

Study and Determination of the Order of Chlorine Reaction with Water and the Appropriate Kinetic Model for Chlorine Decay in the Drinking Water Supply Network in Latakia City

Dr. Raed Jafar*
Dr. Hytham Jnad**
Dr. Adel Awad***
Mai Alfred Naser****

(Received 3 / 7 / 2022. Accepted 25 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

This study aimed to determine the order of the reaction of chlorine with water in order to reach at the appropriate kinetic model to study the decay of chlorine in the drinking water network and to determine the chlorine decay coefficient (K_b). Twelve sampling points were selected distributed on the main lines of the drinking water supply network in Lattakia city, Water samples were collected from the specified sampling points at a rate of once a month, as the study lasted for seven months from June (2021) until December (2021) which the concentrations of free residual chlorine were measured at each sampling point with, the adoption of initial time of measurement being the time of sample collecting. Then the concentrations of residual free chlorine were measured with an hour difference each measurement for each sampling point Then, the graph of the relationship between the concentrations of free residual chlorine, and its logarithm and its reciprocal was drawn against the measurement time over a period of (24) hours until the value of the concentration of free residual chlorine approaches zero. Based on the value of the correlation coefficient (R^2) of the previous relationships for each sampling point during the studied months. The accuracy of the correlation was determined and the value of the strongest (R^2) was chosen. The value of (R^2) was the strongest for the logarithmic relationship of chlorine concentrations against the measurement time for all sampling points during the studied months, and therefore the order of the reaction was of the first order, and based on the order of the reaction, The kinetic model that describes the decay rate of chlorine in drinking water, which is a first order model, was chosen

Keywords: drinking water network, Chlorine decay kinetics, chlorine models, order of reaction

* Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, , Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student (PhD), Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

دراسة وتحديد مرتبة تفاعل الكلور مع الماء والنموذج الحركي الملائم لتلاشي الكلور في شبكة الإمداد بمياه الشرب في مدينة اللاذقية

د. رائد جعفر*

د. هيثم جناد**

د. عادل عوض***

مي الفريد ناصر***

(تاريخ الإيداع 3 / 7 / 2022. قُبِلَ للنشر في 25 / 9 / 2022)

□ ملخص □

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد رتبة تفاعل الكلور مع الماء وذلك للتوصل إلى النموذج الحركي المناسب لدراسة تلاشي الكلور في شبكة مياه الشرب وتحديد معامل تلاشي الكلور (K_b) ، حيث تم اختيار (12) نقطة اعتيان موزعة على الخطوط الرئيسية لشبكة الإمداد بمياه الشرب في مدينة اللاذقية ، تم قطف عينات المياه من نقاط الاعتيان المحددة بمعدل مرة كل شهر حيث استمرت الدراسة لمدة سبعة أشهر من شهر حزيران (2021) حتى شهر كانون الأول (2021) ، حيث تم قياس تراكيز الكلور الحر المتبقي في كل نقطة اعتيان مع اعتماد الزمن الأولي للقياس هو زمن قطف العينة ، ثم قياس تراكيز الكلور الحر المتبقي بفارق زمني بمعدل ساعة بين كل قياس لكل نقطة اعتيان ومن ثم تم رسم المخطط البياني للعلاقة بين تراكيز الكلور الحر المتبقي ولوغاريتمه ومقلوبه مقابل زمن القياس على مدار (24) ساعة حتى تقترب قيمة تراكيز الكلور الحر المتبقي من الصفر وبناءً على قيمة معامل الارتباط (R^2) للعلاقات السابقة لكل نقطة اعتيان خلال الأشهر المدروسة تم تحديد دقة الارتباط واختيار قيمة (R^2) الأقوى ، حيث كانت قيمة (R^2) الأقوى للعلاقة اللوغاريتمية لتراكيز الكلور مقابل زمن القياس لكل نقاط الاعتيان خلال الأشهر المدروسة ، وبالتالي إن مرتبة التفاعل كانت من المرتبة الأولى ، وبناءً على مرتبة التفاعل تم اختيار النموذج الحركي الذي يصف معدل تلاشي الكلور في مياه الشرب وهو نموذج المرتبة الأولى.

الكلمات المفتاحية: شبكة مياه الشرب ، حركية تلاشي الكلور ، نماذج الكلور ، مرتبة التفاعل.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مدرس- قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

***أستاذ- قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) قسم الهندسة البيئية- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.

مقدمة:

الماء ضروري لجميع أشكال الحياة على الأرض ، حيث أصبح الحفاظ على جودة المياه في نظام توزيع المياه قضية بارزة في دراسة شبكات المياه، يعد التطهير خطوة مهمة للحصول على مياه آمنة للشرب ، حيث تضيف محطات المعالجة المطهرات لتدمير الكائنات الحية الدقيقة التي يمكن أن تسبب الأمراض للإنسان ، ومن أكثر الطرق شيوعاً للتطهير هو التطهير بالكلور والذي تم اكتشافه عام (1774) من قبل (Carl Wilhelm Scheele) ، حيث أن تركيز الكلور المتبقي هو مؤشر لضمان جودة المياه في شبكة المياه لأنه يزيل الملوثات في شبكات التوزيع بداية من محطة المعالجة وصولاً إلى المستهلك [1] .

حيث يضاف الكلور إلى مياه الشرب كغاز أو سائل ، وهو أكثر استخداماً في مياه الشرب لأنه فعال بتركيز منخفض و رخيص ويشكل بقايا إذا تم استخدامه بجرعات كافية ، مع الانتقال عبر نظام التوزيع يتلاشى الكلور [2] . يعرف تلاشي الكلور بأنه ظاهرة خاصة بالموقع ، ويعتمد على العديد من المتغيرات ، تركيز الكلور الأولي ، وخصائص مصدر المياه ، ودرجة حرارة الماء ، ونوع مادة الأنابيب [3] . كما أنه يجب ضمان الحد الأدنى من المطهر المتبقي من أجل حماية جودة المياه في نظام التوزيع [4] .

