



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

البدائل المحتملة للكلور في معالجة مياه الشرب في محافظة حماه

The Potential Alternatives to chlorine to treat Hama's Drinking Water

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة البيئية

إعداد الطالبة المهندسة :

نور عبد الرزاق الديب

إشراف :

الأستاذ الدكتور المهندس درغام السلوم

2019م-1441هـ

أشعر بالامتنان لكل كلمة لملمت هونت وساعدت أتت في وقت مناسب جداً ورفعت مني في وقت تعبى، شكراً لكل أولئك الإيجابيين أصحاب المعنويات العالية .

وأخص بالذكر الدكتور المهندس درغام السلوم الذي منحني القوة والمثابرة وثبت أول خطوة لي في طريق البحث العلمي حيث كان له الفضل الأكبر في إنجاز هذا البحث، لا تكفي كل كلمات الشكر والعرفان لوصف عظيم فضلك وعطاؤك العلمي اللامحدود.

وعظيم الشكر لأعضاء لجنة الحكم الأكارم د. هناء سلمان

د. عابر محمد

على الملاحظات العلمية القيمة التي أخرجت البحث بالصورة المثالية .

البدائل المحتملة للكلور في معالجة مياه الشرب في محافظة حماه

المخلص

بسبب الظروف الراهنة في سوريا تم حظر استخدام غاز الكلور من قبل المنظمات الدولية في عملية تعقيم المياه نظراً لإمكانية استخدامه كسلاح كيميائي على الأراضي السورية ،وذلك جعلنا نتوجه للبحث عن بدائل لغاز الكلور في عملية تعقيم المياه (في بحثنا مياه شرب مدينة حماه) وتم اقتراح الدراسة على بديلين هما هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم، يهدف البحث الى تحديد البديل الأفضل لتعقيم مياه شرب مدينة حماه ويتم ذلك بعد تحديد الجرعة المطلوبة واللازمة لتعقيم المياه من هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم وهي الجرعة التي تجعل الكلور المتبقي في المياه يتراوح بين (0.2-0.5 mg/l) بعد 30 دقيقة من تجرير البديل في المياه، حيث يتم تحديد الجرعة المثالية من هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم بعد إجراء تجارب الكلور المتبقي في المياه باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر على المياه الخامية لنهر العاصي ، واستنتاج معادلات رياضية تربط هذه الجرعة مع عوامل الدراسة المؤثرة والتي هي : زمن التماس ، جرعة المستخدمة من هيبوكلوريت الكالسيوم أو هيبوكلوريت الصوديوم، (COD) الاحتياج الكيميائي للأوكسجين ، وبعد الدراسة العملية و المقارنة الفنية والاقتصادية يحدد هيبوكلوريت الكالسيوم بأنه البديل الأفضل لتعقيم مياه شرب مدينة حماه بدلاً عن غاز الكلور .

الكلمات المفتاحية :

تطهير المياه ، الإمداد بمياه الشرب ، هيبوكلوريت الصوديوم ، هيبوكلوريت الكالسيوم ، الكلور المتبقي .

منهجية البحث :

يساعد هذا البحث على اختيار البديل الأمثل بين هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم كبديل لتعقيم مياه شرب محافظة حماه بدلاً من غاز الكلور .

ومراحل إنجاز هذا البحث كانت كالتالي :

أولاً : الدراسة المرجعية للتعقيم بالكلور والتعقيم بهيبوكلوريت الكالسيوم و هيبوكلوريت الصوديوم.

ثانياً : إجراء التجارب التي يتطلبها البحث و هي :

• تجربة الكلور المتبقي باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر لمعرفة الكلور المتبقي في عينات المياه المدروسة .

• تجربة الاحتياج الكيميائي للأوكسجين {COD} كعامل تأثير مهم ضمن الدراسة .

• جهاز قياس العكارة وجهاز قياس الأس الهيدروجيني pH .

ثالثاً : تحديد الجرعة اللازمة لتعقيم المياه لكل من هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم .

و إيجاد علاقة رياضية تربط هذه الجرعة مع العوامل المؤثرة فيها والتي هي : جرعة البديل وزمن التماس و(COD) الاحتياج الكيميائي للأوكسجين .

رابعاً : الدراسة الفنية والاقتصادية .

نتائج البحث .

المقترحات والتوصيات .

فهرس المحتويات :

1	الفصل الأول : الأسس النظرية للبحث
2	1.1. المقدمة
3	2.1. الهدف من البحث المقام
4-5	3.1. تطهير المياه
6	4.1. التعقيم بواسطة الكلور
7	5.1. غاز الكلور
7	1.5.1. الخواص الكيميائية والطبيعة للكلور
9	2.5.1. التأثيرات الفيزيولوجية لغاز الكلور
10	3.5.1. استخدامات الكلور في التطهير
11	4.5.1. العوامل المؤثرة على فاعلية الكلور في التطهير
13	5.5.1. تفاعلات الكلور مع المياه
14	6.1. أداء التطهير
14	1.6.1. التطهير الأولي
14	2.6.1. التطهير الثانوي
15	7.1. أماكن إضافة الكلور بغرض تطهير المياه
16	8.1. الجرعات النمطية للكلور
17	9.1. منظومة الكلور
19	10.1. كلورة نقطة التكسير
20	11.1. تعريف عن البدائل المقترحة عوضاً عن غاز الكلور
20	1.11.1. هيبوكلوريت الصوديوم
20	2.11.1. الاستخدامات الرئيسية لهيبوكلوريت الصوديوم
21	3.11.1. تأثير هيبوكلوريت الصوديوم على الصحة
22	4.11.1. منع الحل المفرط لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم
23	5.11.1. هيبوكلوريت الكالسيوم
23	6.11.1. أهم خواص هيبوكلوريت الكالسيوم
25	12.1. استخدامات هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم
27	13.1. النفايات الناتجة عن صنع واستخدام هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم
28	14.1. المخلفات الناتجة عن استخدام هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم في محطة القصير لمعالجة مياه الشرب

29	15.1. الأثر والأضرار البيئية لهيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم
29	1.15.1. المخاطر البيئية
29	2.15.1. التصنيف
29	3.15.1. السمية في البيئة المائية
34	16.1. خصائص وتفاعلات إيون الهيبوكلوريت
36	17.1. المحلول الأساسي للكلور
37	الفصل الثاني : الأسس العملية للبحث
38	1.2. مقدمة
38	2.2. تجربة الكلور المتبقي
43	3.2. تجربة الاحتياج الكيميائي للأوكسجين COD
45	4.3. تركيز الكلور في البدائل المستعملة
46	5.2. نتائج التجارب المجراة على المياه الخامية لنهر العاصي
61	الفصل الثالث : دراسة النتائج وبناء نموذج رياضي باستخدام برنامج SPSS
62	1.3. دراسة وتحليل نتائج التجارب
63	2.3. بناء نموذج رياضي (معادلات رياضية) لربط الجرعة مع عوامل الدراسة
68	3.3. اختبار المعادلات على عينات من مياه العاصي الخامية
69	الفصل الرابع : الدراسة الفنية والاقتصادية
70	1.4. حساب الكميات المحتاجة من هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم
70	1.1.4. الحالة الأولى : استيراد البدائل مجاناً إلى سوريا عبر المنظمات الدولية
73	2.1.4. الحالة الثانية : استيراد البدائل مع دفع تكاليفها كاملة
74	نتائج البحث
75	المقترحات والتوصيات

فهرس الأشكال :

رقم الصفحة	رقم الشكل	عنوان الشكل
8	1-1	العلاقة بين الضغط في حاوية الكلور ودرجة حرارة الوسط المحيط
18	2-1	مبنى وحدة التعقيم
18	3-1	أجهزة أتمتة الجرع ضمن وحدة التعقيم
18	4-1	اسطوانات الكلور ضمن وحدة التعقيم
19	5-1	العلاقة بين جرعة الكلور وكمية الكلور المتبقي في المياه بعد فترة تماس كافية مقدارها 20 دقيقة
21	6-1	خزانات تعبئة هيبوكلوريت الصوديوم NaOCL
21	7-1	محلول هيبوكلوريت الصوديوم NaOCL
24	8-1	حببيات هيبوكلوريت الكالسيوم $Ca(OCL)_2$
24	9-1	أقراص هيبوكلوريت الكالسيوم $Ca(OCL)_2$
39	1-2	المعايرة اللونية لمعرفة تركيز الكلور المتبقي
39	2-2	جهاز السبكتروفوتومتر لقياس تركيز الكلور المتبقي
41	3-2	إضافة 100ml من $Ca(OCL)_2$ لعينة مياه خام
41	4-2	إضافة 0.2 ml من $Ca(OCL)_2$ لعينة مياه خام
41	5-2	إضافة 0.5ml و 0.2ml من $Ca(OCL)_2$ لعينة مياه خام
41	6-2	اسطوانات التجارب
42	7-2	جهاز السبكتروفوتومتر في محطة القصير
42	8-2	جهاز السبكتروفوتومتر يبين كلور متبقي في عينة مياه بمقدار 1.68mg/l
42	9-2	عينة مياه بعد إضافة كاشف DPD مع عينة شاهد
42	10-2	جهاز السبكتروفوتومتر يبين كلور متبقي في عينة مياه بمقدار 0.56mg/l
44	11-2	أدوات تجربة COD
44	12-2	تسخين العينات لحد الغليان
44	13-2	المعايرة باستخدام برمنغنات البوتاسيوم بعد التسخين
44	14-2	عينة مياه بعد إضافة برمنغنات البوتاسيوم قبل التسخين
64	1-3	إدخال البيانات إلى برنامج SPSS

64	2-3	إدخال العوامل المؤثرة على الكلور المتبقي لتشكيل معادلة باستخدام برنامج SPSS
65	3-3	تشكيل معادلة في برنامج SPSS
67	4-3	اختبار المعادلات عبر برنامج إكسل EXCEL

فهرس الجداول :

رقم الصفحة	رقم الجدول	عنوان الجدول
7	1-1	تغير ذوبان الكلور في الماء وفق درجات الحرارة
9	2-1	تأثير التعرض للكلور باختلاف تركيزه
13	3-1	تركيز OCL^- و $HOCL$ تبعاً لدرجة pH في درجة حرارة $20^{\circ}C$
14	4-1	توصيات قيم الكلور لأنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة
16	5-1	الجرعات النمطية للكلور
20	6-1	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الصوديوم
22	7-1	تحلل الكلور في محلول هيبوكلوريت الصوديوم في درجة حرارة $20^{\circ}C$
23	8-1	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الكالسيوم
25	9-1	النسبة المئوية لاستخدام هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم في الاتحاد الأوروبي
26	10-1	استخدامات هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم المسجلة من قبل ECHA للعام 2014م
30	11-1	السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للأسماك
31	12-1	السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للافقاريات
32	13-1	السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للطحالب
32	14-1	السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للكائنات الدقيقة
38	1-2	إضافة جرعات مختلفة من المحلول الأساسي للتعقيم في 10لتر للمياه المختبرة
46	2-2	إضافة محلول هيبوكلوريت لمياه نهر العاصي الخامية بتاريخ 13-6-2018م
46	3-2	إضافة محلول هيبوكلوريت لمياه نهر العاصي الخامية بتاريخ 14-6-2018م
47	4-2	تجريب جرعة بمقدار $1.8mg/l$ وجرعة $0.9mg/l$ من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27

49	5-2	تجريع جرعة بمقدار 0.69mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/28م
50	6-2	تجريع جرعة بمقدار 1.3mg/l وجرعة 0.78mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29
52	7-2	تجريع جرعة بمقدار 5.25mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9
55	8-2	تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10
58	9-2	تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11

فهرس المخططات :

المخطط	رقم المخطط	رقم الصفحة
المكونات الرئيسية في منظومة الكلور باستخدام اسطوانات طن	1-1	17
المكونات الرئيسية لمنظومة الكلور باستخدام عبوات كلور سعة 40,65 kg	2-1	17
المكونات الرئيسية لمنظومة الكلور باستخدام اسطوانات كلور سعة 0.5-1 ton	3-1	18
العلاقة بين توزع أنواع الكلور وقيم pH	4-1	34
تفاعل إيون الهيوكلوريت بدلالة شريك التفاعل	5-1	35
تجريع جرعة بمقدار 1.8mg/l من هيوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27م	1-2	48
تجريع جرعة بمقدار 0.9mg/l من هيوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27	2-2	48
تجريع جرعة بمقدار 0.69mg/l من هيوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/28	3-2	49
تجريع جرعة بمقدار 1.3mg/l من هيوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29	4-2	51
تجريع جرعة بمقدار 0.78mg/l من هيوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29	5-2	51
تجريع جرعة بمقدار 5.25mg/l من هيوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9	6-2	53
تجريع جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9	7-2	53

54	8-2	تجريع جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9
56	9-2	تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10
56	10-2	تجريع جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10
57	11-2	تجريع جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10
59	12-2	تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11م
59	13-2	تجريع جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11
60	14-2	تجريع جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11

الفصل الأول

الأسس النظرية للبحث

Theoretical foundations of the research

1.1.1. المقدمة :

إن إضافة الكلور من أكثر الطرق انتشاراً في عمليات تطهير المياه وقد كان لظهور عملية الكلورة أثر كبير في القضاء على الأمراض التي ينقلها الماء وذلك بأقل التكاليف وأبسط المعدات وأقل عدد من العاملين، ولولا عملية الكلورة لانتشرت أوبئة الكوليرا والتيفوئيد والتي كان لظهور الكلور واستخدامه الفضل الأكبر في القضاء عليهما.

ويتميز التطهير بواسطة الكلور بسهولة استعماله، وبسهولة الحكم على مدى فاعليته بالتأكد من بقاء قدرًا من الكلور في الماء بعد فترة من إضافته.

إلا أنه وفي بعض الحالات يتم اللجوء إلى بدائل أخرى بعملية التطهير عوضاً عن الكلور مثل الحالة الواردة في بحثنا هذا .

انطلاقاً من الواقع العملي تم اقتراح الدراسة على بديلين هما هيبوكلوريت الصوديوم بصيغته الكيميائية (NaOCl) والذي يصل إلينا بشكل محلول .

وهيبوكلوريت الكالسيوم (HTH) بصيغته الكيميائية ($Ca(OCl)_2$) الذي يصل إلينا بشكل حبيبات بيضاء إلى رمادية اللون .

تم إجراء هذا البحث على المياه الخام (مياه نهر العاصي) الداخلة إلى محطة تنقية مياه شرب مدينة حمّاه في القصير وذلك في مخابر محطة المعالجة في القصير وكذلك مخبر قسم الهندسة البيئية بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث ، وتم إجراء بعض التجارب في معمل السماد الأزوتي ومديرية الموارد المائية في حمص ومؤسسة مياه الشرب والصرف الصحي في حمص .

2.1. الهدف من البحث المقام :

كان يتم في السابق تطهير مياه الشرب لمدينة حماة بواسطة غاز الكلور، وذلك في محطة القصير لمعالجة مياه الشرب حيث تزود مدينة حماة بمياه الشرب من نهر العاصي الذي يدخل الأراضي السورية عند منطقة حوش السيد علي، وتمر المياه عبر قناة بطول حوالي 12km إلى القصير ومنها تدخل إلى محطة المعالجة حيث تخضع إلى عمليات المعالجة في المحطة لتصبح المياه صالحة للشرب ومن ضمن هذه العمليات التعقيم .

إلا أن استخدام غاز الكلور المستعمل في تطهير مياه الشرب كسلاح كيميائي أثناء الحرب على سوريا في بعض الأماكن تسبب في حظر استعماله من قبل المنظمات الدولية ، حيث أن غاز الكلور قاتل ولو كان بتركيز منخفضة تصل إلى 0.1% بالهواء من حيث الحجم.

ويهدف البحث إلى تحديد البديل الأفضل في تعقيم مياه شرب مدينة حماة من كل من هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم، وذلك بعد تحديد الجرعة المطلوبة من هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم وفق الشروط الصحية وهي الجرعة التي تحقق كلور متبقي في المياه ضمن الحدود (0.2-0.5mg/l) بعد 30 دقيقة من تجريع البديل ، دون أية أخطار محتملة عن استخدام هذه البدائل لتتكامل عملية تطهير مياه شرب مدينة حماة بهذه البدائل.

بالإضافة إلى استنتاج معادلات رياضية تربط الجرعة المستخدمة مع العوامل المؤثرة بها والتي هي:

1. زمن التماس
2. جرعة هيبوكلوريت الكالسيوم أو هيبوكلوريت الصوديوم
3. الكلور المتبقي
4. الاحتياج الكيميائي للأوكسجين كعامل مهم يؤثر على استهلاك الكلور فكلما زادت قيمة COD زادت قيمة الكلور المستهلك وبالتالي زادت الجرعة المطلوبة من الكلور .

3.1. تطهير المياه [1]

يعتبر الماء ثاني أهم العناصر الضرورية للإنسان بعد الأكسجين الذي نستشقه من الهواء. وكما أن الماء لازم لاستمرار الحياة فقد يكون سبباً في القضاء عليها إذا استعمل ملوثاً بجراثيم الأمراض مثل التيفوئيد والدوسنتاريا والكوليرا أو غيرها، والاهتمام بالماء وما ينقله من أمراض ليس وليد العصر الحديث فلقد أوصى به أبقرات (إله الطب عند القدماء) بغلي الماء الذي يستعمل للشرب كما ظهر واضحاً على اللوحات الأثرية التي خلفها المصريون القدماء أنهم كانوا يقومون بغلي الماء قبل استخدامه للشرب.

وتطهير مياه الشرب أمر ضروري حرصاً على صحة المواطنين وضماناً لسلامتهم. وعملية التطهير في معالجة المياه تهدف في المقام الأول إلى التخلص من كل أنواع الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض .

بخلاف التعقيم الذي يعنى القضاء على جميع انواع الكائنات الحية من أي نوع سواء كانت مسببة للأمراض أو غير ممرضة على شكل طور نشط أو أي شكل آخر.

عملية تطهير المياه هي أهم خطوة من خطوات معالجة المياه فهي التي تضيف عليه صفة الصلاحية وتؤمنه ضد الأمراض المنقولة بالمياه Waterborne diseases وتتم عملية تطهير المياه بطرق متعددة منها:

المعالجة الحرارية:

وهي أول طريقة تم اكتشافها منذ سنوات عديدة ويتم فيها غلي الماء باستخدام الغلايات، ولا تستخدم هذه الطريقة في إنتاج كميات كبيرة من المياه نظراً لارتفاع تكلفة الطاقة المطلوبة لذلك، وتستخدم هذه الطريقة في تحلية المياه المالحة.

المعالجة الإشعاعية:

وتتم عن طريق مرور المياه علي لمبة تنتج أشعة فوق بنفسجية ويجب أن تكون المياه خالية من العكارة وقريبة جداً من سطح اللبة المشعة، لذا لا تستخدم هذه الطريقة إلا في إنتاج الكميات الصغيرة من المياه.

المعالجة الكيميائية:

يمكن استخدام العديد من المواد الكيميائية بهدف تطهير المياه ومنها : الكلور (الكلورة)، ثاني أكسيد الكلور، برمنغنات البوتاسيوم، الأوزون، هيبوكلوريت الصوديوم، هيبوكلوريت الكالسيوم ، الجير، البروم، اليود. و الشروط الواجب توافرها في المواد المطهرة هي :

- أن تكون قاتلة للجراثيم.
- ألا تؤثر على صحة الإنسان.
- أن تكون رخيصة الثمن.
- أن يكون استعمالها سهلاً ومأموناً.
- أن تكون متوفرة محلياً أو العمل على استيرادها طوال العام.
- أن يكون تخزينها سهلاً وآمناً.

