

دراسة العلاقة بين مؤشرات التلوث العضوي في المياه

رياض محمود صالح العبيدي
مركز بحوث البيئة والسيطرة على التلوث
جامعة الموصل
Alobaidi_riyadhms@yahoo.com

الملخص

جرى في هذا البحث قياس أبرز المؤشرات العضوية (المتطلب الكيماوي والحيوي للاوكسجين BOD,COD والكاربون العضوي الكلي TOC) لأنواع مختلفة من المياه: مياه فضلات مدنية ومياه محطة معالجة فضلات ومياه فضلات مصطنعة مختبرياً فضلاً عن عينات نهريّة. وتمت دراسة علاقة الترابط بين تلك المؤشرات ، وقد لوحظ بأن العلاقة بين مؤشري BOD,COD ليست ثابتة وتتفاوت بتفاوت مصدر المياه وحالتها (خام، معالجة، او غيرها) ، مؤشر TOC بدوره تفاوتت علاقته مع COD ، ولكن ارتباطهما مع بعض كان أوثق من ارتباط كل منهما مع مؤشر BOD . أما عن علاقة TOC مع BOD فقد كانت ضعيفة نوعاً ما في الفضلات المدنية لمدينة الموصل. وقد لوحظ أيضاً بأن الفصل بين البيانات عن بعضها ومجانستها(حسب حالتها خام او معالجة) يحقق أفضل ترابط مما لو دمجت كل البيانات في علاقة واحدة . وأخيراً فقد تم استنتاج المعادلات التي تربط كل مؤشرين على حدة وبما يمكن من تخمين المؤشرات الغائبة في المياه المماثلة لتلك التي تمت دراستها بهذا العمل. فكانت لمياه الفضلات المدنية لمدينة الموصل ($BOD=0.461COD-23.46$)، و ($TOC=0.455COD+7.938$) و ($TOC=0.625BOD+24.87$) وبمعاملات ارتباط R^2 مساوية لـ 0.511 و 0.824 و 0.648 على الترتيب. فضلاً عن معادلات اخرى .

الكلمات المفتاحية : المحتوى العضوي ، الكاربون العضوي الكلي، المتطلب الكيماوي للاوكسجين ، المتطلب الحيوي للاوكسجين.

Study of the Relationship between Organic Content Measures in Water

Riyadh Mahmood Saleh AL-Obaidi

Environment and Pollution Control Research Center /Mosul University

Abstract:

Organic content measures (COD, BOD, and TOC) has been tested for different types of waters, municipal wastewater, treatment plant influent and effluent, synthetic wastewater and river water samples. The correlation between each two parameters has been studied. The results revealed that the relationship between BOD and COD is not always invariant and its changing depending on the type and the state of the samples (raw, treated or ..etc.). TOC also had changing relationship with COD, however, the TOC,COD relationship was best than the BOD relationship with the other two parameters. The separation between the data and homogenizing them gave best correlation. Finally , equations describing the relation between the three parameters has been edited and they can be used to estimate the absent test in accepted accuracy in similar samples to which have been studied in this work. The equations represent Mosul city wastewater samples were: ($BOD=0.461COD-23.46$), ($TOC=0.455COD+7.938$), and ($TOC=0.625BOD+24.87$) with $R^2= 0.511, 0.824$ and 0.648 respectively. More equations are included in this work.

Keywords; organic content, TOC, BOD, COD, Correlation , wastewater, characteristics

المقدمة:

يعد موضوع تحديد خصائص المياه من المواضيع التي تشغل العاملين في مجال هندسة المياه سواء النقية (لتحديد ملائمتها لأغراض الاستخدام المختلفة) او الفضلات المطروحة (لمعرفة مدى مطابقتها لمواصفات الطرح ومطابقة المحددات البيئية من جهة وتصميم وحدات المعالجة ومتابعتها من جهة اخرى)، وتتفاوت اهمية الفحوصات التي تجرى على المياه بتفاوت استخدامها او مجال التعامل معها ، ويعد فحص محتوى المواد العضوية من ابرز الفحوص التي يجب اجراؤها لغرض وصف المياه وصفاً مقنعاً كون المحتوى العضوي من الامور التي تؤثر بدرجة كبيرة في تحديد صلاحية المياه.

تتكون المواد العضوية عادة من الكربون ، الهيدروجين والاكسجين و احياناً النتروجين. وفي مياه الفضلات المدنية تشكل البروتينات 40-60% والكربوهيدرات 25-50% والدهون 8-12%، أما اليوريا فهو مركب عضوي يكون موجود بدرجة كبيرة في الفضلات ولكنه سرعان ما يتحلل [1]، فضلاً عن ما تقدم فإن مياه الفضلات قد تحتوي كميات قليلة من الجزيئات العضوية الاصطناعية بتركيبات معقدة وبسيطة [1].

لقد تم تطوير عدة تحاليل مختلفة لتحديد المحتوى العضوي في مياه الفضلات والمياه بشكل عام. ويمكن تقسيم التحاليل الى فحوص لقياس المحتوى الاجمالي للمواد العضوية (من عدة مركبات عضوية متفرقة) والتي لايمكن تحليلها بشكل منفصل، والى فحوص لتحديد المركبات العضوية المنفردة [2].

الفحوص الاجمالية تستخدم لقياس تركيز المواد العضوية الذي يزيد على 1 ملغم/لتر ومنها BOD و COD و TOC ، وغيرها .

المتطلب الحيوي للاوكسجين Biochemical Oxygen Demand BOD :

في عام 1912 وجدت اللجنة الملكية البريطانية بان فحص الـ BOD5 هو الفحص الامثل لتبيان نوعية مياه الانهر واعتبر مرجعاً في بريطانيا وقد اختير ذلك الزمن لان الانهار البريطانية كلها لا تستغرق 5 ايام للوصول الى مصباتها في البحار ومعدل درجة حرارة الصيف هي 18.3°س ، ولاحقاً تم رفع درجة الحرارة الى 20° في الفحص بينما بقيت مدة الـ 5 ايام لتصبح مرجعاً علمياً وقانونياً [3].

وفي الواقع فحص الـ BOD هو حساب مقدار الازالة في المادة العضوية وهي محاكاة للعملية الطبيعية الحاصلة في المياه. وقد اعتبر الفحص مقياساً مهماً لحساب الحمل الكربوني العضوي . وتميز باستخدامه في تحديد قوة الفضلات الخام وبيان مدى قابليتها على التحلل العضوي بالرغم من ان فحص BOD يعد دون مستوى فحص COD في اغلب التحاليل الدقيقة والصحيحة [3] (أي لا يستغنى بفحص BOD عن فحص COD في وصف خصائص المياه).

وفحص الـ BOD يتأثر بالنتيجة الحاصلة ضمن الفحص وعلى الرغم من فرضية القول بأن 5 ايام غير كافية لحصول النتجة في الفضلات الخام. الا أن غياب النتجة غير مضمون [1].