لضمان وجود الكلور الحر المتبقي في شبكة توزيع مياه الشرب ، ابتكر العديد من الباحثين نماذج لتلاشي الكلور في مياه الشرب حيث تسمح هذه النماذج بتقييم مستويات الكلور في مياه الشرب ، مما يسمح بالتنبؤ بتركيز الكلور المتبقي بمرور الوقت ، مع الأخذ في الاعتبار التركيز الأولي للكلور في محطة معالجة المياه [5] .

وعادة ما يتم تحديد معدل تلاشي الكلور بمعدل تفاعل من المرتبة الأولى أو الثانية [6] . ويزداد معدل تلاشي الكلور بشكل عام مع وجود المواد العضوية الطبيعية المعلقة والمذابة في الماء بالإضافة إلى ذلك درجة الحرارة والحديد والمنغنيز ومستوى الكلور الأولي ، وقد تبين أنه يختلف اختلافاً كبيراً مع درجة الحرارة والكربون العضوي الكلي وجرعة الكلور الأولية المستخدمة [7] .

تقسم النماذج الحركية لتلاشي الكلور إلى نماذج حركية من المرتبة الأولى ونماذج حركية من المرتبة الثانية ونماذج من المرتبة (n) ، وتساعد نماذج تلاشي الكلور في فهم تفاعلات الكلور مع الملوثات في (Bulk Phase) ومع الأغشية الحيوية وأسطح جدران الأنابيب أثناء توزيع المياه [8] ، وتستخدم هذه النماذج حالياً لتحسين الجرعة وتحديد مواقع المعالجة بالكلور والتنبؤ بالمواقع الحرجة حيث قد يتلاشى الكلور إلى مستويات غير فعالة [9] ، [10] . [9] [وتتطلب النماذج الرياضية لتركيز الكلور في أنظمة توزيع المياه أن يتم قياس معامل K_b ، وهو المعامل الرئيسي لنمذجة سلوك الكلور المتبقي في أنظمة مياه الشرب [5] .

أهمية البحث وأهدافه:**أهمية البحث****تتلخص أهمية البحث فيما يلي :**

التوصل إلى النموذج الحركي لتلاشي الكلور الملائم لشبكة الإمداد بمياه الشرب في مدينة اللاذقية والذي يعد جزءاً أساسياً مع برامج التحليل الهيدروليكي لدراسة تلاشي الكلور مع الزمن وتحسين الجرعة وتحديد مواقع المعالجة بالكلور والتنبؤ بالمواقع الحرجة.

أهداف البحث

يهدف البحث إلى:

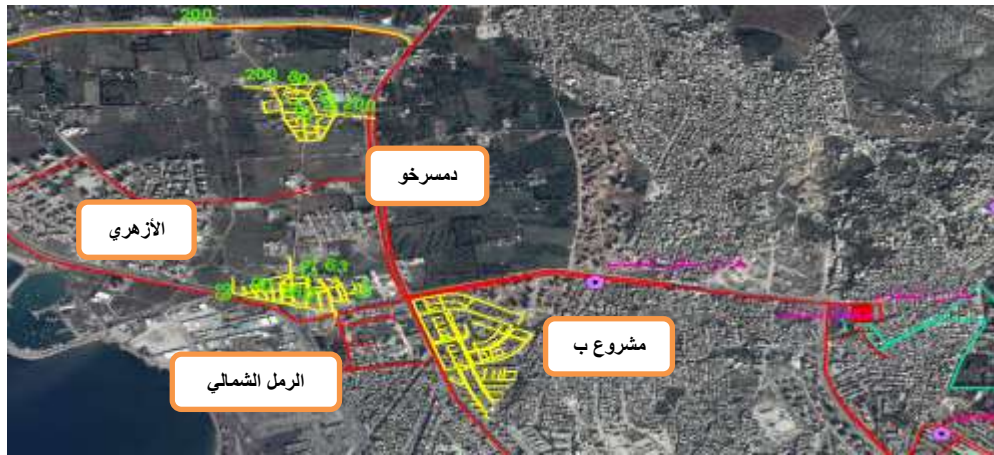
تحديد مرتبة تفاعل الكلور مع الماء.