4.1. التعقيم بواسطة الكلور Chlorination : [16]

الكلور هو المطهر الأكثر استخداماً لتثبيط مسببات الأمراض التي تنقلها المياه وتاريخياً يمكن القول أنه وفر أكبر مساهمة في حماية الصحة العامة وحماية المستهلكين ، حيث يؤمن وجود بقية منه حماية ضد إعادة التلوث في نظام التوزيع ويضمن الامتثال الميكروبيولوجي أي وصول المياه بالشروط الصحية لصنوبر المستهلك .

الكلورة هي عملية بسيطة نسبياً وفعالة من حيث التكلفة والتي لا تتطلب تقنية معقدة وخبرة طويلة ، و تمكنا هذه العملية من التعامل مع أنظمة توريد مختلفة الأحجام عن طريق تغيير الجرعات وفقاً للمطلوب.

يستعمل الكلور على نحو أساسي لتعقيم مياه الشرب ومياه المجاري ومياه حمامات السباحة، كما يستعمل لتخليص مياه الشرب من الرائحة والطعم واللون وذلك بأكسدته للمواد العضوية .

ومن بعض أشكال المركبات المائية للكلور المستخدمة في كيمياء المياه :

حمض الهيبوكلوريت HOCL ، شاردة الهيبو كلوريت OCL^-

ويعد غاز الكلور Cl_2 الذي يباع في أسطوانات خاصة هو الأكثر استخداماً في تكنولوجيا المياه.

5.1. غاز الكلور:

1.5.1. الخواص الكيميائية والطبيعية: [17,14,3]

- غاز أصفر مخضر يكون مركز اللون وهو سائل ويكون عديم اللون مع التركيز المنخفض له رائحة نفاذة ولاذعة ويثير ويهيج العين مسبباً انفعالات ودموعاً⁽³⁾.
 - الوزن الذري للكلور $35.457 \text{ gr.mol}^{-1}$ ، الوزن الجزيئي للكلور $70.914 \text{ gr.mol}^{-1}$.
 - أثقل من الهواء بحوالي 2.5 مرة حيث أن الكثافة النسبية للغاز عند الصفر المئوي 2.486 وعند 100°M 2.461⁽¹⁷⁾.
 - عند تبريده أو ضغطه يتحول إلى سائل لزج لونه أصفر وأثقل من الماء بمقدار 1.5 مرة حيث أن كثافة الغاز 3.2 gr/liters ، كثافة السائل 1460 gr/liters وهذا يعني أن كيلو غرام واحد من السائل يعطي 0.315 مترمكعب غاز⁽¹⁷⁾ .
 - وحدة الحجم من الكلور السائل تتحول إلى 456.8 وحدة حجمية من الغاز النقي عند درجة حرارة الصفر المئوي وتحت الضغط الجوي ، أي أن المتر المكعب من الكلور السائل إذا انتشر كغاز ثقيل يمكن أن يغطي آلاف الأمتار المكعبة من الأرض بالهواء الملوث بغاز الكلور⁽¹⁷⁾ .
 - غاز الكلور شحيح الذوبان في الماء وترتبط قابلية الذوبان بدرجة الحرارة السائدة كما في يوضح الجدول (1-1)⁽¹⁷⁾ .
- الجدول (1-1): تغير ذوبان الكلور في الماء وفق درجات الحرارة.

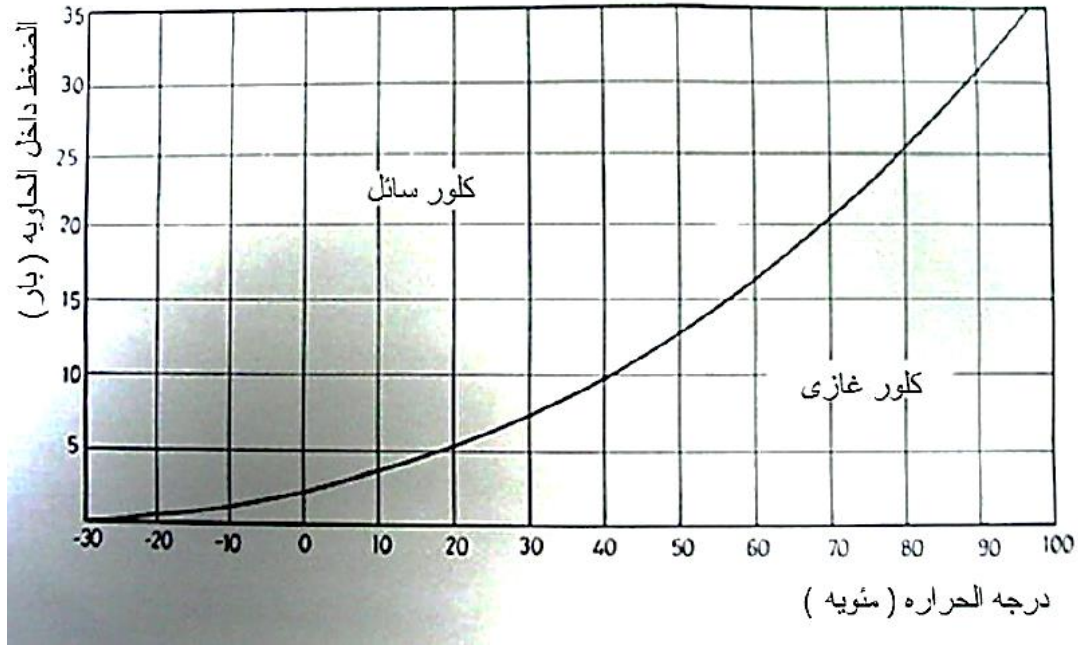
درجة الحرارة $^\circ\text{M}$	0	10	15	20	25
Chlorine gas (gr)/100 (gr) water	1.46	0.98	0.83	0.71	0.64

علماً بأن الماء المشبع بالكلور بدرجة حرارة أقل من 9.6°C يتحول إلى بلورات هيدرات الكلور التي تسبب انسداداً في مواسير المنظومة .

- عامل مؤكسد قوي وعندما يختلط مع الماء يصبح أكالاً لمعظم المواد فيما عدا الزجاج الخزف وبعض اللدائن ، لذا يجب أن تصنع وحدة التعقيم بالكلور من خامات موائمة معه⁽¹⁴⁾ .
- غير قابل للاشتعال في الهواء ولكنه مثل الأوكسجين يساعد على الاشتعال فالكثير من المعادن تشتعل بمساعدة الكلور في درجات الحرارة المرتفعة⁽¹⁴⁾ .
- غير موصل للتيار الكهربائي⁽¹⁴⁾ .

- يعبأ غاز الكلور مسالاً تحت ضغط في اسطوانات مصنعة من الحديد للسعات الكبيرة (1-0.5 ton) أما السعات الصغيرة (40-50-60 kg) فهي عبوات كلور مصنوعة من الصلب بالسحب ومتكررة التعبئة علماً بأن الضغط داخل هذه الاسطوانات يتغير مع درجة حرارة الوسط المحيط⁽¹⁷⁾.

يبين الشكل (1-1)⁽¹⁷⁾ العلاقة بين الضغط في حاوية الكلور ودرجة حرارة الوسط المحيط.



الشكل (1-1): العلاقة بين الضغط في حاوية الكلور ودرجة حرارة الوسط المحيط

- حد التعرض المسموح به للرائحة في الهواء الجوي كحد أقصى للأمان هو 1 جزء في المليون أو هواء $3\text{mg}/\text{m}^3$ ⁽¹⁷⁾.
- عند اختلاطه مع غاز الهيدروجين ينتج خليطاً قابلاً للانفجار يتأثر بالحرارة أو الضوء بما في ذلك الشمس⁽¹⁷⁾.

2.5.1. التأثيرات الفيزيولوجية لغاز الكلور : [17]

- الكلور مهيج لأنسجة الجهاز التنفسي وأغشية الأنف والجلد عموماً وإذا استنشق بتركيز مرتفع قد يسبب الموت بتأثيره الخانق والأعراض التي تظهر على المصاب باستنشاق الكلور تتطور بزيادة كمية الكلور ومدة التعرض كالآتي :

- بعد الاستنشاق فوراً يشعر المصاب برائحة نفاذة مهيجة.
- يتبعها دموع كثيرة وعطس وسعال وكذلك ضيق وشعور بضغط على الصدر ومعه إغماء وقيء.
- يكون السعال مصحوبة بإفرازات رغوية ملوثة بالدماء لتورم الرئتين .
- زرقة على الشفتين والأنف ويصبح المصاب مرهقاً ،جلده بارد مع تعرق ونبض سريع وضعف وتنفس غير عميق .
- قبل الوفاة بقليل قد يحدث هذيان (كلام دون وعي) وإغماء ولكن في العموم يبقى المصاب متنبهاً للنهاية ويحدث الموت من الانطباق والالتهاب الرئوي والحموضة في الدم .

قد يشفى المصاب من الأمراض السريعة السابقة ثم يتوفى بعد ذلك من المضاعفات الرئوية(ولقد حددت القوانين في مختلف الدول نسبة الكلور المسموح بها في الهواء بجزء واحد بالمليون بالحجم) .

ويوضح الجدول (2-1)⁽¹⁷⁾ تأثير التعرض للكلور باختلاف تركيزه .

الجدول (2-1): تأثير التعرض للكلور باختلاف تركيزه

نسبة تركيز الكلور في الهواء (ppm)	تأثير استنشاق الغاز
1	ظهور أعراض بسيطة عند التعرض لعدة ساعات
3-4	يشعر الأنف العادي بالرائحة الخاصة
4	الحد الأقصى للتعرض دون خطورة من نصف الى ساعة واحدة
10-15	أقل تركيز يسبب الاحتقان السريع بالحلق
30	حدوث الكحة والدموع والعطس
60-40	تأثيرات خطيرة بعد حوالي النصف ساعة
100	حدوث الموت بعد التعرض لعدة دقائق (أقل من نصف ساعة)
1000	حدوث الموت في دقائق معدودة

3.5.1. استخدامات الكلور في تطهير المياه : [18,16,14]

بدأ استخدام الكلور في عملية تطهير المياه منذ القرن التاسع عشر حيث تم استخدام الكلور لأول مرة في عام 1850 عندما استخدمه جون سنو في نظام توزيع المياه في لندن من أجل مكافحة الكوليرا. وبالمثل، بدأت المدن الأمريكية مثل شيكاغو ونيو جيرسي، واستخدمت مادة الكلور في جميع البلدان عام 1908م وهي خطوة أدت إلى انخفاض كبير في عدد الوفيات الناجمة عن الكوليرا والتيفوئيد والإسهال والالتهاب الكبدي (A) خصوصاً أن هذه الأمراض استطاعت أن تقتل من البشر أكثر مما قتلت الحروب العالمية ، فمنذ ذلك الوقت وحتى يومنا هذا يتم استخدام مادة الكلور لمعالجة معظم مياه الشرب في العالم ، فهو سهل وغير مكلف وموثوق فيه فقد أصبح الكلور الآن متاحاً على نطاق واسع وفي بلدان مختلفة مع علامات تجارية وأسماء مختلفة⁽¹⁴⁾.

تطهير المياه كما ذكرنا سابقاً يعني قتل وإبادة الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض والملوثة للمياه ، وبالتأكيد عملية التطهير لا تغني عن باقي عمليات التنقية من ترويق وترشيح وترسيب بل هي عملية مكملتها.

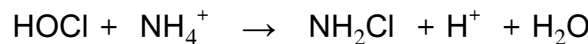
يعتبر الكلور ومركباته مثل هيبوكلوريت الكالسيوم (بودرة) وهيبوكلوريت الصوديوم (سائل) من أكثر المطهرات شيوعاً في عمليات المياه الكبرى بينما يستعمل الأوزون والأشعة فوق البنفسجية أحياناً في بعض العمليات الصغرى وتطهير حمامات السباحة⁽¹⁶⁾.

يتميز الكلور بسهولة الحكم على فاعلية تطهيره للمياه بقياس الكلور المتبقي بعد فترة من إضافة الجرعة المناسبة منه إلى المياه بشرط أن تحقق هذه الجرعة المضافة قدراً من الكلور المتبقي يتراوح بين (0.2-0.5 mg/l) بعد 30 min من إضافة الجرعة⁽¹⁸⁾.

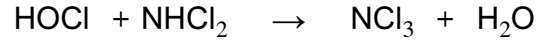
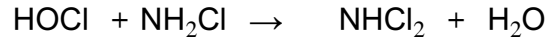
وذلك للمحافظة على نوعية المياه في شبكة التوزيع وللمحد من حالة انتشار الأمراض المعدية التي تنتقل عن طريق المياه .

4.5.1. العوامل المؤثرة على فاعلية الكلور في التطهير: [17,1]

- جرعة الكلور : تزيد فاعلية الكلور في قتل الكائنات الحية الممرضة كلما زادت جرعة الكلور .
 - طريقة إضافة الكلور : وُجد أن إضافة الكلور كغاز أكثر فاعلية من إضافته كمحلول وهذه أكثر فاعلية من إضافته على شكل مسحوق لأحد مركباته⁽¹⁷⁾.
 - فترة التلامس : كلما زاد زمن التلامس مع المياه الملوثة زادت فاعلية الكلور إلى نقطة معينة .
 - درجة الحرارة السائدة : كلما ارتفعت درجة الحرارة المحيطة فإن جرعة الكلور تقل للحصول على نفس كفاءة التطهير⁽¹⁷⁾.
 - عكارة المياه المطلوب تطهيرها : كلما زادت درجة عكارة المياه زادت جرعة الكلور المطلوبة، إذ أنَّ الميكروبات تحتمي بالمواد المسببة للعكارة و جزء من الكلور المضاف يتفاعل مع مكونات العكارة⁽¹⁷⁾.
 - قلوية وحامضية المياه (درجة pH)⁽¹⁷⁾.
 - نوع وعدد الكائنات الحية المراد القضاء عليها : كلما زاد عدد ونوع الكائنات الحية الممرضة المراد القضاء عليها كلما زادت الجرعة المطلوبة⁽¹⁷⁾.
 - وجود مركبات نتروجينية بالمياه N.Compounds : تزيد فاعلية الكلور في قتل البكتريا بوجود المركبات النتروجينية .
- في حال كان الماء المعالج خالياً من مركبات الأمونيوم : نلاحظ في هذه الحالة أن كمية الكلور المتبقي تتناقص على نحو واضح بعد تجريعه مباشرة وبعد بضع دقائق يقل الكلور المتبقي بتدرج أكبر أما في شبكة المياه العذبة فلا نلاحظ أي أثر متبقٍ للكلور .
- في حال الماء المعالج يحتوي بعض الأمونيوم: في هذه الحالة يتحول جميع الكلور إلى أول كلور الأمونيوم (NH₂Cl) لأنه عندما يضاف الكلور إلى الماء المحتوي على الأمونيوم فإنه يحدث التفاعل التالي :



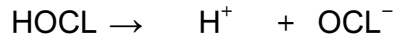
أي أننا نحصل على مادة أول كلور الأمونيوم أما بإضافة فائض من الكلور فإننا نحصل على ثاني كلور الأمونيوم ثم على ثالث كلور النتروجين كما في التفاعلين التاليين :



يكون انخفاض الكلور المتوفر بطيئاً جداً وسوف تبقى كمية من الكلور المتبقي ثابتة لفترة طويلة من الزمن حتى لأيام تظهر عند صنوبر المستهلك . أما إذا كانت المياه لا تحتوي على الأمونيوم وكنا نريد أن نحصل على كمية من الكلور المتبقي في شبكة مياه الشرب فيمكن أن نضيف إلى الماء المنشادر على شكل كلور الأمونيوم وذلك قبل إضافة الكلور للتعقيم⁽¹⁾.

5.5.1. تفاعلات الكلور مع المياه: [1,12]

الكلور عامل مؤكسد قوي ونشط يتفاعل مع المواد العضوية وفيما يلي معادلات تفاعل الكلور مع الماء⁽¹⁾:



يعتبر حمض هيبوكلوريت HOCL الناتج الرئيسي من تفاعل الكلور و مركباته في الماء ويتحلل جزء من هذا الحامض مع ارتفاع قيمة الأس الهيدروجيني pH إلى ايون OCL^- الهيبوكلوريت .
يمثل الحمض مع ايون الهيبوكلوريت في الماء ما يسمى بالكلور الحر المتبقي ، إلا أن تركيز كل منهما يختلف بالنسبة للآخر باختلاف قيم الأس الهيدروجيني pH حيث يزداد الحمض بازياد قيمة pH وفي المقابل يقل تركيز الأيون والعكس صحيح ، كما يوضح الجدول (3-1)⁽¹²⁾

الجدول (3-1): تركيز HOCL و OCL^- تبعاً لدرجة pH في درجة حرارة 20°C

pH	4	5	6	7	8	9	10	11
$\text{OCL}^- \%$	0.05	0.5	2.5	21	75	97	99.5	99.9
$\text{HOCL} \%$	99.95	99.5	97.5	79	25	3	0.5	0.1

تبين أنه عند الدرجة 20°C عندما تكون قيمة $\text{pH} = 7.5$ تكون فاعلية كل من HOCL و OCL^- متساوية وتحت القيمة 7.5 يسود النوع HOCL في حين فوق هذه القيمة يسود النوع OCL^- لكن فاعلية التعقيم للحمض HOCL أشد فاعلية ب (80-100) مرة من تلك العائدة للشاردة (OCL^-) ولهذا الأسباب يكون فعل تعقيم الكلور في الوسط الحمضي أقوى منه في القلوي⁽¹²⁾.

6.1. أداء التطهير : [1]

1.6.1. التطهير الأولي :

تعتمد توصيات منظمة الصحة العالمية للكلور الحر المتبقي في المياه (C) 0.5mg/l بعد 30min من زمن تماس (T) ضمن رقم هيدروجيني أقل من 8 وعكارة أقل من 1 NTU .
C*T نتاج هاتين القيمتين مصطلح يعبر عن فعالية المعالجة الكيميائية .
يجب الانتباه إلى الأمور التالية عند عملية التطهير الأولي:
مستويات التلوث المتغيرة مع مسببات الأمراض
مدى فعالية عمليات المعالجة والتطهير للتهيئة للتطهير النهائي .
التغيرات المتعلقة في درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني .
وتشمل المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية (2004) توصيات لقيم الكلور لأنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة، حيث يبين الجدول (1-4)⁽¹⁾ توصيات قيم الكلور لأنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة.

الجدول (1-4): توصيات قيم الكلور لأنواع مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة

الكائنات الممرضة	الأس الهيدروجيني pH	الحرارة °C	C*T mg/l.min
بكتيريا	7	<2	0.08
	8.5	<2	3.3
فيروسات	7-7.5	<5	12
	7-7.5	10	8
جيارديا	7-7.5	0.5	230
	7-7.5	10	100
	7-7.5	25	41

2.6.1. التطهير الثانوي :

من المهم تحقيق قيمة الكلور المتبقي أو C*T لمنع التلوث في النقاط التالية لمنشآت التطهير الأولي للحفاظ على أمن الشبكة ضد التلوث في مختلف نقاطها .
يشتمل التطهير الثانوي على وجود منشآت للتطهير ضمن نقاط معينة ضمن شبكة التوزيع إن احتاج الأمر وذلك للحفاظ على قيمة الكلور المتبقي المطلوب تحقيقها .

7.1. أماكن إضافة الكلور بغرض تطهير المياه: [4]

يتم إضافة الكلور إلى الماء بأكثر من موقع في المحطة طبقاً لحالة كل محطة وكذلك طبقاً لمواصفات

الماء المعالج في كل حالة وتبعاً للتجارب والقياسات والخبرات المتاحة كما يلي :

• الكلورة البدائية (إضافة الكلور قبل عملية التنقية): وتتميز هذه الطريقة بالآتي:

○ القضاء على الطحالب والسيطرة على نموها .

○ خفض عدد البكتيريا في الماء قبل وصولها لعملية الترويق وذلك يخفف الحمل البكتيري على

المروقات والمرشحات .

○ تحد من نمو الكائنات الحية الدقيقة في المروقات والمرشحات .

○ تعطي كفاءة عالية في إزالة اللون والطعم والرائحة من المياه .

○ تقليل كمية المواد المروية .