على الرغم من انتشار استخدام فحص الـ BOD الا انه يتأمل الاستعاضة عنه كلياً بفحص اخر وذلك بسبب كثرة التعقيدات او القيود بهذا الفحص لذلك فهو يستخدم الان فقط لاحد الامور التالية: [1].

- 1- تحديد حجم الاوكسجين المطلوب لمعالجة الفضلات
- 2- تحديد حجم الوحدات اللازمة للمعالجة
- 3- حساب كفاءة بعض وحدات المعالجة
- 4- تحديد توافق الفضلات المطروحة مع المحددات البيئية.

وإذا حدثت النتجة في الفحص فإن قيمة الـ BOD ستكون اكبر من القيمة الحقيقية للـ BOD الكربوني والمياه المعالجة (الخارجة من محطة معالجة بايولوجية) بحاجة الى تثبيط النتجة عند فحص BOD بسبب قلة محتواها من الكربون العضوي (الذي يؤدي بالتالي الى التداخل بين المتطلب الحيوي النتروجيني والكربوني للاوكسجين) ، أما اذا عطلت النتجة في المياه الخام فإن حجم الخطأ في فحص الـ BOD الكربوني (Carbonaceous BOD) سيكون بحدود 20% وهو كبير [1].

أما القيود التي تسبب التفاوت في فحص الـ BOD (وفضلاً عن الاخطاء الشخصية وارادة الحدوث) فهي [3]:

- 1- الحاجة الى بكتريا مؤهلة على الفضلات
- 2- الحاجة لمعالجة تمهيدية كازالة السميات او سواها من المثبطات
- 3- اقتصار القياس على المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي.
- 4- تلاشي صلاحية الفحص بمجرد انتهاء المدة (أي استحالة اعادة الفحص للنموذج).
- 5- طول مدة الفحص (والتي هي اصلا اختيرت لتقليل الاختلاف في مراقبة الانهر البريطانية كما اشير سابقاً).

المتطلب الكيميائي للاوكسجين COD كيميائي

هو مقياس الاوكسجين المكافئ لمحتوى المادة العضوية في النموذج والتي تتعرض للاكسدة بمؤكسد كيميائي قوي [2]. فحص COD يستخدم مؤكسد قوي (دايكرومات البوتاسيوم) بوجود الحامض والحرارة لأكسدة الكربون العضوي الى CO2 وماء. يقيس هذا الفحص كمية الدايكرومات (المؤكسد) المستهلكة في تحليل المادة العضوية. هناك مساوئ لهذا الفحص تبرز في حصول تداخل مع وجود تراكيز عالية من الكلورايد -Cl، وحاجته الى مركبات تسبب تلوثاً بالمعادن الثقيلة.

ومن المعروف أن هناك تفاوتاً بين قيم BOD وCOD لعدة اسباب منها

- صعوبة تحلل بعض المواد العضوية حيويًا مثل اللكتين ولكنها تتحلل كيميائيًا بدرجة كبيرة.
- بعض المواد اللاعضوية تتحلل كيميائيًا بالدايكرومات وتسبب فرقاً كبيراً،
- سمية بعض المواد للأحياء المجهرية يضر بدقة فحص BOD
- ارتفاع قيم COD بسبب تفاعل بعض المركبات اللاعضوية مع الدايكرومات.

لذلك فان الباحثين في دأب مستمر للوصول الى مؤكسدات وطرق قياس للمحتوى العضوي تخلو من تلك التداخلات والقيود، [4].

الكربون العضوي الكلي Total Organic Carbon TOC

هذا الفحص يتم اليًا، وهو لتحديد الكربون العضوي الكلي في المياه (أي جزيئة الكربون المرتبطة بمركبات عضوية). تستخدم في الفحص الحرارة والاوكسجين والاشعة فوق البنفسجية والمؤكسدات الكيميائية (او قسم من هذه العمليات) لتحويل الكربون العضوي الى غاز CO2 والذي يقاس بالاشعة تحت الحمراء او الطرق الاخرى. يستخدم فحص TOC لتحديد خصائص الفضلات التلوثية وبعض الاحيان لربطه بعلاقات مع كل من ال COD وال BOD وهو مفضل بسبب انه قد لا يستغرق أكثر من 20 دقيقة.

وقد نصح [1] بالاعتماد على فحص TOC اذا تم ربطه بعلاقة واضحة ومقبولة مع فحص ال BOD، ولهذا الفحص محاسن أهمها:

- 1- لا يتداخل مع Cl⁻ ولا Br⁻
- 2- لا حاجة للأحياء المجهرية
- 3- لا تستخدم مواد خطيرة (كروم او ما سواها).

لذا يمكن القول بالحاجة لايجاد علاقات ربط بين تلك المؤشرات بهدف تخمين ما لا يتم فحصه منها ومحاولة فهم خصائص الفضلات المختلفة من خلال العلاقة بين هذه المؤشرات. وقد شاع لدى الكثير فكرة ان المتطلب الحيوي يشكل نسبة معينة (ومحددة) من المتطلب الكيميائي للاوكسجين وهذا امر ليس صحيحا دائما ويحتاج الى اثبات تجريبي ومن هنا جاء الدافع لاجراء هذه الدراسة مع ان بعض المصادر تشير الى ان العلاقة تكون واضحة فقط في الفضلات سهلة التحلل الحيوي مثل فضلات معامل السكر وما شابهها [14].

أهداف البحث :

- 1- ايجاد وصف لعلاقات المؤشرات الثلاثة (TOC, COD, BOD) مع بعضها .
- 2- امكانية استخدام المعادلات الناتجة في تخمين المؤشرات الغائبة .
- 3- التحقق من الترابط بين المؤشرات في العينات المختلفة من المياه.

الدراسات السابقة:

هناك قصور بعض الشيء في الدراسات السابقة حول هذا الموضوع [5] ، وبسبب اعتماد معظم المؤسسات على مؤشر واحد او مؤشرين في تحديد حجم الحمل العضوي في المياه فقد استغنت عن المؤشرات الاخرى على الرغم من الجدل الحاصل حول كل منها. ولكن مع ذلك ظهرت دراسات تدعو الى اعداد المعادلات التي تربط بين المؤشرات العضوية كي يتم تسهيل تخمين ما لا يتيسر اجراء الفحص له.

ففي دراسة اجراها [6]، تم الاعتماد على فحص الCOD في ايجاد ما يسمى بدليل المتطلب الاوكسجين Oxygen Demand Index (DOI) ،حيث جرى قياس الCOD وفق الطرق القياسية وقياس ال BOD واعداد مقارنة بينهما

والاستنتاج للدليل الذي يساعد في الاكتفاء بفحص COD بالطريقة اللونية او بالتسحيح ومن ثم تخمين مؤشر BOD بالاعتماد على المعادلة المستنتجة.

