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 الكيمياوي والحيوي للاوكسجين BOD,COD والكاربون العضوي الكلي TOC) لانواع مختلفة من المياه :مياه فضلات مدنية ومياه محطة معالجة فضلات ومياه فضلات مصطنعة مختبرياً فضلا عن عينات نهرية. 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 TOCمع BOD فقد كانت ضعيفة نوعا ما في الفضلات المدنية لمدينة الموصل. وقد لوحظ ايضا بأن الفصل بين البيانات عن بعضها ومجانستها(حسب حالتها خام او معالجة) يحقق افضل ترابط مما لو دمجت كل البيانات في علاقة واحدة . وأخيرا فقد تم استنتاج المعادلات التي تربط كل مؤشرين على حدة وبما يمَكِّن 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) وبمعملات ارتباط R^2 مساوية لـ 0.511 و0.824 و 0.648 على الترتيب. فضلا عن معادلات اخرى .

الكلمات المفتاحية : المحتوى العضوي ، الكاربون العضوي الكلي، المتطلب الكيمياوي 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

أستلم: 4 - 11 – 2010 **قبل: 9 – 6- 2011**

المقدمة:

يعد موضوع تحديد خصائص المياه من المواضيع التي تشغل العاملين في مجال هندسة المياه سواء النقية (لتحديد ملائمتها لاغراض 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 الكاربون ، الهيدروجين والاوكسجين واحياناً 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 مايتحلل[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 BODو COD وTOC ، 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 لاتستغرق 5 ايام للوصول الى مصباتها في البحار ومعدل درجة حرارة الصيف هي° 18.3س ، ولاحقا تم رفع درجة الحرارة الى °20 في الفحص بينما بقيت مدة الـ5 ايام لتصبح مرجعاً علمياً وقانونياً.[3] .

وفي الواقع فحص الBOD 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 الـBOD يتأثر بالنترجة الحاصلة ضمن الفحص وعلى الرغم من فرضية القول بأن 5 ايام غير كافية لحصول النترجة في الفضلات الخام. الا أن غياب النترجة غير مضمون [1] .

على الرغم من انتشار استخدام فحص الBOD الا انه يُتأمل 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.

واذا حدثت النترجة في الفحص فإن قيمة الـBOD ستكون اكبر من القيمة الحقيقية للBOD الكاربوني والمياه المعالجة (الخارجة من محطة معالجة بايولوجية) بحاجة الى تثبيط النترجة عند فحص BODبسبب قلة محتواها من الكاربون العضوي(الذي يؤدي بالتالي الى التداخل بين المتطلب الحيوي النيتروجيني والكاربوني للاوكسجين) ، أما اذا عطّلت النترجة في المياه الخام فإن حجم الخطأ في فحص الBOD الكاربوني Carbonaceous BOD) سيكون بحدود 20% وهو كبير [1].

أما القيود التي تسبب التفاوت في فحص الـBOD (وفضلا عن الاخطاء الشخصية واردة الحدوث) فهي [3] :

1- الحاجة الى بكتريا مؤقلمة على الفضلات
2- الحاجة لمعالجة تمهيدية كإزالة 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 الكيمياوي للاوكسجين Chemical Oxygen Demand COD

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 لاكسدة 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 حيوياً مثل اللكنين ولكنها تتحلل كمياوياً بدرجة كبيرة.
- بعض المواد اللاعضوية تتحلل كيمياوياً بالدايكرومات وتسبب فرقاً كبيراً،
- سمّية بعض المواد للاحياء 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].

الكاربون العضوي الكلي Total Organic Carbon TOC

هذا الفحص يتم الياً، وهو لتحديد الكاربون العضوي الكلي في المياه (أي جزيئة الكاربون المرتبطة بمركبات عضوية). تستخدم في الفحص الحرارة والاوكسجين والاشعة فوق البنفسجية والمؤكسدات الكيميائية(او قسم من هذه العمليات) لتحويل الكاربون العضوي الى غاز CO2 والذي يقاس بالاشعة تحت الحمراء او الطرق الاخرى. يستخدم فحص TOC لتحديد خصائص الفضلات التلويثية 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 الBOD ,
ولهذا الفحص محاسن أهمها :

1- لا يتداخل مع Cl^- ولا Br^-
2- لا حاجة للاحياء المجهرية
3- لا تستخدم مواد خطرة (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 دائماً 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 COD وفق الطرق القياسية وقياس الـ 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 البينية لهذه المؤشرات. لكنهم خلصوا الى ان فحص الCOD لا يكون مناسباً للاستعاضة عن الفحوصات التقليدية الاخرى في تبيان ووصف المحتوى العضوي في المياه.