○ تطهير المروقات والمرشحات .

• الكلورة النهائية (الحقن في مدخل خزان المياه النقية) Post Chlorination:

أي إضافة الكلور بعد عملية الترشيح أي في مدخل خزانات المياه النقية .

• الكلورة المتوسطة (إضافة الكلور بعد الترويق وقبل الترشيح) Medium Chlorination :

وتتبع هذه الطريقة إذا كانت المياه رائقة والتلوث البكتيري عالياً نسبياً حيث يضاف الكلور بعد أحواض

الترسيب (المروقات) وفي مدخل عملية الترشيح لضمان كفاءة عملية الترشيح .

• إضافة الكلور في أكثر من موقع :

تستعمل هذه الطريقة في مدخل الخزانات الأرضية وخاصة إذا خزنت المياه لفترات طويلة ،كذلك يضاف

في نقاط مختلفة في شبكة التوزيع في حالات طول المسافة أو تلوث الشبكة بعد أعمال الصيانة أو

الغسيل وذلك لضمان كفاءة عملية التطهير .

8.1. الجرعات النمطية للكلور : ^[17]

يبين الجدول (5-1) ⁽¹⁷⁾ الجرعات النمطية للكلور .

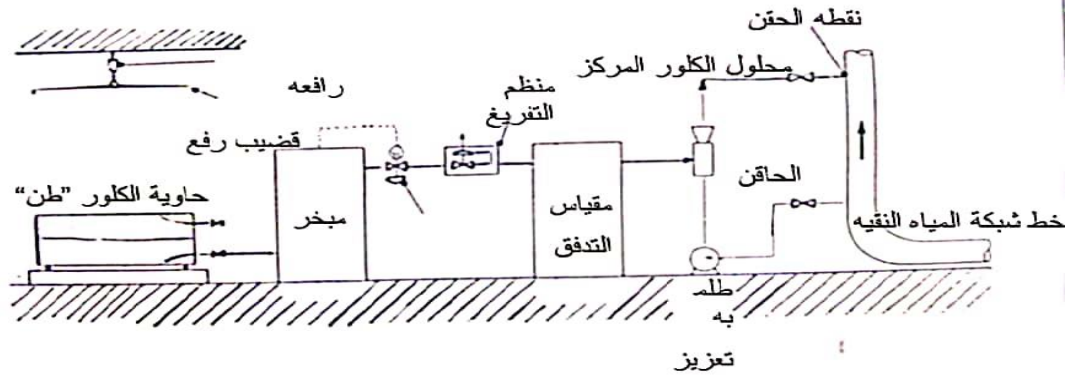
الجدول (5-1): الجرعات النمطية للكلور

الجرعة النمطية mg/l	الغرض	المعالجة
حتى 5	كلورة بدائية	مياه للشرب أو الطهو
حتى 0.5	كلورة نهائية	
5-3	ضبط الطعم (المذاق) والرائحة	
2-10	ضبط بكتيريا الحديد	
Fe 0.63	ترسيب الحديد	الأكسدة
Mg 1.3	ترسيب المنغنيز	
H ₂ S 2.1	ضبط رائحة كبريتيد الهيدروجين	
H ₂ S 8.4	القضاء على كبريتيد الهيدروجين	
10-15	مياه الصرف الصحي الخام وضبط الرائحة	مياه الصرف
10-8	استقرار التدفق الابتدائي	
3-10	مرشحات التدفق الابتدائي	
2-8	تدفق الحمأة المنشطة	
2-5	تدفق المرشح الرملي الثلاثي	
30-45	تدفق خزان التخمر	
5-10	إنقاص الأوكسجين الحيوي المطلوب	
5-1		
		حمامات السباحة

تختلف جرعة الكلور طبقاً لنوعية المياه المعالجة والغرض منها، حيث يبين الجدول (5-1) قائمة استرشادية بالجرعات المستخدمة في مياه الشرب والصرف الصحي وأحواض السباحة و الأكسدة .

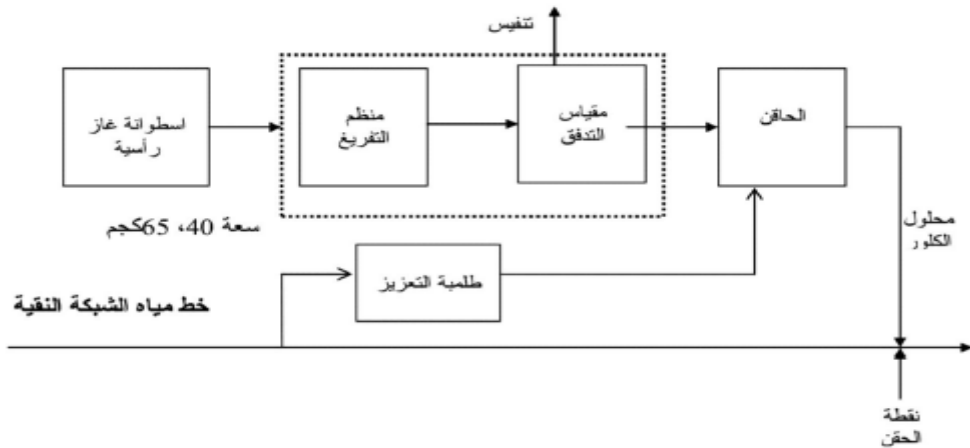
9.1 منظومة الكلور : [17]

يتم تصميم منظومة تعقيم في محطة معالجة مياه الشرب لتقديم الكلور من أجل معالجة المياه حيث يراعى توفر ضاغط معين لضمان تدفق الكلور السائل بحيث يختلط مع المياه وينحل بها وفق درجات الجرعات المحسوبة والتي تؤمن معالجة المياه المطلوبة والمحددة عند الدراسة، وينبغي توفر خط جيد عند نقطة التجريع باستخدام خلاطات إن لزم الأمر. وتتنوع عبوات الكلور السائل المستخدمة مع منظومة الكلور من حيث السعة، طبقاً لمعدلات الحقن المطلوبة وفترات تشغيل المحطة وطاقاتها الإنتاجية . تبين المخططات من (1-1)⁽¹⁷⁾ إلى (3-1)⁽¹⁷⁾ المكونات الرئيسية لمنظمة الكلور باختلاف أحجام عبوات الكلور .



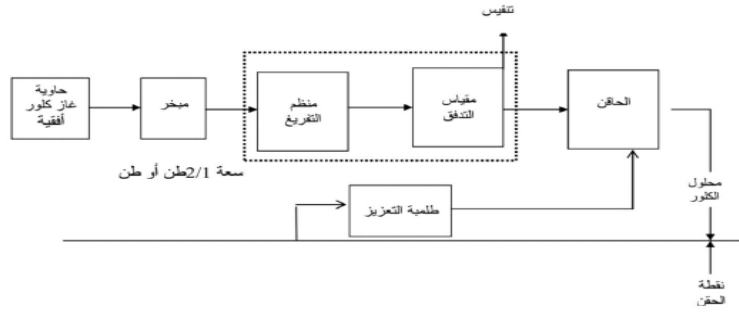
المخطط (1-1) : المكونات الرئيسية في منظومة الكلور باستخدام اسطوانات طن

○ عبوات الكلور :



المخطط (2-1) : المكونات الرئيسية لمنظومة الكلور باستخدام عبوات كلور سعة 40,65 kg

اسطوانات :



المخطط (3-1) : المكونات الرئيسية لمنظومة الكلور باستخدام اسطوانات كلور سعة 0.5-1 ton .

- وحدة تعقيم بغاز الكلور داخل محطة لتنقية مياه الشرب:

توضح الأشكال من (2-1) إلى (4-1) مكونات وحدة تعقيم في محطة معالجة مياه شرب



الشكل (3-1): أجهزة أتمتة الجرع ضمن وحدة التعقيم

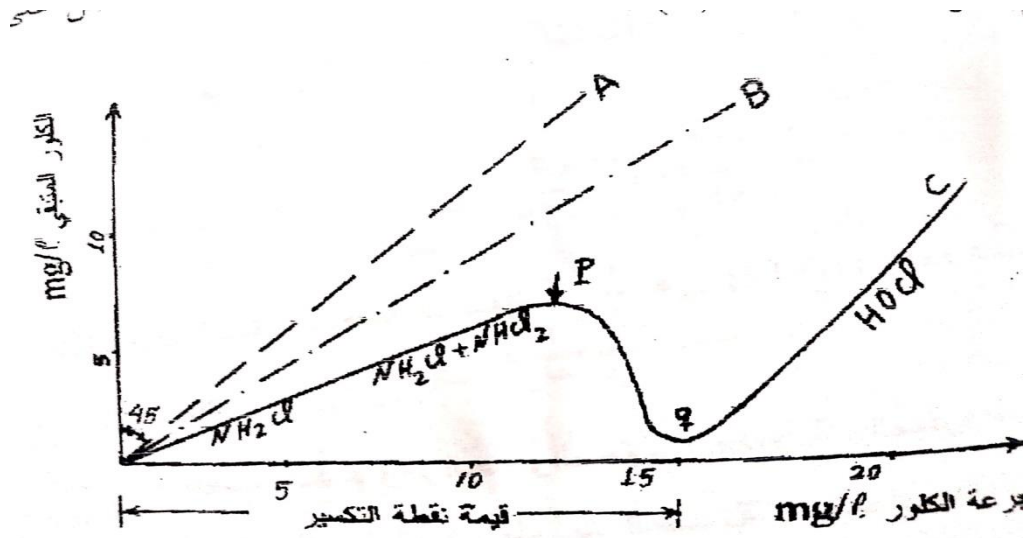
الشكل (2-1) مبنى وحدة التعقيم



الشكل (4-1): اسطوانات الكلور ضمن وحدة التعقيم

10.1. كلورة نقطة التفسير : [12]

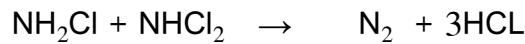
ذكرنا سابقاً مدى تأثر عملية الكلورة بوجود مركبات النتروجين . تستعمل نقطة تفسير الكلور إذا كان الماء يحتوي على النشادر وكنا نريد إزالة هذا النشادر بواسطة الكلورة . الخط المستقيم A على الشكل (3-5)⁽¹²⁾ يوضح العلاقة بين جرعة الكلور وبين كمية الكلور المتبقي في مياه نقية كيميائياً وهو يميل عن الأفق بزاوية 45° درجة، أما في حالة مياه تحتوي على كمية من المواد اللاعضوية كمركبات (NO₂) والمواد العضوية التي ممكن أن تتأكسد بالكلور فإننا نحصل على الخط (B) أخفض بقليل من الخط (A) .



الشكل (1-5): العلاقة بين جرعة الكلور وكمية الكلور المتبقي في المياه وذلك بعد فترة تماس كافية مقدارها عشرون دقيقة .

إذا كان الماء يحوي على مركبات النشادر فإننا نحصل على المنحني (C) للعلاقة بين جرعة الكلور المعطى وكمية الكلور المتبقي إذ أنه عند الجرعات المنخفضة للكلور يتشكل أول كلور الأمونيوم وبزيادة جرعة الكلور يتشكل أيضاً ثاني كلور الأمونيوم .

كلا مركبي أول وثاني كلور الأمونيوم غير مستقرين لذلك يحدث التفاعل التالي :



يحدث هذا التفاعل بين النقاط p و q ويقل الكلور المتبقي بشكل سريع ويظهر غاز الآزوت . إن جميع الكلور المضاف بعد ذلك وإن غابت مركبات النشادر عن المياه سوف يظهر بشكل كلور حر (HOCL, OCL⁻) .

11.1. تعريف عن البدائل المقترحة عوضاً عن غاز الكلور : [9,3,5]

إن استخدام مركبات الهيبوكلوريت في تعقيم مياه الشرب يؤدي إلى نفس النتائج عند التعقيم باستخدام الكلور .

1.11.1. هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCL) Commercial sodium hypochlorite⁽³⁾:

الوصف : يوجد على هيئة مسحوق أبيض أو غالباً محلول رائق يميل إلى الاصفرار .
الرائحة : مثل رائحة غاز الكلور .

اكتشافه : يعرف هيبوكلوريت الصوديوم باسم ماء جافيل، أو جافيل فقط، اكتشفه الكيميائي الفرنسي كلود لويس برتولي في عام 1755 م.

يبين الجدول (1-6)⁽³⁾ الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الصوديوم NaOCL كمحلول مائي يتضمن 15% من الكلور المتاح ، وهنا تجد الإشارة أن هيبوكلوريت الصوديوم يمكن أن يتواجد في منتجات عديدة وعلى نطاق واسع وفي عدد كبير من المحاليل وعليه قد تختلف الخواص النهائية للحل .

الجدول (1-6): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الصوديوم

الظروف	NaOCL	الخصائص
	اللون أصفر مع رائحة مميزة	الحالة الفيزيائية
	يتصلب بحوالي 25°C	نقطة الانصهار
	107°C	نقطة الغليان
20°C	1.193 gr/cm ³	الكثافة
20°C	20 hPa	ضغط البخار
20°C	82.4 mN/m	التوتر السطحي
	كاملة الذوبانية	الذوبانية في المياه

2.11.1. استخداماته الرئيسية⁽³⁾:

- 1- يستخدم في تطهير المياه.
 - 2- إزالة الروائح الكريهة .
 - 3- يستخدم في عملية تطهير المسابح باستمرار .
- تبين الأشكال (1-6) خزانات تعبئة هيبوكلوريت الصوديوم والشكل (1-7) محلول هيبوكلوريت الصوديوم.



الشكل (1-7): محلول هيبوكلوريت الصوديوم

الشكل (1-6): خزانات تعبئة هيبوكلوريت الصوديوم

3.11.1. تأثيره على الصحة⁽⁵⁾ :

هيبوكلوريت الصوديوم مؤكسد قوي ، لذلك يدخل في تفاعلات الأكسدة المسببة للتآكل ، وعندما يكون على شكل محلول فإنه قد يسبب حرقاً في الجلد وقد يصيب العين بأضرار ، خاصة عند استخدامه بتركيز عالية .

- يتم تصنيع هيبوكلوريت الصوديوم التجاري من خلال التفاعل بين الكلور وهيدروكسيد الصوديوم، وهو أكثر تكلفة من الكلور الغازي لكنه أسهل وأكثر أمناً للاستخدام من الكلور الغازي .
- هيبوكلوريت الصوديوم غير مستقر كيميائياً وتدرجياً يتحول إلى كلوريد الصوديوم و يصاحب ذلك انطلاق غاز الأوكسجين .
- المنتج التجاري يحوي الكوستيك صودا (مادة كاوية) يضاف لتحسين خصائص الاستقرار، الأمر الذي يتطلب التعامل بشكل دقيق جداً وخاصة مع قيم pH عالية .
- يوصى بأنه من غير المستحسن أبداً استخدام التجهيزات المعدنية عند استعمال الهيبوكلوريدات في النظام ، لأن ذلك بالنتيجة سيؤدي إلى تآكل هذه التجهيزات .
- يفضل تجرير هيبوكلوريت الصوديوم من خزانات مقاومة للتآكل عبر أنابيب غير معدنية ليصبح محلول ثابت ومستقر .

○ العوامل المؤثرة على حل هيبوكلوريت الصوديوم⁽⁹⁾ :

- ✓ وجود بعض المعادن أي الحديد والنحاس والكوبالت والنيكل .
- ✓ تعرض محلول الهيبوكلوريت إلى الأشعة فوق البنفسجية (ضوء الشمس).
- ✓ يزداد تفكك هيبوكلوريت الصوديوم مع الوقت و ارتفاع درجة الحرارة، كما يوضح الجدول التالي .

يوضح الجدول (7-1)⁽⁹⁾ تحلل الكلور في محلول هيبوكلوريت بدرجة حرارة 20 °C

الجدول (7-1): تحلل الكلور في محلول هيبوكلوريت الصوديوم في درجة حرارة 20°C

التركيز الأولي للكلور	بعد 20 يوم	بعد 100 يوم
15% available chlorine	13%	10%
13% available chlorine	12%	8%
10% available chlorine	9%	8%
6.5% available chlorine	6.2%	6%

يزداد معدل الانحلال بزيادة تركيز الكلور ودرجة الحرارة.

4.11.1. لمنع الانحلال الزائد للهيبوكلورايد وللجرعات التي تؤدي لتشكيل الكلورات ،يجب أن

يأخذ الدارس بعين الاعتبار الأمور التالية⁽⁹⁾ :

- دقة التركيز المطلوب من الهيبوكلورايد والذي يمكن أن يؤثر على حجم خزانات التخزين.
 - التأثيرات الكيميائية من التفاعلات التي تتم في الموقع .
 - حساب المدة اللازمة لتكرار حقن المواد الكيميائية اللازمة .
 - درجة الحرارة المطلوب تأمينها لحفظ هذه المواد .
 - هيبوكلوريدات الصوديوم المصنعة في الموقع⁽⁵⁾ :
- وتتم عن طريق التحليل الكهربائي لمحلول NaCl وذلك بأنه نحصل بداية على CL_2 عند المصعد و NaOH عند المهبط ثم تتفاعل مع بعضها مشكلة NaOCL:



5.11.1. هيبوكلوريت الكالسيوم Calcium hypochlorite Ca (OCL)_2 (3):

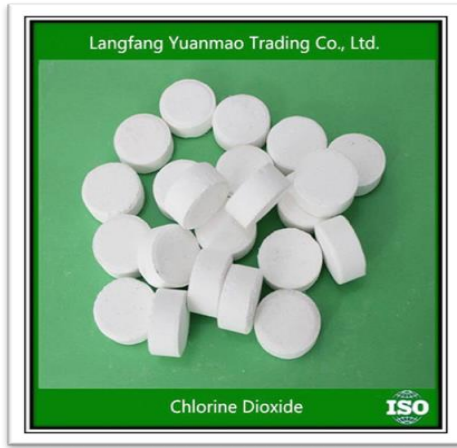
- يستخدم هيبوكلوريت الكالسيوم الذي يباع بشكل مسحوق أبيض أو على شكل أقراص عادةً لزيادة تركيز الكلور في خزانات الشرب بالمنازل أو في عمليات الكلورة الصغيرة .
- تصنع حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم على شكل جير مكثور (خليط من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 و ماءات الكالسيوم Ca (OH)_2 وهيبوكلوريت الكالسيوم Ca(OCL)_2) ويسمى .high test hypochlorite (HTH)

6.11.1. أهم الخواص (3):

- مادة صلبة بيضاء غالباً بتركيز % 65 من الكلور .
 - ثابتة كيميائياً لمدة تصل إلى العام .
 - لها خواص تأكلية و رائحة قوية .
 - يجب تخزينها بعيداً عن المواد العضوية مثل الخشب و القماش و المواد البترولية وإلا حدث تفاعل طارد للحرارة يتعبه انفجار او حريق .
 - يمتص الماء بسرعة ليكون غاز الكلور .
 - يتم أيضاً إذابته في الماء و حقنه في مياه الشرب مثل هيبوكلوريت الصوديوم .
- يبين الجدول (3-8) (3) الخواص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الكالسيوم
- الجدول (3-8): الخواص الفيزيائية والكيميائية لهيبوكلوريت الكالسيوم

الخصائص	Ca(OCL)_2	الظروف
الحالة الفيزيائية	مسحوق أبيض أو أبيض رمادي مع رائحة تشبه الكلور	
نقطة الانصهار	يتحلل بدرجة 175°C	
نقطة الغليان	لا يمكن تطبيقه	
الكثافة	2.35 gr/cm^3	
ضغط البخار	لا يمكن تطبيقه	
التوتر السطحي	لا يمكن تطبيقه	
الذوبانية في المياه	تقريباً 214 g/l	20°C

- يمكن تغذية هيبوكلوريت الكالسيوم للغزارات الكبيرة أو الصغيرة ، للغزارات الكبيرة يتم حل الكمية اللازمة في خزان الحل (والمصحوبة دوماً بالخلط) وتجرع وفق الجرعات المحددة لاحقاً.
- تستخدم للغزارات الصغيرة هيبو كلوريدات الكالسيوم على شكل أقراص ، تخسر هذه الأقراص حوالي 1-2% في السنة من تركيز الكلور اذا خزنت ضمن الشروط الصحيحة .
- تحدد التوصيات باستخدام هذه الاقراص ضمن مجال محدد $500m^3/d$ وذلك بسبب التكلفة و الصعوبات العملية للحل المائي للهيبوكلوريدات بشكلها الصلب ،وتصمم هذه الأقراص عادةً للاستخدام الفردي ويتضمن كمية محددة من الكلور لتطهير كمية محددة من المياه .
- يشمل كل من مسحوق هيبوكلوريدات الكالسيوم الحبيبية والأقراص إضافات لمنع تطاير المادة الفعالة ومنع امتصاص الرطوبة ،يجب فصل هذه الإضافات عن الهيبوكلوريد النشط المنحل لمنع انسداد المضخات والمعدات ويتحقق ذلك على النحو التالي للمنتجات الحبيبية عن طريق تأمين خزان خلط منفصل عن خزان التجريع ويستخدم الخلط الميكانيكي ،وبعد الخلط السليم تستقر المواد الغير قابلة للذوبان (الخاملة) قبل أن يصب المحلول في خزان التجريع .
- يبين الشكل (1-8) حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم والشكل (1-9) أقراص هيبوكلوريت الكالسيوم .



