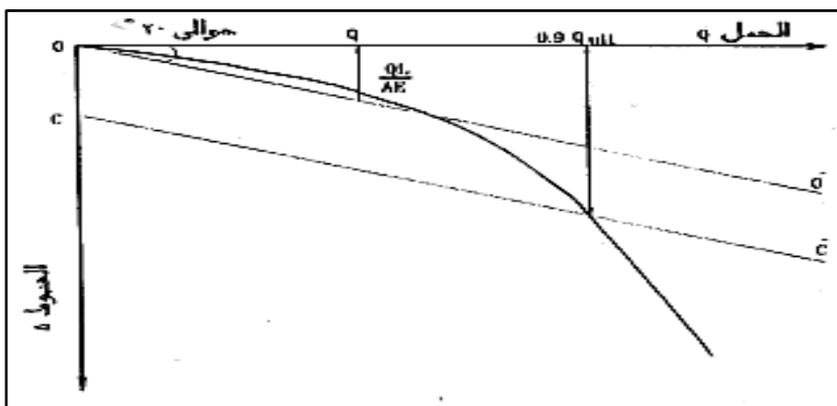
اقترح شين (Chin) إعادة رسم العلاقة بين الهبوط للوتد S ونسبة الهبوط إلى الحمل المناظر (S/Q) كما في الشكل (1) [3]، وتمثل هذه العلاقة عادة خطأً مستقيماً باستثناء القيمة المناظرة لبدائيات التجربة ويحدد الحمل الأقصى (الحمولة الحديدية) من ميل الخط الناتج بالعلاقة $Q_u = 1/1.2 C_1$ ، كما اقترح شين المعادلة الآتية لإعادة رسم منحني (الحمولة-الهبوط) $S/Q = C_1 S + C_2$ حيث C_1 يمثل ميل الخط الناتج من الشكل (1) و C_2 يمثل نقطة تقاطع هذا الخط مع المحور الشاقولي في الشكل (1).



الشكل (1): تعيين الحمولة الحديدية للوتد بطريقة تشن المعدلة.

أما دافيسون (Davisson) فقد قام باقتراح طريقة لتحديد الحمولة الحديدية بالاعتماد على منحنى التحميل حيث ترسم العلاقة في هذه الطريقة بين الحمل والهبوط كما في الشكل

(2) [4] مع اختيار مقياس رسم مناسب بحيث يكون الخط OO' الذي يمثل العلاقة بين الحمل والانتضاغ لوتد حر مرن محمل محورياً طوله L ومساحة مقطعه A ومعامل مرونة مادته E يصنع زاوية 20 درجة مع محور الحمولة. تؤخذ المسافة OC مساوية $(d*0.08+3.8)$ mm حيث d : قطر الوتد مقدراً بالـ cm ومن ثم يرسم CC' موازياً لـ OO' . بحسب دافيسون: يحدد تقاطع الخط CC' مع منحنى التحميل 90% من الحمولة الحديدية Q_u .



الشكل (2): تحديد الحمولة الحديدية للوتد بطريقة دافيسون

إن تحديد قدرة تحمل الوتد الحديدية من تجارب التحميل هو وحده الذي يؤكد عملياً صحة المعادلات والصيغ الجاهزة المستخدمة في حساب قدرة التحمل المسموح بها للوتد، لكن تبقى هذه التجارب عالية الكلفة وتستلزم تجهيزات ومعدات خاصة ومريكة فضلاً عن الوقت والجهد المصروفين والمحتسب من وقت المشروع مما يدعو إلى البحث عن موارد جديدة تشكل بديلاً سريعاً لهذه التجارب دون الاستغناء عنها.

إحدى هذه البدائل المقترحة هي تحليل ودراسة نتائج عدد كبير من تجارب التحميل وربطها بعلاقات مناسبة وذلك بهدف التوصل إلى صيغ رياضية مقبولة يمكن استعمالها في التصميم ومقارنة نتائجها مع الطرق المعمول بها في هذا المجال لتشكل رديفاً لهذه الطرق.

2-موضوع البحث وأهدافه:

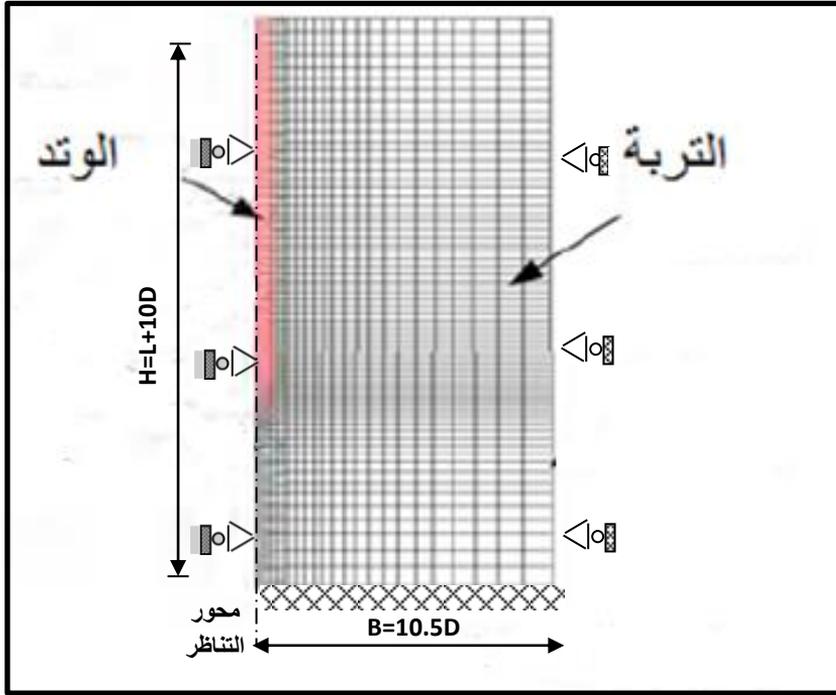
يتناول هذا البحث دراسة تجارب التحميل الستاتيكية على الأوتاد البيتونية في الترب الغضارية مع دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على نتائج هذه التجارب وقدرة التحمل الحديدية لهذه الأوتاد. يعتمد هذا البحث على إجراء عدد كبير من تجارب التحميل باستخدام برنامج الحساب المتطور بطريقة العناصر المنتهية ABAQUS ومن ثم تحليل نتائج هذه التجارب واستنتاج علاقة تجريبية بسيطة وسهلة الاستخدام يمكن بواسطتها رسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية لوتد بيتوني منفذ في تربة غضارية دون الحاجة لإجراء تجارب تحميل حقلية مما يوفر الكلفة المادية والزمنية العالية للتجارب الحقلية.

3- مواد وطرق البحث:

تم الاعتماد في عذا البحث على المنهج التحليلي المقارن حيث تم استخدام طريقة العناصر المنتهية لنمذجة تجربة التحميل الستاتيكية لوتد منفذ في تربة غضارية. بداية تم وضع موديل عددي مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة كل من الحمولة المطبقة والوتد والترية المحيطة به وتم إدخاله في برنامج الحساب بطريقة العناصر المنتهية ABAQUS . بعد تحقيق الموديل العددي على تجربة تحميل حقلية تم الحصول عليها بنتيجة البحث المرجعي تم استخدام هذا الموديل لإجراء أكثر من مائة وستين تجربة تحميل حاسوبية مجراة على برنامج ABAQUS وذلك على أوتاد بنسب مختلفة لطول الوتد إلى قطره ومن أجل قيم مختلفة لبارامترات التربة المحيطة بالوتد. بعد إجراء التجارب وتحليل نتائجها تم التوصل إلى اقتراح علاقة سهلة الاستخدام يمكن بواسطتها رسم منحنى التحميل وتقدير الحمولة الحديدية للوتد. في النهاية، تم مقارنة الطريقة المقترحة مع طريقتين من الطرق الشائعة المستخدمة لتقدير الحمولة الحديدية للأوتاد وتبين واقعية وفائدة استخدام الطريقة والعلاقات التي تم التوصل إليها بنتيجة البحث.

4- الموديل العددي:

يبين الشكل (3) الموديل العددي المستخدم في البحث. تم اختيار الأبعاد الخارجية للموديل (BxH) كبيرة بشكل كافٍ لتغطية منطقة توزع الإجهادات من جهة ولتلافي تأثير حدود الموديل على نتائج الحساب من جهة أخرى، ولذلك تم اعتماد أبعاد الموديل (BxH = 10.5D x L+10D) حيث D و L هما قطر الوند وطوله على التوالي.



الشكل (3): الموديل العددي المستخدم

تعتمد الشروط الحدودية الطرفية على استخدام مساند متحركة شاقولياً (السماح بالانتقال الشاقولي ومنع الانتقال الأفقي) على الحدين الشاقوليين اليميني واليساري لشبكة العناصر المحدودة، مع افتراض وجود وثاقة عند الحد السفلي لشبكة العناصر المحدودة (الانتقال معدوم بالاتجاهين الأفقي والشاقولي). تم الحساب باعتبار سلوك الوند خطياً مرناً (Linear Elastic)، في حين تم استخدام قانون مور-كولومب (Mohr-Coulomb) المرن-اللدن لتمثيل سلوك التربة [7]. وباعتبار حالة التناظر الدوراني للمسألة حول

المحور الشاقولي المار من مركز الوتد فقد تم تقسيم الوتد والتربة المحيطة به باستخدام عناصر محددة رباعية الأضلاع متناظرة محورياً (Axisymmetric Quadrilateral Finite Elements). تم تقسيم الوتد باستخدام شبكة عناصر محددة ذات تباعد منتظم لشبكة العناصر المستخدمة، أما بالنسبة للتربة ومن أجل مراعاة تركيز الإجهادات بالقرب من الوتد فقد تم تكثيف تقسيم التربة في المنطقة المجاورة للوتد بينما تكون كثافة التقسيم أقل نوعاً ما كلما ابتعدنا عن الوتد [1,11].