اما [7] فقد درسوا العلاقة بين المؤشرات العضوية المختلفة (TOC،BOD،COD) وقد وجدوا ان العلاقة بين المؤشرات هذه تختلف باختلاف طبيعة الفضلات(سواء كانت خام او معالجة هوائياً اولاهوائياً او غير ذلك). وقد اوردوا معادلات خطية للعلاقات البيئية لهذه المؤشرات. لكنهم خلصوا الى ان فحص الـ COD لا يكون مناسباً للاستعاضة عن الفحوصات التقليدية الاخرى في تبيان ووصف المحتوى العضوي في المياه.

اما [8] ، فقد وجدوا ان العلاقة بين الـ BOD والـ COD متغايرة تبعاً للظروف المناخية (رطوبة ،جافة.. الخ) في مجرى مياه نهر يتعرض لفضلات من مصنع دباغة حسب ما تذكر الدراسة.

وقد اختار [9] عدة مواقع لعينات مياه مأخوذة من جداول مختلفة ويحتوي بعضها على نفايات حيوانية ودرس قيم الـ COD والـ BOD والـ TOC لها ووجدوا ان هناك تفاوتاً في المواقع الاربعة التي اختارها في قيم المؤشرات فكان الـ COD دائماً اعلى ولكن تفاوتت قيم الـ TOC والـ BOD فكان الـ BOD اكبر تارة والـ TOC اكبر تارة اخرى.

اما [10] فقد ادخل مؤشرات اخرى في المقارنة، مثل TDS الى العلاقة بين الـ COD والـ TOC والـ BOD في خصائص مياه نهر (Yobe) في نيجيريا. واستنتج البحث علاقة ربط بوثوقية عالية بين تلك المؤشرات.

طرائق العمل :

لاجراء البحث تم الاعتماد على الطرق القياسية في اجراء الفحوص المختلفة واهمها :

1. فحص الـ COD بالاعتماد على طريقة (Closed reflux) باستخدام جهاز نوع COD reactor.
2. فحص الـ BOD بالاعتماد على جهاز WTW TS 606 (حاضنة مع قناني مزودة بمقياس رقمي (OxiTop)).
3. فحص الـ TOC باستخدام جهاز Seivers InnovOx ،GE.

وكل تلك المؤشرات تم فحصها (فضلا عن غيرها من الفحوصات) تبعاً لما ورد في [2]، وعلى المرگد منها decanted . أما عن البيانات التي تم اعتمادها فهي كما يلي :

1. عينات مياه فضلات مدنية اخذت من مواقع متفرقة من مدينة الموصل (تزيد على 30 عينة).
2. عينات مختبرية مصطنعة خام ومعالجة بوحدة مختبرية تعمل بالحماة المنشطة. (تصل الى 40 عينة)، تم الاعتماد في تحضيرها على مادة حليب الاطفال (كمادة رئيسة على اعتباره غذاء متكامل حتى للاحياء المجهرية كما ثبت من التجارب بغض النظر عن المشاكل الجانبية التي قد يحدثها للحماة المنشطة المختبرية) مع اضافة بعض مركبات الفوسفات كمنظم للدالة الحامضية (Buffer)، وقد لوحظ أن كل 1 غم من الحليب الجاف في لتر من الماء يعطي محتوى عضوي كـ TOC بتركيز (300±10mg/L). (COD=700±30 mg/L)، (BOD=460±40 mg/L).
3. عينات من محطة معالجة مياه فضلات مجمع مستشفيات ابن سينا في مدينة الموصل(الخارجة من حوض الموازنة والخارجة من حوض التهوية ، علما ان المحطة عاملة بالحماة المنشطة) وتزيد على 35 عينة . وقد تم اجراء الفحوصات مباشرة في نفس ايام النمذجة مع اجراء الترتيبات اللازمة للمحافظة على خصائص العينات وفقاً لما نصح به [2].

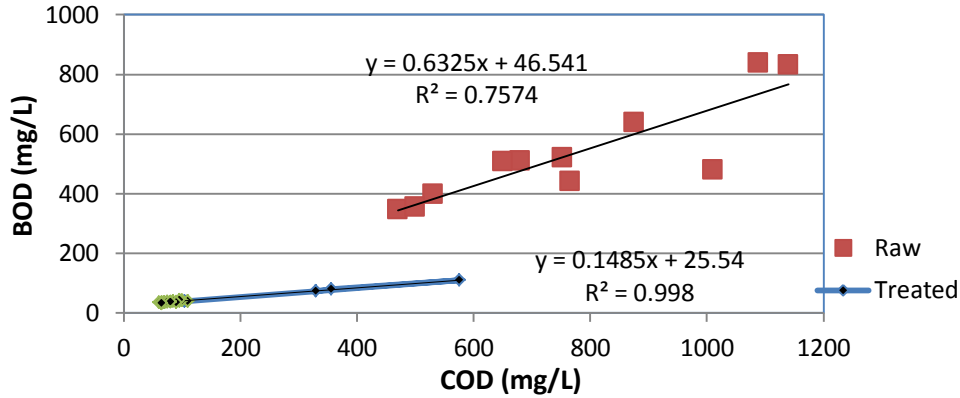
النتائج والمناقشة :

ان مؤشرات التلوث العضوي المختلفة تعتمد على طرق قياس مختلفة ولكن يمكن القول بانها تشترك في وحدات القياس وكذلك في منطقية تفسيرها وسيجري في المناقشة استعراض مدى ترابط تلك المؤشرات مع بعضها وتحليلها.

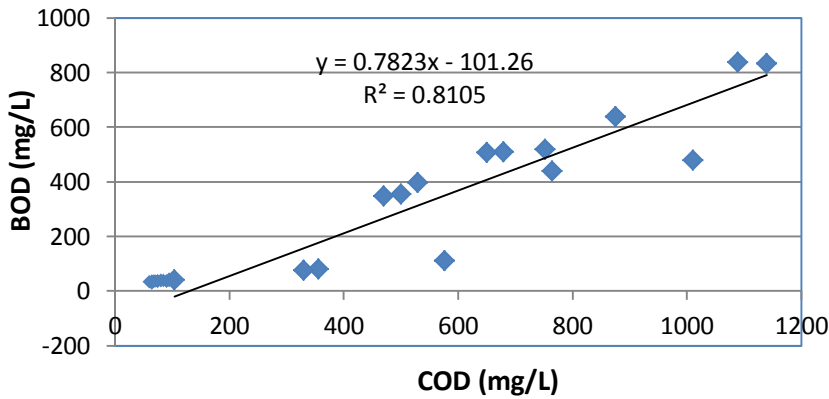
1-العلاقة بين مؤشري COD و BOD :

