

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 9

1445 هـ - 2023 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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	عضو هيئة التحرير

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
56-11	م. وسام حمود د. درغام سلوم	المؤشرات التصميمية لإزالة غاز H ₂ S من المياه (حالة دراسة مياه بئر فطيم العرنوق)
80-57	د. منيب العلاف د. إحسان لطرشة م. فلاح مبارك	دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل باستخدام الركام المعاد تدويره كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي
116-81	د. عادل جرجي د. شعبان حديد م. إبراهيم عبد الرحمن	استخدام التهوية الاصطناعية في مقاومة التآكل التكهفي المحتمل في مجرى مفيض سد الأبرش
148-117	د. نعيمة عجيب د. سمير شمشم م. مرح اسكندر	مقارنة فعالية إزالة الكاديوم من التربة الملوثة باستخدام كل من (EDTA، أوكزالات الصوديوم)

المؤشرات التصميمية لإزالة غاز H₂S من المياه (حالة دراسة مياه بئر فطيم العرنوق)

طالب الدراسات العليا: وسام حمود

الدكتور المشرف: درغام سلوم

كلية: الهندسة المدنية - جامعة: البعث

ملخص البحث :

يهدف البحث إلى اختبار ثلاثة طرق لمعالجة مياه بئر فطيم العرنوق ، الذي يعتبر من المياه الجوفية الغنية بكبريتيد الهيدروجين ، والتي تمثل مشكلة كبيرة بالنسبة لمستهلكي هذه المياه ، حيث يذوب كبريتيد الهيدروجين في المياه الجوفية ويضفي طعماً غير مرغوب فيه ورائحة مزعجة تشبه رائحة البيض الفاسد مما يجعلها غير مستساغة . ومن ثم اختيار الطريقة التي تحقق أقل تكلفة اقتصادية وأعلى كفاءة ، فتم اللجوء أولاً للتهوية الطبيعية والتي حصلنا من خلالها على عكارة غير مقبولة في المواصفات القياسية السورية فتم اللجوء إلى استخدام المخثرات الكيميائية لترسيب الغروانيات التي تشكلت نتيجة الأكسدة فعند استخدام كبريتات الألمنيوم بالجرعة المثالية 30 mg/l حصلنا على نسب إزالة لكل من العكارة والحديد والكبريتات و H₂S (58.19-58.6-9-95.5)% على التوالي، أما عند إضافة كلوريد الحديد بالجرعة المثالية 20 mg/l فكانت نسب إزالة كل من العكارة والحديد والكبريتات و H₂S على التوالي (67.54-68.57-6-96.32)% . أما عند اللجوء للتهوية القسرية بغزارة 12 ليتر هواء لكل ليتر ماء (12 (air/lwater) ، فكانت نسب الإزالة لكل من العكارة والحديد والكبريتات و H₂S على التوالي (79.1-54.29-5.1-96.66)% ،أما عند اللجوء إلى استخدام المؤكسد

الكيميائي هيبوكلوريت الصوديوم بقيت العكارة مرتفعة نتيجةً للأكسدة فتم تثبيت جرعة المؤكسد 1.5mg/l لمقابلتها أقل عكارة ثم تم استخدام المخثر الكيميائي كبريتات الألمنيوم بجرعة مثالية 15mg/l وكانت نسب الإزالة عندها لكل من العكارة والحديد والكبريتات و H₂S على التوالي (51.3-52.86-8.16-96.32)% أما عند استخدام كلوريد الحديد بجرعة مثالية 10mg/l كانت نسب الإزالة للعكارة والحديد والكبريتات و H₂S على التوالي (81.45-60-7.14-95.79)%. وبالتالي توصلنا إلى طريقة المعالجة الفنية والاقتصادية الأفضل لمياه هذا البئر وهي : التهوية القسرية .

كلمات مفتاحية : مياه جوفية ، أكسدة كيميائية ، تهوية ، مخثرات كيميائية ، العكارة .

Abstract :

The research aims to apply three different methods for treating the water of the Futtaim Al-Arnouk well, which is considered groundwater rich in hydrogen sulfide, which represents a major problem for consumers of this water, where hydrogen sulfide dissolves in groundwater and imparts an undesirable taste, and unpleasant odor similar to the smell of rotten eggs, which makes it unpalatable. And then choose the method that achieves the lowest economic cost and the highest efficiency. Firstly, natural ventilation was applied , through which we got a turbidity unacceptable in the Syrian standard specifications. Alternatively, chemical coagulants were used to precipitate the colloids that were formed as a result of oxidation, thus, aluminum sulfate was used at the ideal dose of 30 mg/l, the removal rates for each of the turbidity, iron, sulfate, and H₂S were (58.19-58.6-9-95.5)% respectively, on the other hand, iron chloride was added at the ideal dose of 20mg/l , the removal percentages of turbidity, iron, sulfate, and H₂S were (67.54-68.57-6-96.32)% respectively. Further more, forced ventilation was applied with a rate of $12 I_{air}/I_{water}$, the removal efficiency of turbidity, iron, sulfate, and H₂S (79.1-54.29-5.1-96.66)% respectively. However, when sodium hypochlorite was used as a chemical oxidizer, turbidity rates reached high values, the lowest value of turbidity was observed when 1.5mg/l of sodium hypochlorite was dosed, then, aluminum sulfate was introduced as a chemical coagulant at an optimal dose of 15 mg/l. Consequently, significant removal rates were achieved for turbidity, iron, sulfate, and H₂S, reaching (51.3-52.86-8.16-96.32)% respectively. Alternatively, the utilization of iron chloride at an ideal dosage of 10 mg/l yielded similar removal rates for turbidity, iron, sulfate, and H₂S, again at (81.45-60-7.14-95.79)%. Thus, the implementation of forced ventilation emerged as the most efficient and cost-effective treatment method for the water from this well.

Keywords : groundwater, chemical oxidation, aeration, chemical coagulants, turbidity.

أهمية البحث :

يعد كبريتيد الهيدروجين من المشاكل الهامة المتعلقة بالإمداد بمياه الشرب من الآبار الكبريتية ، حيث يوجد في المياه بشكل طبيعي نتيجة إرجاع الكبريتات بواسطة البكتريا إلى كبريتيد وخاصةً في الآبار المعدومة الأوكسجين ، فمن الضروري ضبط تركيزه في المياه لأنه يؤثر على طعم المياه ورائحتها بالإضافة إلى تأثيره على صحة المستهلكين ، وتجهيزات تنقية المياه .

تحتوي مياه بئر فطيم العرنوق على عكارة واضحة بالإضافة لرائحة كبريتية مميزة وارتفاع تركيز الحديد وذلك وفقاً لتحليل مؤسسة المياه والصرف الصحي في حمص مما يستوجب معالجة هذه المياه للوصول إلى مياه بمواصفات مسموحة في المواصفة القياسية السورية رقم (45) لعام 2007.

وتأتي أهمية البحث من ضرورة إيجاد الطريقة الأمثل لإزالة غاز H₂S المنحل في الماء بالإضافة للحديد والعكارة من مياه الشرب ، وذلك بدراسة ثلاثة طرق تعتمد على الأكسدة وهي التهوية الطبيعية والتهوية القسرية بالإضافة لاستخدام المؤكسد الكيميائي هيبوكلوريت الصوديوم ، وذلك عن طريق القيام بعدة سلاسل من التجارب على عينات من مياه بئر فطيم العرنوق ، وذلك للوصول إلى الجرعة المثالية من المواد الكيميائية التي تناسب عمل المحطة ، ومؤشرات المياه الخامية ، والتي تضمن الوصول إلى الحد المسموح به ضمن المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب رقم (45) لعام 2007 بالنسبة ل $H_2S=0.1$ mg/l وتركيز الحديد 0.3 mg/l والعكارة (1-5) NTU و لتحقيق أفضل معالجة بأقل كمية من هذه المواد .

أهداف البحث :

يمكن إجمال أهداف البحث فيما يلي :

1. يهدف البحث إلى تخفيض كل من H₂S والحديد والعكارة إلى الحد المسموح بوجوده في مياه الشرب ، وذلك حسب المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب رقم (45) لعام 2007 ، والتي تساوي 0.1 mg/l ، 0.3 mg/l ، (1-5) NTU على التوالي .

2. ضبط جرعة المواد الكيميائية المستخدمة وذلك لإقلال الهدر في كميات وثنن المواد المستخدمة في المعالجة مما يساهم في دعم الاقتصاد الوطني .

1-1- مقدمة

Introduction

الماء مورد مهم جداً لحياة الإنسان وجميع الكائنات الحية، حيث تغطي المياه أغلب مساحة الأرض ، ولكن معظمها ليست صالحة للشرب ،حيث أن 97% من المياه هي مياه مالحة في المحيطات ، و 3% هي مياه عذبة. ولكن أقل من 1% من هذه النسبة قابل للاستخدام من النهر والمياه الجوفية . ومع تطور الصناعة والزراعة أكثر وأكثر فإن المياه أصبحت ملوثة . [55] .

فالماء عصب الحياة للإنسان ، لذلك بدا الاهتمام بنوعية المياه منذ أكثر من خمسة آلاف سنة واقتصر هذا الاهتمام على لون المياه وطعمها ورائحتها ، ولهذا فقد استخدمت وبشكل محدود بعض عمليات المعالجة وخلال فترات تاريخية متباعدة (مثل الغليان واستخدام الأملاح مثل الشب والترسيب والترشيح) . [4] .

حيث تعد المياه الجوفية مصدراً رئيسياً للمياه العذبة على مستوى العالم وغالباً غير متجددة في المناطق الجافة ، وتعتمد على نوعية مياه المصدر ومقدار الأملاح المذابة فيها أثناء انتقالها خلال الطبقات الأرضية إذ يمكن إيجاز وصف الطبيعة الكيميائية للمياه الجوفية عن طريق قياس مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) فيها . [6] . فالمياه الجوفية لا تتواجد بحالة نقية بل تحتوي على مواد عالقة أخرى ذائبة بنسب متفاوتة تحدد نوعيتها ، وتعتبر جميع التفاعلات التي أثرت على المياه منذ لحظة تكاثرها في الجو وحتى خروجها من باطن الأرض هي المسؤولة الأساسية عن الصفات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية ، كما وتحتوي المياه الجوفية على أنواع مختلفة من الأملاح بتركيز متفاوتة وعلى نسب عالية من المكونات الذائبة مقارنة مع المياه السطحية ، وذلك بسبب تعرض المياه الجوفية للمواد القابلة للذوبان في التكاوين الجيولوجية [6,7,9] ، ويعتبر دخول مياه المجاري والنفايات الصناعية إلى الطبقات المائية مصدراً واضحاً لتدهور نوعية المياه الجوفية وتلوثها وهذا يشكل خطورة على الصحة العامة. [8].

ومن أشكال المياه الجوفية لدينا المياه الجوفية الكبريتية وهي من أشكال المياه المنتشرة بشكل واسع في المنطقة العربية ، وفي سوريا ضمن المناطق الشرقية لمحافظة حمص ، حيث تتميز هذه المياه بوجود نسبة عالية من شوارد الكبريتات ، وتوجد المياه الكبريتية في محافظة حمص ضمن المياه الجوفية على شكل عيون وينابيع تنتشر في مناطق صحراوية مختلفة ، يصل تصريف بعض الآبار الكبريتية في المناطق الصحراوية إلى حوالي $3500 \text{ m}^3/\text{day}$. ويوجد الكبريت في هذه المياه بصور عديدة أكثرها أيون الكبريتات SO_4^{-2} بتركيز متباينة قد تصل إلى 2000 mg/l ، وبرزت الحاجة إلى ضرورة استغلال مثل هذه المياه في ظل الحاجة العملية للمياه ، ونتيجةً للتغيرات المناخية العالمية مما تشير إلى أهمية معالجة هذه المياه وأن مياه العيون الكبريتية لا يمكن استخدامها إلا بعد إجراء عمليات المعالجة لها . [16,45] .

وتعتمد خيارات المعالجة على شكل الكبريتات وكميتها اعتمادا على الحدود المقترحة من منظمة الزراعة والأغذية التي تعتمد على التركيز والتأثير الصحي والبيئي والغرض من استعمال هذه المياه ، فإذا كانت المياه مطلوبة للشرب فلا بد من النظر إلى المواصفات المطلوبة لمياه الشرب الموجودة في المواصفات القياسية السورية رقم (45) لعام 2007 . حيث يذوب كبريتيد الهيدروجين في المياه الجوفية والذي يتشكل نتيجةً لوجود البكتريا التي تهاجم المخلفات الكبريتية كمصدر للطاقة فيضفي طعم غير مرغوب فيه وتهيج الرائحة التي تجعلها غير مستساغة كرائحة "الببيض الفاسد" .

كما يمكن أن يؤدي تناول الكبريتيدات من خلال مياه الشرب عدم الراحة في المعدة والغثيان والقيء . [31] . وشرب الماء الملوث بالكبريتيد يمكن أن يكون مميت إذا كانت الجرعة عالية $g (10-15)$ من كبريتيد الصوديوم .

تعرض البشر لتركيزات عالية من كبريتيد الهيدروجين تظهر أعراض اضطراب الجهاز الهضمي ، فقدان الشهية ، والغثيان ، والنعاس ، وفقدان الذاكرة ، والوعي والهديان والهلوسة وصعوبة في البلع ، انخفاض ضغط الدم ، تباطؤ معدل ضربات القلب ، الرؤية المزدوجة والتشنجات الصرعية . [24] .

ومع ذلك ، يتأكسد كبريتيد الهيدروجين في الدم بسرعة الأكسجين الجزيئي وبالتالي يقلل من قوة أكسدة الهيموغلوبين. يمكن أن يعمل كبريتيد الهيدروجين غير المؤكسد على الجهاز العصبي المركزي ويسبب إما شلل أو فشل تنفسي . [24] .
لذلك ، من المستحسن أن يكون لدينا مستوى منخفض جداً لتركيز H2S في الماء لارتفاع سميته على الكائنات الحية ، بالإضافة لمشاكل التآكل . [52] .

1-3- الكبريتات وغاز H₂S في المياه الجوفية :

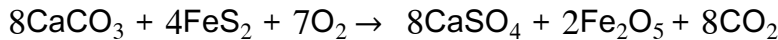
Sulfate and H₂S gas in groundwater

الكبريت معدن مهم في الكائنات الحية حيث يوجد في الجزيئات الحيوية مثل البروتينات ، وإلى جانب ذلك ، يعد الكبريت أيضاً معدناً أساسياً موجوداً في الصخور والتربة حيث أن الغلاف الصخري هو الخزان الرئيسي لمركبات الكبريت بأشكال مختلفة مثل ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين .

1-4-1- دورة الكبريت في الطبيعة : The sulfur cycle in nature

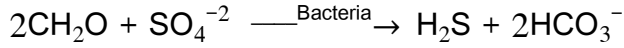
دورة الكبريت عبارة عن دورة من الدورات البيوجيوكيميائية وتتكون من عمليات مختلفة من حركة الكبريت من خلال خزانات مختلفة مثل الغلاف الجوي والمحيط الحيوي والغلاف الصخري .

وتعتبر دورة الكبريت معقدة إلى حد كبير وتوضح آليات مختلفة لتوليد H₂S ، حيث أنه في ظل الظروف الهوائية الحمضية ونسبة عالية من الرطوبة ووجود الكالسيوم في الحجر الجيري (CaCO₃) الذي يتفاعل مع الكبريت في البيريت (FeS₂) من الجبس (CaSO₄) ، فيتأكسد الحديد ليشكل أكسيد الحديد (Fe₂O₃) والكربونات إلى ثاني أكسيد الكربون (CO₂) ، [24] ، كما في المعادلة الأولى:

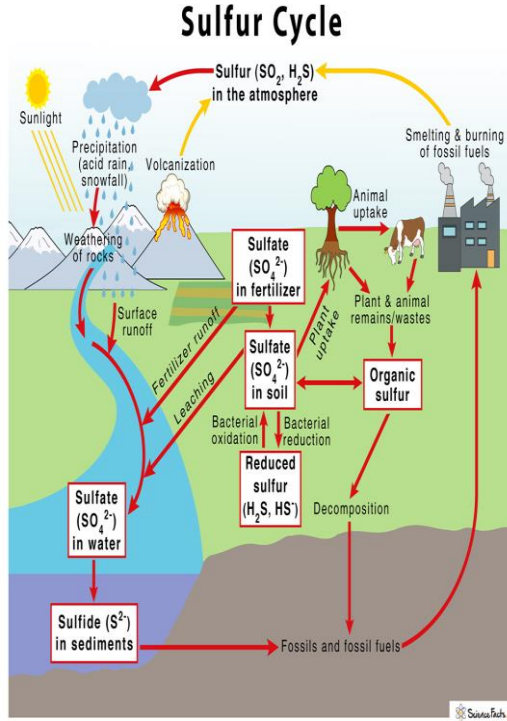


وعندما تصبح البيئة لاهوائية يتم تقليل الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين (H₂S) بواسطة

البكتيريا التي تقلل الكبريت في وجود المواد العضوية تمت توضيحها على النحو التالي حسب [40,28] كما في المعادلة التالية :



يتطور كبريتيد الهيدروجين في الظروف اللاهوائية نتيجة تعفن الكبريت الذي يحتوي على أحماض أمينية مثل السيستين أو ميثيونين وذلك حسب [20,52,39].



الشكل (3-1) دورة الكبريت

1-4-3- مصادر الكبريتات في المياه الجوفية :

Sources of sulfates in groundwater

يصل الكبريت إلى المياه الجوفية من مصادر مختلفة أهمها التجوية الكيميائية وحركة الكبريت من الصخور إلى التربة والماء بالإضافة لنوعية التربة فالترية الحمضية تحتوي على مستويات أعلى من الكبريت من التربة القلوية ، ومن المخلفات الصناعية (حيث يمكن أن تتسرب المواد الكيميائية الضارة إلى المياه الجوفية عندما ترمى من المصانع أو المناطق الصناعية) والمخلفات الزراعية (مثل إضافة الأسمدة المحتوية على الكبريت إلى التربة) ، ومن الهواء أيضاً (حيث أن الغلاف الجوي يحتوي على الملوثات الكبريتية مثل ثاني أكسيد الكبريت والمركبات الكبريتية الأخرى تؤدي إلى زيادة تركيز الكبريت في

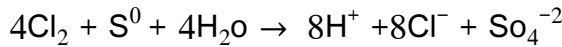
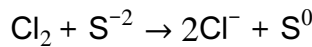
المياه الجوفية والتربة ، أو من الأنشطة الطبيعية كالانفجارات البركانية ، أو من الأنشطة البشرية مثل احتراق الوقود الأحفوري) والتي تصل للمياه الجوفية عند تساقط الامطار وتغلغلها لداخل التربة وصولاً إلى خزان المياه الجوفية ، وعند زيادة مياه السقي فإنها تعمل على غسل التراب وزيادة المذابات في هذه المياه . يَأثر على المياه الجوفية والتي تزداد فيها المواد الذائبة ومنها الكبريتات ، وعند ارتباط الكبريتات الذائبة في المياه مع الكالسيوم أو المغنيزيوم فإنها تسبب عسرة دائمة للماء. [36,37,35].

1-4-4- الأشكال الأيونية لـ H₂S في المياه الجوفية:

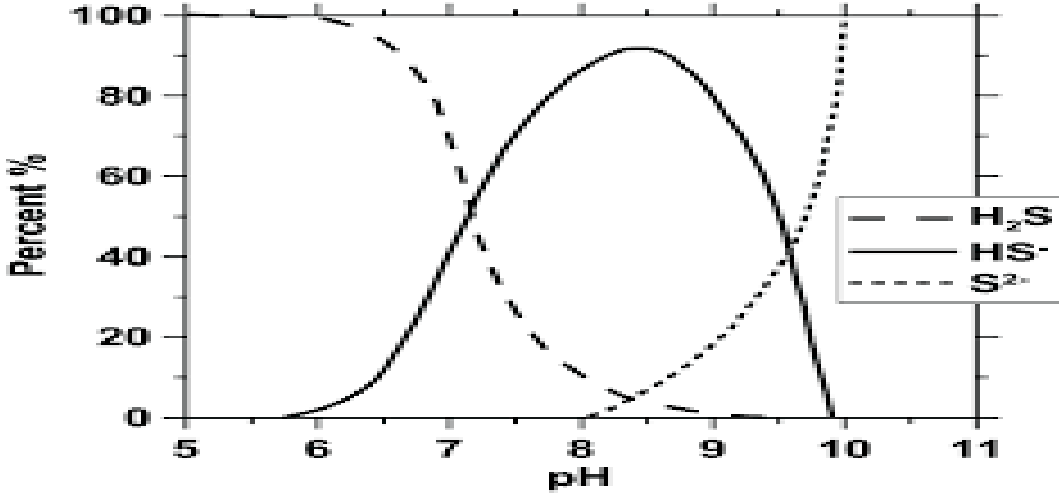
Ionic forms of H₂S in groundwater

يعتمد وجود الأنواع الأيونية من كبريتيد الهيدروجين في المياه الجوفية بدرجة كبيرة على الرقم الهيدروجيني ، فأنواع الكبريت الرئيسية الموجودة في المياه الجوفية هي كبريتيد الهيدروجين (H₂S) ، ثنائي كبريتيد (HS⁻) ، والكبريتيد (S⁻²). التغير في التركيز بين كبريتيد الهيدروجين وثنائي كبريتيد والكبريتيد ، تتأثر بتغيرات الأس الهيدروجيني كما هو مبين في الشكل . فعند درجة حموضة منخفضة بين 5 و 6 فيكون H₂S هو النوع السائد ، ولكن مع زيادة طفيفة في درجة الحموضة بحيث أنها تصل إلى 7 و 9 يصبح HS⁻ هو السائد ، وعند درجة حموضة عالية أكبر من 9 يصبح S⁻² هو النوع السائد . [49,5].

الدراسات السابقة ذكرت أن الأنواع المختزلة من الكبريت (S⁻²) يمكن أن تتأكسد بشكل فعال بالكلور في المحاليل المائية:



فالمعادلة الأولى تمثل تفاعل لحظي لتكون عنصر الكبريت ، والمعادلة الثانية تمثل الأكسدة المحتملة للكبريت إلى كبريتات ، والعوامل التي تؤثر على تحويل S⁰ إلى So₄⁻² هي درجة الحموضة PH ودرجة الحرارة والوقت والتركيز ومعدل التدفق .



الشكل (4-1) الأنواع الأيونية لكبريتيد الهيدروجين حسب PH

1-4-4- المشاكل المرتبطة بوجود H_2S في المياه الجوفية :

Problems associated with the presence of H_2S in ground water

هناك العديد من المشاكل التي تؤثر على صحة الكائنات الحية التي تستهلك المياه لتبقى على قيد الحياة ، كما تؤثر على أساسات الأبنية بالإضافة للتأثير على معدات وتجهيزات محطة الضخ .

1-6-1 الآثار الصحية لوجود كبريتيد الهيدروجين في المياه :

Health effects of the presence of hydrogen sulfide in water

الغاز تهديد صامت ، فهو غالباً ما يكون غير مرئي لحواس الجسم ، و الاستنشاق هو الطريق الأساسي للتعرض لكبريتيد الهيدروجين ، فمعظم الناس غير المعتادين على المياه الكبريتية يجدونها مزعجة للغاية ، فمعادن الكبريتات التي تتراكم في أنابيب المياه تتسبب في جعل الماء مر المذاق . وتكون الكبريتات ذات تأثير سمي إذا تزامن وجودها مع الكلور. وإن أغلب مركبات الكبريت ذائبة في الماء ، ويستطيع الناس شم المياه الكبريتية بسهولة عند تركيزات منخفضة . و على الرغم من أن رائحة H_2S هي خاصية مميزة له ، ولكن الرائحة وحدها لا تكفي لتحديد كمية الغاز في المياه بل تصلح فقط لتقرير وجوده عن عدمه . فالبكتريا التي تختزل مركبات الكبريت لتولد غاز كبريتيد الهيدروجين لا

تسبب الأمراض ولكن تواجدتها في الماء يحدث الطعم السيء والرائحة الكريهة للماء ، واستنشاق كميات قليلة من الغاز لاتحدث أي ضرر ، أما شرب الماء الذي يحتوي على كبريتيد الهيدروجين بكميات كبيرة يمكن أن يسبب الغثيان وآلام المعدة . على أي حال ، من المستحيل أن يستهلك الإنسان جرعة مدمرة من كبريتيد الهيدروجين المنحل في مياه الشرب نظراً لأن طعمه يكون غير مستساغ بشكل ملحوظ وكذلك رائحته مزعجة . ولكن لا بد أن نعلم أنه في حال التعرض له ولفترة زمنية طويلة يمكن أن يعطل (يقتل) حاسة الشم لأن رائحته قوية (يبدأ ذلك عند مستوى تركيز 50-100ppm) وعندها يصبح من المهم استخدام أجهزة قياس تركيز الغاز في الهواء ، ومع ازدياد مستوى تركيز الغاز يصبح التهاب العيون والغثيان والتهيج الرئوي والصداع أهم الأعراض المؤثرة ، وعند مستوى 250 ppm يبدأ الغاز في التأثير على قدرة التنفس وعند تركيز 600 ppm يصبح قاتلاً . كما و تسد الكبريتات أنظمة السباكة وتسبب أيضاً تلطix الملابس وتآكل وإزالة بريق النحاس والفضة.

فوجود كبريتيد الهيدروجين في المياه الجوفية غير مرغوب من الناحية الجمالية للمياه . بالإضافة لأن ظاهرة انتشار الروائح الكريهة في المناطق السكنية والتجارية مصدراً لإزعاج القاطنين في هذه المناطق ، فضلاً عما تلحقه من أضرار مباشرة وغير مباشرة بالبيئة بشكل عام ، والمياه الجوفية بشكل خاص . لذا أصبح علاج هذه الظاهرة والحد منها أمراً حتمياً وضرورياً يجب أن يحظى باهتمام الجهات المعنية كافة ، ليس على مستوى أجهزة الدولة وصناعة القرار فقط ، وإنما أيضاً على المستوى المجتمعي لرفع وعي أفرادها بأهمية الحفاظ على البيئة ، وبالأضرار الجسيمة التي يمكن أن نلحقها بها نتيجة لتصرفاتنا الفردية والجماعية .

1-6-2- التأثير على تجهيزات المحطة : Impact on station equipment

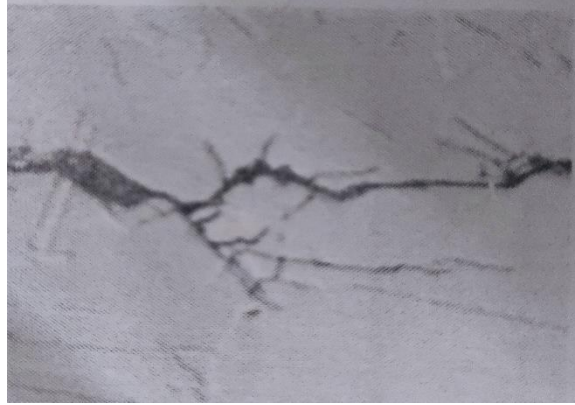
تعمل المياه الكبريتية عل تآكل بعض الأنابيب التي تتشكل من المعادن المختلفة مثل الحديد والنحاس كما تؤدي لانسداد الأنابيب بالوحل مما يخلق ظروف مواتية لأنواع أخرى من البكتريا كبكتريا الحديد ، وبالتالي يؤثر على التصريف المنزلي ، بالإضافة لتلويث الأدوات الصحية بالبقع فيؤدي لظهور بقع سوداء أو صفراء على الأدوات الصحية في

الحمام أو المطبخ بفعل المياه الكبريتية ، كذلك الأمر على الأواني والنحاسية ، بالإضافة إلى تلميع الملابس التي يتم غسلها بهذه المياه .



الشكل (1-5) ظهور البقع على المعدات بالإضافة إلى التآكل

فقد أظهرت الاختبارات المختلفة التي أجريت على الأنابيب أن التآكل أدى إلى اقتطاع أجزاء من المعدن دون التأثير في الخواص الميكانيكية أو الفيزيائية لمعدن الأنابيب . كما تزيد الرطوبة من معدل التآكل والأضرار للتجهيزات بمرافقتها للغازات (H_2S , CO_2) لأنها تحولها إلى غازات مائية . ويعود سبب التآكل أنه يجري تحطم طبقة الحماية الموجودة على سطح المعدن للأنبوب ويستمر الأمر حتى يحدث الثقب وبمقارنة الحالة مع المراجع العلمية التي تبحث مشكلة التآكل تبين أن التآكل من النوع النقطي وهذا النوع من التآكل يبدأ صغير في منطقة معينة بحيث لا يظهر ببساطة بالعين المجردة في البداية ثم يتسارع باتجاه العمق أكثر منه باتجاه المحيط ، وهو بهذه الحالة يعد من أخطر أنواع التآكل بحسب المرجع [44].



الشكل (1-6) التآكل الداخلي للأنياب

كما و يتفاعل غاز كبريتيد الهيدروجين مع الفولاذ بوجود الماء مؤدياً إلى تشكيل كبريت الحديد وانطلاق الهيدروجين ، يترسب كبريت الحديد الناتج عن التفاعل على سطح المعدن مشكلاً قشرة تؤدي إلى تشكيل خلية غلفانية يلعب فيها كبريت الحديد المترسب دور المهبط (سالبة) بينما يلعب الفولاذ دور المصعد (موجب) ، وبالنتيجة حصول عدة أشكال من التآكل على المعدن . [10] .

1-5- طرق وتقنيات معالجة المياه التي تحوي على كبريتيد الهيدروجين:

Methods and techniques for treating water containing hydrogen sulfide

يمكن إزالة كبريتيد الهيدروجين بشكل فعال من المياه الجوفية باستخدام عدد من عمليات المعالجة ، ولكن يتوقف اختيار وسيلة العلاج على عدة عوامل ، أهمها :

تركيز الغاز في المياه ، و طبيعة المياه ، ومستوى تلوثها ، بالإضافة لتركيز الحديد والمنغنيز في المياه الجوفية ، و تواجد البكتيريا في المياه الجوفية ، بالإضافة لعمق المياه الجوفية .

ولكن عند اختيار طريقة محددة دون غيرها يجب مراعاة اختيار الوسيلة الأكثر كفاءة وفعالية والأقل تكلفة .

وتتجلى أهم طرق المعالجة بما يلي :

- 1- التهوية والفترة .
- 2- الأكسدة الكيميائية .
- 3- الفلترة بواسطة التربة الخضراء .
- 4- التبادل الأيوني .
- 5- الفلترة بواسطة الكربون المنشط .

الفصل الثاني

المواد والأجهزة المستخدمة في البحث وطريقة الاستخدام

1-2- تعريف بئر فطيم العرنوق :

يقع البئر في قرية فطيم العرنوق التي تبعد عن مركز مدينة حمص حوالي 30km وترتفع عن سطح البحر حوالي 792 m .

يغذي البئر قرية فطيم العرنوق بالإضافة إلى الهزة والناصره وعيفير بالمياه .

الجدول (1-2) مواصفات العينات التي تمت عليها التجارب :

	7.35-7.25	الرقم الهيدروجيني PH
C°	18.5-18	درجة الحرارة
NTU	9.73-9.45	العكارة
mg/l	0.7-0.69	الحديد الكلي
mg/l	495-490	الكبريتات
Ppm	2.1-1.9	H ₂ S

5- التجارب التي تم اللجوء إليها :

1-5-2- التجربة المخبرية لتحديد زمن التهوية الأمثل :

تمت تهوية العينات بواسطة مضخة التهوية ذات المواصفات التالية :

الجدول (3-2) مواصفات مضخة الهواء المستخدمة

Model	Power	Output
AT-701	2.5 W	2 l/min



الشكل (2-4) جهاز التهوية AT-701

حيث تمت التهوية بأزمنة مختلفة بدءاً من 3 دقائق ثم 6 دقائق وصولاً إلى 18 دقيقة.
2-5-2- التجارب المخبرية لتحديد الجرعة المثالية من المخثرات الكيميائية والمؤكسد عبر جهاز (Jar test) :

تم إجراء التجارب على جهاز Jar test الموجود في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية ، حيث تم وضع السليندرات الستة على الجهاز الموضح بالشكل (2-5) والتي تكون بسعة لتر واحد ويوجد في كل كأس قلاب صغير يتم إدارة هذه القلابات بواسطة محرك كهربائي متغير السرعات .

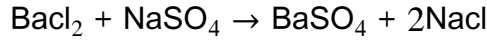


الشكل (2-5) جهاز Jar test في مخبر الهندسة البيئية

فبعد ملء السليندرات بلتر واحد من المياه المراد معالجتها (أي نفس حجم وتركيز العينة) وبعدها يضاف للسليندرات جرع مختلفة من المواد الكيميائية وتخلط بسرعة 200 RPM لمدة ثلاث دقائق ثم تخلط بسرعة 40 RPM لمدة عشر دقائق .

2-5-3- قياس تركيز الكبريتات :

في هذا البحث تم قياس الكبريتات بطريقة قياس درجة التعكر، فيتم ترسيب الكبريتات بكلوريد الباريوم ليتكون راسب أبيض من كبريتات الباريوم وفق المعادلة التالية :



حيث تم قياس الكبريتات بواسطة جهاز سبيكتروفوتومتر .



الشكل (2-6) جهاز سبيكتروفوتومتر DR/2010 لقياس كل من العكارة والكبريتات

2-5-4- قياس درجة العكارة :

تعد عملية قياس العكارة عملية أساسية في اختبار جودة المياه ، فهي من بين المؤشرات الرئيسية لجودة مياه الشرب ، بالإضافة للرائحة واللون .

يستخدم لذلك العديد من الأجهزة الحقلية والثابتة بالمكان ، التي تستخدم مصابيح قوس الزئبق ومصابيح يوديد التنغستين وليزر نيون ، ويعتمد ذلك على قياس التغير في شدة تدفق الطاقة الضوئية المنقولة عبر المعلق المراد تحليله .



الشكل (2-7) جهاز قياس العكارة الثابتة والحقلية بالترتيب

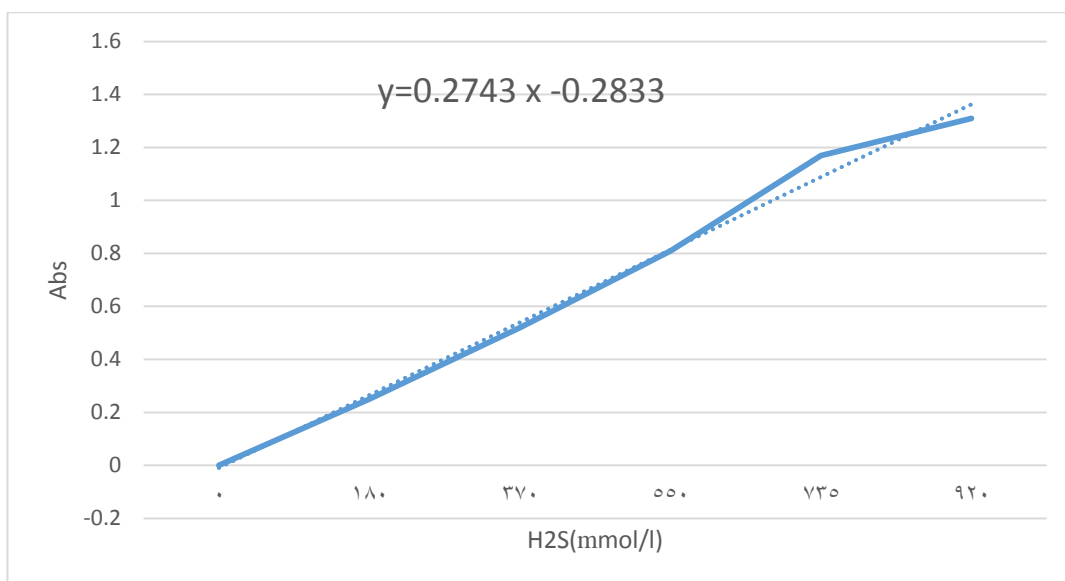
و لدينا واحدتان معروفتان لقياس العكارة وهما إما وحدات التعكر كلوي (NTU) ، أو وحدات تعكر جاكسون (JTU) .