موقع منطقة البحث

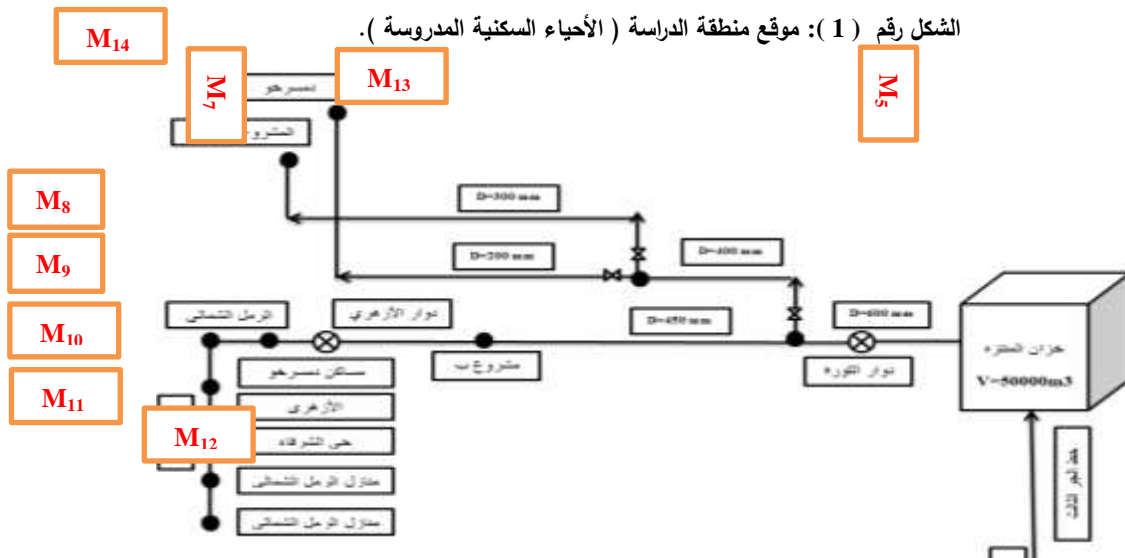
وصف شبكة مياه الشرب

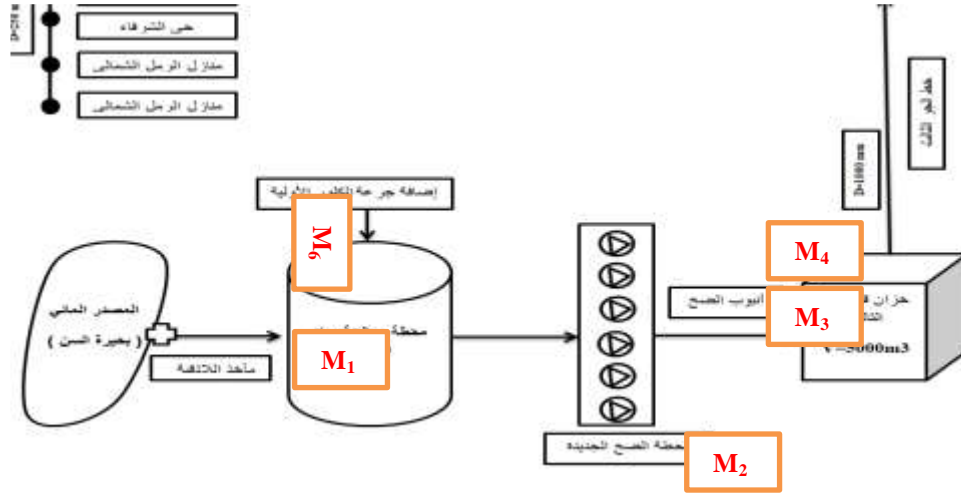
يتم تغذية مدينة اللاذقية بمياه الشرب من محطة السن في بانياس حيث يتم سحب المياه من البحيرة عبر مأخذ اللاذقية إلى محطات التنقية ومنها تسحب المياه عبر بيارات السحب إلى محطات الضخ التي تضخ المياه إلى خزانات قرفيص الأربعة التي تغذي خزانات مدينة اللاذقية بأربعة خطوط جر.

يتم دراسة جزء من شبكة مياه شرب مدينة اللاذقية وهي الشبكة التي تغذي الأحياء السكنية التالية (مشروع ب - الرمل الشمالي - الأزهرى - دمسرخو) يتم تغذية هذه الأحياء من خزان المنتزه بحجم (50000 m^3) الذي يتم تغذيته من خط الجر الثالث بطول ($L = 42 \text{ Km}$) وقطر ($D = 1000 \text{ mm}$) من خزان قرفيص الثالث بحجم (5000 m^3) وبخط إسالة من خزان المنتزه بقطر ($D = 600 \text{ mm}$) يتم تغذية هذه الأحياء.



الشكل رقم (1): موقع منطقة الدراسة (الأحياء السكنية المدروسة).





الشكل رقم (2): نظام تزويد مدينة اللاذقية بمياه الشرب .

طرائق البحث ومواده:

تناولت الدراسة الحقلية اختيار شبكة رصد مناسبة (نقاط اعتيان على الخطوط الرئيسية) لدراسة تركيز الكلور الحر المتبقي مع الزمن في شبكة الإمداد بمياه الشرب في مدينة اللاذقية مؤلفة من (14) نقطة اعتيان موزعة على الشكل التالي :

▪ الشبكة الرئيسية من محطة المعالجة (السن) حتى خزان المنتزه في مدينة اللاذقية

موقع نقطة الاعتيان	نقطة الاعتيان
نقطة من خزان التجميع عند إضافة جرعة الكلور الأولية في محطة السن.	M ₁
نقطة دخول المياه إلى خزان قرفيص الثالث (T ₃) نهاية إنبوب الضخ من محطة التلثانية إلى خزان قرفيص الثالث (T ₃).	M ₂
نقطة عند مدخل مدينة اللاذقية (الهادي) (نقطة على خط الجر الثالث على أوتوستراد اللاذقية - دمشق تبعد حوالي (6 km) عن خزان المنتزه)	M ₃
نقطة قبل دخول المياه إلى خزان المنتزه (من خط الجر الثالث مباشرة) .	M ₄
نقطة خروج المياه من خزان المنتزه (بداية خط الإسالة (D=600 mm)) .	M ₅

▪ الخطوط الرئيسية التي تغذي الأحياء السكنية من خزان المنتزه

موقع نقطة الاعتيان	نقطة الاعتيان
نقطة تغذية حي مشروع ب	M ₆
نقطة تغذية حي مساكن دمسرخو	M ₇
نقطة تغذية حي الرمل الشمالي	M ₈
نقطة تغذية حي الأزهري	M ₉
نقطة تغذية حي الشرفاء	M ₁₀

نقطة تغذية منازل الرمل الشمالي	M ₁₁
نقطة تغذية منازل الرمل الشمالي	M ₁₂
نقطة تغذية حي دمسرخو	M ₁₃
نقطة تغذية حي المشروع العاشر	M ₁₄

تم اختيار (12) نقطة اعتيان لدراسة جزء من شبكة مياه الشرب في مدينة اللاذقية حيث تم اعتماد النقاط بدءاً من (M₃) حتى (M₁₄).

طريقة جمع العينات

- 1- جمع عينات المياه بمعدل مرة شهرياً لمدة سبعة أشهر من شهر حزيران (2021) حتى شهر كانون الأول (2021) .
- 2- ترك الماء يجري لمدة دقيقتين لتجنب تجميع المياه التي لم يتم استخدامها لفترة طويلة .
- 3- جمع العينات في عبوات زجاجية (1) ليتر حتى لا تتغير العينات ليتم تحليلها لاحقاً.