الشكل (1-9): أقراص هيبوكلوريت الكالسيوم



الشكل (1-8): حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم

12.1. استخدامات هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم : [3]

يبين الجدول (9-1)⁽³⁾ التالي النسبة المئوية لمجالات استخدام هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم في الاتحاد الأوروبي وفق تقرير تقييم المخاطر للهيبوكلوريت في الاتحاد الأوروبي الصادر عام 2007

الجدول (9-1): النسبة المئوية لاستخدام هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم في الاتحاد الأوروبي

النسبة المئوية للاستخدام %	الاستخدام
التنظيف والتطهير	
41%	استخدام منزلي
11%	معالجة مياه (شرب ، تبريد ، صرف صحي)
26%	تعقيم مسابح
26%	انتاج مواد كيميائية أخرى
4%	صناعة الغزل والنسيج
3%	صناعة الورق

يبين الجدول (10-1)⁽³⁾ الاستخدامات لكل من هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم المسجلة من قبل ECHA الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية للعام 2014م.

الجدول (10-1): استخدامات هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم المسجلة من قبل ECHA للعام 2014م

الاستخدام المحدد	المادة	*CAS NO
في عميات التصنيع	هيبوكلوريت الصوديوم NaOCL	7681-52-9
في عمليات التشكيل الخلط الصياغة		
الاستخدام كوسيط في الصناعة		
الاستخدام في صناعة الغزل والنسيج		
الاستخدامات في معالجة المياه (مياه المجاري ، التبريد ، التسخين)		
التنظيف		
صناعة الورق		
وسيط بتركيب المواد الكيميائية		
استخدامات التنظيف المتطورة		
صناعة المبيضات	هيبوكلوريت الكالسيوم Ca(OCL) ₂	7778-54-3
الاستيراد والتخزين		
عمليات صناعية مغلقة		

*CAS: كود رقمي تم تفعيله من قبل خدمة المستخلصات الكيميائية لكل مادة كيميائية موصوفة في الأدبيات العلمية المفتوحة (عضوية ، غير عضوية ، نظائر، سبائك ،....)

13.1. النفايات الناتجة عن صنع واستخدام هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم: [3]

يتم إنتاج NaOCl بتفاعل الكلور مع محلول هيدروكسيد الصوديوم وهذه العملية لا تنتج مياه صرف ومع ذلك أثناء عملية التعبئة قد تحدث انسكابات إلى مياه الصرف .

يتم تفريغ جميع محاليل الغسيل إلى محطات معالجة المياه العادمة وتحتوي المخلفات السائلة على الكلوريد . (EU risk assessment report 2007 - تقرير تقييم المخاطر الأوروبي)

يمكن تجاهل تطاير الهيبوكلوريت من المحاليل أو الاقراص في منتج $Ca(OCl)_2$ ، من الممكن انطلاق غاز الكلور أو الكلورامين عندما يكون الهيبوكلوريت ملامساً للأحماض أو مركبات النتروجين . من الممكن انسكاب محاليل الهيبوكلوريت إلى التربة ومع ذلك فإن التفاعل القوي لشاردة الهيبوكلوريت مع المادة العضوية وانخفاض الثبات عند التعرض للإشعاع يؤدي إلى اختفائه الفوري وتحوله إلى أيون كلوريد غير ضار .

وفقاً لخصائص كل من NaOCl و $Ca(OCl)_2$ فإن المخلف الرئيسي هو مياه الصرف الناتجة عن تركيب واستخدام المنتجات المحتوية لهذه المواد ، يستخدم الهيبوكلوريت بالأساس في منتجات التنظيف ومعالجة المياه ، تذهب المخلفات في النهاية إلى محطات معالجة مياه الصرف الصحي (في المناطق الحضرية)

وعلى الرغم من الإمكانيات القوية المضادة للميكروبات لأيون الهيبوكلوريت ، ليس هنالك حاجة لقلق كبير بشأن آثار تثبيط محتملة على معالجة مياه الصرف الصحي البيولوجية ، حيث لا يوفر أيون الهيبوكلوريت حمولة عضوية للفضلات السائلة التي قد تؤثر على الطلب على الأوكسجين البيولوجي BOD أو على COD ، يساهم هذا الأيون في الواقع بشكل ايجابي بتقليل COD عن طريق أكسدة المواد العضوية .

(ردود الفعل المؤكسدة التي يشارك بها أيون الهيبوكلوريت تؤدي إلى اختفائه حتى قبل الوصول إلى محطات الصرف الصحي .)

14.1. المخلفات الناتجة عن استخدام هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم في محطة القصير لمعالجة مياه الشرب:

بالنسبة لهيبوكلوريت الصوديوم يأتي بشكل سائل ويستخدم مباشرة بعمليات التعقيم لا مخلفات ناتجة عنها إلا ما قد ينسكب خلال عمليات النقل ومصيره إلى شبكة الصرف الصحي .

تشكل الترسبات الناتجة عن هيبوكلوريت الكالسيوم مشكلة مهمة جداً حيث يتم التخلص منها بالمحطة إلى شبكة الصرف الصحي (بعد حل الحبيبات واستخدام المحلول بعمليات التعقيم يتم التخلص من الترسبات إلى شبكة الصرف الصحي) .

من الأفضل أن يتم التخلص منها بطرق بيئية سليمة ونقترح :

○ أن تضاف الحبيبات بشكل مباشر إلى المياه الخام (أي دون تشكيل محلول من هذه الحبيبات) لكن تنخفض في هذه الطريقة فعالية التعقيم للحبيبات ، مع الانتباه إلى نقصان زمن تنظيف المرسبات على اعتبار تشكل مواد مترسبة أكثر .(بدلاً من كل 4 ساعات كل ساعتين بحسب ما يقتضيه الواقع العملي).

○ بعد حل الحبيبات واستخدام المحلول بعمليات التعقيم تؤخذ الترسبات وتجفف ، ومن الممكن استخدام هذه الترسبات كمادة مساعدة لتخثر الندف، تساعد في عمليات معالجة المياه بدلاً من كونها نفايات .

15.1. الآثار والأضرار البيئية لهيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم : [3,11]

1.15.1. المخاطر البيئية (11):

إيون الهيبوكلوريت ضار بالبيئة المائية ولكن نادراً ما يحدث ذلك الضرر .

يتم التخلص من النفايات المنزلية الآتية من الصرف الصحي من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تؤدي إلى تكوين إيون الكلوريد، وتدخل النفايات الصناعية عموماً إلى محطات معالجة الصرف الصحي وتتفاعل المادة (الهيبوكلوريت) وتزال قبل الوصول إلى البيئة .

تُرمى في بعض الأحيان محاليل الهيبوكلوريت مباشرة إلى البيئة من المنشآت الصناعية مثل محطات توليد الطاقة ولكن تم تقويم هذه المستويات على أنها آمنة ولا تسبب أضراراً للبيئة بسبب رد الفعل السريع للمادة مع المواد العضوية .

2.15.1. التصنيف (11) :

لكل من هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم تصنيف متشابه حيث وفقاً للاتحة الأوروبية لتصنيف المواد الكيميائية الخطرة وإبلاغ المستخدمين بهذه المخاطر (CLP regulation, No1272/2008)
تصنف بأنها مواد مائية حادة وسامة جداً للحياة المائية .

3.15.1. السمية في البيئة المائية (3):

التأثير المائي للهيبوكلوريت في البيئة المائية عندما تتراوح قيمة pH بين 6-8 هو نفسه لكل من أملاح الكالسيوم والصوديوم ، الأنواع الكيميائية ذات الأهمية البيولوجية هي حمض الهيبوكلوريت أو أيون الهيبوكلوريت حيث وفقاً لنموذج تحلل الهيبوكلوريت الذي طوره شركة Vandepitte and schowanek لتقرير تقويم المخاطر الأوروبي لهيبوكلوريت الصوديوم يمكن أن نخلص إلى أن نواتج الهيبوكلوريت في المسطحات المائية منخفضة عموماً بسبب التحلل السريع لأيون الهيبوكلوريت (تقرير تقويم المخاطر الأوروبي لعام 2007).

تحتوي البيانات التالية المستخرجة من قاعدة بيانات ECHA (الوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية) على حجم كبير من القياسات التي أجريت مع أنظمة حية مختلفة تتعرض للهيبوكلوريت الصوديوم ، وعلى الرغم من البحوث الجارية على $Ca(OCL)_2$ لم يتم العثور على بيانات تتعلق بالسمية البيئية .

(تُعزى سمية المواد إلى أيون الهيبوكلوريت نفسه.)

يوضح الجدول (11-1)⁽³⁾ السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للأسماك

الجدول (11-1): السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للأسماك

المؤشرات				
NOEC mg/l	LC50 mg/l	المدة	المياه	النوع
	0.032	96 h	مياه مالحة (مياه متدفقة)	سمك السلمون (كوهو)
	>0.023 <0.052	96 h		سمك السلمون الزهري
	>0.038 <0.065	96 h		سمك الرنجة
	0.065	96 h		Shiner perch
	0.071	96 h		سمك موسى
	0.073	96 h		Pacific sand lance
	0.082	96 h		سمك الشوك
	1.65– 2.87	27–72 h		سالمو جيرديني
0.04	0.09	96 h	مياه مالحة (مياه متدفقة)	Ocean spot
	0.14	24 h		
	0.2	96 h	مياه عذبة (مستقرة)	سالمو جيرديني
	0.58		مياه عذبة	سمك الخيشوم

ويوضح الجدول (12-1)⁽³⁾ السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للافقاريات

الجدول (12-1): السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للافقاريات

المؤشرات					
NOEC mg/l	LC50 mg/l	EC50 mg/l	المدة	الوسط	النوع
		0.04	48 h		دافنيا ماغنا (daphnia magna)
		0.063-0.119	96 h		جمبري (روبيان) panndalus goniurus
			48 h	مياه بحيرة	الحلزون Physa integra (freshwater pouch snail)
		0.0118-0.173	96 h		امفيبود Amphipod (Anonyx s)
	10.4		48 h		حلزون النهر Goniobasis livescens (river snail)
		0.118-0.151	96 h		كرنجن Crangon sp
		0.583-0.864	96 h		امفيبود بوتوجينيا Amphipod(Pontogeneia sp)
	21.8		48h		(حلزون الماء العذب) Lymnaea emarginata angulata (freshwater pond snail)
		1.24-1.53	96 h		سلطعون الشاطئ Shore crab
0.05		0.141	48 h	مياه	Daphnia magna
0.025		0.035	48h	عذبة (بحالة تدفق)	دافنيا ماغنا Ceriodaphnia dubia سيريو دافينا

و يوضح الجدول (13-1)⁽³⁾ السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للطحالب

الجدول (13-1) : السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للطحالب

المؤشرات			الوسط	المدة	النوع
NOEC mg/l	IC50 mg/l	EC50 mg/l			
0.0021			مياه متدفقة	7days	برتوزويا Protozoa(multispecies microcosm-measuring species richness)
	0.023				
0.02			مياه عذبة (بحالة تدفق)	96h	مايريفالوم سبكتيوم Myriophyllum spicatum
0.05					
0.05					
0.02					

أما الجدول يوضح (14-1)⁽³⁾ السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للكائنات الدقيقة

الجدول (14-1) : السمية للهيبوكلوريت في البيئة بالنسبة للكائنات الدقيقة

المؤشرات		الوسط	المدة	النوع
NOEC mg/l	EC50 mg/l			
300	563	مياه عذبة (مياه مستقرة)	3h	بكتيريا (الحماة المنشطة) Bacteria (activated sludge)
	>3			

IC50: التركيز في وسط بيئي يمنع 50% من وظيفة بيولوجية أو بيوكيميائية محددة.

EC50: التركيز الفعال المتوسط، التركيز في وسط بيئي يتوقع أن ينتج عنه تأثير معين في 50% من الكائنات الحية المختبرة في وسط معين .

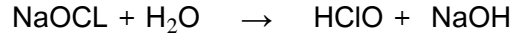
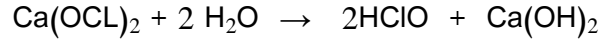
LC50: متوسط التركيز الفعال التركيز في وسط بيئي متوقع أن يؤدي لوفاة في 50% من الكائنات الحية المختبرة في وسط معين .

NOCE: لا يوجد مستوى تأثير ملحوظ، أعلى تركيز للمادة التي ليس لها تأثير على الكائنات المختبرة.

- تعتبر السمية الحادة علامة مهمة جداً لتقييم مخاطر التأثيرات الحادة وتسمح بإنشاء تصنيف بيئي لهيبوكلووريت الصوديوم والكالسيوم .
- تشير البيانات المتعلقة بالسمية الحادة بوضوح أن أكثر الأنواع حساسية هي السلمون ومع ذلك فإنه ليس من الواضح ما إذا كان سمك السلمون الوردي أو COHO أو chinook لأن LC50 لجميع هذه الأنواع متشابهة للغاية من (0.02→0.06mg/l) من الأسماك التي شملتها الدراسة الاستقصائية ، وأكثر الأنواع مقاومة للهيبوكلووريت هو salmon gairdneri حيث يبلغ متوسط LC50 حوالي 2.25mg/l.
- في اللافقاريات أكثر الأنواع حساسية هي ceriodphnia dubi مع EC50=0.035mg/l.
- والأكثر هي مقاومة سرطان البحر مع EC50=1.4mg/l.
- من المجموعات المختلفة التي تم تقويمها تجدر الإشارة إلى المقاومة القوية للبكتريا (المشتقة من الحمأة المنشطة) للهيبوكلووريت حيث تبلغ قيمة EC50 لهذه البكتريا حوالي 563mg/l.
- ومن الملاحظ أيضاً حساسية عالية للطحالب من الهيبوكلووريت
- (Protozoa (multispecies microcosm) يحتوي على معدل تركيز لا يتجاوز 0.0021mg/l (2.1 ميكروغرام / لتر).

16.1. خصائص وتفاعلات أيون الهيبوكلوريت [3]

لهيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم كمحلول طريقة مماثلة لغاز الكلور عند التفاعل مع الماء ، ويخضع الهيبوكلوريت في الماء للتفكك لتوفير أيون الهيبوكلوريت وفقاً للتفاعلات التالية :

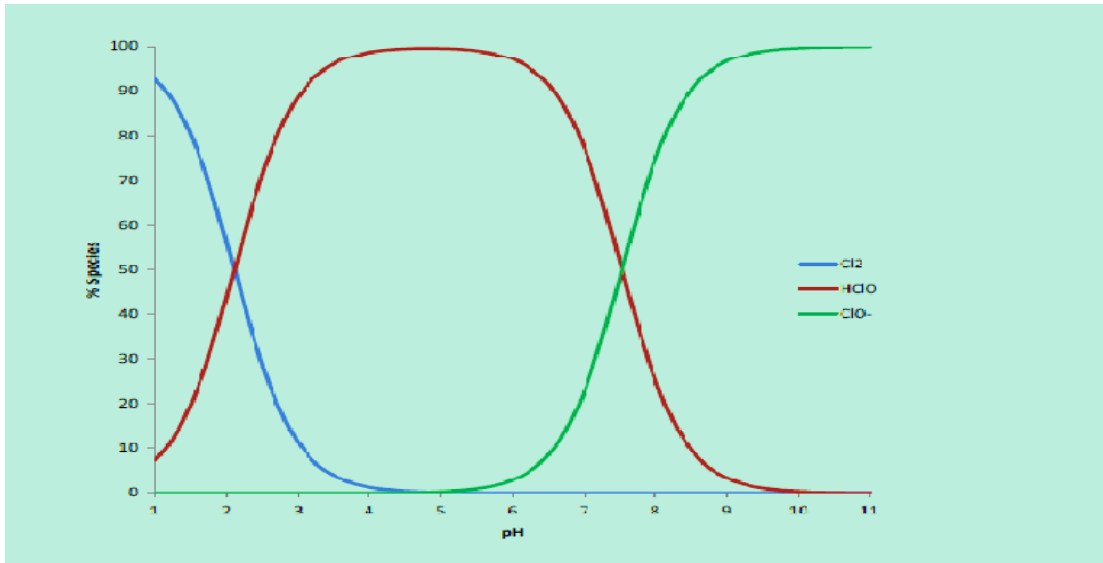


يثبت أيون الهيبوكلوريت في الماء التوازن بين أنواع الكلور النشطة المختلفة بشكل رئيسي CL_2 ، HClO وأكسيد الهيبوكلوريت ، والهيبوكلوريت OCL^- .

تعتمد كمية كل نوع على العوامل الفيزيائية والكيميائية للحل مثل : درجة الحرارة والقوة الأيونية ، و مع ذلك العامل الرئيسي المؤثر على التوزيع الهيدروكيميائي لأنواع الكلور المختلفة هو pH .

ومن المخطط (1-4)⁽³⁾ الذي يوضح العلاقة بين توزيع أنواع الكلور وقيم pH نلاحظ أن أيون الهيبوكلوريت هو السائد في قيم pH قلوية ، بينما CL_2 لقيم pH أقل من 4 ، لذلك تركيز الكلور في المحلول المائي يتم التعبير عنه عموماً بالكلور الحر المتبقي FAC الذي هو عبارة عن مجموع الثلاث أنواع السابقة ، بغض النظر إذا عن كون هذه الأنواع تنتج عن الكلور الغازي المذاب أو من هيبوكلوريت الكالسيوم/الصوديوم المذاب .

من مجال 3←7 يسود الهيبوكلوريت HClO .



المخطط (1-4): العلاقة بين توزيع أنواع الكلور وقيم pH

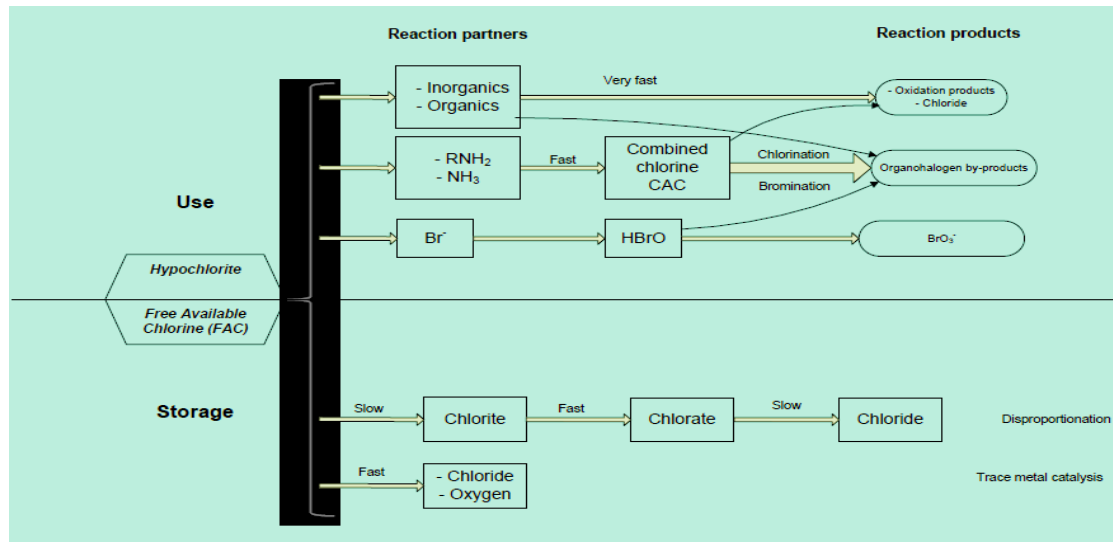
يوضح المخطط أيضاً خطر اختلاط محلول الهيبوكلوريت مع مواد مؤكسدة فإذا نتج مثل هذا الخلط برقم هيدروجيني أقل من 4.5 سينطلق كميات كبيرة من غاز الكلور .