من المشهور ان هناك علاقة ترابط بين قيم الـ COD وقيم الـ BOD في نماذج المياه وبعض المصادر تضع نسباً ثابتة او متغايرة بينهما ولكن يبدو ان ليس هناك علاقة ثابتة بينهما وحين تجريب علاقات ربط هذين المؤشرين في هذه الدراسة لنماذج من مواقع مختلفة وجد انه يمكن ان تكون هناك علاقات مقبولة فيما لو تميزت البيانات عن بعضها، فمثلاً تم تقسيم البيانات المتوفرة الى مجاميع متجانسة لتحقيق اكبر ترابط مقبول بين المؤشرين ففي نماذج عمل مختبري لوحدة حماة منشطة وجد ان قيم الـ COD و BOD تكون العلاقة بينهما اوضح بالنماذج المعالجة بمعامل ارتباط (R²=0.998) ؛ بينما للنماذج الخام فكانت (R²=0.757) اما اذا دمجت كلتا المجموعتين بعلاقة واحدة فإن معامل الارتباط يكون (R²=0.81) طبعاً مع اختلاف المعادلات التي تربط بينهما؛ كما يلاحظ من خلال المعادلات بأنه في المياه الخام تكون نسبة ($\frac{BOD}{COD}$) اكبر منها للمياه المعالجة (من خلال ميل المنحني) كون المادة المستخدمة في تحضير المياه الخام (الحليب) سهلة التحلل

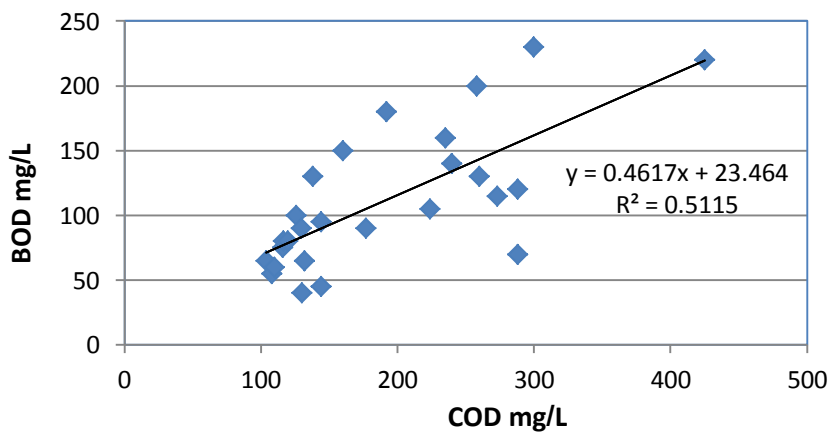
ابتداءً، بينما بعد المعالجة وبسبب ظهور المواد العضوية المقاومة Refractory substances في المياه المعالجة تكون نسبة ($\frac{BOD}{COD}$) قليلة نوعاً ما ويمكن ملاحظة ذلك في الشكل (1). أما الشكل (2) فيبين العلاقة بين مؤشري BOD و COD حين دمج بيانات العينات الخام مع بيانات العينات المعالجة. أما بالنسبة للفضلات المدنية فالعلاقة كانت كما في الشكل (3)، وكما يلاحظ فإن الترابط ضعيف نوعاً ما ، ويمكن تفسير ذلك باحتواء الفضلات المدنية على مركبات سمية تعيق التحلل حيوياً وكذلك مركبات لاعضوية قد تشترك في استهلاك الدايمكرومات في فحص ال COD أو اجتماع أمور عديدة لتكون العلاقة بين المؤشرين بهذا الترابط الضعيف(كما أشار نحو ذلك [4]، [5]، [3]).



الشكل (1): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بفصل الخام عن المعالجة.



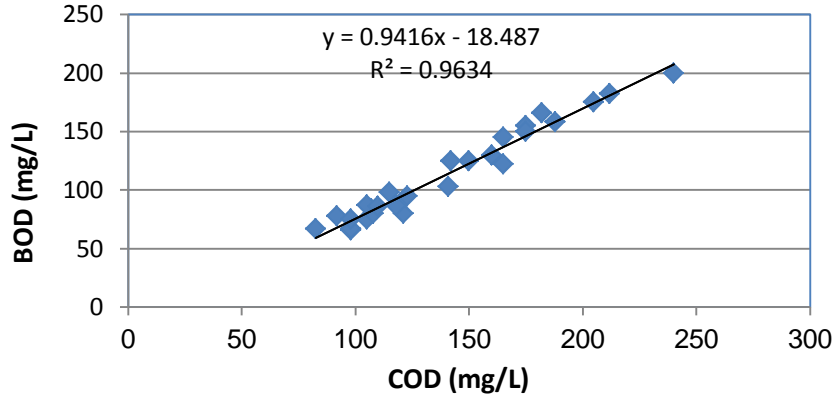
الشكل (2): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالعينات الخام والمعالجة.



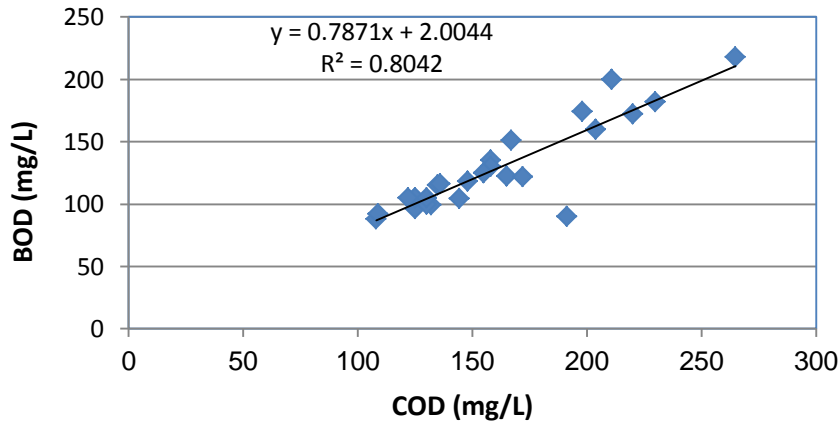
الشكل (3): العلاقة بين مؤشري BOD و COD للفضلات المدنية

أما بالنسبة للفضلات المتعلقة بمحطة المعالجة فإن العلاقة بين COD و BOD كانت كما في الأشكال 4، 5، 6. ومن خلال تلك الأشكال يلاحظ بأن علاقة الترابط بين COD و BOD في المياه المعالجة (الخارجة من حوض التهوية) كانت أوثق منها للمياه الداخلة للمعالجة ،ويمكن تعليل ذلك بأن المياه المدنية قد تحتوي على مواد كيميائية تعيق التحلل (في فحص