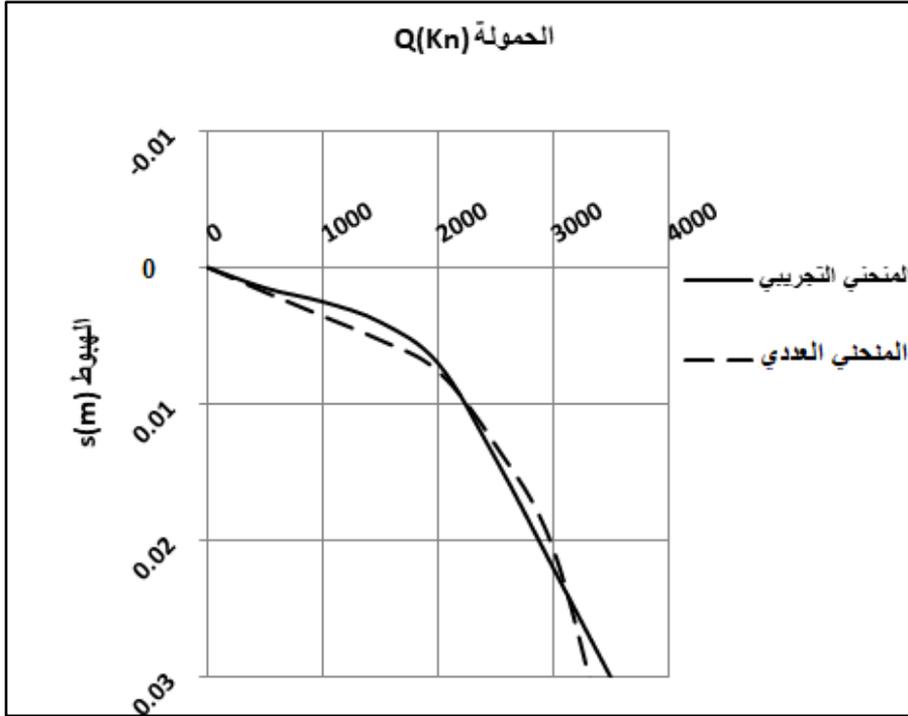
تحقيق الموديل العددي:

بعد وضع الموديل العددي تم القيام بتحقيقه على تجربة تحميل حقلية تم الحصول عليها بنتيجة البحث المرجعي [11]. أجريت التجربة على أحد الأوتاد المستخدمة في تأسيس جسر Alzay في ألمانيا. طول الوتد 9.5m وقطره 1.3m ويخترق طبقة من الغضار القاسي. يبين الجدول (1) خصائص كل من الوتد وتربة الموقع الغضارية والتي تم إدخالها كما هي ضمن برنامج الحساب العددي ABAQUS.

الجدول (1): مواصفات التربة والوتد لتجربة المعايرة الحقلية

C (kPa)	ϕ (°)	μ	E (MPa)	γ (kN/m ³)	الخاصية
20	20	0.3	60	20	التربة
-	-	0.15	20000	25	الوتد

أجريت التجربة بتطبيق حمولات متزايدة على رأس الوتد مماثلة لتلك المطبقة في التجربة الحقلية وتم حساب الهبوط الشاقولي للوتد من أجل كل قيمة للحمولة وبالتالي رسم منحنى (الحمولة - الهبوط). يبين الشكل (4) مقارنة بين منحنى التحميل الحقلية والمنحنى العددي حيث نلاحظ وجود تقارباً كبيراً بين المنحنيين وبالتالي يمكن القول أن الموديل العددي المقترح محقق ويمكن استخدامه لتوليد تجارب تحميل عددية فيما يلي من البحث.