اما [8] ، فقد وجدوا ان العلاقة بين ال BOD والCOD متغايرة تبعاً للظروف المناخية (رطبة ،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 الـCOD والـBOD والـTOC لها ووجدوا ان هناك تفاوتاً في المواقع الاربعة التي اختارها في قيم المؤشرات فكان الـ COD دائماً اعلى ولكن تفاوتت قيم الـTOC والـBOD فكان الـ BOD اكبر **تارة** والـTOC اكبر تارة اخرى.

اما[10] فقد ادخل مؤشرات اخرى في المقارنة، مثل TDS الى العلاقة بين CODوTOCوBOD 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 ال COD بالاعتماد على طريقة (Closed reflux) باستخدام جهازنوعCOD reactor
2. فحص الBOD بالاعتماد على جهاز WTW TS 606 (حاضنة مع قناني مزودة بمقياس رقمي (OxiTop).
3. فحص TOC باستخدام جهاز GE، Seivers InnovOx.

وكل تلك المؤشرات تم فحصها (فضلا عن غيرها من الفحوصات) تبعاً لما ورد في [2]، وعلى المركّد 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 بالحمأة 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 للحمأة المنشطة المختبرية) مع اضافة بعض مركبات الفوسفات كمنظم للدالة الحامضية (Buffer)، وقد لوحظ أن كل 1غم من الحليب الجاف في لتر من الماء يعطي محتوى عضويا 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 بالحمأة المنشطة) وتزيد على 35 عينة . وقد تم اجراء الفحوصات مباشرة في نفس ايام النمذجة مع اجراء الترتيبات اللازمة للمحافظة على خصائص العينات وفقا لما نصح به [2].

النتائج والمناقشة :

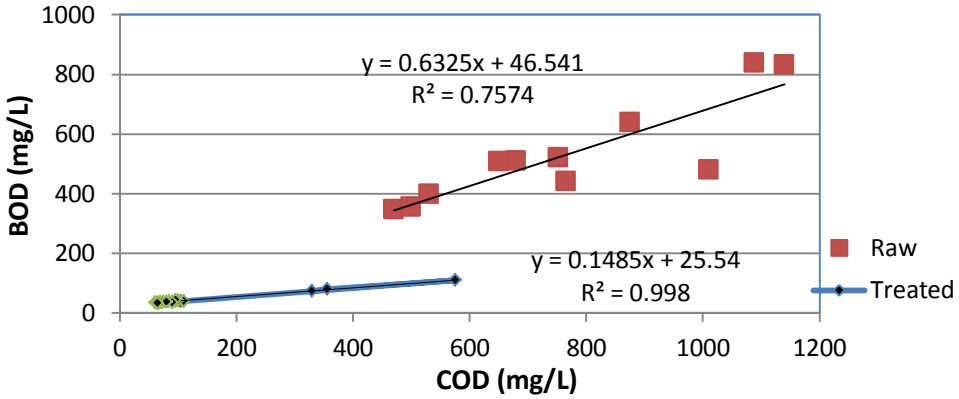
ان مؤشرات التلوث العضوي المختلفة تعتمد على طرق قياس مختلفة ولكن يمكن القول بانها تشترك في وحدات القياس وكذلك في منطقية تفسيرها وسيجري في المناقشة استعراض مدى ترابط تلك المؤشرات مع بعضها وتحليلها.