تحديد كمية الكلور الحر المتبقي في عينات الماء

تم استخدام جهاز قياس تركيز الكلور الحر المتبقي الموجود في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين حيث يقيس الجهاز محتوى الكلور الحر المتبقي والكل في عينات الماء وتم استخدام كاشف (DPD) حيث يتفاعل الكاشف مع العينة ويعطي لوناً وردياً كلما زاد تركيز الكلور .

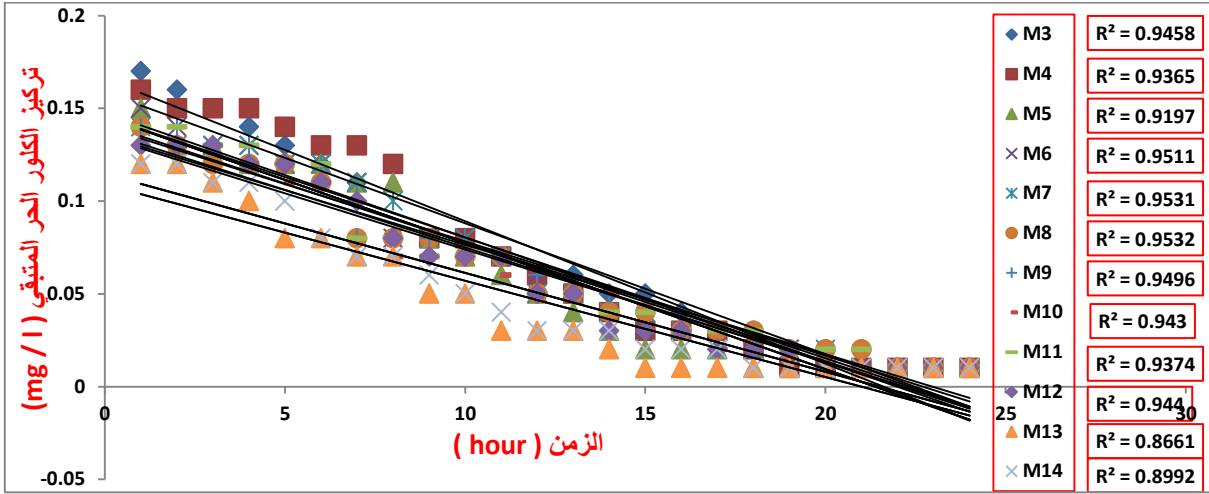
طريقة قياس الكلور الحر المتبقي

- 1- نأخذ عينة من المياه في كل نقطة اعتيان محددة عبوة من سعة (1) ليتر .
- 2- قياس تركيز الكلور الحر المتبقي في أول عينة (عند قطف أول عينة) مع تسجيل زمن القياس .
- 3- قياس تركيز الكلور الحر المتبقي في كل عينة بعد مرو ساعة عن الزمن الأول للقياس على مدار (24) . ساعة حتى تقترب قيمة تركيز الكلور الحر المتبقي من الصفر .
- 4- نرسم المخططات البيانية لكل عينة :
 - نرسم منحنى (C) مقابل (t) .
 - نرسم منحنى (Ln (C)) مقابل (t) .
 - نرسم منحنى (1 / C) مقابل (t) .
- 5- نحدد قيمة معامل الارتباط لكل منحنى من المخططات البيانية .
- 6- اختيار قيمة (R²) الأفضل .

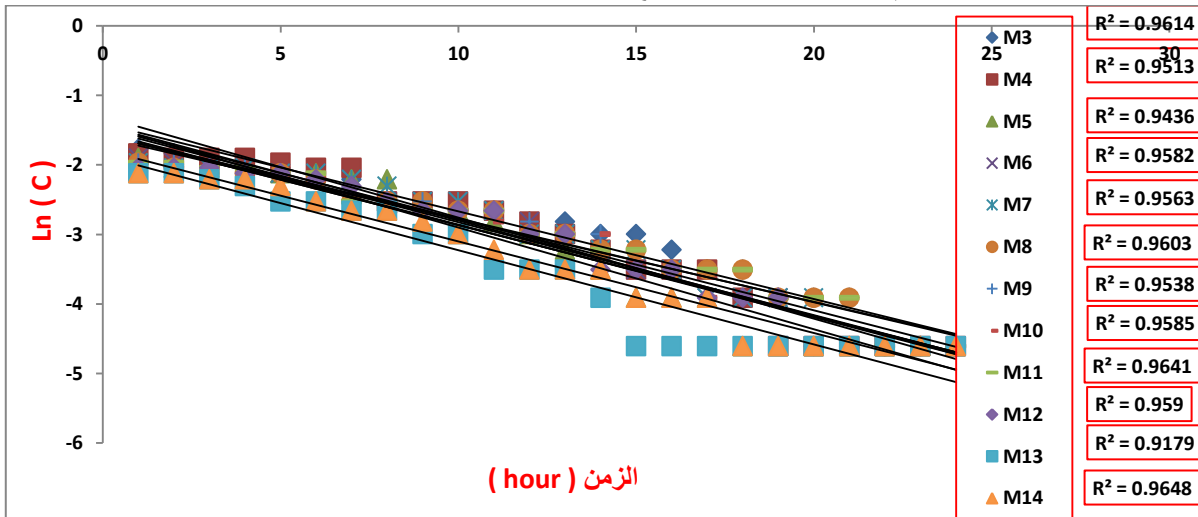
النتائج والمناقشة:

توضح الأشكال التالية علاقة تراكيز الكلور الحر المتبقي ولوغاريتمه ومقلوبه مع زمن القياس للعينات في نقاط الاعتيان المحددة خلال الأشهر المدروسة.