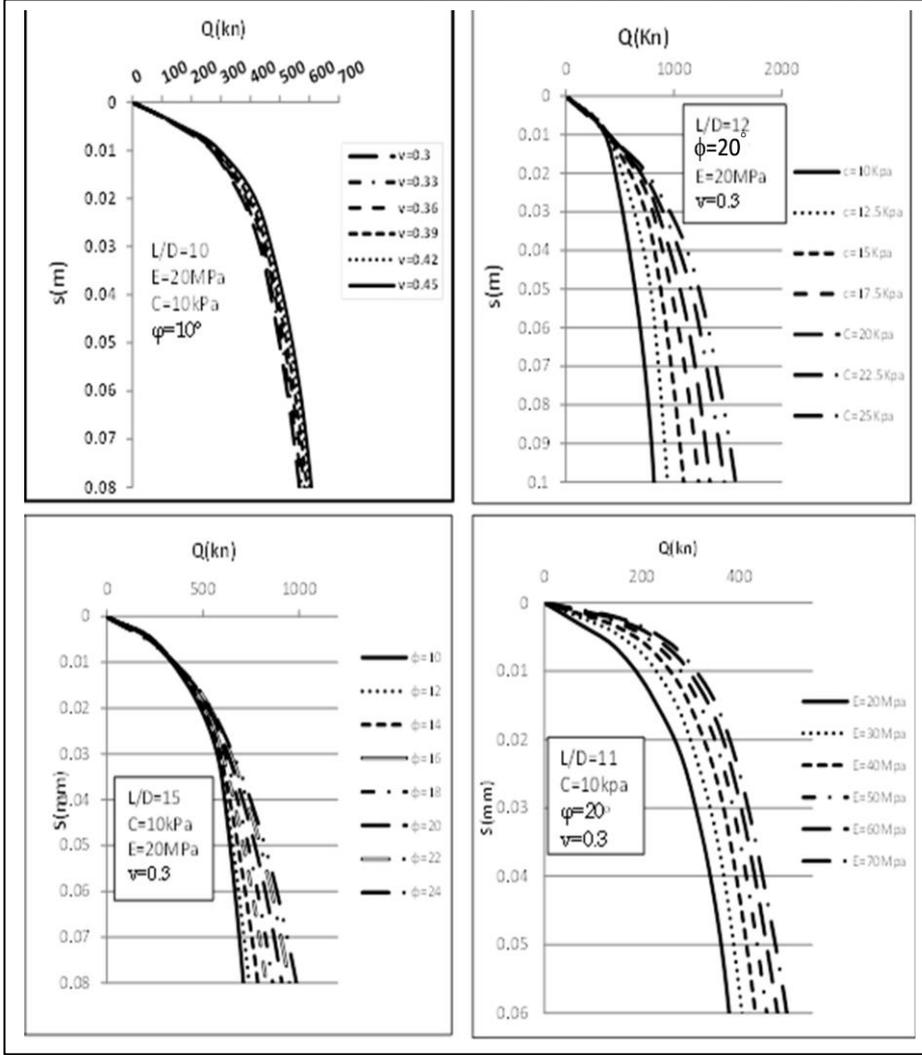
الشكل (4): مقارنة بين منحنىي(الحمولة-الهبوط) التجريبي الحقل والعددي

5- النتائج والمناقشة:

5-1 تأثير بارامترات التربة على منحنى التحميل:

لمعرفة تأثير كل من بارامترات التربة الأساسية (C, ϕ, μ, E) المستخدمة في قانون مور-كولومب لوصف سلوك التربة حول الوتد (لم يدرس البارامتر الخامس اللازم لتعريف قانون مور-كولومب وهو زاوية التمدد ψ لأنه يحسب ضمناً بدلالة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ϕ في البرنامج) تم القيام بإجراء تجارب تحميل عددية مختلفة من أجل كل بارامتر من البارامترات الأربع. يبين الشكل (5) منحنيات التحميل العددية الناتجة. نلاحظ من الشكل أن هناك أثراً كبيراً لتماسك التربة C ومعامل يونغ E وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ على منحنى التحميل للوتد في حين أن معامل بواسون μ ليس له تأثير يذكر

وهذا ما نلاحظه من خلال تقارب المنحنيات عند تغيير قيمته لذلك تم إهمال دراسته
كعاماً، مؤثراً فعالاً، في تحليل نتائج تحادب التحميل.



الشكل (5): تأثير كل من بارامترات التربة الأساسية على منحنى التحميل للوتد

5-2 تجارب التحميل العددية:

بعد وضع الموديل العددي وتحقيقه وتحديد البارامترات الأكثر تأثيراً على منحنيات التحميل تم إجراء عدد كبير من تجارب التحميل العددية لاستخدام نتائجها في الاستقراء العددي لمنحنى التحميل وقدرة التحمل الحدية للأوتاد. بالنسبة لبارامترات التربة المدخلة

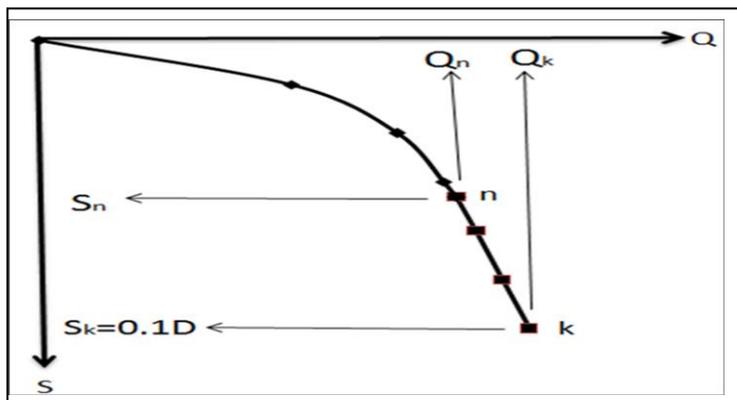
في الحسابات فقد تم الاعتماد على الجدول (2) لاختيار قيمها وهو مأخوذ من تصنيف الكود الألماني للتربة الغضارية [8].