بالإضافة إلى الموصفات الهيدروكيميائية للهيبوكلوريت وانخفاض ثباته، يمكن أن يشترك هذا الأيون في نوع آخر من التفاعلات ويعود ذلك لخصائصه المؤكسدة القوية ، ويتم تلخيص التالي منها :

- تفاعلات ردود الأكسدة (oxidative reactions): يبدي الهيبوكلوريت خصائص مؤكسدة ضد المواد العضوية وغير العضوية وتنتج مختلف نواتج الأكسدة وايونات الكلوريد .
- تفاعلات النتروجين-كلورة (N-chlorination) :في وجود مركبات تحتوي على النتروجين (امونيا،أحماض أمينية بروتينات) ويتشكل نتيجة هذه التفاعلات مركبات الكلورامينات.
- التحلل (Disproportion) :يمكن أن تتحلل ايونات الهيبوكلوريت وذلك يؤدي لتشكل الكلورات والكلوريد.

○ الهلجنة (Halogenation) : من الممكن تشكل المنتجات العضوية الهالوجينية عن طريق الاستبدال بذرات الكربون ، حيث تشكل تفاعلات الهلجنة القضية الرئيسية عند تقييم أخطار ومخاطر هذه المواد

يوضح المخطط (1-5)⁽³⁾ خصائص التفاعل لأيون الهيبوكلوريت بدلالة شريك التفاعل ، وتجدر الإشارة إلى أنه بالإضافة إلى التفاعلات السابقة يمكن أن يخضع الهيبوكلوريت في وجود ايون البروميد لتفاعلات مؤكسدة يشترك فيها البروم (HBrO) .



المخطط (1-5): تفاعل أيون الهيبوكلوريت بدلالة شريك التفاعل

17.1. المحلول الأساسي للكلور : [4]

عادة ما تكون الطريقة الأنسب للكلورة هي الحل أي إضافة المحلول الى المياه الخام .
المحلول الأساسي (mother solution) هو حل نسبة معينة من الكلور في المياه المقطرة ليتم بعدها استخدامه كمحلول في عملية التطهير .
وغالبا ما يحوي على 10 غرام من الكلور لكل ليتر أو بتركيز 1%.
يتم الحصول على هذا المحلول بإضافة المواد المولدة للكلور إلى الماء بالمقدار اللازم من المواد الكيميائية لجعل تركيزه 1% بالاعتماد على محتوى الكلور في المواد المستخدمة.
عند استخدام منتجات مولدة للكلور فأن الكمية اللازمة لتشكيل المحلول الأساسي mother solution يمكن حسابها من الصيغة :

$$Qty = 10 * \left(\frac{100}{Cl\ cont} \right)$$

Q_{ty} : كمية المنتجات اللازمة لجعل 1 ليتر من المحلول الأساسي بتركيز 1%
 Cl_{cont} : محتوى الكلور في المنتج %

الفصل الثاني

الأسس العملية للبحث

Practical foundations of the research

1.2. مقدمة :

- يعتمد البحث بشكل رئيسي على تجربة الكلور المتبقي باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر لمعرفة المتبقي من الكلور في المياه وعليه تحديد الجرعة المثالية المطلوبة للتعقيم حيث تحدد المواصفات الكلور المتبقي الضامن للسلامة الصحية في المياه ضمن الحدود (0.2-0.5 mg/l)⁽¹⁸⁾.
- نحتاج أيضاً إجراء تجربة الـ COD أو الاحتياج الكيميائي من الأوكسجين اللازم لأكسدة المواد العضوية واللاعضوية وذلك لارتباطه باستهلاك الكلور بشكل مباشر فكلما زادت قيمة الـ COD نحتاج لجرعة كلور أكبر لتعقيم المياه .

2.2. تجربة الكلور المتبقي (تحديد الطلب على الكلور للمياه الخام) : ^[15]

تحدد كمية محلول هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم اللازم للمياه المراد تعقيمها من خلال التجريب : يلزمنا عدد من الأوعية البلاستيكية (غير المعدنية) تملأ بكمية معينة من المياه مثلاً 4 أوعية تملأ بـ 10 لترات من المياه، ويتم إضافة كمية مختلفة من محلول هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم لكل وعاء (0.5-1-2...mL) ويبين الجدول (1-2)، يخلط الماء بشكل جيد ويترك لحوالي 30 دقيقة. وبعد 30 دقيقة تحدد كمية الكلور الحر المتبقي ويمكن أن يحدد بواسطة اختبار Pooltaster يضاف قرص DPD1 للماء في pooltaster (وعاء الاختبار) ويغلق ويهز بشكل قوي حتى يتحلل القرص سيحول الكلور المياه إلى اللون الزهري وكلما كان اللون أغمق يدل على وجود أكثر للكلور . وتحدد كمية الكلور المتبقي من مقارنة لون الماء على مقياس لوني معتمد كما يبين الشكل (1-2) أو باستخدام جهاز السبكترومتر كما يبين الشكل (2-2) وهو الأدق والمعتمد في بحثنا، نحن نبحث عن جرعة تعطي كلوراً متبقياً بمقدار (0.2-0.5 mg/L).

الجدول (1-2): إضافة جرعات مختلفة من المحلول الأساسي للتعقيم في 10 لتر للمياه المختبرة

الكلور الحر المتبقي mg/l	جرعة محلول التعقيم الأساسي (مل) المضافة ل 10 لتر من المياه	اسطوانة الاختبار
0	1.5	1
0	2	2
0.1	2.5	3
0.5	3	4

في هذه الحالة الجرعة (2.7-3ml) كافية للوصول لمحتوى كلور متبقي حر بحدود

(0.2-0.5 mg/L) .

تعطي هذه الطريقة مؤشراً تقريباً لطلب الكلور من قبل المياه الخام وينبغي أن يكون الكلور الحر المتبقي (0.2-0.5mg/l) عند نقطة التوزيع وقد يقل محتوى الكلور الحر المتبقي بعد التوزيع لذلك يتعين اختبار الكلور الحر المتبقي في المياه المعالجة بالكلور بشكل مستمر للتأكد بأن التعقيم لا زال فعالاً حيث الطلب على الكلور قد يتغير لأن أوصاف المياه الخامية غالباً لا تكون ثابتة مع الزمن .



الشكل (1-2) : المعايرة اللونية لمعرفة تركيز الكلور الشكل (2-2): جهاز السبكتروفوتومتر لقياس تركيز الكلور

- كلورة دفعة من المياه :

إذا كان المطلوب معالجة كمية من المياه يمكن حساب كمية المحلول من الصيغة التالية :

$$MS_{bat} = \left(\frac{VOL_{bat}}{VOL_{test}} \right) * MStest \quad \text{معادلة (1)}$$

MS_{bat} : الكمية اللازمة من المحلول الأساسي لكلورة دفعة من المياه ml

VOL_{bat} : حجم كمية المياه التي يجب معالجتها L

VOL_{test} : حجم الماء الذي تم استخدامه بالاختبار L

MS_{test} : كمية المحلول الأساسي الذي كان مطلوب لكلورة الماء بالاختبار ml

مثال : كمية المحلول الأساسي التي يجب أن تضاف لكلورة دفعة من المياه مقدارها 15000L بعد إضافة (3ml) [التي هي كمية المحلول الأساسي الذي كان مطلوب لكلورة الماء بالاختبار ml] مع العلم حجم الماء الذي تم استخدامه بالاختبار (10L) تحسب من العلاقة :

$$MS_{bat} = \frac{15000}{10} * 3 = 4500ml = 4.5l$$

- كلورة إمدادات مستمرة من المياه :

تحسب من الصيغة :

$$RATE_{ms} = \left(\frac{FLOW_{sup}}{VOL_{test}} \right) * MStest$$

$RATE_{ms}$: المعدل الذي يجب أن يضاف من المحلول الأساسي إلى الموزع ml/s

$FLOW_{sup}$: غزارة المياه l/s

VOL_{test} : حجم المياه الذي تم استخدامه بالاختبار L

MS_{test} : كمية المحلول الأساسي الذي تم اعتمادها بالاختبار ml

مثال : كمية المحلول الأساسي التي يجب أن تضاف لكلورة تدفق $Q=1.67$ L/S بعد إضافة (3ml) والتي هي كمية المحلول الأساسي الذي كان مطلوب لكلورة الماء بالاختبار ml مع العلم حجم الماء الذي تم استخدامه بالاختبار (10L) تحسب من العلاقة:

$$RATE_{ms} = \left(\frac{FLOW_{sup}}{VOL_{test}} \right) * MStest$$

$$RATE_{ms} = \left(\frac{1.67}{10} \right) * 3 = 0.5ml/s$$

تنكير : المحلول الأساسي (mother solution) هو حل نسبة معينة من الكلور في المياه المقطرة ليتم بعدها استخدامه كمحلول في عملية التطهير .

تبين الأشكال التالية من الشكل (2-3) إلى الشكل (2-10) إجراءات تجربة الكلور المتبقي باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر من إضافة كميات مختلفة من محاليل التعقيم الى قياس الكلور المتبقي بعد زمن معين بواسطة جهاز السبكتروفوتومتر، وذلك بمحطة القصير لمعالجة مياه الشرب وذلك على المياه الخامية لنهر العاصي .



الشكل (4-2)

إضافة 0.2ml من Ca(OCL)_2 لعينة مياه خام



الشكل (3-2)

إضافة 100ml من Ca(OCL)_2 لعينة مياه خام



الشكل (6-2)

اسطوانات التجارب



الشكل (5-2)

إضافة 0.5ml و 1ml من Ca(OCL)_2 لعينة مياه خام



الشكل (8-2)

جهاز سبكتروفوتومتر يبين كلور متبقي في عينة
مياه بمقدار 1.68mg/l



الشكل (7-2)

جهاز سبكتروفوتومتر في محطة القصير



الشكل (10-2)

جهاز سبكتروفوتومتر يبين كلور متبقي في عينة
مياه بمقدار 0.56mg/l



الشكل (9-2)

عينة مياه بعد إضافة كاشف DPD

3.2. تجربة الاحتياج الكيميائي للأوكسجين COD : [13]

يعتبر COD أحد المؤشرات الهامة للمياه ويدل على نسبة المركبات القابلة للأكسدة الموجودة في المياه ويعرف بأنه كمية الأوكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية واللاعضوية في كمية محددة من الماء باستخدام مادة مؤكسدة مثل برمنغنات البوتاسيوم وديكرومات البوتاسيوم .

الكواشف المستخدمة في التجربة :

1- محلول حمض الكبريت

2- محلول برمنغنات البوتاسيوم $N=0.01$

3- حمض الحماض $0.02nH_2c_2O_4.2H_2c$

طريقة اجراء التجربة :

نأخذ 100ml من العينة المدروسة ونضيف إليها 5ml من حمض الكبريت و 10ml من برمنغنات البوتاسيوم ونسخن المحلول وبعد مرور 10 min على الغليان نرفع الأريلينة ونضيف 5ml من حمض الحماض ليصبح المحلول عديم اللون ثم نعاير بواسطة برمنغنات البوتاسيوم حتى يصبح اللون زهري فاتح وبعدها تحسب COD من العلاقة التالية :

$$COD = (V1 - V2) * 0.8 \quad mg/l$$

V1 حجم المعايرة من برمنغنات البوتاسيوم ml .

V2 حجم المعايرة من عينة الشاهد ml .

تبين الأشكال التالية من الشكل (2-11) إلى الشكل (2-14) إجراءات تجربة الاحتياج الكيميائي للأوكسجين COD بمخبر البيئة في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث .



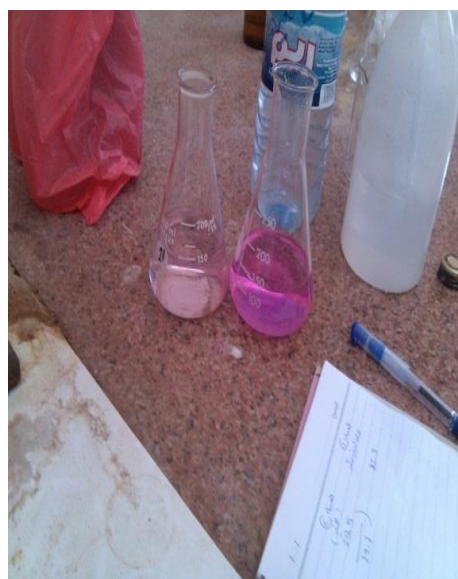
الشكل (2-12)
تسخين عينات المياه لحد الغليان



الشكل (2-11)
أدوات تجربة COD



الشكل (2-14)
عينة مياه بعد إضافة برمنغنات البوتاسيوم
قبل التسخين



الشكل (2-13)
المعايرة باستخدام برمنغنات البوتاسيوم بعد التسخين

4.2. تركيز الكلور في البدائل المستعملة :

قبل تطبيق هذه التجارب على المياه الداخلة لمحطة معالجة القصير علينا أولاً معرفة تركيز الكلور في كل من هيبوكلوريت الكالسيوم والصوديوم المستخدمة في عملية التعقيم ويتم ذلك وفق الطريقة الآتية. طريقة التمديد :

1. نأخذ 0.1 مل من المحلول ونضعه في دورق ليتر واحد.
 2. نتممه بالماء المقطر الى الليتر .
 3. نقوم بالتحريك .
 4. نأخذ من المزيج السابق 10 مل ونضيف لها ماء مقطر الى 100 مل .
 5. نضعها على جهاز السبكتروفوتومتر (الذي له عدة أنواع فمثلاً النوع هاش الطريقة 8 تعطي تركيز الكلور ضمن المجال من 0 إلى 800 %).
 6. نضع للعينة قرص الـ DPD ونأخذ النتيجة بـ mg/l
 7. لدينا العلاقة : رقم الجهاز * عدد مرات التمديد/10
- منها نأخذ النتيجة بـ % فمثلاً إذا نتج 5 فهذا يعني أن كل ليتر فيه 5 غرامات من الكلور .

5.2. نتائج التجارب المجراة على مياه الخامية لنهر العاصي :

تمت التجارب المخبرية في محطة التنقية بالقصير منذ تاريخ 2018/6/13 إلى تاريخ 2018/9/11 وذلك للحصول على نتائج حقيقية واقعية مجراة على مياه خامية من نهر العاصي مباشرة وتم أيضاً أخذ عامل COD بعين الاعتبار كونه من العوامل المهمة على استهلاك الكلور في المياه حيث كلما زادت قيمة الـ COD في المياه يتطلب التعقيم جرعة كلور أكبر والعكس صحيح.

قمنا بتحضير محلول من هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز 1.5% وأخذنا سبع اسطوانات من المياه الخامية بحجم 1لتر للأسطوانة الواحدة وأضفنا لكل واحدة جرعات مختلفة من محلول هيبوكلوريت الكالسيوم وتركنا الاسطوانات لمدة 30 دقيقة كزمن قياس وحصلنا بعدها على النتائج التالية وفق الجدول (2-2).

الجدول (2-2) : إضافة محلول هيبوكلوريت لمياه نهر العاصي الخامية بتاريخ 2018-6-13م

كمية المياه الخامية 1 لتر	حجم محلول هيبوكلوريت الكالسيوم المضاف ml	جرعة الكلور في المحلول المضاف mg/l	كمية الكلور الحر المتبقي mg/l
1L	100ml	1500	مرفوض
1L	50ml	750	مرفوض
1L	25ml	375	مرفوض
1L	5ml	75	مرفوض
1L	1ml	15	مرفوض
1L	0.5ml	7.5	مرفوض
1L	0.2ml	3	2.65

كررنا ذات الخطوات السابقة على اربعة اسطوانات من المياه الخام فحصلنا على النتائج كما في الجدول (3-2).

الجدول (3-2) : إضافة محلول هيبوكلوريت لمياه نهر العاصي الخامية بتاريخ 2018-6-14م

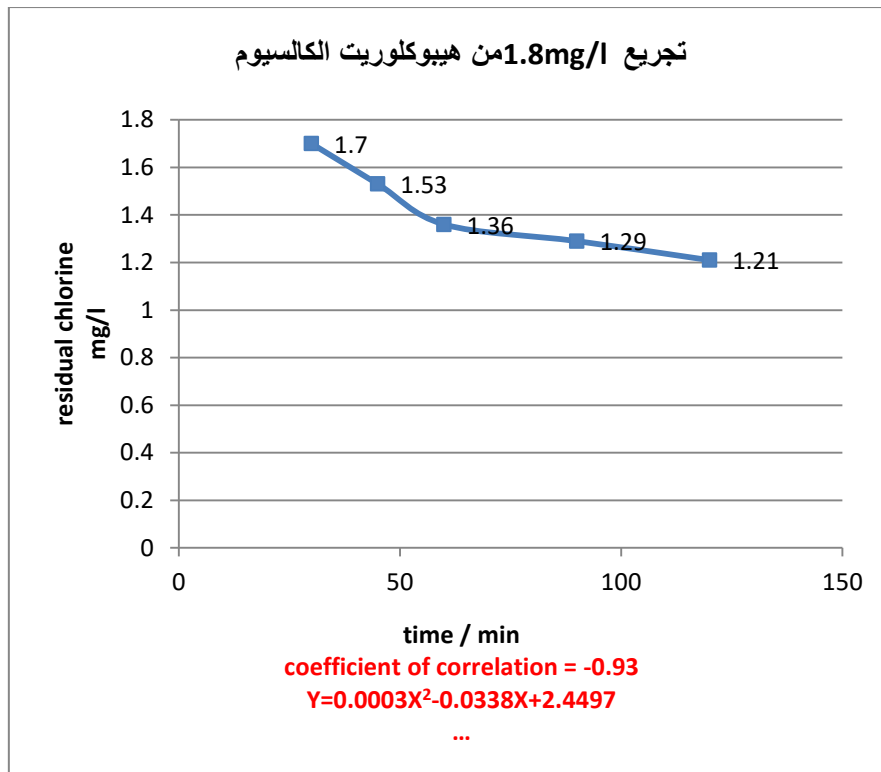
كمية المياه الخامية 1000 ml	كمية هيبو كلوريدات الكالسيوم المضافة ml	جرعة الكلور في المحلول المضاف mg/l	كمية الكلور الحر المتبقي mg/l
1L	0.15	2.25	1.89
1L	0.1	1.5	1.32
1L	0.05	0.75	0.56
1L	0.03	0.45	0.19

- تبين الجداول من (4-2) إلى (9-2) إضافة جرعات مختلفة من محاليل التعقيم (هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم) وتبين مقدار الكلور المتبقي في المياه المختبرة بعد فترات زمنية مختلفة، وكذلك المخططات من المخطط (1-2) إلى المخطط (14-2) توضح الجداول بصورة بيانية .