2-5-5- قياس H_2S :

لقياس H_2S تم اللجوء إلى تحضير محاليل عيارية تحتوي تراكيز معينة من H_2S ، ثم وضع كاشف الغاز على هذه المحاليل ثم وضعها في جهاز المطياف الضوئي لقياس الامتصاصية Abs لهذه العينات ومعرفة كل تركيز ل H_2S مايقابله من الامتصاصية Abs كما في الجدول (2-4)، ثم رسم الخط البياني الذي يربط بين تركيز H_2S والامتصاصية Abs واستنتاج المعادلة التي تربط بينهم كما في الشكل (2-8) ، أما من أجل تحليل عينة البئر فنأخذ العينة ونضيف كاشف الغاز للعينة ونقيس لها الامتصاصية بواسطة الجهاز ثم نعوض في العلاقة التي حصلنا عليها فنحصل على تركيز H_2S للعينة .

الجدول (2-4) المحاليل العيارية المحضرة لقياس تركيز كبريتيد الهيدروجين

H2S(mmOl/l)	Abs
920	1.31
735	1.17
550	0.81
370	0.52
180	0.25
0	0



الشكل (2-8) يوضح العلاقة بين الامتصاصية وتركيز H₂S

فالعلاقة التي تم التوصل إليها والتي تربط بين الامتصاصية وتركيز H₂S هي كالآتي :

$$Y = 0.2743 X - 0.2833$$

حيث Y تعبر عن الامتصاصية

X تعبر عن تركيز H₂S (mmOl/l)

2-6- الأجهزة المستخدمة في هذا البحث :

2-6-1- قياس درجة الحرارة و PH :



الشكل (2-9) جهاز قياس درجة الحرارة و PH

2-6-2- قياس تركيز الأكسجين المنحل DO :

تم قياس الأكسجين المنحل بواسطة الجهاز الموضح في الشكل (2-10) :



الشكل (2-10) جهاز قياس الأكسجين المنحل DO

2-6-3- قياس تركيز الحديد :

تم استخدام جهاز سبيكتروفوتومتر DR5000 الموجود في مخبر الهندسة البيئية ، الذي يعتمد على تسليط حزمة مركزة من شعاع ضوئي على العينة المراد قياس الحديد فيها ، ومن ثم قياس شدة الشعاع الضوئي الممتص في العينة ، وبعد ذلك يتم تقدير تركيز الحديد في العينة المختبرة .



الشكل (2-11) جهاز قياس الحديد

2-7- المواد المستخدمة في البحث :

2-7-1- كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3$:

كما يعرف باسم كبريتات الألومينا أو شبب الترشيح ، ذات الصيغة الكيميائية $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ فتحتوي على حوالي % (14.5 - 17.5) من Al_2O_3 ، أما المحتوى المائي في الناتج التجاري يكون أقرب إلى 14 منه إلى 18 مول .



الشكل (2-12) كبريتات الألمنيوم على شكل حبيبات ومسحوق

وتستخدم على نطاق واسع كمادة مخثرة ، فيتم تخثير الجزيئات وتجميعها في جزيئات أكبر ، حيث تستقر بسهولة في قاع بركة المعالجة ليتم فصلها عن الماء بواسطة عملية الفلترة . فمن خلاله يتم الحصول على مياه خالية من التعكر واللون مما يزيد من قابليتها للشرب من خلال تسهيل تنظيف المياه . ولكن من الضروري ضبط الجرعة المناسبة لأن من مساوئ طريقة التنقية هذه أنها تؤدي إلى زيادة تركيز الألمنيوم في الماء بشكل طفيف إذا لم تضاف الجرعة المثالية من المخثر ، والألمنيوم معدن شديد السمية ويتراكم في الجلد والدماغ والرئتين مسبباً اضطرابات خطيرة .
والحد الأقصى المسموح به في المواصفة القياسية السورية الحد الأقصى المسموح به $(0.1-0.2) \text{mg/l}$.

2-7-2- هيبوكلوريت الصوديوم NaOCl :

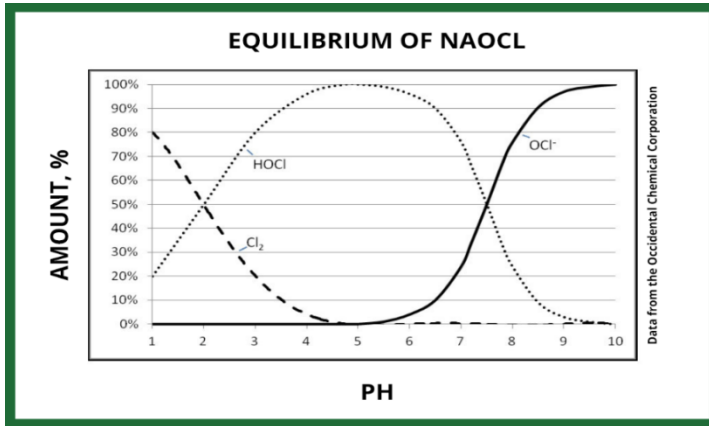
هو مركب كيميائي صيغته الكيميائية NaOCl ، يتكون من كاتيون Na^+ وأنيون ClO^- . من خصائصه الفيزيائية أنه سائل نقي ومحلول شفاف ذو لون أصفر مخضر ، وطعم ورائحة نفاذة وقوية.

أما خصائصه الكيميائية فيمتلك خواص مطهرة ومبيدة للجراثيم فليده القدرة على تدمير الكائنات الحية الدقيقة ، وذلك نتيجة إنتاجه للكور الحر ، كما إنه محلول غير مستقر يفقد خصائصه تدريجياً عند تعرضه للحرارة والضوء ، وعند إذابته في الماء يعرف باسم المبيض .



الشكل (2-13) هيبوكلوريت الصوديوم $NaOCl$

أما بالنسبة للمياه فيستخدم في تنقية مياه الشرب ومعالجة مياه المجاري لأنه يعتبر مادة معقمة فهو يعد عاملاً مؤكسداً قوياً وذا قدرة كبيرة على التبييض ، وإزالة الروائح والألوان . ومايجب التركيز عليه هو أن كفاءة هيبوكلوريت الصوديوم تزداد بشكل كبير في الوسط الحمضي ، ويفسر ذلك بأنه عند القيم المنخفضة ل PH يسود حمض $(HOCl)$ وفعاليتة أكبر من فعاليتة (OCl^-) ، كما في الشكل أدناه .



الشكل (2-14) يوضح تحول هيبوكلوريت الصوديوم في المياه حسب PH

2-7-3- كبريتات الحديدوز (كبريتات الحديد المائية) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$:

هو مركب كيميائي ذو تركيب بلوري أحادي الميل على شكل بلورات أو حبيبات خضراء فاتحة اللون ، عديمة الرائحة ، ذو صيغة كيميائية $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ، تعبر عن شكله المائي الأكثر شيوعاً لكبريتات الحديدوز $FeSO_4$ ووزنه الجزيئي 151.91 g/mol . أما بالنسبة لاستخدامات كبريتات الحديدوز فيستخدام في صنع الأنسجة والجلود ، وفي صناعة الحبر ، ويستخدم في تنقية المياه حيث PH المناسبة له 8.5 وما فوق ، وإبادة الجراثيم ، وحفظ الأخشاب وقتل الطحالب .



الشكل (2-15) كبريتات الحديدي $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

2-7-4- كلوريد الحديد $FeCl_3$:

وهو مركب كيميائي له الصيغة $FeCl_3$ ، ويكون على شكل بلورات صفراء (سداسي هيدرات) .



الشكل (2-16) كلوريد الحديد

وذلك بسبب كفاءة كلوريد الحديدك في جعل المياه شفافة وتصريف الرواسب فيستعمل كمخثر ويفضل أن يكون PH المياه بين 3.5 و6.5 أو أكثر من 8.5 ، ويستخدم كمرسب للسيطرة على الرائحة وإزالة الفوسفات وتلبيين رواسب النفايات السائلة ، والمساعدة على الفلترة ، وإزالة لون الماء ، وإزالة الزرنيخ ، وإزالة السموم من الكرومات من خلال تلبيين مياه الصرف الصناعي ، وتقليل كبريتيد الهيدروجين .

الفصل الثالث

نتائج الدراسة المخبرية ومناقشتها

منهج البحث :

اتبعنا في هذا البحث في بادئ الأمر الأكسدة بالتهوية الطبيعية ثم ترسيب العينة وترشيحها .

ثم انتقلنا إلى الأكسدة بالتهوية القسرية وفق أزمنة مختلفة ثم ترسيب العينات وترشيحها .

كذلك قمنا باللجوء إلى الأكسدة الكيميائية باستخدام هيبوكلوريت الصوديوم ثم الترسيب والترشيح .

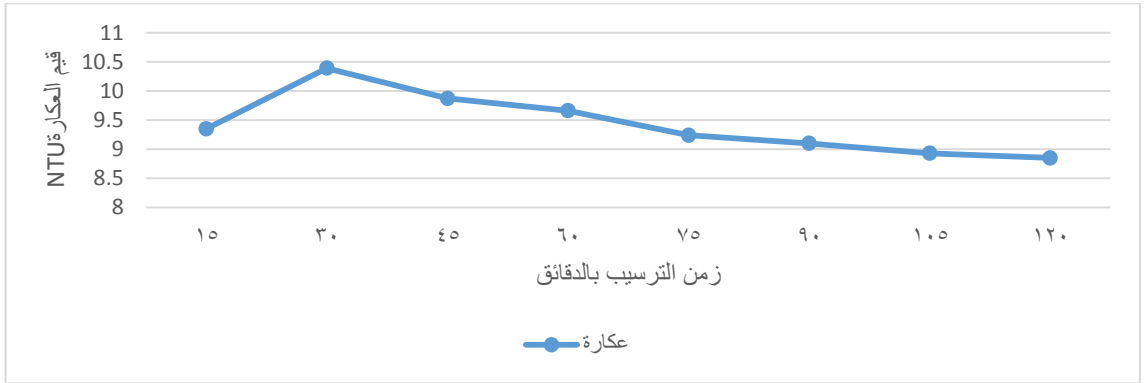
بالإضافة إلى استخدام المخثرين الكيميائين بعد الأكسدة في حال بقيت العكارة عالية ولتحسين باقي المواصفات (الشبة وكبريتات الحديدوز الذي تم استبداله أثناء العمل المخبري بكلوريد الحديد لعدم كفاءته) ثم ترسيب العينات وترشيحها .

تم إحضار العينات من بئر فطيم العرنوق على فترات مختلفة ، مع ملاحظة الرائحة الكبريتية الواضحة والمياه المتعكرة ، وإجراء التجارب عليها عند جلبها مباشرةً مع مراعاة جميع الشروط اللازمة لإنجاح عملية المعالجة .

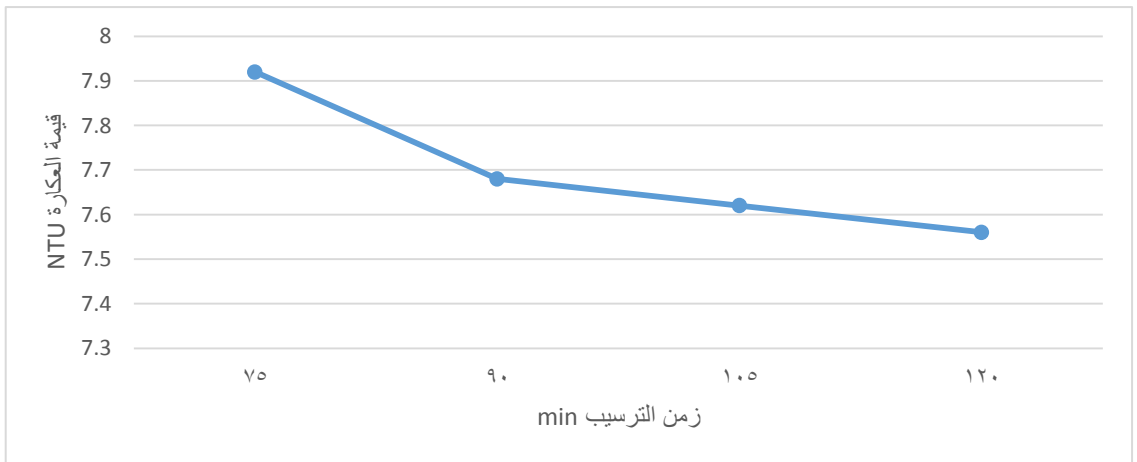
حيث تم إجراء عدة سلاسل من التجارب في هذا البحث :

**استخدام الأكسدة عن طريق التهوية والمؤكسد الكيميائي هيبوكلوريت الصوديوم في معالجة مياه بئر فطيم العرنوق :
3-1- طريقة التهوية الطبيعية:**

تمت تهوية عينات مياه البئر ومن ثم الترسيب لمدة ساعتين مع مراقبة العكارة كل ربع ساعة على النحو التالي :



نلاحظ أن العكارة بقيت مرتفعة فتم اللجوء إلى الترشيح بواسطة ورق ترشيح المخبر عند الزمن ساعة ولغاية الساعتين كل ربع ساعة كما في المخطط :



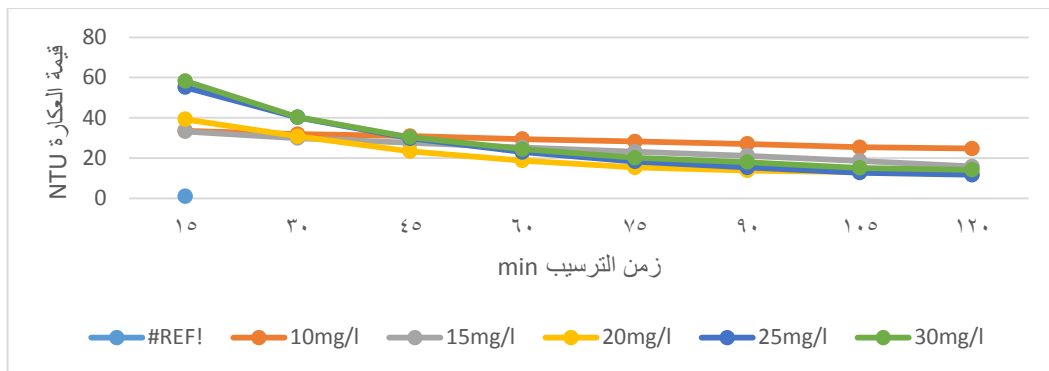
نلاحظ أن العكارة بعد الترشيح وبعد زمن ساعة ونصف انخفضت انخفاضاً غير ملحوظ ، لذلك كزمن ترسيب يكفي ساعة ونصف بدلاً من الانتظار لساعتين .

وكانت باقي المواصفات المختبرة كما في الجدول التالي :

المؤشر المختبر	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المياه المعالجة	نسبة الإزالة %
العكارة NTU	5-1	9.73	7.68	21.07
الكبريتات mg/l	500-250	490	475	3
الحديد mg/l	0.3	0.7	0.58	17.14
ppm H ₂ S	0.3-0.01	2.1	1.3	38.1

نجد أن العكارة وغاز كبريتيد الهيدروجين بقيت مرتفعة لذلك تم اللجوء إلى استخدام المخثرات الكيميائية ، لترسيب الغروانيات التي تشكلت نتيجة الأكسدة ، فعند استخدام كبريتات الألمنيوم (الشبة) بجرع مختلفة (30-25-20-15-10-5)mg/l بعد التهوية الطبيعية والترسيب لمدة ساعة ونصف ومراقبة العكارة كل ربع ساعة كما في المخطط : الجدول (3-4) يوضح قيم العكارة كل ربع ساعة بعد إضافة المخثر كبريتات الألمنيوم

30	25	20	15	10	5	جرعة المخثر mg/l زمن الترسيب min
58.26	55.2	39.25	33.2	33.51	31.33	15
40.3	40.2	30.8	29.88	31.86	30.2	30
30.33	29.77	23.4	27.7	30.94	28.72	45
24.37	22.95	18.75	25.2	29.45	26.88	60
20.08	18.29	15.3	23.1	28.18	25.9	75
17.97	15.35	13.86	21.11	27.03	25.12	90
15.1	12.69	12.93	18.58	25.33	23.8	105
14.14	11.65	12	15.84	24.75	22.65	120

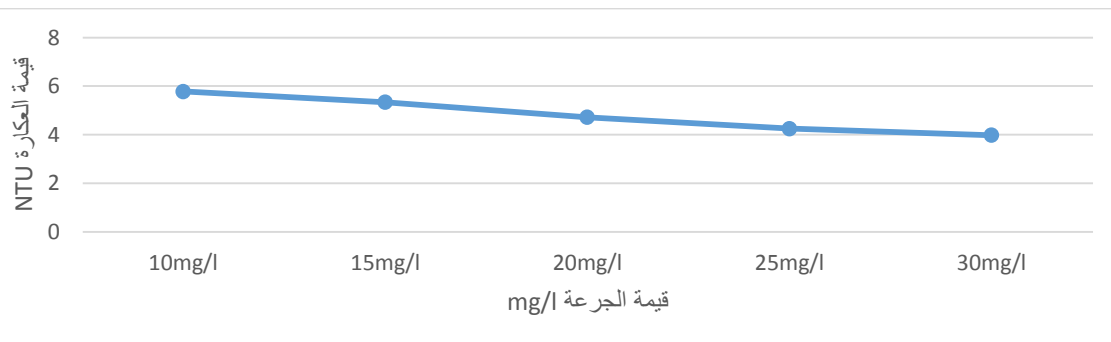


الشكل (3-5) مخطط يوضح كيفية نزول العكارة مع الزمن بعد إضافة كبريتات الألمنيوم

نلاحظ أن العكارة بقيت مرتفعة وأعلى من 5NTU لذلك تم اللجوء إلى الترشيح فكانت النتائج على النحو التالي :

الجدول (3-5) يوضح قيم العكارة بعد الترشيح وذلك بعد ترسيب ساعتين من إضافة كبريتات الألمنيوم

جرعة المخثر mg/l	30	25	20	15	10	5
العكارة NTU	3.98	4.25	4.72	5.34	5.78	6.1



الشكل (3-7) مخطط يوضح قيم العكارة بعد الترشيح وذلك بعد ترسيب ساعتين من إضافة كبريتات الألمنيوم

نلاحظ أن أقل عكارة قابلت الجرعة 30mg/l ، ولكن أيضاً الجرع (20-25)mg/l تعتبر مقبولة ، وعند اختبار باقي المواصفات فكانت على النحو التالي :

المؤشرات التصميمية لإزالة غاز H₂S من المياه (حالة دراسة مياه بئر فطيم العرنوق)

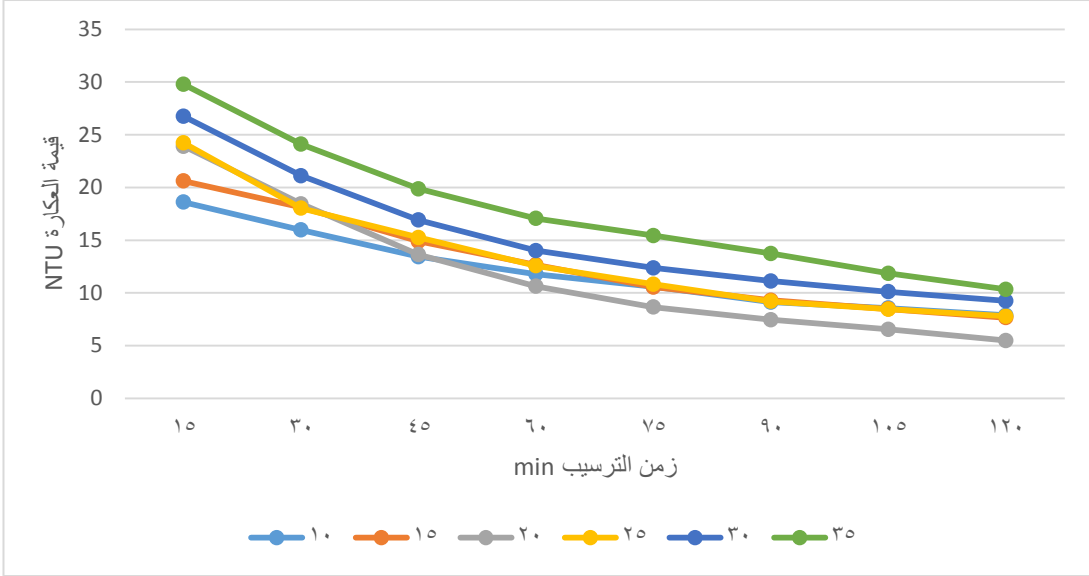
الجرعة mg/l						المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر المختبر
30		25		20				
الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة			
58.19	3.98	55.03	4.25	50.05	4.72	9.45	5-1	العكارة NTU
58.6	0.29	48.6	0.36	42.9	0.4	0.7	0.3	الحديد mg/l
9	450	-	-	-	-	495	500-250	الكبريتات mg/l
95.5	0.09	-	-	-	-	2	0.3-0.01	ppm H ₂ S
-	0.13	-	-	-	-	-	0.2-0.1	الألمنيوم mg/l

من الجدول لاحظنا أن الجرعة 30mg/l جرعة مقبولة بالنسبة لكبريتات الألمنيوم (الشبة) .

أما عند استخدام المخثر الكيميائي كلوريد الحديد بعد التهوية الطبيعية والترسيب لمدة ساعة ونصف بجرع متدرجة متزايدة ابتداءً من (10-15-20....-35)mg/l وراقبنا العكارة كل ربع ساعة لنحصل على المخطط التالي :

الجدول (3-19) يوضح قيم العكارة كل ربع ساعة بعد إضافة المخثر كلوريد الحديد

35	30	25	20	15	10	جرعة المخثر mg/l زمن الترسيب min
29.78	26.74	24.22	23.9	20.61	18.61	15
24.1	21.11	18.03	18.44	18.12	15.96	30
19.86	16.9	15.25	13.63	14.88	13.43	45
17.06	14	12.57	10.62	12.65	11.77	60
15.43	12.37	10.82	8.65	10.54	10.59	75
13.74	11.12	9.2	7.45	9.3	9.12	90
11.85	10.11	8.45	6.54	8.47	8.56	105
10.33	9.24	7.79	5.47	7.64	7.88	120



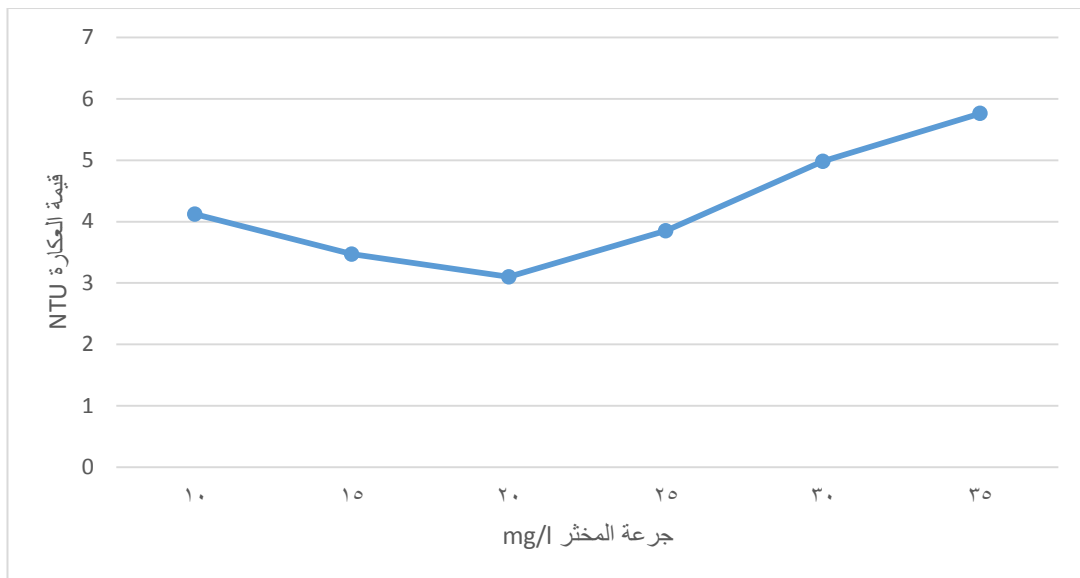
الشكل (3-16) مخطط يوضح كيفية نزول العكارة مع الزمن بعد إضافة كلوريد الحديد

نلاحظ أن العكارة بقيت مرتفعة وأعلى من 5NTU لذلك نلجأ إلى الترشيح لنحصل على العكارات التالية :

الجدول (3-20) يوضح قيم العكارة بعد الترشيح وذلك بعد ترسيب ساعتين بعد إضافة كلوريد الحديد

جرعة كلوريد الحديد mg/l	35	30	25	20	15	10
قيمة العكارة NTU	5.76	4.98	3.85	3.1	3.47	4.12

المؤشرات التصميمية لإزالة غاز H₂S من المياه (حالة دراسة مياه بئر فطيم العرنوق)



الشكل (3-9) يوضح قيم العكارة بعد الترشيح

نلاحظ أن أقل عكارة قابلت الجرعة 20mg/l والتي قابلت عكارة 3.1NTU ، ولكن أيضاً تعتبر الجرع (10-15-25-30)mg/l جرعاً مقبولة ، أما بالنسبة لباقي المواصفات كانت على النحو التالي :

الجرع mg/l										المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر المختبر
30		25		20		15		10				
الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة			
47.85	4.98	59.69	3.85	67.54	3.1	63.66	3.47	56.9	4.12	9.55	5-1	العكارة NTU
75.71	0.17	72.86	0.19	68.57	0.22	61.43	0.27	51.43	0.34	0.7	0.3	الحديد mg/l
10	445	8	455	6	465	6	465	-	-	495	-250 500	الكبريتات mg/l
96.84	0.06	96.32	0.07	96.32	0.07	94.74	0.1	-	-	1.9	-0.01 0.3	H ₂ S ppm

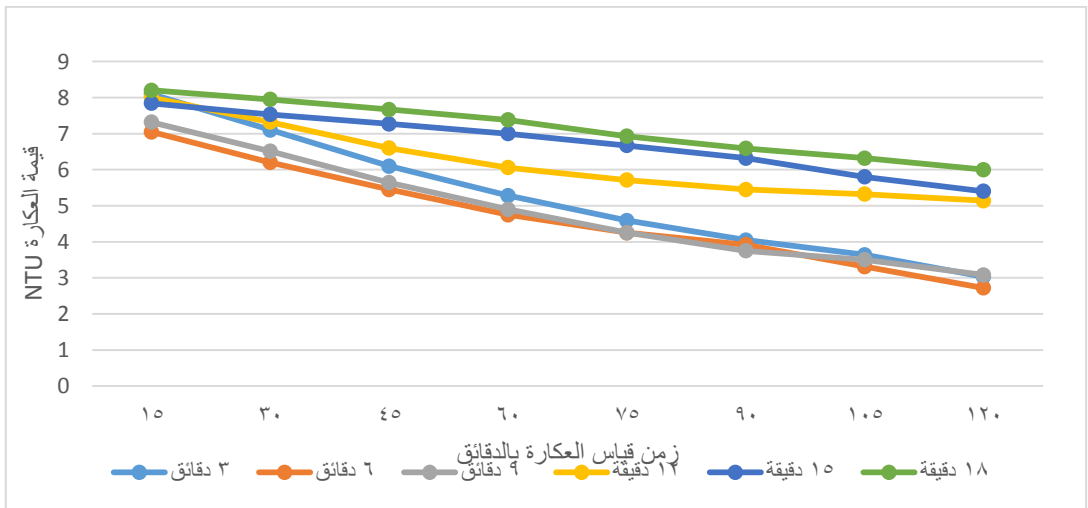
نلاحظ أن كل من الجرع (15-20-25-30)mg/l تعتبر جرعاً مقبولة ، ولكن سنعتمد الجرعة 20mg/l لأنها ذات كفاءة أعلى .

أما عند اللجوء إلى التهوية القسرية باستخدام المضخة AT-701 والتي تضخ هواء بمقدار 2l/min

ولأزمنة مختلفة (3-6-9-12-15-18)min ثم الترسيب لمدة ساعتين مع مراقبة العكارة كل ربع ساعة لنحصل على المخطط التالي :

الجدول (3-25) يوضح قيم العكارة بعد التهوية القسرية

18	15	12	9	6	3	مدة التهوية min زمن الترسيب min
8.2	7.84	8	7.32	7.05	8.1	15
7.95	7.53	7.32	6.51	6.2	7.1	30
7.67	7.27	6.6	5.64	5.45	6.1	45
7.38	7	6.06	4.9	4.75	5.28	60
6.93	6.67	5.71	4.25	4.25	4.59	75
6.59	6.32	5.45	3.75	3.92	4.05	90
6.32	5.8	5.32	3.5	3.31	3.64	105
6	5.4	5.14	3.08	2.72	3.03	120

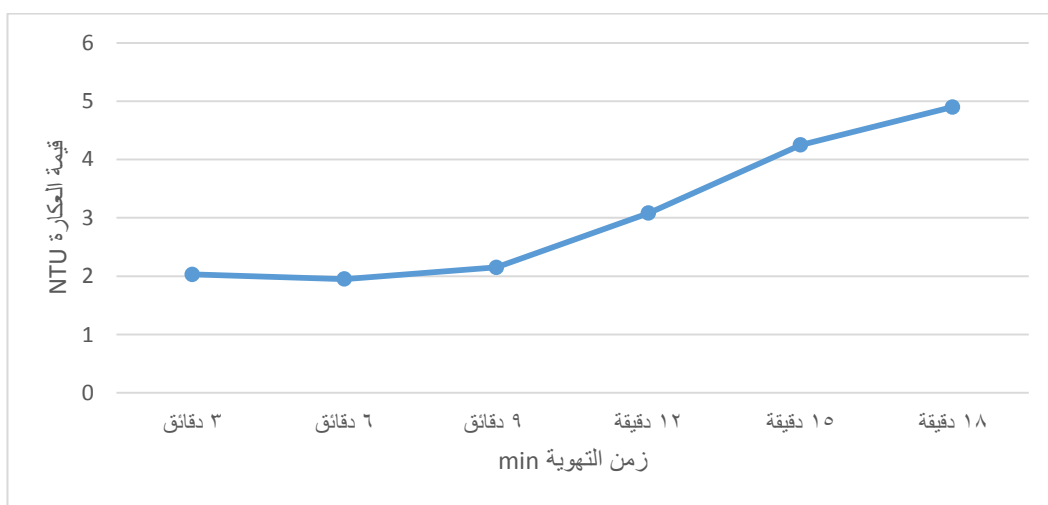


الشكل (3-22) يوضح قيم العكارة بعد التهوية القسرية

نلاحظ أن أقل عكارة قابلت زمن تهوية 6min ، وأزمنة التهوية (3-9) min تعتبر أزمنة مقبولة ، لكن نلجأ إلى الترشيح للحصول على نتائج أفضل من الناحية الجمالية ، فكانت نتائج العكارة بعد الترشيح على النحو التالي :

الجدول (3-26) يوضح قيمة العكارة المقابلة لكل زمن تهوية بعد الترشيح

زمن التهوية min	3	6	9	12	15	18
قيمة العكارة NTU	2.03	1.95	2.15	3.08	4.25	4.9



الشكل (3-24) يوضح قيمة العكارة المقابلة لكل زمن تهوية بعد الترشيح

من المخطط نجد أن كل أزمئة التهوية تعتبر أزمئة مقبولة ، ولكن أفضل أزمئة هي (3-9)min وبالنسبة لباقي المواصفات كانت على النحو التالي :

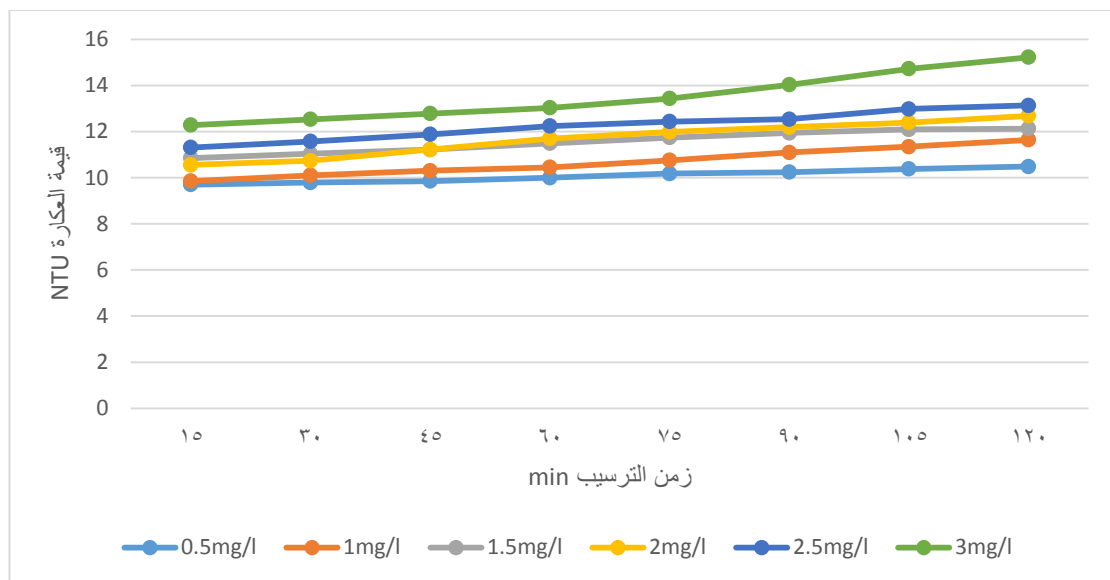
الأزمئة min						المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر المختبر
9		6		3				
الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة			
76.96	2.15	79.1	1.95	78.24	2.03	9.73	5-1	العكارة NTU
64.29	0.25	54.29	0.32	34.29	0.46	0.7	0.3	الحديد mg/l
6.12	460	5.1	465	-	-	490	500-250	الكبريتات mg/l
97.14	0.06	96.66	0.07	-	-	2.1	0.3-0.01	ppm H ₂ S

من خلال النتائج الموضحة في الجدول نجد أن زمن تهوية لمدة 6min كافية للحصول على مياه بمواصفات مقبولة في المواصفة القياسية السورية رقم (45) لعام 2007 .