جدول (2): مواصفات التربة الغضارية وفق الكود الألماني

الحالة	$\Phi(^{\circ})$	C(kPa)	E_{oed} (MPa)	γ (kN/m ³)	μ
غضار طري	15-25	5-15	1-2.5	17.5	0.4-0.45
غضار متماسك جداً	15-25	10-20	2.5-5	18.5	0.3-0.35
غضار شبه متصلب	15-25	15-25	5-10	19.5	0.3

أما الأوتاد فهي ذات خواص مرونة ثابتة ($E=20\text{GPa}$, $\mu=0.15$) ولكن أبعادها (الطول L والقطر D) متغيرة. تم عمل عدد كبير من تجارب التحميل على أوتاد بقيم المختلفة للنسبة L/D كما يلي: ($L/D= 10,11,12,13,14,15,20,30,40,50$) في تربة غضارية ذات مواصفات مختلفة مأخوذة من الجدول السابق، ثم تم رسم منحنيات (الحمولة-الهبوط) لكل تجربة. لاحظنا في المنحنيات العديدة الناتجة ومن المنحنيات لتجارب حقلية عديدة أنه في معظم منحنيات التحميل يمكن تقسيم منحنى التحميل لجزئين أساسيين: جزء منحنى أولي وجزء مستقيم عند نهاية التجربة كما في الشكل (6).

سنعرف نقطة التقاء الجزء المنحني بالجزء المستقيم بالنقطة (n) والهبوط عندها للوئد بـ (S_n) والحمولة المقابلة لها بـ (Q_n) ونقطة نهاية الجزء المستقيم بـ k والهبوط عندها للوئد بـ (S_k) والحمولة المقابلة لها بـ (Q_k). حسب الكود الألماني تنتهي تجربة التحميل عند الوصول لقيمة هبوط لرأس الوئد تعادل 10% من قطره وهذا ما سنعتمده بالنسبة لتجارب التحميل لدينا بشكل عام.



الشكل (6): شكل نمونجي لمنحني (الحمولة-الهبوط) لتجربة التحميل الستاتيكي لوتد والنقاط المميزة فيه

5-3 نتائج الاستقراء العددي لمنحنيات التحميل:

لاحظنا نتيجة تحليل جميع المنحنيات العددية التي تم الحصول عليها وجود نتيجة هامة تتلخص بالعلاقتين التاليتين:

$$\frac{S_n}{D} = 0.062$$

$$\frac{Q_n}{Q_k} = 0.82$$

حيث: D: قطر الوتد

أي أن النسبة بين الهبوط عند نقطة الالتقاء بين الجزء المستقيم والجزء المنحني لمنحني التحميل (النقطة n) إلى قطر الوتد هي نسبة شبه ثابتة وتأخذ قيمة وسطية تساوي 0.062، وأن النسبة بين الحمولة عند نقطة الالتقاء إلى الحمولة عند هبوط 10% من قطر الوتد أيضاً تأخذ قيمة وسطية ثابتة تساوي 0.82 وذلك في جميع تجارب التحميل التي أجريناها.

تم فصل وإعادة رسم جميع منحنيات (الحمولة-الهبوط) لجميع التجارب على هذا الأساس كجزء منحني وجزء مستقيم وقمنا بإلباس الجزء المنحني من المخطط بمعادلة أسية من الشكل:

$$S = A \cdot e^{BQ}$$

حيث: S: هبوط رأس الوتد (m)

Q: قيمة الحمولة (kN)

A, B: ثوابت خاصة بكل منحني

لتحديد قيم الثابتين A و B تم الاستعانة ببرنامج رياضي وهو ال Curve Expert يتم من خلاله رسم كل جزء منحنى من مخطط (الحمولة-الهبوط) انطلاقاً من نقاطه بشكل مستقل واستخراج الثوابت الخاصة من اجل كل منحنى تحميل، بعدها تم تنظيم هذه القيم بالجدول (3) بدلالة نسبة طول الوتد إلى قطره مع بارامترات التربة.