1-العلاقة بين مؤشريCOD وBOD :

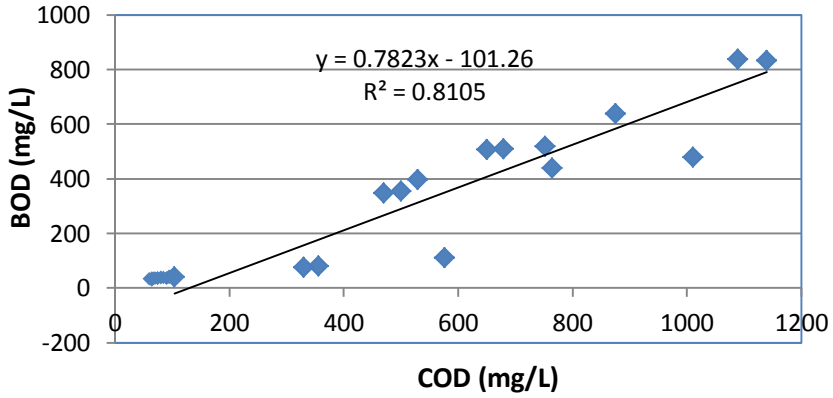
من المشهور ان هناك علاقة ترابط بين قيم الCOD وقيم الBOD في نماذج المياه وبعض المصادر تضع نسباً ثابتة او متغايرة بينهما ولكن يبدو ان ليس هناك علاقة ثابتة بينهما وحين تجريب علاقات ربط هذين المؤشرين في هذه الدراسة لنماذج من مواقع مختلفة وجد انه يمكن ان تكون هناك علاقات مقبولة فيما لو تميزت البيانات عن بعضها، فمثلاً تم تقسيم البيانات المتوفرة الى مجاميع متجانسة لتحقيق اكبر ترابط مقبول بين المؤشرين ففي نماذج عمل مختبري لوحدة حمأة منشطة وجد ان قيم الCOD وBOD تكون العلاقة بينهما اوضح بالنماذج المعالجة بمعامل ارتباط (R^2=0.998) ؛ بينما للنماذج الخام فكانت (R^2=0.757) اما اذا دمجت كلتا المجموعتين بعلاقة واحدة فإن معامل الارتباط يكون (R^2=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 وCOD حين دمج بيانات العينات الخام مع بيانات العينات المعالجة.

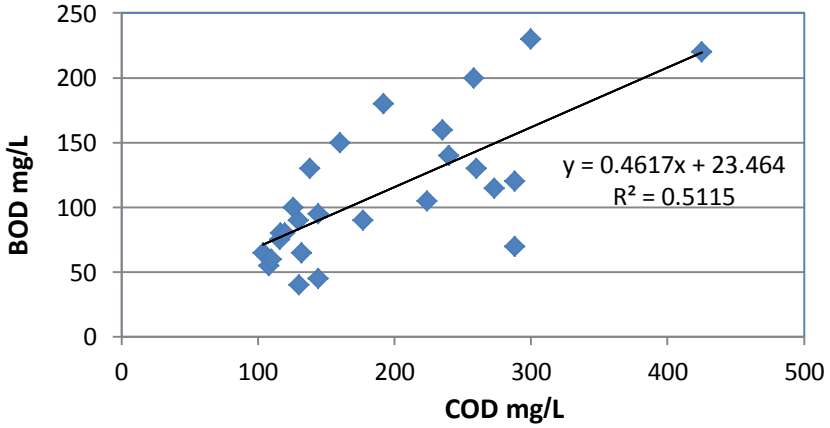
أما بالنسبة للفضلات الخام المدنية فالعلاقة كانت كما في الشكل (3)، وكما يلاحظ فان الترابط ضعيف نوعا ما ، ويمكن تفسير ذلك باحتواء الفضلات المدنية على مركبات سمّية تعيق التحلل حيوياً وكذلك مركبات لاعضوية قد تشترك في استهلاك الدايكرومات في فحص الCOD أو اجتماع امور عديدة لتكون العلاقة بين المؤشرين بهذا الترابط الضعيف(كما أشار نحو ذلك [4]،[5] ،[3]).