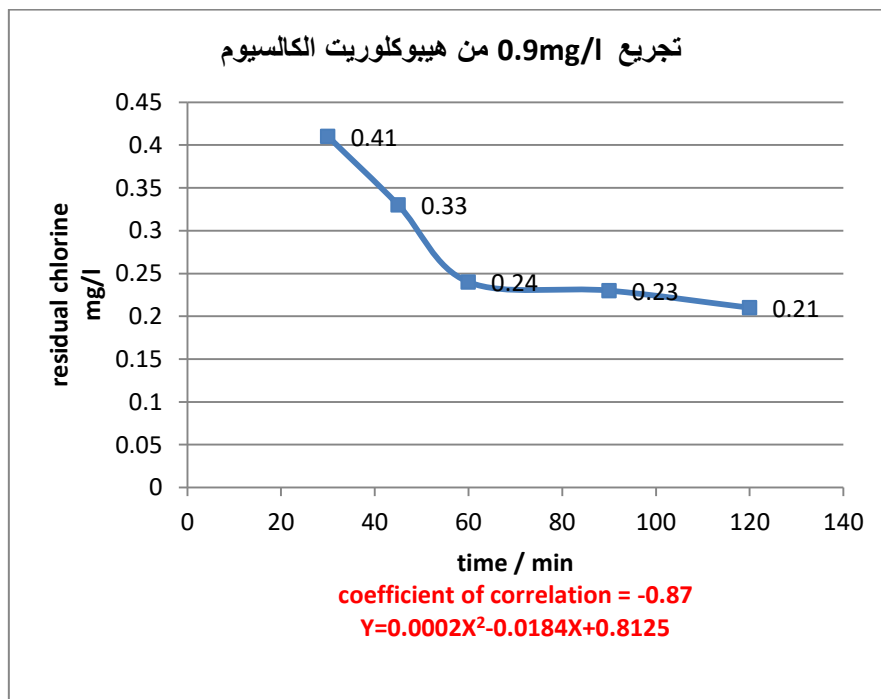
- نرتب الجرعة وفق واحدة mg/l

الجدول (4-2): تجريب جرعة بمقدار 1.8mg/l وجرعة 0.9mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبين المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27

COD= 22 mg/l Ca(OCl) ₂		
27/7/2018		
الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)
1.7	30	1.8
1.53	45	
1.36	60	
1.29	90	
1.21	120	
0.41	30	0.9
0.33	45	
0.24	60	
0.23	90	
0.21	120	



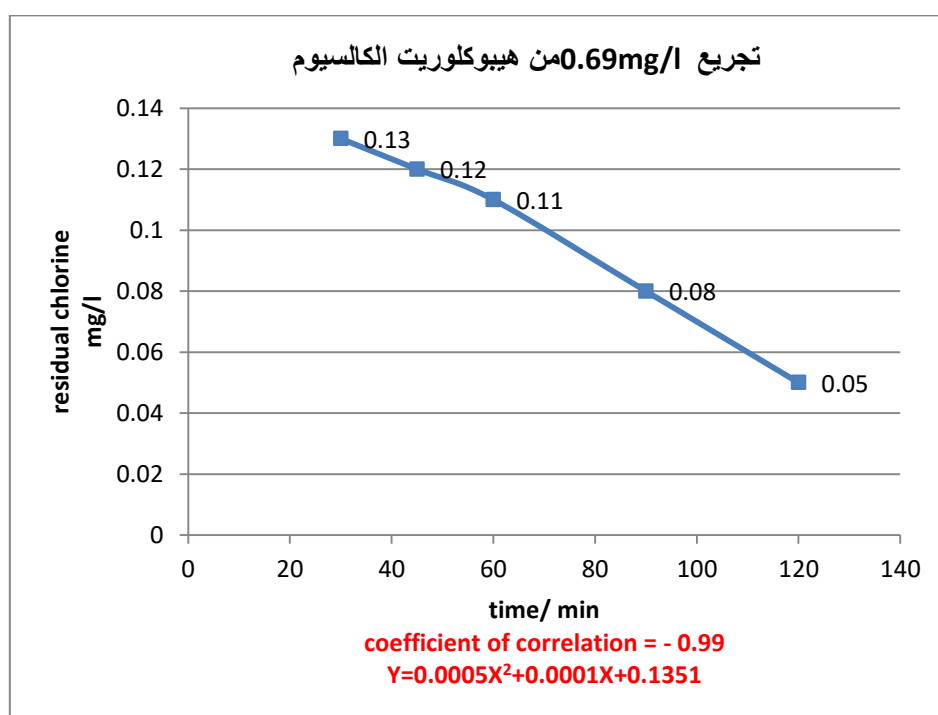
مخطط (1-2): تجريب جرعة بمقدار 1.8mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27م



مخطط (2-2): تجريب جرعة بمقدار 0.9mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/27م

الجدول (5-2): تجريع جرعة بمقدار 0.69mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/28م

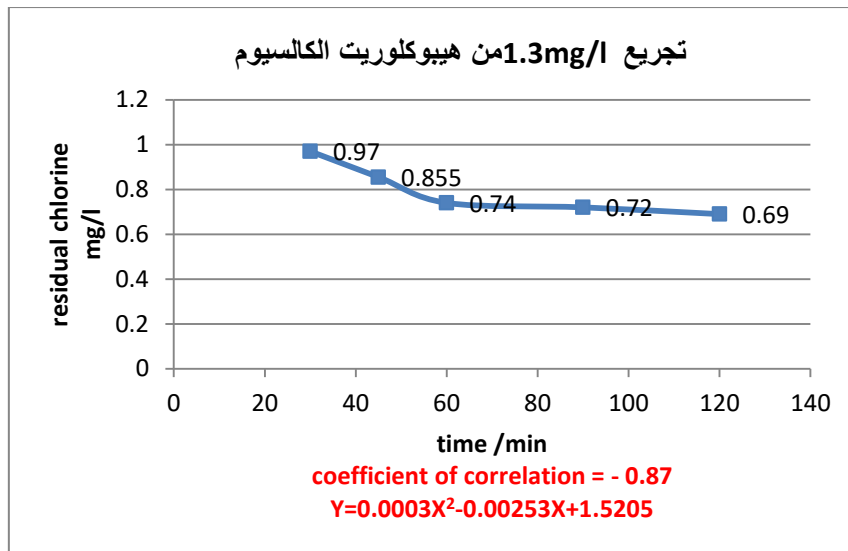
COD= 22mg/l Ca(OCl) ₂		
28/7/2018		
الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)
0.13	30	0.69
0.12	45	
0.11	60	
0.08	90	
0.05	120	



مخطط (3-2): تجريع جرعة بمقدار 0.69mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/28م

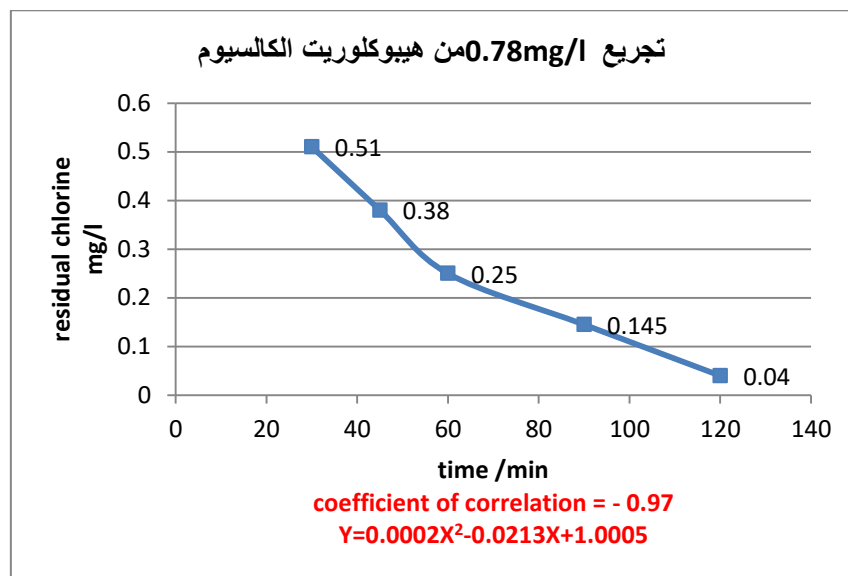
الجدول (6-2): تجريع جرعة بمقدار 1.3mg/l وجرعة 0.78mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29

COD=22 mg/l Ca(OCl) ₂		
29/7/2018		
الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)
0.97	30	1.3
0.85	45	
0.74	60	
0.72	90	
0.69	120	
0.51	30	0.78
0.38	45	
0.25	60	
0.145	90	
0.04	120	



مخطط (4-2): تجريب جرعة بمقدار 1.3mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي

بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29

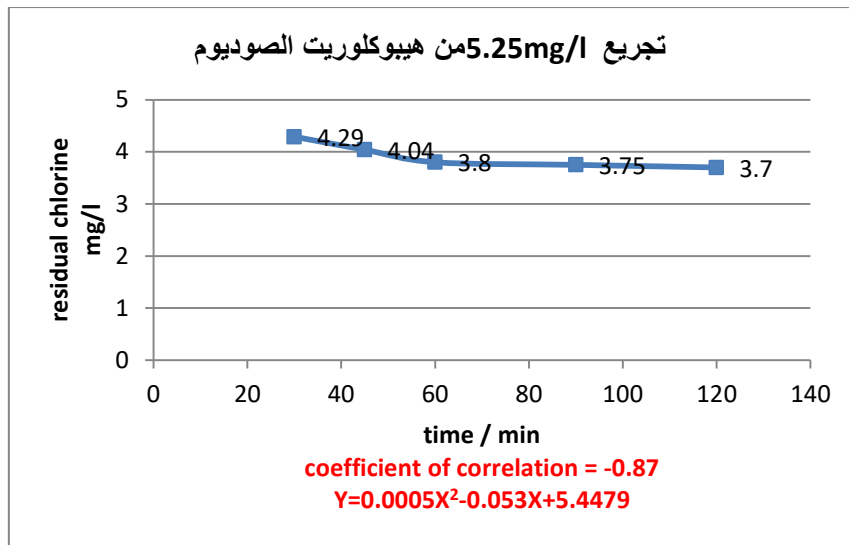


مخطط (5-2): تجريب جرعة بمقدار 0.78mg/l من هيبوكلوريت الكالسيوم وتبيان قيمة الكلور

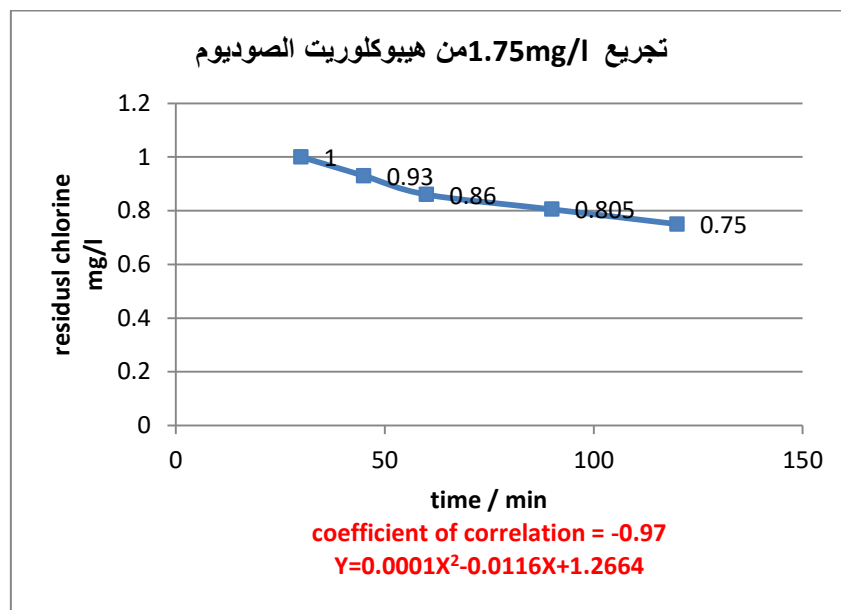
المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/7/29

الجدول (7-2): تجريع جرعة بمقدار 5.25mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9

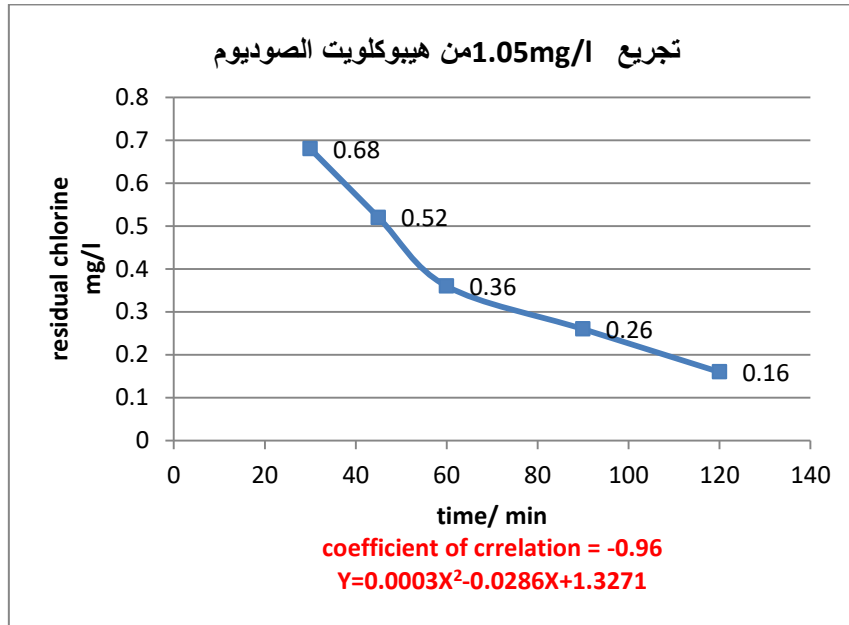
COD=22 mg/l NaOCl		
9/9/2018		
الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)
5.25	30	4.29
	45	4.04
	60	3.80
	90	3.75
	120	3.70
1.75	30	1
	45	0.93
	60	0.86
	90	0.805
	120	0.75
1.05	30	0.68
	45	0.52
	60	0.36
	90	0.26
	120	0.16



مخطط (6-2) تجريع جرعة بمقدار 5.25mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9



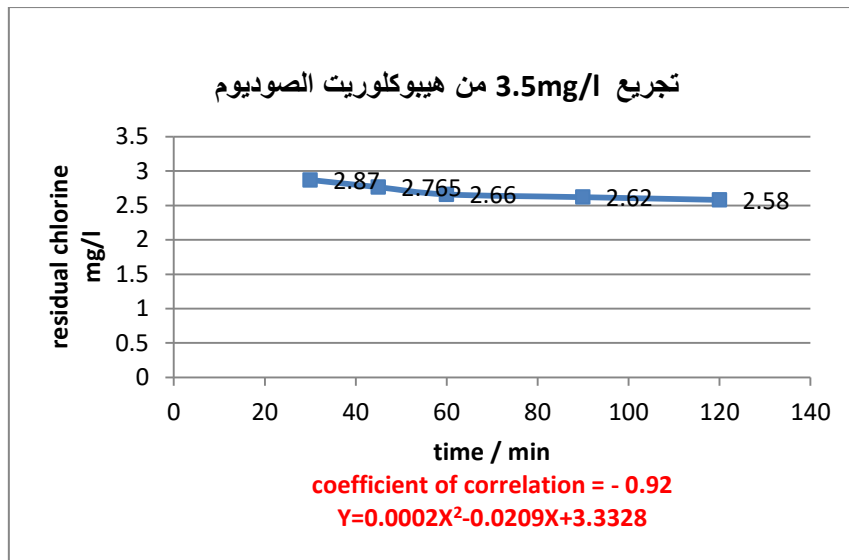
مخطط (7-2) تجريع جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9



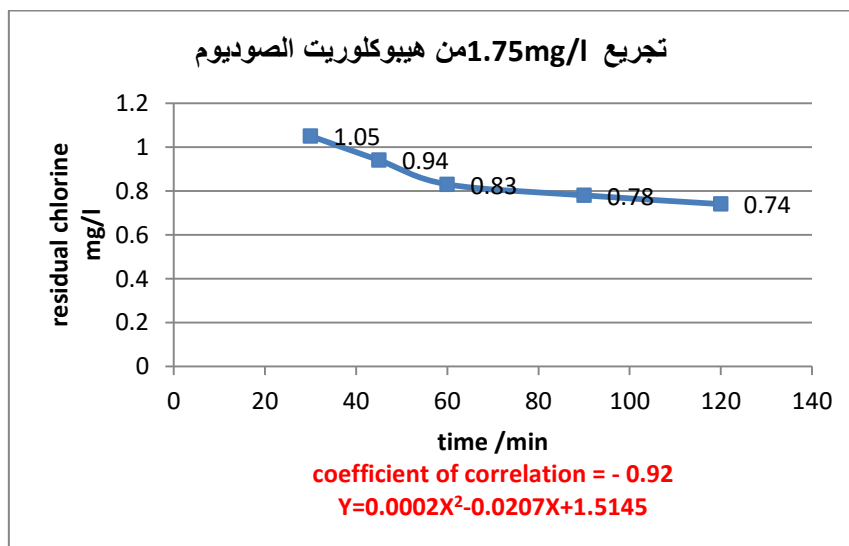
مخطط (8-2) تجريب جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/9

الجدول (8-2) تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10

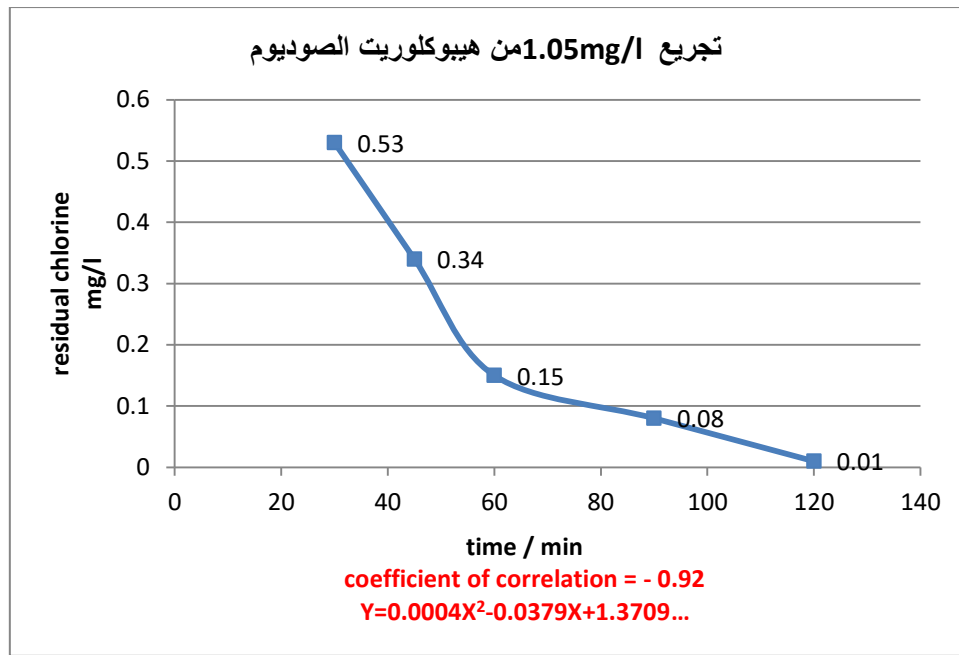
COD=22 mg/l NaOCl		
10/9/2018		
الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)
2.87	30	3.5
2.76	45	
2.66	60	
2.62	90	
2.58	120	
1.05	30	1.75
0.94	45	
0.83	60	
0.78	90	
0.74	120	
0.53	30	1.05
0.34	45	
0.15	60	
0.08	90	
0.01	120	



مخطط (9-2) تجريب جرعة بمقدار 3.5mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10م