أما عند استخدام المؤكسد الكيميائي هيبوكلوريت الصوديوم NaOCl بجرع متدرجة متزايدة ابتداءً من (0.5-1-1.5-....3)mg/l ومن ثم الترسيب لمدة ساعتين ومراقبة العكارة كل ربع ساعة كما في المخطط :

الجدول (3-29) يوضح قيم العكارة مع الزمن بعد إضافة المؤكسد الكيميائي NaOCl

3	2.5	2	1.5	1	0.5	جرعة المخثر mg/l زمن الترسيب min
12.28	11.31	10.55	10.85	9.85	9.7	15
12.53	11.57	10.73	11.04	10.1	9.79	30
12.78	11.88	11.22	11.22	10.3	9.85	45
13.03	12.24	11.7	11.49	10.45	10	60
13.43	12.43	11.98	11.74	10.75	10.18	75
14.03	12.54	12.19	11.94	11.09	10.24	90
14.72	12.98	12.39	12.09	11.34	10.38	105
15.22	13.13	12.68	12.13	11.64	10.48	120

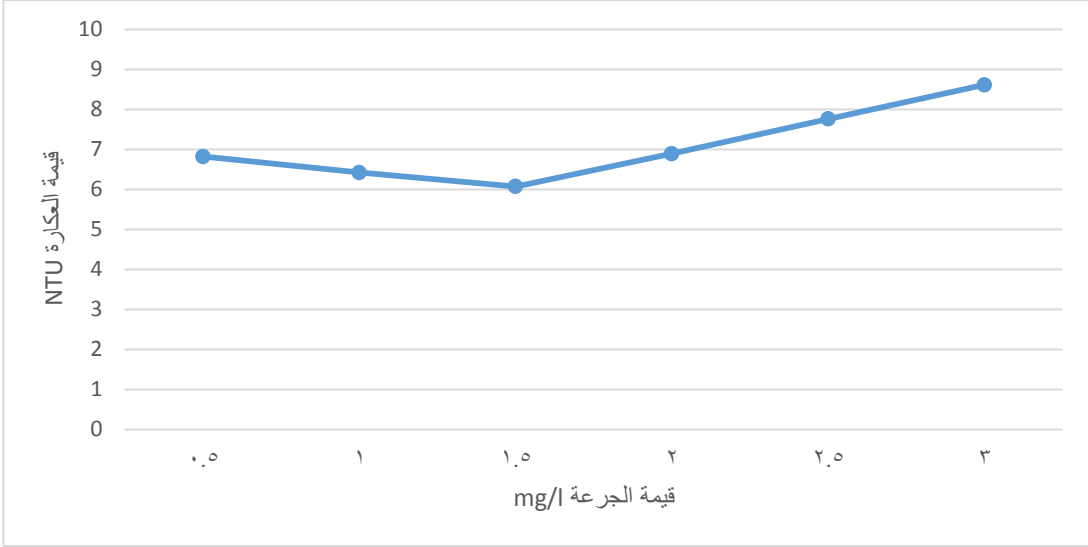


الشكل (3-27) يوضح قيم العكارة مع الزمن بعد إضافة المؤكسد الكيميائي NaOCl

من المخطط نجد أن أقل عكارة كانت أعلى من 10NTU نتيجةً لتشكل الغروانيات نتيجة الأكسدة لذلك نلجأ إلى الترشيح ، بورق ترشيح المخبر ، لنحصل على العكارات التالية :

الجدول (3-30) يوضح قيم العكارة بعد الترشيح

قيمة الجرعة mg/l	3	2.5	2	1.5	1	0.5
قيمة العكارة NTU	8.61	7.76	6.89	6.07	6.42	6.82

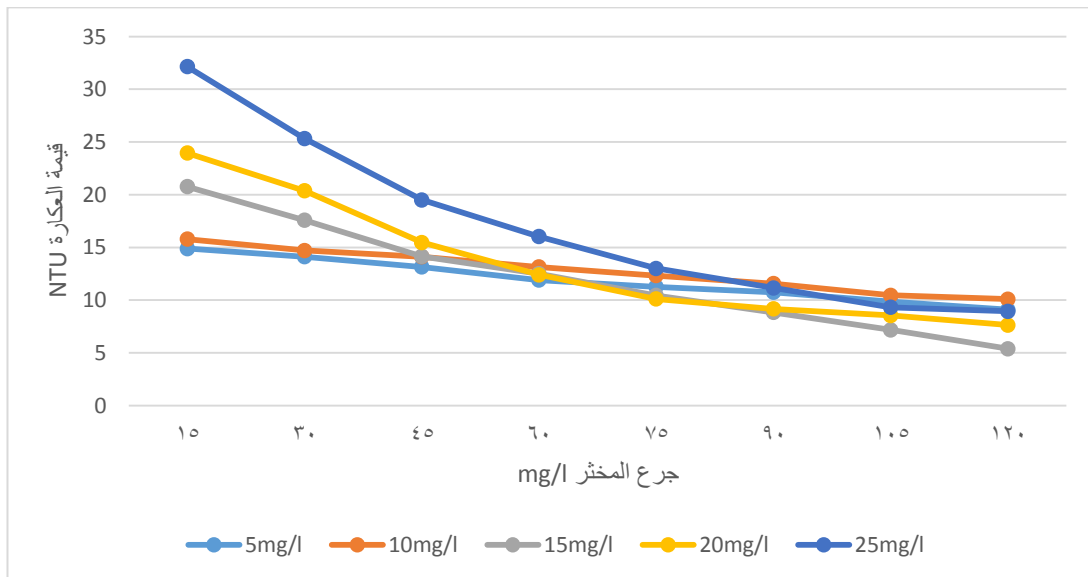


الشكل (3-28) يوضح قيم العكارة بعد الترشيح

نلاحظ من المخطط أن أقل عكارة قابلت الجرعة 1.5mg/l ولكن بقيت أعلى من 5NTU لذلك لا بد لنا من استخدام المخثرات الكيميائية ، فعند استخدام كبريتات الألمنيوم بجرع متدرجة متزايدة ($5-10-15-20-25\text{mg/l}$) وترك العينات لتترسب لمدة ساعتين ومراقبة العكارة كل ربع ساعة كما في المخطط :

الجدول (3-33) يوضح قيم العكارة مع مرور الزمن بعد إضافة المخثر

25	20	15	10	5	جرعة المخثر/ mg/l زمن الترسيب min
32.14	23.95	20.76	15.78	14.88	15
25.32	20.37	17.58	14.71	14.12	30
19.5	15.47	14.15	14.11	13.14	45
16.03	12.4	12.51	13.14	11.9	60
13	10.11	10.44	12.32	11.26	75
11.16	9.16	8.83	11.57	10.74	90
9.31	8.55	7.18	10.46	9.86	105
8.93	7.63	5.38	10.09	9.09	120

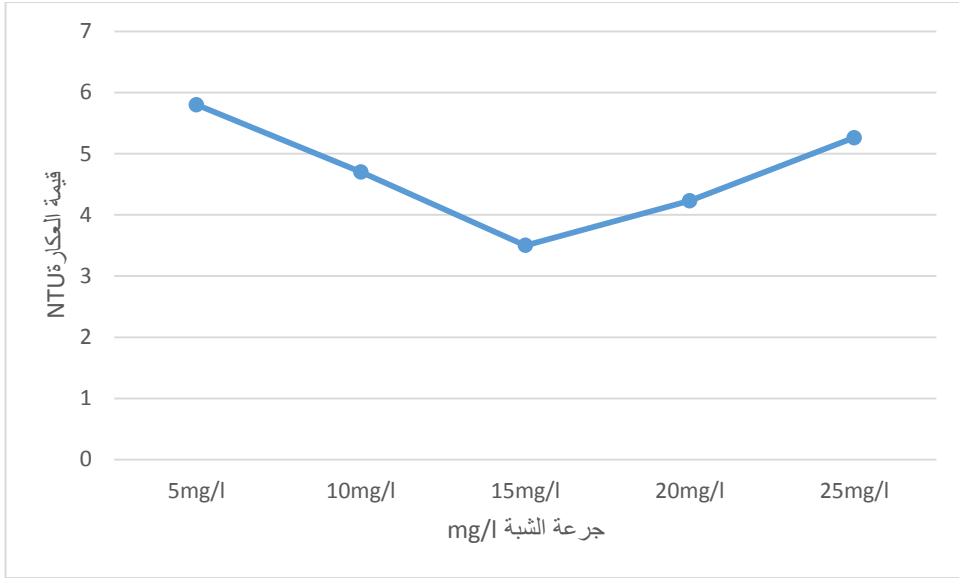


الشكل (30-3) يوضح قيم العكارة مع مرور الزمن بعد إضافة المخثر

من المخطط نلاحظ أن العكارة بقيت مرتفعة فكان لابد من اللجوء إلى الترشيح لنحصل على العكارات التالية :

الجدول (34-3) يوضح قيم العكارة بعد إضافة المخثر (الشبة) بعد المؤكسد وبعد الترشيح

جرعة الشبة/mg/l	25	20	15	10	5
قيمة العكارة/NTU	5.26	4.23	3.5	4.7	5.8



الجدول (1) يوضح قيم العكارة بعد إضافة المخثر (الشببة) بعد المؤكسد وبعد الترشيح من المخطط نلاحظ أن أقل عكارة قابلت الجرعة 15mg/l ولكن أيضاً الجرعة (10-20)mg/l تعتبر جرعة مقبولة لذلك نختبر باقي المواصفات لنجدها على الشكل الآتي :

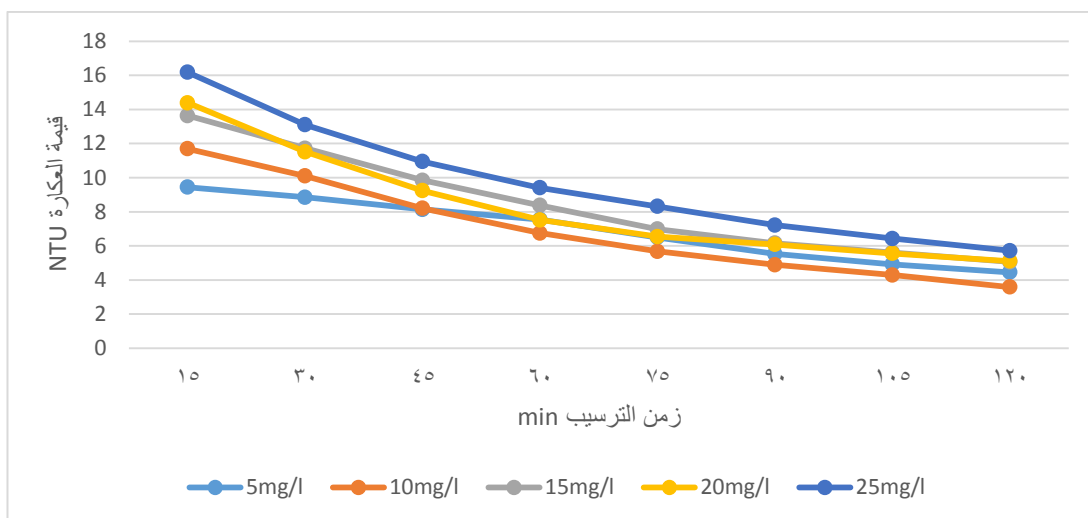
الجرعة mg/l						المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر المختبر
20		15		10				
الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة			
56.17	4.23	63.73	3.5	51.3	4.7	9.53	5-1	العكارة NTU
64.29	0.25	60	0.28	52.86	0.33	0.7	0.3	الحديد mg/l
9.18	445	8.16	450	-	-	490	500-250	الكبريتات mg/l
97.37	0.05	96.32	0.07	-	-	1.9	0.3-0.01	ppm H ₂ S
-	0.1	-	0.08	-	-	-	0.2-0.1	الألمنيوم mg/l

من النتائج الموضحة نجد أن الجرعتين (15-20)mg/l جرع مقبولة لكن نعتمد الجرعة 15mg/l .

أما عند استخدام المخثر كلوريد الحديد بجرع متدرجة متزايدة (5-10-15-20-25)mg/l وذلك بعد تطبيق 1.5mg/l من المؤكسد الكيميائي NaOCl ، والترسيب لمد ساعتين مع مراقبة العكارة كل ربع ساعة لنحصل على النتائج التالية :

الجدول (3-41) يوضح قيمة العكارة مع مرور الزمن بعد إضافة كلوريد الحديد بعد المؤكسد

25	20	15	10	5	جرعة المخثر mg/l زمن الترسيب min
16.18	14.39	13.64	11.69	9.44	15
13.1	11.52	11.72	10.1	8.85	30
10.94	9.24	9.85	8.2	8.14	45
9.4	7.52	8.37	6.75	7.55	60
8.32	6.54	6.98	5.68	6.5	75
7.22	6.08	6.16	4.89	5.45	90
6.43	5.56	5.61	4.29	4.92	105
5.72	5.11	5.06	3.59	4.45	120

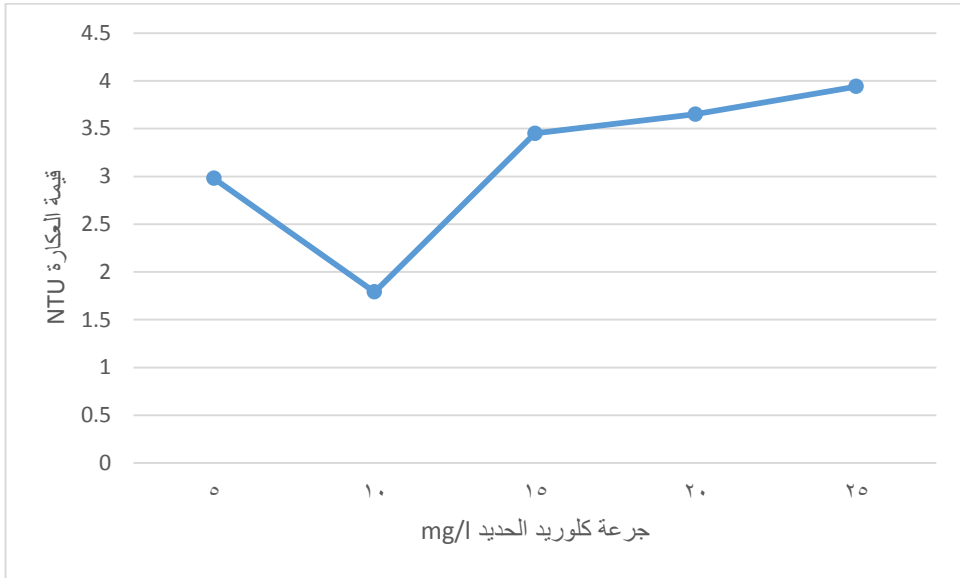


الشكل (3-33) يوضح قيمة العكارة مع مرور الزمن بعد إضافة كلوريد الحديد بعد المؤكسد

من المخطط نجد أن الجرعة (5-10)mg/l أعطت نتائج مقبولة في المواصفة القياسية السورية ولكن نلجأ إلى الترشيح للحصول على نتائج جمالية للمياه أفضل ، فكانت النتائج كما في المخطط :

الجدول (3-42) يوضح قيم العكارة بعد إضافة كلوريد الحديد بعد المؤكسد وبعد الترشيح

جرعة كلوريد الحديد mg/l	25	20	15	10	5
قيمة العكارة NTU	3.94	3.65	3.45	1.79	2.98



الشكل (3) يوضح قيم العكارة بعد إضافة كلوريد الحديد بعد المؤكسد وبعد الترشيح

ومنه نجد أن جميع الجرع كانت مقبولة من ناحية العكارة وأقل عكارة قابلت الجرعة 10mg/l ، وعند اختبار باقي المواصفات كانت على النحو التالي :

المؤشرات التصميمية لإزالة غاز H₂S من المياه (حالة دراسة مياه بئر فطيم العرنوق)

الجرع mg/l										المؤشر في المياه الخامية	المؤشر في المواصفة السورية	المؤشر المختبر
25		20		15		10		5				
الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة	الإزالة %	القيمة			
59.17	3.94	62.18	3.65	64.25	3.45	81.45	1.79	69.12	2.98	9.53	5-1	العكارة NTU
77.14	0.16	72.86	0.19	68.57	0.22	60	0.28	52.86	0.33	0.7	0.3	الحديد mg/l
9.18	445	8.16	450	7.14	455	7.14	455	-	-	490	500-250	الكبريتات mg/l
97.37	0.05	97.37	0.05	96.32	0.07	95.19	0.08	-	-	1.9	0.3-0.01	H ₂ S ppm

من الجدول نجد أن الجرعة 10mg/l كافية للحصول على مياه مقبولة في المواصفات السورية .

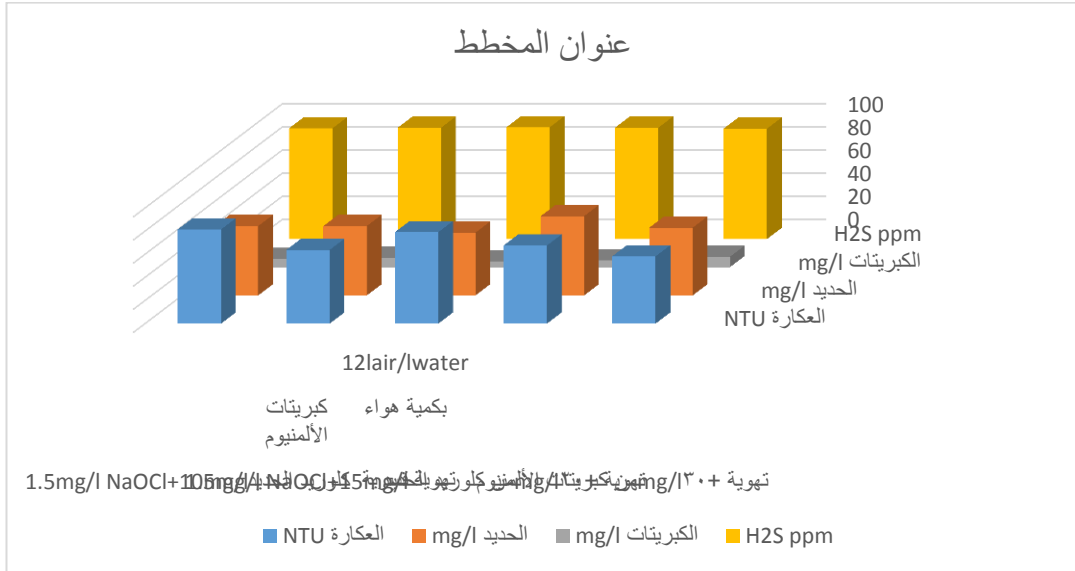
نتائج البحث :

توصلنا من خلال هذا البحث إلى النتائج النهائية التالية :

نوع المعالجة المتبعة					المؤشر
1.5mg/l 10mg/l+NaOCl كلوريد الحديد	1.5mg/l NaOCl+15mg/l كبريتات الألمنيوم	تهوية قسرية بكمية هواء 12 _{air/l} /water	تهوية 20mg/l+ كلوريد الحديد	تهوية 30mg/l+ كبريتات الألمنيوم	
1.79	3.5	1.95	3.1	3.98	العكارة NTU
0.28	0.28	0.32	0.22	0.29	الحديد mg/l
455	450	465	465	450	الكبريتات mg/l
0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	ppm H ₂ S

وبالتالي تكون نسب الإزالة كما يلي :

نوع المعالجة المتبعة					نسبة إزالة المؤشر %
1.5mg/l 10mg/l+NaOCl كلوريد الحديد	1.5mg/l NaOCl+15mg/l كبريتات الألمنيوم	تهوية قسرية بكمية هواء 12 _{air/l} /water	تهوية 20mg/l+ كلوريد الحديد	تهوية 30mg/l+ كبريتات الألمنيوم	
81.45	63.73	79.1	67.54	58.19	العكارة NTU
60	60	54.29	68.57	58.6	الحديد mg/l
7.14	8.16	5.1	6	9	الكبريتات mg/l
95.79	96.32	96.66	96.32	95.5	ppm H ₂ S



من خلال المخطط نجد أن نتائج إزالة كل من الكبريتات و H_2S تقريباً نفسها كان الاختلاف فقط من حيث العكارة وتركيز الحديد . وبذلك نجد أنه من الناحية الفنية أفضل طريقة هي استخدام المؤكسد الكيميائي NaOCl متبوعاً بالمخثر الكيميائي كلوريد الحديد، يليها استخدام التهوية القسرية ، ثم التهوية الطبيعية متبوعة باستخدام كلوريد الحديد ، ليأتي بعد ذلك طريقة المؤكسد الكيميائي متبوعاً باستخدام المخثر الكيميائي الشبة، وآخر طريقة كانت التهوية الطبيعية متبوعة بالمخثر الكيميائي كبريتات الألومنيوم (الشبة) ، مع العلم أن جميع الطرق المذكورة مقبولة ونتائجها ضمن المواصفات القياسية السورية رقم (45) لعام 2007 .

الفصل الرابع الدراسة الاقتصادية

دراسة الجدوى الاقتصادية :

يعتبر الإعداد للمشاريع الاقتصادية من أهم الخطوات لنجاح المشاريع ، حيث أن التخطيط السليم للمشاريع يضمن نجاح المشاريع وفعاليتها بالإضافة للربح المادي المتوقع من هذه المشاريع ، مما يضمن للمستثمر معرفة نقاط قوة مشروعه ونقاط ضعفه ، الذي يقود لسهولة حلها ، وبالتالي يعلم المستثمر أين يضع أمواله .

وبذلك تعرف دراسة الجدوى الاقتصادية على أنها عملية لجمع المعلومات عن مشروع مقترح ومن ثم تحليلها لمعرفة إمكانية التنفيذ، وتقليل المخاطر وربحية المشروع، وبالتالي يجب معرفة مدى نجاح هذا المشروع أو خسارته مقارنة بالسوق المحلي واحتياجاته.

وبذلك تكون كلفة معالجة المتر المكعب الواحد لمياه بئر فطيم العرنوق وفق الطرق المتبعة ، مع الأخذ بعين الاعتبار سعر المواد المستخدمة في السوق المحلية ، كما يلي :

المادة	الوزن	السعر ليرة سورية
كبريتات الألمنيوم	KG	10000
كلوريد الحديد	KG	25000
NaOCl	L	10000
كيلو واط ساعي تجاري	KW	450

وبذلك يكون ثمن الشبة اللازمة لمعالجة المتر المكعب الواحد المسبوق بالتهوية الطبيعية:

$$(30/1000) * 10000 = 300 \text{ s.p/m}^3$$

فيكون ثمن كلوريد الحديد اللازم لمعالجة المتر المكعب الواحد المسبوق بالتهوية الطبيعية:

$$(20/1000) * 25000 = 500 \text{ s.p/m}^3$$

وعند استخدام التهوية القسرية تكون كلفة معالجة المتر المكعب الواحد :

$$0.45 * 450 = 202.5 \text{ s.p /m}^3\text{water}$$

أما عند استخدام هيبوكلوريت الصوديوم متبوعاً بكبريتات الألمنيوم فكانت كلفة معالجة المتر المكعب الواحد :

$$(30/1000) * 10000 + (15/1000) * 10000 = 300+150 =450 \text{ s.p}$$

أما عند استخدام هيبوكلوريت الصوديوم متبوعاً بكلوريد الحديد فكانت كلفة معالجة المتر المكعب الواحد :

$$(30/1000) * 10000 + (10/1000) * 25000 = 300+250 =550 \text{ s.p}$$

وبذلك نجد أن أفضل طريقة معالجة من الناحية الفنية والاقتصادية هي طريقة التهوية القسرية، باعتبارها أقل تكلفة .

المراجع :

المراجع العربية :

- [4] الراوي . ساطع محمود ، حسن .علي عبد الله " عمليتا التخثير والتليبد " مجلة المهندس الأردني ، العدد 61 ، 1997 .
- [5] السلوم ، درغام نعمة ، 1987- الإمداد بمياه الشرب (2) ، الطبعة الأولى ، مديرية الكتب والمطبوعات ، جامعة البعث ، سورية.
- [6] المنهراوى سمير، حافظ عزة، 1997 ف، المياه العذبة، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة ،مصر .
- [7] باكنكوبف غوردن . ك ،(1996 ف)، مقدمة في كيمياء المياه الطبيعية، جامعة ولاية مونتانا، منشورات جامعة عمر المختار، ليبيا.
- [8] حلوة عزت، حسين سهام، (1999 ف)، الدليل التدريبي في مجال الطوارئ الصحية وإصاح الشرب، وزارة الصحة والسكان.
- [9] درداكة خليفة، (1988 ف)، الهيدرولوجيا والمياه الجوفية، مديرية المكتبات والوثائق الوطنية،الأردن.
- [10] رزيح، محمود. دراسة بعض ينابيع المنطقة العربية من العراق و تأثيرها في مياه نهر الفرات. مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة. جامعة الأنبار. كلية العلوم. مجلد 4، العدد2 2010 .

المراجع الأجنبية References

- [16] Al-Obeidi, B. A. M. A. 2005. Evaluating the level of elements in some sulfur springs in the heet region and studying the physical properties of the emitted bituminous materials. Master thesis, Sciences college, University of anbar .
- [20] Chou, C.H.J.S., 2003. Hydrogen sulphide: Human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 53, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- [24] Edwards ,S ; Alharthi ,R ; Ghaly ,A,E . Removal of Hydrogen Sulphide from Water . American Journal of Environmental Sciences 7(4) :295-305 , 2011.
- [28] Faust, S.D. and M.A. Osman, 1983, Chemistry of Water Treatment. 1st Edn., Ann Arbor Science Wobura, MA, ISBN: 0250403889, pp: 723 .
- [31] Health Canada, 1992. Sulphide (as H₂S), Health Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- [35] Kelly DP. The sulphur cycle: definitions, mechanisms and dynamics. Ciba Found Symp. 1979 ; (72):3-18. DOI: 10.1002/9780470720554.ch2. PMID: 398766.
- [36] Kertesz, M. A., & Frossard, E. (2015). Biological Cycling of Inorganic Nutrients and Metals in Soils and Their Role in Soil Biogeochemistry. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, 471–503.DOI:10.1016/B978-0-12-415955-6.00016-5 .
- [37] Klotz MG, Bryant DA, Hanson TE. The microbial sulfur cycle. *Front Microbiol.* 2011;2:241. Published 2011 Dec 2. DOI:10.3389/fmicb.2011.00241 .
- [39] Li, L., A. Hsu and P.K. Moore, 2009. Actions and interactions of nitric oxide carbon monoxide and hydrogen sulphide in the cardiovascular system and in inflammation -a tale of three gases !

Pharmacology and Therapeutics. 123: 386-400 DOI:

10.1016/j.pharma.thera. 2009.05.005.

[40] Lloyd, D., 2006. Hydrogen sulphide: clandestine microbial messenger? Trends in Microbiology 14: 456-462. DOI:

10.1016/j.time.2006.08.003.

[44] Muhammad Shahid & Muhammad Faisal, "Effect Of Hydrogen Sulfide Gas Concentration On The Corrosion Behavior Of ASTM A-106.

[45] Muttar, A. A., T. A. Zedan, B. A. Mahmood. 2009 . Analytical Comparison Study for Asphalt and Water of Heet Sulphurous Springs . Journal of university of Anbar for Pure science. 3(1): 45-56 .

[52] WHO, 2003. Hydrogen Sulfide in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality WHO/SDE/WSH/03.04/07. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

[55] Yang . N " Physical Conditioning for Scale Prevention during desalination by Reverse Osmosis" M.Sc. Thesis 2005:64

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden 2005.

دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل باستخدام الركام المعاد تدويره كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي

طالب دراسات عليا (دكتوراه) المهندس: **فلاح علي مبارك** - قسم الهندسة الإنشائية - كلية
الهندسة المدنية - جامعة البعث

بإشراف الدكتور المهندس: **منيب العلاف** أستاذ دكتور في قسم الهندسة الإنشائية - كلية
الهندسة المدنية - جامعة البعث (مشرفاً أساسياً).

الدكتور المهندس: **إحسان لطرشة** أستاذ دكتور في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة
المدنية - جامعة البعث (مشرفاً مشاركاً).

ملخص البحث

يقدم هذا البحث دراسة سلوك الخرسانة المكونة من ركام طبيعي وركام معاد تدويره
باستبدال جزئي، حيث أجريت عدة اختبارات على خلطة خرسانية بنسبة استبدال 50%
من الركام المعاد تدويره.

بينت النتائج على عينات خرسانية اسطوانية بعمر 120 يوماً وبنسبة استبدال 50%
انخفاض في مقاومة الخرسانة على الضغط بنسبة 8%، ومقاومة الشد بالفلق للخرسانة
انخفضت بنسبة 16.1% تجريبياً وبنسبة 13.8% تحليلياً، معامل المرونة E_c انخفض
بنسبة 14.1%. وإن هذا الانخفاض الواضح لمعامل المرونة يعود إلى التشوه الكبير
للعينة عند تعرضها للضغط.

أجريت دراسة تجريبية بتطبيق عزم قتل على ثلاثة جوائز خرسانية مسلحة مكونة من
الركام الطبيعي (R0) وثلاثة جوائز بنسبة استبدال 50% من الركام المعاد تدويره
(R50).

أظهرت النتائج انخفاض بعزم القتل الأعظمي بمقدار 13.1%، وكذلك زاوية القتل
انخفضت بنسبة 18% في الجوائز المكونة من الركام المعاد تدويره مقارنة مع الجوائز
المصنوعة من الركام الطبيعي.

كلمات مفتاحية: الركام الطبيعي، الركام المعاد تدويره، مقاومة الشد بالفلق، الجوائز
الخرسانية المسلحة، عزم القتل، زاوية القتل.

Experimental study of the behavior of torsion reinforced concrete beams using recycled aggregate as a partial replacement of natural aggregate

Abstract

This research presents a study of the behavior of concrete consisting of natural aggregates and recycled aggregates with partial replacement, where several tests were conducted on a concrete mixture with a percentage of replacing 50% of recycled aggregates.

The results showed that on cylindrical concrete samples at the age of 120 days, with a replacement rate of 50%, a decrease in the compressive strength of the concrete by 8%, the tensile strength of the split concrete decreased by 16.1% experimentally and by 13.8% analytically, the modulus of elasticity E_c decreased by 14.1%. This apparent decrease in the modulus of elasticity is due to the large deformation of the sample when subjected to pressure.

An experimental study was conducted by applying torsion torque on three reinforced concrete beams composed of natural aggregate (R0) and three beams with a replacement rate of 50% of recycled aggregate (R50).

The results showed a decrease in the maximum torsional moment by 13.1%, as well as a decrease in the angle of torsion by 18% in the beams composed of recycled aggregates compared to the beams cast from natural aggregates.

Key words:

Recycled aggregate, Natural aggregates, splitting tensile strength, reinforced concrete beams, torsion moment, Angle of twist.

1- مقدمة البحث:

الخرسانة في كل مكان حولنا، في البيوت، المدارس، المشافي، الجسور، الطرق، الأسواق، المكاتب، المصانع، وكل مكونات الحياة العصرية. مع زيادة النمو الاقتصادي وزيادة عدد السكان واتساع المناطق الحضرية، أعيد ترسيم المدن وشق الطرق وزادت الحاجة للبناء والتوسع العمراني وتشديد المباني الجديدة، وأدى ذلك إلى زيادة كبيرة في استعمال الخرسانة، حيث يقدر استعمال الخرسانة بحوالي 30 بليون طن في السنة في العالم [10].

ولكن يقابل تلك الزيادة في الطلب لاستعمال وانتاج الخرسانة، نقص في المواد الأولية الجيدة المحدودة على أرضنا، ونظراً للظروف الحرب التي عاشتها بعض الدول العربية أدت الى هدم الأبنية وتراكم هذه الأنقاض كما موضح في الشكل (1) وهي غير صديقة للبيئة، من هنا نشأت فكرة إعادة تدوير وإعادة استعمال الخرسانة القديمة في انتاج الخرسانة الجديدة وكيفية التخلص من الركام ومخلفات الخرسانة القديمة.



الشكل (1): ركام الأبنية في بعض المناطق العربية

2- المشكلة العلمية ومبررات البحث:

نتيجةً لظروف الحرب الحاصلة في سوريا وبعض الدول أدت الى تهديم عدد كبير من المباني وخلفت وراها نفايات خرسانية كثيرة، وعلاج هذا الوضع هو إعادة تدوير هذه النفايات واستخدامها مرة أخرى.

دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل باستخدام الركام المعاد تدويره
كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي

إن محور هذا البحث هو الاستفادة بالشكل الأفضل من هذه النفايات واستخدمها في العناصر الإنشائية كاستبدال جزئي أو كلي، ومن ضمن هذه العناصر الجوائز الخرسانية المسلحة.

3- هدف البحث:

دراسة سلوك الخرسانية المكونة من الركام المعاد تدويره وفق النسبة 50% ومقارنتها بالخرسانة المكونة من الركام الطبيعي، وكذلك دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل وفق النسبة المذكورة.

4- الدراسة المرجعية:

سوف نستعرض بعض النتائج التي توصلت إليها بعض الدراسات المرجعية المتعلقة بالركام المعاد تدويره:

1- قام الباحث [3]، [7] بدراسة الخصائص الميكانيكية للخرسانة مثل: (مقاومة الضغط) والخواص المرنة (معامل المرونة) للركام المعاد تدويره وكان مصدره من وحدة إعادة تدوير في إيطاليا لمخلفات هدم المنشآت الخرسانية ومعالجتها بشكل جيد. تم تحضير عدة خلطات خرسانية باستخدام ركام طبيعي بشكل كامل وركام خشن معاد تدويره بنسبة استبدال 30%، تم اعتماد نسبة w/c تتراوح بين (0.4-0.6) مع استخدام ملدن (Superplastisizer) وكان هبوط المخروط بين 19-20 سم، وأظهرت النتائج أنه يمكن الحصول على خرسانة إنشائية مقاومتها المكعبية تصل إلى 32MPa ولكن معامل المرونة انخفض بحوالي 16% مقارنة بالخلطة من الركام الطبيعي.

2- أجرى الباحث [4] خلطات خرسانية بنسب استبدال 30%-50%-80%-100% وتوصل إلى أن المقاومة على الضغط تقل بزيادة نسبة الاستبدال للركام المعاد تدويره حيث انخفضت بنسبة 11.9% - 12.4% - 16.65% - 18.48% على التوالي وفقاً لنسب الاستبدال المذكورة بالمقارنة مع العينات المرجعية.

3- درس الباحث [12] سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة أبعادها 120*300*2800 مم والمعرضة للانعطاف وكانت بنسب الاستبدال (0-20-30-40) %، ومع نسب تسليح مختلفة لدراسة حالة انهيار الجوائز على الضغط. وذلك بتسليح أدنى

(Group A)، وأعلى (Group B) من الحد الأعظمي، كما موضح في الجدول (1).

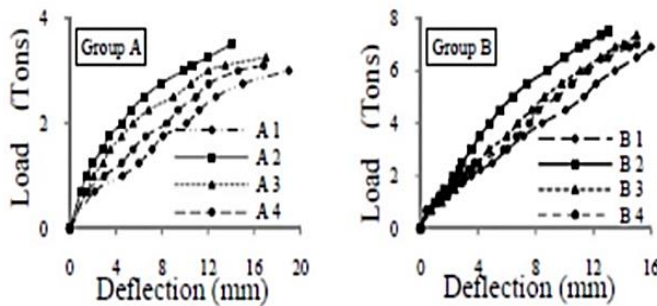
تم التوصل من خلال هذه الدراسة إن نمط الانهيار الحاصل في حالة نسبة التسليح المنخفضة كان على الشد في حين أنه كان على الضغط مع نسبة التسليح المرتفعة.