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



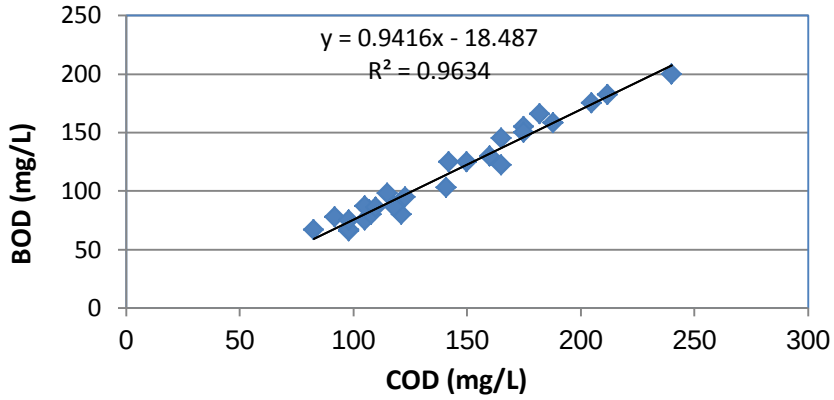
الشكل (2): العلاقة بين مؤشري BODو COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالعينات الخام والمعالجة.



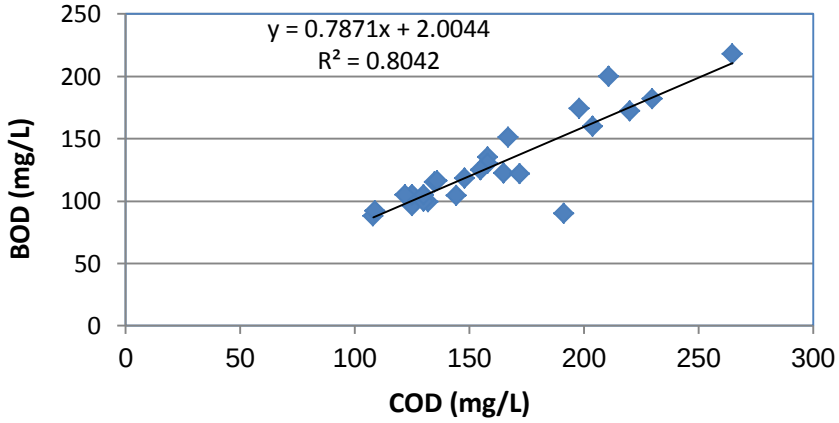
الشكل (3): العلاقة بين مؤشري BOD و COD للفضلات المدنية

اما بالنسبة للفضلات المتعلقة بمحطة المعالجة فإن العلاقة بين COD وBOD كانت كما في الاشكال4،5،6. ومن خلال تلك الاشكال يلاحظ بأن علاقة الترابط بين الـCOD وBOD في المياه المعالجة (الخارجة من حوض التهوية) كانت اوثق منها للمياه الداخلة للمعالجة ،ويمكن تعليل ذلك بأن المياه المدنية قد تحتوي على مواد كيمياوية تعيق التحلل (في فحص

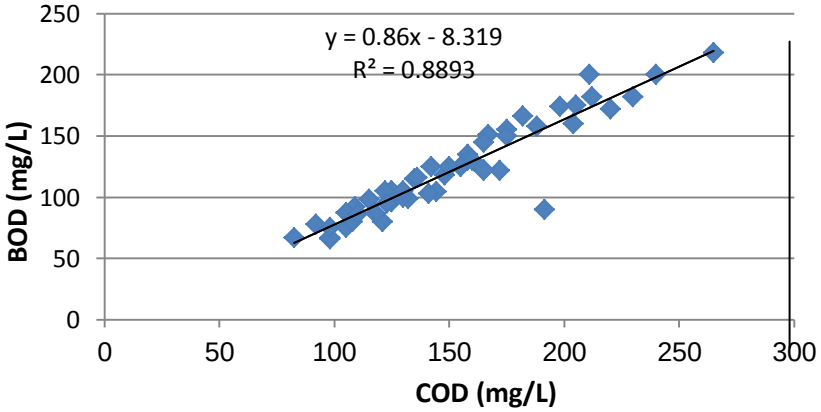
BOD) وبتراكيز متغايرة مما يربك العلاقة بينCODوBOD، بينما بعد معالجتها فإن الفضلات تتجانس وتصبح قيم BOD اكثر معنوية نسبة لقيم COD.