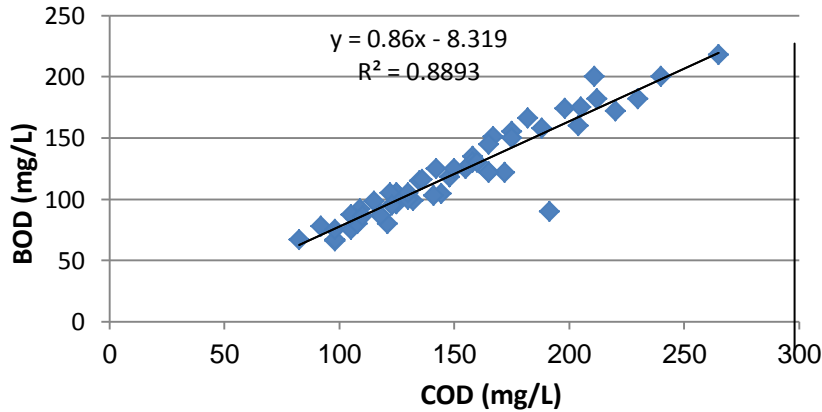
(BOD) وبتراكيز متغيرة مما يربك العلاقة بين COD وBOD، بينما بعد معالجتها فإن الفضلات تتجانس وتصبح قيم BOD أكثر معنوية نسبة لقيم COD.



الشكل (4): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج لمياه خارجة من محطة معالجة فضلات مستشفى .



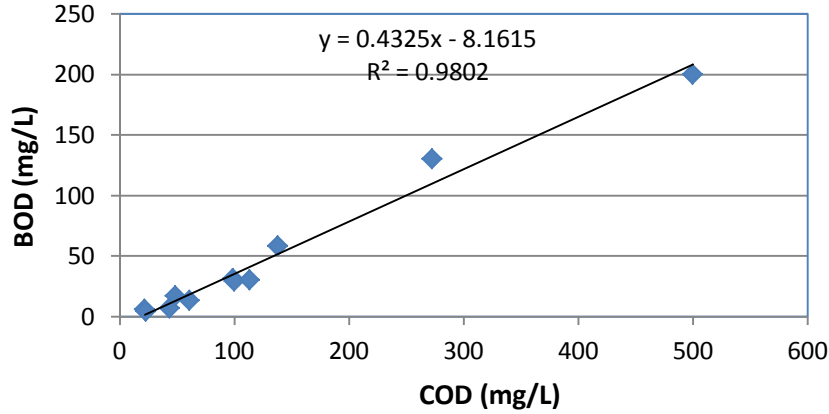
الشكل (5): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج لمياه داخلية لمحطة معالجة فضلات مستشفى .



الشكل (6): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج لمياه داخلية ومعالجة في محطة معالجة فضلات مستشفى .

وإذا دمجت جميع العينات بعلاقة واحدة فإنها تكون كما في الشكل (6) ومعدل ارتباطها 0.889 ويلاحظ بأن الفصل بين البيانات يعطي مقبولية أكثر للعلاقات بين المؤشرين BOD و COD . وقد تم الاستئناس بعينات من بحوث مأخوذة من الأدبيات المتاحة واستخراج قيم COD و BOD لها وبملاحظة علاقتها ببعض فوجدت كما في الشكل (7) ، وقد لوحظ بأنه كلما كانت النماذج المقاسة متجانسة و متشابهة كانت العلاقة بين COD و BOD اوثق . تجدر الإشارة الى ان نسبة ($\frac{BOD}{COD}$) في العينات المختبرية المعالجة كانت قليلة كما يلاحظ من جدول (1) ، وذلك يعزى الى ظهور المركبات المقاومة

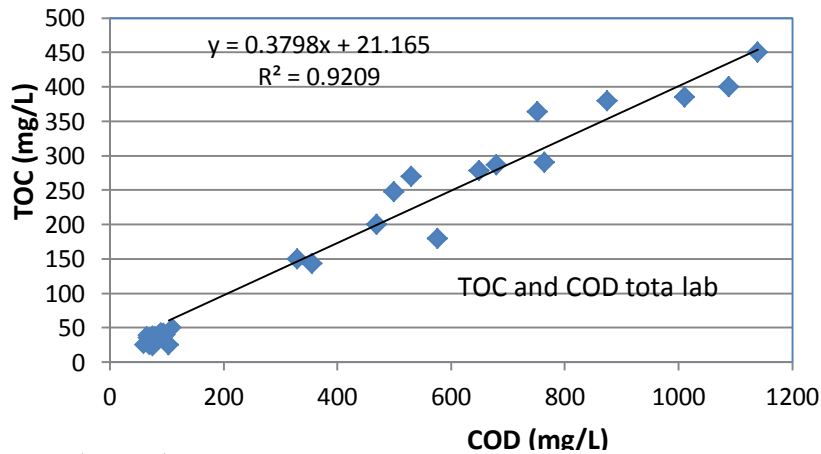
Refractory substances للتحلل الحيوي الحاصل بفحص BOD ، وهذا متوافق مع ما وجدته [11]. ويمكن اعتبار النماذج المصطنعة الخام ونماذج محطة المستشفى والفضلات المدنية سهلة التحلل حيوياً وذلك بسبب ان نسبة $(\frac{BOD}{COD})$ تكون اكبر من 0.5 وذلك بناءً على ما استنتجه نفس المصدر [11] ، وكما يمكن ملاحظة ذلك من الجدول (1).



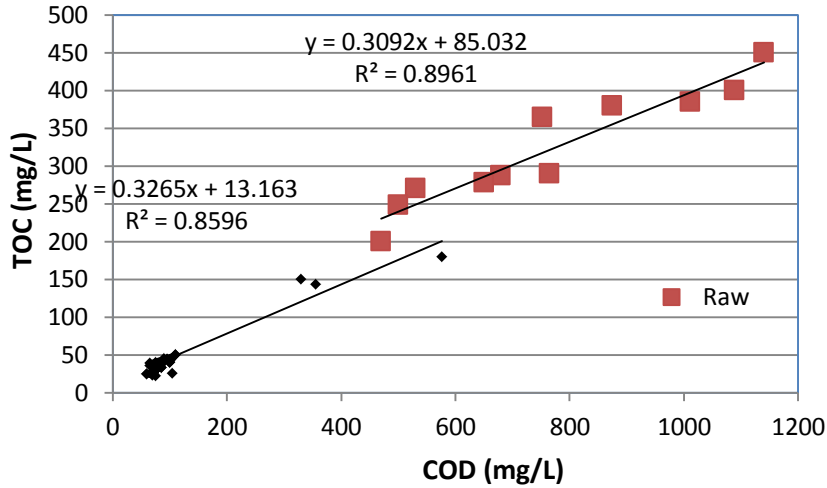
الشكل (7): العلاقة بين مؤشري BOD و COD في نماذج لمياه مختلفة مأخوذة من ادبيات عدة ([7],[8],[9],[10],[11],[12]).