الجدول (1): تفاصيل الجوائز المختبرة [12]

Beam	w/c	Add %	RCA %	A _s	stirrups	$\frac{a}{d}$	μ
A1	0.61	0	0	2Φ12	8Φ8/m'	4	0.7
A2	0.47	0.88	20	2Φ12	8Φ8/m'	4	0.7
A3	0.49	0.91	30	2Φ12	8Φ8/m'	4	0.7
A4	0.5	0.95	40	2Φ12	8Φ8/m'	4	0.7
B1	0.61	0	0	4Φ16	10Φ8/m'	4	2.65
B2	0.47	0.88	20	4Φ16	10Φ8/m'	4	2.65
B3	0.49	0.91	30	4Φ16	10Φ8/m'	4	2.65
B4	0.5	0.95	40	4Φ16	10Φ8/m'	4	2.65

RCA % = Recycled Concrete Aggregate Ratio, Add % = Admixture dose by weight of cement, $\frac{a}{d}$ = Shear span to depth ratio, A_s = Main bars of steel reinforcement, μ = Reinforcement steel ratio on concrete section

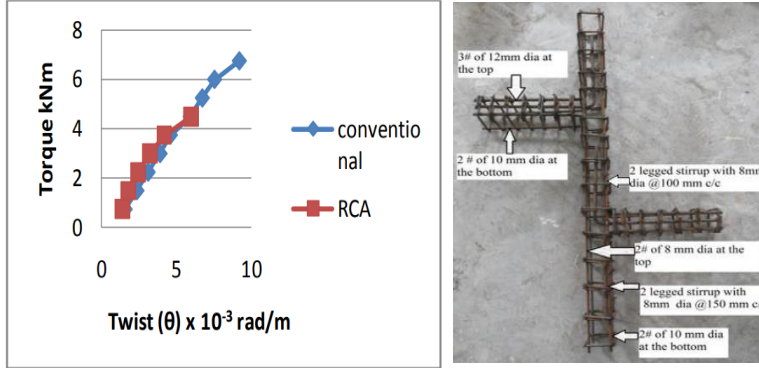
بينت الدراسة أنه في حالة نسبة التسليح المرتفعة كان الفرق بين السهوم منتصف المجاز صغيراً قبل أن يبدأ التشقق كما في الشكل (2)، وبينت الدراسة انخفاض في القوة بنسبة 18% عند نسبة الركام المعاد تدويره (40%) مقارنة من العينة المرجعية، اوصت الدراسة باستخدام نسبة الاستبدال 20%.



الشكل (2): علاقة قوة- انتقال للجوائز المختبرة في دراسة [12]

4- درس الباحث [9] سلوك الجوائز الخرسانية على الفتل بنسبة استبدال 80% من الركام المعاد تدويره، وأظهرت الدراسة بانخفاض بالمقاومة المميزة الاسطوانية بمقدار 16%، ومعامل المرونة بحوالي 18.5%.

كما موضح في الشكل (3) صورة الجائز وكذلك مخطط عزم الفتل مع زاوية الفتل، وتوصل الباحث الى انخفاض في قيمة عزم الفتل بمقدار 26.2% عند نسبة استبدال 80%.



الشكل (3): صورة الجائز، مخطط عزم الفتل مع زاوية الفتل [9]

5- هدف البحث:

دراسة الخصائص الميكانيكية للخرسانية المكونة من الركام المعاد تدويره وفق النسبة 50% ومقارنتها بالخرسانية المكونة من ركام طبيعي، وكذلك دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للفتل وفق النسب (50،0) %.

6- مواد البحث وطرائقه:

6-1- الاسمنت:

تم استخدام اسمنت بورتلاندي عادي (ماركة الإسمنت 32.5MPa) وبعياره 400 kg/m³.

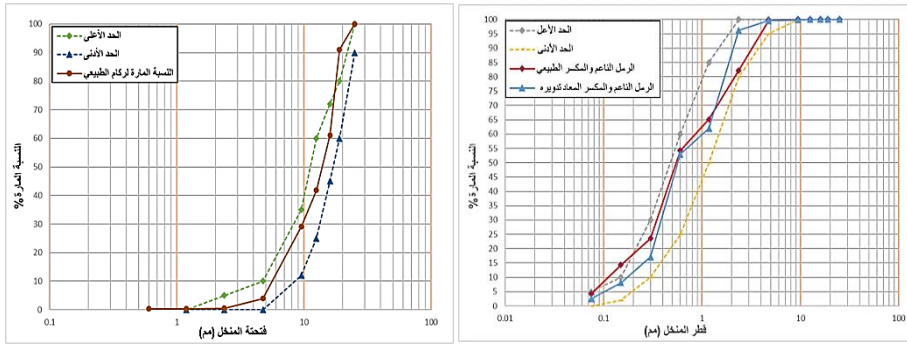
6-2 الملدن:

الملدن المستخدم في هذا البحث (Hyperplast ES901) وهو عالي الأداء، موافق للمواصفات ASTM C494, Type G يعتمد على بوليمرات متعددة الكربوكسيل (polycarboxylic polymers) ولتحديد النسبة المناسبة تم إضافة عدة نسب لاختيار الكمية المناسبة وذلك ضمن المجال الذي تفترضه الشركة الصانعة ضمن الحدود (0.5-2.2) وكثافته (1.25 kg/m³) وتم تحديد قابلية التشغيل على عدد من الخلطات

التجريبية، وبناء عليه تم اعتماد كمية من الملدن 0.5%، 1% من وزن الاسمنت للنسب الاستبدال 0%، 50% بالترتيب، تم إضافتها إلى الماء أثناء جيل مكونات الخلطات.

6-3 الركام الطبيعي:

تم في هذا البحث استخدام بحص طبيعي، تم إحضار نوعين من البحص الخشن، بحص (1) وبحص (2)، تم إجراء تم تجربة التحليل الحبي في مخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث، وأخذت النسبة 60% بحص (1)، 40% بحص (2)، للحصول على خليط يحقق حدود المواصفة ASTM C33 تم الخليط بين النوعين حسب النسب المذكورة ويكون ضمن الحد الأعلى والأدنى، وتم أخذ نسب من الرمل الناعم والمكسر(زرادة) وفق ما يلي: 68% رمل مكسر (زرادة) طبيعي، 32% رمل ناعم طبيعي كما يبين في الشكل (4).



الشكل (4): التحليل الحبي لخليط البحص الطبيعي الخشن والناعم المستخدم في البحث

كما تم إجراء تجربة المكافئ الرملي للرمل المستخدم في مخبر التربة - كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث، ونتج المكافئ الرملي الوسطي بالتجربة: 71.4% ويعتبر الرمل نظيف.

6-4 الركام المعاد تدويره:

في هذا البحث كانت الصعوبة في الحصول على نفايات المباني منخله ومفروزة جاهزة لأنه لا توجد في سورية حتى الآن وحدات والاليات متخصصة تقوم بإعادة تدوير نفايات المباني

دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل باستخدام الركام المعاد تدويره
كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي

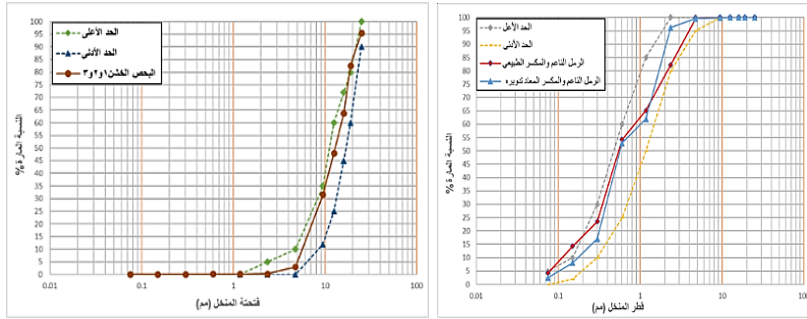
ولا يتوفر فيها آليات متطورة تقوم بعملية التكسير والفرز بحيث نحصل على نوعية حصويات مناسبة.

وبعد البحث تم الحصول على نفايات المباني في منطقة دير بعلبة وتم فرزها يدوياً واخذها إلى كسارة خاصة في الصناعة- حمص - سوريا تم تكسيرها ومن ثم فرزها بمخبر البيتون- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث كما موضح في الشكل (5).



الشكل (5): صورة الكسارة المستخدمة والركام بعد التكسير

وبعد عملية فرز الركام المعاد تدويره بالمناخل في مخبر الخرسانة والحصول على ثلاثة أنواع وهي: ركام 1، ركام 2، وركام 3. وتم تسميتها بعد الفرز حسب مقاس المنخل: (25-16) mm بحص (1)، (16-4.75) mm بحص (2)، (4.75-1.18) mm رمل مكسر (زرادة)، وتم اعتبار الركام 1، 2 هو البحص الخشن وجراء التحليل الحبي لكل نوع، واخذ النسب الاتية: 46%، 54% للنوعين من الركام 1، 2 بالترتيب، من أجل الحصول على خليط يحقق مواصفات ASTM C33، تم اخذ نسب من الرمل الناعم والمكسر وفق ما يلي: 53% رمل مكسر من المعاد تدويره، 47% رمل ناعم طبيعي كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6): التحليل الحبي لخليط البحص المعاد تدويره الخشن والناعم

• المقارنة بين الركام الطبيعي والركام المعاد تدويره:

1- الوزن النوعي: الوزن النوعي للركام المعاد تدويره أقل من الوزن النوعي للركام الطبيعي وهذا يتوافق مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة [2]، [3].

2- ناتج الاهتراء: إن فاقد الاهتراء للركام الطبيعي هو 20.13% بينما للركام المعاد تدويره للصدم كان 31.53% بسبب المونة القديمة الملتصقة والتي تنفتت بشكل أسهل.

3- الامتصاص: إن قدرة الركام المعاد تدويره على الامتصاص 5.11% أكبر بشكل واضح من قدرة الركام الطبيعي على الامتصاص 1.16% بسبب المونة القديمة الملتصقة على سطح الركام المعاد تدويره والتي تحوي على نسبة مسامات عالية وهذا يتوافق مع الدراسة المرجعية [12].

7- الخلطة الخرسانية:

تم تصميم الخلطة الخرسانية التي تحقق شروط المواصفات ASTM C33، كما يوضح الجدول (2) الكميات المستخدمة لتحضير 1m³ من الخلطة الخرسانية المستخدمة للصب وفق النسب (50-0) %.

الجدول (2): الكميات المستخدمة لتحضير 1m³ من الخلطة الخرسانية

رمز الخلطة	البحص الطبيعي kg	البحص المعاد تدويره kg	زرادة kg	الرمل kg	الاسمنت kg	نسبة الماء للإسمنت w/c
C-0	1175.31	-	521.63	234.02	400	50%
C-50	587.66	586.74	456.09	270.03	400	50%

7-1 صب العينات والجوائز المختبرة في البحث:

تم استخدام الجبل اليدوي لصب 12 عينة اسطوانية بأبعاد (30*15) cm، ومكعبين بأبعاد (15*15) cm لكل نسبة مذكورة سابقاً، حيث تم دهن الأوجه الداخلية والقاع للأسطوانات والمكعبات بالزيت، ثم صب الخرسانة على ثلاث طبقات، مع رص كل طبقة بالدق 25 مرة بالقضيب المخصص لهذا الغرض، وضعت العينات بعد ذلك على الرجاج الآلي لمدة لا تزيد عن دقيقة، وسوّيت سطوح العينات قدر الإمكان، وبعد 24

دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للقتل باستخدام الركام المعاد تدويره
كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي

ساعة تم فك القوالب، وتم وضع العينات ضمن الماء في حوض الغمر كما موضح بالشكل (7).



الشكل (7): العينات الاسطوانية والمكعبية في حوض الماء

تم صب ثلاثة جوائز خرسانية مسلحة لكل نسبة بأبعاد (25*15*170) cm، وبتسليح طولي 4Ø12mm وتسليح عرضي (Ø8mm)، كما يوضح الشكل (8).
يبين الجدول (3) خصائص فولاذ التسليح حد الرونة، وحد الانقطاع الوسطي لثلاث عينات من فولاذ التسليح تم اختبارها بمخبر مواد البناء - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

الجدول (3): خصائص التسليح المستخدم في البحث

القطر ب mm	حد المرونة (N/mm ²)	حد الانقطاع (N/mm ²)
12	540	694.67
8	325	451.6



الشكل (8): صور الجوائز في مخبر الخرسانة

8- الاختبارات:

8-1 اختبارات العينات:

8-1-1 المقاومة على الضغط:

تم اعتماد المواصفة ASTM C 39 لتحديد المقاومة على الضغط، باستخدام جهاز الكسر الموجود في مخبر الخرسانة -كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث، تم وضع العينة الاسطوانية بعد أخذ الوزن لها والابعاد بين فكي المكبس وتم تسجيل حمولة الانهيار للعينة كما موضح في الشكل (9).



الشكل (9): جهاز الكسر في مخبر الخرسانة وانهيار العينات

يبين الجدول (3) القيم الوسطية (لحمولات الانهيار، ومقاومات الضغط) للعينتين بعمر 7 day، وثلاث عينات بعمر 28 day.

الجدول (3): حمولة الانهيار، ومقاومة الضغط الوسطية بعمر 7، 28 يوم

28 days		7 days		رمز الخلطة
المقاومة الاسطوانية (MPa)	الحمولة (kN)	المقاومة الاسطوانية (MPa)	الحمولة (kN)	
29.81	526.8	20.67	365.3	C-0
26.85	474.5	18.84	332.9	C-50

- **تعين منحنى (إجهاد-تشوه) للخرسانة الطبيعية والركام معاد تدويره:**

تم كسر أربع عينات بعمر 120 يوم، وذلك لإيجاد منحنى (الإجهاد- التشوه) عند تأثير الضغط والذي يعد من أهم الخواص الميكانيكية للخرسانة، وأجريت التجارب في مخبر الخرسانة-كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث باستخدام أداة لقياس انضغاط البيتون (Compressmeter)، تثبت في منتصف ارتفاع العينة (التباعد بين حلقتي التثبيت (150 mm)، وبالتزامن بين قراءة ساعة الكومبريسومتر والحمولة لجهاز الكسر، تم أخذ القراءات، ورسم مخطط (إجهاد-تشوه) للعينات، وتم وضع حساسين بشكل أفقي في منتصف العينة وحساسين شاقوليين ملامسين للمكبس العلوي لجهاز الكسر من اجل حساب التشوه الطولي والعرضي كما موضح في الشكل (10).

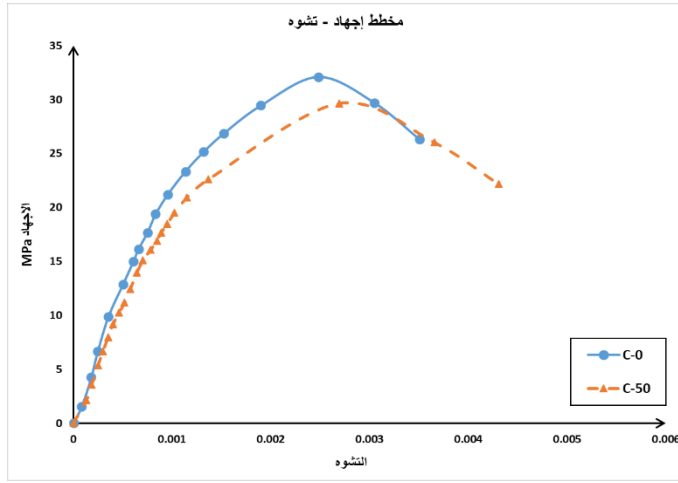


الشكل (10): تجربة الضغط وجهاز الكسر في مخبر الخرسانة- كلية الهندسة المدنية

يوضح الجدول (4) الوزن الحجمي الجاف الوسطي وفق المواصفة ASTM C 138 وحمولة الانهيار الوسطية ومقاومة الضغط الوسطية الاسطوانية بعمر 120 يوم.
الجدول (4): (الوزن الحجمي، حمولة الانهيار ومقاومة الضغط) الوسطية بعمر 120 يوم

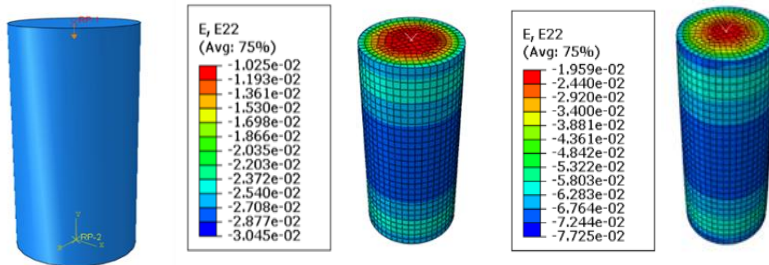
120 days				رمز الخلطة
المقاومة الاسطوانية (MPa)	الحمولة (kN)	الوزن الحجمي Kg/m ³	الوزن kg	
32.11	567.4	2397.46	12.71	C-0
29.66	524.1	2369.17	12.56	C-50

نلاحظ من الجدول السابق انخفاض في الوزن الحجمي الجاف مع زيادة نسبة الركام معاد تدويره بنسبة (1.2%)، والمقاومة على الضغط انخفضت بحدود (8%).
بأخذ مخطط (الاجهاد - التشوه) الوسطي للعينات الأسطوانية وفق النسب التالية (50،0) % وذلك بعمر 120 يوم كما موضح في الشكل (11).



الشكل (11): مخطط (الاجهاد - التشوه) وفق النسب (50-0) %

تزداد التشوهات المحورية عند نسبة 50% من الركام المعاد تدويره بالمقارنة مع النسبة 0% (المرجعية) كما يلاحظ في الشكل (11) وهذا يتوافق مع بعض الدراسات المرجعية [6]، [2] ومع الدراسة العددية باستخدام البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.14-3) [1]، يوضح الشكل (12) قيم التشوهات للعينات الاسطوانية للنسب (50-0) %.



الشكل (12): التشوهات للعينات وفق النسب (50-0) % المذكورة (ABAQUS, V6.14-3) [1]

8-1-2 معامل المرونة (E_c):

تم حساب معامل المرونة الوسطي للعينات الاسطوانية من خلال إيجاد المستقيم الواصل بين مبدأ الاحداثيات والنقطة الموافقة لإجهاد الضغط مساوياً لـ $0.4 * f_{cm}$ والتشوه المقابل لها وذلك حسب الكود الأوروبي (Eurocode, 2004)، حيث f_{cm} هي المقاومة المميزة الاسطوانية الاعظمية الوسطية للعينات. يوضح الجدول (5) قيم معامل المرونة الوسطي، للعينات وفق النسب (0 - 50) % بعمر 120 يوم.

الجدول (5): قيم معامل المرونة الوسطي للعينات

رمز الخلطة	معامل المرونة E_c (MPa)
C-0	25664.91
C-50	22050.33

نلاحظ من الجدول السابق انخفاض في معامل المرونة E_c مع زيادة نسبة الركام المعاد تدويره وكان هذا الانخفاض واضحاً بنسبة 14.1%. إن الانخفاض الواضح لمعامل المرونة مع زيادة الركام المعاد تدويره يعود إلى التشوه الكبير للينة عند تعرضها للضغط بالمقارنة مع الركام الطبيعي وذلك بسبب وجود المونة الإسمنتية القديمة على سطحها والتي تحوي نسبة مسامات عالية، لذلك كلما كانت حبات الركام مغلفة بكمية أكبر من المونة كلما كان مقدار الانخفاض لمعامل المرونة أكبر، وهذا ما يتوافق مع بعض الدراسات المرجعية منها [2]، [4].

8-1-3 مقاومة الشد الغير مباشر بالفلق (الطريقة البرازيلية):

تم اعتماد المواصفة ASTM C496 / C496M -11 لتحديد المقاومة على الشد بالفلق في العمر 120 يوماً وقد اجريت التجربة على عينتين اسطوانيتين من كل نسبة (0-50)% بمخبر الخرسانة - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث، كما موضح

بالشكل (13)، واخذ القيمة الوسطية للحمولة التي تنفلق (تنهار) عندها الأسطوانة وتم حساب مقاومة الشد بالفلق من العلاقة التالية [13]:

$$f_{sp} = \frac{2 * P}{\pi * d * L} \quad (1)$$

حيث:

P: هي أقصى حمل تتحمله العينة الاسطوانية.

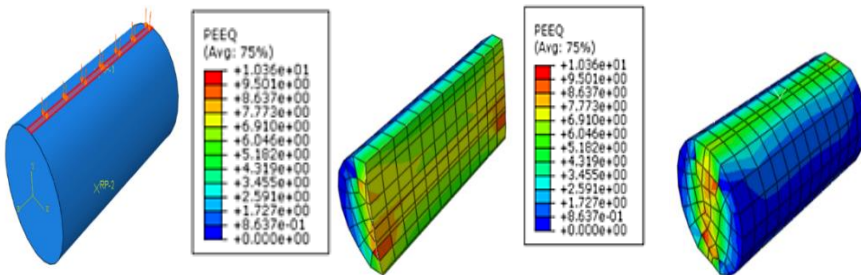
d: قطر العينة الأسطوانية d=150mm.

L: طول العينة الاسطوانية L=300mm.



الشكل (13): جهاز الكسر لتحديد مقاومات الأسطوانات على الفلق

وكذلك تم نمذجة العينات الاسطوانية وفق النسب (0-50) % باستخدام البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.14-3) [1]، ويوضح في الشكل (14) الشقوق في العينة، وتم اخذ قيمة الحمولة الأعظمية التي تتحملها العينة الاسطوانية ومقارنتها بالقيمة التجريبية.



الشكل (14): العينة الاسطوانية وتوزع الشقوق فيها (ABAQUS, V6.14-3) [1]

دراسة تجريبية لسلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المعرضة للفتل باستخدام الركام المعاد تدويره كاستبدال جزئي من الركام الطبيعي

ويوضح الجدول (6) قيم اجهاد الشد بالفلق الوسطية بعمر 120 يوماً حيث تمثل كل قيمة القيمة الوسطية للعينتين التجريبتين، وتم حساب قيم اجهاد الشد المباشر بعد الضرب بالعامل 0.85 وفق [13]، وأخذ قيم الحمولة الاعظمية من الدراسة التحليلية بتطبيق العلاقة السابقة (1).

الجدول (6) قيم الحمولة ومقاومة الشد بالفلق للخرسانة ومقاومة الشد التجريبية والتحليلية

التحليلي EFM			التجريبي EXP			رمز الخلطة
مقاومة الشد N/mm ²	مقاومة الشد بالفلق N/mm ²	الحمولة (kN)	مقاومة الشد N/mm ²	مقاومة الشد بالفلق N/mm ²	الحمولة (kN)	
2.7	3.18	224.8	2.53	2.98	210.9	C-0
2.33	2.74	193.4	2.12	2.5	177	C-50

نلاحظ من الجدول السابق انخفاض في مقاومة الشد بالفلق للخرسانة بزيادة نسبة الركام المعاد تدويره بالقيم التجريبية بحدود 16.1%، والتحليلية بحدود 13.8%، وهذا يتوافق مع الدراسة المرجعية [2]، [10].

8-2 اختبار الجوائز الخرسانية على الفتل:

8-2-1 الدراسة النظرية:

يعطي الكود العربي السوري [13] علاقات لحساب عزم الفتل للعناصر الخرسانية المسلحة كما يلي:

- الاجهاد المماسي الذي يسببه عزم الفتل في القطاعات المستطيلة يعطى بالعلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{3 * T_u}{\sum x^2 * y} \quad (2)$$

حيث:

x : عرض المستطيل الحاوي للإسوارَة

y : طول المستطيل الحاوي للإسوارَة

T_u : عزم الفتل.

- الإجهاد المماسي الذي تتحمله الخرسانة والنّاجم عن الفتل يعطى بالعلاقة:

$$\tau_{tcu} = 0.13 * \sqrt{f'c} \quad (3)$$

- يحسب التسليح العرضي للأساور من العلاقة:

$$a_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{tou}) * S * \sum x^2 * y}{3 * \alpha_t * x_1 * y_1 * f_{yt}} \quad (4)$$

- يحسب التسليح الطولي من العلاقتين ويؤخذ الأكبر بينهما:

$$A_{l1} = \left(\frac{2.8 * x * S}{f_y} * \left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u} \right) - 2 * a_{st} * \frac{f_{yt}}{f_y} \right) * \frac{(x_1 + y_1)}{S} \quad (5)$$

$$A_{l2} = \left(2 * a_{st} * \frac{f_{yt}}{f_y} \right) * \frac{(x_1 + y_1)}{S} \quad (6)$$

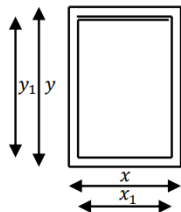
حيث:

a_{st} : مساحة مقطع الإسوارة.

τ_{tou} : تؤخذ كنسبة من τ_{tcu} .

τ_{tu} : إجهاد الفتل الأعظمي.

τ_u : إجهاد القص (يمكن ان يكون صفر في حالة الفتل الصافي).



x_1 : عرض الإسوارة.

y_1 : طول الإسوارة.

f_{yt} : إجهاد الخضوع لتسليح العرضي.

f_y : إجهاد الخضوع لتسليح الطولي.

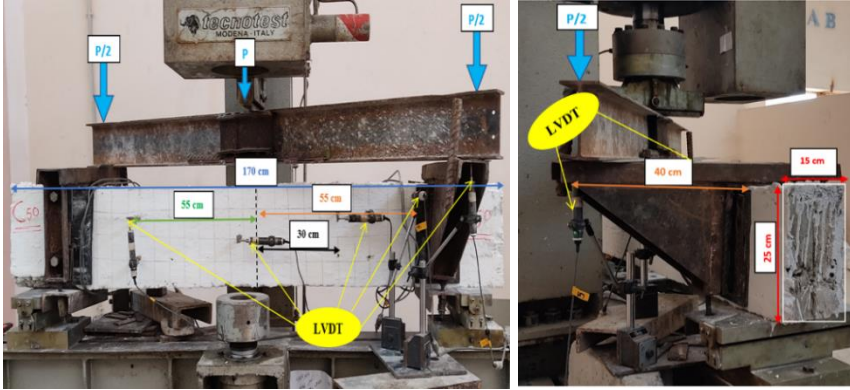
A_l : مساحة مقطع القضبان الطولية.

α_t : معامل يؤخذ من العلاقة:

$$\alpha_t = \left(0.66 + 0.33 * \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \right) \leq 1.5 \quad (7)$$

8-2-2 الدراسة التجريبية للجوائز:

تم تطبيق عزم الفتل الصافي على الجوائز الخرسانية المسلحة باستخدام جهاز التحميل (كسر الجوائز) الموجود في مخبر الخرسانة - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث، كما موضح في الشكل (15).



الشكل (15): تجربة تحميل الجوائز باستخدام جهاز الكسر في مخبر الخرسانة

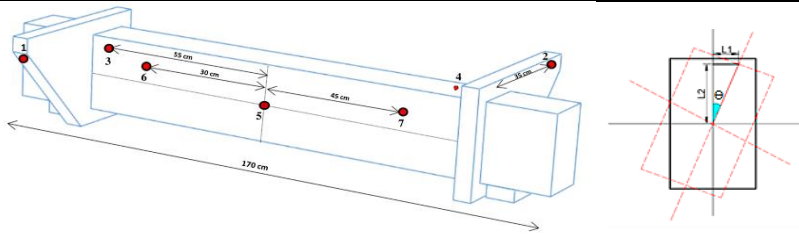
ومن اجل تطبيق الفتل تم استخدام بعض الملحقات بجهاز (كسر الجوائز) وهي:

1- الأذرع الفولاذية:

الأذرع التي سنقوم من خلالها بتطبيق مزدوجة الفتل بالاتجاهين، وهي أذرع معدنية، حيث كل ذراع عبارة عن صفيحة معدنية بسماكة 4 سم وبعرض 8 سم لتطبيق الحمل وملحومة إلى مقطع معدني حلقي سيتم لفه حول الجائز وتثبيته ببراعي في الأسفل، وتم تقوية القطعتين بلحمها إلى صفيحة أخرى مثابثة لتأمين الصلابة، حيث تم تفصيل ذراعين معدنيين يوضع كل منهما بجهة بتماس مباشر مع المساند لتأمين مزدوجة الفتل الصافي، كما تم وضع الحساسات (3،4) التي نحسب منهما زاوية الفتل كما موضح في الشكل (16) على بعد 55 سم مع أخذ الابعاد عن منتصف الجائز وذلك لحساب زاوية الفتل النسبية من العلاقة الاتية:

$$\tan(\theta) = \frac{L1}{L2} \quad (8)$$

L1: القيمة المأخوذة من الحساسين 3 أو 4، L1: بعد الحساس عن محور الجائز قيمتها 4.5 سم، وبعد إيجاد قيمة الزاوية نقسمها على L التي قيمته 55 سم، فتصبح (rad/m) θ .



الشكل (16): المقطع العرضي لحساب زاوية الفتل، وأرقام وإبعاد الحسابات في الجائز

2- جائز نقل الأحمال:

لنقل الحمل من جهاز الكسر الرئيسي (جهاز كسر الجوائز) إلى ذراعي التحميل تم تصنيع جائز معدني (عارضة معدنية)، وتم تقويته بلحم صفائح معدنية إلى الجسد في المنتصف، أي تحت الحمل الرئيسي تماماً.

9- النتائج والمناقشة:

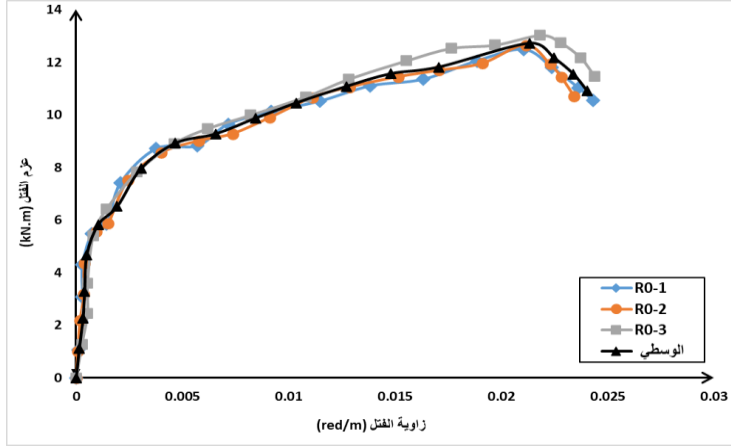
1- المجموعة الأولى (R0):

عبارة عن ثلاثة جوائز مكونة من الركاب الطبيعي، أبدت جوائز هذه المجموعة نفس السلوك تقريباً ويقوم مقاربة جداً عند الانهيار، وكان ظهور أول شق عند عزم فتل وسطي قيمته (5.78 kN.m) وكانت زاوية الفتل الموافقة قيمتها (0.0024 rad/m)، وتطورت هذه الشقوق بشكل قطري لتلتف حول الجائز بشكل حلزوني بزوية تقريباً 45° ، وحدث انهيار الجائز عند عزم فتل قيمته (12.73 kN.m) وذلك نتيجة زيادة عدد الشقوق وتوسعها ولتفافها حول الجائز وكانت زاوية الفتل الموافقة لهذا العزم قيمتها (0.021 rad/m)، ويعد سلوك انهيار الجوائز مثالياً ومثل سلوك مقطع خاضع لفتل صافي، وهذا يتوافق مع الدراسة المرجعية [8]، كما يوضح الشكل (17) توزع الشقوق في الجائز.



الشكل (17): شكل وتوزع الشقوق في الجائز R0.

ويوضح الشكل (18) مخطط يربط بين عزم الفتل لجوائز هذه المجموعة مع زاوية الفتل في الجوائز الثلاثة المختبرة.



الشكل (18): مخطط عزم الفتل وزاوية الفتل للمجموعة R0

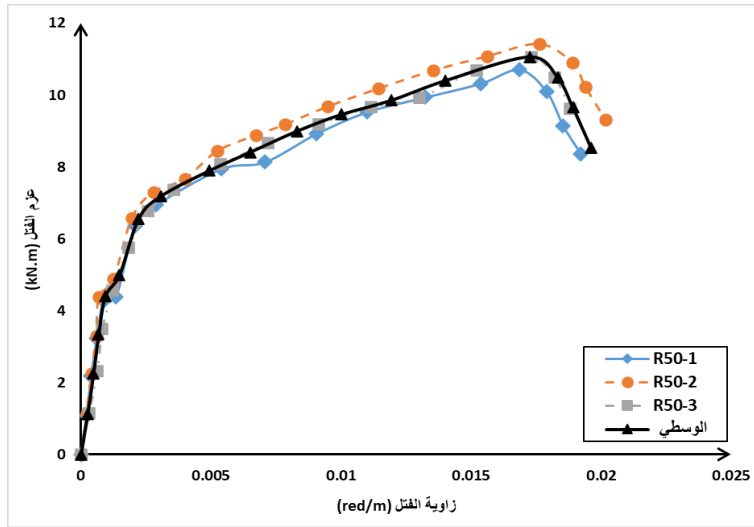
2- المجموعة الثانية (R50):

جوائز هذه المجموعة كان نسبة الاستبدال فيها 50% من الركام المعاد تدويره، فكان ظهور أول شق عند عزم فتل وسطي قيمته 4.53 kN.m وكانت زاوية الفتل الموافقة قيمتها (0.0015 rad/m)، وكذلك ظهرت نفس الية تطور الشقوق في المجموعة الأولى، وحدث انهيار الجائز عند عزم فتل قيمته 11.06 kN.m وذلك نتيجة زيادة عدد الشقوق وتوسعها ولتفافها حول الجائز وكانت زاوية الفتل الموافقة لهذا العزم قيمتها (0.0172 rad/m)، ويعد سلوك انهيار الجوائز مثالياً ومثل سلوك مقطع خاضع لفتل صافي، كما يوضح الشكل (19) شكل الشقوق في الجائز.



الشكل (19) شكل الشقوق في الجائز R50

ويوضح الشكل (20) العلاقة بين عزم الفتل لجوائز هذه المجموعة R50 مع زاوية



الفتل.

الشكل (20): العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل للمجموعة R50

يبين الجدول (7) المقارنة بين المجموعة الأولى (R0) والمجموعة الثانية (R50) من حيث قيمة عزم الفتل عند ظهور اول شق (T_{cr}) وزاوية الفتل الموافقة له (θ_{cr})، وكذلك قيمة عزم الفتل الأعظمي (T_u) وزاوية الفتل الموافقة له (θ_u).

الجدول (7): المقارنة بين المجموعة (R0)، المجموعة الثانية (R50)

رمز المجموعة	T_{cr} (KN.m)	θ_{cr} (rad/m)	T_u (KN.m)	θ_u (rad/m)
R0	5.78	0.0024	12.73	0.021
R50	4.53	0.0015	11.06	0.0172

نلاحظ من الجدول السابق انخفاض بقيمة عزم الفتل الأعظمي بنسبة 13.1%، وكذلك زاوية الفتل بنسبة 18%.

الخلاصة والنتائج:

- 1- أعطى استخدام خليط بنسبة 50% من الركام المعاد تدويره وزناً حجمياً بعمر 120 يوماً أقل من الوزن الحجمي للركام الطبيعي بمقدار 1.2%.
- 2- أعطت الخرسانة المكونة بنسبة 50% من الركام المعاد تدويره مقاومة ضغط بعمر 120 يوماً أقل من مقاومة الخرسانة المكونة من الركام الطبيعي بنسبة 8%.
- 3- أدى استخدام الركام المعاد تدويره بنسبة 50% إلى انخفاض لمعامل المرونة بنسبة 14.1%، وانخفاض مقاومة الشد بالفلق للخرسانة بنسبة 16.1% تجريبياً، 13.8% تحليلياً مقارنة مع الركام الطبيعي.
- 4- ان الجوائز المحضرة بنسبة 50% من الركام المعاد تدويره R50 المعرضة للفتل أعطت نفس السلوك للجوائز المكونة من الركام الطبيعي R0، ورافقه انخفاض بقيمة عزم الفتل الأعظمي بنسبة 13.1%، وكذلك زاوية الفتل انخفضت بنسبة 18% مقارنة مع الجوائز المصبوبة من الركام الطبيعي R0.