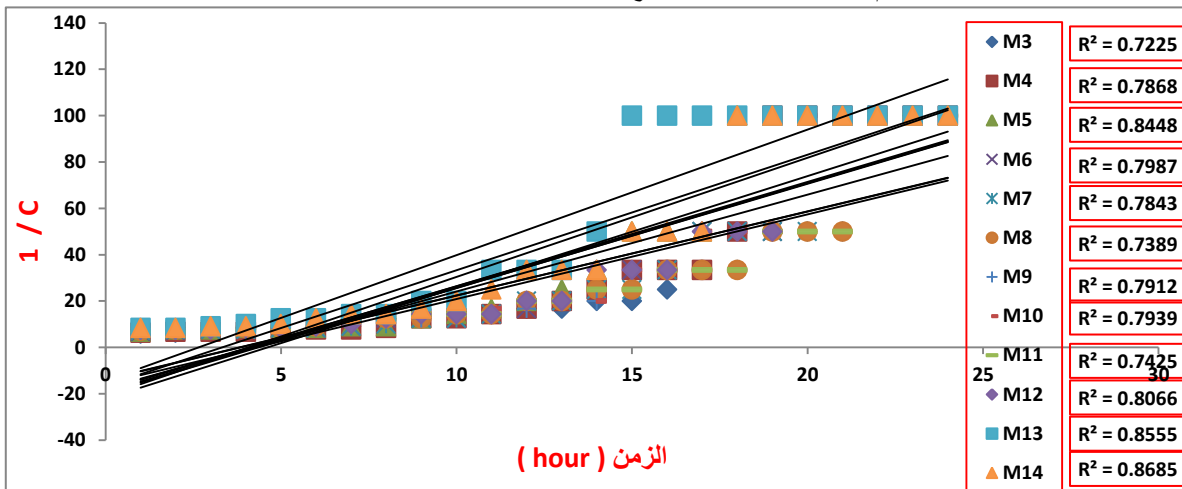
الشكل رقم (3): علاقة تركيز الكلور الحر المتبقي مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر حزيران.



الشكل رقم (4): علاقة $\ln(C)$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر حزيران.



الشكل رقم (5): علاقة $1/C$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر حزيران.



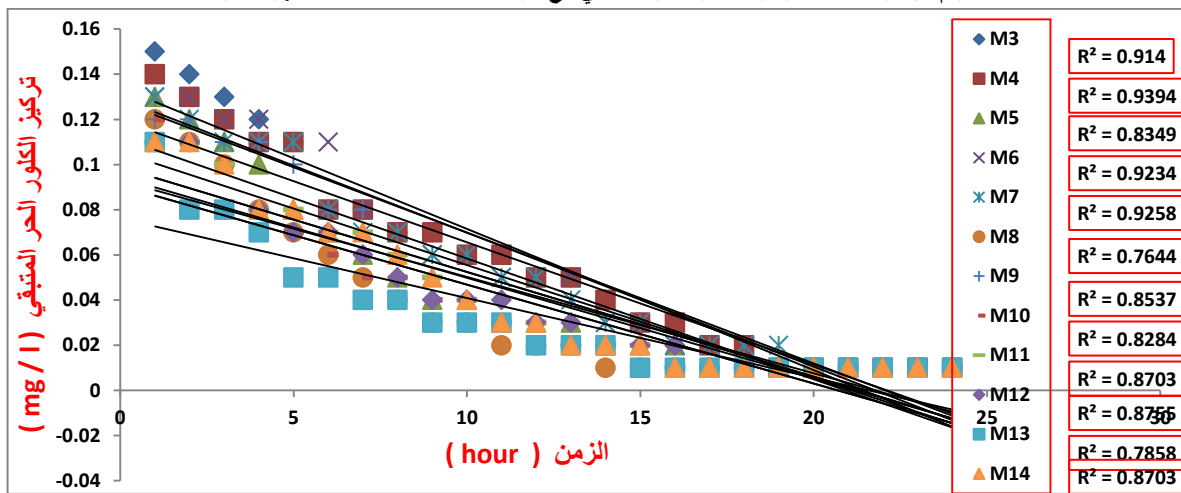
يوضح الشكل (3) رسم تراكيز الكلور الحر المتبقي مقابل زمن القياس للعينات المأخوذة من نقاط الاعتيان المحددة للتفاعل الصفري (التفاعل من المرتبة صفر) حيث تم الحصول على قيمة معامل الارتباط (R^2) ضمن المجال $R^2 = [0.8661-0.9532]$.

ومن خلال رسم لوغاريتم تراكيز الكلور الحر المتبقي ($\ln(C)$) مقابل زمن القياس للتفاعل من المرتبة الأولى كما في الشكل (4) حيث تراوحت قيم (R^2) ضمن المجال $R^2 = [0.8661-0.9532]$.

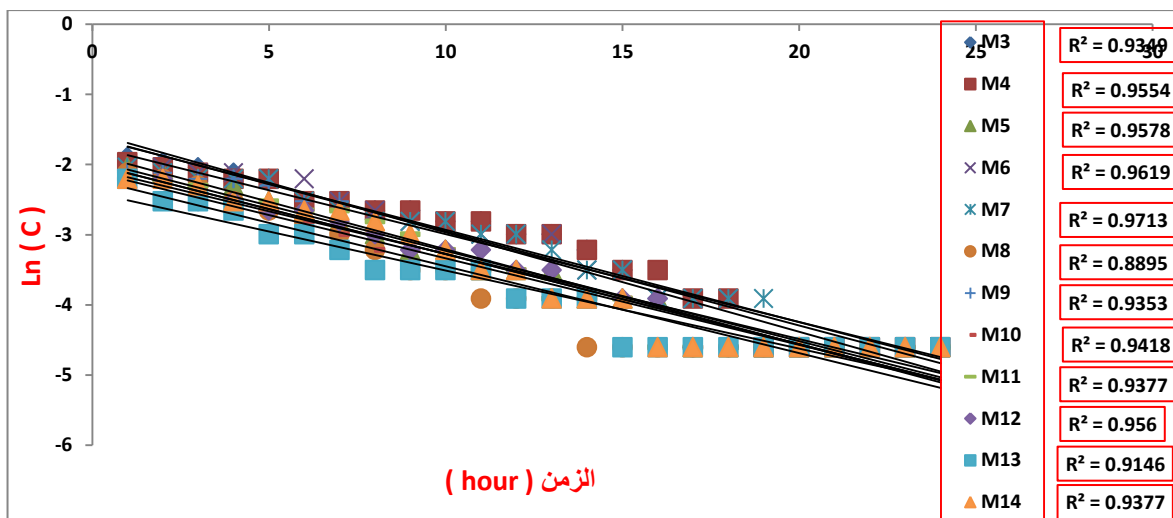
في غضون ذلك نلاحظ في الشكل (5) رسم مقلوب تراكيز الكلور الحر المتبقي ($1/C$) مقابل زمن القياس للتفاعل من المرتبة الثانية حيث بلغت قيم (R^2) ضمن المجال $R^2 = [0.8661-0.9532]$.