الجدول رقم (3): قيم الثابتين A و B بدلالة بارامترات التربة

φ (°)	E (MPa)	L/D	C (kPa)	10		11		12		13	
				A*10 ⁻³	B*10 ⁻³						
15	10	10	10	6.344	7.420	7.332	6.170	5.820	5.097	3.850	7.680
17	13	9	9	5.276	7.296	6.119	6.105	4.906	4.953	2.740	8.000
19	16	8	8	4.268	7.751	4.882	6.534	4.218	5.004	2.220	8.150
23	22	6	6	3.091	8.457	3.264	7.648	3.038	5.493	2.130	7.940
15	20	15	15	3.333	4.760	3.602	4.038	3.289	3.063	2.730	4.030
17	26	14	14	2.535	4.857	2.748	4.156	2.532	3.144	2.370	3.920
19	32	13	13	2.160	4.831	2.422	4.135	2.200	3.122	2.260	3.770
21	38	12	12	2.311	4.463	2.269	4.066	2.213	2.961	2.160	3.670
23	44	11	11	2.303	4.274	2.187	3.957	2.426	2.748	2.320	3.480
25	50	10	10	2.352	4.027	2.325	3.743	2.339	2.689	2.550	3.180
15	50	20	20	1.855	3.499	1.785	3.103	1.899	2.230	1.820	2.780
17	60	19	19	1.960	3.183	1.685	2.955	1.782	2.143	1.840	2.620
19	70	18	18	1.895	3.045	1.722	2.818	1.802	2.025	1.680	2.570
21	80	17	17	1.914	2.868	1.821	2.651	1.867	1.896	1.950	2.310
23	90	16	16	2.222	2.569	1.970	2.464	2.000	1.765	2.160	2.110
25	100	15	15	2.295	2.416	2.167	2.280	2.345	1.582	2.430	1.910

تتمة، الجدول (3)

14		15		20		30		40		50	
A*10 ⁻³	B*10 ⁻³										
3.912	7.286	3.542	7.570	4.385	5.721	7.330	5.720	8.518	5.618	8.718	6.185
3.193	7.153	2.466	7.935	2.721	6.369	7.280	4.930	8.039	5.067	8.978	5.838
2.491	7.379	1.804	8.336	2.517	6.463	6.750	4.690	7.885	5.050	8.845	5.700
2.094	7.602	2.118	7.670	2.054	6.809	5.980	4.520	7.641	4.998	8.700	5.396
2.676	3.910	2.305	4.167	2.995	3.124	1.760	4.680	1.483	4.694	0.942	5.670
2.752	3.553	2.253	3.882	2.514	3.310	1.950	4.150	1.854	4.003	1.242	4.900
2.601	3.398	2.213	3.687	2.216	3.312	2.280	3.620	2.102	3.554	1.533	4.308
2.408	3.350	2.143	3.568	2.405	3.142	2.150	3.390	2.056	3.364	1.957	3.752
2.607	3.144	2.198	3.413	2.409	3.018	2.340	3.240	2.191	3.180	2.339	3.357
2.538	3.078	2.308	3.241	2.778	2.757	2.490	3.060	2.490	2.935	2.503	3.145
2.009	2.573	1.721	2.767	1.659	2.479	1.720	2.710	1.414	2.667	1.685	2.740
1.915	2.465	1.797	2.567	1.644	2.360	1.790	2.480	1.895	2.323	1.849	2.534
1.925	2.332	1.669	2.462	1.719	2.220	2.000	2.280	1.827	2.202	2.078	2.308
1.891	2.231	1.967	2.240	2.030	2.002	2.250	2.080	2.128	2.023	2.258	2.122
2.009	2.083	2.087	2.085	2.191	1.857	2.300	1.950	2.333	1.873	2.493	1.945
2.239	1.906	2.185	1.950	2.288	1.748	2.460	1.790	2.489	1.753	2.636	1.805

تؤخذ القيم البيئية لنسبة L/D بالتوسط.

من خلال معادلة الجزء المنحني $S=A.e^{BQ}$ وبأخذ لوغاريتم الطرفين نجد:

$$\ln(S) = \ln(A.e^{BQ}) \Rightarrow \ln(s) = \ln(A) + \ln(e^{BQ})$$

نختزل اللوغاريتم مع التابع النييري فنجد:

$$\ln(S) = \ln(A) + B.Q$$

وبالتالي بعزل Q نجد:

$$Q = \frac{\ln(S) - \ln(A)}{B} \quad (1)$$

وهي المعادلة التي تربط الحمولة بالهبوط بدلالة الثوابت A و B. من خلال هذه المعادلة يمكن تقدير منحنى الهبوط الحمولة للوتد بدلالة الثوابت A و B كما يلي:

- ندخل للجدول (3) من خلال أحد البارامترات المعلومة للتربة ونحدد قيم الثابتين A و B

- بما أن النقطة n (نهاية الجزء المنحني من منحنى التحميل) كما هو مبين في الشكل (6) هي نقطة من المنحني لذلك يمكن أن نعوض إحداثياتها في معادلة الجزء المنحني (المعادلة رقم 1) فنجد:

$$0.82 * Q_k = \frac{\ln(0.62 * 0.1D) - \ln(A)}{B}$$

وبالتالي:

$$Q_k = \frac{\ln(D) - \ln(A) - 2.7806}{0.82 * B} \quad (2)$$

- من المعادلة (1) يمكن تقدير منحنى (الحمولة- الهبوط) للوتد. فلرسم الجزء المنحني نحدد الحمولة القصوى Q_k من المعادلة (2) فتكون الحمولة التي يقف عندها الخط المنحني $0.82Q_k$ ثم ننظم جدولاً بقيم الهبوط والحمولات المقابلة لها من المعادلة (1) ونرسم الجزء المنحني. أما الجزء المستقيم من منحنى التحميل فهو محدد بالنقطتين $n(S_n, Q_n)$ و $k(S_k, Q_k)$ بسهولة يمكن رسمه.