التوصيات:

- 1- اعتمد هذا البحث على استخدام نفايات المباني في دبر بعلبة نوصي باستخدام نفايات خرسانية من غير مصدر او استخدام النفايات الخرسانية الناتجة عن مخبر الخرسانة بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث.
- 2- نوصي بإجراء دراسة سلوك الجوائز الخرسانية المكونة من الركام المعاد تدويره والمعرضة للفتل مع إضافات أخرى مثل البوزولانا الطبيعية او غيرها.



المراجع

- [1] - ABAQUS (2015), version 6.14-3. Dassault systems similia Gorp, USA.
- [2] - Akabri Y ,Arora N.K , Vakil M.D "Effects on recycled aggregate on concrete properties" (2011).
- [3] - Corinaldesi V. " Structural concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate" (2011).
- [4] - Tsoumani A. Barkola N. Matikas T "Recycle aggregate as structural material" university of Ioannina (2012).
- [5] - Lee JY and Kim SW "Torsional strength of RC beams considering tension stiffening effect". Journal of Structural Engineering 136(11): 1367–1378 (2010).
- [6] - Xiao J. Zhang Ch. "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading " (2005).
- [7] - Tam V.W ,Tam C.M "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches" (2006).
- [8] - Atul Patane, Gaurang Vesmawala "Experimental and analytical investigation of the behavior of reinforced concrete beam under pure torsion" National Institute of Technology, Surat395007, India (2023).

- [9] - Kim C, Kim S, Kim KH et al. "Torsional behavior of reinforced concrete beams with high-strength steel bars". ACI Structural Journal 116(6): 251–263. (2019).
- [10] -Tamador M. Damascus university "Study of mechanical properties of Recycled Aggregate Concrete" (2014).
- [11] - Gonzalez B. Carro L "Design of recycled concrete under ultimate limit state by normal stresses"(2009)
- [12] - Yehia A. H., Rashwan M. M., Assaf K. A., Abd el Samee K. "Improvement of performance for RC beams made from recycled aggregate by using nontraditional admixture", International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering, 8, 639-644. (2014).
- [13] - الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (2012)،
الطبعة الرابعة، دمشق.



استخدام التهوية الاصطناعية في مقاومة التآكل

التكهفي المحتمل في مجرى مفيض سد الأبرش

عادل جرجي¹ شعبان حديد²

إبراهيم عبد الرحمن³

الملخص

يحدث التكهف في المجاري المائية السريعة غالباً نتيجة تدفق التيار فيها بسرعات عالية، وتهدد هذه الظاهرة السلامة الإنشائية لهيكل المجرى. يتم عادةً تجهيز المجرى بمهويات (وسائل اصطناعية لتزويد الجريان بالهواء) للحد من الآثار السلبية للتكهف والانهييار التكهفي.

يتم عادةً إنشاء نماذج مخبرية لفهم ودراسة الخصائص الهيدروديناميكية للجريان بوجود مهويات، كما يتم بالاستعانة بالنمذجة الحاسوبية لديناميك المائع الحسابي، *Computational Fluid Dynamics (CFD)*، المزودة بموديلات الجريان متعدد الأطوار، *Multiphase Models*، واستخدامها كمكمل لنتائج النمذجة المخبرية. تم في البحث اعتماد نموذج حجم المائع، *Volume - Of - Fluid (VOF)*.

تم في هذه الدراسة نمذجة مجرى مفيض سد الأبرش باستخدام نموذج *(VOF)* من أجل ثلاثة أنظمة جريان محتملة فيه وبتدفق بلغ $(Q = 514.73 ; 300 ; 150 \text{ m}^3 / \text{s})$ وتم التحقق من أن قاع المجرى السريع معرض لحدوث التكهف والانهييار التكهفي. تم استخدام مهوي على مسافة (33 m) من مدخل المجرى السريع يتألف من مشنتت زاوية ميله $(\phi = 8.23^\circ)$ وخذق تهوية أسفل المشنتت بارتفاع $(d_0 = 0.78 \text{ m})$ متصل بنظام

تزويد هوائي في جدران المجرى الجانبية عبارة عن أنبوب بمقطع عرضي مربع طول ضلعه $(a = 0.4 \text{ m})$ ، وغير مزوّد ببروز، ويخرج الهواء من فتحات تهوية بنصف قطر هيدروليكي إجمالي $(R = 0.32 \text{ m})$.

نتج عن استخدام المهوي ارتفاع في تركيز الهواء عند قاع المجرى حتى القيمة $(C_w = 11.25 \%)$ ، من أجل التدفق التصميمي الأعظمي، والتي تعتبر كافية لحمايته من الانهيار التكهفي. كما تم دراسة التغيرات في الضغط الستاتيكي والضغط الديناميكي وسرعة الجريان وتركيز الهواء عند القاع على كامل طول المجرى السريع بعد استخدام المهوي.

الكلمات المفتاحية: المهوي، التكهف، حجم المائع /VOF/، التجويف الهوائي، التيار النفاث.

-
- I أستاذ دكتور في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث.
II أستاذ دكتور في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث.
III طالب دكتوراه في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث.

Using Artificial Aeration in Preventing Potential Cavitation Damage at Al-Abrache Dam's Spillway Chute

Adel Georgi^I Shaaban Haded^{II}

Ibrahem Abdalrahman^{III}

Abstract

Due to the high – velocity flow in a chute spillway, cavitation damage may occurs. This undesired phenomenon threatens the safety of the structure. For the purpose of eliminating the damage, an aerator is often installed in the spillway. To understand its characteristics physical models are a popular method. To complement the model tests, computational fluid dynamics (CFD) simulations used to study aerator flow. To represent the two – phase flows, multiphase models should be employed. This thesis examines the Volume – Of – Fluid (VOF) model.

In this study, VOF model was made for AL-Abrache Dam's spillway chute for three flow discharge values ($Q = 514.73 ; 300 ; 150 m^3 / s$), and checked that cavitation and cavitation damage has occurred. An aerator has installed at a distance (33 m) from the chute inlet. The used aerator consists

of deflector with angle ($\varphi = 8.23^\circ$); duct system underneath the ramp with height ($d_0 = 0.78 \text{ m}$) connected with slots in the sidewalls have square cross section ($a = 0.4 \text{ m}$); air flows through air vents with total hydraulic diameter ($R = 0.32 \text{ m}$), offset was not used.

The used aerator led to increase air concentration near the chute bed to ($C_w = 11.25 \%$) and this value is great enough to prevent cavitation damage. Static pressure; dynamic pressure; flow velocity and air concentration at chute bottom along the chute with aerator were studied after using aerator.

Keywords: Aerator, Cavitation, Volume of fluid /VOF/, Air cavity, Jet.

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

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

III PhD student, Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University.

مقدمة

يعد الفيض ومجرى الفيض من المنشآت المائية التي تلعب دوراً أساسياً في الحفاظ على أمان السدود، ويتم بواسطتها التحكم في إطلاق ونقل المياه المحتجزة في بحيرة السد وخاصة خلال مواسم الفيضانات.

في السدود العالية تبلغ سرعة الجريان في مجرى الفيض ($20 - 40 \text{ m/s}$) الأمر الذي يترافق بظهور التكهف الذي يمكن أن يلحق ضرراً بقاع وجدران المجرى السريع، وهذا من شأنه أن يهدد السلامة الإنشائية للسد ككل، ولهذا الغرض تكمن المهمة الأساسية عند تصميم مجاري الفيضات بحيث تكون قادرة على الحد من أضرار التكهف ومنع ظهوره.

تعد عملية إدخال الهواء وحققه بشكل اصطناعي في التيار المائي بواسطة وسائل تدعى المهويات طريقة مستخدمة على نطاق واسع في المجاري السريعة بغية حمايتها من التكهف والحد من آثاره السلبية عند حدوثه.

لفهم طبيعة الجريان للتيار المهوى وخصائصه الهيدروديناميكية تم إجراء العديد من النماذج المخبرية والكثير من القياسات المادية والحقلية لمنشآت قيد الاستثمار [3,4,7]. تجرى النمذجة المخبرية لهذه المنشآت المائية بالاعتماد على معيار فرود في التشابه الهيدروليكي. أما فيما يتعلق بالتيار المهوى فإنه يعد جريان وتدفق ثنائي الطور (مائي-هوائي) مدمج بوجود جيب هوائي في بنيته، وبالتالي فإن معيار التشابه المتبع في النمذجة المخبرية يعتبر خاطئ ولا يعكس بشكل دقيق خصائص التيار المزيج، وخاصة في النماذج المعتمدة على مقياس صغير وقيم منخفضة لسرعة الجريان [6]، حيث يتم في هذه النماذج التقليل من تأثير كثافة الاضطراب لجريان الهواء عبر المهوي، في حين يتم المبالغة في تأثير التوتر السطحي، ولهذا يستحسن أن يكون مقياس النموذج كبيراً

كفاية للتقليل من أخطاء القياس التي تسببها معايير التشابه المتبعة، ولهذا تم اعتماد وصياغة معامل تصحيح لمعالجة تأثيرات المقياس في نمذجة التيار المهوّى مخبرياً [5].

تعتبر طرق ديناميك المائع الحسابي /CFD/ من الطرق الرقمية المستخدمة كمكمل للاختبارات النماذج المخبرية وبديل عنها عند دراسة التيار المهوّى، فهي تسمح بإعداد نمذجة ومحاكاة للمجرى والمنشآت الملحقة به بأبعاده الحقيقية الأمر الذي من شأنه تجنّب تأثيرات المقياس الملحوظة في النموذج المخبري. يمكن استخدام نمذجة /CFD/ في دراسة وفهم ووصف كيفية تغيير تركيز الهواء في الجريان ويمكن من خلالها الحصول على خصائص دقيقة وموثوقة لبارامترات التيار المهوّى وعند أي موقع منه.

هدف البحث

يهدف البحث لدراسة التكهف في المجاري المائية السريعة وآلية تشكّله والآثار السلبية الناجمة عنه (التآكل التكهفي) ووسائل مقاومته والوصول إلى التصميم الأمثل للمهويات المستخدمة في ذلك من خلال تطبيق مجموعة من الدراسات المتعلقة بهذا الخصوص على حالة دراسية متمثلة بمجرى مفيض سد الأبرش.

1. أضرار التكهف

1-1 تكوّن التكهف

يعرف التكهف بأنه عملية تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار ماء) نتيجة لانخفاض الضغط إلى قيمة حرجة مع ثبات في درجة حرارته.

يعتبر دليل التكهف بارامتر غاية في الأهمية في تقييم حدوث التكهف، ويعطى بالعلاقة الآتية:

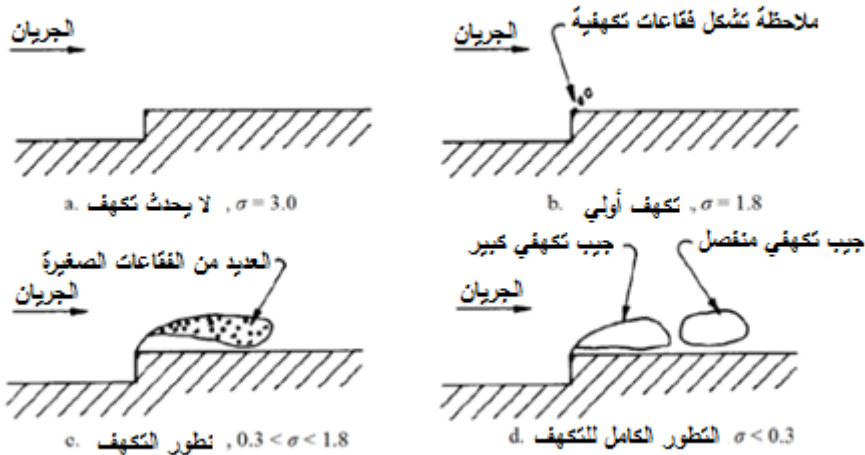
$$\sigma = 2 \cdot \frac{P_0 - P_v}{\rho_w V_0^2} \quad (1)$$

حيث أن:

- V_0 : سرعة الجريان الوسطية، ρ_w : كثافة الماء
- P_0 : الضغط الفعلي للجريان متضمناً الضغط الجوي
- P_v : ضغط بخار الماء المشبع

يحدث التكهف في الموقع الذي تنخفض فيه قيمة (P_0) حتى قيمة قريبة من قيمة ضغط بخار الماء المشبع، وهذا ما يتوافق مع قيم منخفضة لدليل التكهف.

يوضح الشكل (1) كيفية تشكّل التكهف وتطوره عند وجود نتوء في قاع المجرى على كامل عرضه (*Offset*) وتغيّرات قيمة دليل التكهف (σ) المرافقة لذلك، ففي حال كان $(\sigma < 1.8)$ لا يحدث التكهف، ولوحظ تشكّل سحابة بيضاء ضبابية تتكون من فقاعات هوائية فردية. ومع استمرار انخفاض قيمة (σ) فإن هذه السحابة تشكل تجويفاً تكهفياً كبيراً.



الشكل (1): نشوء وتطور التكهف عند النتوء في المجرى

2-1 الآثار السلبية للتكهف

عندما يحدث التكهف بالقرب من حدود المجرى السريع تتشكل فقاعات تكهفية بخارية تتحل بدورها وتنتقل مع الجريان. يزداد حجم هذه الفقاعات عند وصولها لمنطقة التطور الكامل للتكهف وتكون قيمة الضغط المحيط بها مرتفعة، الأمر الذي يتسبب بانفجارها، حيث يحدث هذا الانفجار بتردد عالٍ ويترافق بقيم مرتفعة جداً للضغط قد تصل لـ (1500 Mpa).

تسبب موجات الضغط الناتجة عن هذه الانفجارات عند حدوثها بالقرب من السطح البيتوني لقاع المجرى حثاً فيه يظهر بشكل شقوق مكروية صغيرة ينتج عنها مع مرور الوقت حفرة ممتدة يزداد حجمها واتساعها بفعل القيم المرتفعة لسرعة الجريان. تسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحث أو التآكل التكهفي كما هي موضحة في الشكل (2).



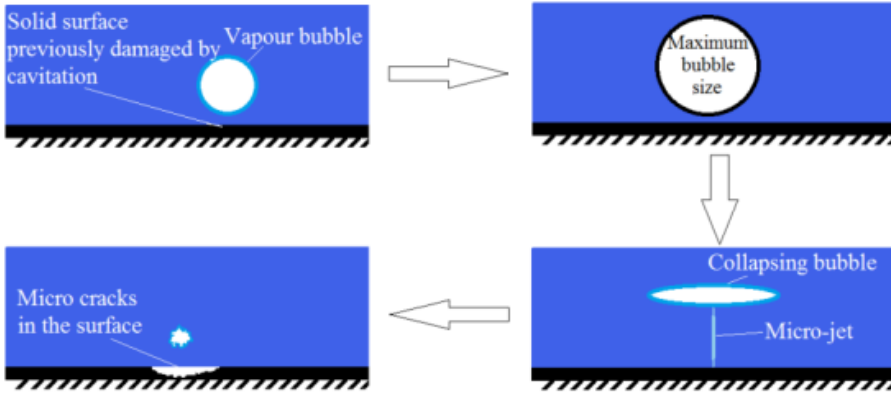
(a) مجرى المفيض



(b) قاع منشأة المخرج

الشكل (2): التآكل التكهفي في مجرى سريع (a)، قاع منشأة المخرج (b)

أوضح (Falevy 1990) أن عملية الانفجار الداخلي لفقاعة تكهفية مفردة ينتج عنها موجة ضغط (*micro-jet*) تنتشر بسرعة انتشار الصوت في السائل وتؤثر في سطح المجرى محدثة فيه شقوق مكروية دقيقة كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (3): عملية انفجار فقاعة تكهفية بالقرب من سطح المجرى

يمكن مقاومة التآكل التكهفي والحد من آثاره السلبية باتباع عدة طرق منها:

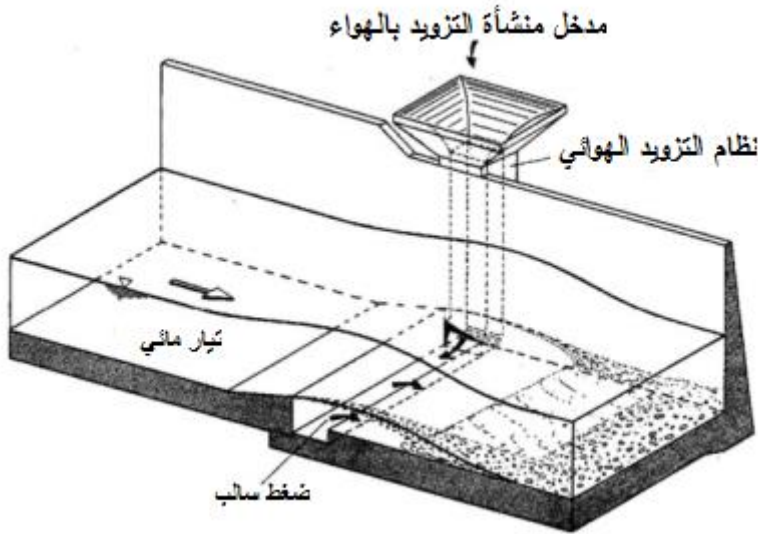
- تجنّب القيم المنخفضة لدليل التكهف (σ).
- زيادة مقاومة سطح قاع المجرى واستخدام مواد انشاء أكثر مقاومة للتآكل والحت.
- إدخال الهواء في بنية التيار المائي في منطقة التطور الكامل للتكهف. تعد هذه الطريقة من أكثر الطرق كفاءة واقتصادية في مقاومة التآكل والحت التكهفي وفي الحد من آثاره السلبية المحتمل حدوثها في المنشآت المائية.

2. استخدام المهويّات في المجاري السريعة

1-2 المهوي (منشأة التزويد بالهواء)

يتم تزويد المجرى السريع بمنشأة تزويد بالهواء (مهوي) أعلى منطقة التطور الكامل للتكهف (المقطع الذي تتحقق فيه العلاقة $(\sigma = 0.2)$ [5]).

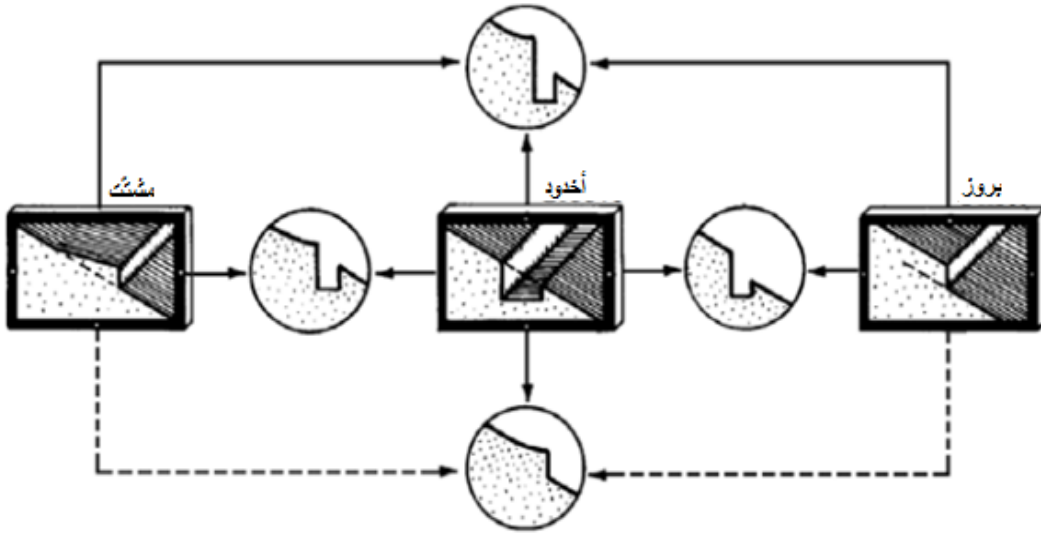
تعتمد آلية عمل المهويّات على إطلاق تدفق هوائي عالي السرعة ينجم عنه انفصال للتيار المائي عن قاع المجرى وتكوين تيار نفّاث / jet / تسهم الدوامات المضطربة المتشكلة عند سطحه السفلي في عملية تغلغل الهواء بنية التيار عبر هذا السطح، ونتيجة لذلك سيتشكل تجويف هوائي خلف المهويّ باتجاه الجريان تنخفض فيه قيمة الضغط دون قيمة الضغط الجوي الأمر الذي من شأنه ضمان استمرارية تدفق الهواء لمنطقة التجويف الهوائي. يوضح الشكل (4) مبدأ عمل المهويّ.



الشكل (4): مبدأ عمل المهويّ

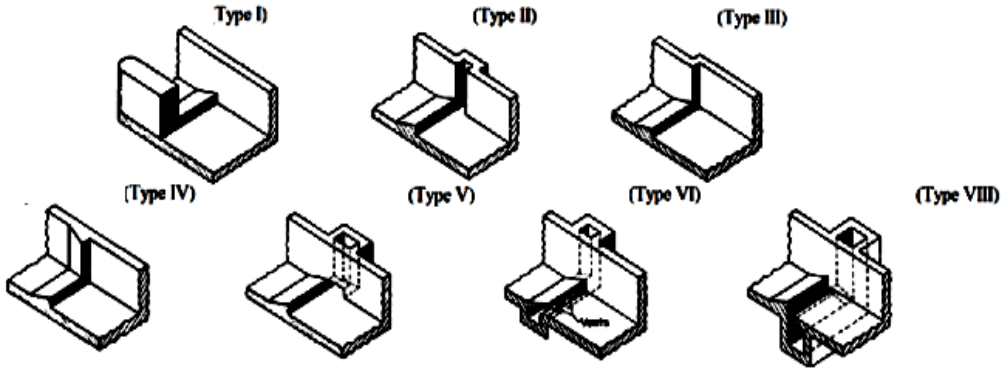
تتألف الأنواع الرئيسية للمهويات من الأقسام التالية، الشكل (5):

- الأخدود / *groove*: تتمثل وظيفته في توزيع الهواء على عرض المهوي في مقطع المجرى.
- المشتت / *deflector*: يستخدم لفصل التيار المتدفق عن قاع المجرى السريع.
- البروز / *Offset*: يستخدم لإطالة مسار التيار النفاث ولزيادة حجم التجويف الهوائي.



الشكل (5): مكونات منشأة التبريد الهوائي

وهناك عدة نماذج انشائية للمهويات المستخدمة في المجاري السريعة، موضحة في الشكل (6)، تختلف عن بعضها في كيفية إدخال الهواء في بنية التيار المتدفق وفي كمية الهواء المتدفقة عبرها.



الشكل (6): نماذج المهويات المستخدمة في المجاري السريعة

- النموذج الأول: دعامة في جدار المجرى مدمج بمشنتت عند القاع.
- النموذج الثاني: أخدود في جدار المجرى مدمج بمشنتت قبله مباشرة.
- النموذج الثالث: بروز جانبي في جدار المجرى (داخل المجرى) مدمج بمشنتت.
- النموذج الرابع: مؤلف من مشنتتين في جدار المجرى وقاعه.
- النموذج الخامس: أنبوب تهوية في جدار المجرى يدخل الهواء منه للمجرى عبر فتحة جانبية عند قاعه ومدمج بمشنتت.
- النموذج السادس: مؤلف من أنبوب تهوية في جدار المجرى يدخل منه الهواء إلى خندق في قاع المجرى أسفل المشنتت، ويدخل الهواء في بنية التيار عبر فوهات في جدار المشنتت تمكّن من التحكّم في كمية الهواء المتدفق عن طريق التحديد الدقيق لشكلها لأبعادها.
- النموذج السابع: مؤلف من أنبوب تهوية في جدار يدخل منه الهواء لخندق في قاع المجرى خلف المشنتت على كامل عرض المجرى.

يعد النموذجين السادس والسابع أكثر النماذج المستخدمة كفاءة وانتشاراً في المجاري السريعة العريضة.

2-2 الخصائص الهيدروديناميكية للمهويات

عند جريان التيار المائي أعلى المهوي يتغلغل الهواء الداخل منه عبر السطح الداخلي (السفلي) للتيار النفاث. تعد عملية تغلغل الهواء في بنية التيار المائي عملية معقدة جداً نظراً للتأثيرات المتبادلة ما بين الماء والهواء وتتعلق ببارامترات عديدة تؤثر في مدى كفاءة المهوي وسعته الواجب تأمينها، وتتمثل بـ:

- التصميم الهندسي للمهوي وأبعاده.
- مقدار انخفاض الضغط في منطقة التجويف الهوائي.
- كمية الهواء المارة عبر المهوي.
- عملية التهوية (تغلغل الفقاعات الهوائية في الماء).

2-2-1 تأثير انخفاض الضغط في منطقة التجويف الهوائي

ينقل الهواء المحتجز في التجويف الهوائي المنتشكّل خلف المهوي مع التيار المائي، الأمر الذي يترافق بانخفاض في قيمة الضغط في هذا الموقع بمقدار (ΔP) حُدّدت قيمته بالعلاقة الآتية [8]:

$$\Delta P = \frac{\rho_a (1 + C_0) Q_a^2}{2 A^2} \quad (2)$$

حيث أن A : مساحة المقطع العرضي لممرات دخول الهواء، C_0 : مجموع معاملات الضياعات على طول مسارات دخول الهواء، Q_a : تدفق الهواء، ρ_a : كثافة الهواء.

من أجل نموذج المهويات المستخدم في هذه الدراسة (النموذج السابع) هناك علاقة تربط بين مقدار انخفاض الضغط (ΔP) وعمق التيار المائي قبل المهوي (h_0) ، [10].

$$K = \frac{\Delta P}{\rho_w g h_0} \quad (3)$$

حيث K : معامل الضغط التكهفي، g : الثقالة الأرضية، ρ_w : كثافة الماء.

2-2-2 معامل تغلغل الهواء

يعرف بأنه نسبة تدفق الهواء الداخل عبر المهوي إلى نسبة تدفق الماء في المجرى السريع، يعطى بالعلاقة:

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w}$$

ويعد من البارامترات الهامة في تقدير نسبة التزويد الهوائي.

هناك عدة علاقات تجريبية لتحديد قيمة معامل التهوية (β). أعطيت علاقة أُدخل فيها تأثير قيمة عدد فرود، وهي بالشكل الآتي، [1]:

$$\beta = 0.0493 \frac{L_j}{h_0} - 0.0061 Fr - 0.0859 \quad (4)$$

حيث: L_j : طول التيار النفّاث اعتباراً من المهوي وحتى مقطع عودة التيار للامسة قاع المجرى.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g h_0}} \quad \text{عدد فرود.}$$

أعطيت علاقة أخرى مستخدمة في النمذجة الحاسوبية لتقدير قيمة (β) تم فيها الأخذ بالحسبان قيمة عدد فرود الدرجة لمقطع الجريان في المهوي (Fr_{cr}) وقيمة معامل الضغط التكهفي (K)، [3,4]، بالشكل الآتي:

$$\beta = C_1 [Fr - Fr_{cr}]^{1.5} \cdot (1 - C_2 K) \quad (5)$$

حيث أن (C_1, C_2) معاملات لا بعدية تتعلق بشكل المهوي ونموذجه وتصميمه الهندسي.

كما قَدِّمت معادلة لتقدير قيمة (β) للنموذجين السادس والسابع من المهويات بالشكل الآتي، [9]:

$$\beta = 0.0189 \left[\frac{L_j}{h_0} \right]^{0.83} \left[\left(\frac{A_a}{A} \right) (1 + \tan \theta) \right]^{0.24} \quad (6)$$

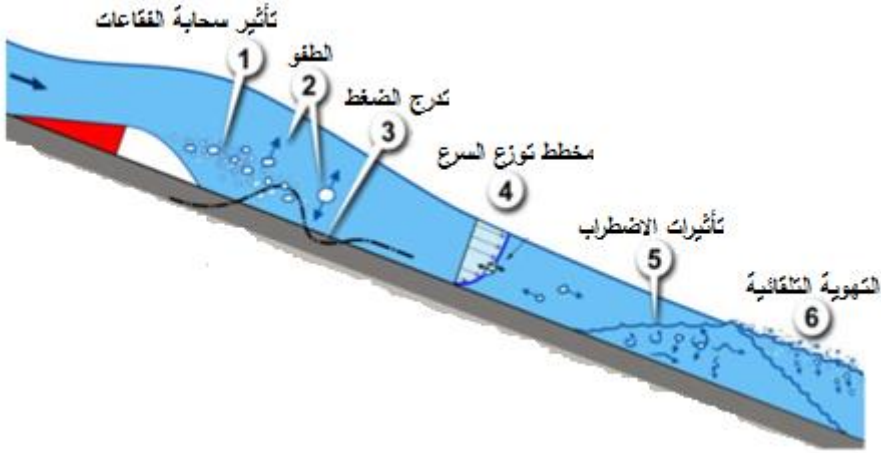
A_a : مساحة مقطع أنبوب التزويد بالهواء، θ : زاوية ميل المشنتت عن قاع المجرى.

استخدم الحد A_a/A كبديل لقيمة (ΔP) انخفاض الضغط في منطقة التجويف الهوائي.

2-2-3 عملية نقل الهواء

ينتقل الهواء المتغلغل من التجويف الهوائي إلى التيار النفاث مع التيار المزيج بشكل فقاعات هوائية بتوزيع وتراكيز من شأنها، في حال كانت بقيم كافية وبالقرب من قاع المجرى السريع، حمايته من أضرار التكهف. وتتأثر عملية الانتقال هذه بعدة قوى تتضمن قوى العطالة وقوى السحب الديناميكي وقوى الطفو والقوى الناتجة عن الدوامات المضطربة /قوى الاضطراب/ [5]. يوضح الشكل (7) عملية تغلغل الهواء خلف المهوي في بنية التيار النفاث وانتقاله معه باتجاه الجريان. في المقطع الذي يلي مقطع ارتطام التيار بقاع المجرى ترتفع الفقاعات الهوائية في بنية التيار بتأثير قوى الطفو وتدريج الضغط الديناميكي، وبالتالي يبتعد جزء من هذه الفقاعات عن قاع المجرى وتصبح قيمة المحتوى الهوائي عنده (تركيز الهواء عند القاع) أقل، إلى أن تصل حالة التيار المزيج المائي-الهوائي لحالة الاستقرار على مسافة ما باتجاه الجريان. يتضح من الشكل (7) طبيعة القوى المؤثرة في حركة الفقاعات الهوائية، ففي المقطع /1/ تتحرك الفقاعات نحو الأعلى بفعل قوى الارتطام الديناميكي مع قاع المجرى، وفي المقطع /2/ تتحرك للأعلى

بفعل قوى الطفو، وفي المقطع /3/ تؤثر فيها القوى الناتجة عن تدرج الضغط الديناميكي، وفي المقطع /4/ بفعل قوى الجريان (تدرج السرعة)، وفي المقطع /5,6/ بفعل قوى الاضطراب وقوى الجذب (التهوية عبر السطح الحر) الناتجة عن زيادة سرعة الجريان.

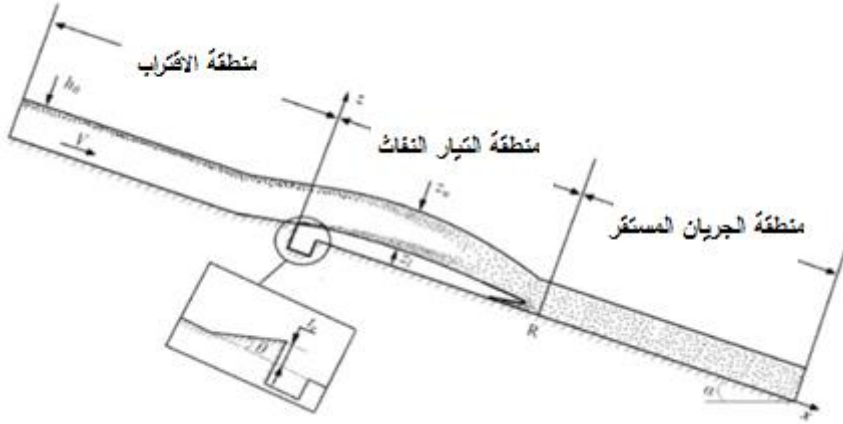


الشكل (7): انتقال الفقاعات الهوائية باتجاه الجريان

تم إجراء نموذج مخبري لمعرفة خصائص عملية النقل الهوائي في المجرى السريع [11]، واعتماداً عليه تم تقسيم المقطع الطولي للجريان لثلاث مناطق، كما هو موضح في الشكل (8)، وهي:

- منطقة الاقتراب: تقع أمام المهوي (*approach flow zone*).
- منطقة التيار النفاث (*Jet*).
- منطقة الجريان المستقر للتيار المزيج المائي-الهوائي (*far field zone*).

تفصل بين المنطقتين (2,3) النقطة (R) تمتاز بقيمة تركيز مائي عندها تبلغ $(C = 0.9)$ ، كما تم قياس قيمة طول الجيب التكهفي (L_j) وتركيز الهواء الوسطي (C_a) وتركيز الهواء عند القاع (C_w).



الشكل (8): عملية تغلغل الهواء في التيار المهوى ومناطق دخوله

3. النمذجة الرقمية للتيار المهوى (نموذج VOF)

صيغت طريقة (VOF) من قبل (Hirt & Nichols 1980)، واعتمدت على معايير أويلر وتم تطبيقها على شبكة ثابتة (تم تقسيم المجرى وفقها) لتتبع شكل وموقع التأثيرات البينية المتبادلة للموائع المدروسة.

تعطى معادلة الاستمرارية التفاضلية وفق هذا الموديل الحسابي بالصيغة التالية:

$$\frac{1}{\rho_a} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_a \rho_a) + \nabla \cdot (\alpha_a \rho_a \vec{V}_a) \right] = S_a + \sum_{p=1}^n (m_{wa} + m_{aw}) \quad (8)$$

حيث أن الدليل (a, w) يشير إلى الماء والهواء على الترتيب، m_{aw} : الكتلة المنقولة من الهواء إلى الماء.

m_{wa} : الكتلة المنقولة من الماء إلى الهواء، S_a : تركيز الهواء في التيار المزيج، t : الزمن.

α_a, α_w : تركيز كل من الماء والهواء في الخلية المدروسة (على الترتيب)،
 $(\alpha_a + \alpha_w = 1)$.

إن المعادلة التفاضلية لكمية الحركة في نموذج (VOF) تعتمد على تركيز أطوار الموائع في الخلية المدروسة وذلك من خلال معيار كثافة المزيج $(\rho = \rho_w \alpha_w + \rho_a \alpha_a)$ ، ومعيار اللزوجة الديناميكية للمزيج $(\mu = \mu_w \alpha_w + \mu_a \alpha_a)$ ، وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \nabla(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P + \nabla \left[\mu (\nabla \vec{V} + \nabla \vec{V}^T) \right] + \overline{\rho g} + S \quad (9)$$

حيث: V : سرعة التيار المزيج، S : قوة النقل.

4. النتائج والمناقشة

4-1 الحاجة إلى تركيب مهوي

تم نمذجة الجريان في مجرى مفيض سد الأبرش من أجل ثلاث قيم للتدفقات (ثلاث أنظمة جريان فيه) موضحة في الجدول (1) تشمل قيمة التدفق المار في المجرى وعمق الماء وسرعة الجريان في مقطع المدخل.