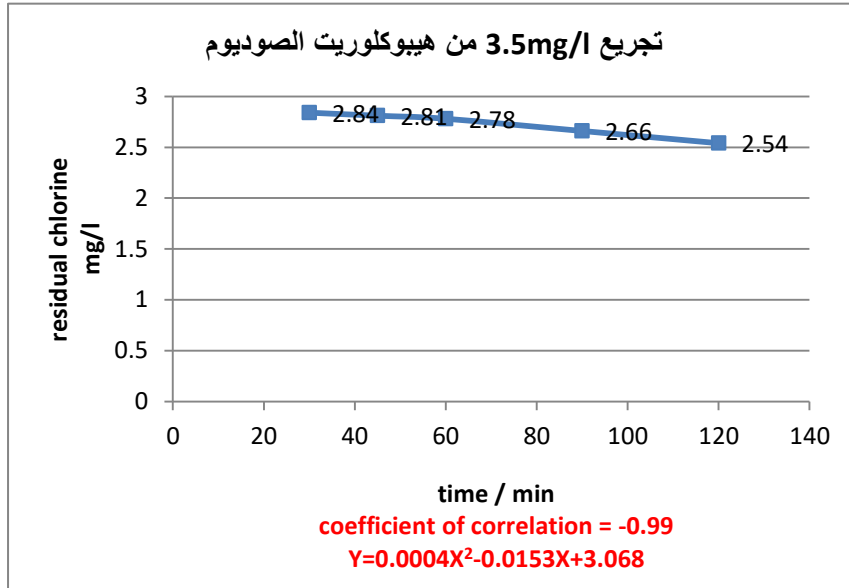
مخطط (10-2) تجريب جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10م



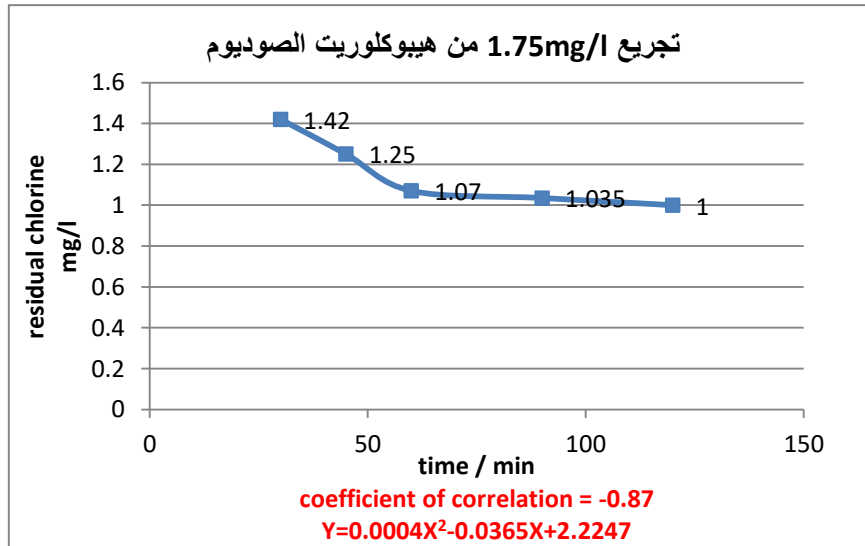
مخطط (11-2) تجريع جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/10

الجدول (2-9) تجريع جرعة بمقدار 3.5mg/l وجرعة 1.75mg/l وجرعة 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان المتبقي من الكلور بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11

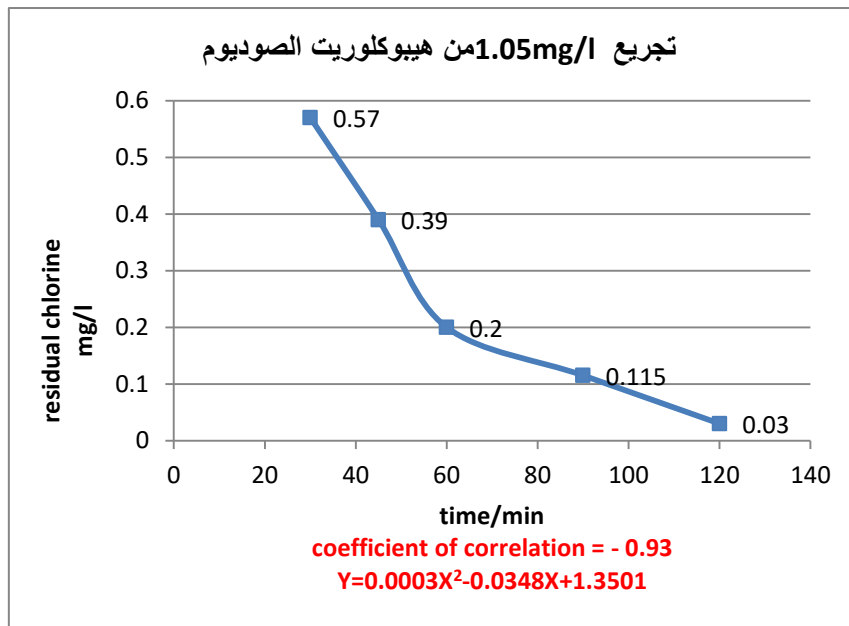
COD=22mg/l NaOCl		
11/9/2018		
الجرعة ملغ /ل Dose (mg/l)	زمن التماس (دقيقة) Time (min)	الكلور المتبقي ملغ/ل (Residual chlorine mg/l)
3.5	30	2.84
	45	2.81
	60	2.78
	90	2.66
	120	2.54
1.75	30	1.42
	45	1.245
	60	1.07
	90	1.035
	120	1
1.05	30	0.57
	45	0.385
	60	0.20
	90	0.115
	120	0.03



مخطط (12-2): تجريب جرعة بمقدار 3.5mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11م



مخطط (13-2): تجريب جرعة بمقدار 1.75mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11م



مخطط (14-2): تجريب جرعة بمقدار 1.05mg/l من هيبوكلوريت الصوديوم وتبيان قيمة الكلور المتبقي بعد فترات زمنية مختلفة بتاريخ 2018/9/11

الفصل الثالث

دراسة النتائج وبناء نموذج رياضي باستخدام برنامج SPSS

**Study the results and build a mathematical model using
SPSS program**

1.3. دراسة وتحليل نتائج التجارب :

تحديد الجرعة اللازمة لتطهير مياه شرب حماه انطلاقاً من التجارب السابقة :

نلاحظ أنه تبعاً لتركيز البدائل المقترحة لدينا تتغير الجرعة المطلوبة وقد بينت النتائج السابقة عدة جرعة تحقق كلور متبقي ما بين (0.2-0.5 mg/l).

لاختيار الجرعة المثالية علينا الموافقة مع الواقع العملي للمحطة وباعتبار أنه في محطة تنقية مياه الشرب بالقصير يتم التعقيم على مرحلتين :

كلورة أولية من بداية دخول المياه للمحطة، وكلورة نهائية بعد ساعتين عند الخروج من مرحلة الترشيح وتتم فقط للوصول الى كلور متبقي بحوالي (0.35- 0.4 mg/l) لضمان وصول المياه لمدينة حماة بالشروط الصحية المثلى ، أي أنه بحال كانت قيم الكلور المتبقي بعد الترشيح بين 0.35-0.4mg/l ليس هنالك حاجة للكلورة النهائية .

نرتب الجرعة المحققة وفقاً للجدول التالي :

1. هيبوكلوريت الكالسيوم Ca(OCL)_2

الجرعة mg/l	الزمن min	الكلور المتبقي mg/l
1.3	120	0.69
0.78	120	0.04

بأخذ المتوسط الحسابي للجرعة 1.04mg/l وإعادة التجريب لمعرفة المتبقي من الكلور ينتج لدينا

الجرعة mg/l	الزمن min	الكلور المتبقي mg/l
1.04	120	0.37

- نعود الى واحدة ال (ميلي ليتر) ml لتقدير الكمية المحتاجة للتعقيم :
- تعادل الجرعة $1.04 \text{ mg}(\text{CL}_2)/\text{L}(\text{H}_2\text{O})$ بتركيز لمحلول هيبو كلوريت الكالسيوم (2.6%) 0.04ml
- تضاف 0.04ml من محلول هيبوكلوريت الكالسيوم تضاف إلى ليتر واحد من المياه الخامية لنصل الى متبقي كلور ضمن الشروط الصحية المفروضة.

هيبوكلوريت الصوديوم NaOCl

الجرعة mg/l	الزمن min	الكلور المتبقي mg/l
1.75	120	0.74
1.05	120	0.01

بأخذ المتوسط الحسابي للجرعة 1.4mg/l وإعادة التجريب لمعرفة المتبقي من الكلور ينتج لدينا

الجرعة mg/l	الزمن min	الكلور المتبقي mg/l
1.4	120	0.38

- نعود الى واحدة ال (ميلي ليتر) ml لتقدير الكمية المحتاجة للتعقيم :
- تعاادل الجرعة $1.4 \text{ mg}(\text{CL}_2)/\text{L}(\text{H}_2\text{O})$ بتركيز لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم (3.5%) 0.04ml
- تضاف 0.04ml من محلول هيبوكلوريت الصوديوم إلى ليتر واحد من المياه الخامية لنصل الى متبقي كلور ضمن الشروط الصحية المفروضة.

ملاحظة : معامل الارتباط الخطي coefficient of correlation للمخططات السابقة سالب وذلك يعني أن العلاقة بين الزمن والكلور المتبقي عكسية ، كلما زاد الزمن نقصت قيمة الكلور المتبقي في المياه ويتراوح بين (-0.87,-0.99) لجميع المخططات ما يعني أن الارتباط قوي بين جرعة الكلور وزمن التماس.

2.3. بناء نموذج رياضي (معادلات رياضية) لربط الجرعة مع عوامل الدراسة :

من التجارب السابقة وباستخدام برنامج ال SPSS وهو ما يعني الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (Statistical package for social sciences)، ويتم استخدام هذا البرنامج في الأبحاث العلمية التي تحتوي على بيانات رقمية .

يستطيع البرنامج القيام بقراءة كافة البيانات من كافة أنواع الملفات وتحليلها واستخراج النتائج والتقارير الإحصائية ، والبرنامج يتيح للمستخدم تحرير البيانات وتعديلها في شكل متغيرات وبيانات جديدة باستخدام معادلة ، وكذلك حفظ البيانات في ملفات وتسميتها أو تعديل أسماء ملفات البيانات ، أو استرجاع البيانات والملفات والمشاهدات ، وذلك من خلال التحكم في قائمة من الأوامر والخيارات المتاحة في البرنامج ، لتشمل كافة مراحل تحليل البيانات والعملية الإحصائية من خلال اربع خطوات هي:

- ترميز البيانات .
 - وضع البيانات في البرنامج .
 - انتقاء الشكل المناسب واختبار البيانات وتحليلها .
 - تحديد البيانات المتغيرة المراد تحليلها وتحقيق عملية الإحصاء .
- ومن خلال برنامج SPSS أمكننا استنتاج معادلة رياضية تنظم الجرعة المطلوبة تبعاً لعدة عوامل هي :
- جرعة البديل المستخدم (أي جرعة هيبوكلوريت الكالسيوم أو الصوديوم)
 - زمن التماس
 - قيمة COD بـ mg/l في المياه الخام .

○ كيفية توليد المعادلة من برنامج SPSS:

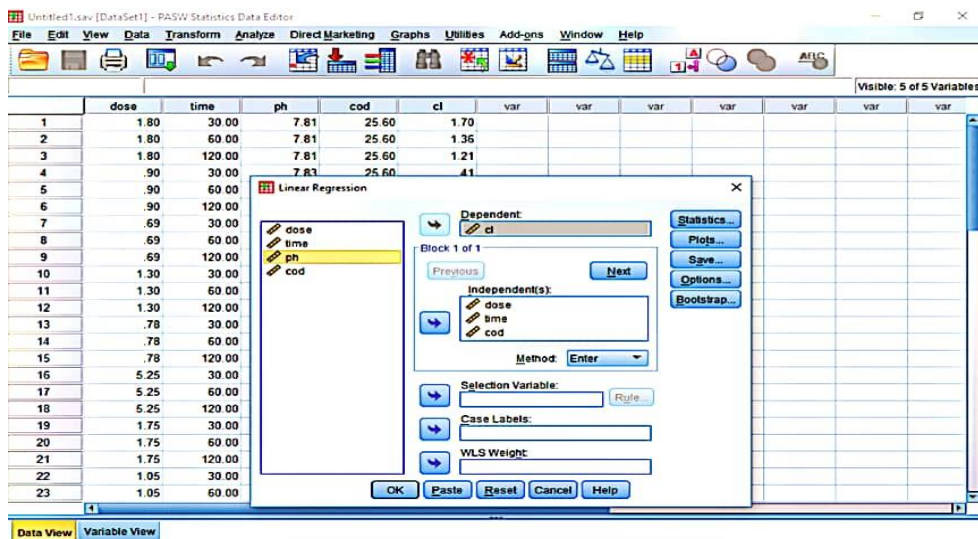
شكلت نتائج التجارب التي قمنا بها قاعدة بيانات كفيلة بتوليد معادلة دقيقة عن طريق البرنامج ، حيث قمنا بدايةً بإخال البيانات إلى البرنامج كما يبين الشكل (1-3).

	dose	time	ph	cod	cl	var	var	var	var	var	var	var
1	1.80	30.00	7.81	25.60	1.70							
2	1.80	60.00	7.81	25.60	1.36							
3	1.80	120.00	7.81	25.60	1.21							
4	.90	30.00	7.83	25.60	.41							
5	.90	60.00	7.83	25.60	.24							
6	.90	120.00	7.83	25.60	.21							
7	.69	30.00	7.81	25.92	.13							
8	.69	60.00	7.81	25.92	.11							
9	.69	120.00	7.81	25.92	.05							
10	1.30	30.00	7.81	21.76	.97							
11	1.30	60.00	7.81	21.76	.74							
12	1.30	120.00	7.81	21.76	.69							
13	.78	30.00	7.83	21.76	.51							
14	.78	60.00	7.84	21.76	.25							
15	.78	120.00	7.86	21.76	.04							
16	5.25	30.00	7.83	23.36	4.29							
17	5.25	60.00	7.84	23.36	3.80							
18	5.25	120.00	7.86	23.36	3.70							
19	1.75	30.00	7.83	23.36	1.00							
20	1.75	60.00	7.84	23.36	.86							
21	1.75	120.00	7.86	23.36	.75							
22	1.05	30.00	7.83	23.36	.68							
23	1.05	60.00	7.83	23.36	.36							

الشكل (1-3) إدخال البيانات الى برنامج SPSS

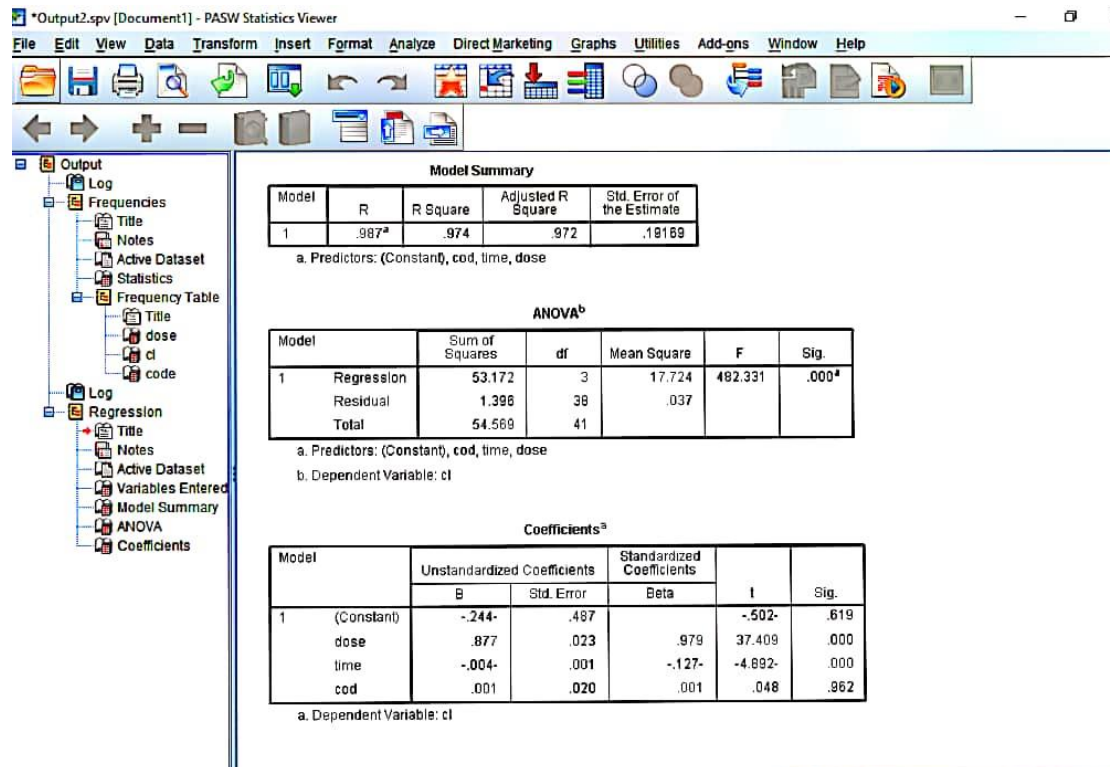
يبين الشكل (2-3) إدخال العوامل المؤثرة على الكلور المتبقي لتشكيل معادلة باستخدام برنامج SPSS

- استخدمنا اداة Linear Regression (التنبؤ) من Analyze
- قمنا بتحديد بيانات (CL₂) الكلور المتبقي كعامل خرج
- وقمنا بتحديد بيانات Dose-time-cod كمعاملات دخل



الشكل (2-3) إدخال العوامل المؤثرة على الكلور المتبقي لتشكيل معادلة باستخدام برنامج SPSS

يبين الشكل (3-3) تشكيل المعادلة في برنامج SPSS حيث يحدد جدول Coefficient الترابط بين المتحولات من خلال عمود B الذي يحوي أمثال المتحولات (عوامل الدراسة Dose-time-cod).



الشكل (3-3) تشكيل المعادلة في برنامج SPSS

بعد تحليل البيانات وفق الخطوات السابقة استطعنا استخراج معادلتين رياضيتين .