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



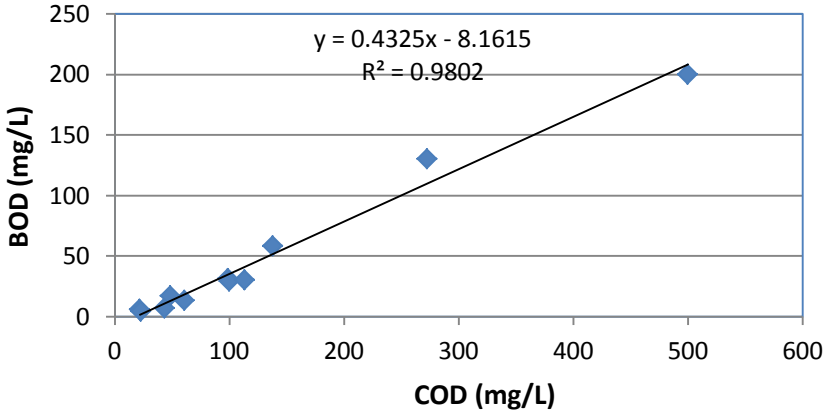
الشكل (5): العلاقة بين مؤشري BODو COD في نماذج لمياه داخلة لمحطة معالجة فضلات مستشفى .



الشكل (6): العلاقة بين مؤشري BODو COD في نماذج لمياه داخلة ومعالجة في محطة معالجة فضلات مستشفى .

واذا دمجت جميع العينات بعلاقة واحدة فإنها تكون كما في الشكل (6) ومعدل ارتباطها 0.889 ويلاحظ بإن الفصل بين البيانات يعطي مقبولية اكثر للعلاقات بين المؤشرين CODوBOD . وقد تم الاستئناس بعينات من بحوث مأخوذة من الادبيات المتاحة واستخراج قيم COD وBOD لها وبملاحظة علاقتها ببعض فوجدت كما في الشكل (7) ،وقد لوحظ بأنه كلما كانت النماذج المقاسة متجانسة و متشابهة كانت العلاقة بين COD وBOD اوثق . تجدر الاشارة 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 وجده [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).



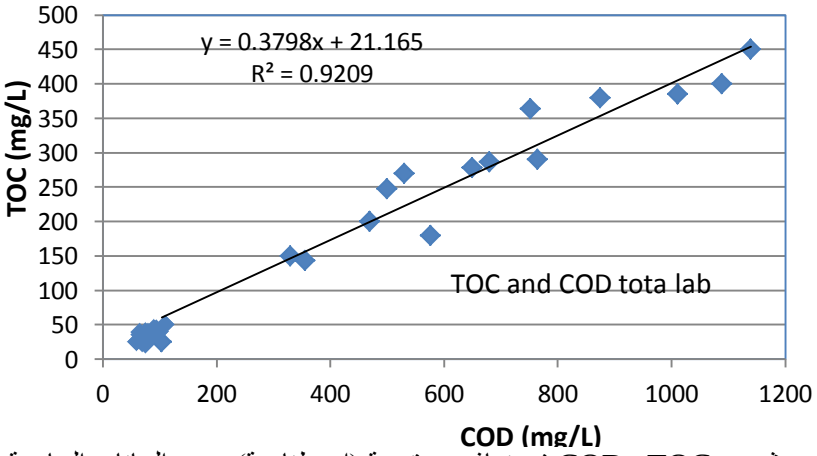
الشكل (7): العلاقة بين مؤشري BODو COD في نماذج لمياه مختلفة ماخوذة من ادبيات عدة ([7].[8].[9] .[10]. [11].[12]).

2- العلاقة بين مؤشري الـTOC و COD

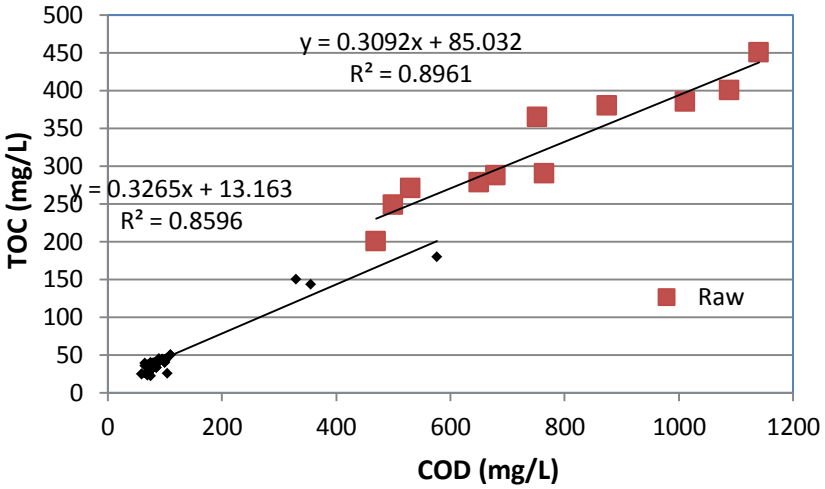
فحص TOC من الفحوصات غير متوفرة في كل الاماكن كما هي الحال بالنسبة لـ CODوBOD وذلك بسبب حاجته الى اجهزة معقدة نوعاً ما (تتعلق بالاشعة تحت الحمراء وغيرها) لذا من المهم البحث عن علاقات تربط بين مؤشر الTOC مع المؤشرات الاخرى لتغطية شحة البيانات التي تتعلق بهذا المؤشر.