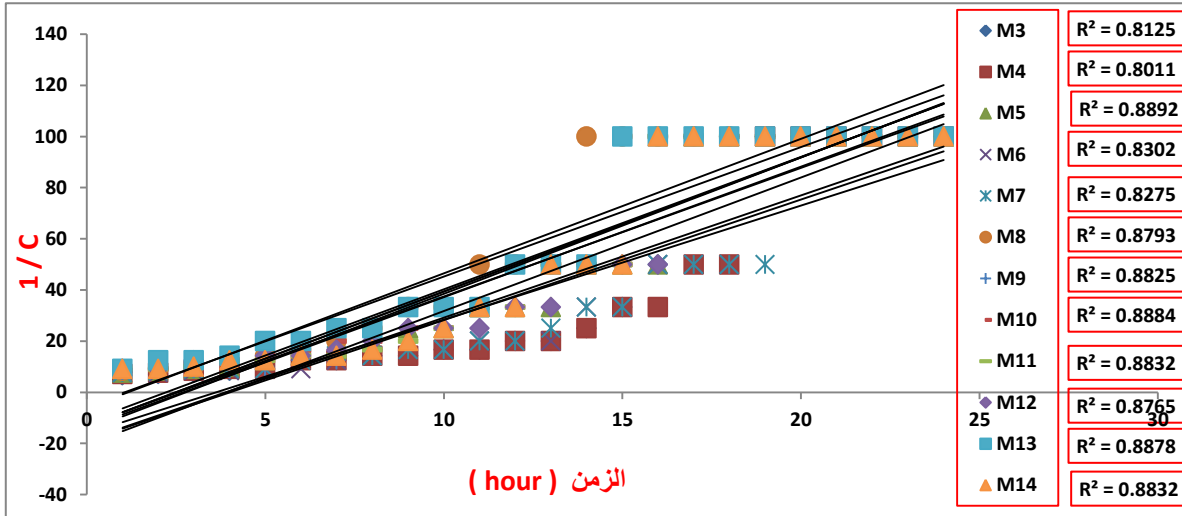
بمقارنة قيم معامل الارتباط (R^2) من الأشكال السابقة تبين أن (R^2) الأفضل هو للعلاقة بين لوغاريتم تراكيز الكلور الحر المتبقي مقابل زمن القياس وبالتالي هناك تفاعل من المرتبة الأولى في شهر حزيران.

الشكل رقم (6) : علاقة تركيز الكلور الحر المتبقي مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر تموز.



الشكل رقم (7) : علاقة $\ln(C)$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر تموز.

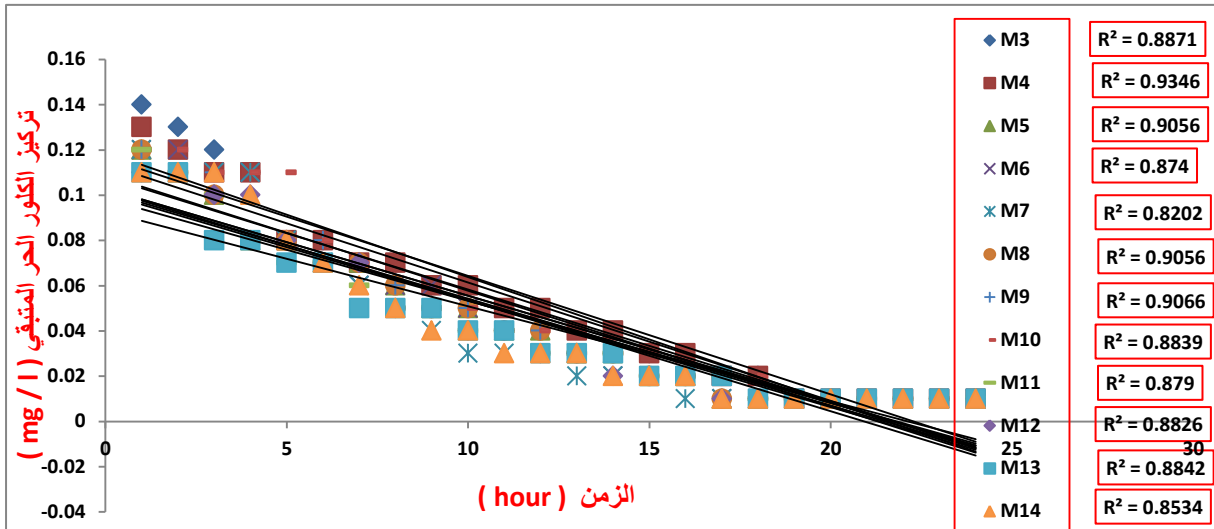


الشكل رقم (8) : علاقة $1/C$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر تموز.