يجب مراعاة عدم اعطاء قيم صغيرة للهبوط أقل من (1) وذلك بسبب خصوصية التابع النيبيري الغير معرف عند الصفر التي تسبب تقعر كبير لمقدمة المنحني.

4-5 مقارنة مع طرق التقييم التقليدية:

تقدير قدرة التحمل الحدية لوتد بيتوني مفرد في تربة غضارية

كتحقيق إضافي لصحة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام الطريقة التي تم اقتراحها في البحث (سندعوها فيما يلي بالطريقة الخاصة) تم القيام بمقارنة قيم الحمولة الحدية التي تم الحصول عليها من تجربتي تحميل حقليتين تم تنفيذهما على وتدين بيتونيين منفذين في تربة غضارية قاسية في منطقة تقع على الحدود الشمالية الغربية لباكستان مع القيم الناتجة باستخدام طريقتنا الخاصة من جهة، والقيم الناتجة عن بعض أهم طرق التقييم التقليدية الشائعة (طريقة شين المعدلة وطريقة دافيسون)، كما تم رسم منحنى التحميل باستخدام الطريقة الخاصة ومقارنته مع كل من منحنى التحميل التجريبي وذاك المرسوم بطريقة شين المعدلة. يبين الجدول (4) مواصفات كل من الوتد والتربة في تجربتي التحميل الحقليتين [2]:

الجدول (4): مواصفات كل من التربة والوتد لتجربتي التحميل الحقليتين

تماسك التربة (KPa)	مواصفات الوتد		رقم الوتد
	القطر (mm)	الطول (m)	
20	660	20	Pile NO.1
15	660	21.5	Pile NO.2

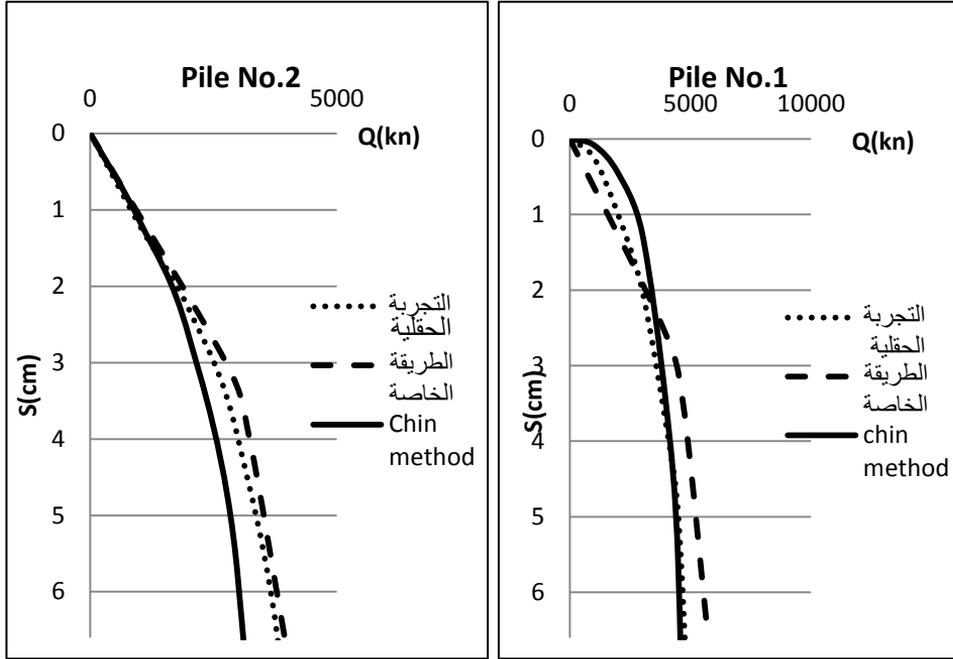
يبين الجدول (5) قيم الحمولة الحدية لكل من الوتدين في التجربة الحقلية إضافة إلى القيم الناتجة بالطريقة الخاصة وطريقتي شين المعدلة ودافيسون:

الجدول (5): مقارنة قيم الحمولة الحدية الناتجة بالطريقة الخاصة مع القيم التجريبية والناتجة بطريقتي شين المعدلة ودافيسون