ويختلف فحص TOC عن الفحصين الاخرين في كونه يقيس ذرات الكاربون في المادة العضوية بينما الفحصين الاخرين يقيسان الاوكسجين المطلوب لتحويل المادة العضوية الى CO_2 وماء اوغيرهما.

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 الTOC و COD ،وذلك فُسر بأنه بسبب تقارب العلاقة اصلاً بين ذرات الكاربون والمواد العضوية سهلة التحلل(اي في المركبات سهلة التحلل يكون الكاربون العضوي متعلقاً بدرجة كبيرة مع قيمة COD [13])، وتتبين 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 تغايرها بسبب تغاير تركيبة الفضلات بشكل مستمر .

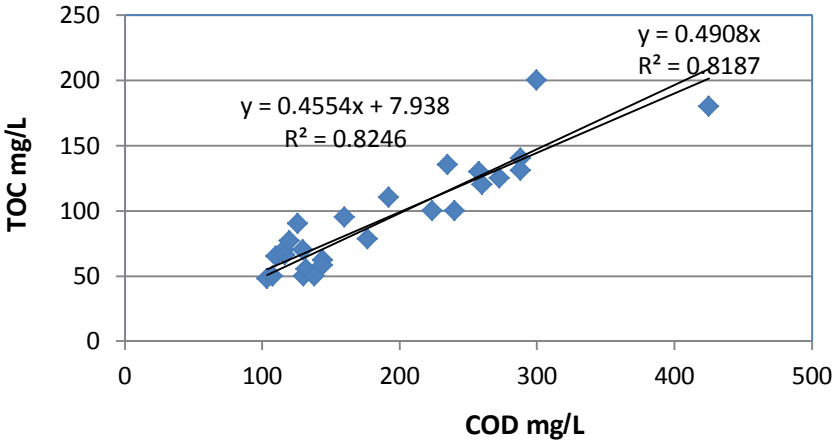


الشكل (8): العلاقة بين مؤشري TOCو COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالخام والمعالجة.

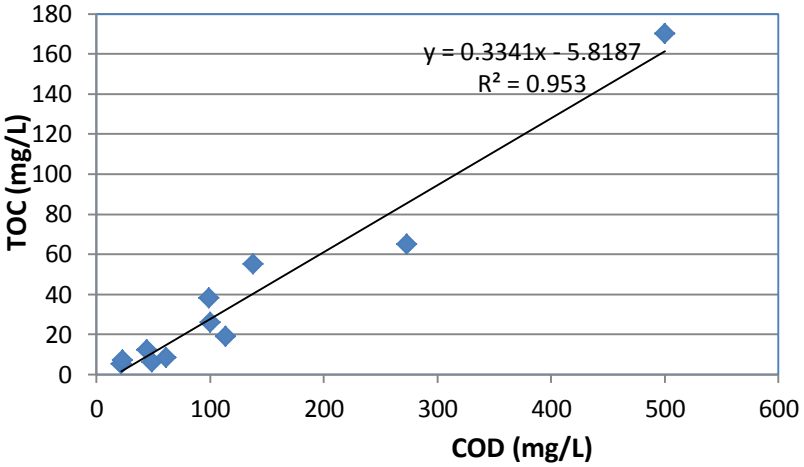


الشكل (9): العلاقة بين مؤشري TOCو COD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بفصل الخام عن المعالجة.