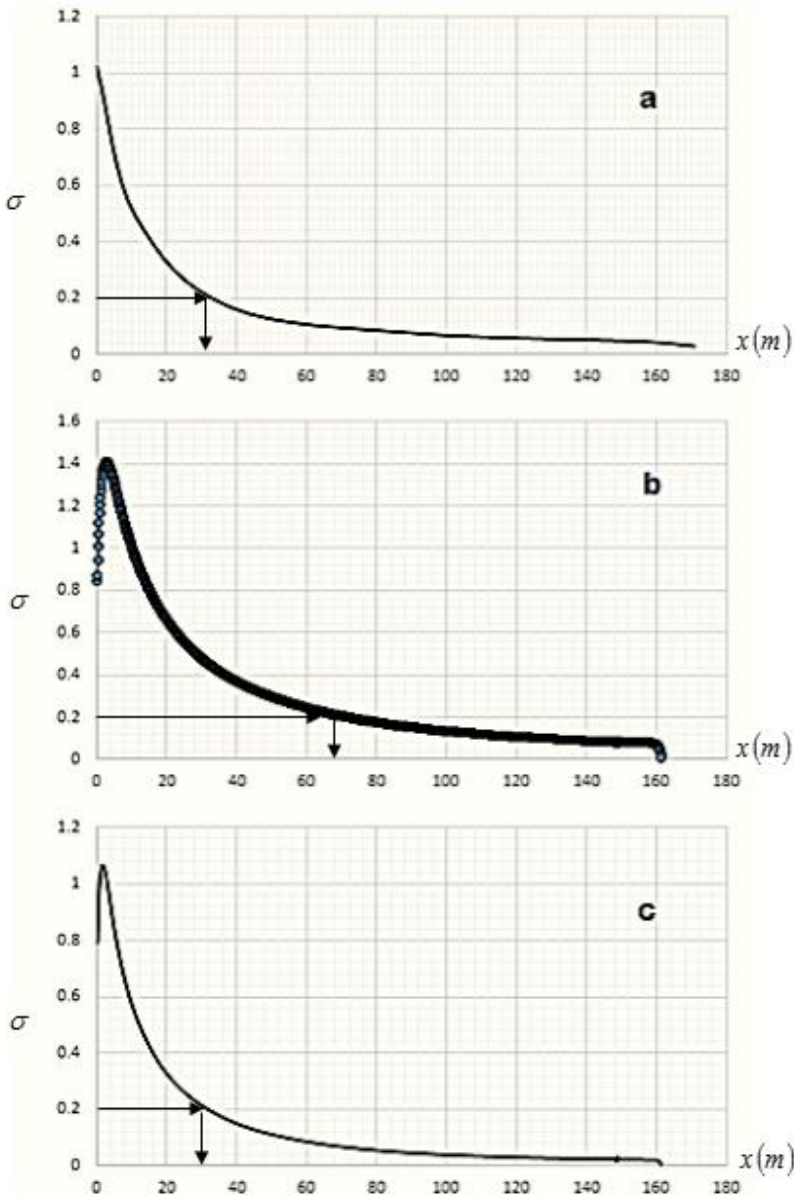
الجدول (1): قيم التدفق وسرعة الجريان وعمق التيار عند مدخل المجرى، وعدد خلايا النموذج للحالات الثلاثة المدروسة

الحالة المدروسة	a	b	c
$Q (m^3 / s)$	514.73	300	150
$h_0 (m)$	3.32	2.223	1.45
$V (m / s)$	7.2	6.39	5
عدد الخلايا	151000	151000	151000

يحدد تغيّر قيمة دليل التكهف (σ) على كامل طول المجرى الحاجة إلى تركيب مهوي. فعندما تتخفض قيمة ($\sigma < 0.2$) يجب تركيب مهوي لحماية قاع المجرى من أضرار التكهف وحدوث التآكل التكهفي. يبيّن الشكل (9) تغيّر قيمة دليل التكهف على كامل طول المجرى من أجل الحالات المدروسة. ويلاحظ من الشكل (9) أن قيمة دليل التكهف ($\sigma < 0.2$) على بعد ($33 m$) من مدخل المجرى في الحالتين ($a ; c$) وعلى بعد ($67 m$) من مدخل المجرى في الحالة (b)، ولهذا سيتم تركيب مهوي في المجرى على مسافة ($33 m$) من المدخل (مقطع بداية المجرى السريع).

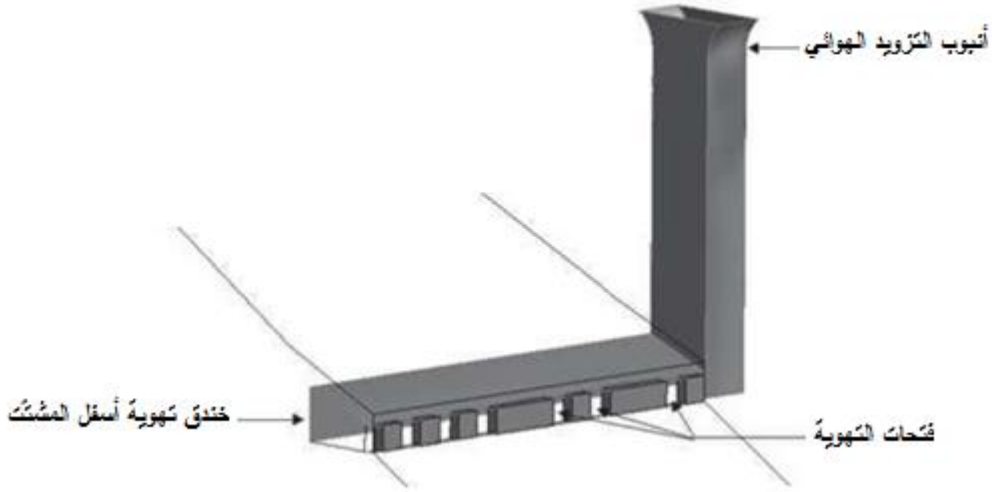
4-2 تحديد نموذج المهوي المدروس وتصميمه هندسياً

تم استخدام مهوي على مسافة ($33 m$) من مدخل المجرى السريع يتألف من مشنّت زاوية ميله ($\varphi = 8.23^\circ$) وخذق تهوية أسفل المشنّت بارتفاع ($d_0 = 0.78 m$) متصل بنظام تزويد هوائي في جدران المجرى الجانبية عبارة عن أنبوب بمقطع عرضي مربع طول ضلعه ($a = 0.4 m$)، وغير مزوّد ببروز، ويخرج الهواء من فتحات تهوية بنصف قطر هيدروليكي إجمالي ($R = 0.32 m$). يبيّن الشكل (10) نموذج المهوي المستخدم في مجرى مفيض سد الأبرش.



الشكل (9): تغير قيم دليل التكهف على كامل طول قاع المجرى:

$a: 514.73$; $b: 300$; $c: 150$



الشكل (10): نموذج المهوي المستخدم في مجرى مفيض سد الأبرش

3-4 إعداد النموذج الرقمي للمجرى مع وجود مهوي

1-3-4 إعداد الشبكة (mesh):

تم نمذجة المجرى المدروس في (*ANSYS Fluent*) باستخدام (*Designing Modeler*) بأبعاده الحقيقية من أطول وميول وتفاصيل إنشائية مستخدمة فيه (الخشونة الاصطناعية) ومن ثم تم تقسيم هذا الـ (*Geometry*) إلى خلايا رباعية بواسطة برنامج (*Gambit*) المستخدم في (*ANSYS Fluent – Meshing*) وإعطاء الخلايا أبعاد ($0.12 * 0.12 m$) مع اعتماد خيار (*Full Assembly*) وتزويد قاع المجرى بـ (*Inflation*) مؤلف من (10) طبقات بغية إظهار التأثيرات الدقيقة لتطور الطبقة الحدية في خصائص الجريان. كان العدد الكلي للخلايا (151000) بكفاءة تشكيل للشبكة بلغت (71%). يبين الشكل (11) شبكة الخلايا التي تم تقسيم المجرى وفقها.

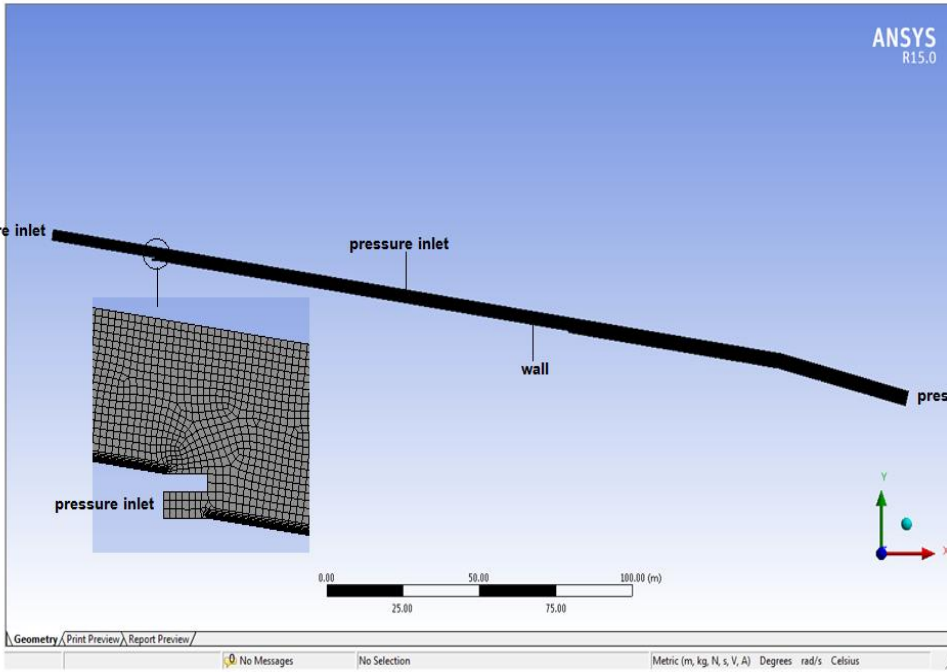
4-3-2 معايير الحل في النموذج الرقمي

- تم تفعيل الخيار (*Double precision*) واختيار (*processing option – Serial*).
- من قائمة (*Solver*) يتم تحديد
(*Type : pressure based ; velocity formulation : absolute*) كما يتم
اختيار (*Time : Transient ; Gravity : Y = -9.81 m/s²*).
- من قائمة (*Models*) يتم اختيار
(*Multiphase – Volume Of Fluid (VOF)*) كما يتم اختيار نموذج
الاضطراب (*viscous – realizable k – ε ; standard wall function*).
- من قائمة (*Materials*) يتم تحديد نوعي المائعين المستخدمين في النمذجة
(نمذجة التيار المزيج المائي – الهوائي) وتحديد
(*primary phase : Air ; Secondary phase : water*) و تحديد قيمة
إجهاد التوتر السطحي بين الماء والهواء (*surface tenson : 0.0732 n/m*).
- من قائمة (*Solution methods*) تم اختيار
(*pressure – velocity coupling ; scheme : PISO*) ومن قائمة
(*spatial descretization*) تم اختيار (*Second order upwind*) لكل من
(*momentum*) و (*volume fraction*) و (*turbulent kinetic energy*)
و (*level set function*).
- من قائمة (*run calculation ; Time Step Size = 0.01 sec*) و
(*number of time step : 10000*).

3-3-4 الشروط الحدية (boundary conditions)

تم تحديد الشروط الحدية التالية لمكونات الـ (*domain*) المدروس، الشكل (11):

- المدخل: (*pressure inlet*) مع تفعيل معيار (*open channel flow*) واعتبار سرعة جريان الهواء (*primary phase*) مساوية لسرعة جريان الماء (*Secondary phase*)، مع إدخال منسوب الماء.
- القاع: (*Wall*) مع ادخال قيمة ارتفاع خشونة السطح البيتونى وتعتبر مساوية لـ (0.00028 m).
- المخرج: (*pressure outlet*) مع تفعيل معيار (*open channel flow*) وإدخال منسوب قاع المجرى عند المخرج ومنسوب السطح الحر للجريان.
- السطح الحر: (*pressure inlet*).
- تم تزويد المهوي بالشرط الحدي (*pressure inlet*) واعتبار نصف القطر الهيدروليكي لهذا الحد (*boundary*) مساوياً للقيمة (0.32 m).



الشكل (11): الشروط الحدية المعطاة لمكونات النموذج الرقمي مع وجود مهوي

4-4 خصائص الجريان في المجرى بعد تركيب المهوي

4-4-1 تغيير سرعة الجريان في المجرى مع وجود مهوي

يبين الشكل (12) كيفية تغيير سرعة الجريان على كامل طول المجرى من أجل الحالات المدروسة، وبلغت أكبر قيمة للسرعة كما يلي:

$$V_{\max} : (a : 26.263 \text{ m/s} ; b : 23.444 \text{ m/s} ; c : 21.831 \text{ m/s})$$

4-4-2 تغيير الضغط الستاتيكي عند قاع المجرى مع وجود مهوي

يبين الشكل (13) تغيير الضغط الستاتيكي المؤثر عند قاع المجرى من أجل الحالات المدروسة. ويلاحظ من هذا الشكل مايلي:

1. يبدأ الجريان عند مدخل المجرى السريع آخذاً القيم التالية للضغط الستاتيكي من أجل الحالات المدروسة:

$$P: (a: 29467.7 Pa ; b: 20503.6 Pa ; c: 12972.1 Pa)$$

2. تتناقص قيمة الضغط الستاتيكي باتجاه الجريان في الحالات الثلاثة المدروسة حتى الوصول لمقطع بداية المشتت (مقطع تغيّر في ميل المجرى $(i_2 < i_1)$). ويلاحظ عند هذا المقطع حدوث قفزة في قيمة الضغط الستاتيكي ليأخذ القيم التالية:

$$P: (a: 37122.4 Pa ; b: 27505.3 Pa ; c: 19889.6 Pa)$$

3. تنخفض قيمة الضغط الستاتيكي عند نهاية المشتت بشكل مفاجئ لتأخذ القيمة صفر (نظرياً) على كامل طول منطقة الجيب التكهفي من أجل الحالات الثلاثة المدروسة. يلاحظ (عملياً) وجود قيم قليلة للضغط الستاتيكي في منطقة الجيب التكهفي وذلك بسبب التدفق المائي العائد من التيار النفث باتجاه المهوي.
4. يحدث ارتفاع مفاجئ في قيمة الضغط الستاتيكي عند نقطة إعادة الاتصال في الحالات المدروسة ويأخذ الضغط عند هذا المقطع القيم التالية:

$$P: (a: 37418.3 Pa ; b: 26371.2 Pa ; c: 15722.4 Pa)$$

5. تعود بعدها قيم الضغط الستاتيكي للانخفاض كما في حالة المجرى بدون وجود المهوي من أجل الحالات الثلاثة المدروسة حتى مقطع بداية الخشونة الاصطناعية.

6. ينخفض الضغط الستاتيكي في مقطع بداية الخشونة الاصطناعية بشكل مفاجئ ليأخذ أصغر قيمة له على كامل طول المجرى. بلغت قيم الضغط عند هذا المقطع من أجل الحالات المدروسة كما يلي:

$$P_{\min} : (a : -32778.3 \text{ Pa} ; b : -31450.5 \text{ Pa} ; c : 36788.7 \text{ Pa})$$

إن أقل قيمة للضغط كانت في الحالة (c) (مقطع السرعة الأعظمية) ويعود سبب ذلك لتأثير الخشونة الاصطناعية في تقليل قيمة السرعة وظهر تأثيرها بشكل أعظمي في هذه الحالة، الشكل (13)، إضافة للقيمة الصغيرة لعمق التيار المائي الموافق للجران في هذه الحالة.

7. يحدث ارتفاع مفاجئ في قيمة الضغط الستاتيكي ويأخذ أكبر قيمة له على طول مسار الجريان عند اصطدام التيار المائي بأول عارضة في منطقة الخشونة الاصطناعية. بلغت قيمة الضغط الستاتيكي الأعظمية من أجل الحالات المدروسة كما يلي:

$$P_{\max} : (a : 62244.9 \text{ Pa} ; b : 54006.2 \text{ Pa} ; c : 50283 \text{ Pa})$$

4-4-3 تغيير الضغط الديناميكي عند قاع المجرى مع وجود مهوي

يبين الشكل (14) تغيرات الضغط الديناميكي عند قاع المجرى مع وجود مهوي. يلاحظ من الشكل (14) ما يلي:

1. يبدأ الجريان عند مدخل المجرى السريع آخذاً القيم التالية للضغط الديناميكي من أجل الحالات المدروسة:

$$P_D : (a : 30000 \text{ Pa} ; b : 20000 \text{ Pa} ; c : 12800 \text{ Pa})$$

2. تزداد قيمة الضغط الديناميكي مع اتجاه الجريان حتى مقطع بداية المشتت. بلغت قيم الضغط الديناميكي عند هذا المقطع من أجل الحالات المدروسة كما يلي:

$$P_D : (a : 57600 \text{ Pa} ; b : 17630 \text{ Pa} ; c : 17500 \text{ Pa})$$

3. تتخفف قيمة الضغط الديناميكي بشكل مفاجئ أخذة القيمة صفر على كامل طول منطقة الجيب التكهفي.

4. ترتفع قيمة الضغط الديناميكي عند نقطة إعادة الاتصال وتأخذ القيم التالية من أجل الحالات المدروسة:

$$P_D : (a: 60000 Pa ; b: 15000 Pa ; c: 10000 Pa)$$

5. تزداد قيمة الضغط الديناميكي بشكل خطي مع اتجاه الجريان حتى مقطع بداية الخشونة الاصطناعية لتأخذ قيمتها الأعظمية عند هذا المقطع، وبلغت من أجل الحالات المدروسة كما يلي:

$$(P_D)_{\max} : (a: 130000 Pa ; b: 32600 Pa ; c: 22500 Pa)$$

6. تتخفف قيمة الضغط الديناميكي بشكل مفاجئ أخذة أصغر قيمة لها على كامل طول المجرى ومن أجل الحالات المدروسة، $(P_D)_{\min} = 0 Pa$ ، لتبقى قيمته ثابتة على كامل طول منطقة الخشونة الاصطناعية حتى نهاية المجرى.

4-4-4 طول الجيب التكهفي

يبين الجدول (2) قيم طول الجيب التكهفي الناتج عن نمذجة الحالات المدروسة.

الجدول (2): طول الجيب التكهفي ($a: 514.73 ; b: 300 ; c: 150$)

$L_j : (m)$	a	b	c
	5.35	5.42	5.56
Fr_0	2.85	3.06	3.99

هناك تقارب كبير في قيم طول الجيب التكهفي من أجل الحالات المدروسة بمقدار اختلاف أعظمي ما بينها بلغ (3.9%)، وهذا يقود إلى اعتبار أن طول الجيب التكهفي يتأثر بشكل المهوي وأبعاده (زاوية ميل المشتت عن الأفق (θ_0))، في حين يكون تأثير

نظام الجريان في المجرى، عمق التيار المائي أمام المشتت مباشرة وسرعة الجريان عنده، عدد فرود أمام المشتت (Fr_0)، ذو تأثير ضئيل في طول الجيب التكهفي.

4-4-5 تغيير تركيز الهواء على كامل طول المجرى عند القاع

يبين الشكل (15) تغيير تركيز الهواء عند قاع المجرى وعلى كامل طوله من أجل الحالات المدروسة. يلاحظ من هذا الشكل ما يلي:

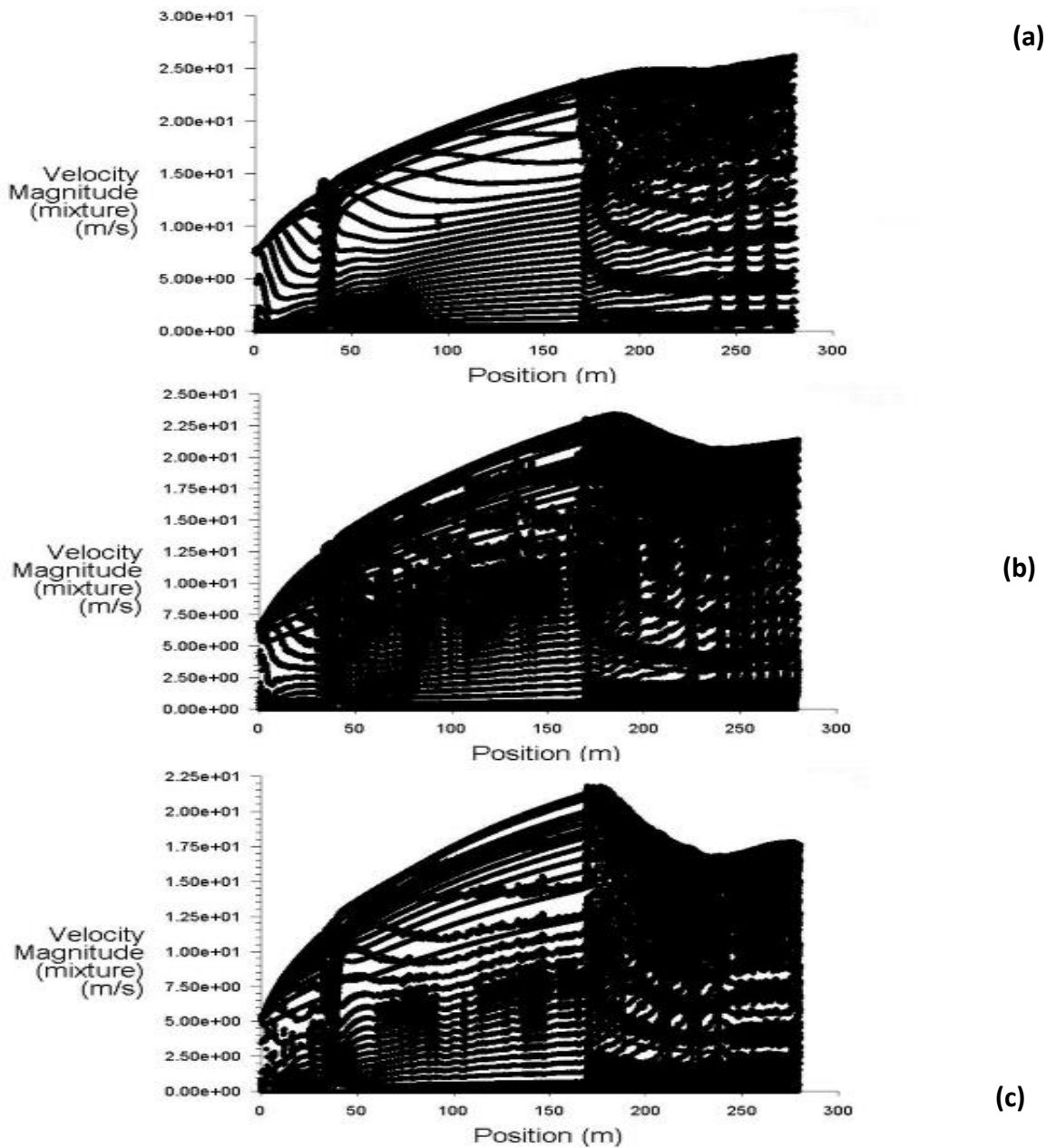
1. بلغت قيمة تركيز الهواء عند بدء عملية التهوية الاصطناعية من أجل الحالات المدروسة كما يلي:

$$C_0 : (a: 0.25 ; b: 0.5 ; c: 0.67)$$

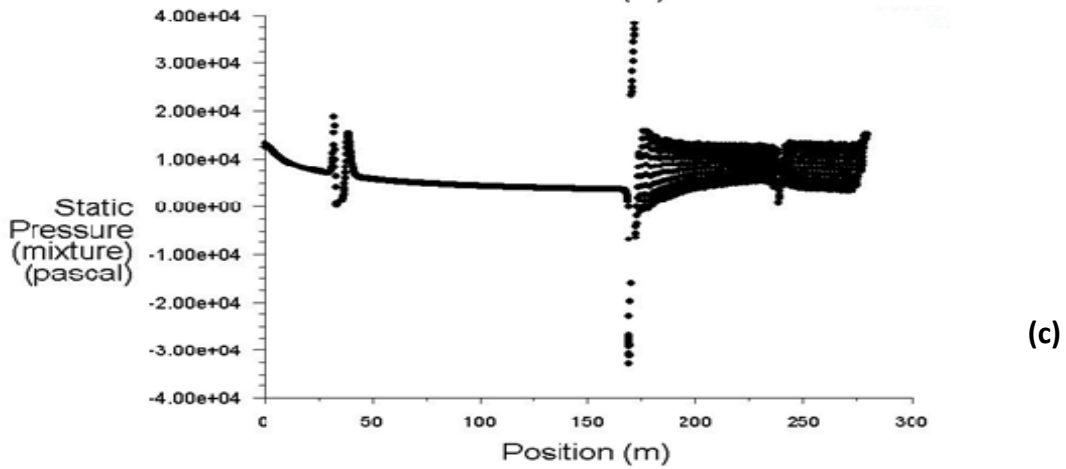
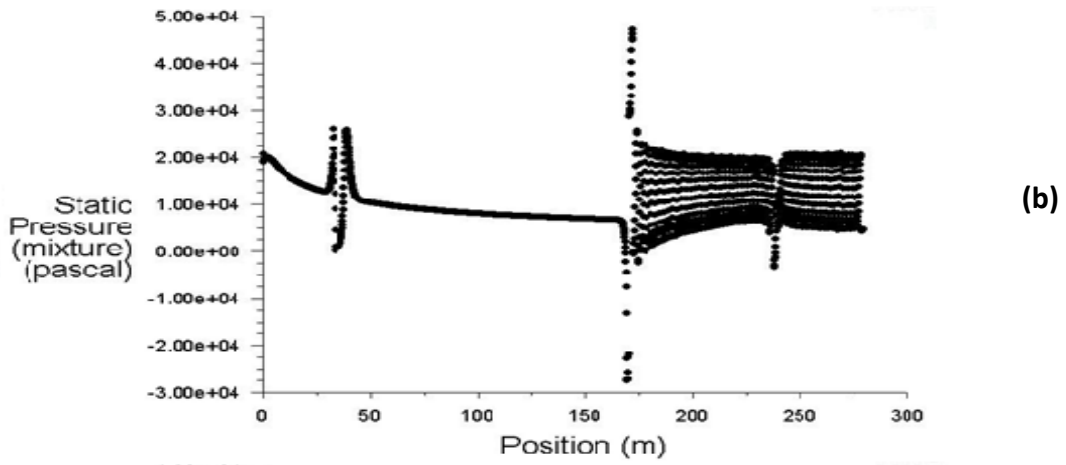
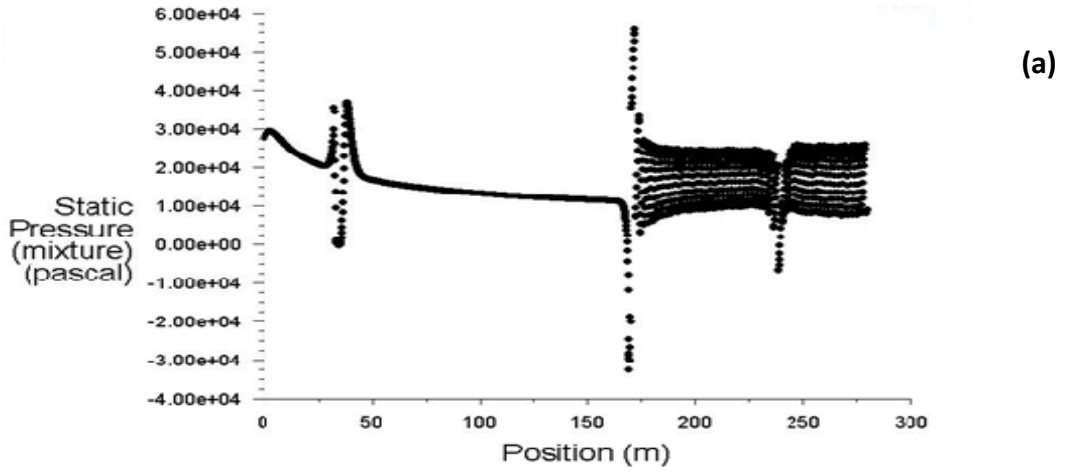
2. بلغت نسبة انخفاض تركيز الهواء مع طول الجريان من أجل الحالات المدروسة القيم التالية:

$$\Delta C : (a: 0.222 ; b: 0.263 ; c: 0.0317)$$

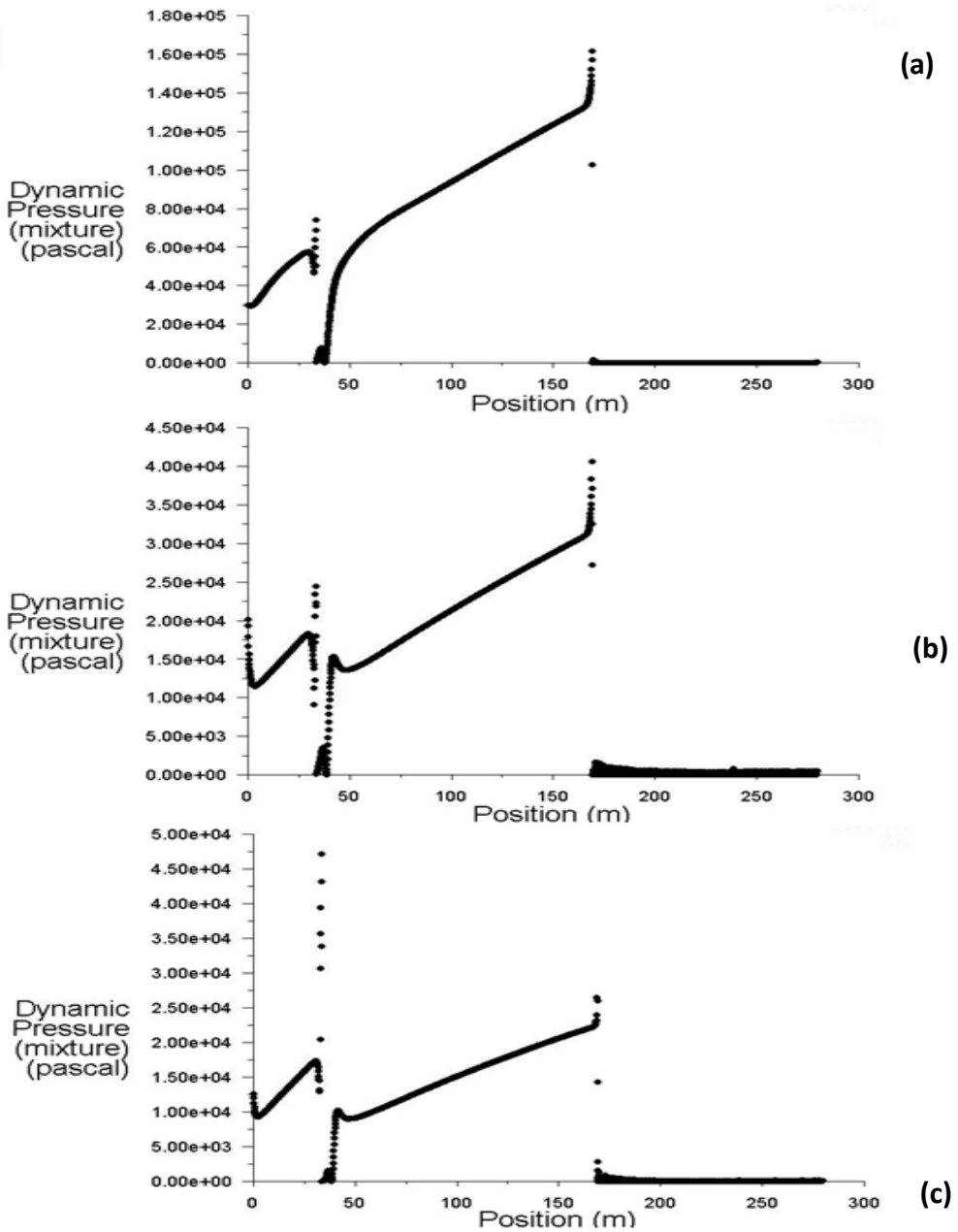
3. بلغت أدنى قيمة لتركيز الهواء عند قاع المجرى (المستمر والمعرض للتآكل التكهفي) عند نهايته (في مقطع بداية الخشونة الاصطناعية) من أجل الحالة (a) وكانت هذه القيمة ($C_w = 0.1125$) وهي أكبر من القيمة الحدية للتركيز الهوائي التي تمنع حدوث التآكل التكهفي والمحددة بـ ($(C_w)_{cr} = 0.08$)، وهذا يعني أنه لا توجد حاجة لتركيب مهوي آخر لتأمين التهوية اللازمة لقاع المجرى لحمايته من أضرار التكهف المحتمل.