طريقة التقييم	الحمولة الحدية للوتد رقم 1 Q_u (kN)	الحمولة الحدية للوتد رقم 2 Q_u (kN)
تجربة تحميل حقلية	5219	4522
طريقة دافيسون	4170	4465
طريقة شين المعدلة	4815	4905

الطريقة الخاصة	5729	3943
----------------	------	------

نلاحظ من الجدول أن القيم التي تعطيها الطريقة الخاصة قريبة من القيم الحقلية والمستنتجة بطرق التقييم الشائعة. من جهة أخرى، يبين الشكل (7) مقارنة بين منحنى التحميل التجريبي مع نظيره المرسوم بكل من الطريقة الخاصة وطريقة شين المعدلة:



الشكل (7): مقارنة منحنى التحميل الحقلية مع المنحنى الناتج بالطريقة الخاصة وطريقة شين المعدلة

نلاحظ من الشكل أن هناك تقارباً مقبولاً بين المنحنى المرسوم بالطريقة الخاصة ونظيره الحقلية أو المرسوم بطريقة شين المعدلة مما يؤكد سلامة الطريقة الخاصة وصلاحيتها لتقدير شكل منحنى التحميل.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

6-1 الاستنتاجات:

- يتأثر شكل منحنى (الحمولة-الهبوط) للوتد بشكل واضح بكل من التماسك والاحتكاك الداخلي ومعامل يونغ للتربة الغضارية، في حين أن تأثير معامل بواسون أقل بكثير ويمكن إهماله.
- يمكن الاعتماد على المعادلات المقترحة (المعادلتين 1 و 2) في البحث في حساب قدرة التحمل الحديدية للأوتاد في التربة الغضارية وفي تقدير شكل منحنى (الحمولة-الهبوط) للتجربة دون الحاجة إلى إجراء الكثير من تجارب التحميل على الأوتاد مما يوفر الكثير من الوقت والجهد والكلفة.

6-2 التوصيات:

- إن عدم التطابق بين نتائج تجارب التحميل ونتائج الحساب بالطرق التحليلية المختلفة يدفع دوماً للاستمرار في البحث عن معادلات أكثر دقة تعطي قيماً قريبة من الواقع.
- مواصلة البحث في تأثير البارامترات الأخرى على تجارب التحميل في التربة الغضارية كالنسبة فوق المشددة وقرينة اللدونة وغيرها ومحاولة ربطها بنتائج تجربة التحميل.
- الاستمرار في تجميع نتائج التجارب الحقلية للأوتاد من أجل تقييمها ومقارنة نتائجها مع الطرق المقترحة بهدف الحصول على تصويب للمعادلات لتغدو أكثر دقة.
- متابعة الأبحاث على أنواع أخرى من التربة كالرملية والمختلطة.

References

- [1] **ABAQUS Analysis User's Manual**. Version 6.10, 2010.
- [2] AKBAR. A, KHILJI. S and KHAN. S. B, 2008 Shaft Friction of Bored Piles in Hard Clay, **Pak. J. Engg. & Appl. Sci**, Vol. 3. 54–60.
- [3] CHIN. F. K, 1970 Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure, **Proc. of the second Southeast Asian Conference on Soil Engineering**, Singapore City, 11-15 June, 81-90.
- [4] DAVISSON. M. T, 1972 High capacity piles. Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, **American Society of Civil Engineering, ASCE**, Illinois Section, Chicago, 22 March, 81-112.
- [5] DECOURT. L, 1999 Behavior of Foundations Under Working Load Conditions, **Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, Fog DoIguassu, Brazil, August, Vol. 4. 453 – 488.
- [6] HANSEN. J. B, 1963 Discussion on hyperbolic stress-strain response, Cohesive Soils, **Journal for Soils Mechanics and Foundations Engineering**, Vol. 89. 241-242.
- [7] KRASINSKI. A and WISZNIEWSKI. M, 2017 Static load test on instrumented pile – field data and numerical simulations, **Studia Geotechnica et Mechanica**, Vol. 39. No. 3. 17-25.
- [8] **Recommendations of the "Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways" EAU 2012**, 2015, 9th Edition, 676 P.
- [9] **Syrian Arab Code for the design and implementation of concrete structures – 5th Supplemente: Foundations Code**. Damascus 2004 (المرجع in Arabic).
- [10] SZYMKIEWICZ. F, SANAGAWA. T and NISHIOKA. H, 2020 Static pile load test: international practice review and discussion about the European and Japanese standards. **International Journal of GEOMATE**, Vol. 18. Issue 66. 76-83.
- [11] WEHNERT. M and VEMEER. P. A, 2004 Numerical analyses of load test on bored piles, **Proc. of the 9th International Symposium on "Numerical Models in Geomechanics"**, Ottawa, 25-27 August, 1- 6.

- [12] ZHAN. Y. G, WANG. H and LIN. F. C. 2012 Modeling vertical bearing capacity of pile foundation by using ABAQUS. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, Vol.17. 1855-1865.