1. العلاقة الأولى تحدد الكلور المتبقي تبعاً للجرعة والزمن :

معادلة (1)

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * \text{dose} + (-0.004 * \text{time}) - 0.221$$

Residual chlorine الكلور المتبقي مقدراً بـ mg/l

Time زمن التماس مقدراً بـ min

Dose جرعة الكلور المضافة مقدراً بـ mg/l

مثال : بفرض إضافة جرعة بمقدار 0.9mg/l وزمن 45 min

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.9 - 0.04 * 45 - 0.221$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.3883 \text{ mg/l}$$

2. العلاقة الثانية تحدد الكلور المتبقي تبعاً للزمن والجرعة وقيمة الـ COD :

معادلة (2)

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 \text{ dose} - 0.004 * \text{time} + 0.001 * \text{COD} - 0.244$$

Residual chlorine الكلور المتبقي من الكلور مقدراً بـ mg/l

COD الاحتياج الكيميائي للأوكسجين مقدراً بـ mg/l

time زمن التماس مقدراً بـ min

dose جرعة الكلور المضافة مقدراً بـ mg/l

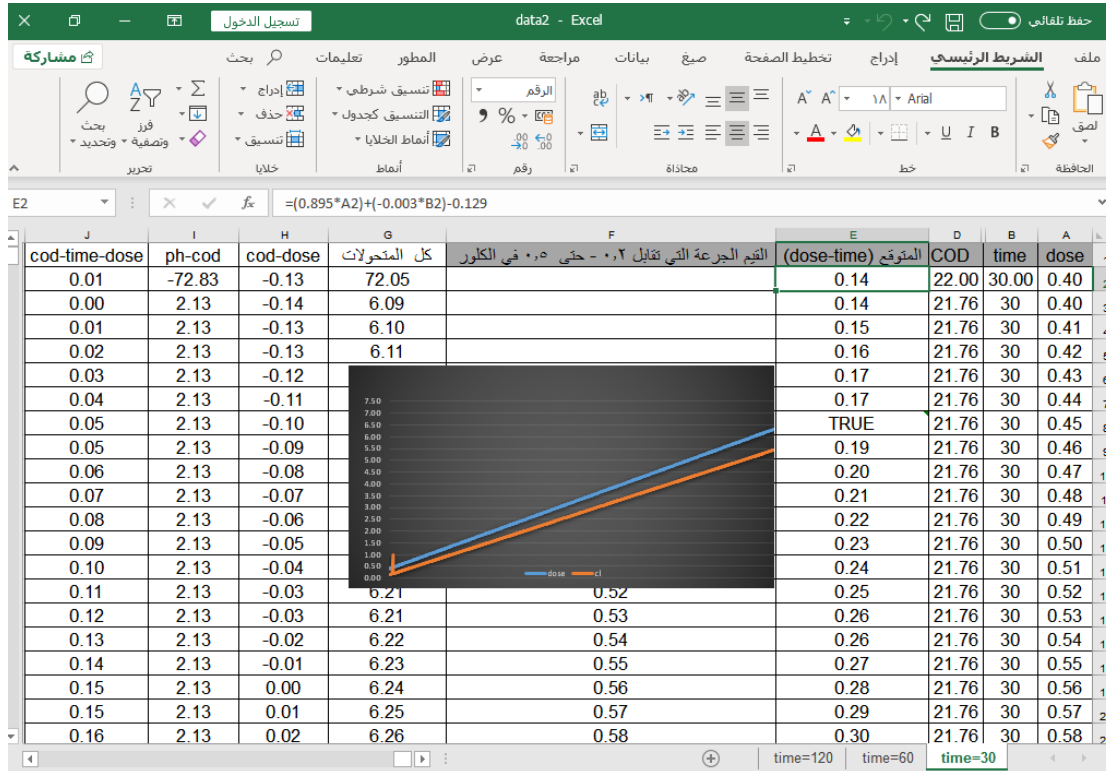
مثال : بفرض إضافة جرعة 0.85mg/l بزمن تماس 25 min و COD=20mg/l

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.85 - 0.004 * 25 + 0.001 * 20 - 0.244$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.42145 \text{ mg/l}$$

قمنا بعدها بتجريب المعادلات على نطاق واسع من البيانات المنطقية على برنامج الأكسل للتأكد من صحة المعادلة وصحة العوامل الداخلة في تكوينها .

ملاحظة: قمنا بدراسة العديد من العوامل التي تؤثر على الكلور المتبقي كما يبين الشكل (3-4) وقمنا باستثناء العوامل التي لم تعطينا نتائج منطقية.



الشكل (3-4) اختبار المعادلات عبر برنامج إكسل EXCEL

3.3. اختبار المعادلات على عينات من مياه العاصي الخامية :

عينة رقم (1) : بإضافة هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز 1.9% بمقدار 0.05ml أي ما يعادل جرعة كلور 0.95mg/l وبقيمة COD=20.83mg/l، بقياس الكلور المتبقي بعد 30min باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر ينتج لدينا :

$$\text{Residual chlorine} = 0.47 \text{ mg/l}$$

باستخدام المعادلة (1) : $\text{Residual chlorine} = 0.877 * \text{dose} + (-0.004 * \text{time}) - 0.221$

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.95 + (-0.004 * 30) - 0.221$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.49215 \text{ mg/l}$$

المعادلة (2) $\text{Residual chlorine} = 0.877 \text{ dose} - 0.004 * \text{time} + 0.001 * \text{COD} - 0.244$

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.95 - 0.004 * 30 + 0.001 * 20.83 - 0.244$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.48998 \text{ mg/l}$$

عينة رقم (2) بإضافة هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 3.2% بمقدار 0.02ml أي ما يعادل جرعة كلور 0.64mg/l وبقيمة COD=20.83mg/l، بقياس الكلور المتبقي بعد 30min باستخدام جهاز السبكتروفوتومتر ينتج لدينا :

$$\text{Residual chlorine} = 0.2 \text{ mg/l}$$

باستخدام المعادلة (1)

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * \text{dose} + (-0.004 * \text{time}) - 0.221$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.64 + (-0.004 * 30) - 0.221$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.22028 \text{ mg/l}$$

المعادلة (2) $\text{Residual chlorine} = 0.877 \text{ dose} - 0.004 * \text{time} + 0.001 * \text{COD} - 0.244$

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * 0.64 - 0.004 * 30 + 0.001 * 20.83 - 0.244$$

$$\text{Residual chlorine} = 0.176 \text{ mg/l}$$

نلاحظ أن المعادلات تعطي نتائج مرضية وتوفر وقت كبير على الباحث لمعرفة الجرعة المثالية المطلوبة عبر معرفة الكلور المتبقي المستنتج من هذه المعادلات قبل البدء بإجراء التجارب.

الفصل الرابع

الدراسة الفنية والاقتصادية

Technical and economic study

1.4. حساب الكميات المحتاجة من هيبوكلوريت الكالسيوم وهيبوكلوريت الصوديوم .

1.1.4. الحالة الأولى : استيراد البدائل مجاناً الى سوريا عبر المنظمات الدولية .

سيتم احتساب كمية هيبوكلوريت الكالسيوم مقدرة ب طن سنوياً لأنه يصل إلينا كحبيبات (حبيبات صلبة).

وكمية هيبوكلوريت الصوديوم سنوياً مقدرة ب مل لأنه يصل إلينا بشكل سائل .

○ كمية هيبوكلوريت الكالسيوم HTH Ca(OCL)_2 ذو التركيز 2.6%

كل 1لتر من المياه الخامية يحتاج الى 0.04ml من HTH

كل 1000لتر من المياه الخامية يحتاج الى 40ml من HTH

كل 1m^3 من المياه الخامية يحتاج الى 40ml من HTH

كل 1.61 m^3 من المياه الخامية يحتاج الى X من HTH

غزارة المحطة: $5800\text{m}^3/\text{h}=1.61\text{m}^3/\text{sec}$

$$X=(1.61\text{m}^3/\text{sec} * 40\text{ml})/1\text{m}^3$$

$$X= 64.4\text{ ml /sec}$$

كل 1000ml محلول HTH فيه $43.33*10^3\text{ mg}$ كلور .

كل 1ml محلول HTH فيه $z\text{ mg}$ كلور .

$$Z=43.33\text{mg}$$

$$43.33\text{mg} * 64.4\text{ml/sec} = 2790.452\text{mg/sec} = 2.79\text{g/sec}$$

كل $1.61\text{m}^3/\text{s}$ مياه خامية نضيف لها 2.79 gr/sec

كل 1m^3 مياه خامية نضيف لها $y\text{ gr/sec}$

$$Y=1.733\text{g/m}^3$$

$$Y=1.733\text{mg(HTH)/L(water)}$$

كل 1 ليتر ماء يحتاج الى 1.733mg HTH

○ الاحتياج الكلي للمحطة في اليوم :

$$5800000*1.733=10051400 \text{ mg/l.h}=0.2412336 \text{ ton/day}$$

تسع الشاحنة لمقدار 25 طن .

نحن بحاجة الى دفعة من HTH كل 104 يوم .

○ حساب كمية هيبوكلوريت الصوديوم ذو التركيز 3.5%:

تقدر كمية NaOCL المحتاجة للتعقيم 64.4ml/sec

$$64.4\text{ml/sec}=5564.16 \text{ L/D}=5.5 \text{ m}^3/\text{day}$$

تسع الشاحنة ل 25t ، NaOCL يأتي الينا ضمن خزان بحجم 1m³ وبوزن 1 طن

إي أننا بحاجة كل أربعة ايام الى نقلة شاحنة من محلول هيبوكلوريت الصوديوم .

○ ستم المقارنة بين البديلين على كلفة النقل سنوياً فقط وذلك لوصولهما مجاناً الى الأراضي السورية عن طريق المنظمات الدولية .

● تُحسب كلفة النقل تبعاً لنشرة الأسعار الصادرة من مديرية الخدمات الفنية و تبعاً المسافة المنقولة .

● تبلغ المسافة بين ميناء طرطوس مكان الاستيراد ومنطقة حوش السيد علي (مكان وجود محطة

تنقية مياه شرب مدينة حماه بالقصير) حوالي 100 كم .

● كلفة نقل الكيلو متر الواحد 1281 ليرة سورية .

● 128100=1281*100 ليرة سورية كلفة النقل للمسافة كاملة .

تكلفة نقل Ca(OCL)_2 HTH

كل 104 يوم نقلة شاحنة جديدة $\frac{365}{104} = 4$ نحتاج الى أربعة نقلات شاحنات في السنة كاملة.

تكلفة النقل المحتاجة في السنة من HTH

$$4 * 128100 = 512400 \text{ S.P/year}$$

تكلفة نقل NaOCL

كل 4 يوم نحتاج الى نقلة شاحنة جديدة

$$\frac{365}{4} = 91.25$$

تكلفة النقل المحتاجة في السنة من Naocl

$$91.25 * 128100 = 11689125 \text{ S.P/ year}$$

وقد نحتاج عملياً لأكثر من هذه النقلات بسبب التفكك السريع لتركيز NaOCL.

- وفي هذه الحالة يشكل البديل Ca(OCL)_2 هيبوكلوريت الكالسيوم البديل الأوفر (حيث تمت المقارنة على كلفة النقل) وبالتالي الأفضل لتعقيم مياه شرب مدينة حماه.

2.1.4. الحالة الثانية : استيراد البدائل مع دفع تكاليفها كاملة :

يبلغ السعر المتوسط لهيبوكلوريت الكالسيوم (حببيات) بتركيز 70% حوالي 1000 دولار (طن)
يبلغ السعر المتوسط لهيبوكلوريت الصوديوم (سائل) بتركيز 15% حوالي 375 دولار (طن)
إذا قمنا بحساب السعر غير متضمن النقل البحري :

- لكل 104 يوم نحتاج دفعة من هيبوكلوريت الكالسيوم بمقدار 25T ، تكلفة الاستيراد للسنة الكاملة دون أجور النقل (فقط سعر المادة) :

$$25000 \times 4 = 100000 \quad \$/\text{year}$$

وعلى اعتبار سعر الدولار الرسمي في المصرف لعام 2019م هو 434 S.P/\$

$$100000 \times 434 = 43400000 \quad \text{S.P./year}$$

- نحتاج لكل 4 أيام دفعة من هيبوكلوريت الصوديوم بمقدار 25T (25m^3 حجم الخزانات)،
تكلفة الاستيراد للسنة الكاملة دون أجور النقل (فقط سعر المادة) :

عدد الدفعات المحتاجة تقريباً على مدار السنة كاملة 92

$$92 \times 25 \times 375 = 862500 \quad \$/\text{year}$$

وعلى اعتبار سعر الدولار الرسمي في المصرف لعام 2019م هو 434 S.P/\$

$$862500 \times 434 = 374325000 \quad \text{S.P./year}$$

- هيبوكلوريت الكالسيوم أوفر بكثير من هيبوكلوريت الصوديوم كما في الحالة الأولى ، وبالرغم من عدم حسابنا لتكلفة النقل البحري من بلد المنشأ الذي غالباً ما يكون الصين (حيث تقدر مسافة النقل البحري بحوالي 7733km من الصين إلى سوريا).

- وفي هذه الحالة أيضاً يشكل البديل Ca(OCL)_2 هيبوكلوريت الكالسيوم البديل الأوفر (حيث تمت المقارنة على كلفة سعر المادة) وبالتالي الأفضل لتعقيم مياه شرب مدينة حماه.

نتائج البحث:

أولاً : تبين أن الجرعة اللازمة من هيبوكلوريت الصوديوم ذو التركيز 3.5% اللازمة لتطهير مياه شرب محافظة حماة بمقدار 1.4 mg/l

ثانياً: تبين أن الجرعة اللازمة من هيبوكلوريت الكالسيوم ذو التركيز 2.6% اللازمة لتطهير مياه شرب محافظة حماة بمقدار 1.04 mg/l

ثالثاً : استطعنا استنتاج معادلة رياضية تحدد الكلور المتبقي تبعاً للجرعة والزمن :

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 * \text{dose} + (-0.004 * \text{time}) - 0.221$$

Residual chlorine الكلور المتبقي مقدراً بـ mg/l

Time زمن التماس مقدراً بـ min

Dose جرعة الكلور المضافة مقدراً بـ mg/l

رابعاً : استطعنا استنتاج معادلة رياضية تحدد الكلور المتبقي تبعاً للزمن والجرعة وقيمة الـ COD :

$$\text{Residual chlorine} = 0.877 \text{ dose} - 0.04 * \text{time} + 0.001 * \text{COD} - 0.244$$

Residual chlorine الكلور المتبقي من الكلور مقدراً بـ mg/l

COD الاحتياج الكيميائي للأوكسجين مقدراً بـ mg/l

time زمن التماس مقدراً بـ min

dose جرعة الكلور المضافة مقدراً بـ mg/l

خامساً: يحدد البديل الأفضل لتطهير مياه شرب محافظة حماة بعد الدراسة التطبيقية والاقتصادية بأنه هيبوكلوريت الكالسيوم Ca(OCL)_2 على شكل حبيبات بيضاء إلى رمادية اللون.

المقترحات و التوصيات :

- من الأفضل دوماً التعقيم بغاز الكلور المسال متى اتاحت الظروف إعادة استخدامه .
- يستورد هيبوكلوريت الصوديوم إلى سوريا بشكل محلول أما هيبوكلوريت الكالسيوم فيصل بشكل حبيبات علينا حله ثم استخدامه بعمليات التعقيم والأهم من ذلك هو الترسبات الناتجة عن هذا المحلول والتي تقدر ب 35% منه والتي لا يجب أن تدخل الى المياه المعالجة حيث تعتبر ملوث وتشكل رواسب في مياه الشرب .
- انطلاقاً من النتائج يمكن الرجوع الى المعادلات السابقة لتحديد جرع الاستخدام لهيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم وذلك توفيراً لوقت الباحث .
- يمكن تطوير المعادلات وجعلها أدق بإضافة عوامل أخرى تؤثر على الكلور مثل درجات الحرارة أو درجة الحموضة والعكارة ، ما يتيح التوسع العلمي للبحث بشكل كبير .
- ينقص تركيز محلول NaOCL بشكل كبير عند تعرضه لأشعة الشمس علينا حمايته قدر الإمكان من التعرض لأشعة الشمس حتى لا ينخفض تركيز الكلور فيه أي تتغير الجرعة والكميات المحتاجة للتعقيم ويمكن أيضاً دراسة انخفاض التركيز وتأثيره المتباين على الجرعة المحتاجة للتعقيم .
- ترتفع قيمة COD بمقدار 8mg/l عما كانت عليه في السنوات الماضية، نستطيع البحث عن مدى تأثير هذا الارتفاع على عمليات المعالجة والتعقيم التي تتم في محطة القصير لمعالجة مياه الشرب .

The Potential Alternatives to chlorine to treat Hama's Drinking Water

ABSTRACT

Because of current conditions in Syria, liquefied chlorine gas is banned By international organizations in water disinfection Because it can be used as a chemical weapon in Syrian territory, Which led us to the search for alternatives to chlorine gas in the disinfection of water (in our search Hamah's drinking water) the Suggestions were about two alternatives which are Sodium hypochlorite and Calcium hypochlorite, The aim of this research is to determine the best alternative for disinfection of drinking water in Hamah city, and that done after determining the required doses of calcium hypochlorite and sodium to disinfect the water, which are the doses that achieve residual chlorine in the water with ranges from (0.2–0.5 mg / l) After 30 minutes of dosing the alternative in water, ideal doses of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite are determined after conducting residual chlorine experiments in water using a spectrophotometer On the raw waters of the Alassi River, And conclusion mathematical equations linking these doses with influential study factors which are: contact time, the dose used of calcium hypochlorite or sodium hypochlorite, (COD) Chemical Oxygen Demand, After practical study and technical and economic comparison, calcium hypochlorite is identified as the best alternative to Disinfect Hamah's drinking water instead of chlorine gas.

Key words :

Disinfection of water, Supply of drinking water, sodium hypochlorite , calcium hypochlorite , residual chlorine .

- [1] CHEREMISINOFF N ,2002–Hand Book Of Water and Wastewater Treatment Technologies . Butterworth–Heinemann. United States of America, p 654 .
- [2] Kurokawa Y, 1986 – Long-term in vivo carcinogenicity tests of potassium bromate, sodium hypochlorite, and sodium chlorite conducted in Japan. Environmental health perspectives in japan. Japan ,p235.
- [3] CARLOS ES ,2015– Survey Of Sodium and Calcium Hypochlorite .Danish ministry of the environment ,p 108 .
- [4] MINISTRY OF HEALTH , 2014 – Water Safety Plan Guide Treatment Processes –Chlorination Disinfection . ministry of health in wellington New Zealand . New Zealand , p 7.
- [5] NOTHERN TERRITORY GOVERNMENT ,2014 – Environmental Health Fact Sheet Disinfection Of Water Tank .Nothern Territory Government.Australia,p4.
- [6] Zoeteman B.C.J., Hrubec J, de Greer E. & Kool, H.J, 1982– Mutagenic associated with by-products of drinking water disinfection by chlorie, activity chlorie dioxide ozone and UV-irradiation Environ . Health Perspect .united states of America ,p205.
- [7] PAAL L,1995– Cepravochnic Po Oshistca Prirodni and stotishni Vod .Moscow university. Russia, p 250.
- [8] NIKOLADZE G.I., Some Of M.A , 1995– Vodosnabjenia. Moscow university . Russia ,p195 .

[9] ABDEL-RAHMAN MS, COURI D, BULL RJ,1982 – Metabolism and pharmacokinetics of alternate drinking water disinfectants. Environmental health perspectives,p 65.

[10] Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal (in force since 2012).

[11] Directorate-General for Health & Consumers,2010– Opinion on sodium perborate and perboric acid , European Commission.

المراجع العربية :

- [12] السلوم ، درغام ، 2012 - تنقية مياه الشرب الجزء النظري . مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية في جامعة البعث . سوريا ، 269.
- [13] السلوم ، درغام ، 2012 - تنقية مياه الشرب الجزء العملي . مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية في جامعة البعث . سوريا ، 148.
- [14] حسن، كاسب ، 1995 - كيمياء المياه والميكروبيولوجيا . منشورات جامعة تشرين. سوريا ، 215.
- [15] السلوم، درغام ، 1987 - الإمداد بمياه الشرب (2) ، الطبعة الأولى ، مديرية الكتب والمطبوعات ، جامعة البعث . سوريا ، 245.
- [16] حجار ، سلوى ، 1993 - الإمداد بمياه الشرب (2) ، الطبعة الأولى ، مديرية الكتب والمطبوعات ، جامعة حلب . سوريا ، 315.
- [17] وزارة البيئة المصرية ، 2015 - الخطوط الإرشادية للتعامل الآمن مع الكلور ، وزارة البيئة المصرية ، القاهرة . مصر ، 132.
- [18] وزارة الصناعة السورية، المواصفات السورية القياسية لمياه الشرب رقم 45 للعام 2007، دمشق ، سوريا ، 22.

- 12) ALSALLOM Durgham, 2012–Purification of drinking water The theoretical part. Directorate of books and university publications at the Baath University.syria,269.
- 13) ALSALLOM Durgham, 2012–Purification of drinking water the practical part. Directorate of books and university publications at the Baath University.syria,148.
- 14) Hassan kassb ,1995– Water Chemistry and Microbiology. Tishreen University Publications.syria,215.
- 15) ALSALLOM Durgham,1987–Supply of drinking water(2), First edition. Directorate of books and university publications at the Baath University.syria,245.
- 16)HAJJAR Salwa ,1993– Supply of drinking water(2), First edition. Directorate of books and university publications at Aelppo University.syria,315.
- 17) Egyptian Ministry of Environment,2015– Guidelines for safe handling of chlorine, Egyptian Ministry of Environment.EGYPT,132.
- 18) Syrian ministry of industry ,2007– Syrian Standards for drinking water NO.45 /2007, Syrian ministry of industry. Damascus, Syria,22.