2- العلاقة بين مؤشري الـ COD و TOC

فحص TOC من الفحوصات غير متوفرة في كل الاماكن كما هي الحال بالنسبة لـ COD و BOD وذلك بسبب حاجته الى اجهزة معقدة نوعاً ما (تتعلق بالاشعة تحت الحمراء وغيرها) لذا من المهم البحث عن علاقات تربط بين مؤشري الـ TOC مع المؤشرات الاخرى لتغطية شحة البيانات التي تتعلق بهذا المؤشر. ويختلف فحص TOC عن الفحصين الاخرين في كونه يقيس ذرات الكربون في المادة العضوية بينما الفحصين الاخرين يقيسان الاوكسجين المطلوب لتحويل المادة العضوية الى CO_2 وماء او غيرهما. بالنسبة للنماذج المختبرية (سهلة التحلل نوعاً ما كونها اصطناعية تعتمد على المغذيات كالحليب وغيرها) لوحظ ان دمج البيانات (المعالجة والخام) لم يختلف كثيراً عن فصلها بالنسبة للعلاقة بين الـ COD و TOC ، وذلك فُسر بأنه بسبب تقارب العلاقة اصلاً بين ذرات الكربون والمواد العضوية سهلة التحلل (اي في المركبات سهلة التحلل يكون الكربون العضوي متعلقاً بدرجة كبيرة مع قيمة COD [13])، وتبين الحالة من خلال الشكلين (8) و (9)، بينما للفضلات المدنية (الشكل 10) فقد تبين ان النسبة بين TOC/COD هي بحدود 0.49 (باختيار تقاطع الخط مع النقطة 0,0) مع احتمالية تغيرها بسبب تغير تركيبة الفضلات بشكل مستمر .

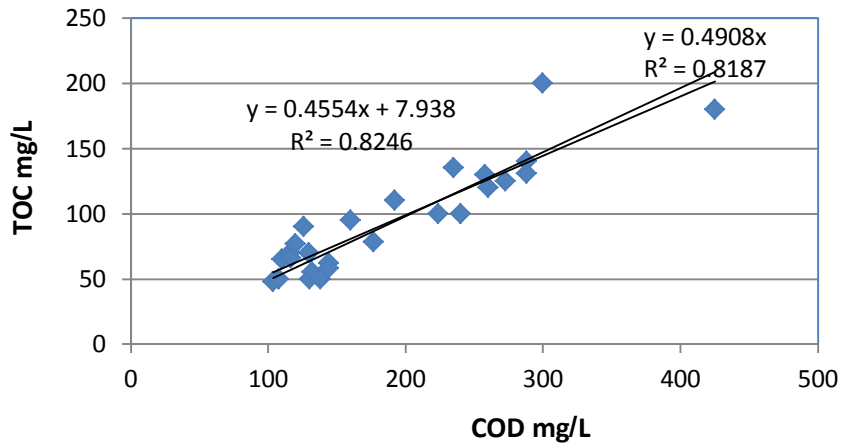


الشكل (8): العلاقة بين مؤشري TOC و COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالخام والمعالجة.

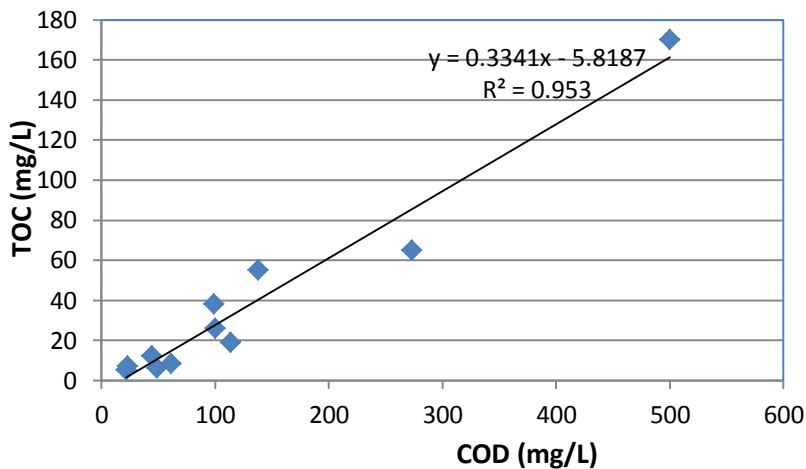


الشكل (9): العلاقة بين مؤشري TOC و COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بفصل الخام عن المعالجة.

اما للبيانات المأخوذة من الأدبيات فكانت العلاقة كما مبينة في الشكل (11).
تجدر الإشارة الى ان النتائج المستحصلة في هذه الدراسة مقارنة جدا لما قد وجده [12] والذي اشار الى تفاوت العلاقة بين ال COD و TOC للفضلات الخام والمعالجة بالحماة المنشطة والمعالجة ببرك التثبيت



الشكل (10): العلاقة بين مؤشري TOC و COD لفضلات مدنية .

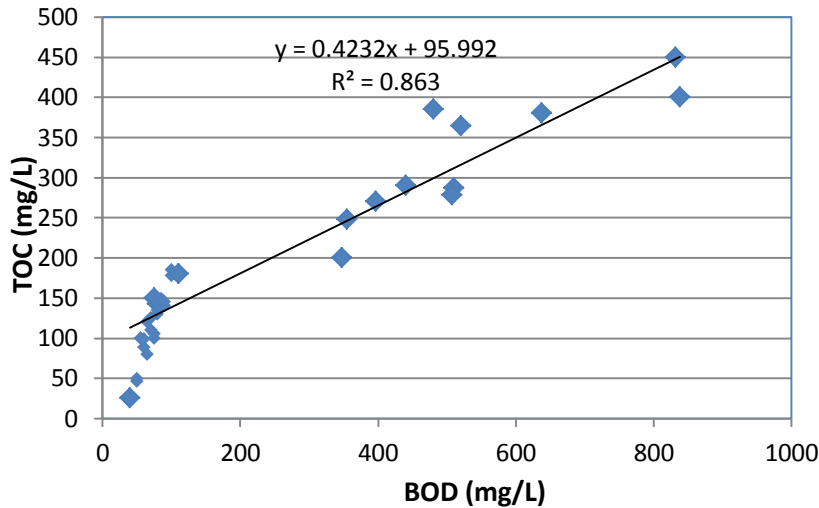


الشكل (11): العلاقة بين مؤشري TOC و COD في نماذج لمياه مختلفة مأخوذة من ادبيات عدة. ([7]. [8]. [9]. [10]. [11]. [12]).