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



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



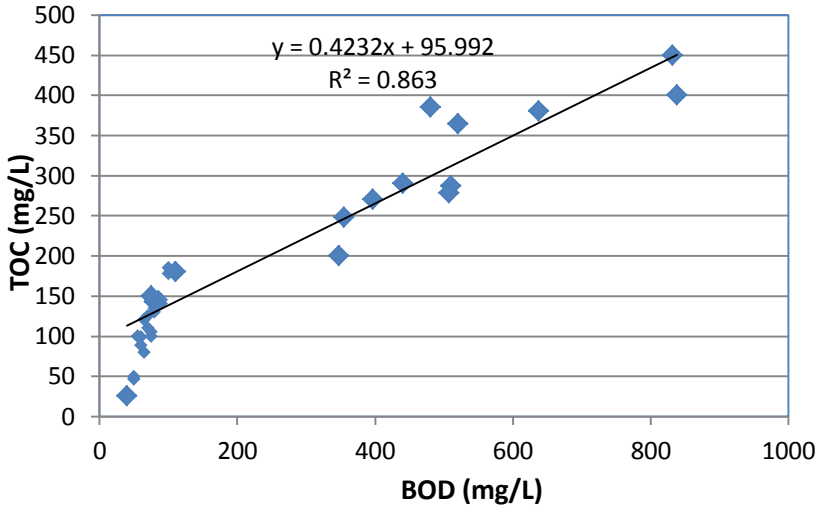
الشكل (11): العلاقة بين مؤشري TODو COD في نماذج لمياه مختلفة ماخوذة من ادبيات عدة. ([7].[8].[9] .[10]. [11].[12]).

3-العلاقة بين مؤشري TOC وBOD

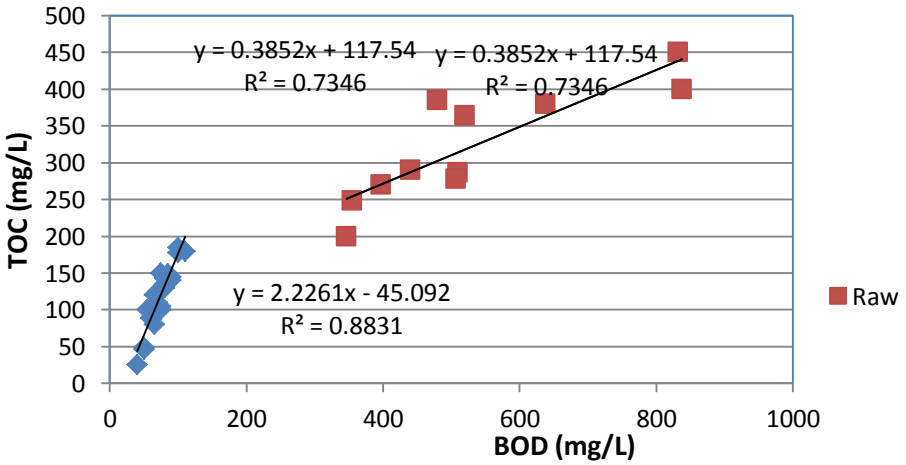
يمكن ملاحظة علاقة هذين المؤشرين مع بعضهما للبيانات المختبرية من خلال الشكل(12) وكما مبين فإن فصل البيانات يجعل للعلاقة وثوقية اكبر للفضلات المعالجة الشكل(13) واقل بقليل للخام، ويلاحظ بأن نسبة ($\frac{BOD}{TOC}$) اعلى في مياه الفضلات الخام منها في المياه المعالجة وذلك بسبب تشكل المركبات المقاومة للمعالجة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