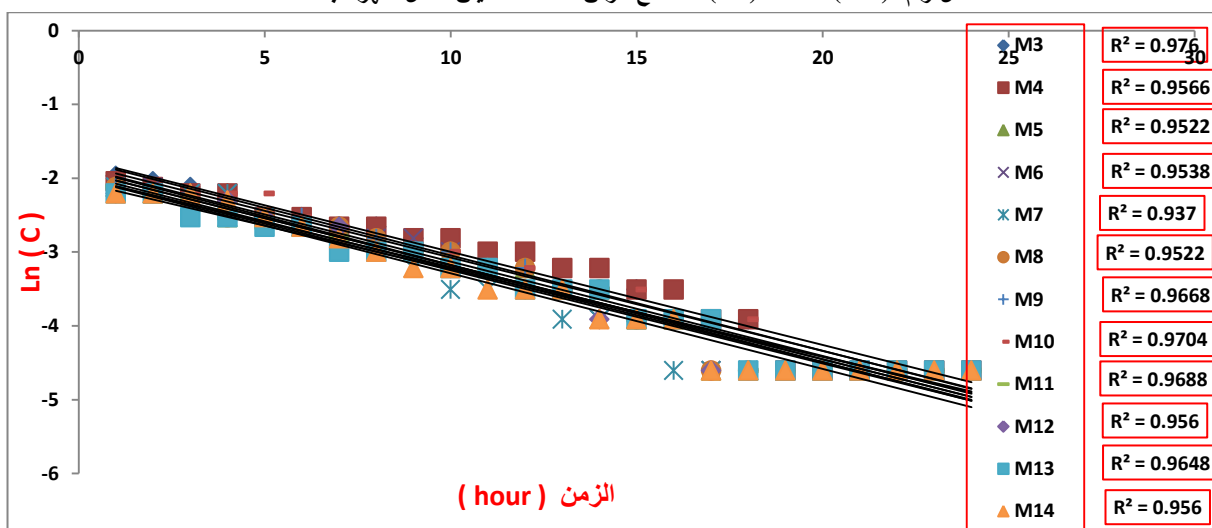
وبعد مقارنة قيم (R^2) بالنسبة لشهر تموز حيث بلغت قيمها للعلاقة بين تراكيز الكلور مع الزمن ضمن المجال $R^2 = [0.7644-0.9394]$ كما في الشكل (6) ، ونلاحظ في الشكل (7) بلغت قيمها للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مع الزمن $R^2 = [0.8895-0.9619]$ وتراوحت للعلاقة بين مقلوب التراكيز مع الزمن ضمن المجال $R^2 = [0.8011-0.8884]$ كما في الشكل (8) .

ونلاحظ أن قيمة (R^2) الأفضل هي للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مقابل زمن القياس وبالتالي إن مرتبة التفاعل هي من المرتبة الأولى .

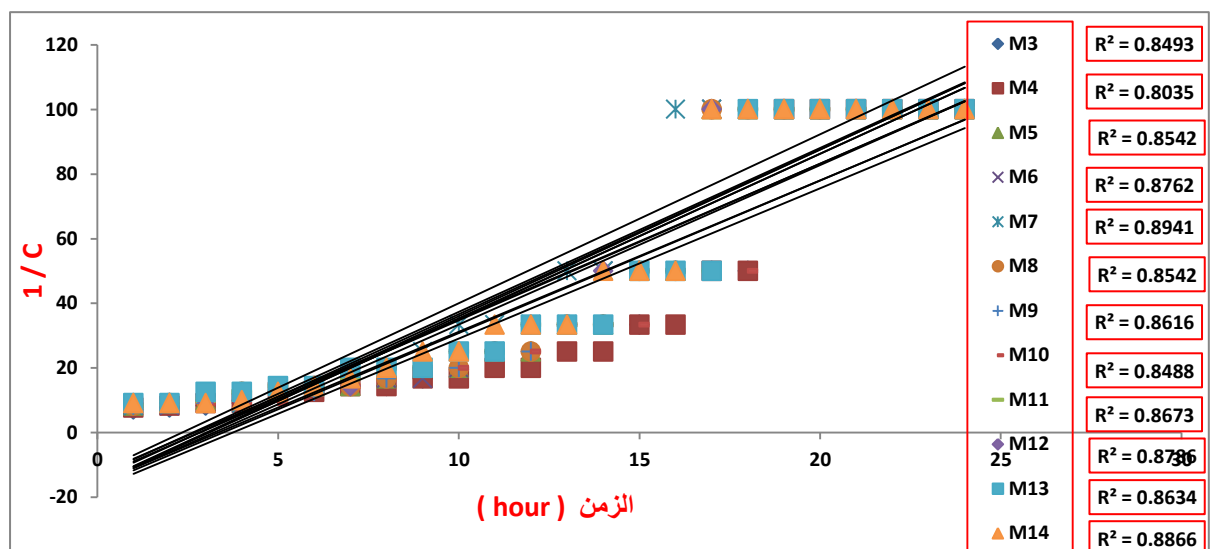
الشكل رقم (9): علاقة تركيز الكلور الحر المتبقي مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر آب .



الشكل رقم (10) : علاقة $\ln (C)$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر آب.



الشكل رقم (11) : علاقة $1/ (C)$ مع الزمن لنقاط الاعتيان خلال شهر آب.



نلاحظ من الأشكال السابقة إن قيمة (R^2) للعلاقة بين تراكيز الكلور مقابل زمن القياس لشهر آب ضمن المجال $R^2 = [0.8534-0.09346]$ كما في الشكل (9) ، بينما في الشكل (10) تراوحت ضمن المجال $R^2 = [0.937-0.976]$ للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مع الزمن وضمن المجال $R^2 = [0.8035-0.8941]$ للعلاقة بين مقلوب التراكيز مع الزمن كما في الشكل (11) ، وبالتالي إن قيمة (R^2) الأفضل هي للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مع الزمن وهذا يدل على أن مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

تم اتباع نفس الخطوات للأشهر الباقية (أيلول ، تشرين الأول ، تشرين الثاني ، كانون الأول) حيث تم التوصل إلى النتائج التالية :

بالنسبة لشهر أيلول كانت قيم (R^2) للعلاقة بين تراكيز الكلور ولوغاريتمه ومقلوبه مقابل زمن القياس لكل نقطة من نقاط الاعتیان على التوالي $[0.5742-0.8818]$, $[0.9476-0.986]$, $[0.913-0.966]$ وبمقارنة قيمها نلاحظ أن مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