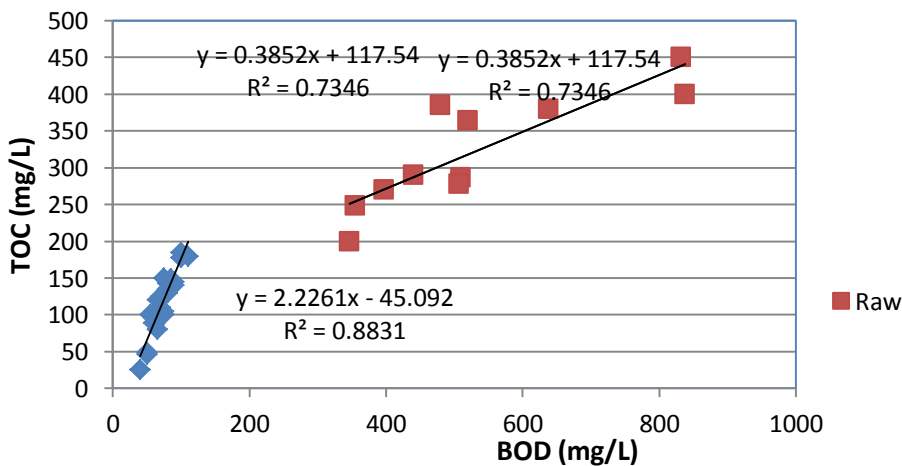
3-العلاقة بين مؤشري BOD و TOC

يمكن ملاحظة علاقة هذين المؤشرين مع بعضهما للبيانات المختبرية من خلال الشكل(12) وكما مبين فإن فصل البيانات يجعل للعلاقة وثوقية اكبر للفضلات المعالجة الشكل(13) واقل بقليل للخام، ويلاحظ بأن نسبة $\left(\frac{BOD}{TOC}\right)$ اعلى في مياه الفضلات الخام منها في المياه المعالجة وذلك بسبب تشكل المركبات المقاومة للمعالجة (مركبات الكربون المعقدة كما اشير له أنفاً) وبقاء الكربون العضوي فاختلفت النسبة بينهما [11](وقد مثل على ذلك باللكتين Lignin والذي لايتحلل بايولوجياً ويكون له COD و TOC عاليين) ، لذا يمكن القول بأنه اذا كانت الفضلات سهلة التحلل حيويًا كان الـBOD أعلى من TOC والعكس صحيح وقد المبح لذلك[13].

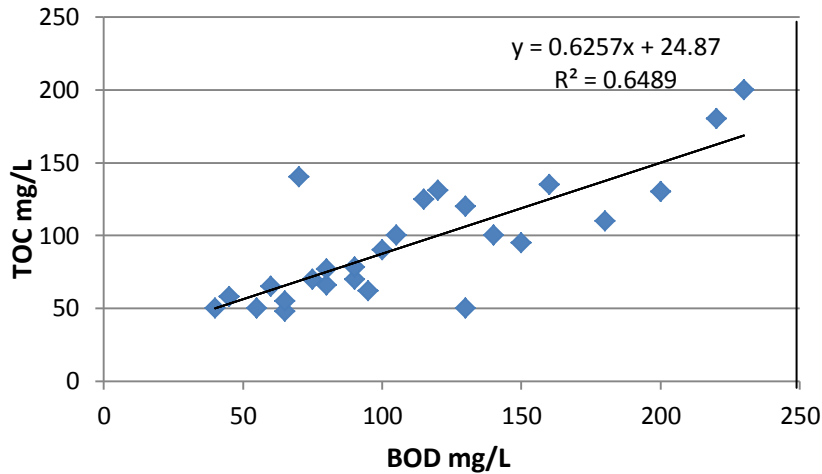
أما بالنسبة للفضلات المدنية فالشكل (14) يبين العلاقة بين المؤشرين ويلاحظ من خلال الشكل بأن بعض البيانات يكون BOD أكبر من TOC والبعض القليل منها يكون العكس ، وهذا ما وجده [9] واخرون ، والترابط بين المؤشرين يبدو غير مشجع (ربما بسبب تنوع اماكن اخذ العينات) مع ان [13] اشار الى ترابطهما بدرجة مقبولة في الفضلات المدنية. والجدول (1) يمثل المعادلات ومعاملات الارتباط للأنواع المختلفة من المياه التي تمت دراستها . (ومن خلال الجدول 1 ومما سبق يمكن القول بان العلاقة بين الـ TOC و COD هي اوثق من العلاقة بين الـBOD مع كل منهما).



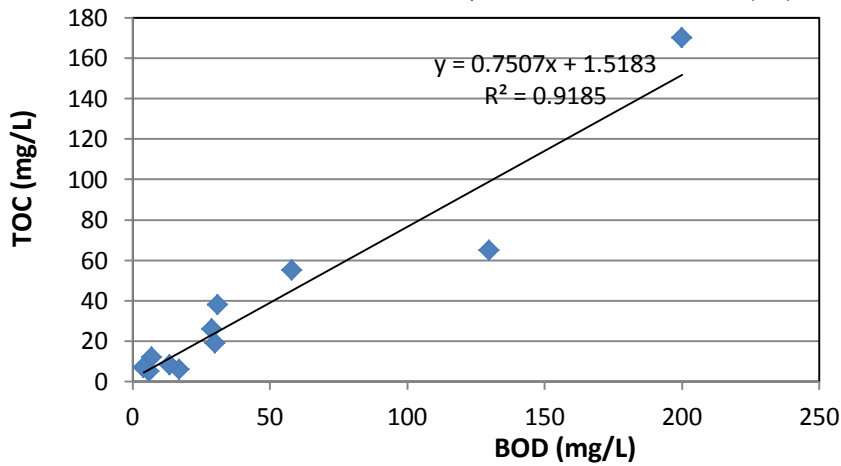
الشكل (12): العلاقة بين مؤشري TOC و BOD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالخام والمعالجة.



الشكل (13): العلاقة بين مؤشري TOC و BOD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بفصل الخام عن المعالجة



(14): الشكل العلاقة بين مؤشري TOC و BOD لفضلات مدنية .



(15): الشكل العلاقة بين مؤشري TOC و BOD في نماذج لمياه مختلفة مأخوذة من ادبيات عدة ([7]. [8]. [9]. [10]. [11]. [12]).