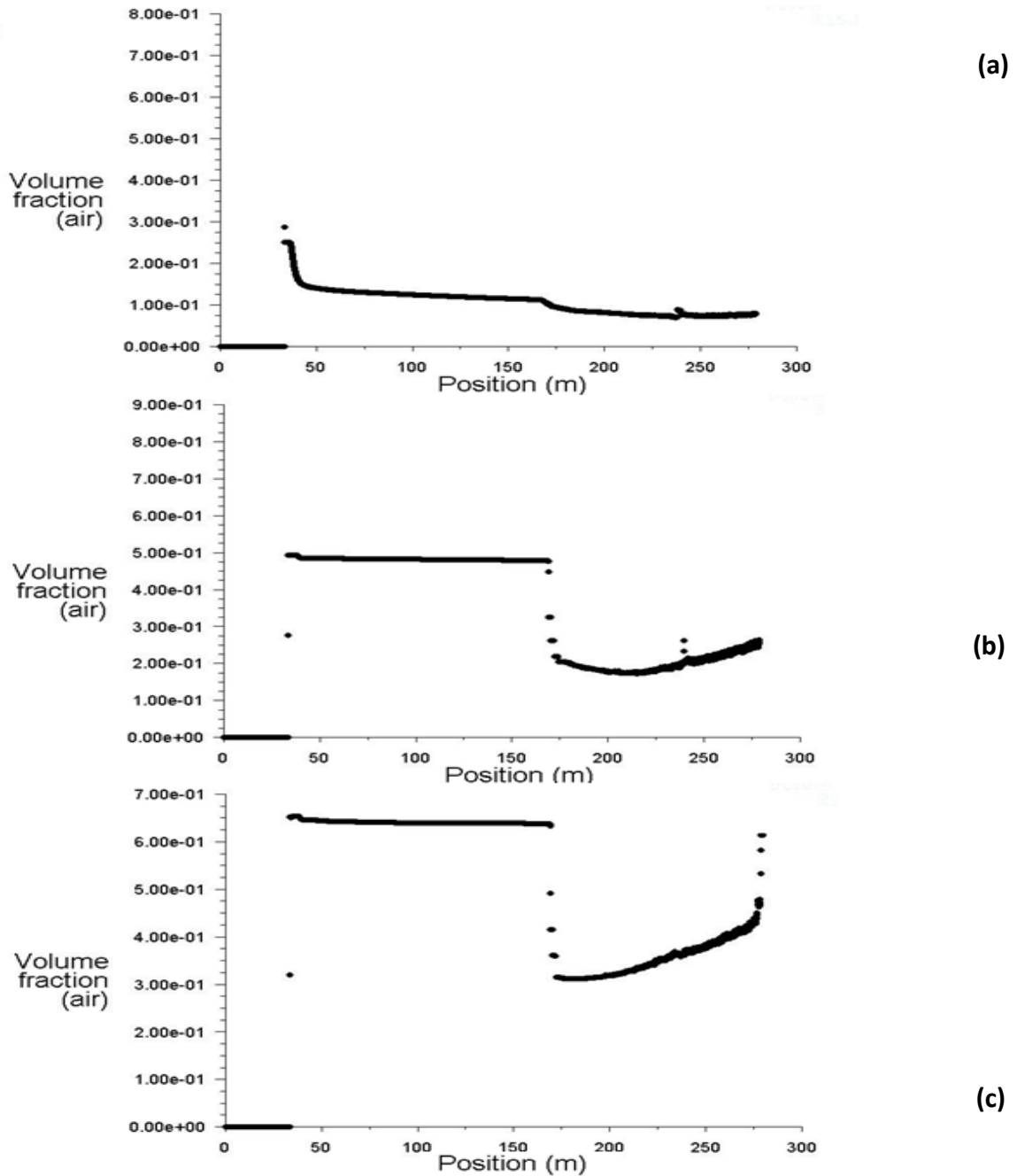
الشكل (12): تغيّر سرعة الجريان على طول المجرى مع وجود مهوي
(a:514.73 ; b:300 ; c:150)



الشكل (13): الضغط الستاتيكي المؤثر عند قاع المجرى ($a:514.73 ; b:300 ; c:150$)



الشكل (14): الضغط الديناميكي عند قاع المجرى مع وجود مهوي
(a:514.73 ; b:300 ; c:150)



الشكل (15): تغيّر تركيز الهواء عند قاع المجرى وعلى كامل طول،

(a:514.73 ; b:300 ; c:150)

5. الاستنتاجات

1. إنّ قاع المجرى السريع معرّض لحدوث التكهف والتآكل التكهفي، حيث انخفضت قيمة دليل التكهف (σ) دون القيمة الحدية لحدوث الانهيار التكهفي ($\sigma_{cr} = 0.2$) في الحالتين ($a ; c$) على بعد ($33 m$) من مدخل المجرى، وعلى بعد ($67 m$) للحالة (b)، لذلك يتوجب حمايته من الآثار السلبية للتكهف عن طريق تهوية الجريان باستخدام مهوي.
2. بلغت قيمة انخفاض الضغط الستاتيكي عند قاع المجرى خلف المهوي في منطقة الجيب التكهفي من أجل الحالات المدروسة كما يلي:
$$\Delta P: (a: 20000 Pa ; b: 12500 Pa ; c: 6900 Pa)$$
3. ازدادت قيمة الضغط الديناميكي في الحالة (a) عند قاع المجرى مع وجود مهوي عن قيمتها لنفس الحالة عند قاع المجرى بدون وجود مهوي، في حين نقصت للحالتين ($b ; c$) عند القاع مع وجود مهوي عن قيمتها الموافقة لكلا الحالتين عند القاع بدون وجود مهوي. يعود سبب ذلك لدرجة تهوية الجريان وما يرافقها من تغير في عمق التيار وانخفاض في كثافة التيار المزيج في الحالتين ($b ; c$).
4. إنّ طول الجيب التكهفي متقارب جداً من أجل الحالات المدروسة وبلغت قيمته الوسطية ($L_j = 5.44 m$) بمقدار اختلاف أعظمي ما بين الحالات المدروسة بلغ $[\Delta L_j]_{\max} = 2.8 \%$ ، وكان تأثير خصائص الجريان أمام المهوي مباشرةً في طول الجيب التكهفي ضئيل.

5. أدى استخدام المهوي لزيادة تركيز الهواء عند قاع المجرى إلى قيمة أكبر من القيمة الحدية الأصغرية لحمايته من التآكل التكهفي $[(C_w)_{cr} = 8 \%]$ ، وليس هناك من حاجة لاستخدام مهوي آخر لتأمين عملية التهوية الملائمة لقاع المجرى.

6. بلغت نسبة انخفاض التركيز الهوائي عند قاع المجرى بدءاً من نقطة إعادة الاتصال وحتى مقطع الخشونة الاصطناعية للحالات المدروسة القيم التالية:
 $\Delta C : (a:0.222 ; b:0.263 ; c:0.0317)$

6. المراجع

- [1] H. Falvey, *Cavitation in Chutes and Spillways*, Engineering Monograph 42, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colo, USA, 1990.
- [2] P. Volkart and P. Rutschmann, "Rapid flow in spillway chutes with and without deflectors a model-prototype comparison," in *Proceedings of the Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Research*, Esslingen am Neckar, Germany, 1984.
- [3] H. Chanson, "Flow downstream of an aerator—aerator spacing," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 27, no. 4, pp. 519–536, 1989.
- [4] P. Rutschmann and W. H. Hager, "Air entrainment by spillway aerators," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 116, no. 6, pp. 765–782, 1990.
- [5] M. A. Kokpinar, " *Air-entrainment in high speed free surface flows [Ph.D. dissertation]*, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1996.
- [6] K. Kramer, *Development of aerated chute flow [Ph.D. dissertation]*, VAW, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, 2004.
- [7] M. Pfster and W. H. Hager, "Chute aerators. I: air transport characteristics," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 136, no. 6, pp. 352–359, 2010.
- [8] M. Pfster and W. H. Hager, "Chute Aerators. II: hydraulic design," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 136, no. 6, pp. 360–367, 2010.
- [9] K. Kramer and W. H. Hager, "Air transport in chute flows," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 31, no. 10–11, pp. 1181–1197, 2005.

- [10] C. W. Hirt and B. D. Nichols, "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," *Journal of Computational Physics*, vol. 39, no. 1, pp. 201–225, 1981.
- [11] D. K. H. Ho, K. M. Boyes, and S. M. Donohoo, "Investigation of spillway behavior under increased maximum flood by computational fluid dynamics technique," in *Proceedings of the Conference on the 14th Australasian Fluid Mechanics*, pp. 577–580, Adelaide University, Adelaide, Australia, December 2001.
- [12] M. C. Aydin and M. Ozturk, "Verification and validation of a computational fluid dynamics (CFD) model for air entrainment at spillway aerators," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 36, no. 5, pp. 826–836, 2009.
- [13] J.-M. Zhang, J.-G. Chen, W.-L. Xu, Y.-R. Wang, and G.-J. Li, "Tree-dimensional numerical simulation of aerated flows downstream sudden fall aerator expansion-in a tunnel," *Journal of Hydrodynamics*, vol. 23, no. 1, pp. 71–80, 2011.
- [14] V. Jothiprakash, V. V. Bhosekar, and P. B. Deolalikar, "Flow characteristics of orifice spillway aerator: numerical model studies," *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 216–230, 2015.
- [15] R. F. Mudde and O. Simonin, "Two- and three-dimensional simulations of a bubble plume using a two-fluid model," *Chemical Engineering Science*, vol. 54, no. 21, pp. 5061–5069, 1999.
- [16] S. M. Monahan, V. S. Vitankar, and R. O. Fox, "CFD predictions for flow-regime transitions in bubble columns," *AIChE Journal*, vol. 51, no. 7, pp. 1897–1923, 2005.

مقارنة فعالية إزالة الكاديوم من التربة الملوثة

باستخدام كل من (EDTA، أوكزالات الصوديوم)

اسم الباحثة: المعيدة مرح اسكندر/كلية الهندسة المدنية- قسم البيئة

المشرف المشارك:

المشرف العلمي:

د. سمير شمشم

د. نعيمة عجيب

كلية الزراعة

كلية الهندسة المدنية

الملخص

نفذ البحث في مخبر الهندسة البيئية -كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث، يهدف البحث إلى تخفيض تركيز الكاديوم في تربة مجرى وادي ربيعة- الملوثة بالكاديوم نتيجة إلقاء مياه الصرف الصناعي لمدينة حسياء الصناعية جنوب غرب مدينة حمص، حيث تم جمع عينات التربة من عمق 30 سم على بعد 250 م من البئر رقم 8 لمياه الشرب ثم غسل التربة باستخدام المحاليل التالية (0.1 M EDTA، 0.1M أوكزالات الصوديوم، الماء العادي) وبطريقتين للغسيل (محاليل غير ممغنطة، محاليل ممغنطة) وبثلاثة تراكيز للتلوث ppm (8، 12، 16) بحيث يزيد التركيز الثاني عن الأول بنسبة 50% والتركيز الثالث عن الأول بنسبة 100% بنسبة تربة: محلول (10:1) ثم مقارنة فعالية كل محلول في إزالة الكاديوم من حيث تأثير تركيز التلوث وتأثير طريقة الغسيل وتأثير المحلول.

أكدت النتائج وباعتبار الشاهد بالنسبة للتراكيز التربة الملوثة بالتركيز الأول وبالنسبة للمحاليل الماء العادي أن إزالة الكاديوم كانت أكبر عند التركيز الأول (8ppm) وبفروق معنوية عن بقية التراكيز، كما تبين تفوق الأوكزالات بفروق معنوية عن الشاهد وعن EDTA وذلك للمحاليل الممغنطة وغير الممغنطة، أما أعلى نسبة إزالة للكاديوم فكانت عند استخدام الأوكزالات الممغنط للتركيز الأول 8ppm حيث وصلت إلى (47.6%) وبفروق معنوية عن بقية المعاملات.

كلمات مفتاحية: الكاديوم، الصرف الصناعي، غسل التربة.

Comparison of the effectiveness of cadmium removal from contaminated soil using (EDTA, Sodium oxalate)

Abstract

The research was carried out in the laboratories of the Faculty of Civil Engineering at Al-Baath University – Environmental Engineering Laboratory. The research is concerned with reducing the concentration of cadmium in the soil, where the industrial wastewater of the city of Hasya is drained on it, in Wadi Rabia – the village of Duhairij, which is located southwest of Homs, near the wells of Duhairij for drinking water. Soil samples were collected at a depth of (30 cm) from the stream at a distance of (250 m) from the nearest drinking water well, then the soil was treated by washing using three solutions (0.1 M EDTA / , 0.1 M sodium oxalate/ tap water) and by two methods (magnetic and non-magnetic solutions) with three concentrations of contamination (8, 12, 16) ppm So that the second concentration exceeds the first by 50% and the third concentration than the first by 100% in a ratio of soil: solution (1:10) , then comparing the effectiveness of each solution in removing cadmium in terms of the effect of the contamination concentration and the effect of the

washing method with magnetic and non-magnetic solutions and
the effect of the solution.

The results confirmed, and considering the control for the soil concentrations contaminated with the first concentration and for the tap water solution, that the removal of cadmium was greater at the first concentration (8ppm) and with significant differences from the rest of the concentrations, and it was noted that oxalate was significantly compared to the control and EDTA for magnetized and non-magnetized solutions and at all concentrations. As for the highest percentage of removal, it was when using magnetized oxalate for the first concentration 8ppm about (47.6%) and with significant differences compared to the rest of the treatments.

Keywords: cadmium, industrial drainage, soil washing.

1- المقدمة والدراسة المرجعية

يتزايد تلوث التربة بالمعادن الثقيلة يوماً بعد يوم حيث تشكل هذه المعادن مجموعة غير محددة من المخاطر الكيميائية غير العضوية وأكثرها شيوعاً في المواقع الملوثة هي الرصاص (Pb) والكروم (Cr) والزرنيخ (As) والزنك (Zn) والكاديوم (Cd) والنحاس (Cu) والزرنيق (Hg) والنيكل (Ni) [17].

تبقى المعادن الثقيلة في التربة إلى مدة زمنية غير محددة، فهي غير قابلة للتحلل ومع ذلك، يمكن أن يتغير مدى توفرها اعتماداً على أشكالها الكيميائية في التربة. لذلك فإن الحماية الكافية واستعادة النظم البيئية للتربة تتطلب توصيف ومعالجة التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة [27]؛ [29].

تتراكم المعادن الثقيلة في التربة من مصادر عديدة من أهمها الترسيب الجوي، والري بمياه الصرف الصحي والصناعي، والتكديس غير المناسب للنفايات الصناعية الصلبة، وأنشطة التعدين، واستخدام المبيدات الحشرية والأسمدة المحتوية على آثار منها وما إلى ذلك [44].

يؤثر الشكل الفيزيائي والكيميائي لملوثات المعادن الثقيلة في التربة بشدة على اختيار نهج المعالجة المناسب. كما يجب الحصول على معلومات حول الخصائص الفيزيائية والكيميائية للموقع ونوع ومستوى التلوث فيه بغية التقييم الدقيق لتلوث الموقع والبدائل العلاجية. كما يجب تحديد نوع وكمية وتوزيع المعادن الثقيلة في التربة. ويمكن تحديد أهداف المعالجة للمعادن الثقيلة كتركيز إجمالي لها أو كمعدن وحيد يتواجد بتركيز مرتفع في التربة [41]؛ [40].

يعد الكاديوم واحداً من أكثر المعادن السامة بيئياً وذلك لتأثيره السلبي على العمليات الحيوية للإنسان والحيوان والنبات ويظهر هذا التأثير السلبي الكامن في البيئة وفي نوعية الغذاء [19].

يتواجد الكاديوم في التربة بأشكال ونسب مختلفة، ويمكن أن يكون منحللاً، ومدمصاً، ومعقداً مع المواد العضوية وأحد مكونات البنية البلورية لمعادن الطين [26]. وتؤثر نسب

هذه الأشكال إلى الكمية الكلية على فعاليتها وحركيته ومدى إتاحتها للنبات وكذلك إمكانية انغساله وبالتالي ارتفاع درجة خطورته [46].

أشارت الدراسات إلى أن الكادميوم يملك القدرة على التراكم في الأنسجة الحية ويسبب التسمم كما ويؤدي إلى تلف الكبد وارتفاع ضغط الدم، كذلك تسبب المياه الحارة عليه ضرراً شديداً على الأسماك والكائنات الحية التي تعيش فيها [34].

تعد المنصرفات الصناعية المصادر الرئيسة للتلوث بالكادميوم فهو يدخل في صناعة البطاريات الجافة ويدخل في تركيب السبائك، كما يستخدم في عمليات الطلاء بالكهرباء، ويستخدم كملدن في لدائن البوليفينيل، وكذلك في مصانع تعدين الزنك والرصاص والنحاس، وينتج من حرق اللدائن والأصباغ وبطاريات النيكل-كادميوم. ويصل للمياه والتربة عن طريق المياه الصناعية وخصوصاً صناعة السبائك والطلاء الكهربائي وكذلك من انحلال الأدوات الحديدية المطلية بمواد تحتوي على الكادميوم [2] ؛ [33] ؛ [8] . يمكن تصنيف طرائق معالجة التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة إلى فيزيائية أو كيميائية، ومعالجة نباتية [35] .

تم وضع عدد من اللوائح الصارمة للحد من مستويات المعادن السامة في البيئة، ومع ذلك، فإن تنظيف المواقع الملوثة بالمعادن الثقيلة لا يزال يمثل تحدياً كبيراً ومكلفاً وأحد الحلول الدائمة هو غسل التربة بمحاليل تحتوي على عوامل مخلبية مثل (EDTA ، EDDS ، DTPA) والتي على عكس عمليات الغسيل الحمضي ، تسمح بإزاحة المعادن الثقيلة من المرحلة الصلبة للتربة عن طريق تكوين معقدات معدنية قوية وقابلة للذوبان في الماء دون تدهور الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وتعد هذه التقنية الرائعة أقل ضرراً من الناحية البيئية وسهلة التنفيذ نسبياً [45].

يعد غسل التربة بالطريقة الفيزيائية والكيميائية أحد البدائل التي أظهرت كفاءة عالية جداً في إزالة المعادن الثقيلة من التربة، وهي تقنية معالجة بسيطة ومفيدة نسبياً حيث يمكن استخدامها خارج الموقع الملوث، وبهذه الطريقة ينتقل العنصر (أو العناصر الملوثة) في التربة إلى ماء الغسيل الذي يتم التخلص منه وبما يحتويه من ملوثات بطريقة مناسبة [28].

يعتمد مبدأ غسل التربة على استخدام الماء وبعض المحاليل المساعدة مثل عوامل مخلبية، أحماض وخافضات توتر سطحي لزيادة حركية المعادن الملوثة إلى أسفل مقطع التربة ثم صرفها بطريقة آمنة [14].

يتم التحكم بعملية استخلاص المعادن الثقيلة من التربة الملوثة عن طريق إضعاف الرابطة المعدنية للمعدن مع مكونات التربة، يليها تشتت المعدن الملوث في سائل الغسيل كمستحلب أو مركب أو معلق [5].

تعد طريقة معالجة المياه بالحقل المغناطيسي إحدى الطرائق المتبعة لتحسين نوعية المياه، حيث تؤدي التغيرات الفيزيائية التي تحدث نتيجة مرور جزيئات الماء ضمن حقل مغناطيسي ذات شدة معينة إلى انتظام في قطبية الشوارد وتغيرات في الشكل البنوي لجزيئات الماء، وبالتالي تغير في سلوك التبادل الشاردي للأملاح المنحلة وتغير في خصائصه كالتغير في التوتر السطحي والعسارة والناقلية الكهربائية [7].

أكد الباحثون أن المعالجة المغناطيسية للمياه تؤثر على طبيعة الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء وبالتالي حدوث تغيرات في خصائص المياه مثل امتصاص الضوء ودرجة الحموضة والتوتر السطحي [6].

تبين ازدياد الوزن الطازج والوزن الجاف في بعض المحاصيل وخاصة الجذرية منها، كما زاد امتصاص بعض العناصر الصغرى عند الري بالمياه الممغنطة، مما يشير إلى إمكانية استخدامها لزيادة الشكل القابل للامتصاص للمعادن الثقيلة من التربة [4].

وجد في تجربة غسل أعمدة التربة أن المياه الممغنطة أدت إلى بعض التغيرات في الخواص الفيزيائية للتربة، وأدت إلى زيادة معنوية في البوتاسيوم المتاح عند جميع أعماق عمود التربة، كما زاد الفوسفور القابل للإفادة بشكل معنوي مقارنة مع الغسل باستخدام الماء العادي [18].

أثبتت بعض التجارب في ظروف البيت الزجاجي أن الري بالمياه الممغنطة أدى إلى زيادة في امتصاص نبات الفليفلة للعناصر الأساسية (N,P,K) بالمقارنة مع النبات المروي بمياه عادية، ويعود سبب ذلك إلى قدرة الماء الممغنط على زيادة إتاحة العناصر [36].

يعد EDTA (Ethylene diamine tetra acetic acid) أحد العوامل المخلبية الشائعة التي تمت دراستها على نطاق واسع لإزالة المعادن الثقيلة من التربة بسبب قدرته العالية على التخلب [32]؛ [21]؛ [47].

يعتبر EDTA العامل الأكثر شيوعاً في تقنيات غسل التربة نظراً لقدرته على تعزيز قابلية ذوبان المعدن من المرحلة الصلبة للتربة [22].

أوضحت دراسة لإزالة المعادن الثقيلة من التربة الملوثة باستخدام أحماض مخلبية عضوية بنسبة 1:25 أنه واعتماداً على طبيعة المواد المخلبية، تباينت كفاءات الغسيل بالترتيب: EDTA 0.05M > 0.05M حمض الستريك > 0.05M حمض الطرطريك مع كفاءة استخلاص المعادن وفقاً للتسلسل $Pb < Ni < Zn < Cd < Cu$. [37].

كفاءة الاستخلاص القصوى للمعادن الثقيلة في التربة غير الجيرية ذات الكاتيونات النادرة التي تحدث بشكل طبيعي حوالي 45% للرصاص والنحاس و 75% للكادميوم [23]، في حين أن هذه النسب تتجاوز 50% من المحتوى الإجمالي في التربة ذات المصدر البشري للتلوث [9]؛ [20].

تم مقارنة استخدام مركب EDTA مع عوامل مخلبية وأحماض وخافضات توتر أخرى، في العديد من الدراسات ووجدت أنه الأفضل لاستخلاص المعادن السامة من التربة [42]؛ [30].

درس الباحثون حركية إزاحة المعادن بواسطة EDTA من ثلاث ترب ملوثة بشكل طبيعي، وحددوا معدل الإزاحة للمعادن الثقيلة المختلفة من التربة، وخلصوا إلى أن الكادميوم تتم إزاحته بشكل أسرع يليه الزنك والنحاس والرصاص والزرنيق والكروم [43]. كما لوحظ الترتيب نفسه لمعدل إزاحة النحاس والرصاص والكادميوم من التربة الملوثة طبيعياً [10].

تبين أن استخدام محاليل الغسيل بالمعدلات 0.1 و 0.01 مول من $Na_2 EDTA$ إلى التربة (12.5 : 1) يوفر كفاءة أعلى في استخلاص المعادن مقارنة مع النسب (5 : 1 أو 25 : 1) [5].

أكدت نتائج البحث عدم تأثير التغيرات في الأس الهيدروجيني أثناء استخلاص الكاديوم والنحاس والزنك والرصاص من الرواسب لتركيزات عالية من EDTA (0.05 مول/ لتر) حيث كانت قيم الأس الهيدروجيني الأولية (5.5-7.5) [13] ، وعلى النقيض من ذلك ، بالنسبة للتركيزات المنخفضة من EDTA ، تصبح كفاءة الإزاحة معتمدة على الأس الهيدروجيني وتركيز الكاتيونات الرئيسة، خاصة الكالسيوم والحديد [15]؛ [11].
تفوق Na_2EDTA على ميتايبسلفيت الصوديوم ($Na_2S_2O_5$) من أجل التركيز نفسه. كما أظهر تركيز 0.1 مول (Na_2EDTA) إزالة كاملة للكاديوم والرصاص من التربة عند نسبة المحلول (1: 12.5) [5].

بينت نتائج غسل التربة من الحمأة الملوثة بالكاديوم والكروم باستخدام الأحماض (حمض الخل وحمض كلور الماء) وعامل مخلب (Na_2EDTA) انخفاض نسبة إزالة الكاديوم والكروم مع زيادة تركيز التلوث وذلك عند استخدام نفس التركيز من محلول الغسيل كما تراوحت كفاءة الإزالة من الأعلى إلى الأدنى وفق الترتيب 0.1 مول EDTA < 0.3 مول حمض كلور الماء < 3 مول حمض الخل [16] .
أفضل محلول لإزالة المعادن الثقيلة المرتبطة بأكاسيد الحديد والمنغنيز الأكزالات مقارنةً مع EDTA [12].

تشير نتائج تجارب معالجة الترب الملوثة بطريقة غسل الأعمدة وباستخدام محاليل غسل مختلفة من خلال عدة فترات تلامس إلى أنه يمكن استخلاص الكاديوم والرصاص والزنك وبدرجة أقل الكروم من التربة الملوثة صناعياً باستخدام محلول كاشف مختزل ميتايبسلفيت الصوديوم $Na_2S_2O_5$ ومحلول مخلب Na_2EDTA ، حيث تم اعتبار وقت التلامس بين التربة الملوثة ومحلول الغسل الذي يبلغ ساعتين وقتاً كافياً بناءً على اختبارات الغسل التي أجريت على مدار 48 ساعة [5].

وفي دراسة [39] لإمكانية خفض تركيز خمسة معادن، As و Cd و Cu و Pb و Zn بشكل فعال من التربة عن طريق الغسيل باستخدام 0.1M (أو كزالات الصوديوم) و 0.01M (Na_2EDTA) بشكل فردي ثم الغسيل المتتالي بالمحلولين ثم الغسيل بمزيج منهما، حيث تبين في الغسيل الفردي وبعد 24 ساعة أن Na_2EDTA أزال 2.3% As

(-27.4% Pb-24.2% Cd-53.7% Cu-16.8% Zn)، بينما أزلت الأوكزالات (59.9% As -1.5% Pb-47.9% Cu-65.4% Zn-22.9%)، وفي الغسيل المتتالي كان Na_2EDTA فعالاً في إزالة الكاتيونات بينما كانت الأوكزالات أكثر فاعلية في إزالة المعادن المرتبطة بأكاسيد الحديد والمنغنيز في حين كانت نسب الإزالة بمزيج من المحلولين لأربع مرات غسيل بمعدل ساعتين لكل مرة على الشكل التالي :

AS: -54.6-65.6% **Cd**: -28.6-33.8% **Cu**: -80.3-86.6% **Pb**:
43.2-45.2% **Zn**: -15.8-42.9%

2- مبررات البحث

تبين نتائج تحليل التربة من قرية دحيرج - مجرى وادي ربيعة- ارتفاع تركيز الكاديوم فيها والذي تجاوز عدة أضعاف الحد الأعلى للمواصفة القياسية السورية والناجم عن مياه الصرف الصناعي في المنطقة الصناعية لمدينة حسياء (حمص)، وهذا يشكل خطراً كبيراً على المياه الجوفية -آبار دحيرج- والترب الزراعية المحيطة. كما أن هذا التلوث يمكن أن يحصل في مناطق أخرى تتركز فيها صناعات تطرح الكاديوم إلى الوسط المحيط، وتعد طريقة غسيل التربة باستخدام محاليل غسيل مختلفة من الطرائق المستخدمة عالمياً في خفض تركيز الكاديوم وغيره من المعادن الثقيلة في التربة، ونظراً لعدم وجود دراسة سابقة في المنطقة وقلّة التجارب لإزالة الكاديوم وبالطرائق السابقة كان هذا البحث.

3-أهداف البحث

يهدف هذا البحث الذي استخدم فيه تربة ملوثة بالكاديوم بالمعدلات (16، 12، 8)ppm إلى:

- دراسة تأثير استخدام عدة محاليل غسيل (0.1M Na_2EDTA ، 0.1M $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ أوكزالات الصوديوم، الماء العادي) في كفاءة إزالة الكاديوم (Cd) من التربة الملوثة كنسبة مئوية.

- دراسة تأثير مغنطة محاليل الغسيل السابقة في كفاءة إزالة الكاديوم (Cd) من التربة الملوثة كنسبة مئوية.
- دراسة تأثير تركيز الكاديوم ppm (8-12-16) في كفاءة الإزالة من التربة الملوثة كنسبة مئوية.
- دراسة التأثير المشترك لكل من المحلول والتركيز والطريقة على كفاءة إزالة الكاديوم (Cd) من التربة الملوثة كنسبة مئوية.

4- مواد وطرق البحث

4-1 مكان تنفيذ البحث:

نفذ البحث في مخبر البيئة في كلية الهندسة المدنية ومخابر مركز التقانات الحيوية في جامعة البعث.

4-2 جمع عينات التربة وتحضيرها:

تم جمع عينات التربة من قرية دحيرج بتاريخ/2021/10/28/ والتي تقع جنوب غرب مدينة حمص - وادي ربيعة - (حيث يتم صرف مياه الصرف الصحي والصناعي لمدينة حسياء الصناعية) وذلك على بعد 250م من أقرب بئر لمياه الشرب /بئر رقم 8/ ومن عمق (30-0) سم حيث تم جمع ثلاث عينات بسيطة من الموقع وتم خلطها لتشكيل عينة مركبة. وأعقب جمع عينات التربة تحضير هذه العينات للتحليل المخبري الذي شمل التجفيف الهوائي، والطحن، ومن ثم النخل بمنخل أبعاد فتحاته 2مم.

4-3-المعاملات المستخدمة في البحث:

4-3-1تركيز الكاديوم في المعاملات المدروسة:

-المعاملة الأولى هي التربة الملوثة طبيعياً بتركيز (Cd 8ppm).
-المعاملتين الثانية والثالثة تم تحضيرهما عن طريق خلط المعاملة الأولى بكلوريد الكاديوم المائي (CdCl₂.H₂O) بالمستويين (Cd 12ppm - Cd 16ppm) على التوالي مع التقليب والترطيب المستمرين لضمان توزيع متجانس للكاديوم وذلك لمدة ثلاثة أشهر

قبل البدء بإجراء التجارب لتكون المعاملات الثلاثة للترب الملوثة بالكاديوم على النحو التالي:

8ppm: Cd 1-1

12ppm: Cd 2-2

16ppm: Cd 3-3

4-3-2- المعاملات المطبقة على التربة لتخفيض تركيز الكاديوم باستخدام محاليل

غسيل مختلفة:

1- الغسيل بالماء العادي رمزها A.

2- الغسيل بمحلول (Na₂EDTA) 0.1M رمزها B.

3- الغسيل بمحلول أوكزالات الصوديوم (0.1M) رمزها C.

تم تطبيق كافة المعاملات آنفة الذكر بإضافة (25ml) من المحلول إلى (2.5g) تربة أي بنسبة (10:1) والرج لمدة ثلاث ساعات على رجاج كهربائي بعدد دورات (300rpm) ثم التفتيل والترشيح، وتم حفظ راشح العينات في عبوات بلاستيكية تم بعدها تخفيض pH الراشح إلى درجة تفاعل حوالي (2) بإضافة (1:1 HNO₃) وذلك للتركيز الملوثة الثلاثة بواقع ثلاث مكررات للمعاملة ليكون عدد الوحدات التجريبية:

$$3*3*3=27 \text{ وحدة}$$

4-3-3- المعاملات المطبقة على التربة لتخفيض تركيز الكاديوم باستخدام محاليل

غسيل مختلفة ممغنطة:

1- الغسيل بالماء العادي الممغنط رمزها Am.

2- الغسيل بمحلول (Na₂EDTA) 0.1M رمزها Bm.

3- الغسيل بمحلول أوكزالات الصوديوم (0.1M) رمزها Cm.

تم مغنطة المحاليل المذكورة أعلاه باستخدام حقل مغناطيسي بشدة (1800 غاوس) [3]، ثم تطبيق المعاملات كما ذكر سابقاً ليكون عدد الوحدات التجريبية:

$$3*3*3=27 \text{ وحدة}$$

وبالتالي العدد الكلي للوحدات التجريبية: $27+27=54$ وحدة.

4-4 التحاليل المخبرية لعينات التربة قبل الغسيل

تم اجراء بعض الاختبارات بهدف معرفة بعض الخصائص الخصوبية والأساسية للتربة:

- التحليل الميكانيكي وتحديد قوام التربة بطريقة الهيدرومتر [1].
- قياس درجة تفاعل التربة بجهاز (pH-meter) للتربة في معلق تربة : ماء (2.5:1). [25] ؛ [24].
- قياس الناقلية الكهربائية Conductivity-meter للتربة في مستخلص مائي للتربة (5:1) [38].
- تقدير الفوسفور المتاح بطريقة (Olsen) باستخدام جهاز Spectrophotometer [31].
- كما تم تقدير الشكل الكلي للكاديوم في التربة وذلك بإضافة الماء الملكي وهضم التربة المدروسة ثم تحديد تركيز الكاديوم باستخدام جهاز الامتصاص الذري

(Atomic Absorbtion Spectrophotometer) ماركة شيمادزو ياباني الصنع باستخدام تقنية لهب-استيلين ليتبين أن التربة المدروسة كانت ملوثة وكان تركيز الكاديوم فيها مساوياً (8ppm).

4-5 التحاليل المخبرية للمعاملات المدروسة بعد الغسيل

تم تقدير محتوى رشح محلول الغسيل من الكاديوم لجميع الوحدات التجريبية المدروسة بجهاز الامتصاص الذري، حيث يمثل تركيز الكاديوم في الرشح التركيز المزال من التربة.

تم تحديد كفاءات الإزالة بقسمة التركيز المزال من الكاديوم على التركيز الأولي في التربة كنسبة مئوية.

وأخيراً تم تحليل النتائج إحصائياً باستخدام برنامج ال Genstat عند مستوى ثقة 1%.

5- النتائج ومناقشتها

5-1 تحاليل التربة:

يبين الجدول (1) بعض الخصائص الأساسية والخصوبية للتربة المدروسة
جدول (1): خصائص التربة المدروسة الخصوبية والأساسية

P(متاح)	CaCO ₃	EC mS/cm	pH	قوام التربة		
				طين	سلت	رمل
(ppm)	%	(1: 5)	(1:2.5)	%		
40	41.25	3.6	8.5	45.8	32	22.2

يتضح من الجدول (1) أن التربة المدروسة كلسية ذات قوام طيني لومي ومحتوى عالي من كربونات الكالسيوم والأملاح، كما أنها غنية بالفوسفور وذات درجة قلوية تعادل (pH:8.5).

5-2 دراسة تأثير استخدام محاليل غسيل مختلفة لتربة ملوثة بتراكيز مختلفة من الكاديوم وبطريقتين (غير ممغطة-ممغطة):

- تم اعتبار الشاهد هو الماء العادي بالنسبة لمحلولي الغسيل (EDTA وأوكزالات الصوديوم) والتركيز الأول بالنسبة لتركيزي التلوث (12-16)ppm.
- مستوى الثقة: 1% لأن التجربة مخبرية.
- العوامل المدروسة:

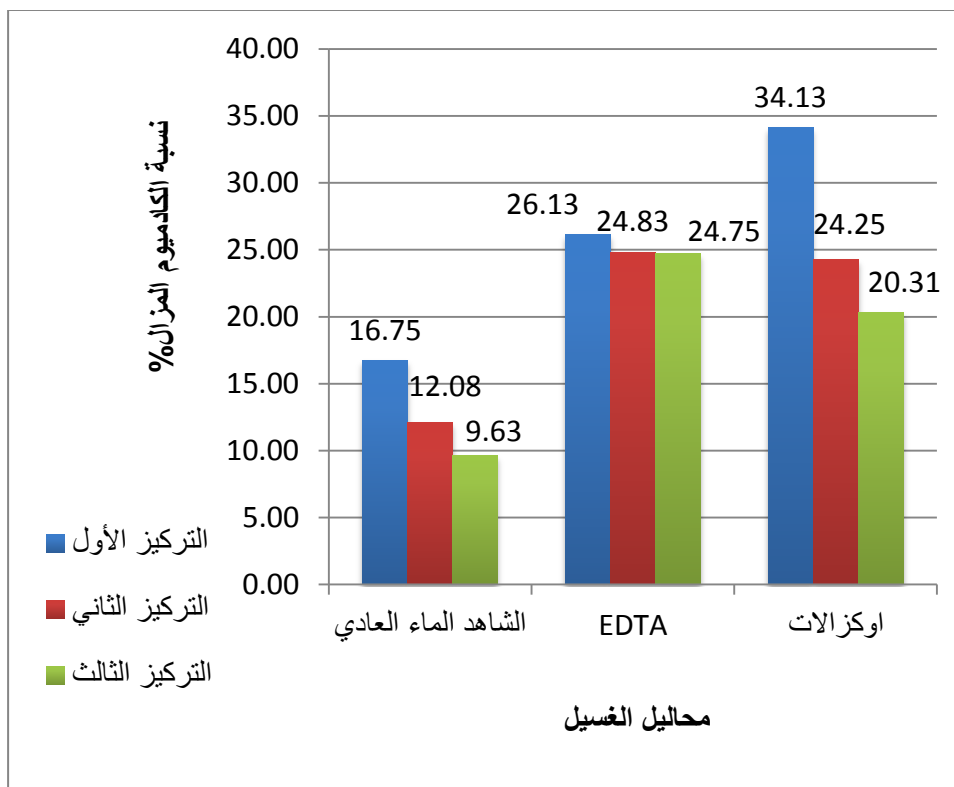
1. المحاليل: عددها ثلاثة محاليل (الماء العادي ، EDTA 0.1M ، 0.1M أوكزالات الصوديوم)

2. طرائق إزالة الكاديوم: تم استخدام طريقتين لإزالة الكاديوم الأولى استخدم فيها محاليل غير ممغطة واستخدم في الثانية المحاليل ذاتها بعد ممغطتها.

3. التراكيز المستخدمة: Cd(16-12-8) ppm.