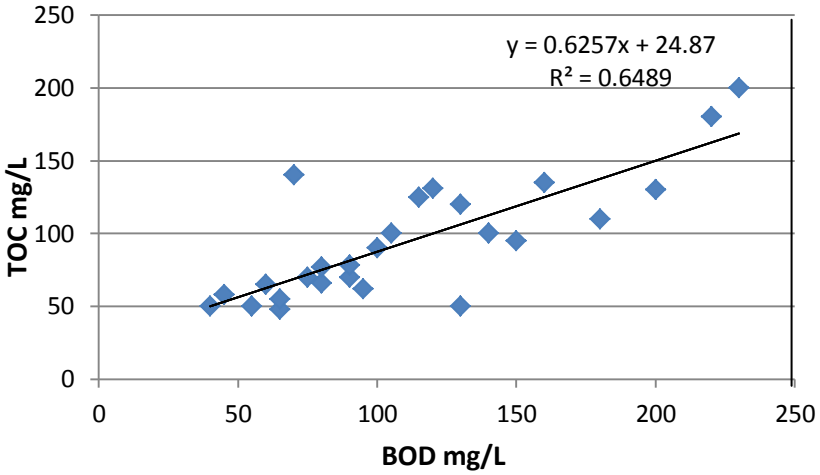
(ومن خلال الجدول 1 ومما سبق يمكن القول بإن العلاقة بين الـ TOC و COD هي اوثق من العلاقة بين الـBOD مع كل منهما).



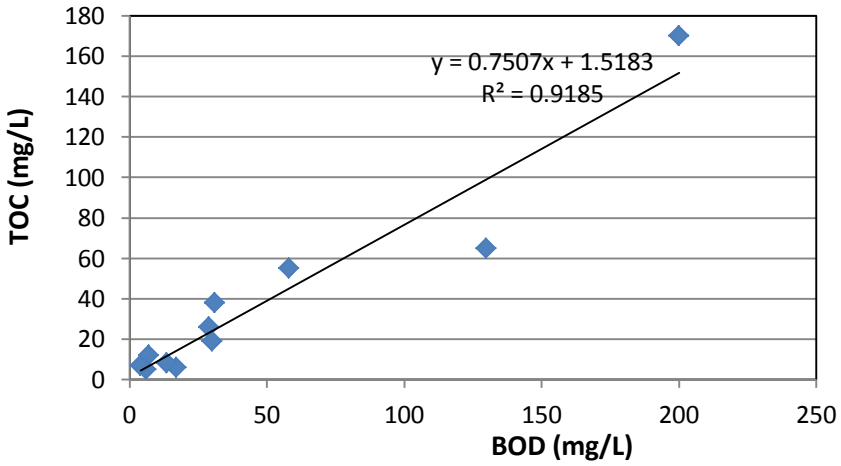
الشكل (12): العلاقة بين مؤشري TOCو BOD في نماذج مختبرية (اصطناعية) بجمع البيانات الخاصة بالخام والمعالجة.



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



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



الشكل (15): العلاقة بين مؤشري TOCو BOD في نماذج لمياه مختلفة ماخوذة 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 TOC = 0,309COD + 85,03 TOC = 0,385BOD + 117,5	0,757 0,896 0,734
	معالجة	BOD = 0,148COD + 25,54 TOC = 0,326COD + 13.16 TOC = 2.226BOD - 45.09	0,998 0.859 0.883
	مدمجة خام +معالجة	BOD = 0.782COD – 101.2 TOC = 0,379COD + 21.6 TOC = 0.423BOD + 95.99	0.810 0.920 0.863
فضلات مدنية	خام	BOD = 0.461COD – 23.46 TOC = 0.455COD + 7.938 TOC = 0.625BOD + 24.87	0.511 0.824 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 TOC = 0.334COD + 5.818 TOC = 0.750BOD + 1.518	0.980 0.953 0.918

*لم يتم التمكن من فحص محتوى الكاربون 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 دجلة [1] 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

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

$BOD = 0.64COD - 0.104$ $(R^2 = 0.836)$
$TOC = 0.379COD - 1.459$ $(R^2 = 0.882)$
$TOC = 0.440BOD - 0.480$ $(R^2 = 0.583)$

ويمكن ملاحظة من خلال المعادلات اعلاه ضعف العلاقة بين مؤشري الكاربون العضوي والمتطلب الحيوي للاوكسجين وفُسِّر ذلك بسبب ملابسات الفحص التي تتداخل مع الكتلة الحية في الفحص الاخير (BOD) ، على خلاف العلاقة بين مؤشري COD و TOC واللذان لا يتعاملان مع كتلة حية، على الرغم من ان انخفاض المحتوى العضوي في العينات النهرية يجعل هناك مجالا 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 TOCو 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, Tchnical 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 Ogugbuaja, 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 ألموصل