الجدول (1) : المعادلات التي تمثل العلاقة بين المؤشرات العضوية المختلفة

نوع المياه	البيانات	المعادلة	R ²
مختبرية مصطنعة	خام	BOD = 0,632COD + 46,54	0,757
		TOC = 0,309COD + 85,03	0,896
		TOC = 0,385BOD + 117,5	0,734
	معالجة	BOD = 0,148COD + 25,54	0,998
		TOC = 0,326COD + 13,16	0,859
		TOC = 2.226BOD - 45.09	0.883
مدمجة خام + معالجة	BOD = 0.782COD - 101.2	0.810	
	TOC = 0,379COD + 21.6	0.920	
	TOC = 0.423BOD + 95.99	0.863	
فضلات مدنية	خام	BOD = 0.461COD - 23.46	0.511
		TOC = 0.455COD + 7.938	0.824
		TOC = 0.625BOD + 24.87	0.648
محطة معالجة* حقيقية بالحمأة المنشطة لفضلات مستشفى	خام (بعد حوض المعادلة)	BOD = 0.787COD + 2.004	0.804
	معالجة (بعد حوض الترويق)	BOD = 0.941 COD - 18.48	0.963
	مدمجة (خام + معالجة)	BOD = 0.860COD - 8.319	0.889
بيانات من ادبيات متنوعة	متنوعة ومتجانسة**	BOD = 0.423COD - 8.161	0.980
		TOC = 0.334COD + 5.818	0.953
		TOC = 0.750BOD + 1.518	0.918

*لم يتم التمكن من فحص محتوى الكربون العضوية لأسباب فنية. وهذه المحطة هي محطة الصرف الصحي الخاصة بمجمع مستشفيات ابن سينا في مدينة الموصل.
** تم اختيار هذه البيانات من عدة بحوث عالمية منشورة ([7]. [8]. [9]. [10]. [11]. [12]) فضلا عن غيرها. وروعي فيها تجانس البيانات (أي ان COD أقل من 500ملغ/لتر ، ولم تؤخذ البيانات للفضلات التي تكون مفرطة بمحتواها العضوي او التي يتوقع حاجتها لنسب عالية جدا من التخفيف، لتلافي الخطأ المتراكم في المعادلات المستنتجة).

نماذج النهر :

تعد مياه الانهار من المياه منخفضة المحتوى العضوي (وحسب طبيعتها وموقعها)، لذا يتوقع من مراقبة مؤشرات التلوث العضوية ان تكون العلاقة بينها غير ثابتة وهو ما حدث فعلا لنماذج مياه نهر دجلة ، إذ من عدة نماذج شهرية للفترة من تشرين اول 2009-حزيران 2010 كانت النتائج كما مبينة في الجدول 2 .

الجدول(2): مؤشرات التلوث العضوي في مواقع من نهر دجلة¹ في مدينة الموصل

الموقع من النهر ²	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)
مشيرفة	10.5 (±4.5) ³	6.0(±3.2)	3.4 (±2.1)
الدندان	7.5(±3.5)	5.2(±4.9)	0.8 (±0.7)
الشرطة النهرية	5.0(±2.6)	4.3(±1.5)	0.2 (±0.3)
الحي العربي	8.5(±5.1)	3.5(±2.5)	2.1 (±1.8)
البوسيف	16.5(±9.5)	11.2(±5.5)	4.4 (±2.1)

- 1- الموسم الذي اخذت فيه العينات كان مطيراً
- 2- الموقع هو بالقرب من مأخذ محطات اسالة
- 3- الانحراف القياسي

وإذا ما أخذنا اجمالي البيانات وربطناها بعلاقات ترابط فانها تكون كما يلي :

$$BOD = 0.64COD - 0.104 \quad (R^2 = 0.836)$$

$$TOC = 0.379COD - 1.459 \quad (R^2 = 0.882)$$

$$TOC = 0.440BOD - 0.480 \quad (R^2 = 0.583)$$

ويمكن ملاحظة من خلال المعادلات اعلاه ضعف العلاقة بين مؤشري الكربون العضوي والمتطلب الحيوي للاوكسجين وفُسر ذلك بسبب ملاسبات الفحص التي تتداخل مع الكتلة الحية في الفحص الاخير (BOD) ، على خلاف العلاقة بين مؤشري COD و TOC والذان لا يتعاملان مع كتلة حية، على الرغم من ان انخفاض المحتوى العضوي في العينات النهرية يجعل هناك مجالاً اوسع للاخطاء الحاصلة في فحص كل من المؤشرات الثلاثة .
وقد أشار [1] الى ان النسبة النظرية بين TOC/BOD هي 0.37 وهي مقاربة لما وجد اعلاه .

الاستنتاجات :

- 1- الفصل بين البيانات ضروري للحصول على معادلات مقبولة بترابط جيد بين المؤشرات المختلفة .
- 2- الترابط بين مؤشري TOC و COD اوثق من ترابط كل منهما مع مؤشر BOD.
- 3- لايمكن القول بأن هناك علاقة يمكن اتباعها في كل حين بين أي من المؤشرات المدروسة ، بل يجب التمييز بين نوع الفضلات ومجانستها للحصول على علاقات يمكن اتباعها في تخمين قيم المؤشرات الاخرى .

المصادر

1. Metcalf and Eddy (2004) "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse" 4th ed. International Edition, McGraw Hill, Singapore.
2. American Public Health Association, AWWA and WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
3. Tchobanoglous, George & Schoeder, Edward D.,(1985) Water Quality Characteristics : Modeling & Modification, Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co/May,.
4. Pisarevsky, A. M., Polozova, I.P., Hockridge, P.M. (2005) "Chemical Oxygen Demand" Russian journal of Applied Chemistry, vol. 78, No. 1, pp 101-107.
5. Rene, E R.; Saidutta, M. B. (2008), "Prediction of Water Quality Indices By Regression Analysis and Artificial Neural Networks" . International Journal of Environmental Research. 2(2): pp 183-188.
6. Shiver, L.E; Young, J. C. (1972). "Oxygen Demand index as a rapid estimate of biochemical oxygen demand" Journal of WPCF, Technical report.
7. Fadini ,P.S.; Jardim, W.F. and Guimarães, J.R. (2004) "Evaluation of Organic Load Measurement Techniques in a Sewage and Waste Stabilisation Pond" . *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 15, No. 1, 131-135.
8. Akan,J.C.: Abdulrahman,F.I; Ayodele , J. T. And Gugbuaja, V.O.(2009) " Impact Of Tannery And Textile Effluent On The Chemical Characteristics Of Challawa River, Kano State, Nigeria" *EJEAFChe*, 8 (10), 2009. pp1008-1032.
9. Hill, D.D.; Owens , W. E. and Tchounwou, P.B. (2005). " Comparative Assessment of the Physico-Chemical and Bacteriological Qualities of Selected Streams in Louisiana" . International Journal of Environmental Research and Public Health 2(1), 94-100.
10. Waziri, M. And Ougbuaja, V. O. (2010) " Interrelationships between physicochemical water pollution indicators: A case study of River Yobe-Nigeria", *American Journal Of Scientific And Industrial Research*, 1(1), 76-80.
11. Kindsigo, M. and Kallas,J. (2006), " Degradation of lignins by wet oxidation: model water solutions" *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 2006, 55, 3, 132–144.
12. Friedler, E. ; Juanico,M. and Shelef, G. (2003)," Simulation model of wastewater stabilization reservoirs" *Ecological Engineering* (20), pp 121-145.
13. Ramalho, R.S. (1977) " introduction to wastewater treatment processes" *ACADEMIC PRESS*. London . UK .
14. Eckenfelder J. W. (1998) " Industrial Water Pollution Control" . McGraw-Hill, New York.

تم اجراء البحث في مركز بحوث البيئة السيطرة على التلوث = جامعة الموصل