5-2-1 تأثير المحلول):

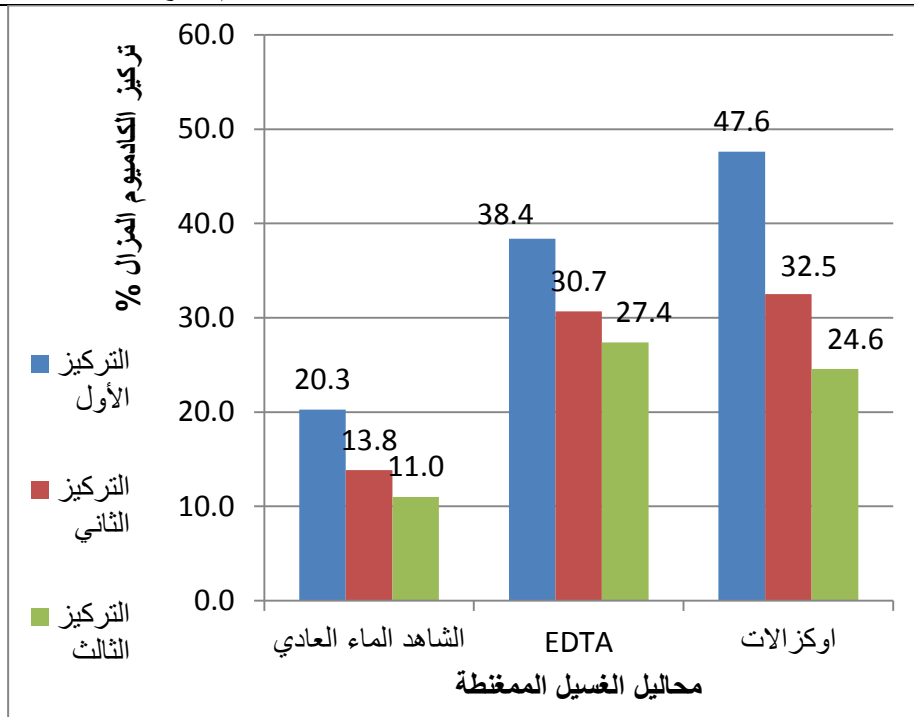
يبين الشكل (1) نسبة الكاديوم المزال من التربة باستخدام محاليل غير ممغطة.



الشكل (1): نسبة الكاديوم المزال من التربة الملوثة

توضح نتائج دراسة تأثير المحلول أي (تركيز التلوث ثابت/ ومحلول الغسيل متغير) غير ممغنط) أن نسبة الإزالة الأعلى كانت عند استخدام أوكزالات الصوديوم بنسبة إزالة (34.13%) يليه EDTA بنسبة إزالة (26.13%) وذلك عند التركيز الأول وبنسبة إزالة حوالي 24% لأوكزالات الصوديوم و EDTA عند التركيز الثاني مقارنة مع الماء العادي حيث كانت نسبة الإزالة حوالي 12%، وارتفعت نسبة الإزالة من حوالي 9% إلى أكثر من 20% باستخدام أوكزالات الصوديوم و EDTA عند التركيز الثالث، وعموماً يمكن القول بأن محلول الغسيل (أوكزالات الصوديوم) تفوق معنوي على كل من محلول EDTA والماء العادي وخاصة عند التركيز الأول (8ppm) وهذا يتفق مع [39] حيث تفوق الأوكزالات على EDTA في إزالة الكاديوم.

يوضح الشكل (2) نسبة إزالة الكاديوم من التربة باستخدام محاليل غسيل ممغنطة.



الشكل (2): نسبة الكاديوم المزال من التربة الملوثة باستخدام محاليل غسيل ممغنطة تبين لدى دراسة تأثير المحلول (تركيز التلوث ثابت /محلول الغسيل متغير (مغنط) عند مقارنة فعالية محاليل الغسيل المختلفة الممغنطة (1800 غاوس) المستخدمة في تخفيض تركيز الكاديوم أن النتائج كانت مشابهة لما ذكر أعلاه عند استخدام ذات المحاليل غير ممغنطة مع اختلاف نسب الإزالة.

حيث أن نسبة الإزالة الأعلى من التربة الملوثة بالتركيز الأول (8 ppm) كانت عند استخدام الأوكزالات بنسبة إزالة (47.8%) ثم EDTA بنسبة (38.4%) عند تركيز التلوث الأول ويلاحظ أيضاً من خلال الشكل (2) أن نسبة الإزالة ارتفعت عند التركيزين (12-16) ppm مقارنة بالشاهد (الماء العادي).

يوضح الجدول رقم (2) تأثير محلول الغسيل على نسبة إزالة الكاديوم من التربة بغض النظر عن التركيز والطريقة.

جدول (2): دراسة الفروق المعنوية لتأثير محلول الإزالة (الغسيل):

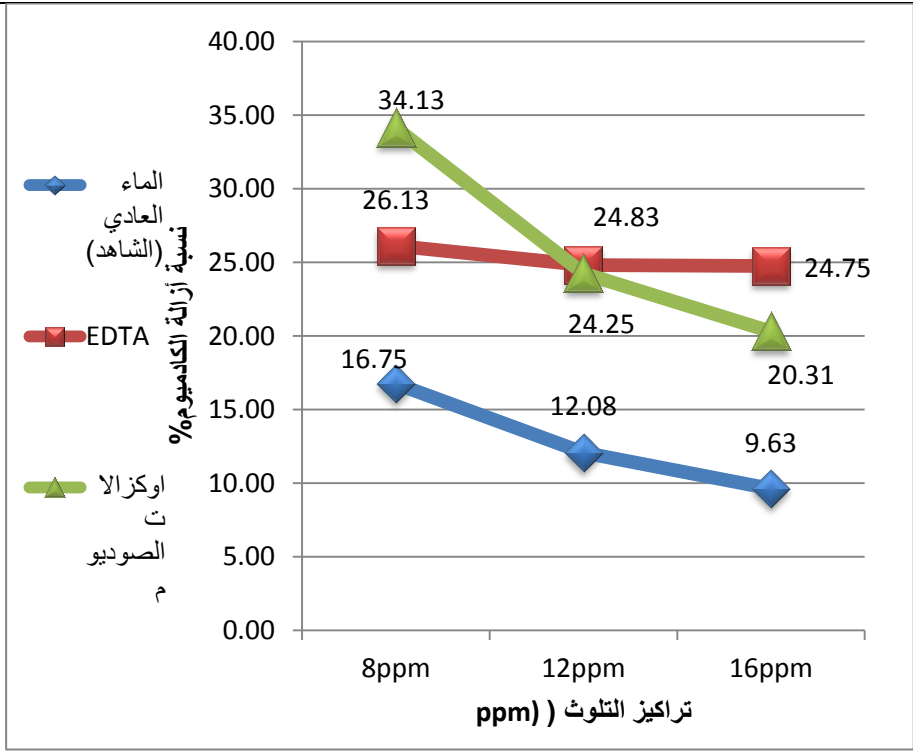
المحلول		
(C) أوكزالات الصوديوم	(B) EDTA	(A) ماء عادي
a 37.70	b 27.45	c 13.93
LSD : 4.147%		

* الأحرف المختلفة تدل على وجود فروق معنوية بين المعاملات والأحرف المتشابهة تدل على وجود فروق ظاهرية بين المعاملات.

تبين نتائج الجدول (2) أن محلول الأوكزالات كان الأفضل وبفروق معنوية عن الشاهد (الماء العادي) و محلول (EDTA). وقد يعزى ذلك إلى أن Na_2EDTA أكثر فاعلية في إزالة الكاتيونات المتبادلة والمرتبطة بالكربونات والمادة العضوية، بينما تكون الأوكزالات أكثر فعالية من Na_2EDTA في إزالة المعادن المرتبطة بأكاسيد Fe-Mn للتربة بسبب قدرتها على استخلاص الكاديوم من الأكاسيد المائية [12] مما يوحي بأن النسبة الأكبر من الكاديوم الموجود في التربة المدروسة مرتبط بأكاسيد الحديد والمنغنيز.

5-2-2 تأثير التركيز):

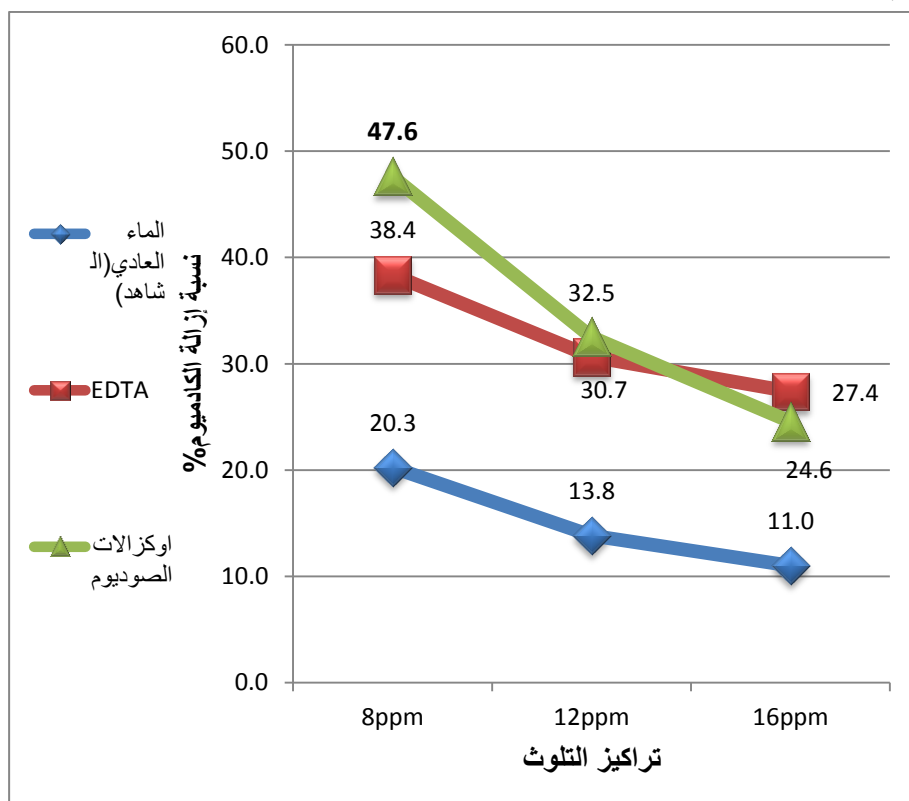
يوضح الشكل رقم (3) تأثير تركيز الكاديوم في التربة على نسبة الإزالة باستخدام محلول غسيل ثابت (غير ممغنط).



الشكل (3): نسبة الكاديوم المزال من التربة الملوثة (تأثير التركيز) محلول الغسيل ثابت (غير ممغنط)/تركيز التلوث متغير)

تؤكد النتائج المستحصل عليها انخفاض نسبة إزالة الكاديوم مع ارتفاع تركيز التلوث بالكاديوم عند استخدام محلول الغسيل ذاته، حيث بلغت نسبة إزالة الكاديوم (34.13%) عند التركيز الأول مقارنة مع (20.31%) عند غسيل التربة الملوثة بالتركيز الثالث بمحلول الأوكزالات غير الممغنط، في حين انخفضت نسبة الإزالة من (26.13%) إلى (24.75%) لمحلول EDTA كما وصلت نسبة الإزالة إلى (9.63%) مقارنة مع (16.75%) عند استخدام الماء العادي وهذا يتفق مع ما توصل إليه [16] حيث بينت نتائج غسيل التربة من الحمأة الملوثة بالكاديوم والكروم باستخدام الأحماض (حمض الخل وحمض كلور الماء) ومادة مخلبية (Na_2EDTA) انخفاض نسبة إزالة الكاديوم والكروم مع زيادة تركيز التلوث وذلك عند استخدام نفس التركيز من محلول الغسيل.

يشير الشكل (4) إلى تأثير تركيز التلوث على نسبة إزالة الكاديوم باستخدام محلول غسيل ممغنط.



الشكل (4): نسبة الكاديوم المزال من التربة الملوثة (تأثير التركيز) محلول الغسيل ثابت (مغنط)/تركيز التلوث متغير

- يبين الشكل (4) انخفاض نسبة إزالة الكاديوم مع ارتفاع تركيز التلوث عند استخدام محلول الغسيل (المغنط) ذاته.
- وصلت نسبة الإزالة إلى (38.4%) عند التربة الملوثة بالتركيز الأول والمعالجة باستخدام محلول EDTA المغنط وانخفضت النسبة لتصل إلى (27.4%) عند استخدام نفس المحلول لكن بالنسبة للتركيز الثالث.
- بلغت نسبة تخفيض الكاديوم (24.6%) عند استخدام محلول الأوكزالات المغنط للتربة الملوثة بالتركيز الثالث بينما كانت النسبة (47.6%) للتركيز الأول.

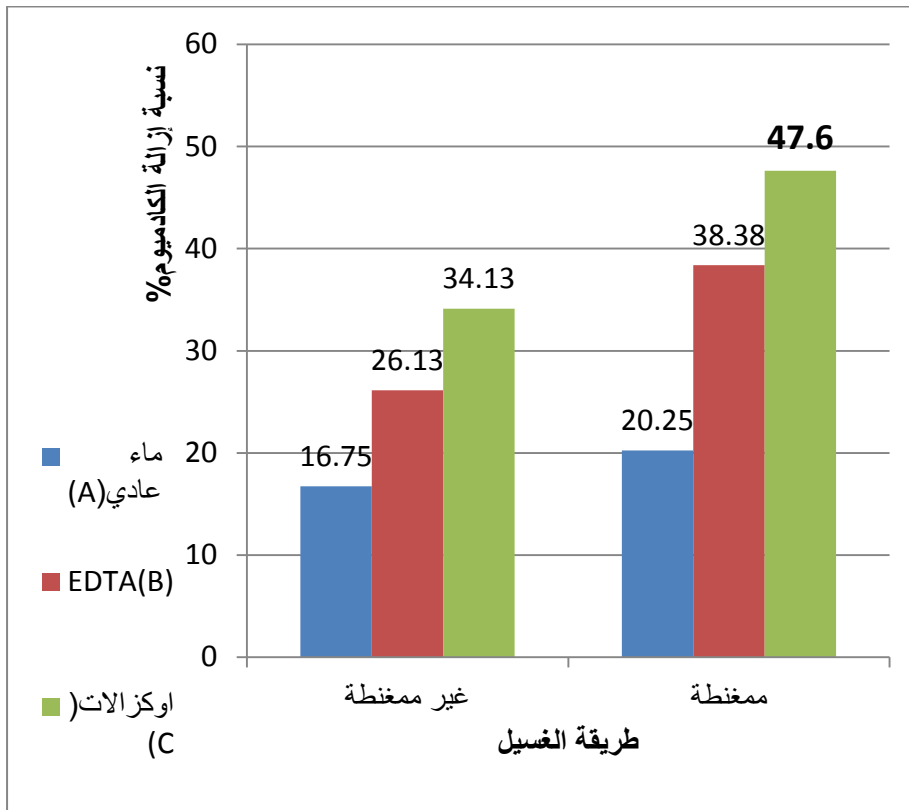
- انخفضت نسبة الإزالة من (20.3%) عند التركيز الأول إلى (11%) عند التركيز الثالث وذلك باستخدام الماء العادي الممغنط. يوضح الجدول (3) التأثير الفردي لتركيز التلوث على نسبة إزالة الكاديوم من التربة دون الأخذ بعين الاعتبار تأثير محلول الغسيل والطريقة. جدول (3): دراسة الفروق المعنوية لتأثير تركيز التلوث في نسبة إزالة الكاديوم من التربة :

التركيز		
16 ppm	12 ppm	8 ppm
b 21.23	b 24.53	a 33.31
LSD : 4.417%		

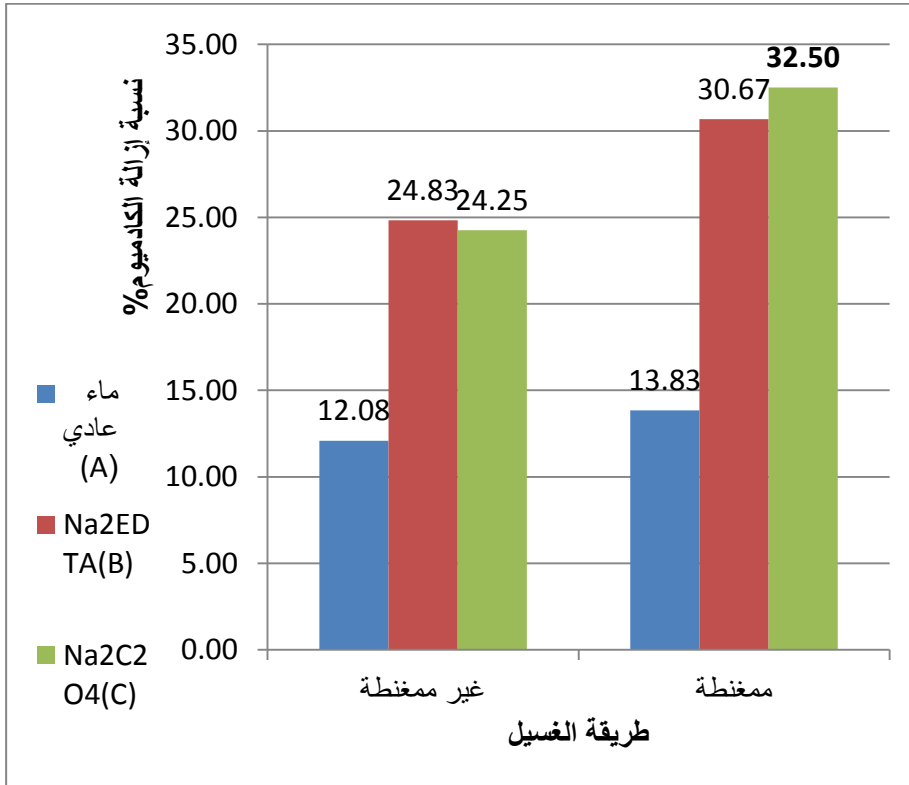
أكدت نتائج الجدول (3) أن الإزالة كانت أكبر عند التركيز الأول (8ppm) وبفروق معنوية عن بقية التراكيز كما يلاحظ أن الإزالة من التراكيز الثاني والثالث كانت متقاربة حيث لا يوجد بينها فروق معنوية وقد يعزى هذا إلى تركيز محلول الغسيل الذي انخفضت فاعليته عند زيادة تركيز التلوث من 8 إلى 12ppm.

5-2-3 تأثير الطريقة):

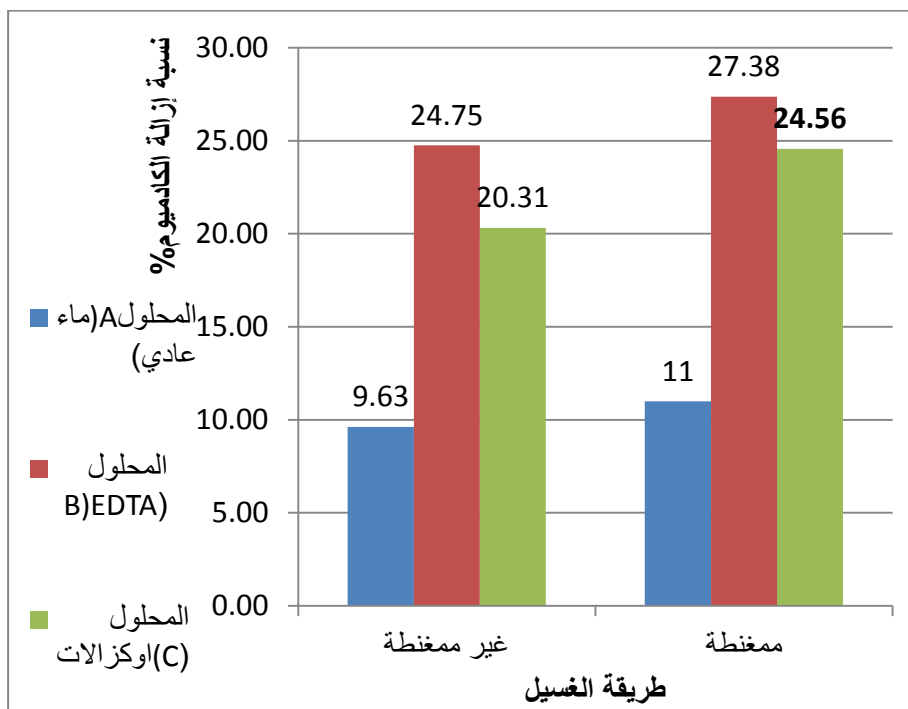
تبين الأشكال (1-5)، (2-5)، (3-5) تأثير طريقة الغسيل (ممغنطة وغير ممغنطة) على نسبة إزالة الكاديوم من التربة بغض النظر عن تأثير تركيز التلوث ومحلول الغسيل المستخدم.



الشكل (1-5): نسبة إزالة الكاديوم من التربة باستخدام محاليل غير مغطاة ومغطاة (تركيز التلوث ثابت 8 ppm) (تأثير الطريقة).



الشكل (5-2): نسبة إزالة الكاديوم من التربة باستخدام محاليل غير ممغطة وممغطة (تركيز التلوث ثابت 12ppm) (تأثير الطريقة).



الشكل (5-3): نسبة إزالة الكاديوم من التربة باستخدام محاليل غير ممغنطة و ممغنطة (تركيز التلوث ثابت 16ppm) (تأثير الطريقة).

نجد من الأشكال (1-5)، (2-5)، (3-5) ارتفاع نسبة إزالة الكاديوم عند استخدام محلول الغسيل الممغنط مقارنة مع نفس المحلول (بدون مغنطة) للتركيز ذاته من التلوث وهذا يدل على تأثير الحقل المغناطيسي على فاعلية الأيونات في نزع الكاديوم وتعقيده وهذا يتفق مع [36] الذين أكدوا قدرة الماء الممغنط على إذابة الأملاح عموماً في التربة ومن ضمنها أملاح الكاديوم.

- عند استخدام محلول EDTA ارتفعت نسبة الإزالة للكاديوم من (24.75%) إلى (27.38%) عند تركيز التلوث الثاني (16ppm) بينما ارتفعت نسبة الإزالة للكاديوم من (26.13%) إلى (38.38%) عند التركيز الأول للتلوث (8ppm).

- بلغت نسبة الإزالة عند استخدام محلول الأوكزالات الممغنط (32.5%) مقارنة مع النسبة (24.25%) عند استخدامه بدون مغنطة وذلك للتركيز الثاني من التلوث (12ppm).

يشير الجدول (4) إلى تأثير طريقة الغسيل على نسبة إزالة الكاديوم دون اعتبار تأثير تركيز التلوث والمحلول.

جدول (4): تأثير طريقة الغسيل على نسبة إزالة الكاديوم باستخدام (محاليل غير ممغنطة ومحاليل ممغنطة):

الطريقة	
ممغنطة	غير ممغنطة
a 28.68	b 24.03
L.S.D: 3.386%	

يلاحظ من الجدول (4) أن الفرق بين الطريقتين أكبر من أقل فرق معنوي وبالتالي يوجد تأثير واضح لصالح الطريقة الممغنطة.

5-2-7 التأثير المشترك لكل من المحلول وتركيز التلوث والطريقة:

يشير الجدول (5) إلى التأثير المشترك لكل من طريقة الغسيل وتركيز التلوث ومحلول الغسيل المستخدم على نسبة إزالة الكاديوم من التربة.

جدول (5): دراسة التأثير المشترك لكل من طريقة الإزالة للكاديوم ومحلول الغسيل وتركيز التلوث

ممغطة			غير ممغطة			طريقتي
16 ppm	12 ppm	8 ppm	16 ppm	12 ppm	8 ppm	إزالة الكاديوم
i 11.00	gi 13.83	efghi 20.25	i 9.63	i 12.08	fghi 16.7 5	ماء عادي
defg 27.38	cde 30.67	cd 38.38	defgh 24.75	defg 24.83	def 26.1 3	EDTA
cde 24.56	bc 32.50	a 47.6	cde 20.31	cdef 24.25	b 34.1 3	أوكزالات الصوديوم
10.159						LSD 1%
17.3%						CV%

أكدت نتائج التحليل الإحصائي في الجدول (5) أن استخدام الأوكزالات الممغطة كان الأفضل في إزالة الكاديوم عند التركيز الأول وبفروق معنوية عن جميع المعاملات، يليه الأوكزالات غير الممغطة عند التركيز الأول لكن بفروق ظاهرية عن الأوكزالات الممغطة عند التركيز الثاني، ثم محلول EDTA الممغطة عند التركيز الأول وبفروق ظاهرية عن (محلول EDTA الممغطة والتركيز الثاني، محلول الأوكزالات غير الممغطة والتركيز الثالث).

الاستنتاجات والمقترحات

- تفوق محلول الأوكزالات وبفروق معنوية على كل من الشاهد(الماء العادي) و محلول EDTA في نسبة إزالة الكاديوم من التربة الملوثة.
 - انخفاض نسبة إزالة الكاديوم من التربة مع ارتفاع تركيز التلوث من أجل محلول الغسيل ذاته.
 - تفوق المحاليل الممغنطة على ذات المحاليل غير الممغنطة في نسبة إزالة الكاديوم.
 - تفوق محلول أوكزالات الصوديوم الممغنط عند تركيز التلوث الأول 8ppm بنسبة 47.6% في إزالة الكاديوم من التربة الملوثة وبفروق معنوية عن بقية المعاملات والشاهد.
- مما سبق يمكن أن نقترح ما يلي:
- إمكانية استخدام أوكزالات الصوديوم لتخفيض تركيز الكاديوم في التربة وذلك من أجل تراكيز حوالي (8ppm) ولترب مشابهة للتربة المدروسة باعتباره محلول منخفض التكلفة.
 - إجراء أبحاث ودراسات أخرى تتعلق بغسيل تربة ملوثة بتراكيز مختلفة من الكاديوم وباستخدام محاليل غسيل مختلفة.
 - إجراء دراسات حقلية حول مغنطة محاليل الغسيل المستخدمة لتخفيض تركيز المعادن الثقيلة في التربة لما يمكن أن يكون لها من أهمية في زيادة كفاءة الإزالة.
 - وضع آلية قانونية لمنع المصانع من صرف المياه الملوثة خارج المعمل من خلال إنشاء محطات تحويل.

المراجع

- [5]–ABUMAIZA, J; SMITH, H. 1999. Heavy Metal Contaminants Removal by Soil Washing, **Journal of Hazardous Materials**, Vol. B70,71–86
- [6]–ALADJADJIYAN,A 2002.Study of The Influence of Magnetic Field on Some Biological Characteristics of ZeaMais. **Journal of Central European Agriculture**, Vol 3 No. 2.
- [7]–AMIRI, MC; DADKHAH, A. 2006. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment, **Colloids and Surfaces physicochemical and Engineering Aspects**, Vol 278, Issues1–3.
- [8]–BARGHOTH GHANEM; JOHAR YOUSSEF; ASHKAR ESSAM; 2006. Cadmium Contamination of Soil In Qatina Area And Treatment. **Master,ALbaath University**.
- [9]–BARONA, A; ARANGUIZ, I; ELIAS, A. 2001 .Metal associations in soils before and after EDTA extractive decontamination : implications for the effectiveness of further clean up procedures, **Environmental Pollution**, Vol.113,79–85.
- [10]–BERMOND, A; VARRAULT, G; BAIZE, D. 2004. Application of a kinetic fractionation of trace elements(Cd, Cu and Pb) in unpolluted soil samples, **Environmental Technology**, Vol. 25,293–300.
- [11]–CHRASTNY, V; KOMAREK, M; JROVOKOVA, E. 2008. A critical evaluation of the 0.05 M EDTA extraction of Pb from forest soils, **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Vol. 88,385–396.

- [12]–ELLIOT, HA; SHASTRI, NL. 1999. Extraction decontamination of metal–polluted soils using oxalates, **Water, Air and Soil Pollution**, Vol. 110,335–346.
- [13]–FANGUEIRO, D; BERMOND, A; SANTOS, E; CARAPUCA, H; DUARTE A 2002. Heavy metal mobility assessment in sediments based on a kinetic approach of the EDTA extraction: search for optimal experimental conditions, **Analytica Chimica Acta**, Vol. 459,245–256.
- [14]–FRTR. 2001. Federal Remediation Technologies Roundtable Retrieved April 16, 2004, from http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html
- [15]–GHESTEM, JP; BERMOND, A. 1998. EDTA extrability of trace metals in polluted soils: A chemical–physical study, **Journal of Environmental Technology**, Vol. 19,409–416.
- [16]– GITIPOUR, S; AHMADI, S; MADADIAN, E AND ARDESTANI, M. 2016. Soil washing of chromium– and cadmium–contaminated sludge using acids and ethylene diamine tetra acetic acid chelating agent, **Environmental Technology**, Vol. 37,154–151.
- [17]–GWRTAC. 1997. Remediation of metals–contaminated soils and groundwater GWRTAC, Pittsburgh, USA, 77–85.
- [18]–Hilal, M.H; El–Fakhrani, Y.M; Mabrouk, S.S; Mohamed, A.I; Ebead, B.M. 2013. Effect of Magnetic Treated Irrigation Water on Salt Removal From a Sandy Soil and on The Availability of Certain Nutrients International Journal of **Engineering and Applied Sciences**. Vol.2,No.2

- [19]–KABATA–PENDIAS A. 2011. Trace Elements in Soils and Plant, by Taylor and Francis Group, LLC.
- [20]–KIM, CH; LEE, Y; ONG, SK. 2003. Factors affecting EDTA extraction of lead from lead–contaminated soils, **Chemospher**, Vol. 51,845–853.
- [21]–LEE, C; KAO, M. 2004. Effects of extracting reagents and metal speciation on the removal of heavy metal contaminated soils by chemical extraction, **Journal of Environmental Science and Health**, Vol.39,1233–1249.
- [22]–LESTAN, D; LUO, C–L; LI, XD. 2008. The use of chelating agents in the remediation of metal contaminated soils: A review. **Environmental Pollution**, Vol. 153, 3–13.
- [23]–MANOUCHEHRI, N; BESANCON,S ;BERMOND, A. 2006. Major and trace metal extraction from soil by EDTA: Equilibrium and Kinetic studies, **Analytica Chimica Acta**, Vol. 559,105–112.
- [24]–MCKEAGUE, J.A. (ED). 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. **Canadian Society of Soil Science**, 66–68.
- [25]–MCLEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement.p.199–224,in A. L. page(ed), method of soil analysis,part 2:chemical and microbiological properties. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- [26]–NAVAS, A; LINDHORFER, H. 2003. Geochemical Speciation of Heavy Metals in Semiarid Soils of The Central Ebro Valley (Spain). **Environment International**, Vol. 29, 61– 68.
- [27]–NOURI, J; MAHVI, A.H; JAHED, G.R; BABAEI, A. 2008. Regional distribution pattern of groundwater heavy metals resu

lting from agricultural activities. Environ. Geo., Vol.55, 13 37 –13
43

- [28]–NOURI, J; MAHVI, A H; BABAEI, A; AHMADPOUR, E. 2006. Regional pattern distribution of groundwater fluoride in the Shush aquifer of Khuzestan County Iran. Fluoride, Vol.39, 321–325.
- [29]–NWACHUKWU, M; FENG, H; ALINNOR, J. 2010. Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages. Int. J. Environ. Sci.Tech., Vol.7 , 347–35 8.
- [30]–OLAJIR, AA; BELLO, MO; ABDUL–HAMMED, M, OLABEMIWO, OM. 2006, Comparative evaluation of EDTA, pyridine and acetic acid for the assessment of available heavy metals from domestic and industrial sludges, **International Journal of Environmental Science and Technology**, Vol. 3,341–349.
- [31]–Olsen. 1954. Breeding peanut for organic farming – opportunities and obstracles- Agron, abst.5530 cd. Rom.
- [32]–Oviedo, C; Rodriguez, J. 2003. The chelating agent under environmental scrutiny, Quimica Nova , Vol 6,901–905.
- [33]–PAHLSSON ANNA–MAJ BALSBERG. 1989. Toxicity Of Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb)To Vascular Plants. A Literature Review. University of Lund,Department of Ecology, Sweden.
- [34]–PATTERSON, C; MUROZUMI, M; CHOW, T. 2010. Cosmochim Acta, Climate and Society.Vol.33, 1247

- [35]–Q. X. ZHOU AND Y. F. SONG. 2004. Remediation of Contaminated Soils: Principles and Methods, **Science Press**, Vol. 7, 345–346
- [36]–Rawabdeh, H; Shiyab, S; Shibli, R. 2014. The Effect of Irrigation by Magnetically Water on Chlorophyll and Macro elements uptake of Pepper (*Capsicum annum L.*) **Journal of Agricultural Sciences**, Vol 10, No2.
- [37]–R. A. WUANA; F. E. OKIEIMEN AND J.A. IMBORVUNGU. 2010. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids, **International Journal of Environmental Science and Technology**, Vol.7, 485–496.
- [38]– Richard, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handbook
- [39]–RONGLIANG QIU ; ZELI ZOU ; ZHIHAO ZHAO ; WEIHUA ZHANG ; TAO ZHANG ; HANYING DONG; XIANGE WEI. 2009. Removal of trace and major metals by soil washing with Na₂EDTA and oxalate. *J Soils Sediments*.
- [40]–S. K. GUPTA; T. HERREN; K. WENGER; R. KREBS AND T. HARI. 2000. In situ gentle remediation measures for heavy metal–polluted soils, in *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, N. Terry and G.Bañuelos, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla, USA, 303–322.
- [41]–T. A. MARTIN AND M. V. RUBY. 2004. Review of in situ remediation technologies for lead, zinc and cadmium in soil, *Remediation*, Vol.14, 35–53 .

- [42]–TANDY, S; BOSSART, K; MULELLER, R; RITSCHHEL, J; HAUSER, L; SCHULIN RS; NOWACK, B. 2004. Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents. **Environmental Science and Technology**, Vol. 38,937–944.
- [43]–WASAY, SA; BARRINGTON, SF; TOKUNAGA, S; PRASHER, S. 2007. Kinetics of heavy metals desorption from three soils using citric acid, tartaric acid and EDTA, **Journal of Environmental Engineering and science**, Vol. 6,611–622.
- [44]–W. J. ZHANG; F. B. JIANG; J. F. OU. 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus, **International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, Vol 1, 125–144.
- [45]–XU, Y; ZHAO, D. 2005. EDTA in the environment: with special reference to the dairy industry, **International Journal of Environment and Waste Management**, Vol.1,351–362
- [46]–YOUTBOT, Y. A; ADOUBY, K; TROKOUREY, A; YAO, B. 2010. Cadmium, Copper, Lead and Zinc Speciation in Contaminated Soils. **International Journal of Engineering Science and Technology**, Vol. 2, 802–812.
- [47]–ZHANG, W; LOIRENE, MC. 2006. EDTA –enhanced washing for remedation of Pb– and/or Zn– contaminated soils, **Journal of Environmental Engineering**, Vol. 132,1282–1288.

- [1]-الجردي، أحمد . 1992 . فيزياء الأراضي - الجزء العملي - كلية الزراعة - مطبوعات جامعة حلب صفحة 196.
- [2]-الطائي، ميسون. 2011. التلوث بالفلزات. جامعة بابل، كلية العلوم، قسم علم الحياة.
- [3]-سلوم، درغام وسلامة، معن والتلاوي، ولاء. 2022. دراسة تأثير الحقل المغناطيسي في خصائص المياه حالة دراسية مجموعة آبار في محافظة حمص. رسالة ماجستير، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث.
- [4] - شمش، سمير. 2009. تأثير الري بالمياه الممغنطة في نمو النبات ومحتواه من بعض العناصر الصغرى، الندوة العلمية 2009 تحسين خواص التربة والتقنيات الزراعية الحديثة، كلية الزراعة-جامعة البعث.