بالنسبة لشهر تشرين الأول بلغت قيمة (R^2) للعلاقة بين تراكيز الكلور مقابل زمن القياس لكل نقطة من نقاط الاعتیان المحددة ضمن المجال $R^2 = [0.8975-0.9707]$ في حين تراوحت للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مع الزمن ضمن المجال $R^2 = [0.9537-0.9881]$ وتراوحت للعلاقة بين مقلوب التراكيز مع الزمن ضمن المجال $R^2 = [0.598-0.8838]$ وبالتالي قيمة (R^2) الأفضل هي للعلاقة اللوغاريتمية لتراكيز الكلور مقابل زمن القياس وهذا يدل على أن مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

وبمقارنة قيم (R^2) لشهر تشرين الثاني للعلاقة بين تراكيز الكلور مقابل زمن القياس ولوغاريتمه ومقلوبه لكل نقطة من نقاط الاعتیان على التوالي $[0.598-0.8838]$, $[0.9502-0.98737]$, $[0.8679-0.9686]$ حيث نلاحظ أن قيمة (R^2) الأقوى هي للعلاقة بين لوغاريتم تراكيز الكلور مع الزمن وبالتالي مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

بالنسبة لشهر كانون الأول بلغت قيم (R^2) للعلاقة بين تراكيز الكلور مع زمن ولوغاريتمه ومقلوبه على التوالي $[0.578-0.8594]$, $[0.9422-0.9798]$, $[0.8523-0.9614]$ وبمقارنة قيم (R^2) الأقوى نلاحظ كانت للعلاقة بين لوغاريتم التراكيز مع الزمن وبالتالي مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

بناءً على ماسبق وبعد مقارنة قيم (R^2) للعلاقة بين تراكيز الكلور ولوغاريتمه ومقلوبه مقابل زمن القياس لكل نقطة من نقاط الاعتیان خلال الأشهر المدروسة إن قيمة (R^2) الأفضل هي للعلاقة بين لوغاريتم تراكيز الكلور مقابل زمن القياس وبالتالي مرتبة التفاعل من المرتبة الأولى.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تم التوصل إلى مايلي :
- 1- مرتبة تفاعل الكلور مع الماء في شبكة مياه الشرب في مدينة اللاذقية من المرتبة الأولى.
- 2- النموذج الحركي لنمذجة تلاشي الكلور الحر المتبقي في شبكة مياه الشرب في مدينة اللاذقية نموذج المرتبة الأولى وهو من الشكل التالي :

$$C = C_0 * e^{-Kb*t}$$

التوصيات:

- بعد تحديد النموذج الحركي المناسب لدراسة تلاشي الكلور في شبكة مياه الشرب يجب :
- 1- تحديد قيمة معامل تلاشي الكلور (K_b) هو البارامتر الرئيسي لنمذجة سلوك الكلور المتبقي في أنظمة مياه الشرب حيث أن تفاعل الكلور مع الماء يعتمد على الظروف الخاصة لكل منطقة مدروسة ، مثل درجة الحرارة ومحتوى المادة العضوية وتشغيل وصيانة شبكة التوزيع.
 - 2- يجب معايرة معاملات تلاشي الكلور تبعاً لظروف شبكة التوزيع .
 - 3- إجراء المعايرة الهيدروليكية ومعايرة جودة المياه لشبكة المياه المدروسة باستخدام برامج التحليل الهيدروليكي.
 - 4- من الضروري وجود نموذج معايرة للمياه والجودة الهيدروليكية.

References:

- 1- Hamdy, D. Moustafa, M.A.E. Elbakri, W. *Free Residual Chlorine Calibration by WaterCAD at El-Nozha Water Network in Alexandria Governorate*, Egypt, Journal of Environmental Protection, 2014, 5, 845-861.
- 2- Shamrukh, M. Hassan, Y. *Chlorination and Optimal Chlorine Dosage for Nile Water*, Firdt AIN Shams University International Conference on Environmental Engineering, Egypt, 2005, 644-654.
- 3- Haider, H. Haydar, S. Sajid, M. Tesfamariam, S. Sadiq, R. *Framework for optimizing chlorine dose in small- to medium-sized water distribution systems: A case of a residential neighbourhood in Lahore*, Pakistan, Published under a Creative Commons Attribution Licence, 2015, 41, 614-623.
- 4- Ramos, H. M. Loureiro, Loureiro, D. Lopes, A. Fernandes, C. Covas, D. Reis, L. F. Cunha, M. C. *Evaluation of Chlorine Decay in Drinking Water Systems for Different Flow Conditions: From Theory to Practice*, Water Resour Manage, 2010, 24, 815-834.
- 5- García-Ávila, F. Sánchez-Alvarracín, C. Cadme-Galabay, M. Conchado-Martínez, J. García Mera, G. Zhindón-Arévalo, C. *Relationship between chlorine decay and temperature in the drinking water*, Elsevier B.V, 2020, 126, 13-20.
- 6- Omar, K.A. *Simulation of Chlorine Residual in Duhok's Water Distribution Network (Entire Ashti District) using EPANET 2.0*, Caspian Journal of Applied Sciences Research, 2015, 4(6), 1-9.
- 7- Tiruneh, A. T. Debessai, T. A. Bwembya, G. C. Nkambule, S. J. Zwane, L. *Variable Chlorine Decay Rate Modeling of the Matsapha Town Water Network Using EPANET Program*, Journal of Water Resource and Protection, 2019, 11, 37-52.
- 8- Al Heboos, S. Licskó, I. *Application and Comparison of Two Chlorine Decay Models for Predicting Bulk Chlorine Residuals*, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2017, 61(1), pp. 7-13.
- 9- Monteiro, L. Figueiredo, D. Dias, S. Freitas, R. Covas, D. Menaia, J. Coelho, S. T. *Modeling of chlorine decay in drinking water supply systems using EPANET MSX*, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, (2014) , 70, 1192 - 1200.
- 10- Sonia, A. L. *Effects of water quality character on chlorine decay in water distribution networks*, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Budapest Hungary, 2017.